



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science
of Adiyaman University

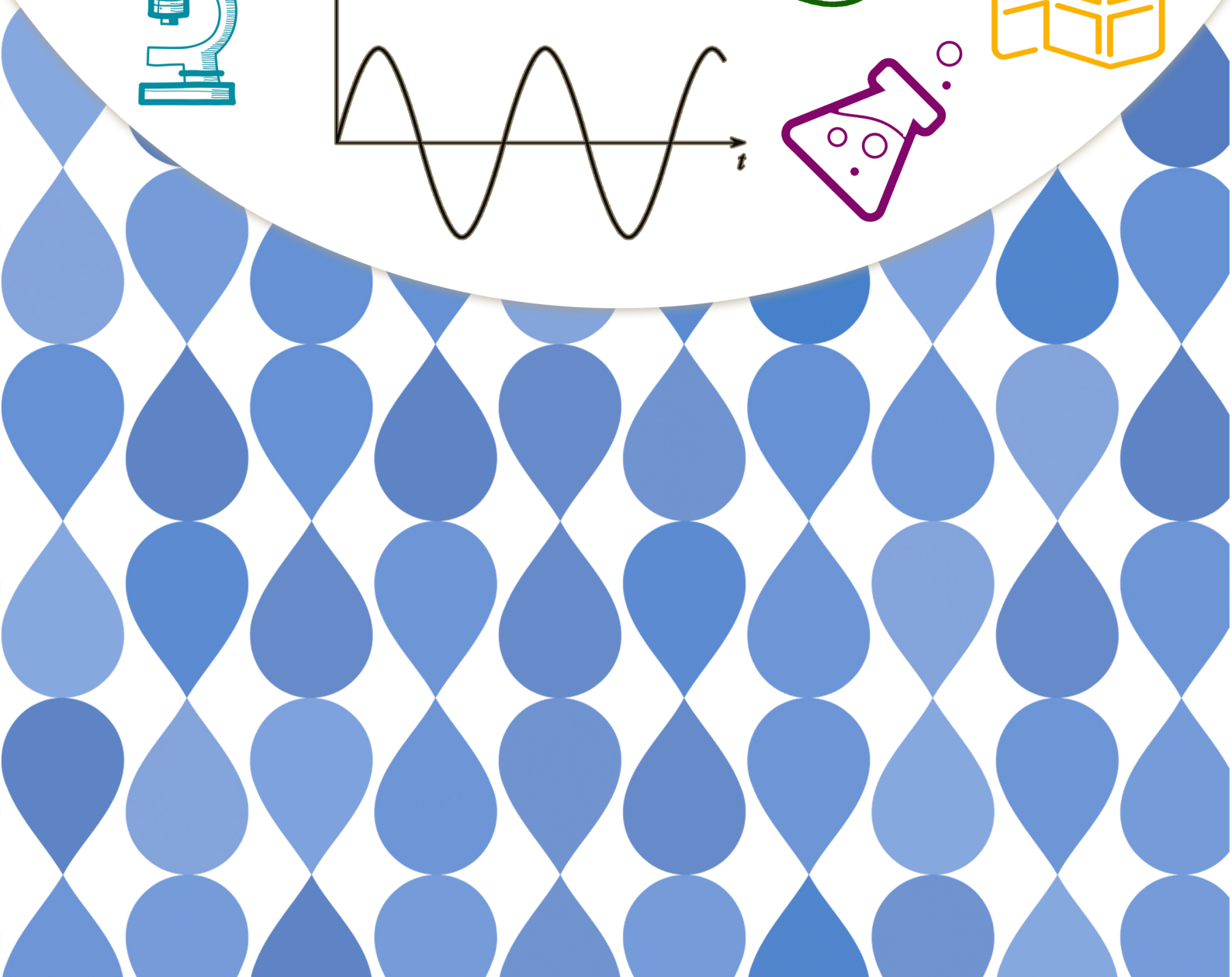
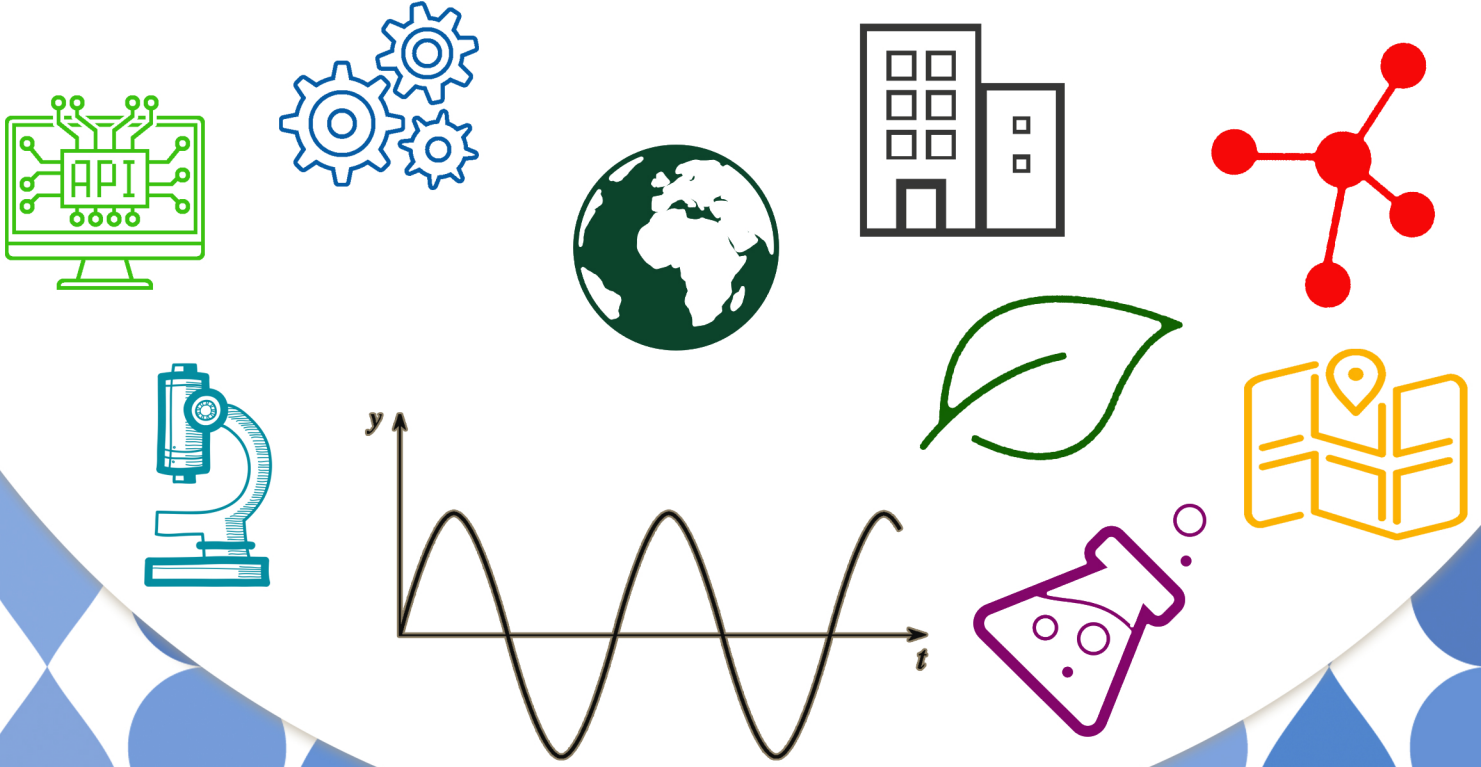
ISSN: 2149-0309

CİLT
VOLUME 8

SAYI
ISSUE 15

ARALIK
DECEMBER

2021



ADIYAMAN ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik Bilimleri Dergisi

Journal of Engineering Science of Adiyaman University

ISSN: 2149-0309

Dergi Yöneticisi

Prof. Dr. Murat PALA

Cilt:8 Sayı:15

Baş Editör

Prof. Dr. Murat PALA / Baş Editör ve Alan Editörü

Editörler

Prof. Dr. Leon JOLOLIAN / Alan Editörü

Assist. Prof. Dr. Oksana KOPLAK / Alan Editörü

Dr. Thomas FEGGELER / Alan Editörü

Prof. Dr. Tanju TEKER / Alan Editörü

Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER / Alan Editörü

Doç. Dr. Şerif ÇİTİL / Alan Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN / Alan Editörü

Dr. Saadin OYUCU / Alan Editörü

Arş. Gör. Abuzer DOĞAN / Alan, Mizanpaj ve Dil Editörü

Arş. Gör. Musa EŞİT / Alan Editörü

Yazışma Adresi / Correspondence

Address - Adiyaman Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi Dekanlığı

e-mail: mbd@adiyaman.edu.tr

Tel: 0 (416) 223 38 08

Fax: 0 (416) 223 38 09

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

YAYIN KURULU/ EDITORIAL BOARD

- 1-Prof.Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof.Dr. Murat DEMİR AYDIN (Erzurum Teknik Üniversitesi)
- 3-Prof.Dr. İbrahim TÜRKMEN (İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof.Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof.Dr. Abdulkadir ÇEVİK(Gaziantep Üniversitesi)
- 6-Prof.Dr. Seyhan FIRAT (Gazi Üniversitesi)
- 7-Prof.Dr. Hasan OKUYUCU(Yıldırım Beyazıt Üniversitesi)
- 8-Prof.Dr. Eyüp DEBİK..... (Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 9-Prof.Dr. Yusuf TUNÇTÜRK..... (Yüzüncü Yıl Üniversitesi)
- 10-Prof.Dr. Nevzat ARTIK..... (Ankara Üniversitesi)
- 11-Doç.Dr. Hamit ADİN..... (Batman Üniversitesi)
- 12-Doç.Dr. Halef DİZLEK(Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi)
- 13-Dr. Öğr. Üyesi Yaşar AYZAZ (İnönü Üniversitesi)
- 14-Dr. Öğr. Üyesi Aysun ŞENER.....(Adana Bilim Teknoloji Üniversitesi)

DANIŞMA KURULU/ ADVISORY BOARD

- 1-Prof. Dr. Şemsettin TEMİZ(İnönü Üniversitesi)
- 2-Prof. Dr. Ergün ERÇELEBİ.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 3-Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN(İnönü Üniversitesi)
- 4-Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR(Sakarya Üniversitesi)
- 5-Prof. Dr. Abdulkadir ÇEVİK.....(Gaziantep Üniversitesi)
- 6- Prof. Dr. Eyüp DEBİK.....(Yıldız Teknik Üniversitesi)
- 7-Doç. Dr. Sema Koç KAYHAN.....(Gaziantep Üniversitesi)

ALAN EDİTÖRLERİ / SECTION EDITORS

Prof. Dr. Murat Pala	pala@adiyaman.edu.tr	İnşaat Mühendisliği , Deprem, Betonarme
Prof. Dr. Atilla AKKOYUNLU	akkoyun@boun.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği
Dr. Öğr. Üyesi Bayram YURT	byurt@bingol.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Dr. Öğr. Üyesi Faruk KÜRKER	fkurker@adiyaman.edu.tr	Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Enerjisi ve Güç Sistemleri, Elektrik Tesisleri
Doç. Dr. Mehmet Fatih DİLEKOĞLU	dilekoglu@harran.edu.tr	Çevre Bilimleri ve Mühendisliği, Çevre Kimyası, Su Kaynakları Yönetimi, Su ve atıksu arıtma
Doç. Dr. Harun TÜRKMENLER	hturkmenler@adiyaman.edu.tr	Arıtma Tesisi Tasarımı, Çevre Kimyası, Su ve atıksu arıtma, Toprak Kirliliği ve Kontrolü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Doç. Dr. İsmail BOZKURT	ibozkurt@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği, Enerji, Termodinamik, Yenilenebilir Enerji Sistemleri
Prof. Dr. Kerim KÜÇÜK	kerim.kucuk@deu.edu.tr	Maden Mühendisliği, Kaya Mekaniği ve Tahkimat, Maden Tasarımı, İşletme ve Ekonomisi, Madencilik Yöntemleri ve Maden Sistem Analizi, Madenlerde İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı
Dr. Öğr. Üyesi Miraç UÇKUN	m.uckun@adiyaman.edu.tr	Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Arş. Gör. Dr. Musa EŞİT	mesit@adiyaman.edu.tr	Atmosfer Bilimleri, Hidroloji
Doç. Dr. Mustafa ASLAN	maslan@harran.edu.tr	Su ve atıksu arıtma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları
Arş. Gör. Dr. Saadin OYUCU	saadinoyucu@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği, Bilgisayar Sistem Yazılımı, Bilgisayar Yazılımı, Gömülü Sistemler, Veri Tabanları, Yapay Zeka
Dr. Öğr. Üyesi Senem TEKİN	senemtekin@adiyaman.edu.tr	Yer Bilimleri ve Mühendisliği, Deprem, Uygulamalı Jeoloji
Doç. Dr. Şerif ÇİTİL	scitil@adiyaman.edu.tr	Makine Mühendisliği
Doç. Dr. Seval UYANIK	suyanik@adiyaman.edu.tr	Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği
Arş. Gör. Dr. Yavuz KAHRAMAN	ykahraman@adiyaman.edu.tr	Endüstri Mühendisliği, Yapay Öğrenme, Yapay Zeka, Çok kriterli Karar verme, Karar Destek Sistemleri
Doç. Dr. Zuhale KARAGÖZ	zgenc@adiyaman.edu.tr	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Arş. Gör. Abuzer DOĞAN	abuzerdogan@adiyaman.edu.tr	Bilgisayar Mühendisliği

Duyuru

Değerli okuyular ve dergi kullanıcıları;

Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Editör kurulu dergimizi 2022 yılından itibaren senede 3 sayı olarak yayınlamayı planlanmaktadır.

Announcement

Dear readers and users of the journal;

Adıyaman University Journal of Engineering Sciences Editorial Board is planning to publish the journal 3 issues a year starting from 2022.

İÇİNDEKİLER- CONTENTS

1-Investigation Of Pounding Effect In Mid-Rise Adjacent Structures– “Research Article”

Orta Yükseklikteki Bitişik Nizam Yapılarda Çekiçleme Etkisinin İncelenmesi– “Araştırma Makalesi”

Kabil ÇETİN, Ali DEMİR 283-293

2- Atik Lastiklerden Elde Edilen Siyah Karbonun Asfaltın İşlenebilirlik Özelliklerine Etkisi – “Araştırma Makalesi”

The Effect Of Carbon Black Obtained From Waste Tires On The Workability Of Asphalt – “Research Article”

Tacettin GEÇKİL, Zülfükar AKSAĞAN, Ceren Beyza İNCE 294-306

3- Kazınmış Asfalt Malzemelerin Beton Karışımında İnce Agregaya Yerine İkame Edilmesinin Farklı Ortam Isısı Altındaki Betonların Basınç Dayanımlarına Etkisi – “Araştırma Makalesi”

The Effect Of Substituting Scraped Asphalt Materials For Fine Aggregate In Concrete Mixture On The Compressive Strength Of Concretes Under Different Ambient Temperatures – “Research Article”

M. Fatih ŞAHAN, Uğur CANPOLAT 307-314

4- Transformatörlerin Nüve Sıcaklığının Hesaplama Yöntemlerinin Karşılaştırılması – “Araştırma Makalesi”

Comparison Methods Of Core Temperature Of Transformers – “Research Article”

Yıldırım ÖZÜPAK 315-327

5- Pscad/Emtdc Simülasyon Programı Kullanılarak Bir Mikro Şebekenin Yük Frekans Kontrolü (Lfc) – “Araştırma Makalesi ”

Load Frequency Control (Lfc) Of A Microgrid Using Pscad/Emtdc Simulation Program – “Research Article”

Mehmet Şefik ÜNEY, Ömer Ali KARAMAN 328-342

6- A New Resampling Approach Based On Weighted Geometric Mean For Unbalanced Data “Research Article”

Dengesiz Veriler İçin Ağırlıklı Geometrik Ortalama Tabanlı Yeni Bir Yeniden Örnekleme Yaklaşımı – “Araştırma Makalesi”

Abdullah DAL, İbrahim Halil GÜMÜŞ, Serkan GÜLDAL, Mustafa YAVAŞ 343-352

7-Adıyaman Çöreği (Tablama)'nin Bazı Özellikleri– “Araştırma Makalesi ”

Some Properties Of Adıyaman Scone (Tablama)– “Research Article”

Ali Mücahit KARAHAN, Osman KILINÇEKER 353-358

8-İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamuru İle İyileştirilmiş Zeminlerde Cbr Değerlerinin Araştırılması–
“Araştırma Makalesi ”

*Investigation Of Cbr Values At Soil Improvement By Using Drinking Water Treatment Sludge–
“Research Article”*

Esra Deniz GÜNER, Baki BAĞRIAÇIK 359-368

9-Elastanlı Süprem Kumaşlarda Termal Efüzyon Ve İletkenlik Özellikleri Üzerine Elastan
Oranının Etkilerinin Araştırılması– “Araştırma Makalesi ”

*Researching Of The Effects Of Elastane Ratio On The Thermal Effusivity And Conductivity
Properties In Plain Knit Fabrics With Elastane– “Research Article”*

Seval UYANIK 369-377

10-Yapay Sinir Ağları Ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleri İle Bölgesel Trafik Yoğunluk
Tahmini– “Araştırma Makalesi ”

*Prediction Of Regional Traffic Intensity With Artificial Neural Networks And Support Vector
Machines– “Research Article”*

İclal ÇETİN TAŞ, Ahmet Anıl MÜNGEN 378-390

11-Bir Termoelektrik Jeneratör Sisteminin Isı Alıcısının Isıl Performansına Farklı Dış Ortam
Sıcaklıklarının Etkisi “Araştırma Makalesi ”

*The Effect Of Different Environmental Temperatures On The Thermal Performance Of The
Heat Sink Of A Thermoelectric Generator System– “Research Article”*

Ali GÜRCAN, Gülay YAKAR 391-413

12-6'ya 6 Tahta Üzerinde At Kaplama Problemini Çözmek İçin Denetimsiz Makine Öğrenme
Algoritması– “Araştırma Makalesi ”

*Unsupervised Machine Learning Algorithm To Solve Knight Covering Problem For 6 By 6
Board– “Research Article”*

Serkan Güldal 414-426

13- Farklı Batıklık Oranlarına Sahip Batık Hidrolik Sıçramanın Sayısal Modellemesi– “Araştırma Makalesi”

Numerical Modeling Of Submerged Hydraulic Jump With Different Submergence Rates–
“Research Article ”

Oğuz ŞİMŞEK, Mehmet KÖSEN, Veysel GÜMÜŞ..... 427-441

14- Yaprak Hastalıklarının Sınıflandırılabilmesi İçin Önceden Eğitilmiş Ağ Tabanlı Derin Ağ Modeli – “Araştırma Makalesi ”

*Pre-Trained Network Based Deep Network Model For Classification Of Leaf Diseases –
“Research Article”*

Halit ÇETİNER 442-456

15- Yapıştırma Bağlantılarında Kohezif Bölge Modeli Uygulayarak Ve Uygulamadan Modelleme Yapılmasının Gerilme Dağılımına Etkisinin Araştırılması – “Araştırma Makalesi ”

The Investigation Of The Effect Of Modeling With And Without Cohesive Zone Modeling On The Stress Distribution In Adhesive Joints – “Research Article”

İsmail SARAÇ 457-468

16- Martı Optimizasyon Algoritmasının Kısıtlı Mühendislik Tasarım Problemleri İçin Performans Analizi –“Araştırma Makalesi ”

Performance Analysis Of Seagull Optimization Algorithm For Constrained Engineering Design Problems – “Research Article”

Feyza ALTUNBEY ÖZBAY, Erdal ÖZBAY 469-485

17- Modelling Of Crust Structure Of Central Anatolia Region – “Research Article”

İç Anadolu Bölgesi Kabuk Yapısının Modellenmesi – “Araştırma Makalesi”

Ali ELMAS 486-497

18- *Investigation Of The Structural Trends Through Aeromagnetic Data For The Central Anatolian Crystalline Complex (Kırşehir Block), Turkey– “Research Article”*

Türkiye İç Anadolu Kristalin Kompleksi (Kırşehir Blok) İçin Aeromagnetik Verilerle Yapısal Trendlerinin İncelenmesi– “Araştırma Makalesi ”

Ezgi ERBEK KIRAN 498-507

19- Kan Vermeye Elverişli Donörlerin Bilgisayar Destekli Tespiti– “Araştırma Makalesi ”

Computer Aided Determination Of Suitable Blood Donors– “Research Article”

Kerim KARADAĞ 508-514

20- Performance Assessment Of Steepest Descent Method Considering Gradient Based Line Search Conditions In Geometry Fitting Of 2d Measured Profiles– “Research Article”

Ölçülen 2b Profillere Geometri Uydurulmasında Gradyan Temelli Doğru Boyunca Arama Şartları Dikkate Alınarak En Dik İniş Yönteminin Performans Değerlendirmesi– “Araştırma Makalesi”

Kadir KIRAN 515-524

21- Investigation Of Thermo-Hydraulic Performance Of Nanofluids In A Zigzag Channel With Baffles– “Research Article”

İçerisinde Bölmeler Bulunan Zigzag Bir Kanalda Nanoakışkanların Termo-Hidrolik Performansının İncelenmesi– “Araştırma Makalesi”

Selma AKÇAY 525-534

22- Lpwan Standartları Tabanlı Bilişsel Radyo Ağları İçin Spektrum Algılama Yaklaşımı– “Araştırma Makalesi ”

Spectrum Sensing Approach For Lpwan Standards Based Cognitive Radio Networks– “Research Article”

Sercan YALÇIN 535-547

23- Soğuk Bölgelerde Kullanılacak Saf Bitümün Modifikasyonu Ve Beton Asfalt Üretiminde Kullanımı: B70/100 Bitüm Örneği– “Araştırma Makalesi ”

Modification Of Pure Bitumen To Be Used In Cold Regions And Its Use In Asphalt Concrete Production: A Case Of B70/100 Bitumen– “Research Article”

Abdulgazi GEDİK 548-559

24- Comparison Of Physical And Mechanical Properties Of Cold Bonded And Sintered Lightweight Artificial Aggregates– “Research Article”

Soğuk Bağlama Ve Sinterleme Yöntemi İle Üretilmiş Hafif Yapay Agregaların Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması– “Araştırma Makalesi”

Nihat ATMACA, Mais İBRAHİM, Adem ATMACA 560-570

25- Bilye Çember Sisteminin Optimum PID Kontrolör Tasarımında Klonal Seçim İlkesine Dayalı Yara İyileştirme Algoritmasının Kullanılması– “*Research Article*”

Optimal Tuning Of PID Controller Using Wound Healing Algorithm Based On The Clonal Selection Principle– “Araştırma Makalesi”

Mehmet ÇINAR..... 571-583

26- Elektrik Talep-Üretim Süreklilik Eğrileri Yardımı İle Tahminî Elektrik Üretim Maliyeti Hesabı - Bir Örnek Durum Çalışması– “*Research Article*”

Probabilistic Electricity Generation Cost Calculation Via Demand-Generation Duration Curves - A Case Study– “Araştırma Makalesi”

Muhammed Akif Ülker 584-594

INVESTIGATION OF POUNDING EFFECT IN MID-RISE ADJACENT STRUCTURES

Kabil ÇETİN^{1*}, Ali DEMİR²

¹ Manisa Celal Bayar University, Turgutlu Vocational School, Department of Construction, Manisa, 45400, Turkey

² Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Manisa, 45140, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 25.02.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.09.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.886805

ABSTRACT

Many adjacent structures have been built in recent years due to population growth and the unplanned urbanization. The mass and stiffness differences of the structures cause collisions with each other. Since behavior of structures having different dynamic properties will be different, the pounding forces occur between structures during earthquake. In this study, collision behavior in adjacent structures was investigated. The nonlinear spring Hertz model was used for modelling of collision. Existing structures were modeled with Sap 2000 program, by considering horizontal rigidity, story level and gap parameters as variables. Slab-column and slab-slab collision situations were taken into account in the structures. Dynamic analyses of the structures were performed by using Kocaeli earthquake data according to different gaps. Displacements and pounding forces of the structures were obtained and the results were compared. It was determined whether gaps calculated according to the Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018) were sufficient in the structures.

Keywords: *Adjacent structures, Pounding force, Gap, Turkish Building Earthquake Code 2018, Dynamic analysis*

ORTA YÜKSEKLİKTEKİ BİTİŞİK NİZAM YAPILARDA ÇEKİÇLEME ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Nüfus artışı ve çarpık kentleşme nedeniyle son yıllarda birçok bitişik nizam yapı inşa edilmiştir. Yapıların kütle ve rijitlik farklılıkları birbirleriyle çarpışmasına neden olur. Farklı dinamik özelliklere sahip yapıların davranışları farklı olacağından yapılar arasında deprem esnasında çekiçleme kuvvetleri oluşur. Bu çalışmada, bitişik nizam yapılarda çarpışma davranışı araştırılmıştır. Lineer olmayan Hertz yay modeli çarpışmanın modellenmesi için kullanılmıştır. Mevcut yapılar, değişken olarak yatay rijitlik, kat seviyesi ve derz boşluğu parametreleri dikkate alınarak Sap 2000 programı ile modellenmiştir. Yapılarda döşeme-kolon ve döşeme-döşeme çarpışma durumları dikkate alınmıştır. Farklı derz boşluklarına göre Kocaeli deprem verileri kullanılarak yapıların dinamik analizleri yapılmıştır. Yapıların yer değiştirmeleri ve çekiçleme kuvvetleri elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY-2018) göre hesaplanan derz boşluklarının yapılarda yeterli olup olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bitişik nizam yapılar, Çekiçleme kuvveti, Derz boşluğu, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Dinamik analiz.*

* e-mail: cetinkabil@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9236-3447> (Sorumlu Yazar),

e-mail: ali.demir@cbu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9907-4074>

1. Introduction

The devastating effect of earthquakes is always a significant threat for both people and structures. The speed of urbanization has considerably increased in recent years. As a result, the structures have been built as adjacent. Structures make large displacements under the earthquake effect. The dimension of displacement in the structure depends on many factors such as the mass, rigidity of the structure. Different displacements of adjacent structures having different dynamic characteristics cause collision with one another. In the literature, this effect is called pounding. This effect which is called as pounding results from insufficient gap between adjacent structures. The pounding force also affects the earthquake behaviour of the structure. Collision could cause regional damages in the structural elements or collapse. Studies carried out by the researchers revealed that this effect should be considered.

Hao [1] modeled 5 and 10 storey structures. The pounding forces, displacements and shear forces of the structures were compared according to different gaps and local soil classes. The increase in shear force is more important in the light structure. The collision was seen to have little effect on story shear force results for different local soil classes. Noman et al [2] investigated the minimum size of gap required for mid-rise structures. Adjacent structures with different geometry and height were modeled. Pushover and inelastic time history analyses of structures were performed. Column shear forces and maximum displacements were investigated. The collision occurred up to a gap of 6 inches. It was modeled two 6 storey structures with equal story levels. By changing the dimensions of the ground floor columns in one of the structures, weak story irregularity was created in the structure. The time history analyses of the structures were carried out. It was concluded that the irregularity in the structure generally increased the pounding force. As a result of the irregularity, it was observed that the collision occurred on all stories of the structure [3]. Collision behaviors of the structures were investigated. Structure types having different rigidities were modeled. By placing rubber material between the adjacent structures, the effect of this new situation on the pounding force was investigated and the results were compared. Pounding forces significantly increased in structures with different story levels compared to structures with equal story levels. It was concluded that this material reduced pounding force by approximately 55% [4]. Inel et al [5] investigated the effect of pounding on earthquake behavior in mid-rise reinforced concrete structures with insufficient gap size. 4 and 7 storey structure models built according to the 1975 and 1998 Turkish Seismic Code were used. The nonlinear time history analyses of the structures were performed according to different earthquake records. To evaluate the effect of the collision, the pounding force and the number of collisions occurring on the critical story were investigated. The pounding force increased roof displacements. It was said that the pounding force could cause permanent displacements in the free direction of the structure. Aydın et al [6] investigated the effect of passive viscous dampeners used in adjacent structures on the pounding force. Two adjacent structures were modeled as 20 and 10 storey. Dampers were placed between the structures in two different ways. For the first case, a single damper was placed at the 10th story level of the structure. In the second case, the damper was placed from the 1st story level to the 10th story level. However, the damper's damping coefficients in the second case were reduced by 10 times compared to the first case. Time history analysis was performed by using El Centro earthquake. Relative story displacements of the structures were compared for two different cases. Relative story displacements decreased significantly with the use of dampers. Thus, the occurrence of pounding effects between adjacent structures can be prevented. The performance of the dampers for both cases was approximately equal in terms of relative story displacement. It was said that the use of single damper would be more beneficial for reasons such as economy, maintenance and inspection. Aydın et al [7] investigated the calculation of optimum viscous dampeners to be placed between adjacent structures to prevent pounding effects. The optimum design under the earthquake loads was tested with an algorithm. Time history analyses were carried out by using El Centro earthquake record. 4 storey adjacent shear frames were modeled and proposed method was used. The effect of damper on structural behavior was demonstrated. The validity of the proposed method was proven. Aydın et al [8] formed the mechanical model of adjacent structures as a two single degree of freedom system. The rigidity of one of the structures was changed

while the other was kept constant. Time history analyses were performed by using El Centro earthquake data for different period ratios. The maximum relative displacements of the structures were obtained. Relative displacement response spectra graphs were plotted. Damper was placed between adjacent structures. The relative displacement response spectra obtained from as with damper and without dampers were compared. The dampers were seen to be extremely effective in preventing the pounding effect. Karabulut et al [9] modeled two adjacent structures with 4 and 6 storeys. Analyses were carried out using İzmit earthquake data linearly. Time-dependent deformation results were obtained in structures for different gaps. The gap required according to the Turkish Earthquake Code in order to prevent the pounding effect was compared with the results. Pala and Şaşmaz [10] investigated the effect of adjacent structures with different storey levels on the pounding force. Two 4-storey structures were modeled. Slab-column collision situations occurred in the structures. Dynamic analyses were carried out according to different slab thickness and gap. El Centro earthquake data were used in the analyses. The maximum pounding force values were obtained. The displacement values between the points where this force occurs were presented. It was said that the structure columns will be subjected to a maximum pounding force of 1360 kN. It was emphasized that the gap is very important for adjacent structures. Tekin and Pala [11] modeled two 6-storey structures with the same storey heights. The B3 irregularity was created by removing the columns in the structures. Dynamic analyses were carried out by using El Centro earthquake data according to different gaps. Maximum pounding forces and displacement values were obtained for cases with and without B3 irregularity. The irregularity increased the pounding force. According to the Turkish Earthquake Code 2007, pounding force was seen for the minimum gap of 7 cm. It was said that the gap should be increased in adjacent structures with irregularities.

In this study, existing two structures with different rigidity have been modeled. Time history analyses have been performed linearly by using Kocaeli earthquake accelerogram. The collision between structures has been defined by the nonlinear Hertz spring model. Storey heights and gaps in structures have been considered as variables. Displacements and pounding forces occurring in the structures have been presented. The sufficiency of the gap calculated according to the TBEC-2018 has been checked.

2. Material and Method

2.1. Collision Model

The collision between adjacent structures has been defined by using the Hertz spring model. Force transfer will start with a nonlinear spring as soon as contact between structures occurs. The interaction between the adjacent structures has been described as gap element in Sap 2000. Therefore, when the gap between the two structures is closed, contact will occur between the structures and pounding forces will occur. The Hertz spring model is designed as an analytical model without axial stiffness up to a certain distance. However, it detects the predicted stiffness after a certain displacement level. In this case, the spring model produces a compression force when the gap closes. The formation of the pounding force is stated in the equation 1 [12].

$$f_G(t) = \begin{cases} k_G [u(t) - d]^{3/2} & u(t) - d > 0 \\ 0 & u(t) - d \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

$u_i(t)$ and $u_j(t)$ are time-dependent displacements of adjacent structures in the same earthquake direction, respectively. $u(t)$ is described as $u_i(t) - u_j(t)$. k_G is the elastic spring rigidity in the gap element. d is the initial size of gap between structures [12]. k_G value is determined as $1.13 \times 10^9 \text{ N/m}^{3/2}$ by Jankowski. Based on experimental studies, it is recommended that this value should be used in

concrete-concrete collisions [13]. The relationship between displacement and pounding force in the spring model is shown in Figure 1 [14].

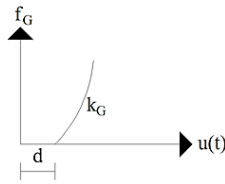


Figure 1. Pounding force-displacement relationship in the Hertz spring model

2.2. Numerical Example

As numerical example, existing two 4 storey structures have been modeled to investigate the pounding effect in the structures by using Sap 2000 program. Structure models used in the study are given in Figure 2.

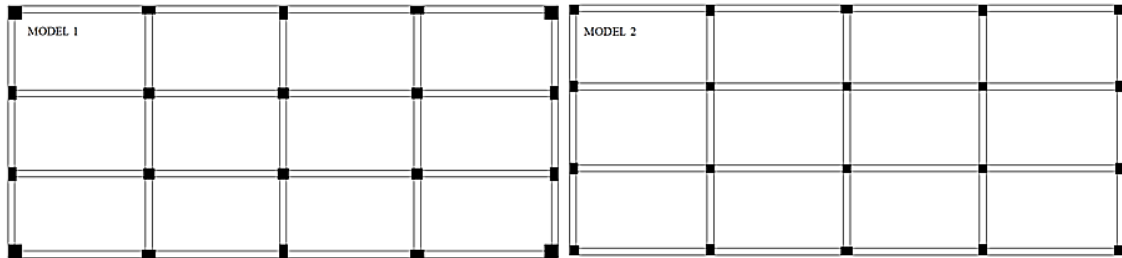


Figure 2. Models of structures

It is seen that both models have frame load-bearing system, same plan geometry and column layout. The difference between structures is the column sizes. Structures with different dynamic properties make different displacements during an earthquake. Collision occurs due to insufficient or lack of gap between structures. Hence, modeled the structures have different mass and rigidity. This rigidity difference between the structures is created by changing the column sizes. Model 1 and Model 2 are named as rigid structure and elastic structure, respectively. Column sizes in the structures are given in Table 1.

Table 1. Column types and sizes

Sizes of Columns (cm)		
Types of Columns	Model 1 (Rigid Structure)	Model 2 (Elastic Structure)
Corner Column	50×50	35×35
Edge Column	30×50	30×40
Center Column	40×40	30×30

Dimensions of spans in the x and y directions are 5 m and 3 m, respectively. Beam sizes are 25×50 cm. C25 concrete class and S420 steel material have been used. The elasticity modulus and unit volume weight of the concrete are 31×10^6 kN/m² and 25 kN/m³ respectively. Structures have been modeled according to TBEC-2018. Effective cross-section stiffness multipliers have been used modeling of the structural members. Dynamic analyses have been performed for two different cases. In collision model A, story heights of adjacent structures have been assumed to be equal and 3 m. So, collision have

occurred at story level. In collision model B, story height of the model 1 has been changed as 3.5 m. So, collision have occurred at different level of story. Collision models of structures are shown in Figure 3. Thus results have been obtained for slab-column and slab-slab collision cases.

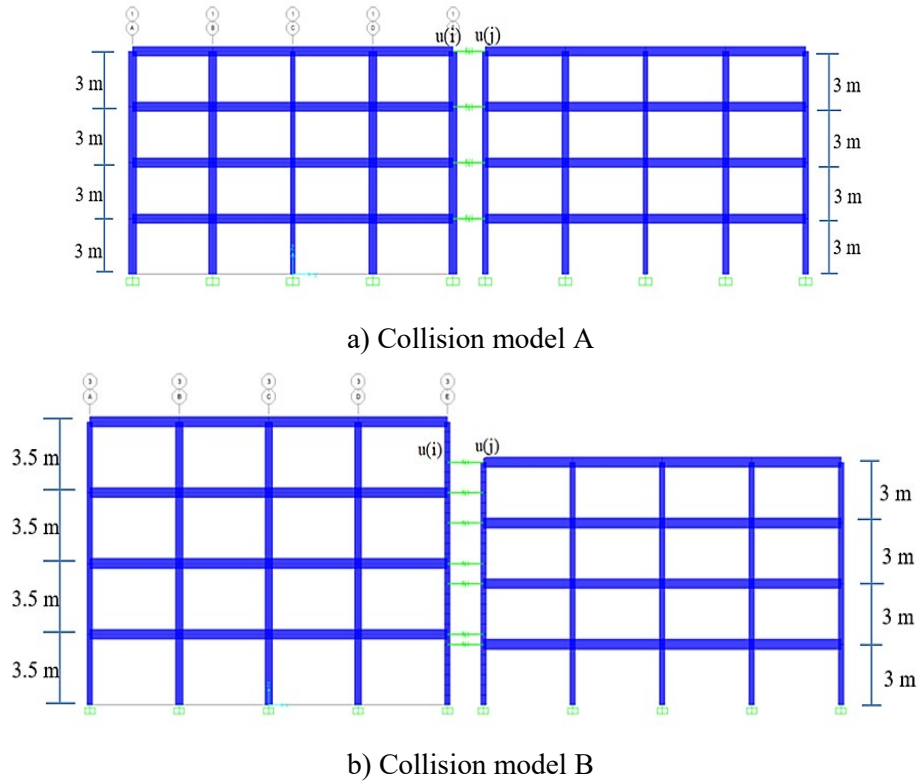


Figure 3. Collision models of the structures (a,b)

Collision effects between adjacent structures are represented by Hertz springs. Hertz springs are shown in Figure 3 with green lines. The Hertz spring model defined as the gap element is presented in Figure 4 [15].

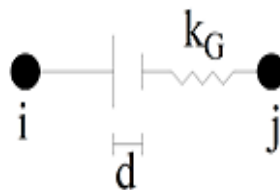


Figure 4. Hertz spring model

Time history analyses have been performed linearly by using Kocaeli earthquake east-west (E-W) component data according to different gaps. The coordinates of the earthquake station are 40.84364 latitude and 31.14888 longitude. Peak ground acceleration is 0.381 g. Accelerogram of Kocaeli earthquake is presented in Figure 5.

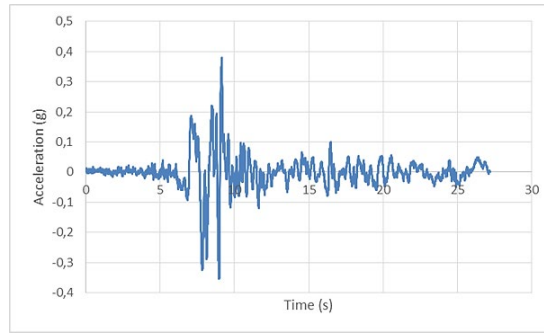


Figure 5. Accelerogram of Kocaeli earthquake

3. Results and Discussions

The pounding forces and displacement values of the existing structures have been determined after the dynamic analyses have been carried out by taking into account Kocaeli earthquake records. Pounding forces and displacement values at collision points have been obtained for different gaps. The numbers of collisions, time and collision levels change according to the mass of structure and gap between structures. Pounding forces for collision models A and B are given in Figures 6 and 7.

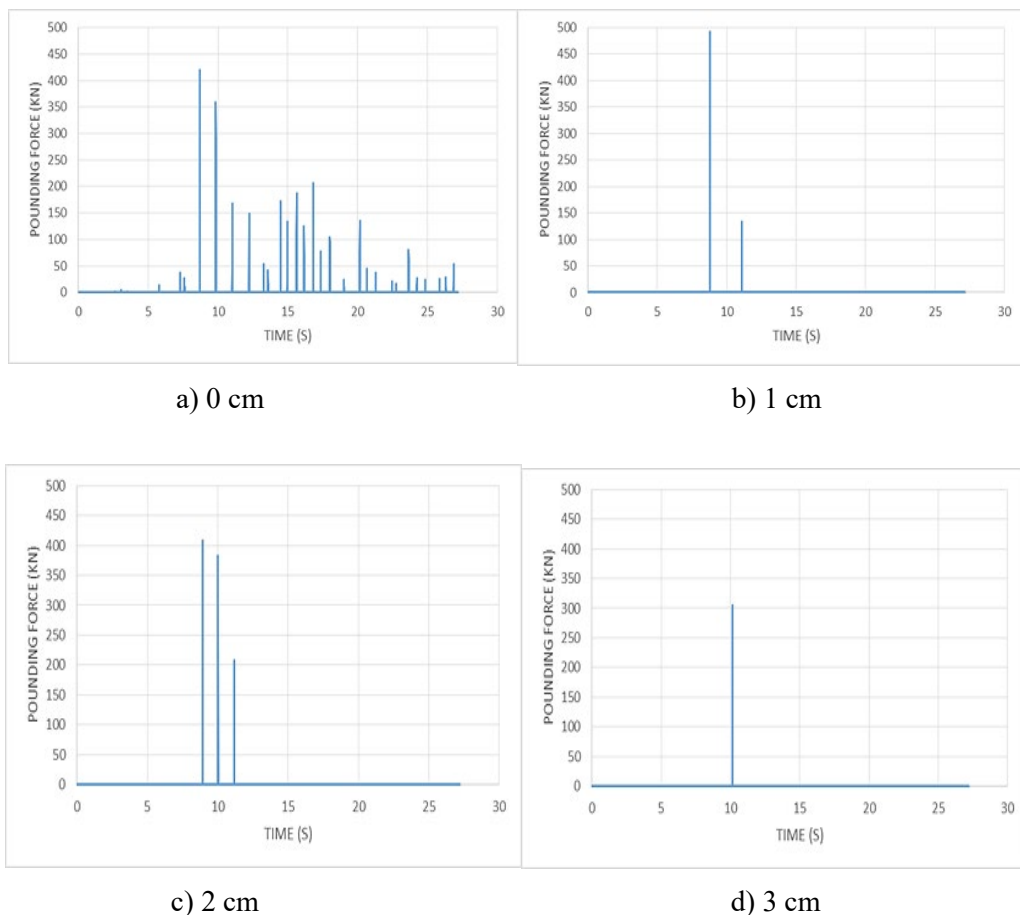


Figure 6. Maximum pounding forces according to different gaps (Collision model A)

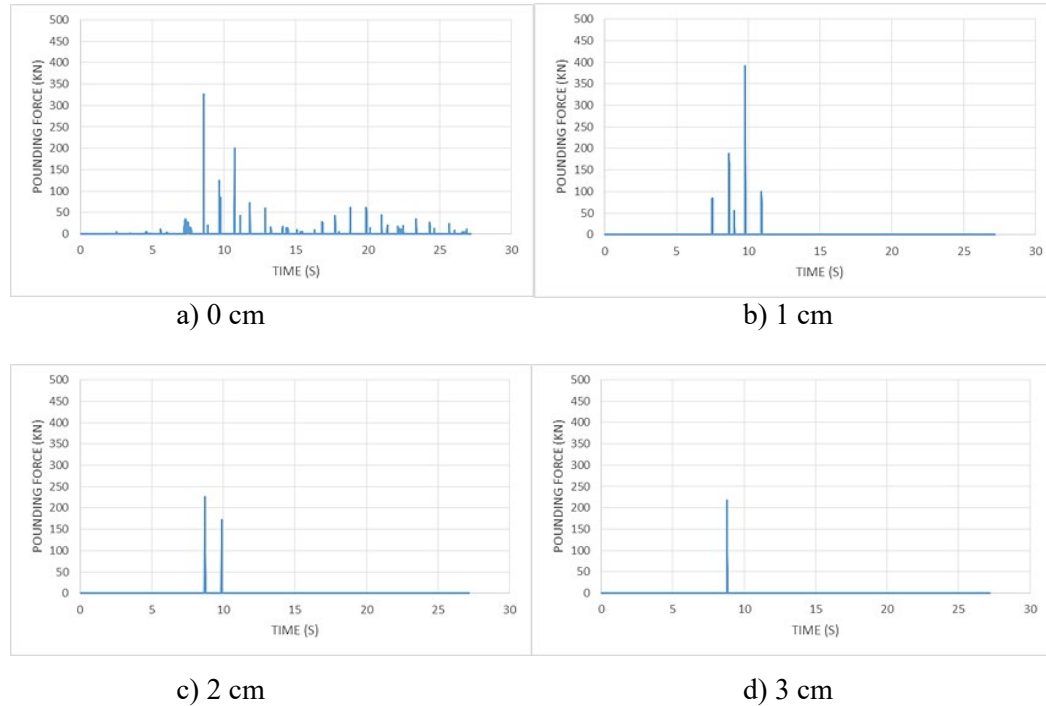


Figure 7. Maximum pounding forces according to different gaps (Collision model B)

Minimum gap is to be up to 6 m height at least 30 mm according to TBEC-2018. At least 10 mm must be added to this value for every 3m height after 6m [16]. According to the TBEC-2018, the minimum gap of existing structures is 5 cm. It is not given pounding force graphs for 4 cm and 5 cm gaps in Figures 6 and 7. Since collision in these gaps hasn't occurred. If the structures are adjacent (0 cm), force transfer occurs in all springs. As the gap increases, the number of collisions decreases. The pounding forces of collision model A are greater than collision model B. The locations where maximum pounding forces occur in Figures 6 and 7 are given in Table 2.

Table 2. Location and time of the maximum pounding force for collision models A and B according to different gaps under Kocaeli (E-W) ground motion

Gap (cm)	Collision Model A		Collision Model B	
	Location of Maximum Pounding	Time (s)	Location of Maximum Pounding	Time (s)
0	3rd Story Level	8.71	3rd Story Level Of The Elastic Structure	8.585
1	3rd Story Level	8.805	4th Story Level Of The Elastic Structure	9.785
2	4th Story Level	8.91	4th Story Level Of The Elastic Structure	8.71
3	4th Story Level	10.16	4th Story Level Of The Elastic Structure	8.8

In Table 2, the collision occurs at a later time since the gap increases. The collisions generally occur at the last two stories levels of the elastic structure. For 0 cm gap, collision have occurred at all story levels in collision models A and B. For 1 cm and 2 cm gaps, collision has occurred only at the 3rd and 4th story levels in collision model A. In collision model B, collision has occurred for 1 cm and 2

cm gaps, at every point between the 2nd story level of the rigid structure and the 4th story level of the elastic structure. For the 3 cm gap, structures have collided only at 4th story level of the elastic structure in collision models A and B. The maximum pounding force values obtained for each gap are given in Figure 8.

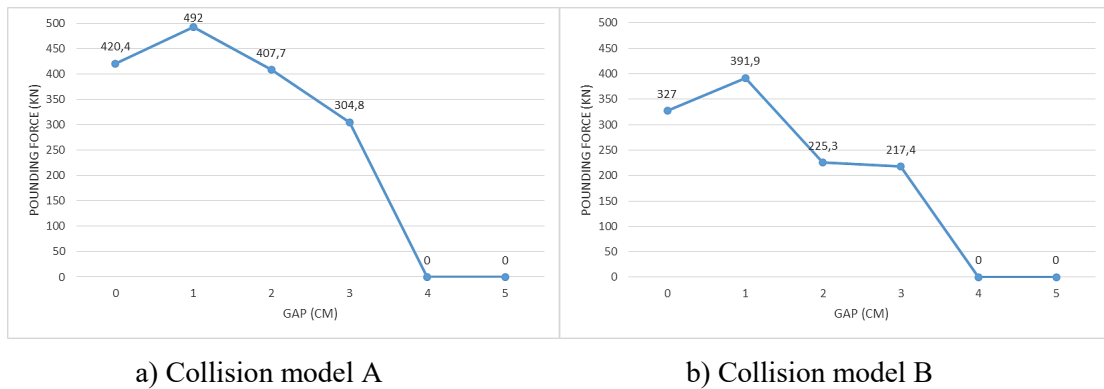


Figure 8. Change of maximum pounding forces according to different gaps (a,b)

The pounding force decreases as the gap increases as shown in Figure 8. Structures do not collide for 4 cm and 5 cm gaps in both collision models A and B. The displacement values at the point occurred of maximum pounding force is presented in Figures 9 and 10.

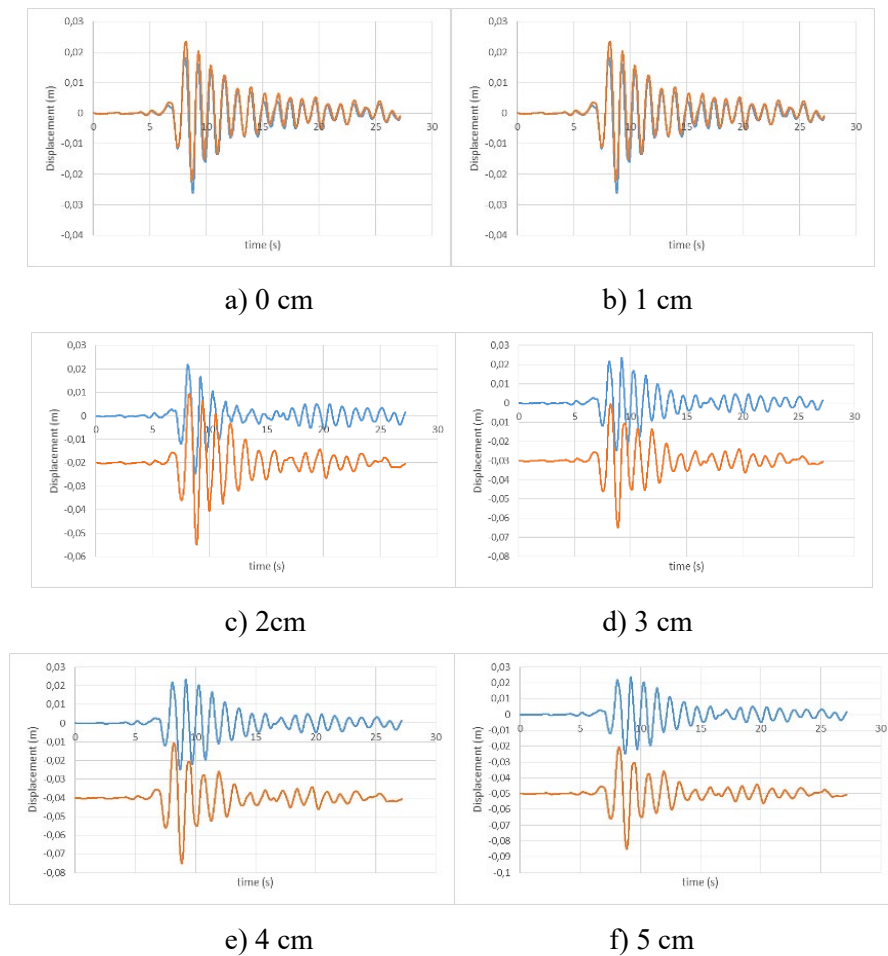


Figure 9. Time-dependent change of displacement for collision model A

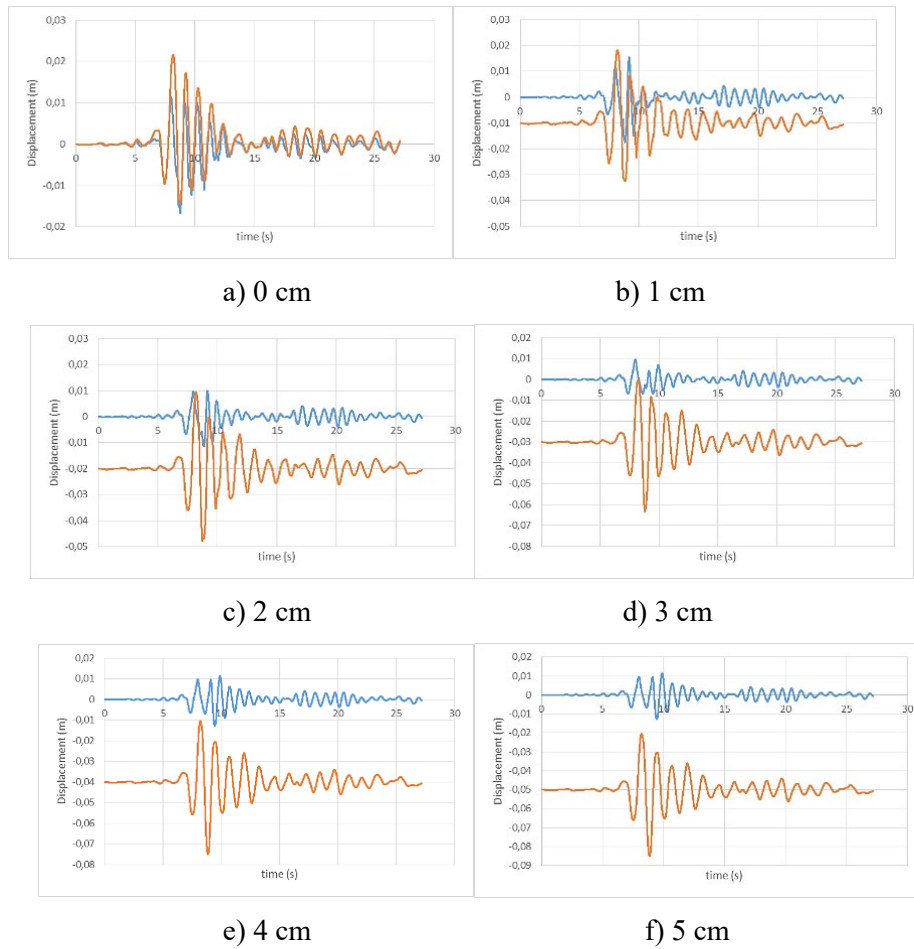


Figure 10. Time-dependent change of displacement for collision model B

In Figures 9 and 10, the orange line represents the elastic structure, while the blue line represents the rigid structure. Graphs obtained for 4 cm and 5 cm gaps are same in collision model A. Because the structures do not collide. Likewise, it is seen that the graphics are the same for 4 cm and 5 cm gaps in the collision model B. The displacement values of the rigid and elastic structure in collision model A are larger than in collision model B. In both collision models A and B with gaps of 2 cm and above, collisions have occurred at the same story levels. Therefore, the displacement values of the elastic structure in collision models A and B are close to each other for these gaps. However, it is clearly seen that there is a collision risk in the structures for 4 cm gap in both collision models. For 5 cm gap, this risk has occurred only in the collision model A. Therefore, gap has been increased and the displacement results of the existing two structures have been obtained for 6 cm. The results are presented in Figure 11.

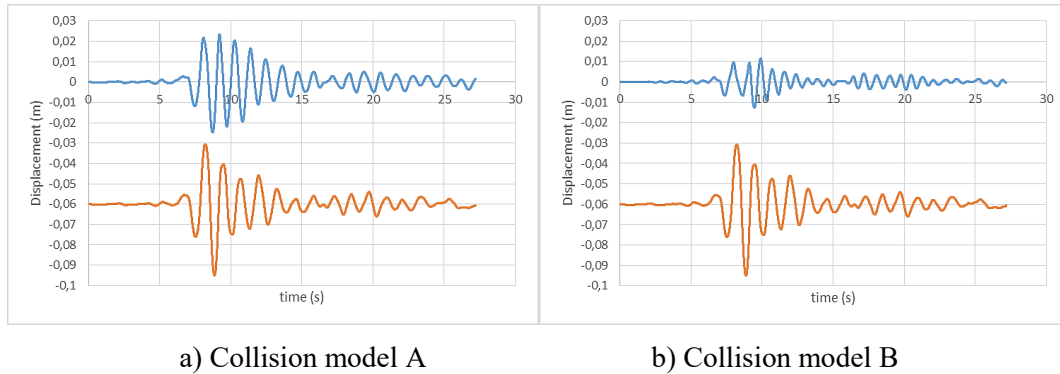


Figure 11. Time-dependent change of displacement according to 6 cm gap (a,b)

It has been determined that 6 cm gap is suitable for both collision models. When the 6 cm gap is selected, the structures in both collision models will not be subjected to pounding against a possible earthquake threat. The maximum displacement values at point occurred of the maximum pounding force are presented in Table 3.

Table 3. Maximum displacement values for collision models A and B according to different gaps under Kocaeli (E-W) ground motion

Gap	Collision model A		Collision model B	
	Rigid Structure (m)	Elastic Structure (m)	Rigid Structure (m)	Elastic Structure (m)
0	0.02159	0.02359	0.01674	0.02157
1	0.02009	0.02861	0.01757	0.02826
2	0.02481	0.03504	0.01142	0.03257
3	0.02481	0.03578	0.00966	0.03341

Maximum displacement values are given for the gap where the collisions occur in Table 3. If these results for collision model B are investigated, the rigid structure displacements are similar to the maximum pounding force diagram in Figure 8.b. Displacement values increase and decrease depending on the magnitude of pounding forces. As the gap increases, the displacement values of the elastic structure increase in both collision models.

4. Conclusions

It has been seen that the minimum gap calculated according to TBEC-2018 is sufficient in terms of structures. The number, time and force of collisions change according to gaps. For different gaps, maximum pounding forces have occurred at different story levels. For 1 cm, 2 cm and 3 cm gaps, collisions have occurred in one or two stories of the structures. If the structures are adjacent, the collision occurs on all stories. As the gap increases, pounding forces decrease. For the Kocaeli earthquake, collisions have not occurred in the structures, especially in gaps of 4 cm and above. However, there is a collision risk of structures for these gaps. It has been determined that this risk will not exist in both models for 6 cm gap. When the gap is 6 cm, it is concluded that the structures cannot be damaged due to pounding. Slab-slab and slab-column collisions have occurred for two different collision models. In both cases, it is seen that large amounts of pounding forces for insufficient gaps can affect structures and even cause serious damage to structures. When the gap between the structures is below 4 cm, pounding forces of about 500 kN and 400 kN are obtained in collision model A and collision model B,

respectively. Therefore, in terms of structural safety of adjacent structures, it is necessary to construct the structures in accordance with the minimum gaps stipulated in the TBEC-2018 at worst.

References

- [1] Hao H. Analysis of seismic pounding between adjacent buildings. *Australian Journal of Structural Engineering* 2015; 16: 208–225.
- [2] Noman M, Alam B, Fahad M, Shahzada K, Kamal M. Effects of pounding on adjacent buildings of varying heights during earthquake in Pakistan. *Cogent Engineering* 2016; 3: 1-19.
- [3] Tekin ÖF, Pala M. Collision analysis earthquake exposed adjacent structure which has weak storey irregularities. *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 2017; 5: 23-33.
- [4] Özkaynak H, Güler S. Reduction of seismic collision effect in reinforced concrete structure. In: 1st International Congress on Engineering and Architecture, Alanya, Turkey; 2018.
- [5] Inel M, Caycı BT, Kamal M, Altinel O. Structural pounding of mid-rise rc buildings during earthquakes. In: 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey; 2014.
- [6] Aydin E, Ozturk B, Cetin H, Simsek T. Application of viscous dampers for prevention of pounding in adjacent reinforced concrete buildings. In: 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile; 2017.
- [7] Aydin E, Ozturk B, Dikmen M. Optimal damper placement to prevent pounding of adjacent structures considering a target damping ratio and relative displacement. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences* 2017; 6: 581-592.
- [8] Aydin E, Ozturk B, Yesil L. Application of viscous dampers for prevention of pounding effect in adjacent buildings. In: 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia; 2010.
- [9] Karabulut M, Kartal ME, Özil E, Ünlü R. Investigation of earthquake joint pavement in reinforced concrete buildings. *Natural & Applied Sciences Journal* 2018; 1: 39-45.
- [10] Pala M, Şaşmaz Z. The effect of floor mass on the collision strength in different adjacent structures with different storey levels. *Journal of Engineering Science of Adıyaman University* 2019; 10: 265-281.
- [11] Tekin ÖF, Pala M. Effect of vertical element discontinuity on structure during seismic collision in load-bearing system. In: 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Pecs, Hungary; 2016.
- [12] Dertli HH, Sunca F, Akkose M. Pounding response between rc buildings with equal heights and different dynamic characteristics considering seismic zone 1 of Turkey. *Nevsehir Journal of Science and Technolog* 2017; 6: 362-370.
- [13] Jankowski R. Non-linear viscoelastic modelling of earth-quake-induced structural pounding. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2005; 34: 595-611.
- [14] Muthukumar S, DesRoches R. A hertz contact model with non-linear damping for pounding simulation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2006; 35: 811-828.
- [15] Computer and Structures Inc. *SAP2000: Integrated finite element analysis and design of structures*. California: Computers and Structures; 1998.
- [16] Disaster and Emergency Management Presidency of Turkey. *Turkish Building Earthquake Code*. 2018.

ATIK LASTİKLERDEN ELDE EDİLEN SİYAH KARBONUN ASFALTIN İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Tacettin GEÇKİL¹, Zülfükar AKSAĞAN², Ceren Beyza İNCE^{3*}

¹⁻³ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, 44280, Türkiye

²Munzur Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Tunceli, 62000, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 09.04.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 06.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.912209

ÖZET

Bu çalışmada, atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon (SK) katkısının asfaltın orta ve yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalta ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında SK eklenerek modifiye asfaltlar elde edilmiştir. Saf ve modifiye asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite testleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin bir ölçüsü olarak kabul edilen penetrasyon indeksi (PI) değerleri de hesaplanmıştır. Daha sonra, saf ve modifiye bağlayıcıların yüksek sıcaklıklarda bünyelerinde meydana gelen uçucu madde kaybı dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile, bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) deneyi ile belirlenmiştir. Fiziksel test sonuçlarına göre, SK katkısıyla bağlayıcıların sertleşme eğiliminin arttığı ve penetrasyon sınıfının B 100/150 olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca, SK katkısıyla bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin azaldığı bu bakımdan en uygun oranın %15SK olduğu görülmüştür. RV sonuçlarına göre, SK katkısıyla bağlayıcıların işlenebilirliklerinin azalarak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının yükseldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Asfalt, Siyah karbon, Modifiye asfalt, Sıcaklık hassasiyeti, İşlenebilirlik*

THE EFFECT OF CARBON BLACK OBTAINED FROM WASTE TIRES ON THE WORKABILITY OF ASPHALT

ABSTRACT

In this study, the effect of carbon black (CB) additive obtained from waste tires on the workability properties of asphalt at medium and high temperatures was investigated. For this purpose, modified asphalts were obtained by adding CB in proportions of 5, 10, 15 and 20% by weight to pure asphalt with penetration class B 160/220. The physical properties of pure and modified asphalts were determined by penetration, softening point and ductility tests. In addition, penetration index (PI) values, which are considered as a measure of the temperature sensitivity of the binders, were also calculated. Then, volatile matter loss in pure and modified binders at high temperatures was determined by the rolling thin film oven test (RTFOT), and the workability properties of the binders were determined by the rotational viscometer (RV) test. According to the physical test results, it was observed that the hardening tendency of the binders increased and the penetration class changed to B 100/150 with the addition of CB. In addition, it was observed that the temperature sensitivity of the binders decreased with the CB additive, and the optimum rate was 15%. According to the RV results, it was observed that the workability of the binders decreased and the mixing and compaction temperatures increased with the addition of CB.

Keywords: *Asphalt, Carbon black, Modified asphalt, Temperature sensitivity, Workability*

*³ e-mail: c.beyzaince@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6385-0964> (Sorumlu Yazar),

¹ e-mail: tacettin.geckil@inonu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8070-6836>,

² e-mail: aksaganzulfikar@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1217-5073>

1. Giriş

Artan taşıt miktarı ve değişen iklim koşulları sebebiyle klasik asfaltlar ile inşa edilen sıcak karışım asfalt (HMA) yol kaplamalarında yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi oturmaları, düşük sıcaklıklarda termal çatlaklar, orta sıcaklıklarda yorulma çatlakları ve su etkisiyle agrega-asfalt ayrışması gibi çeşitli deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlar, kaplamanın performansını düşürerek yolun sürüş konforunu ve güvenliğini tehlikeye atmakta ve projesinde öngörülen hizmet ömrünü azaltarak yol bakım-onarım masraflarının artmasına neden olmaktadır [1-3].

Klasik asfaltların performans özelliklerini iyileştirmek ve dolayısıyla HMA kaplama performansını arttırmak amacıyla saf asfalt bağlayıcılara çeşitli katkı malzemeleri eklenerek modifiye asfaltlar elde edilmektedir [4]. Bu amaçla, başta stiren-bütadien-stiren (SBS), stiren-bütadien-kauçuk (SBR), reaktif terpolimer (RET) ve etilen-vinil-asetat (EVA) gibi ticari polimerler başta olmak üzere, kauçuk, çeşitli filler malzemeler, yağlar ve çözücüler katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve kaplamaların performansı artırılmaya çalışılmaktadır [4-6].

Ancak yapılan çalışmalarda, ticari polimerlerin büyük çoğunluğunun yüksek maliyetleri sebebiyle, bu malzemelerin kullanımı çalışmaları sınırlandırmıştır. Bu sebeple, araştırmacılar son yıllarda asfalt modifikasyonunda atık malzemeleri kullanmaya başlamışlardır [5,7].

Kullanım ömrünü tamamlamış, yer bertaraf eden ve çevreye zarar veren her türlü malzeme “atık” olarak adlandırılmaktadır [8]. İnsanoğlunun günlük yaşamında beslenmeden ısınmaya hatta barınmaya kadar her türlü zorunlu veya sosyal ihtiyaç sonucunda çeşitli atık malzemeler meydana gelmektedir. Günümüzde atık malzeme denilince akla ilk plastikler gelse de, çeşitli tarımsal atıklar (zeytin, pamuk, ayçiçeği vb.), sanayi atıkları (lastik, pil, madeni yağ, cüruf vb.) ve ormansal atıklar (talaş, tomruk vb.) da atık malzemeler olarak bilinmektedir [9].

Bu çalışmada, atık araç lastiklerinden elde edilmiş olan siyah karbon katkısının asfaltın orta ve yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Siyah karbon (SK), karbon esaslı çok ince parçacıklardan (0,15-3,5 mikron) oluşan siyah renkli bir malzemedir. Bu malzeme, atık araç lastiklerinden piroliz yöntemi (oksijensiz ortamda, yüksek sıcaklıklarda ısıtılıp katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülmesi) ile üretilen bir geri dönüşüm ürünüdür. Dünyada her yıl yaklaşık 17 milyon ton atık araç lastiği oluşmakta olup, bu durum Türkiye’de yıllık 180.000–300.000 ton civarındadır [10-12]. Araç lastikleri her türlü fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmaya karşı çok dirençli malzemelerdir [12]. Bu sebeple, çevre dostu malzemeler sınıfına girmemekle birlikte bu malzemeler çoğunlukla daha basit çözümler olarak bilinen depolanmaya ya da yakılarak yok edilmeye çalışılmaktadır. Özellikle büyük yerleşim alanına sahip ve hızla büyüyen kentlerde yeterli kapasitede uygun depo alanı bulmak kolay olmamaktadır. Hızlı ve düzensiz bir yapılanma olduğundan, katı atık düzenli depo yerlerinin şehirlere çok uzakta seçilmesi ise bu atıkların taşınmasını pahalı kılmaktadır. Bu sebeple, atık araç lastiklerinin taşınması veya depolanması çok fazla tercih edilmemektedir. Ayrıca bu malzemelerin yakılarak yok edilmeye çalışılmasıyla da, çıkarmış oldukları zararlı gazlar sebebiyle çevreye ve canlılara büyük oranda zarar verdikleri için bu yöntemde tercih edilmemektedir [12,13]. Bu durumda, atık lastiklerin çevreye vermiş olduğu zararı en aza indirmek için, maliyetli ve çevre dostu olmayan çözümler yerine araştırmacılar bu atıkları geri dönüşüme kazandırarak tekrar kullanmaya çalışmışlardır [14,15].

SK katkısının bir iyileştirici olarak yol mühendisliğinde asfalt ve karışım modifikasyonunda kullanılması birçok araştırmaya konu olmuştur. Cong ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ticari SK katkısının bağlayıcıların yaşlanma direncini, yüksek sıcaklıklık performansını, termal ve elektriksel iletkenliğini arttırdığını ifade etmişlerdir [16]. Alataş ve ekibi, piroliz işlemiyle elde ettikleri SK katkısının asfaltın kıvamını ve tekerlek izine karşı dayanımını arttırdığını, ancak SK katkısının işlenebilirlik açısından %15 oranında sınır değerini aştığını ifade etmişlerdir [17]. Yao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, SK katkısının asfaltın tekerlek izine karşı dayanımını, yoğunluğunu ve esneklik modülünü geliştirdiğini ifade etmişlerdir [18]. Button ve arkadaşları SK katkısının asfalt bağlayıcıların kalıcı deformasyonlara karşı direncini geliştirdiğini ifade etmişlerdir [19]. Terrel ve arkadaşları SK katkı

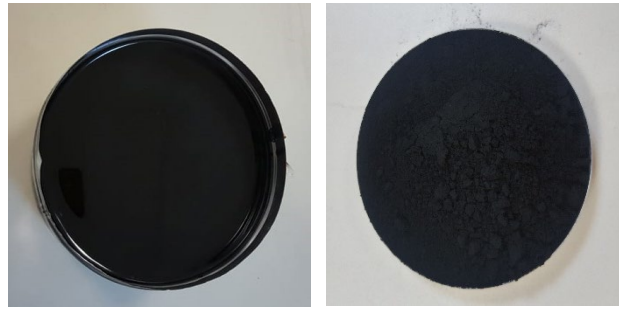
karışımların stabilitesini önemli ölçüde düzelttiğini ve karışımın rijitlik modülünü arttırdığını ifade etmişlerdir [20]. Ahmedzade vd. çalışmalarında SK katkısının asfalt karışımlarda filler malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda SK katkısının asfalt karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiğini görmüşlerdir [21].

Bu çalışmada ise, atık lastiklerin yenilenebilir enerji üretiminde kullanılabilmesi amacıyla kurulan bir piroliz tesisinde atık ürün olarak açığa çıkan SK katkısının modifiye asfaltların orta ve yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak saf ve SK katkılı bağlayıcıların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin ölçüsü olarak kabul edilen PI değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, RTFO deneyi ile kısa süreli yaşlandırmaya tabi tutulmuş ve bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri dönel viskozimetre deneyi ile belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1. Materyal

Bu çalışmada, asfalt modifikasyonunda bağlayıcı olarak penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalt, katkı malzemesi olarak siyah karbon (SK) kullanılmıştır (Şekil 1). Elazığ Karayolları 8.Bölge Müdürlüğü asfalt şantiyesinden temin edilen B 160/220 asfaltın (Şekil 1a) fiziksel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.



(a) (b)
Şekil 1. Saf asfalt (a), SK (b)

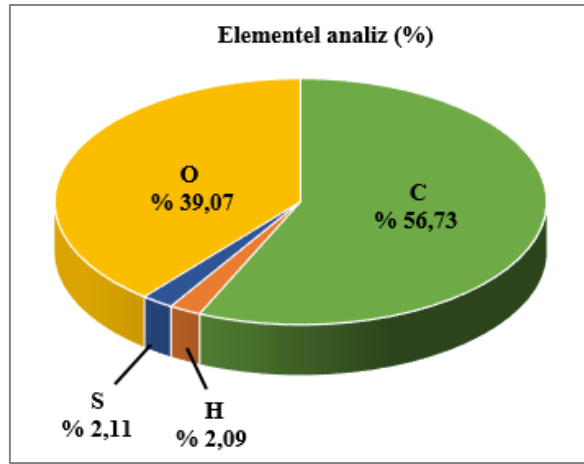
Çizelge 1. Saf asfaltın fiziksel özellikleri

Özellik	Standart	B 160/220	
		Limit	Sonuç
Penetrasyon (0,1mm)	ASTM D5	160-220	175,2
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	35-43	42,45
Düktilite (cm)	ASTM D113	Min. 100	>100
Parlama noktası (°C)	EN 22719	Min. 230	242
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,0 – 1,1	1,038
Kütle kaybı (%)	ASTM D2872	Maks.1	0,08

Katkı malzemesi olarak, Erzincan ERA Çevre Teknolojileri A.Ş’ den temin edilen ve atık lastiklerden elde edilmiş olan SK (Şekil 1b) kullanılmıştır. SK’nın özellikleri Çizelge 2’de, element analizi sonuçları ise Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. SK'nın özellikleri

Özellik	SK
Özgül ağırlık	1,7 – 1,9 gr/ml
Hacim özgül ağırlık	20-440 kg/m ³
Parlama noktası	Parlamaz
Renk	Siyah
Erime sıcaklığı	>3000 °C
pH	4-11
Görünüm	Toz, Pellet
Kütle kaybı (125 °C) (%)	0,5



Şekil 2. Element analizi sonuçları

2.2. Metot

2.2.1. Modifiye Asfaltların Hazırlanması

Çalışmada, siyah karbon modifiyeli asfaltlar elde etmek amacıyla saf asfalt 150 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Daha sonra, saf asfalta literatürle uyumlu olacak şekilde [17,22] ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında SK eklenerek 500 devirde 60 dakika boyunca aynı sıcaklıkta karıştırma cihazı ile karıştırma işlemi yapılmıştır. Tüm modifiye asfaltlar aynı işlem sırası takip edilerek hazırlanmıştır.

Elde edilen saf ve SK katkılı asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleri ile, kısa süreli yaşlandırılması dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile; asfalt bağlayıcıların işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) deneyi ile belirlenmiştir.

Çalışmada saf ve modifiye asfaltlar sırasıyla B, B+%5SK, B+%10SK, B+%15SK ve B+%20SK olarak kodlanmıştır.

3. Deneysel Yöntem

3.1. Asfalt Bağlayıcıların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Saf ve SK katkılı asfalt bağlayıcıların fiziksel özellikleri, penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite testleri ile belirlenmiştir.

Penetrasyon deneyi, asfalt bağlayıcıların sertliğini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Deney, 100 gr ağırlığındaki bir iğnenin 25°C sıcaklıkta 5 saniye süreyle asfalt içerisinde ilerlediği düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyon birimi 10^{-1} mm'dir (ASTM D5, TS EN 1426).

Yumuşama noktası deneyi, asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklara karşı direncini ölçmeyi amaçlar. Yumuşama noktası, standarda göre üzerine bir bilye yerleştirilmiş olan asfalt bağlayıcının belirli bir hızda ısıtılması sonucunda sıcaklığın artması ile yumuşamış bağlayıcının tabana temas ettiği andaki sıcaklıktır (ASTM D36, TS EN 1427).

Duktilite deneyi, asfalt bağlayıcıların uzama kabiliyetini ve kohezyon mukavemetini belirlemek için yapılır. Duktilite, standarda göre standart kalıp içerisinde hazırlanmış asfaltın, 25°C sıcaklıkta ve 5cm/dakika hızla her iki ucundan çekilerek kopuncaya kadar uzadığı mesafenin cm cinsinden ifadesidir (ASTM D113).

Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde kullanılan deney cihazları Şekil 3' de verilmiştir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3. Penetrasyon (a), yumuşama noktası (b) ve duktilite (c) deney cihazları

Fiziksel özellikleri tespit edilen asfalt bağlayıcıların, sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin bir ölçüsü olarak kabul edilen penetrasyon indeksi (PI) değerleri de denklem 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PI = \frac{1952 - 500 \times \log(Pen_{25}) - 20 \times SP}{50 \times \log(Pen_{25}) - SP - 120} \quad (1)$$

Denklem 1'de yer alan Pen_{25} , bağlayıcıların 25 °C'deki penetrasyon değerini, SP ise yumuşama noktası değerini ifade etmektedir. PI değerinin artması, asfalt bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinin azaldığını ve sertliğinin arttığını göstermektedir. Sıcak karışım hazırlanırken yüksek PI değerine sahip bir asfalt kullanıldığında, karışımların yüksek sıcaklıklarda tekerlek izi deformasyonuna, düşük sıcaklıklarda ise termal çatlamlara karşı daha dirençli hale geldiği değerlendirilmektedir [9].

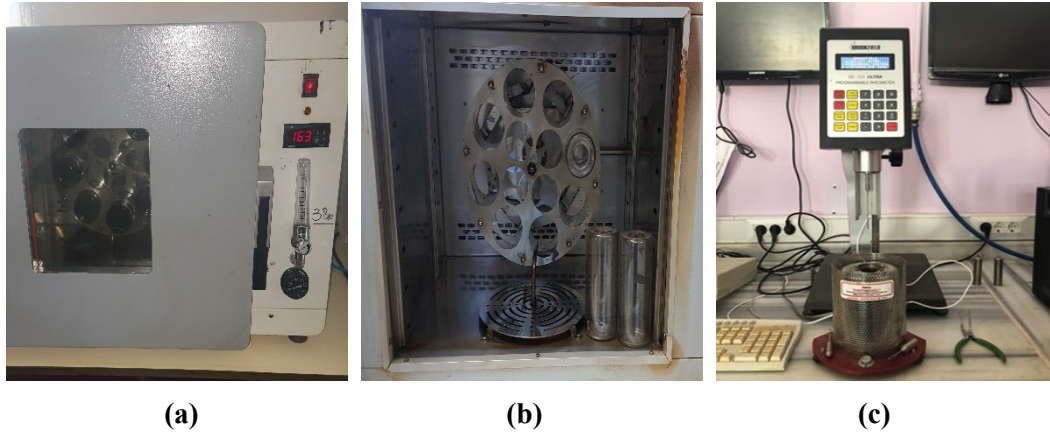
3.2. Asfalt Bağlayıcıların Kısa Süreli Yaşlandırılması

Asfalt bağlayıcıların bünyesinde zamanla sıcaklık, basınç, hava, radyasyon ve çevre etkileri ile meydana gelen kayıp "yaşlanma" olarak isimlendirilir. Bağlayıcıların karıştırma, sıkıştırma, taşıma ve depolama gibi servis öncesi süreçte sıcaklık ve hava etkileriyle yaşlanması "kısa süreli yaşlanma" olarak

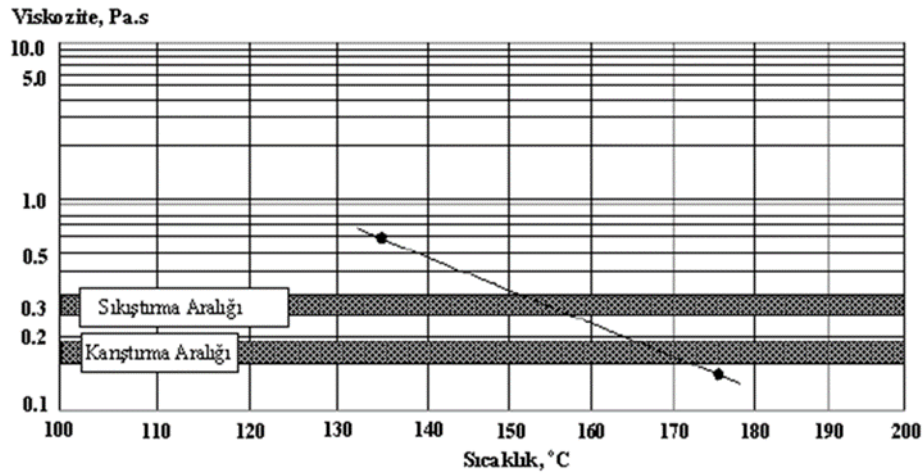
ifade edilmektedir. Asfalt bağlayıcıların kısa süreli yaşlanması laboratuvar ortamında dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile simüle edilmektedir. ASTM D2872 standardına göre gerçekleştirilen RTFO deneyinde (Şekil 4a), bağlayıcıdan 35gr'lık numuneler alınarak özel şişelere (Şekil 4b) doldurulur. Şişeler 163 °C sıcaklıkta dakikada 15 devir yapacak şekilde ayarlanmış cihaza yerleştirilir ve 80 dakika boyunca şişelere 4000±200 mL/dak olacak şekilde hava verilerek numuneler yaşlandırılır. Bağlayıcıların kütle kaybı, ilk kütle ile son kütle arasındaki farkın ilk kütleyle bölünmesi ile elde edilmektedir [2, 9, 23].

3.3. Asfalt Bağlayıcıların İşlenebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi

Asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki akışkanlık özelliklerinin tayin edilmesinde kullanılan RV deneyi (Şekil 4c), ASTM D 4402 standardına göre yapılmaktadır. Bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri, pompalanma, karıştırma ve sıkıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespiti amacıyla belirlenmektedir. Bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespiti için Asfalt enstitüsü tarafından, 135°C ve 165°C'deki viskozite değerlerinin tespit edilmesi önerilmektedir. Ancak, bağlayıcıların 135°C'deki viskozite değerlerinin 3000 cP'yi aşmaması istenmektedir. RV testi sonucunda bağlayıcıların çizilen viskozite-sıcaklık grafiği (Şekil 5) yardımı ile HMA'nın karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları da tespit edilmektedir. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespit edilmesi için sırasıyla 170±20 ve 280±30 cP viskozite sınırlarına karşılık gelen sıcaklık aralıklarının kullanılması önerilmektedir [23-25].



Şekil 4. RTFOT cihazı (a), RTFOT şişeleri (b) ve RV cihazı (c)



Şekil 5. Asfalt Bağlayıcı İçin Tipik Viskozite Eğrisi [26]

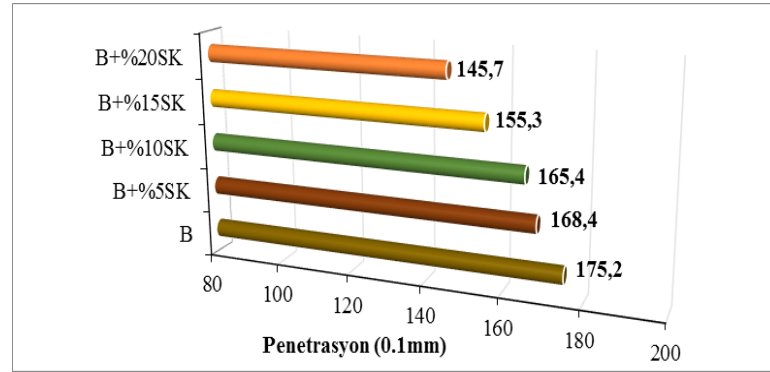
4. Deneysel Bulgular

4.1. Fiziksel Test Sonuçları

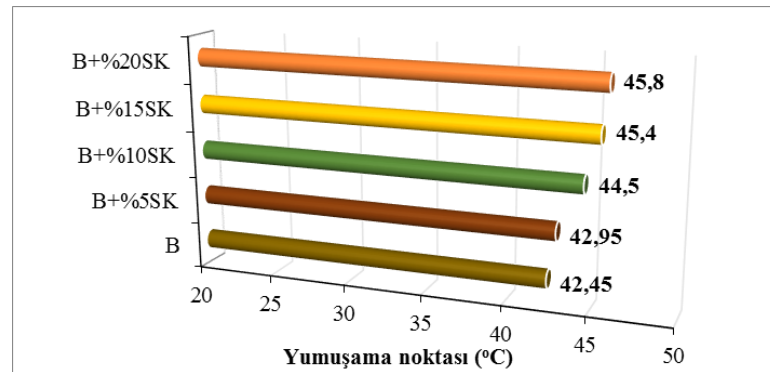
Çalışmada, saf ve SK katkıli asfalt bağlayıcıların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite testleri ile, kütle kaybı ise RTFO deneyi ile belirlenmiştir. Ayrıca tüm bağlayıcıların PI değerleri de hesaplanarak elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir. Saf ve SK katkıli bağlayıcıların fiziksel özelliklerinin SK içeriklerine göre değişimi ise sırasıyla Şekil 6-8’de verilmiştir.

Çizelge 3. Bağlayıcıların fiziksel test sonuçları

Özellik	Bağlayıcı türleri				
	B	B +%5SK	B +%10SK	B +%15SK	B +%20SK
Penetrasyon (0.1mm)	175,2	168,4	165,4	155,3	145,7
Yumuşama noktası (°C)	42,45	42,95	44,5	45,4	45,8
Duktilite (cm)	130	123	121	116	111
PI	0,37	0,39	0,88	0,92	0,79
RTFOT sonrası					
Kütle kaybı (%)	0,08	0,11	0,15	0,17	0,25



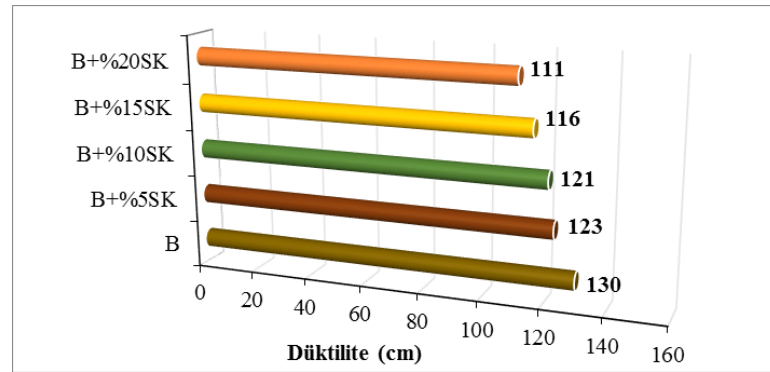
Şekil 6. Bağlayıcıların penetrasyon değişimleri



Şekil 7. Bağlayıcıların yumuşama noktası değişimleri

Şekil 6’da görüldüğü gibi, penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalta SK ilavesiyle (%5, 10, 15 ve 20) penetrasyon değerlerinde düzenli azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmalar saf asfalta kıyasla sırasıyla %3,9; %5,6; %11,4 ve %16,8 oranlarında olmuştur. SK ilavesiyle modifiye bağlayıcıların kıvamında meydana gelen sertleşmenin sonucu olarak, bağlayıcıların yumuşama noktası değerleri (Şekil 7) de saf asfalta kıyasla düzenli artış göstermiştir. Bu artışlar saf asfalta kıyasla sırasıyla %1,2; %4,8; %5,5 ve %7,9 oranlarında meydana gelmiştir. Bağlayıcıların SK katkısıyla penetrasyon

değerlerindeki azalma ile yumuşama noktası değerlerindeki artış [22], SK'nın bağlayıcıların sertliğini attırdığını ve SK katkılı bağlayıcıların daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceğini göstermektedir.

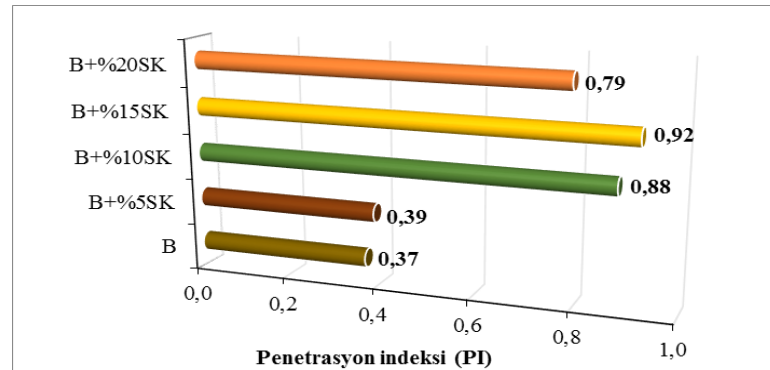


Şekil 8. Bağlayıcıların düktilite değişimleri

Bununla birlikte Şekil 8'de görüldüğü gibi, SK katkı oranı artışıyla asfalt bağlayıcıların düktilite değerlerinde de düzenli azalmalar meydana gelmiştir. Meydana gelen bu azalmalar saf asfalta kıyasla sırasıyla %5,4; %6,9; %10,8 ve %14,6 oranlarında olmuştur. Düktilite değerlerindeki azalma, bağlayıcıların kıvamında bir sertleşme meydana geldiğini ve bunun sonucu olarak bağlayıcıların uzama kabiliyetinin azaldığını göstermektedir. Ancak düktilite standardında (ASTM D113) saf asfalt için belirtilmiş olan en az 100 mm uzama yeteneği SK katkılı bağlayıcılar içinde göz önüne alındığında bu durum olumsuz olarak değerlendirilmemektedir [9].

Fiziksel test sonuçları birlikte göz önüne alındığında, SK katkısı ile bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana geldiği ve bu sertleşme sonucunda penetrasyon sınıfının B 100/150 asfalta dönüştüğü tespit edilmiştir. Bu sebeple, SK katkısı ile elde edilen asfalt bağlayıcıların daha sıcak bölgelerde karşılaşılan ve asfalttan kaynaklanan kalıcı deformasyonlara karşı kullanılabileceği ifade edilebilir.

SK katkı oranına bağlı olarak bağlayıcıların PI değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 9'da verilmiştir.

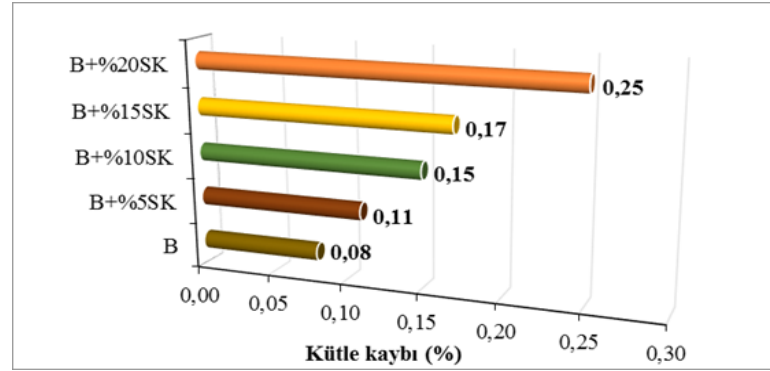


Şekil 9. Bağlayıcıların PI değişimleri

Şekil 9'da görüldüğü gibi, katkı oranı artışıyla asfalt bağlayıcıların PI değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Meydana gelen bu değişimler saf asfalta kıyasla sırasıyla %5; %138; %149 ve %114 oranlarında artış şeklindedir. SK katkısıyla bağlayıcıların PI değerlerinde meydana gelen artış, bağlayıcıların sertleşmesi sebebiyle sıcaklığa karşı hassasiyetlerinin azaldığını ifade etmektedir. Bu durumda, %15SK katkılı bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin en az olması sebebiyle özellikle yüksek sıcaklıklarda oluşan kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olacağı [9] ifade edilebilir.

4.2. Kütle Kaybı Sonuçları

Saf ve SK katkıli asfalt bağlayıcıların bünyelerinde meydana gelen uçucu madde kaybının tayini RTFOT ile belirlenmiştir. SK katkı oranına bağlı olarak (%5, 10, 15 ve 20), bağlayıcıların bünyelerinde meydana gelen kütle kaybı değişimleri Şekil 10'da verilmiştir.

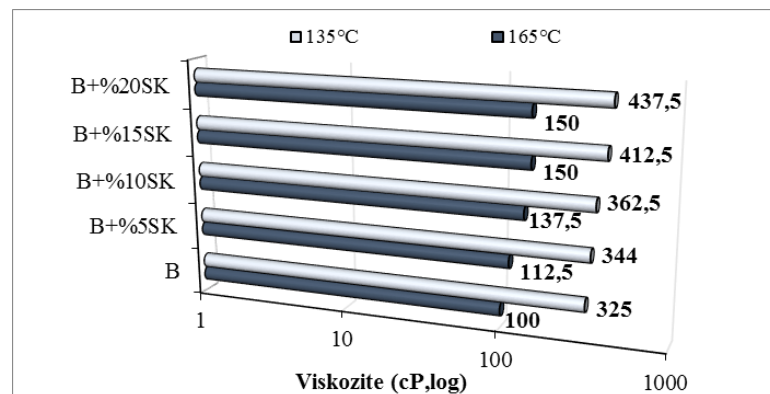


Şekil 10. Bağlayıcıların kütle kaybı değişimleri

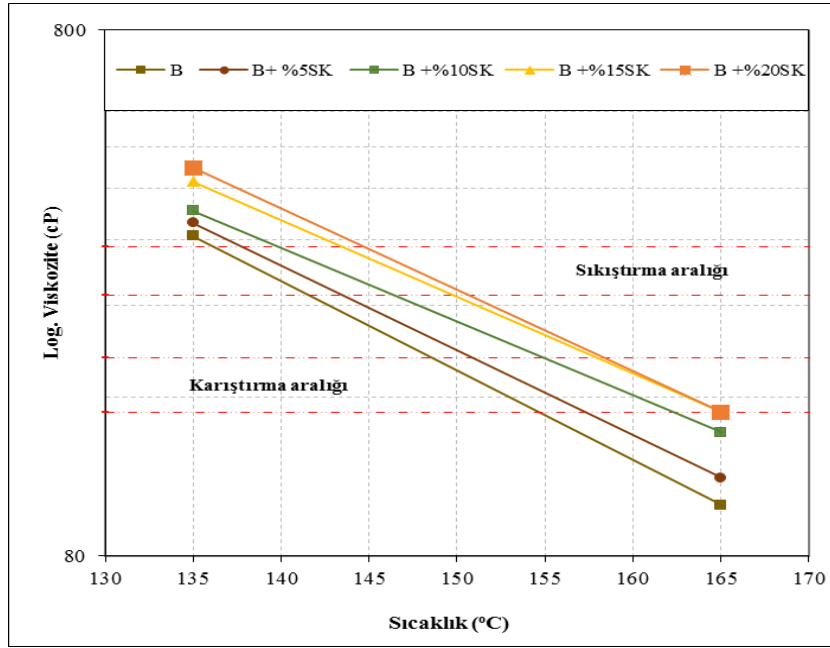
Şekil 10'da görüldüğü gibi, SK katkı artışıyla (%5, 10, 15 ve 20) modifiye asfaltların bünyesinde meydana gelen kütle kayıpları şartnamenin (ASTM D2872) öngördüğü sınırın (maks. 1,0) oldukça altında kalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, SK katkısının asfalt bağlayıcıların yaşlanması üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmadığı ve SK katkıli bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki oksidasyona karşı dirençli olduğu [9] görülmüştür.

4.3. RV Test Sonuçları

Saf ve SK katkıli asfaltların, 135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki viskoziteleri Brookfield DV-III dönel viskozimetre cihazı kullanılarak belirlendi. Asfalt bağlayıcıların işlenebilirlik sıcaklıkları olan plentteki karıştırma ve yoldaki serme sıcaklıkları, belirlenen bu viskozite değerleri yardımıyla oluşturulan sıcaklık-viskozite grafiği yardımı ile tespit edilmiştir. Saf ve SK katkıli bağlayıcıların viskozite değerleri Şekil 11'de, sıcaklık-viskozite grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Ayrıca, bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları ise Şekil 13'de verilmiştir.

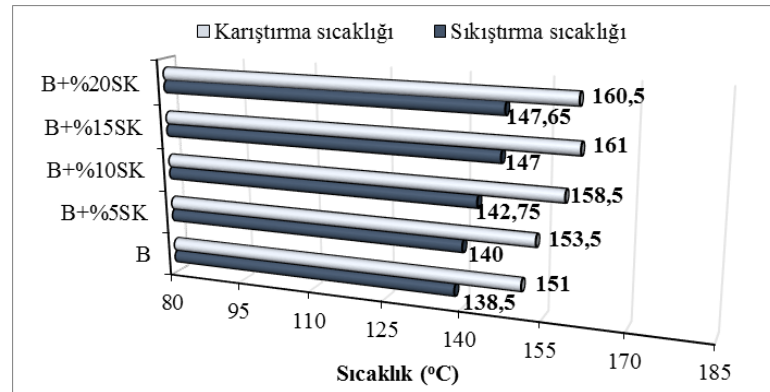


Şekil 11. Bağlayıcıların 135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki viskozite değerleri



Şekil 12. Bağlayıcıların sıcaklık-viskozite ilişkisi

Şekil 11 ve Şekil 12’de görüldüğü gibi, SK katkı oranı artışıyla bağlayıcıların 135 °C ve 165 °C sıcaklıklardaki viskozite değerlerinde önemli oranda değişimler meydana gelmiştir. 135 °C’de meydana gelen değişimler saf asfalta kıyasla sırasıyla %5,8; %11,5; %26,9 ve 34,6 artış, 165 °C sıcaklık için ise sırasıyla %12,5; %37,5; %50 ve %50 artış şeklindedir. Bu artışlar, SK ilavesiyle asfaltın kıvamında sertleşme meydana geldiğini ve bunun sonucu olarak akıcılığının azaldığını [22] göstermektedir.



Şekil 13. Bağlayıcıların ortalama karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları

Asfalt bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında meydana gelen değişimler ise saf asfalta kıyasla sırasıyla karıştırma için %1,7; %5; %6,6 ve %6,3 artış; sıkıştırma için ise %1,1; %3,1; %6,1 ve %6,6 artış şeklindedir. Katkı oranı değişimiyle (%5, 10, 15 ve 20) meydana gelen bu artışlara göre, %15 ve %20 SK oranlarında ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık artış hızının hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir (Şekil 13). Bu durumun, modifiye karışımdaki SK katkısının özgül ağırlığının, asfaltın özgül ağırlığından daha yüksek olması sebebiyle yüksek sıcaklıklarda viskoz hale gelen asfalt içerisinde dibe çökmesinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmaktadır.

Elde edilen bu sonuçlara göre, SK katkısının asfalt bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana getirerek yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özelliklerini azalttığı görülmüştür. SK katkısıyla bağlayıcıların ortalama karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının artış göstermesi, SK katkılı bağlayıcıların plentteki enerji sarfiyatını artıracaklarını göstermektedir.

Ancak, asfalt modifikasyonunda sıklıkla kullanılan ve etkinliği kanıtlanmış olan SBS gibi polimer katkıların karıştırma sıcaklıklarının 180 °C'ye kadar ulaştığı [9] ve bir atık olan SK'nın çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında bu enerji sarfiyatının göz ardı edilebileceğini söylemek mümkündür.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon (SK) katkısının asfaltın işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Penetrasyon deney sonuçlarına göre, SK katkı oranının artışı ile modifiye bağlayıcıların sertliğinin arttığı ve nispeten daha sert kıvamlı olan penetrasyon sınıfı B 100/150 asfalta dönüştüğü görülmüştür.

2. Yumuşama noktası sonuçlarına göre, elde edilen sonuçların penetrasyon sonuçları ile paralellik gösterdiği ve SK katkısıyla bağlayıcıların sertleşmesi sonucunda yumuşama noktası değerlerinin de artış gösterdiği görülmüştür. Penetrasyon ve yumuşama noktası sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, SK katkısıyla bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki deformasyon direncinin arttığı ve SK katkılı asfaltların nispeten daha sıcak bölgelerde kullanılabilmesi görülmüştür.

3. Düktilite deney sonuçlarına göre, SK katkısı ile bağlayıcıların sertleşmelerine rağmen uzama ve kohezyon yeteneklerinde önemli bir azalma meydana gelmediği görülmüştür. Bu durum, SK'nın asfaltı sertleştirdiği ancak elastik özelliğini geliştirdiği şeklinde yorumlanmaktadır.

4. PI sonuçları değerlendirildiğinde, SK ilavesiyle bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetinin azaldığı ve yüksek sıcaklığa karşı en dirençli bağlayıcının %15SK katkılı bağlayıcı olduğu görülmüştür.

5. Kütle kaybı sonuçlarına göre, SK katkısının bağlayıcıların yüksek sıcaklık ve oksidasyon direnci üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

6. RV sonuçlarına göre, SK katkısı ile bağlayıcıların kıvamında sertleşme meydana geldiği ve akıcılıklarının azaldığı, bunun sonucu olarak işlenebilirlik sıcaklıklarının artış göstererek daha fazla enerji tüketimi gerektireceği görülmüştür. Ancak, atık lastiklerin çevreye vermiş olduğu zarar ve yer işgali göz önüne alındığında bu enerji sarfiyatının göz ardı edilebileceği söylenebilir.

Sonuç olarak, SK katkısının asfaltın kıvamını sertleştirdiği ve işlenebilirlik sıcaklıklarını arttırdığı tespit edilmiştir. Ancak, atık lastiklerden elde edilmiş olan SK katkısının karayolu mühendisliğinde bir iyileştirici olarak kullanılmasının, bu atıkların çevreye vermiş olduğu zararı ve yer işgalini büyük oranda azaltacağı ve ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Biriminin **İÜ-BAP FYL 2016/99** numaralı projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Kasanagh SH, Ahmedzade P, Fainleib AM, Behnood A. Rheological properties of asphalt binders modified with recycled materials: A comparison with Styrene-Butadiene-Styrene (SBS), Construction and Building Materials 2020; 230: 117047.
- [2] Geçkil T, Önal Y, İnce CB. Atık Polietilen Tereftalat (PET) ile Modifiye Edilmiş Saf Bitümün Fiziksel, Morfolojik ve Isıl Özellikleri, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 32(1), 157-166.

- [3] Li X, Ouyang C, Yuan Y, Gao Q, Zheng K, Yan J. Evaluation of ethylene-acrylic acid copolymer (EAA) modified asphalt: fundamental investigations on mechanical and rheological properties, *Construction and Building Materials* 2015; 90: 44-52.
- [4] Tunç A. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2007.
- [5] Yıldırım Y. Polymer modified asphalt binders, *Construction and Building Materials* 2007; 21: 66-72.
- [6] Feng Z, Rao W, Chen C, Tian B, Li X, Li P, Guo. Performance evaluation of bitumen modified with pyrolysis carbon black made from waste tyres, *Construction and Building Materials* 2016; 111: 495-501.
- [7] Ahmedzade P, Fainleib A, Günay T, Grygoryeva O. Modification of bitumen by electron beam irradiated recycled low density polyethylene, *Construction and Building Materials* 2014; 69: 1-9.
- [8] Akyıldız H, Efe H, Önen F. Baraj Yapımında Atık Malzemelerin Kullanımı: Kadıköy Göleti Örneği, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2020; 11(1): 439-445.
- [9] Geçkil T, İnce CB, İssi S. Pirina modifiyeli bitümlerin yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirliği ve kalıcı deformasyon direnci, *Politeknik dergisi* 2021.
- [10] Anonim. Era Çevre Teknolojileri A.Ş. <https://eracevre.com/faaliyet/yenilenebilir-enerji-uretimi> (Erişim tarihi: 01.10.2021).
- [11] Eryılmaz H, Demirarslan KO. Ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) sıvılaştırılarak geri dönüşümünün araştırılması, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi* 2019; 2(1): 50-56.
- [12] Demir APT, <http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2452-arac-lastiklerinin-geri-doenuesuemue-uezerine-bir-derleme> (Erişim tarihi: 01.10.2021).
- [13] Adhikari B, De D, Maiti S. Reclamation and recycling of waste rubber, *Progress in Polymer Science* 2000; 25: 909-948.
- [14] Zhang SL, Xin ZX, Zhang ZX, Kim JK. Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder, *Waste Management* 2009; 29: 1480-1485.
- [15] Wu B, Zhou MH, Recycling of waste tyre rubber into oil absorbent, *Waste Management* 2009; 29: 355-359.
- [16] Cong P, Xu P, Chen S. Effects of carbon black on the anti aging, rheological and conductive properties of SBS/asphalt/carbon black composites, *Construction and Building Materials* 2014; 52, 15: 306-313.
- [17] Alataş T, Yılmaz M, Kök BV, Çeloğlu ME, Akpolat M, Yamaç ÖE, Yalçın E. Öğütülmüş araç lastiğinin ve Piroiliz İşleminde Sonra Oluşan Karbon Siyahının Bitümlü Bağlayıcıların Reolojik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2018; 23(1): 311-328.
- [18] Yao Z, Monismith CL. Behavior of Asphalt Mixtures With Carbon Black Reinforcement, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists* 1987; 32.
- [19] Button JW, Little JL, Kim Y, Ahmed J. Mechanistic Evaluation of Selected Asphalt Additives, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists* 1987; 56.
- [20] Terrel RL, Rimstrington S. Evaluation of Wood Lignin as a Substitute or Extender for Asphalt, Report FHWA/RD-80/125 1980; FHA, Washington DC.
- [21] Ahmedzade P, Alataş T, Geçkil T. Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı, *İMO Teknik Dergi* 2008; 297: 4493-4507.
- [22] Notani MA, Arabzadeh A, Satvati S, Tabesh MT, Hashjin NG, Estakhri S, Alizadeh M. Investigating the high-temperature performance and activation energy of carbon black-modified asphalt binder, *SN Applied Sciences* 2020; 2: 303.
- [23] Geçkil T, Seloğlu M. Performance properties of asphalt modified with reactive terpolymer, *Construction and Building Materials* 2018; 173: 262-271.
- [24] McGennis RB, Shuler S, Bahia HU. Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, Publication FHWA-SA-94-069, Federal Highway Administration 1994, USA.
- [25] Zaniewski JP, Pumphrey ME. Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, Asphalt Technology Program 2004, West Virginia, USA.

- [26] Alataş T, Kizirgil ME. Saf ve polimer modifiyeli bitümlü bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının dönel viskozimetre deneyi ile belirlenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2012; 28(3): 249-256.

KAZINMIŞ ASFALT MALZEMELERİN BETON KARIŞIMINDA İNCE AGREGA YERİNE İKAME EDİLMESİNİN FARKLI ORTAM ISISI ALTINDAKİ BETONLARIN BASINÇ DAYANIMLARINA ETKİSİ

M. Fatih ŞAHAN^{1*}, Uğur CANPOLAT²

¹⁻² Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 24.04.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.07.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.927197

ÖZET

Bu çalışmada ömrünü tamamlamış, karayolu kaplamalarının kazınması sonucu ortaya çıkan kazınmış asfalt malzemelerin (KAM) hiçbir işlemle geçirilmeksizin sadece elenmek suretiyle beton karışımında ince agregaya yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ince agregaya yerine toplam beton hacminin % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında ince KAM ikame edilerek 100 mm'lik küp numuneler üretilmiştir. Kür sonunda sudan çıkarılan numuneler 24 saat süreyle farklı ortam ısılarında, bir set 25°C, bir set 50°C ve bir set de 75°C ısıda bekletilmiştir. Basınç testleri sonucunda gerek ince KAM ikamesinin artması gerekse ortam ısının artması ile basınç dayanımında azalmalar gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler ince KAM katkılı betonların üretilebileceğini ve kullanılacağını göstermiştir. İnce KAM'ın betonda kullanılması ile karayollarının yenilenmesi veya tamiri sonucunda ortaya çıkan atıkların maliyetsiz olarak geri dönüştürülmesi sağlanmış olacaktır. Böylece hem ülke ekonomisine katkıda bulunulacak hemde doğal agregaya kaynaklarının hızlı tükenmesi engellenecek ve doğal ortamın korunmasına katkı sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm, Kazınmış asfalt malzeme, Basınç dayanımı, Sıcaklık etkisi

THE EFFECT OF SUBSTITUTING SCRAPED ASPHALT MATERIALS FOR FINE AGGREGATE IN CONCRETE MIXTURE ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETES UNDER DIFFERENT AMBIENT TEMPERATURES

ABSTRACT

In this study, the usability of Reclaimed asphalt pavement (RAP), which is the result of the scraping of the road pavements, was investigated in concrete mix instead of fine aggregate by sieving without any treatment. For this purpose, 100 mm cubic samples were produced by substituting fine RAP at 5, 10, 15 and 20% of the total concrete volume instead of fine aggregate. Samples removed from water at the end of curing were kept at different ambient temperatures for 24 hours, one set at 25 ° C, one set at 50 ° C and one set at 75 ° C. As a result of the pressure tests, decreases in compressive strength were observed with both the increase of the fine RAP substitution and the increase in the ambient temperature. The data obtained showed that fine RAP substituted concretes can be produced and used. With the use of thin RAP in concrete, it will be ensured that the waste generated as a result of the renewal or repair of highways can be recycled without cost. Thus, along with the contribution to the national economy, the rapid depletion of natural aggregate resources will be prevented and also contributed to the protection of the natural environment.

Keywords: Recycling, Reclaimed asphalt pavement, Compressive strength, Temperature effect

^{*1} e-mail: mfs@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3334-3945> (Sorumlu Yazar),

² e-mail: cnpltugur@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3916-6302>

1. Giriş

Zaman içerisinde değişen ve teknolojiyle gelişen dünyamızda her geçen gün yeni bir ihtiyaç ve farklı beklentiler ortaya çıkmaktadır. İnşaat sektörü de bu değişim dünyasında bir parçadır. Kendi içerisinde gelişmekle beraber yeniliklere daha açık hale gelmektedir. Özellikle beton üzerine yapılan çalışmalar inşaat alanının yapı taşı niteliğinde olan çalışmalardır. İhtiyaçların artması ve ihtiyaca uygun tasarım yönünden farklı betonlar üretilmektedir. Beton bu değişim sayesinde farklı bir sektör konumuna gelmiştir. Betona farklı nitelik kazandırmak yapısını değiştirmekle mümkündür. Beton içerisinde mevcut yapı malzemelerine oranla, beton içerisine katılan katkı niteliğinde malzemeler elbette betona farklı özellik yükleyecektir. Beton içerisine ikame edilen bu malzemelerle amaca uygun beton üretimi yapılmaktadır. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda ekonomiklik sağlamak adına beton içerisine yapı malzemeleri katılmaktadır.

Ömrünü tamamlamış asfalt yolların, üst kaplaması kazınarak alınır ve alınan kaplamanın yerine yeni asfalt karışımı serilerek sıkıştırılır. Kazınan asfalt kaplamalar genelde atık malzeme depolama sahalarında toplanmaktadır. Açık sahalarda depolanan kazınmış asfalt malzemeler zamanla, içerisindeki petrol esaslı bitümün, farklı iklim koşullarına bağlı olarak akması sonucu yeraltı sularına zarar verebilmekte ve yeraltı sularımız kirlenebilmektedir. Karayollarının bakım ve onarım esnasında faydasal ömrünü tamamlamış olan yol üstyapısında kullanılan asfalt kaplamanın bazı işlemlerden geçirilip yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir [1]. Ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların kazınarak geri dönüştürülmesi işlemi yeni malzeme ihtiyacında azalma meydana gelerek olumlu etki sağlamaktadır. Ayrıca yeniden değerlendirilen bu atıkların atık sahalarında depolanmasının da önüne geçilerek çevreyi korumaya katkı sağlanmış olunur [2]. Kazınmış atık asfalt malzemelerin beton içerisine agrega yerine ikame edilmesiyle hem atık depolama sahalarının oluşumu engellenebilir hem de doğal agrega kaynakları korunarak ekonomik avantaj elde edilebilir [3].

Atık malzemelerin değerlendirilerek beton karışımında kullanılabilirliği üzerine son zamanlarda pek çok çalışma yapılmış olup, yapılan çalışmalarda inşaat mühendisliği açısından cazip gelmiştir. Beton içerisinde kullanılan atık malzemeler agrega veya katkı olarak değerlendirilmektedir. Kazınan asfaltın tekrar beton karışımına dâhil edilmesi, agregayla beraber kullanılmasıyla gerek doğal agrega kaynakları korunmuş olup gerekse ekonomik olarak fayda sağlanmış olacaktır [3].

Akçaözöğlü [4] yaptığı çalışmada atık PET şişe kırıklarının betonda agrega yerine ikame edilemeyeceğini araştırmıştır. Deneylerde sadece atık pet şişe kullanmış ve pet ve kum agregası diye iki grup beton üzerinde incelemeler karşılaştırmalar yapmıştır. Deneyler sonucunda, atık pet şişe kırıklarının depreme dayanıklılık açısından kullanılabilirliği, hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve olumlu sonuçlar elde etmiştir. Akyıldız [5] yaptığı çalışmada beton içerisine ikame edilen bor atığı ve zeolit mineralinin dayanıma etkisi ve betonun kullanılabilirliğini araştırmıştır. Hazırlanan numunelerde taze beton deneyleri yapılmış, farklı kür sürelerinde havuzda bekletildikten sonra sertleşmiş beton deneylerine tabi tutulup betonun fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Çelik ve Gürdal [6] yaptıkları çalışmada yerfistiği kabuğunun beton içerinde agrega yerine kullanılmasının mekanik mukavemete etkisini araştırmışlardır. Yerfistiği kabuğu agregası sayesinde ağırlığı düşük, mukavemeti yerinde beton üretimi amaçlanmıştır. Yerfistiği kabuğu kullanılarak üretilen beton numunelere süneklik bakımından artış gözlemlenmiştir. Demirdağ ve Gündüz [7] yaptıkları çalışmada cüruf gibi volkanik kökenli malzemelerin beton içerinde TS ve ASTM standartlarına göre uygunluğunu araştırmış ve hafif beton agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Gürer ve ark. [8] yapıları çalışmada inşaat sektöründe geri dönüşüm olarak kullanılacak atıkları araştırmışlardır. Dünya üzerinde atık değerlendirme örneklerini incelemiştir. Özer [9] yaptığı çalışmada atık malzemelerin, tuğla tozu, uçucu kül, mermer tozu gibi mineral katkı malzemelerin betonda kullanılmasının basınç, eğilme, aşınma, gibi etkilere karşı dayanım ve dayanıklılığını incelemiştir. Deneylerde bu katkı minerallerini çimento yerine ikame etmiştir. Deneyler neticesinde uçucu kül hariç diğer katkı malzemelerin betonun işlenebilirliğini ve dayanımını azalttığını saptamıştır. Öztürk [10] çalışmasında atık su filtre kekinin betonda değerlendirilmesini araştırmıştır. Karışımlarda çimento yerine %15, 30 ve 60 oranlarında atık su filtre keki ikame ederek farklı beton karışımları üretilmiştir.

Üretilen karışım numunelerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda atık su filtre kekinin betonda olumsuz bir etkiye sebep olmadığı, dayanımı azaltma yönünde bir artış göstermediğini gözlemlenmiştir. Betonun fiziksel ve mekanik durumu dikkate alındığında atık su filtre keki katkılı betonların kullanılabilir olduğunu saptamıştır. Işıkdag [3] yaptığı çalışmada kazınmış asfalt kırıklarının betonda agregaya yerine kullanılmasını incelemiş ve beton yollar için kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yaptığı deneylerde, 4-16 mm ve 16-31.5 mm boyutlarında atık asfalt kırıklarını agregaya yerine %0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında kullanarak 300, 350 ve 400 dozajlı beton numuneler üretmiştir. Üretilen numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş deneyler yapılmıştır. Akpınar [11] yaptığı çalışmada bitüm kaplı agregaların doğrudan beton içerisinde kullanılarak beton yollara uygunluğunu araştırmıştır. Asfalt kırıklı betonların yaygınlaşmasıyla ekonomiye katkı sağlayıp sağlamayacağını araştırmıştır. Farklı karışımlar oluşturularak asfalt parçacıklı beton numuneler üretmiştir. Gergerli [12] yaptığı çalışmada karayollarından temin edilen kazınmış asfalt yığınları alıp herhangi bir işleme tutulmaksızın sadece eleme ile farklı boyutlarda agregaya elde etmiştir. Elde ettiği agregalardan iri agregayı beton içerisine belirli oranlarda ikame edip elde edilecek betonun saha betonu olarak kullanılabilirliğini araştırmayı hedeflemiştir. Çalışmasında beş farklı karışım ve üç farklı ortam ısısı altında deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışması neticesinde kazınmış asfalt ikameli betonların bir bütün halini aldığını ve dağılmadığını gözlemlenmiştir. Sonuç olarak kazınmış asfalt ikameli betonların saha betonu olarak kullanılabilirliği sonucuna varmıştır. Canpolat [13] çalışmasında karayollarından yenilenmesi sonucu ortaya çıkan atık malzeleri ellemek suretiyle artaya çıkan ince malzemeyi beton içerisinde ince agregaya yerine ikame etmiştir.

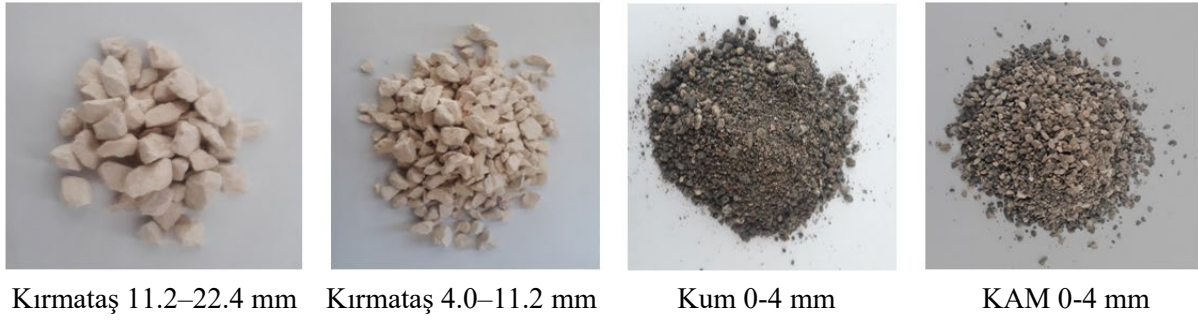
Yukarıdaki verilen çalışmalardan anlaşıldığı üzere gerek çeşitli endüstriyel atıkların gerekse farklı malzemelerin beton içerisinde agregaya yerine kullanıldığı çalışmalara çokça rastlanmaktadır. Yapılan literatür incelemesi sonucunda atık asfalt kırıklarının agregaya yerine kullanıldığı çalışmaya rastlanmıştır. Olmasına rağmen kazınmış asfalt malzemelerin ince agregaya yerine kullanılarak üretilen beton numunelerinin farklı ortam ısılarındaki (25°C, 50°C ve 75°C) statik ve dinamik davranışlarının araştırıldığı herhangi bir çalışmaya yazarın bilgisi dahilinde rastlanmamıştır.

Bu çalışmada asfalt yolların yenilenmesi sonucunda ortaya çıkan atık malzemelerin geri dönüştürülerek saha betonlarında kullanılması ve böylece doğal agregaya kullanımının azaltılmasına katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kazınmış asfalt malzemeler hiçbir işlemle geçirilmeksizin sadece elenmek suretiyle, beton içerisinde ince agregaya yerine ikame edilmiştir. Deneylerde kullanılan kazınmış asfalt malzeme 0-4 mm ebatlarında olup, ince agregaya yerine %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ikame edilmiştir. Karışımlarda kaba agregaya 12-19 mm, orta agregaya 5-12 mm, ince agregaya olarak 0-4 mm boyutlarında dere kumu seçilmiştir. Beton karışımı için CEM II 42.5 R Portland çimentosu kullanılmış ve çimento dozajı olarak 350 kg/m³ alınmıştır. Üretilen numuneler farklı ısı koşullarında (Bir set 25°C, bir set 50°C ve bir set 75°C) bekletilerek ince KAM ikameli betonların davranışları araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Yapılan deneysel çalışmada, hâlihazırda bulunan kazınmış asfalt malzemenin (KAM) beton içerisinde ince agregaya yerine genel karışımın hacimce %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ikame edilmesiyle betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonların, farklı ortam ısılarına (oda şartları (25°C), 50°C ve 75°C) maruz bırakılarak davranışlarının araştırılması beton dayanım özelliklerinin belirlenmesi adına yapılan çalışmalardır.

Hazırlanan beton karışımlarında iri agregaya %60 ince agregaya ise %40 oranında kullanılmıştır. Kullanılan iri agreganın %50'si 11.2-22.4 mm boyutlarında kırmataş, %50'si ise 4.0-11.2 mm boyutlarında kırmataştır. Beton üretimlerinde Karayolları 57. Şube Şefliği'nden temin edilen KAM kullanılmıştır. Beton karışımlarında kullanılan malzemeler Resim 1'de verilmiştir.

**Resim 1.** Beton karışımlarında kullanılan malzemeler

Beton karışımında kullanılan çimento dozajı ise 350 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Beton karışımı için kontrol numuneleri (3 adet), CEM II/A-M(P-LL)42.5 R Portland Kompoze çimento çimentosu (Ç), dere kumu 0–4 mm (K), 11.2–22.4 mm kırmataş (KT I) ve 4–11.2 mm kırmataş (KT II) kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımlarında iri agrega (KT I ve KT II) %60 ince agrega (K) ise %40 oranında kullanılmıştır. Kullanılan iri agreganın %50'si 11.2–22.4 mm boyutlarında kırmataş, %50'si ise 4.0–11.2 mm boyutlarında kırmataştır. İnce KAM ikameli karışımlarda (K) dere kumunun yerine toplam beton hacminin, hacimce %5 (KAM 5), %10 (KAM 10), %15 (KAM 15) ve %20 (KAM 20) oranlarında KAM kullanılmış ve ince KAM ikameli 4 farklı karışım elde edilmiştir. Burada Kontrol ve her farklı ince KAM ikame oranları için 3 numune üretilmiştir. 25°C ısıya maruz kalacak 3 adet küp numune, 50°C ısıya maruz kalacak 3 adet küp numune ve 75°C ısıya maruz kalacak 3 adet küp numune olmak üzere toplamda 45 adet küp numune üretilmiştir (Şekil 1). Hazırlanan karışımlardaki agregaların hacim oranları Çizelge 1'de verilmiştir. Beton karışımları için kullanılan agregaların özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

%0 KAM İkameli (Kontrol)	%5 KAM İkameli (KAM 5)	%10 KAM İkameli (KAM 10)	%15 KAM İkameli (KAM 15)	%20 KAM İkameli (KAM 20)
25°C, 50°C ve 75°C ısılarının herbiri için 3'er olmak üzere toplamda 9 adet	25°C, 50°C ve 75°C ısılarının herbiri için 3'er olmak üzere toplamda 9 adet	25°C, 50°C ve 75°C ısılarının herbiri için 3'er olmak üzere toplamda 9 adet	25°C, 50°C ve 75°C ısılarının herbiri için 3'er olmak üzere toplamda 9 adet	25°C, 50°C ve 75°C ısılarının herbiri için 3'er olmak üzere toplamda 9 adet

Şekil 1. Üretilen Numune Sayıları ve Dağılımları**Çizelge 1.** KAM ikameli Karışımlardaki Agrega Hacim Oranları

Karışımlar	Dane Boyutlarına göre Agregaların Hacim Oranları (%)			
	Kum (K) (0–4 mm)	Kırmataş (KT II) (4–11.2 mm)	Kırmataş (KT I) (11.2–22.4 mm)	Kazınmış Asfalt Malzeme (KAM) (0–4 mm)
%0 KAM İkameli (Kontrol)	40	30	30	0
%5 KAM İkameli (KAM 5)	35	30	30	12.5
%10 KAM İkameli (KAM 10)	30	30	30	25
%20 KAM İkameli (KAM 20)	25	30	30	37.5
%30 KAM İkameli (KAM 30)	20	30	30	50

Çizelge 2. Beton Karışımları İçin Kullanılan Agregaların Özellikleri

Malzeme	Özgül Ağırlık (t/m ³)	Su Emme Oranları (%)	Doğal Nem Oranları (%)	Hacimce Agregasyon oranları (%)
Kırmataş 11.2–22.4 mm (KT I)	2.60	1.70	0.08	30
Kırmataş 4–11.2 mm (KT II)	2.60	1.80	0.08	30
Kum 0–4 mm (K)	2.70	1.75	0.90	40
Kazınmış Asfalt Malzeme 0–4 mm (KAM)	2.3	1.25	0.015	

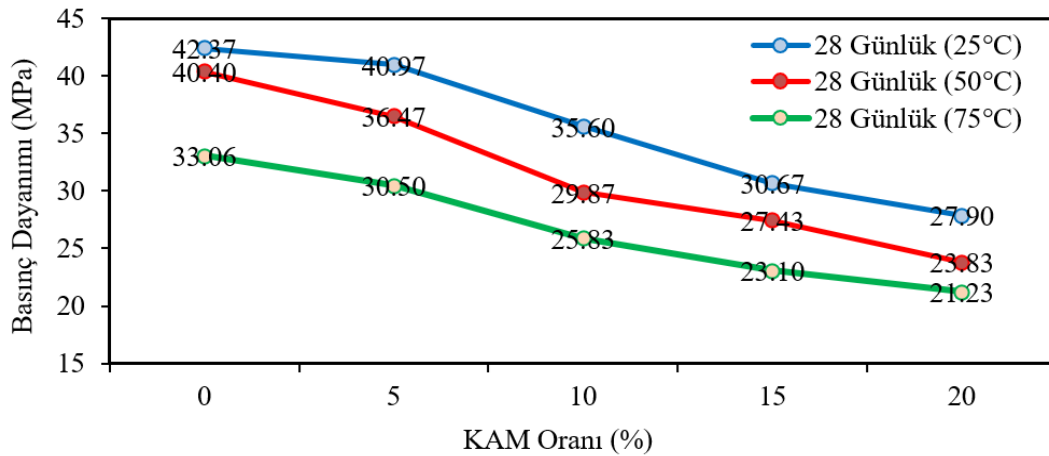
DeneySEL çalışmada basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla kontrol karışımı ve farklı ince KAM ikame oranlarında hazırlanan 100 mm'lik küp numuneler 24 saat oda ısısında bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış ve 28 gün süreyle havuzda küre tabi tutulmuştur. Küp numuneler, 28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılarak her bir farklı karışım için birer set oda ısısında, birer set 50°C ısıdaki etüvde ve birer set ise 75°C ısıdaki etüvde 24 saat süreyle bekletildikten sonra basınç dayanımı deneylerine [14] tabi tutulmuştur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Farklı ince KAM ikame oranlarında üretilen küp numunelerin 28 günlük kür sonunda 24 saat süreyle ısıya maruz kalmış haldeki basınç dayanımları Çizelge 3'te basınç dayanımlarının ısı ile değişim grafiği ise Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 3. Isıya Maruz Kalmış Haldeki KAM ikameli Betonların Basınç Dayanımları

Karışımlar	Ort. Basınç Dayanımı (MPa)			Basınç Dayanımındaki Azalmalar (%)		
	25°C ısıda	50°C ısıda	75°C ısıda	25°C ısıda	50°C ısıda	75°C ısıda
KONTROL	42.37	40.40	33.06	0	0	0
KAM 5	40.97	36.47	30.50	-3.30	-9.74	-7.73
KAM 10	35.6	29.87	25.83	-15.97	-26.07	-21.85
KAM 15	30.67	27.43	23.10	-27.62	-32.10	-30.12
KAM 20	27.9	23.83	21.23	-34.15	-41.01	-35.77

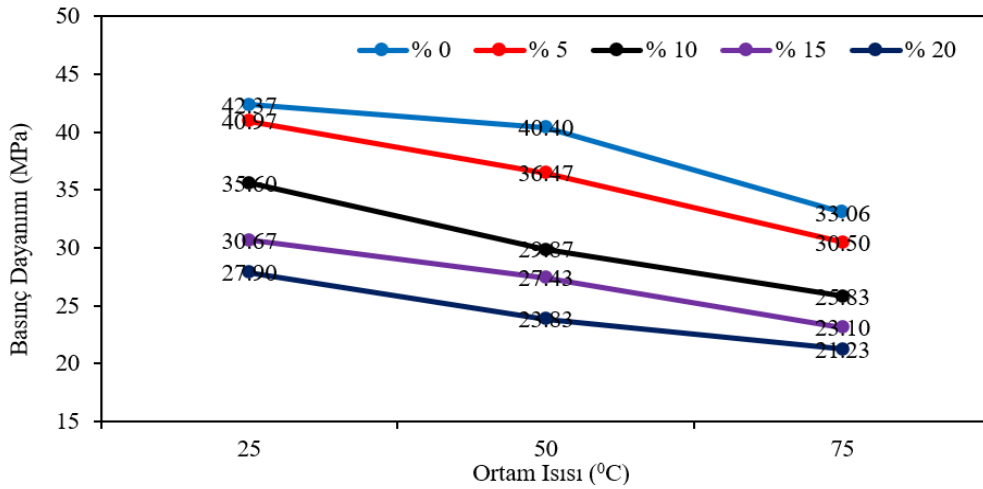


Şekil 2. Isıya Maruz Kalmış Haldeki KAM İkameli Betonların Basınç Dayanımlarının İkame Edilen KAM Oranı ile Değişimi

Çizelge 3'te verilen değerler ile Şekil 2'de verilen grafik incelendiğinde 25°C ısıya maruz Kontrol numunelere %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %3.3 oranında azalma gözlemlenmiştir. Kontrol numunelere %20 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %34.15 oranında bir azalma gözlenmiştir. 50°C ısıya maruz Kontrol numunelere %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %9.74 oranında azalma gözlemlenirken Kontrol numunelere %20 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %41.01 oranında bir azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde 75°C ısıya maruz Kontrol numunelere %5 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %7.73 oranında azalma gözlemlenirken Kontrol numunelere %20 oranında KAM ikame edilmesiyle elde edilen numunelerin basınç dayanım değerinde %35.77 oranında bir azalma gözlenmiştir. Şekil 3'teki grafikte yer alan tüm değerler incelendiğinde kür sonunda maruz bırakılan ısının 25-75°C arasında olması durumunda ikame edilen KAM oranının artması beton basınç dayanımına olumsuz etkimekte ve betonun basınç dayanımını azaltmaktadır. Bu azalma oranı 25°C, 50°C ve 75°C ısılar için sırasıyla 34.15, 41.01 ve 35.77'dir. Buradan görüleceği üzere basınç azalması maruz kalınan 25°C, 50°C ve 75°C ısılarından bağımsız olup tamamen ikame edilen KAM miktarında bağlıdır. KAM ikameli beton karışımında yer alan 0-4 mm dane boyutundaki agregaların yüzeyleri bitüm ile kaplıdır. Betonun agrega ile çimento hamurundan oluşan iki fazlı bir kompozit malzeme olduğu dikkate alındığında; Betonun agrega ile çimento hamurundan oluşan iki fazlı bir kompozit malzeme olduğu dikkate alındığında; heterojen bir malzeme olan betonun dayanımı çimento hamurunun, agreganın ve ara yüzeyin dayanımlarına bağlıdır. Ancak agrega ile çimento ara yüzeyinin sertleşmiş betondaki en kritik bölge olduğu düşünülmektedir [15]. Yüzeyleri bitüm ile kaplanmış olan agregaların çimento hamuru ile oluşturduğu arayüzeylerin dayanımlarının bitümsüz agregalardaki ara yüzey dayanımlarından daha az oldacağı tahmin edilmektedir. Bu durum dikkate alındığında KAM ikameli numunelerin dayanımlarının Kontrol numunelerine göre daha düşük çıkmasının nedeninin bazı agregaların yüzeylerinin bitüm ile kaplı olduğu ve bu durumun çimento hamuru ile agrega arasındaki arayüzeyin dayanımının daha düşük olmasına sebep olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 3'de 28 günlük kür sonunda farklı ısılara maruz kalmış beton numunelerinde agrega yerine ince KAM ikame edilmesiyle elde edilen basınç dayanımlarının maruz kalınan ısıya göre değişimlerinin grafiksel karşılaştırması verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde kam miktarına ve ortam ısısına bağlı olarak basınç dayanımında azalmalar görülmüştür. Kontrol numunelerinde oda şartları ortamı ısısında basınç dayanımı 42.37 MPa iken, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım 33.06 MPa değerine gerilemiştir. Aynı şekilde, beton içerisine katılan kazınmış asfalt malzeme miktarına bağlı olarak %5 kam takviyeli beton numunelerde oda şartlarında 40.97 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 30.5 MPa değerine düşmüştür. %10 kam içeren beton numunelerde oda şartlarında 35.6 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 25.83 MPa dayanım değerine düşmüştür. %15 kam içeren beton numunelerde oda şartlarında 30.67 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 23.1 MPa dayanım değerine düşmüştür. %20 kam içeren beton numunelerde oda şartlarında 27.9 MPa dayanıma sahip iken, 75 °C ısıda dayanım 21.23 MPa dayanım değerine düşmüştür. Kam miktarına ve ortam ısısına bağlı olarak basınç dayanımlarındaki değişimler görülmektedir. %5 kam ikameli numunelerde oda şartları ortamı ısısında basınç dayanımı %3 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %9.7 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %7.7 oranında azalmıştır. Aynı şekilde, beton içerisine katılan kazınmış asfalt malzeme miktarına bağlı olarak kam takviyeli beton numunelerde dayanımda düşüş gözlemlenmiştir. %10 kam ilaveli numunelerde oda şartları ortamında bekletilen numunelerde basınç dayanımında %15.97 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %26.07 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %21.85 oranında azalmıştır. %15 kam içeren beton numunelerde oda şartları ortamında bekletilen numunelerde basınç dayanımında %27.62 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %32.10 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %30.12 oranında azalmıştır. %20 kam içeren beton numunelerde oda şartları ortamında bekletilen numunelerde basınç dayanımında %34.15 azalma gösterirken, 24 saat 50 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %41.01 oranında, 24 saat 75 °C ısıda bekletilen numunelerde dayanım %35.77 oranında azalmıştır. %20 kam içeren beton

numunelerinin dayanım değerlerinin 25°C'deki Kontrol numuneleri ile karşılaştırması yapıldığında 50°C'deki numunelerde basınç dayanımı %43.76 azalarak 23.83 MPa'a 75°C'deki numunelerde ise basınç dayanımı %49.86 azalarak 21.23 MPa'a düşmüştür. Görüldüğü üzere oda ısısına göre dayanımın en fazla azaldığı ısı 75°C olarak ortaya çıkmıştır. Beton içerisine eklenen kazınmış asfalt malzeme betonda dayanımı yarıya düşürmeye yakın derecede olumsuz etkilemiştir. Üç farklı ortam ısısında kırılan numunelere ait sonuçlardan anlaşılacağı üzere sıcaklığın artması beton dayanımında azalmaya sebebiyet vermiştir. Çimento hamurunun ısıtma boyunca oldukça kararsız bir bileşen olduğu düşünüldüğünde sıcaklık etkisi ile önemli fiziksel ve kimyasal dönüşümler geçirecektir. Bu dönüşümler 100 °C ve altındaki ısılarda serbest suyun buharlaşması ile 100 °C'nin üstündeki ısılarda ise hen bağlı suyun kaybolması hem de kimyasal bozulması olarak gerçekleşecektir [16]. Bu çalışmada beton numuneleri 24 saat süreyle 25°C ile 75°C ısıya maruz kaldığından basınç dayanım azalmasının serbest suyun buharlaşması sonucu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. KAM ikameli Betonların Basınç Dayanımlarının Maruz Kalınan Isı ile Değişimi

Elde edilen basınç dayanımı değerleri dikkate alındığında, agrega yerine ince KAM ikame miktarının artırılmasıyla basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Buna rağmen kazınmış asfalt malzeme kullanımı sonucunda elde edilen betonun yeterli basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

4. Sonuç

Bu çalışmada, eskiyen yolların kazınması sonucu ortaya çıkan asfalt kaplamaların betonda agrega yerine ikame edilebilme potansiyeli araştırılmıştır. Atık malzemelerin dönüştürülmesine katkı sağlamak için yapılan bu çalışmada, kazınmış asfalt malzeme hiçbir işleme tabi tutulmadan sadece elenerek 0 – 4 mm arasında kalanı alınmış ve %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ince agrega yerine ikame edilerek 350 dozajlı betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonlar farklı ortam ısılarına maruz bırakılarak deneylere tabi tutulmuştur.

Yapılan çalışmada küp numunelere uygulanan basınç deneyinde kazınmış asfalt malzemeni artmasıyla birlikte basınç dayanımında ciddi azalmalar meydana gelmiştir.

Kontrol numuneleri ve ince KAM ikameli beton numunelerin basınç dayanımları maruz bırakılan ortam ısısının (50-750C) artması sonucunda azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun oluşmasındaki temel etkenin maruz bırakılan 50-750C ortam ısısının betondaki serbest suyun azalması ve yok olmasına sebebiyet vermesi sonucunda beton içerisindeki boşlukların arttığı ve böylece basınç dayanımının azaldığı sonucuna varılmıştır. Kam miktarının artması sonucu basınç dayanımı azalırken ortam sıcaklığına bağlı olarak numunelerde oluşan çatlaklar kılcal düzeye inmiştir.

Ortam ısısının artmasıyla oluşan çatlak boyutu da kılcal düzeyde seyretmiştir. İnce KAM ikamesinin artmasıyla numuneler basınç etkisi altında göçmüş olsa dahi bir bütün olarak dağılmama özelliği göstermiştir.

Sonuç olarak beton içerisine ikame edilen asfalt malzemenin saha betonları olarak kullanılabilir olduğu ve bu sayede yüksek dayanım gerektirmeyen betonların üretilebileceği kanaatine varılmıştır. Bu durumun sonucunda karayollarının bakım ve onarımı esnasında ortaya çıkan atık malzemenin geri dönüştürülmesi sağlanmış olunarak doğal kaynakların korunmasına ve ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makalemiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır

Kaynaklar

- [1] Salta İ. Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2010
- [2] Güngör AG, Orhan F, Kaşak S, Dost Y. Kazınmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanılması, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, Ankara, 2008
- [3] Işıkdağ B. Atık asfalt kırıklarının beton yollarda agrega yerine kullanılmasının araştırılması, Doktora tezi. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi; 2009
- [4] Akçaözoğlu S. Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği, Doktora tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi; 2008
- [5] Akyıldız A. Beton üretiminde bor atıklarının puzzolan materyal olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans tezi. Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi; 2012
- [6] Çelik Ç, Gürdal E. Yerfıstığı kabuğunun agrega olarak kullanım olanakları, İTÜ Dergisi, 2005;4 (1):37-46
- [7] Demirdağ S, Gündüz L. Volkanik Cürufkların inşaat Endüstrisinde Hafif Beton Agregası Olarak Değerlendirilme Kriterleri, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Ankara, 2003
- [8] Gürer C, Akbulut H, Kürklü G. İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 2004
- [9] Özer YF. Bazı endüstriyel atıkların betonun mekanik özellikleri etkisi, Yüksek lisans tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2012
- [10] Öztürk S. Isparta atık su arıtma tesisi filtre keki atığının betona katılabilme olanaklarının araştırılması, Yüksek lisans tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi; 2013
- [11] Akpınar AF. Asfalt kırığı agregalı betonların mekanik özellikleri, Yüksek lisans tezi. Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi; 2005
- [12] Gergerli AD. İri Agregaya Yerine İkame Edilmiş Kazınmış Asfalt Kaplamalı Betonlarda Dayanım Değerlendirmesi Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman: Adıyaman Üniversitesi; 2018
- [13] Canpolat U. Kazınmış Asfalt Malzemelerin Beton Karışımında İnce Agregaya Yerine İkame Edilmesinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman: Adıyaman Üniversitesi; 2020
- [14] Popovics S. Strength and Related Properties of Concrete-A Quantitative Approach, John Wiley and Sons Inc, USA. 1998
- [15] Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-3; 2010
- [16] Khoury GA. Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment. Magazine of Concrete Research, 1992;44 (161): 291-309

TRANSFORMATÖRLERİN NÜVE SICAKLIĞININ HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yıldırım ÖZÜPAK^{1*}

¹ Dicle Üniversitesi, Silvan MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Diyarbakır, 21000, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 04.05.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 24.08.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.932496

ÖZET

Elektrik güç transformatörleri, güç iletim ve dağıtım sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Bu transformatörler, hem çalışma hem de sabit durum modunda kendiliğinden ısı-yayarlar. Transformatörlerde bulunan bu termal radyasyon izin verilebilir eşiğin üzerine çıkarsa, transformatörün veriminde bir azalma meydana gelir. Bu durum, sistemdeki diğer bileşenlerin arızalanmasına da neden olabilir. Bu yüzden transformatörlerin üretiminden önce tasarım aşamasında termal kayıplarının tahmin edilmesi önem teşkil etmektedir. Çekirdek tipi güç transformatörlerinin sıcaklık artışının hesaplanması tasarım sürecinde temel bir sorudur ancak bu sorun ön optimizasyon sürecinde hesap karmaşasından dolayı ihmal edilebilmektedir. Bu çalışmada, hesaplama yöntemleri kısaca sınıflandırılarak tanıtılmış ve ön tasarım süreci için uygulanabilirlikleri incelenmiştir. Yöntemlerin performanslarının karşılaştırılması için, Roth'un transformatörü ve 15 MVA üç fazlı transformatör analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, Sonlu Elemanlar Yönteminin (SEY) en doğru çözümü sağladığı ve ön tasarım sürecinde daha iyi uyum gösterdiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termal alan, Transformatör, SEY, Tasarım.

COMPARISON METHODS OF CORE TEMPERATURE OF TRANSFORMERS

ABSTRACT

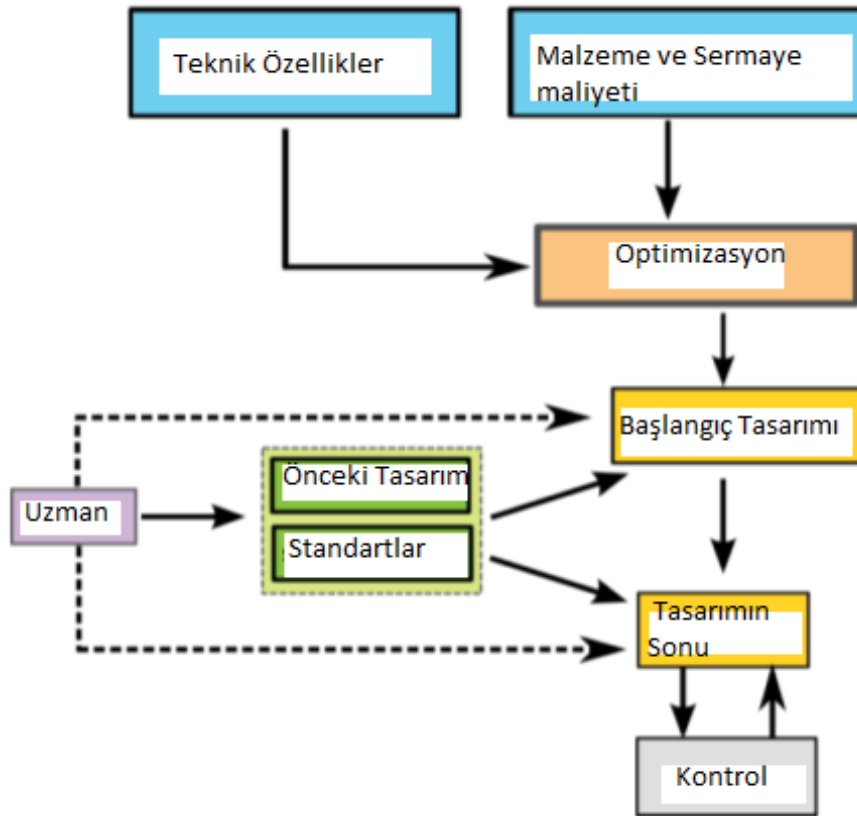
Electric power transformers are one of the most important components of power transmission and distribution systems. These transformers heat-dissipate spontaneously in both operating and steady-state mode. If this thermal radiation contained in transformers rises above the allowable threshold, a decrease in the efficiency of the transformer occurs. This can also cause other components in the system to malfunction. Therefore, it is important to estimate thermal losses at the design stage before transformers are manufactured. Calculation of temperature rise of core-type power transformers is a fundamental question during the design process, but this can be neglected during the pre-optimization process. In this study, calculation methods are briefly classified and introduced and their applicability for the preliminary design process has been examined. To compare the performance of the methods, Roth's transformer and 15 MVA three-phase transformer were analyzed. From the results obtained, it was understood that the Finite Element Method (FEM) provided the most accurate solution and adapted better in the preliminary design process.

Keywords: Thermal field, Transformer, FEM, Design.

^{*1} e-mail: yildirimoakupak@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8461-8702> (Sorumlu Yazar),

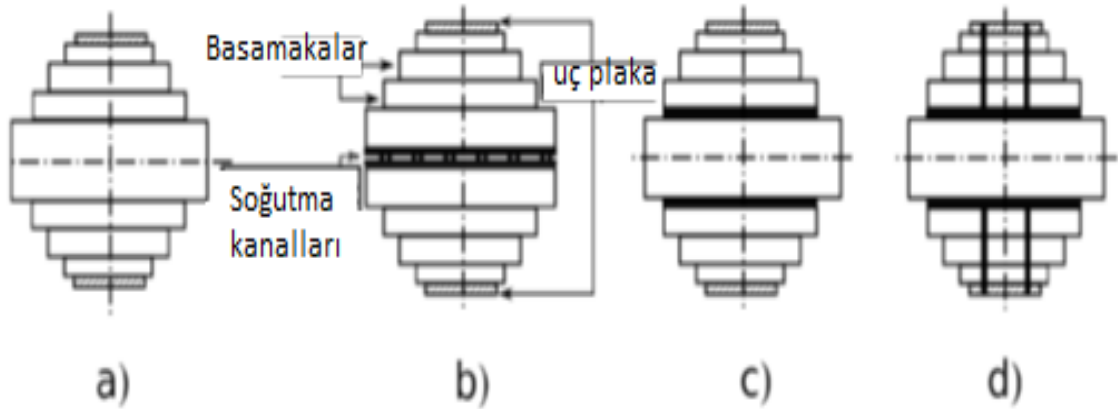
1. Giriş

Transformatörler, iletim ve dağıtım şalt merkezlerindeki sermaye yatırımının en büyük bölümünü temsil eder ve bunların doğru çalışmaları güç sistemleri için hayati önem taşır. Bir transformatörün tasarım sürecindeki ilk adım, en ekonomik transformatörün tasarımının ana parametrelerini ve boyutlarını elde etmektir [1]. Bu ana parametreleri, çekirdek geometrisindeki ve sütunlardaki akı yoğunluğunun belirlediği yaygın olarak kabul edilmektedir [2]. Bu nedenle, bu optimal tasarım değişkenlerini binlerce olası çözümden elde etmek için temel parametrelerin hızlı ve doğru bir hesaplama yöntemi ile belirlenmesi gerekmektedir. Parametrelerin belirlenmesi için Şekil 1'de bir algoritma örneği sunulmuştur.



Modern nüvenin tasarım süreci, yalnızca elektrik gereksinimlerinin karşılanması için değil aynı zamanda diğer bileşenlerin ve soğutma yağının kendi kendine zarar vermesini önlemek için çekirdek sıcaklığını tahmin etmek ve sınırlamak için de gereklidir. Yaklaşık olarak çapı büyük veya daha büyük olan çekirdekler için maksimum çekirdek sıcaklığını sınırlandırmak için nüvenin yüzeyine farklı düzenlemelerle daha fazla soğutma kanallarının uygulanması gereklidir [3-5]. Bu durum Şekil 2'de verilmiştir.

Genel olarak, çekirdek içi (maksimum sıcaklık) ve yüzey arasındaki sıcaklık farkının kabul edilen değeri yaklaşık 15 ile 20 °C arasındadır [6]. Bu sıcaklık aralığı, karmaşık yapıya sahip çekirdek düzeninde sıcaklık profilini belirlemek için doğru bir yöntem gerektirir. Bu sorun, anizotropik termal malzeme özelliklerinin dikkate alınması ile üç boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılarak tam olarak çözülebilir.



Bu algoritmaların nihai tasarım sürecinde önemli bir rolü vardır [7-8]. Ancak bu yöntemlerin tüm ana parametrelerin bilinmediği erken tasarım aşamasında kullanımı çok zahmetli ve yanstır. Nüvenin ısınma sorununun önemi nedeniyle, birçok araştırmacı çeşitli yöntemler önermişlerdir [9-14]. Bununla birlikte, önceki tekniklerin çoğunda, çekirdeğin net geometrisi, anizotropiler veya sınır katmanındaki farklılıklar ve SEY tabanlı hesaplamalar dikkate alınmamıştır. Ancak bu yöntemlerden bazıları çok basit ve hızlıdır. Bu yüzden en ekonomik tasarım parametrelerini elde etmek için optimizasyon aşamasında kullanılmaktadır.

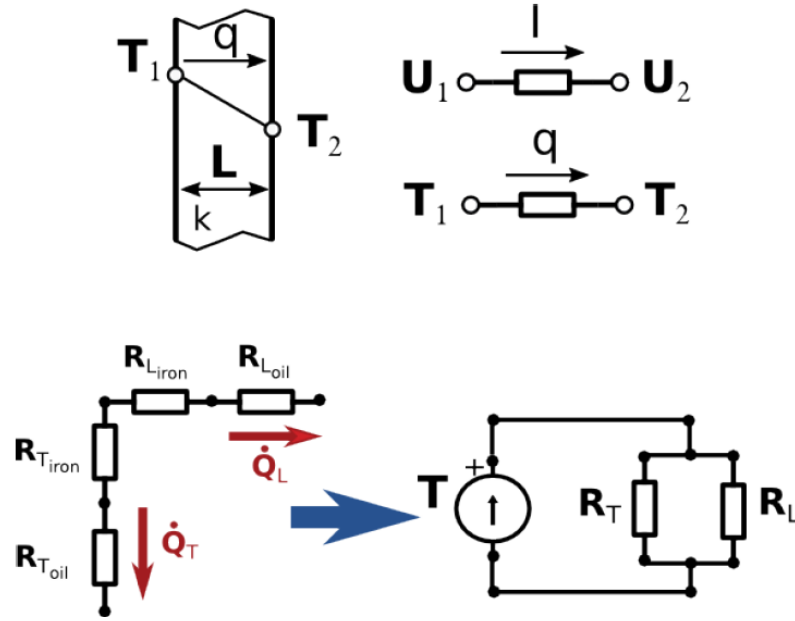
Son yıllarda, transformatör tasarımı alanında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte, önceki çalışmaların çoğu, transformatör tasarımının ön aşamasındaki transformatörün nüvesinde meydana gelen ısı üretimi sorununu hesaba katmamaktadır. Bu çalışmada, anizotropik katılarda ısı akışının hesaplanması ve modellenmesi ile ilgili önceki çalışmalar incelenmiştir. Performans analizi yapmak için SEY tabanlı hesaplama ile iki örnek üzerinde karşılaştırma yapılmıştır. Modelleme ve simülasyonlarda SEY'e dayanarak mühendislik problemlerini çözen ANSYS@Maxwell yazılım programı kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

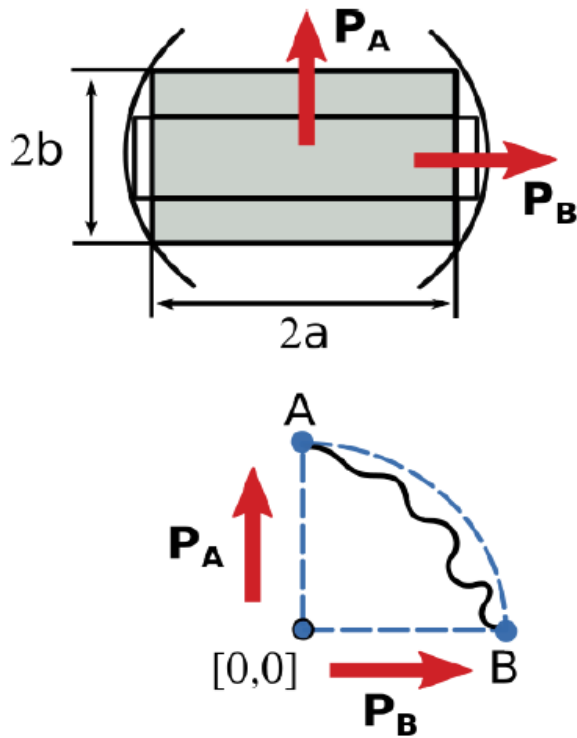
2.1 Termal dirençler

Bu yöntem, çekirdek sıcaklık hesaplaması için literatürde bulunan en eski ama hala en çok kullanılan yaklaşımlardan biridir. Bu yöntem ilk olarak Gotter tarafından önerilmiştir. Son olarak Ryder tarafından bahsedilen yöntemin bazı değişikliklerle optimizasyon sürecinde doğru bir şekilde kullanılabileceğini kanıtlamıştır [15].

Elektrik benzetimini kullanarak, çekirdek boyunca dağıtılan kayıplar, ele alınan bileşenin merkezinde yer alan bir noktanın kaynağı ile değiştirilebilir. Şekil 3'te verildiği gibi, çekirdek malzemesinin ve soğutma yağının sınırı, ayrı termal dirençler olarak tanımlanabilir. Çekirdeğin lamine malzemesindeki ısı iletkenliğinin anizotropisi nedeniyle, maksimum çekirdek sıcaklığı, birbirine paralel bağlı iki kolun toplam direnci ile hesaplanır.



Yöntem, çekirdek geometrisinin incelenen kısmını Şekil 4'te gösterilen eşdeğer bir dikdörtgenle değiştirir. Burada ısı akışının yönü yalnızca boyuna veya enine doğru mümkündür. Bu durum, etkili dikdörtgen normalleşmesi ile çekirdek düzeni nedeniyle kararlı hal ısı akışının iki boyutlu Poisson denkleminin 2x1 boyut yaklaşımının kullanılabilceği anlamına gelir.



Bu blok içindeki sıcaklık dağılımının bulunması için çekirdekdeki termal direnç Fourier yasasından türetebilir. Denklem (1) ile çekirdekdeki termal direnç açıklanmaktadır:

$$R_{L_{iron}} = \frac{2b}{8k_L a} \quad (1)$$

$$R_{T_{iron}} = \frac{2a}{8k_T b} \quad (2)$$

Burada k_L ve k_T eş-laminedeki ısı iletkenliği anlamına gelir, a ve b eşdeğer dikdörtgenin genişlik ve yükseklik boyutlarıdır.

Yağ sınır tabakasındaki ısı direnç, ısı aktarım hızına, yağ sıcaklığına, yağ tipine ve kanal boyutuna bağlıdır. Transformatör yağına batırılmış yüzeyler için sıcaklık dağılımı ilişkisinin deneysel kanıtı Taylor tarafından örnek olarak verilmiştir. Ryder, yağ sınır tabakasının termal direncini hesaplamak için yağ özelliklerinden bir ifade türetmiştir. Doğal yağ akışı durumunda, şu basit ifadeyi bulmuştur:

$$R_{oil} = \frac{1}{0.1029} \left(\frac{\beta \rho_L^2 \theta c_p g k_L^2}{\mu} \right)^{-1/3} \quad (3)$$

Burada, β yağın kübik genleşmesini [$1/K$], ρ_L soğutma sıvısının yoğunluğunu [kg/m^3], θ [K] cinsinden yağ sınır tabakasındaki sıcaklık gradyanını, c_p sabit basınçta özgül ısı kapasitesini [$J/ kg / K$], g yerçekimine bağlı ivmeyi ve k_L soğutma sıvısının termal [$W/m/K$] iletkenliğini ifade etmektedir. Yüzey ısı iletkenliği buradan Fourier yasası ile türetilebilir. Başka bir yaklaşımda ise Grasshof ve Prandtl sayılarından çok daha karmaşık bir şekilde yüzey ısı iletkenliğini (h) türetir. Dolayısıyla, yağ sınırı katmanında Şekil 3'teki ısı direnci tanımlayan formül aşağıdaki gibidir:

$$R_{L_{oil}} = \frac{1}{8h_L a} \quad (4)$$

$$R_{T_{oil}} = \frac{2a}{8h_T b} \quad (5)$$

Burada h_L ve h_T , [$W/m^2/K$] cinsinden çekirdeğin yüzey termal iletkenliğini tanımlar. Çekirdeğin merkezinde, plaka kenarlarında ve yüzeylerinde maksimum sıcaklık artışı yasasına göre hesaplanabilir. Aşınmadan dolayı, transformatör bağlantılarında ek kayıplar oluşur. Ryder'in gösterdiği gibi, sıcaklık artışları L ve T eklemlerinde ayrı ayrı hesaplanırsa, bu yöntemin performansı önemli ölçüde artırılabilir.

2.2 Poisson Denkleminin Analitik Çözümü

Weh ve Delvecchio, kanalsız dairesel çekirdeklerdeki sıcaklık dağılımının iki boyutlu problemi için analitik bir çözümden bahsetmişlerdir. Çözüm, eşit ısı üretimi, yağ sıcaklığı ve çekirdeğin çevresinin etrafında eşit ısı direnç durumu için türetilmiştir. Bu yöntem, kararlı hal ısı iletiminin yaklaşık bir çözümdür. Poisson denklemi [15]:

$$\Delta T = \frac{q_v}{k} \quad (6)$$

şeklinde. Burada T [K] cinsinden sıcaklık, q_v [W/m^3] cinsinden birim hacim kaybı ve k [$W/m/K$] cinsinden ısı iletkenlik vektörüdür. Çekirdek ince yalıtımlı elektrikli çelik saclardan yapıldığından, ısı iletkenliğinde anizotropiye sahiptir. Basitlik için q_v bu hesaplamada sabittir. Yani dikdörtgen koordinatlarda denklem (6) bu durumda:

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + q_v = 0 \quad (7)$$

Burada termal iletkenlik her iki yönde farklıdır. Çözüm şu biçimde yazılabilir:

$$T = A + Bx + Cx^2 + Dy + Ey^2 \quad (8)$$

sonraki sınır koşullarını karşılayan:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial y} \quad (9)$$

dikdörtgenin merkezinde, simetri için bu gereklidir.

$$-k_x \frac{\partial T}{\partial x} = h(T - T_{oil}) \quad (10)$$

$x=a$ ve $y=0$ olduğunda

$$-k_y \frac{\partial T}{\partial y} = h(T - T_{oil}) \quad (11)$$

$x = 0$ 'da, $y = b$. Bu denklemler, konvektif sınır koşullarının eksenlerin yüzey noktalarında tam olarak sağlandığı anlamına gelir. Aynı zamanda, hesaplanan alanın tam olarak bir dikdörtgen olmadığı anlamına da gelir. Bir daire şekli veya kademeli bir çekirdek gibi bir şekil de kullanılabilir.

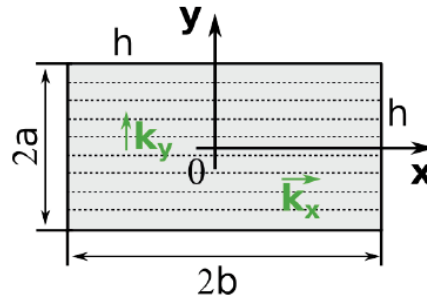
$$a = \frac{ha}{2k_x} \quad (12)$$

$$\beta = \frac{hb}{2k_y} \quad (13)$$

$$T(x, y) - T_{oil} = \frac{q_v}{h} \frac{1 - \frac{a}{a+1}(x/a)^2 - 1 - \frac{\beta}{\beta+1}(y/\beta)^2}{1/(a(1+a)) + 1/(\beta(1+\beta))} \quad (14)$$

2.3 Sınır Değerli Sorunlar - Higgins Yöntemi

Bu yöntem, ısının matematiksel teorisindeki bir sınır değeri problemidir. İki boyutlu ısı iletim probleminin ilk kesin çözümü olan türetilen benzer formüllerdir. Bu formül, Şekil 5'teki gibi lamine dikdörtgen şekilli çekirdekler için kullanılır.



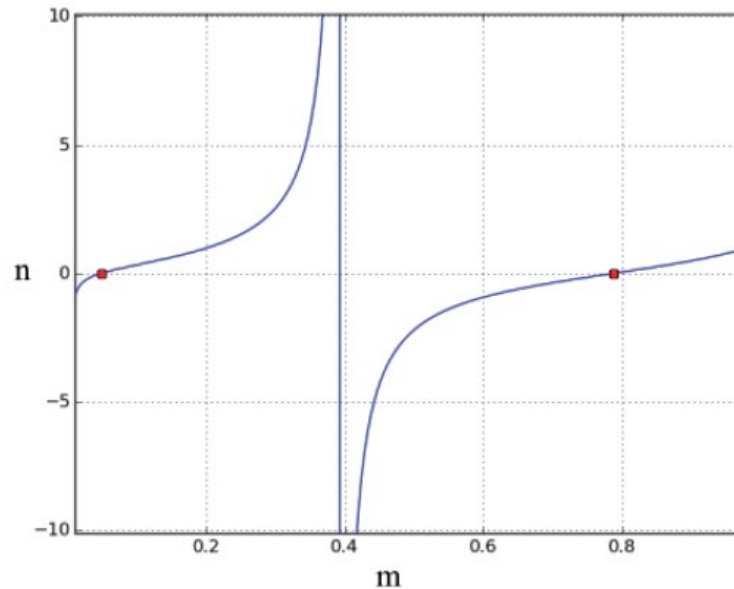
Çözümün temeli, değişkenlerin ayrılması için kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, doğrusal olmayan sınır koşullarında da çalışır. Buchholz&Roth sınır koşullarında bazı iyileştirmeler ve ek kısıtlamalar yapmışlar. Higgins'in formülü bu öncüllerden daha geneldir, çekirdeğin içine bir soğutma kanalı uygulandığında bu tür pratik durumları kapsayabilir. Farklı ısı dirençlere sahip tek tip olmayan ısı üretimini ve iki boyutlu problemleri sınırlı eşit yağ sıcaklıkları durumu için her tarafı kapsar. Higgins'in formülü iki boyutlu çekirdek ısı probleminin maksimumunu hesaplamak için aşağıdaki gibidir:

$$T_{max} = 4C'' \sum_{i=1}^{\infty} \sin \frac{m_i a}{m_i^2(2m_i a + \sin(2m_i a))} \left(1 - (\cosh(n_i b) + K_3 n_i \sinh(n_i b))^{-1}\right) \quad (15)$$

burada T_{max} , [K] 'deki maksimum sıcaklık düşüşü, k termal iletkenlik oranıdır $k = k_y/k_x$, $C'' = qv/k$, m_i ve n_i sonraki iki denklemin köklerinden hesaplanır. Şekil 6'da bu durumun grafiği verilmiştir.

$$\tan(m_i a) = \frac{1}{k_i m_i} \quad (16)$$

$$n_i = \frac{m_i}{k^{0.5}} \quad (17)$$

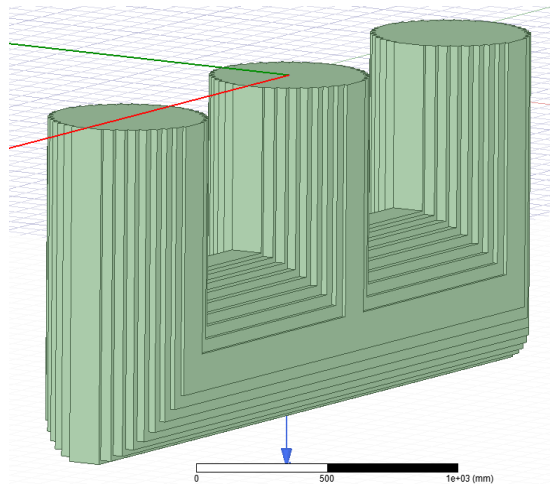
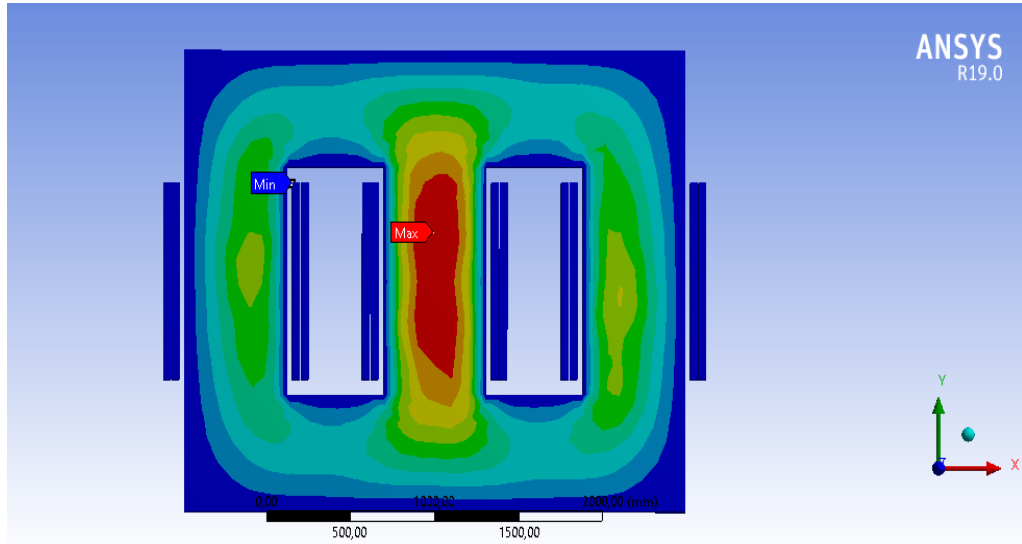


Bu formül, sargılarda ve dikdörtgen kesitli baralarda sıcaklık dağılımını belirlemek için de geçerlidir.

2.4 Sonlu Fark ve Sonlu Elemanlar Yöntemi

Gelişmiş 3D simülasyon tekniklerinin kullanılması, büyük güç transformatörlerinin tasarım ve performans parametrelerinin bazı kritik yönlerinin doğrulanması için gereklidir. Biraz basitleştirmeden sonra, günlük trafo tasarımında etkili bir şekilde kullanılabilirler. Bu nedenle, çekirdek kaybı hesaplaması için literatürde bulunan çok sayıda SEY ve Sonlu Faklar (SF) tabanlı çözüm vardır. Ancak bunlardan çok azı çekirdek sıcaklık artışındaki termal yönere dikkat ediyor. Bu ısı transferi problemi, anizotropik termal malzeme özellikleri hesaba katılarak üç boyutlu sonlu elemanlar veya sonlu farklar termal formülasyonlar kullanılarak çözülebilir. Bu SEY tabanlı yöntemler, çoğu durumda orijinal ampirik yöntemlerden daha büyük doğruluk göstermiştir. Bu basitleştirilmiş 2B yöntemler, günlük bir transformatör tasarım uygulaması için uygundur. Ancak ön tasarım sürecinde bu kontrolün yapılması gerektiğinde eksik kalabilirler. Bununla birlikte, bu çalışma çok daha basit bir yöntemle benzer doğruluk sağlayan Ryder modeli gibi önceden var olan yeni deneysel çözümleri hesaba katmamaktadır.

Bu çalışmada, serbest şekilli nüvelerin sıcaklık dağılımını hesaplamak için iki boyutlu SEY yöntemlerini incelenmiştir. Isı konveksiyonunu modellemek için üçüncü tip sınır koşullarıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilen bir ANSYS modeli oluşturulmuştur.



2.5 İşlevsel Yaklaşım Yöntemi

Bu yöntem ile rastgele seçilen bir nüve geometrisinde sıcaklığı doğru bir şekilde çözülmüştür. Bu yöntem, sınır koşulunun doğrusal olduğunu ve çekirdeğin fiziksel özelliklerinin sıcaklıktan bağımsız olduğunu varsayar. Bu yöntemin temeli, ısı iletiminin Poisson denkleminin Laplace denklemine dönüştürülmesidir. Bu fonksiyonların katsayıları, sınırın birçok noktasında sınır koşulu kullanılarak yinelemeli olarak değerlendirilir [16-20].

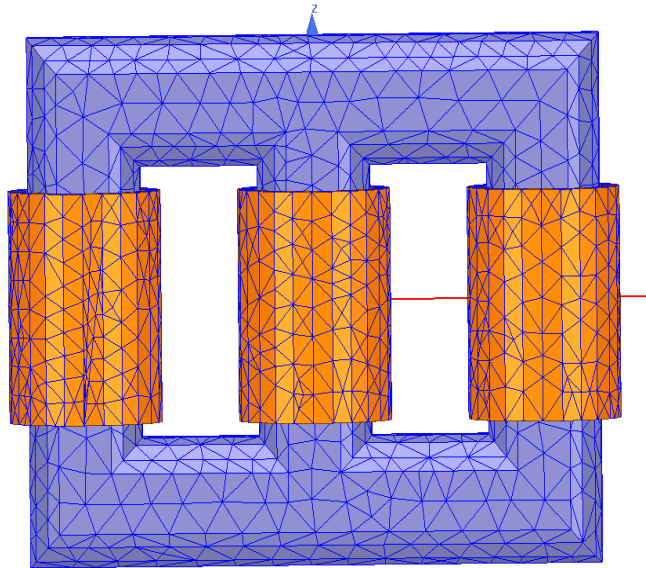
2.6 Elektriksel Analog Yöntemler

Poisson alanlarının iki boyutlu eşpotansiyel modellerini belirlemek için metalize bir iletken kağıt kullanılmıştır. Kararlı durum veya geçici ısı akışı koşulları için tek biçimli veya tek biçimli olmayan dağıtılmış kaynaklar tarafından oluşturulan bu alanlar, Simmons yüzeydeki birçok noktada akımları besleyerek bu yöntem genişletilmiştir. Fiziksel özellikler ve yüzey ısı transfer katsayısı, problemin sınırları dahilinde zamanın veya sıcaklığın bir fonksiyonu olamaz. Üstel tipteki zamana bağlı kaynak fonksiyonları bu yöntemle simüle edilebilir. Potansiyel ölçümler, standart bir direnç kullanılarak sıcaklıklara dönüştürülür.

Birke&Palmer, modifiye edilmiş elektriksel iletken kağıt kullanan bir yöntem tanımlamışlar (Birke ve Palmer, 1970). Sac, lamine demir çekirdeğin ana termal iletkenlik oranına eşit hale getirilen elektrik iletkenlik oranıyla ortotropik hale getirilebilir. Sınırlarda demir yüzeylerden yağa ısı transferi, Kayan'ın uzunluktaki uzatma şartlarını kullanma tekniği ile açıkça simüle edilebilir.

3. Silasyon ve Analiz

Önceki bölümde incelenen çözüm tekniklerinin performansını karşılaştırmak için, her gruptan beş farklı yöntem seçilerek ve iki farklı çekirdek sıcaklık hesaplama problemi üzerinde analiz edilmiştir. İlki, Roth tarafından test edilen ve ölçülen tek fazlı bir transformatördeki sıcaklık yükselmesidir. İkinci karşılaştırma Şekil 9'da verilen modern üç fazlı, 15 MVA güç transformatörü çekirdeğinin bir ayağı üzerinde gerçekleştirilmiştir.



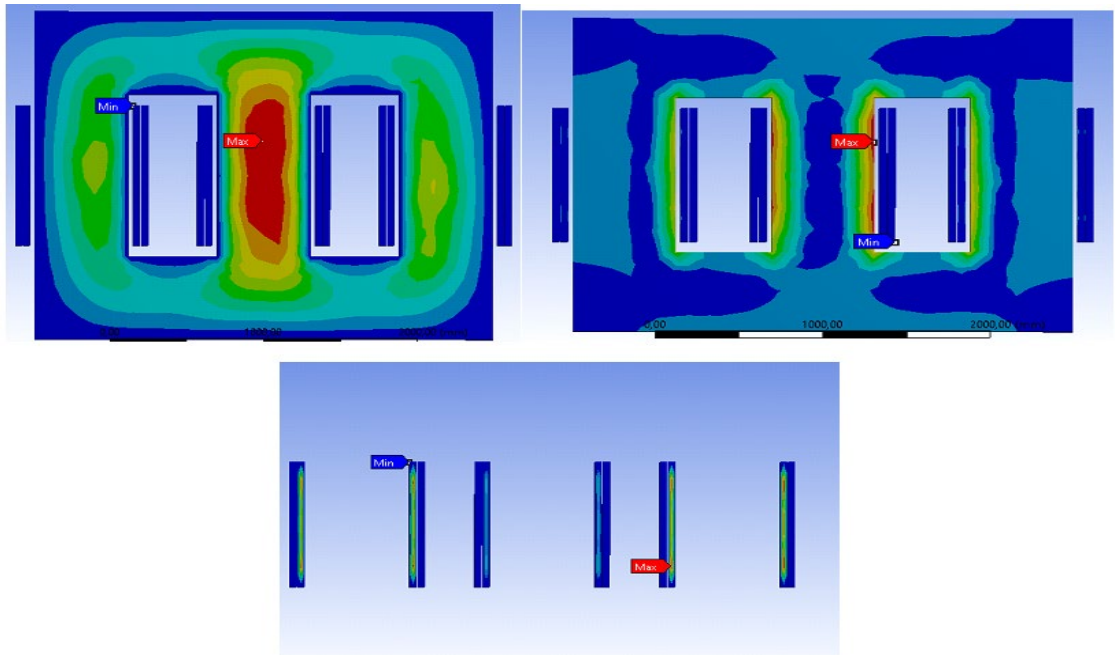
Şekil 9. İncelenen 3 fazlı transformatörün şematik görünümü.

3.1 15 MVA trafonun nüvesi

Seçilen yöntemler, üç fazlı, 15 MVA transformatörlerin çekirdeğinde karşılaştırılmıştır. Bu çekirdek, M125-027S sınıfı elektrikli çelik saclardan yapılmıştır. Çekirdekdeki akı yoğunluğunun tepe değeri $B_0 = 1.7$ T'dir. Kullanılan malzemenin yüksüz kaybı $P_0 = 12$ kW'tır. Bu tasarımda kademeli bağlantılar kullanılmıştır. İstifleme faktörü yaklaşık $sf = 0.95$ 'tir. Boyunduruğun ve sütunların şekli ve kesiti aynıdır. Tasarlanan nüve Şekil 8'de verilmiştir. Kesit alanı Oluşturulan ısı yoğunluğu bu hesaplamada homojen kabul edilir. Hesaplanan ve simüle edilen sonuçlar karşılaştırma için Çizelge 1'de verilmiştir. ANSYS modeli ile hesaplanan sonuç Şekil 10'da gösterilmektedir. Tablo 1'de modellenen trafonun özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Trafoya ait tasarım bilgileri

Parametre	Değer
Nominal güç	15 MVA
Nominal Frekans	50 Hz
Gerilim oranı (Primer/Sekonder)	33/11 kV
Yoke uzunluğu	2950 mm
Bacak yüksekliği	2380 mm
İki bacak arası uzaklık	1185 mm
Sargı yüksekliği	1040 mm
Sac kalınlığı (M125-27S)	0.27 mm
İletkenlik(M125-27S)	5000000 S/m
Yığıma faktörü	0.95



Şekil 10. 15 MVA transformatörünün sonlu eleman çözümü.

Tablo 2. Trafo çekirdeğindeki hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

	ΔT_{max}	δ [%]	ΔT [K]
Del Vecchios	87.6	4.1	87.1
Gotter	79.1	-6.9	78.1
Higgins	86.01	0.4	-
SEY	89.1	0.32	84.1
Deneysel	91.3	-1.98	89.2

Deneysel sonuçlar, simülasyonda kullandığımız gerçek bir trafo modelini bizimle paylaşan bir transformatör fabrikasından alınmıştır. Nüvedeki maksimum sıcaklık değeri nüvenin orta bacağında meydana gelmiştir. Bu nedenle nüvede meydana gelen kayıplar, açığa çıkan ısıya bağlı olarak sargılarda meydana gelen kayıplardan daha düşük olmuştur.

Tasarlanan termal model ile transformatörün simülasyonu ve analizi başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Standart sıcaklık değerleri kıyaslandığında sargıların ve nüvenin maksimum sıcaklık değerlerinde yaklaşık % 2'lik bir fark oluştuğu belirlenmiştir. Bu değer, transformatörün termal alanının simülasyonunun gerçeğe çok yakın olduğunu göstermektedir.

Modellenen transformatörünün hesaplamalarının sonuçları, SEY yöntemlerinin deneylerle pratik olarak aynı sonucu gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle, SEY yönteminin sonucu, bu karmaşık düzenleme için karşılaştırmanın temeli olacaktır. İki basit yönteminin sonuçları SEY sonuçları ile karşılaştırıldığında, bu yöntemlerin doğruluğunun önceki düzenlemeye benzer olduğu ve Gotter yönteminin sonucunun daha düşük değerler sağladığı söylenebilir. Bu üç aşamalı düzenlemede, Higgins'in yönteminin sonucu da SEY'e en yakın olmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, çekirdek tip güç transformatörlerinin sıcaklık artışının hesaplama yöntemlerine genel bir araştırma sunulmuştur. Bu çalışmada, ilk analitik çözümlerden son teknoloji olan SEY'e kadar yöntemler açıklanmıştır. Ayrıca, yaygın olarak kullanılan dört hesaplama yöntemi pratik örneklerle karşılaştırılmıştır. Modellenen transformatörün sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ölçülen ve SEY hesaplanan değerler arasındaki farkın, sıcaklık ölçümünün belirsizliğinden daha az olduğunu göstermektedir. Higgins'in yöntemi de çok hassastır, ancak SEY veya SF çözümleri kadar karmaşık hesaplama gerektirir. Gotter'ın termal direnç çözümü çok basit ve hızlıdır. Bu yöntemin kesinliği yaklaşık %10'dur ve Ryder'ın yöntemiyle kolayca geliştirilebilir. Sonuçlar, basit yöntemlerin çok daha az hesaplama süresi ile iyi sonuçlar sağladığını göstermektedir. Bu nedenle, son bir tasarım sürecinde, bir SEY yöntemine dayalı hesaplama en iyi doğruluğu verir. Ancak ön tasarım aşamasında, Gotter'ın termal direnç yöntemi en verimli olabilir.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi BAP birimince destek almıştır. Proje No: FBA-2017-639. Katkılarından dolayı teşekkürler.

Kaynaklar

- [1] Lee M., Abdullah H. A., Jofriet J. C., Patel D., (2010). Thermal modeling of disc-type winding for ventilated dry-type transformers. *Electric Power Systems Research*, 80 121–129. doi.org/10.1016/j.epsr08.007
- [2] Del V., R. M., Poulin, B., Feghali, P. T., Shah, D. M., Ahuja, R. (2001). Transformer design principles with applications to core-form power transformers. CRC Press, doi: 10.1201/ebk1439805824
- [3] Ryder, S. A., Vaughan, I. J. (2004). A simple method for calculating core temperature rise in power transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 19(2), pp. 637–642. doi: 10.1109/tpwr.2003.820222
- [4] Gotter, G (1954). *Erwärmung und Kühlung elektrischer Maschinen. (Heating and Cooling of Electrical Machines.)* Springer-Verlag, (in German). doi: 10.1007/978-3-642-50337-5
- [5] Buchholz, H (1934). Die zweidimensionale wärmeströmung des beharrungszustandes im rechteckigen querschnitt geblatterter eisenkörper bei flachenhaft, un stetig oder stetig verteilten wärmequellen. *ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics/ Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*. 14(5), pp. 285– 294. in German doi: 10.1002/zamm.19340140505
- [6] Higgins, T. J. (1945). Formulas for calculating temperature distribution in transformer cores and other electric apparatus of rectangular cross section. *Electrical Engineering*. 64(4), pp. 190–194. 19 doi: 10.1109/ee.1945.6440972
- [7] IEEE (2006-2007). Standard for standard general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers. *IEEE Std C57.12.00-* doi: 10.1109/IEEESTD.2007.323389.
- [8] Birke P., Palmer S. (1970). A capacitively coupled magnetic ux mapper. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-89(7)*, pp. 1635– 1642. doi: 10.1109/tpas.1970.292811.
- [9] Kayan C. (1945). An electrical geometrical analogue for complex heat flow. *Transactions of ASME*. 67(8), pp. 713–716. doi: 10.1109/ee.1945.6440972
- [10] Kuchler, R (1966). *Die Transformatoren: Grunlagen Fur Ihre Berechnung und Konstruktion. Transformers: calculation and design fundamentals.* Springer-Verlag, (in German) doi: 10.1007/978-3-642-52496-7
- [11] Muthanna K.T., Sarkar A., Das K., Waldner K. (2006). Transformer Insulation Life Assessment. *IEEE Trans, Power Deliv.* 21150 – 156.
- [12] Nageswara M. R, Malay M. (2011). Impact of Harmonics, Estimation of Losses and Life expectanc & Mitigation of ill effects. https://www.academia.edu/6676494/Distribution_Transformer_Impact_of_Harmonics_IEEE_Format_2. Erişim tarihi 10.10.2017
- [13] Soh T. L. G, Said D. M, Ahmad N, Nor K. M, Salim F (2013). Experimental study on the impact of harmonics on transformer. *IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)*, pp.686-690.
- [14] Sadati S.B., Tahani A., JafariM ., Dargahi M., (2008). Derating of Transformers under Non-sinusoidal Loads. in: *11th International Conferenec on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM*, pp.263-268.
- [15] Weh, H. (1951). Die zweidimensionale wärmeströmung im geschichteten transformator kern. The two-dimensional heat-flow in transformer core. *Electrical Engineering Archiv fur Elektrotechnik*. 41(2), pp. 122–126. 195 (in German) doi: 10.1007/bf01576220
- [16] Roth, E (1927). *Introduction a l'étude analytique de l'échauffement des machines électriques. Introduction to the analytical study of the heating of electrical machines.* E. Chiron, Paris. France.
- [17] Teke, I. H., ÖZÜPAK, Y., & MAMIŞ, M. S. (2019). Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method. *International Journal of Engineering and Computer Science*. 8(01), 24451–24460. Retrieved from <http://www.ijecs.in/index.php/ijecs/article/view/4262>.

- [18] Taylor, E. D., Berger, B., Western, B. E (1958). An experimental approach to the cooling of transformer coils by natural convection. Proceedings of the IEEPart A: Power Engineering. 105(20), pp. 141–152. doi: 10.1049/pi-a.0034
- [19] Tenyenhuis, E. G., Girgis, R. S., Mechler, G. F., Zhou, G. (2002). Calculation core hot-spot temperature in power and distribution transformers. IEEE Transactions on Power Delivery. 17(4), pp. 991–995. doi: 10.1109/tpwr.2002.803703
- [20] Özüpak Y, MAMIS M. S (2019). Realization of electromagnetic flux and thermal analyses of transformers by finite element method. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 14(10), 1478-1484. doi: 10.1002/tee.22966.
- [21] Tamás O, Gábor K, Tamás I, Z. Ádám T., (2016). Comparison of Methods for Calculation of Core-Form Power Transformer's Core Temperature Rise. Periodica Polhtecnica Electrical Engineering and Computer Science. DOI:10.3311/PPee.8893.

PSCAD/EMTDC SİMÜLASYON PROGRAMI KULLANILARAK BİR MİKRO ŞEBEKENİN YÜK FREKANS KONTROLÜ (LFC)

Mehmet Şefik ÜNEY^{1*}, Ömer Ali KARAMAN²

¹Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, 73000, Şırnak, Türkiye

²Batman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 72000, Batman, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 20.05.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 29.07.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.939716

ÖZET

Güç kalitesinin sürekliliği, günümüzün modern şebeke yapısında ve geleceğin akıllı şebeke yapısında önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut şebeke sistemine dâhil edilmesi ve teknolojik cihazların kullanımının artması güç kalitesinin düşmesine neden olacaktır. Güç sistemi harmonikleri, güç kalitesinde düşüşe neden olan faktörlerden biri olarak nitelendirilebilir. Bu faktörün etkileri önlenmezse, güç sistemlerinin performansında ve güvenilirliğinde ekonomik kayıplara neden olacak bir düşüşe yol açacaktır. Bu çalışmada, yakın gelecekte hayatımızda çok önemli bir rol oynayacak ve muhtemelen yeni şebeke altyapısına örnek olabilecek bir mikro şebeke tasarlanmıştır. Bu mikro şebeke, PSCAD/EMTDC programı ile simule edilmiştir. Güç sistemi simülasyon programları arasında PSCAD/EMTDC programı, gelişmiş grafik olanakları ve gerçek zamanlı model uygulamaları gibi öne çıkan özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Mikro şebekelerin, sistem güvenilirliğini artırmak, dağıtık üretim (DG) birimleri arasında paylaşmak ve frekans-gerilim değerlerini belirli sınırlarda tutmak için kontrol yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada en çok kullanılan yöntemlerden biri olması ve literatürdeki başarısı kanıtlanmış olması nedeniyle droop control yöntemi tercih edilmiştir. Tasarlanan sistem dört farklı senaryo ile test edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Güç kalitesini etkileyen nedenlerden biri olan yük frekansı kontrolü (LFC) özellikle analiz edilmiştir. Tüm senaryolardan elde edilen sonuçlara göre, dört numaralı senaryo hariç, frekans aralığının 58-60 Hz bandını geçmediği belirlenmiştir. Elektrikli araçların (EV) sisteme dâhil edilmesi durumunda yeni çözüm önerileri sonucunda sağlanan ek maliyetler ve avantajlar değerlendirilmiştir. Özellikle çift yönlü enerji akışı (V2G) özelliğine sahip elektrikli araçların şebekeye bağlanmaları sonucu ortaya çıkan yeni durumlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: LFC, Mikro Şebeke, PSCAD/EMTDC, Güç kalitesi, Akıllı şebeke

LOAD FREQUENCY CONTROL (LFC) OF A MICROGRID USING PSCAD/EMTDC SIMULATION PROGRAM

ABSTRACT

Continuity of the power quality is important in the modern day grid structure and the smart grid structure of the future. Incorporating the renewable energy sources to the present grid system and the increase of the usage of technology devices will cause the power quality to decrease. Power system harmonics can be characterized as one of the factors that causes a decrease in the power quality. The effects of this factor, if not prevented, will lead to a decrease in the performance and reliability of power systems which will cause economic losses. In this study, a micro grid, which will play a very important role in our lives in the near future and can possibly be an example to the new grid infrastructure, has been designed. This micro grid has been simulated with the PSCAD/EMTDC program. Among the power system simulation programs, the PSCAD/EMTDC program was preferred because of its outstanding features such as advanced graphics facilities and real-time model applications. Micro grids need to use control methods to increase system reliability, to share power between distributed generation (DG) units and to keep frequency-voltage values at certain limits. Droop control method is preferred in this paper since it is one of the most widely used methods and its success in literature has been proven. The designed system has been tested with four different scenarios and the results have been discussed. According to the results obtained from all

*¹ e-mail: msefikuney@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4743-0764> (Sorumlu Yazar),

² e-mail: omerli.karaman@batman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1640-861X>,

scenarios, except for scenario number four, it was determined that the frequency range did not exceed the 58-60 Hz band. Load frequency control (LFC), one of the reasons that effect the power quality, was particularly analysed. The additional costs and the advantages provided as a result of novel solution proposals in the case of electric vehicles (EV) being incorporated to the system were evaluated. Particularly, provision of bidirectional energy flow of the vehicle to grid (V2G) featured electrical vehicles to the grid was examined.

Keywords: LFC, Micro grid, PSCAD/EMTDC, Power quality, Smart grid

1. Introduction

Electrical energy; is a clean type of energy which is easy to use, transmit and control, as well as, its easy transformability into other types of energy and bringing meaning into our lives. This energy not only increases the quality of human life, but is also one of the essential requirements of industrial production, as well as being the most important factor in providing social and economic progress. Increasing energy prices, global warming and climate changes, population growth both in the whole world and in the developing countries as well as the elevation of living standards, an increase in the energy demand in parallel with the developments in industry and technology, continuation of the dependency on the fossil fuels in the near future which are rapidly running out, providing security of supply and the developments in the field of novel energy technologies make the countries seek for new alternatives. This shows that there is a high incidence of need to use renewable energy sources for the production of electrical energy. Although there is a large variety of renewable energy sources (such as biomass, geothermal, solar energy, wave, landfill gas), this study has been limited to hybrid renewable energy systems consisted of PV panel and micro hydroelectric generating units [1-2].

The Earth is quite rich in terms of variety and potential of renewable energy sources. The cost of these energy sources are quite low. Due to their renewability, they never run out and, unlike conventional fuels, they do not become a threat to neither the environment nor human health. However, the discontinuity and, naturally, the unpredictability of renewable energy sources prevent them from being commonly used. This problem can be solved with the proper management strategy and storage system, which resolves the time inconsistency between energy generation and load requirement. Electrical energy, which is traditionally generated from sources found away from residential areas, is being increased to high voltages in order to decrease the losses, as well as being transmitted as alternating voltage and distributed by lowering it to low voltage at the distributing point. At first, electrical energy was generated centrally and was transmitted and distributed to long distance areas. Whereas, in recent years, instead of electrical energy generation being central, the focus in decentralised generation systems and micro grids have increased due to environmental issues which are caused by the increasing consumption and traditional energy generation.

Some problems have arised in result of high incidence of renewable energy sources being included into the present system. The old system's conversion to the new generation system will bring many changes along with it. Innovations such as different grid configurations, operational and optimum strategies have challenged old and unidirectional system designs. Besides manufacturing, control, and communication systems being parts of the components of the grid system, new expenses such as electrical vehicles (EV) are close to being included to grid system on the consumption side.

Automatic Generation Control (AGC) is one of the most studied subjects that researchers have presented solution suggestions for, in recent years. Load Frequency Control (LFC) is used as a part of AGC in order to keep the constant frequency and regulate the interconnection power flows. Frequency control is important in terms of maintaining the power quality. Energy storing batteries in micro grids, superconductors, supercapacitors, flywheels and electrical vehicles are important for maintaining the power quality of the system. Electrical vehicles that are capable of specifically having vehicle to grid (V2G) bidirectional energy flow, have a vital importance for the grid system. Electrical vehicles having portable batteries bring an advantage for the system.

An Electric Vehicle is an alternative transportation option that has no exhaust gas emission and produces minimum amount of sound. In comparison to the conventional internal combustion engine vehicles, EV uses electric motor and battery energy for drive with higher productivity and a lower

operating cost. With the increase of the electric vehicles, the demand for electrical energy will increase and the burden of grid system will increase immensely. If this burden is not kept under control, it may cause frequency departure and even instability of the power system. More power needs to be reserved for the frequency control of the grid. For this purpose, the usage of energy storage technologies may be required.

Elsisi et al. have suggested a Bat Inspired Algorithm (BIA) based hybrid approach for blocking frequency oscillations in the power system [3]. Aziz et al. have carried out a study on surge frequencies which might arise from a wind station being included later to a hybrid power system that consists of different manufacture stations [4]. Dong et al. have presented a new approach of solution based on active disturbance rejection control (ADRC) method to minimize external disturbance, frequency oscillations, systemic imbalances and control errors [5]. Tan et al. have studied Linear active disturbance rejection control (LADRC) method for load frequency control (LFC) [6]. Sekhar et al. have suggested a hybrid PID controller based on Firefly Algorithm (FA) for frequency control [7]. Maslo et al. have investigated the strategies of active power and frequency control in the state of island operation mode for a smart grid [8]. Khooban et al. have pointed out that large frequency alterations may form in case of production and demand imbalances in the smart grids and to overcome this problem, the electrical vehicle batteries can be used to feed the system. Additionally they have used a PI controller optimized with Modified Harmony Search Algorithm (MHSA) to resolve the disadvantages of the micro grid [9].

Waraich et al. have presented an iterative model based on more than one interconnecting energy bearing systems in order to efface the negativities that may occur if electrical vehicles are included in the grid [10]. Tan et al. made a broad review study regarding the benefits and difficulties of the electrical vehicles on grid system [11]. Falahati et al. have suggested a new smart charging method based on ambiguous logic method to prevent frequency fluctuations if the electrical vehicles are included into the grid as loads [12]. The performance of the suggested method were compared to a PI controller optimized for controlling frequency. Panwar et al. have studied on a multi-purpose optimization method to maximize the level of the line losses, operating cost as well as stored energy value; rather than a simple approach to minimize the line losses in the grid for optimizing micro grid parameters [13]. Fard et al. on the other hand, have suggested a new stochastic method regarding the optimum management of electrical vehicle charging in the micro grid [14]. Kamankesh et al. have used Monte Carlo simulation which is a known method for the management of micro grid [15]. Aliasghari et al have suggested an energy management model with the purpose of decreasing the energy cost [16]. Drude et al. have presented a new approach study for the energy market of Brasil [17]. Peng et al have carried out a study that reviewed the delivery strategies of electrical vehicles included in the grid for frequency regulation [18]. Shaukat et al. have also carried out a comprehensive review study on the effects of micro grid and electrical vehicles on the system [19]. Bahramara et al. have suggested a novel management model in order to formulize micro grid's operating issue in the best way possible [20]. Ferro et al. have suggested an optimization method in planning the electrical vehicles and system in the smart grid in the most proper way [21].

It is difficult to connect renewable energy sources directly to a main grid. A microgrid serves as an interface between distributed generation system and the utility grid. This interface is a low voltage distribution system consisting of DG units, batteries and load. A microgrid can be operated separately or it can also be connected to the main distribution system. The voltage form generated from DG units is DC. The majority of loads connected to the main grid system require AC voltage. Therefore, the inverters are very important for converting DC voltage to AC voltage. In addition, important task of the inverter can be said that interface between DG unit, load and system grid [22]. In order to increase system reliability, the inverters are connected in parallel to the micro grid system. Because if the inverter fails, the other modules of the system must be able to give the load the power it needs [23]. Many control methods have been proposed for high performance operation of the inverters connected in parallel with the system. Voltage and frequency droop control is a widely used method among these methods and is also accepted as a reliable method [24-26]. For these reasons, it is considered appropriate to use the droop control technique for the microgrid model designed.

2. Synchronous Generator Equivalent Circuit Model

Permanent magnet synchronous generator (PMSG) was used in this study. Assuming the fact that the surface of PMSG is magnetic, mathematical model on synchronous reference frame was stated with (1)-(5) equations.

$$V_q = Ri_q + L \frac{di_q}{dt} + \omega_e \lambda_m \quad (1)$$

$$V_d = Ri_d + L \frac{di_d}{dt} + \omega_e L_d i_q \quad (2)$$

$$T_g = J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r + T_m \quad (3)$$

$$T_m = \frac{3P_p \lambda_m}{2} i_q \quad (4)$$

$$\theta_e = P_p \theta_r \quad (5)$$

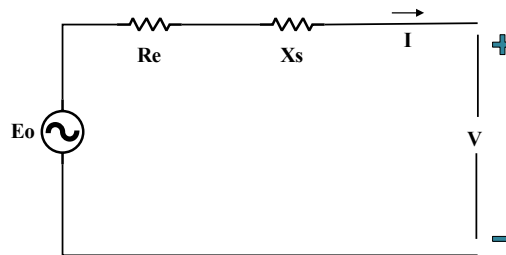


Figure 1. Synchronous Generator Equivalent Circuit Model

Here, θ_r stands for rotor position/location, ω_r rotor angle velocity, V_d , V_q , i_d , i_q d and q axis voltages and currents, T_g , T_m , θ_e generator momentum, mechanical moment and electrical angle, λ_m , P_p , J , B magnetic flux, number of poles, inertial momentum and friction constant respectively.

3. Solar Cell Equivalent Circuit Model

In this study, a general solar cell equivalent circuit model and related equations were given. In figure 2, the circuit diagram relevant to a general model is seen. The related equations to this circuit were given between (6)-(9).

Abbreviations in electrical equivalent circuit;

I_{pv} : Electric current generated by sunlight

I_d : Diode current

I : Load current

R_s : Series resistance

R_p : Parallel resistance

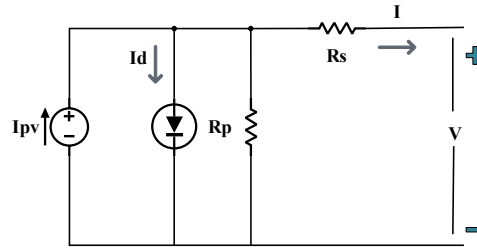


Figure 2. Solar Cell Equivalent Circuit Model

Here, λ , shows radiation as kW/m², I_{sc} short circuit current of solar cell at 25 C, K_i short circuit current of solar cell constant for temperature, T working temperature of solar cell as K. At Equation (6) Reverse Saturation current was given as I_{rs} . Also, V_{oc} stands for open circuit voltage of solar cell, N_s number of moduls in the solar cell, k boltzman constant, A ideal factor depending on the material used.

$$I_{rs} = I_{scr} / \left[e^{(qV_{oc}/N_s k A T)} - 1 \right] \tag{6}$$

I_s also stands for saturation current which varies depending on the value given for solar cell. Saturation current was given at equation (7). In which T_{ref} shows the reference temperature of the solar cell, E_g the band range energy of the semi-conductor used in the solar cell, q electronic charge.

$$I_s = I_{rs} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 e^{\frac{(q^* E_g)}{A k (1/T_{ref} - 1/T)}} \tag{7}$$

The current I is expressed as in equation (8).

$$I = I_{pv} - I_s \left[e^{\frac{(q^*(V + I R_s))}{A k T}} - 1 \right] - \frac{(V + I R_s)}{R_s} \tag{8}$$

In Figure 2, if the diode current is I_d , it is expressed as given at Equation (9). There while V_d is diode voltage and V_T is temperature voltage.

$$I_d = I_o e^{(V_d/V_T - 1)} \tag{9}$$

4. Battery Equivalent Circuit Model

The battery model used here is the modified form of a basic battery model. A fixed resistor, which is used for a basic battery model, turns into a resistor that changes circumstantially. Here, internal resistance R_{in} varies depending on the battery’s fullness.

$$R_{in} = \frac{R_o}{S^k} \tag{10}$$

(V_{oc}) given in Figure 3 shows the open circuit voltage, R_o given in equation (10) shows internal resistance of a full battery, k shows capacity coefficient, and S shows the state of the varying fullness of battery between 0 and 1.

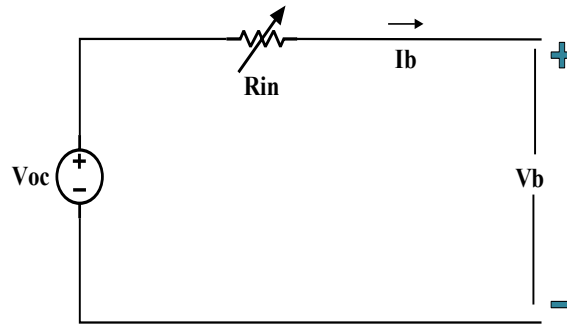


Figure 3. Battery Equivalent Circuit Model

5. Droop Control Method

In islanded microgrids, distributed generation units are planned to meet the power demand from the load. Being able to meet the demands power is only possible if the voltage and frequency values can be kept within certain limits by distributed generation units. In addition, the ability to share power between distributed generation units is important for reducing system losses. Many control strategies have been adopted in the literature to solve these problems. In this study, droop control method which is one of the most preferred methods in the literature is used as control method. Active and reactive power can be defined by the following two equations.

$$P = \frac{EV}{X} \sin \phi \tag{11}$$

$$Q = \frac{EV \cos \phi - V^2}{X} \tag{12}$$

where X represent output reactance of inverter, Ø phase angle between the output voltage of the inverter and the voltage of the bus, E the magnitude of the inverter output voltage, V amplitude of grid output voltage. As can be seen from equations (11-12), the active power depends on the phase angle variable and the reactive power depends on the voltage variable. The droop control method with the general expression is indicated by the following equations (13-14).

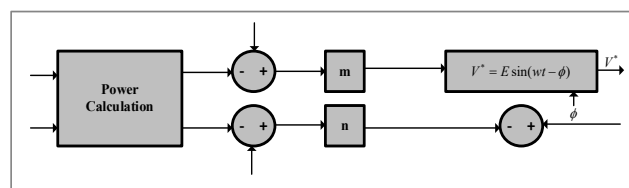


Figure 4. Block diagram of droop controller

$$\omega = \omega^* - m(P - P_i) \tag{13}$$

$$E = E^* - n(Q - Q_i) \tag{14}$$

where ω^* represent angular frequency of output voltage, E^* voltage amplitude when the system is not loaded, m and n droop coefficients, P and Q active power and reactive power values, P_i and Q_i instantaneous active and reactive power values. Figure 4 has an overview of the droop control strategy.

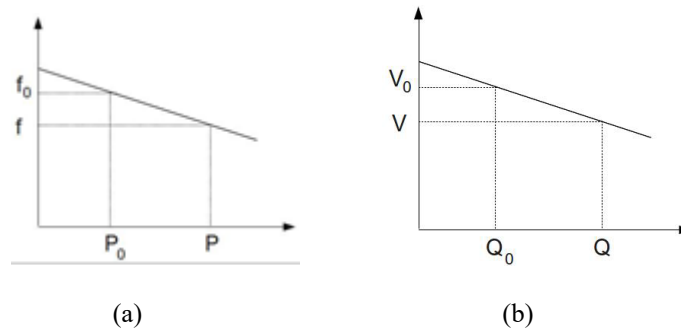


Figure 5. (a) Frequency droop characteristic (b) Voltage droop characteristic

The frequency drop in Figure 5 can be explained; as seen from the figure, the frequency drops from f_0 to f , in which case the power output value of the inverter increases from P_0 to P . The system will require extra active power generation as the system will be overloaded with the reduced frequency. In the case of increased active power generation, the reduction of the frequency will be prevented, and the droop control method will develop a strategy to keep the system frequency constant. At the same time, the droop characteristic will help multiple modules to share the load appropriately to control the load [27].

6. Microgrid Model

In this study two conventional permanent magnetic synchronous generator at the power of 300 kW and 500 kW were designed for manufacturing in a PV power plant in which their power vary depending upon the sun radiation. Scenarios formed in this grid model have been modelled on the PSCAD/EMTDC simulation program.

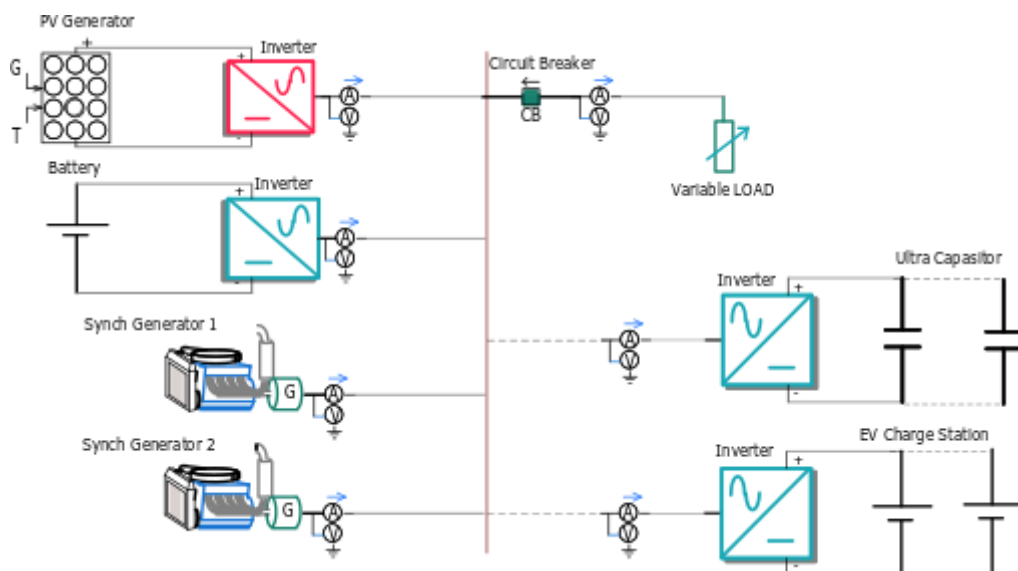


Figure 6. Microgrid Model

Four different case scenarios were formed for the model and the current, voltage, frequency variables of the system were analyzed. For this study, we tried to keep the frequency value within the

range of 58-60 Hz in all scenarios by using control variables. The scenarios for the model were listed on the Table 1.

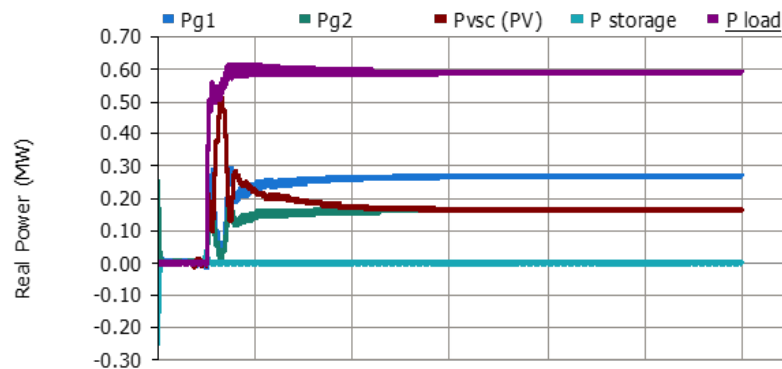
Table 1: Scenarios Created for Microgrid

Scenarios	Gen.1	Gen.2	Gen.PV	Battery	Active Load (kW)	Reactive Load (kVar)
SCNR1	Actv	Actv	Actv	Actv	600	200
SCNR2	Actv	NaN	Actv	Actv	600	200
SCNR3	NaN	Actv	Actv	Actv	600	200
SCNR4	NaN	NaN	Actv	Actv	200	50

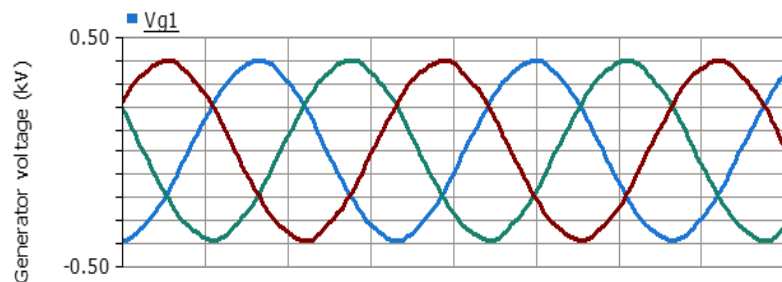
6.1. Scenario-1

When the simulation program activated for the scenario 1, the active power distribution for the stable state were as follows: Pg1: 269 kW, Pg2: 162 kW, Ppv: 174 kW, Pstorage: -18 kW, Pload: 587 kW.

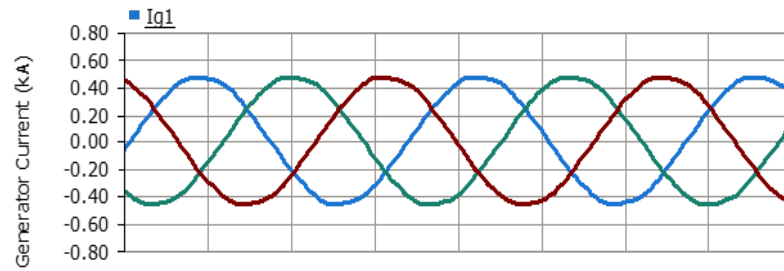
The system's temporary case uncertainty does not take long as seen on Figure 7 (a). As understood from the active power distribution, the battery charges by transferring power from the system. Since all generators are turned on, load (burden) value can be met easily without being exposed to any difficulty. The systemic frequency can easily reach the targeted value of 60 Hz. As can be seen from the graphs of the current and voltage of the system, harmonic distortion effect in the 3-phase sinusoidal diagrams can be stated as not significant. As understood from this situation that the system can be stated as being in an ideal working range.



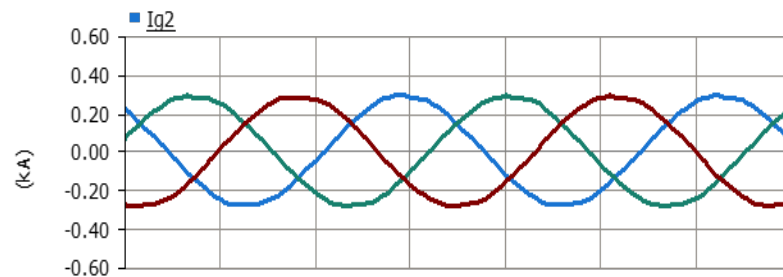
(a)



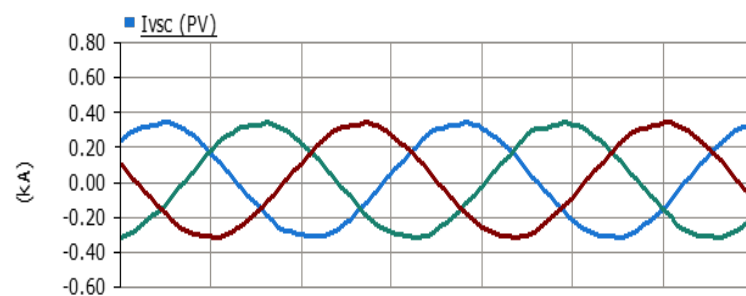
(b)



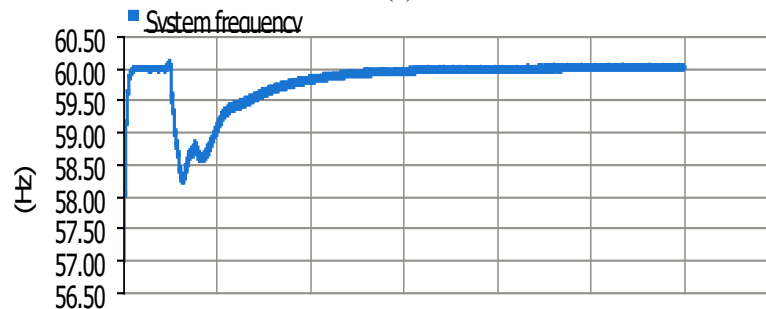
(c)



(d)



(e)



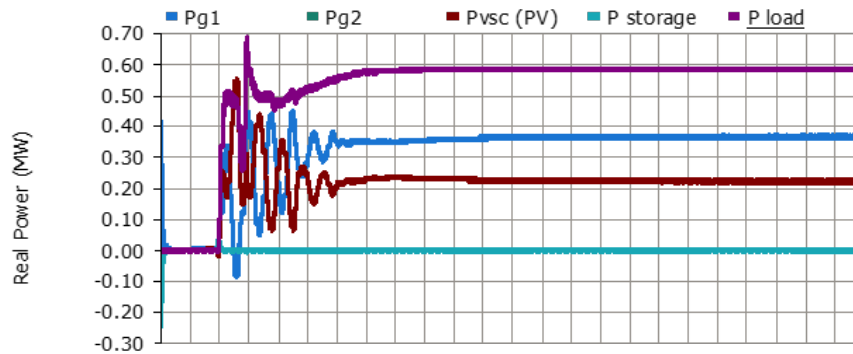
(f)

Figure 7. System variables for Scenario 1 in the Micro Grid Model a) Power distribution graph of the system b) 3-phase voltage graph of no. 1 synchronous generator c) 3-phase voltage graph of no. 1 synchronous generator d) 3-phase voltage graph of no. 2 synchronous generator e) Inverter output 3- phase PV current graph f) System Frequency

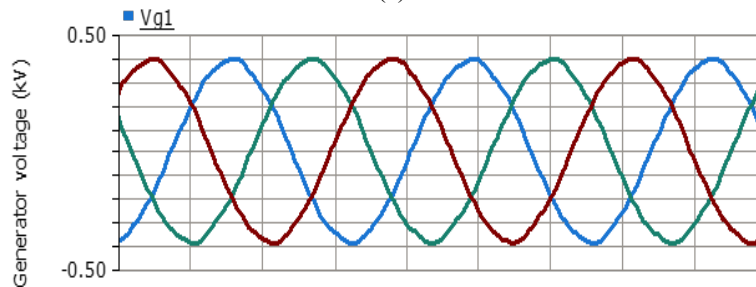
6.2. Scenario-2

For the second scenario, the simulation program was activated and the system's stable state active power distributions were determined as follows. P_{g1} : 364 kW, P_{g2} : 0 kW, P_{pv} : 221 kW, $P_{storage}$: -2 kW, P_{load} : 583 kW. The system's temporary state instability lasts longer than the first scenario as seen on Figure 8 (a). The reason for this can be attributed to the fact that the demanded load/burden amount is close to reaching the power generation limits of the system. Because the system was concentrated on

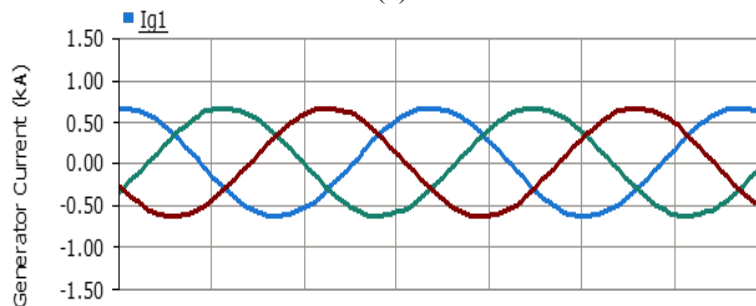
supplying the load value, power transfer to the battery system decreased. The system had a difficulty to compensate the demanded burden amount because generator 2 was not turned on. The system frequency has reached the targeted value as a result of temporary scenario oscillations. After the system passing to a stable state, there has been apparent improvement on the current and voltage graphics. For the system to get over temporary instability state scenario it is needed to take precautions like using superconductors, supercapacitors, and backup battery groups.



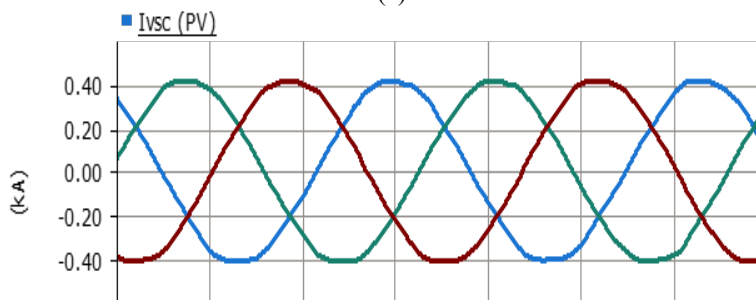
(a)



(b)



(c)



(d)

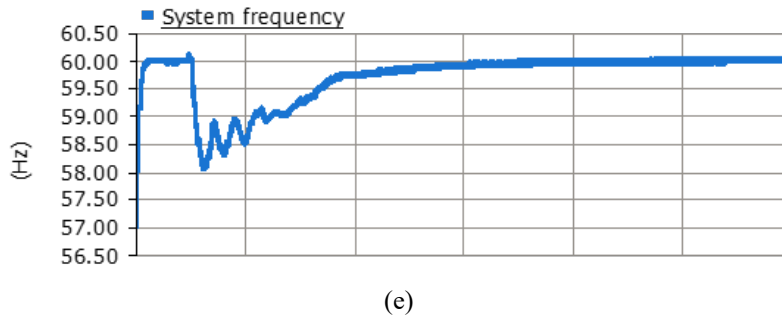
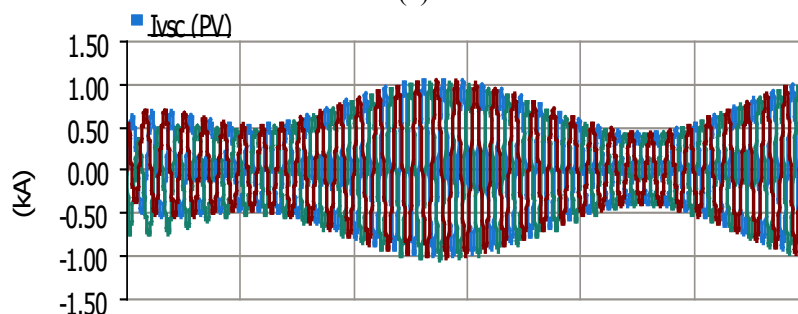
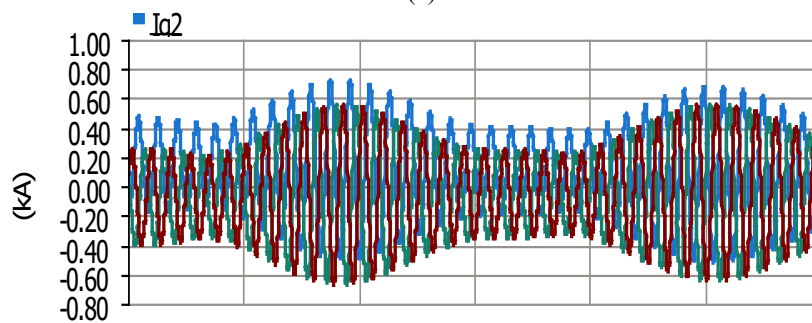
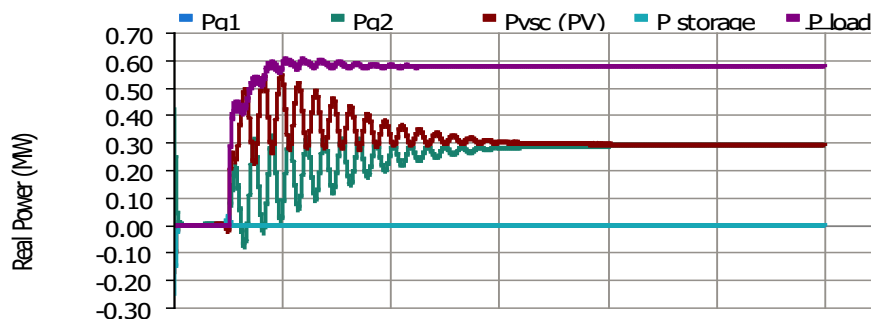


Figure 8. System variables for Scenario 2 in the Micro Grid Model a) Power distribution graph of the system b) 3-phase voltage graph of no. 1 synchronous generator c) 3-phase voltage graph of no. 1 synchronous generator d) Inverter output 3- phase PV current graph e) System Frequency

6.3. Scenario-3

For the third scenario, when the simulation program is activated, the system’s active power distribution for stable state was measured as follows: Pg1: 0 kW, Pg2: 290 kW, Ppv: 290 kW, Pstorage: -3 kW, Pload: 587 kW. As seen on Figure 9 (a), it has taken a long time for the system to get to a stable state. The system has faced some difficulties to meet the demanded loads. In ideal systems, when the temporary unstable states take a long time, it reduces power quality of the system considerably. Power quality, voltage and frequency fluctuations as well as the resulting harmonics are the biggest problems that grid systems come across.



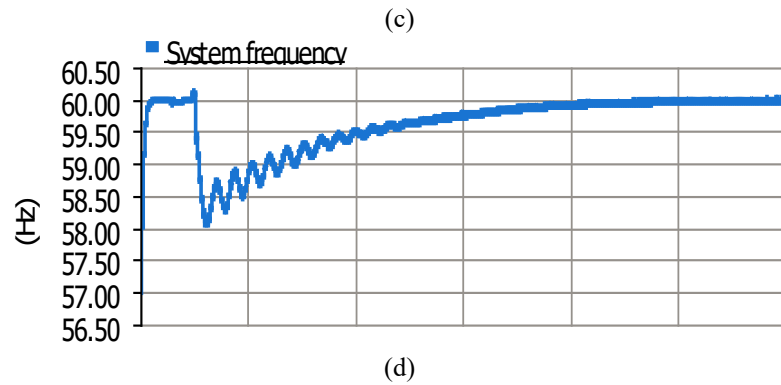
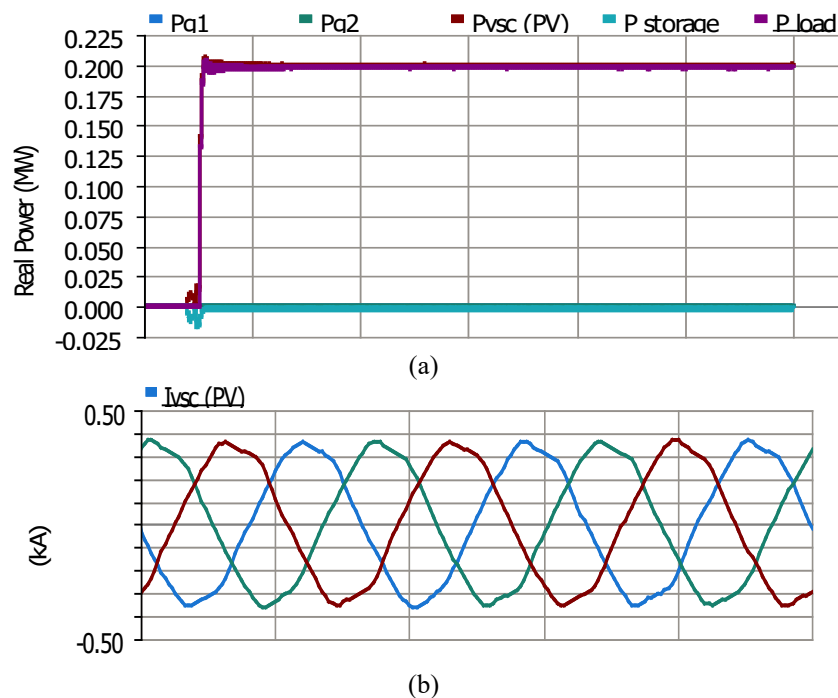


Figure 9: System variables for Scenario 3 in the Micro Grid Model a) Power distribution graph of the system b) 3-phase voltage graph of no.2 synchronous generator c) Inverter output 3-phase PV current graph d) System Frequency

The power transfer to the battery system has decreased to the almost zero point. The system frequency has reached the objective as a result of temporary scenario oscillations. The system's 3-phase current values have experienced unfavorable oscillations that affect the power quality negatively. For this scenario, besides certain precautions such as using superconductors, supercapacitors, and spare battery groups, it seems to be essential to incorporate the vehicle to grid (V2G) electrical vehicles more to the system to prevent frequency-voltage imbalances and to improve power quality. In addition, the removal of the loads/burdens from the system in accordance to the importance degree also has a positive effect if the system does not meet targeted load/burden efficiently.

6.4. Scenario-4

In the fourth scenario, the system were activated by feeding the PV generator, while the synchronous generators were deactivated. When the system was loaded on proper value ranges, the values read from the power distribution curves were as follows: P_{g1} : 0 kW, P_{g2} : 0 kW, P_{pv} : 199,8 kW, $P_{storage}$: -1,7 kW, P_{load} : 198,1 kW. As seen in Figure 10, the load and production values can compensate one another and the current-frequency values from the system components seem to be at proper ranges.



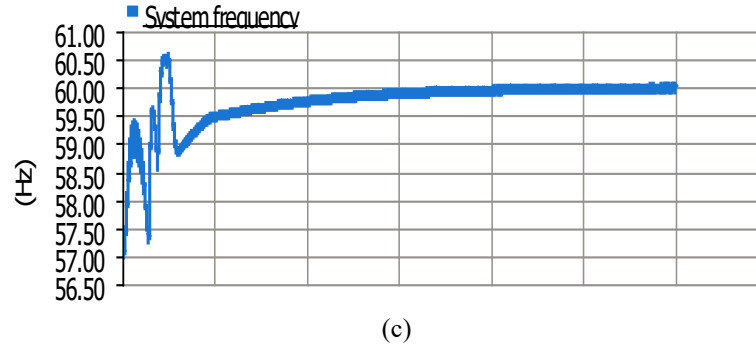


Figure 10: System variables for Scenario 4 in the Micro Grid Model a) Power distribution graph of the system b) Inverter output of the 3-phase PV current graph c) System Frequency

7. Conclusion

In this study, the system was operated under different states in order to determine the behavior of micro grid in different operating conditions. The system was operated in different conditions by both deactivating and activating the generators, the resultant alterations were analyzed through the current, voltage, frequency and power distribution graphs. The horizontal coordinate of the graphs showing all the results shows the time (t) variable. From the graphs, the results obtained regarding the behavior of micro grid are as follows: For the first scenario, particularly when the power distribution and frequency graphs were analyzed, it was seen that the system is in an ideal performance range. For the second scenario, it was observed that the system's temporary condition instability has lasted longer in comparison to the one in the first scenario, and the reason for this was the demanded load amount has reached closer to the limits of the power generation. For the third scenario, it has taken a long time for the system to transit to the stable state. The system has also been observed to have experienced some difficulties to overcome the demanded load and to have had some serious imbalances on the frequency and voltage values. It has been concluded that the system will not operate properly under these conditions if additional precautions are not taken. For the fourth scenario, it was observed that the system was loaded at the proper ranges and the current-frequency values of the system components were also seen at proper ranges. When all scenarios were examined, it was determined that the frequency range did not exceed the 58-60 Hz band, except for the temporary situation in scenario number four. Therefore, it can be said that the droop control method used in this study was successful.

Increasing the power quality and stabilizing the frequency value for the smart and micro grid systems appears to be a problem. In this study, we have encountered this problem particularly on the second and third scenarios. To come up with a solution for these problems and protect the system against sudden voltage drops, we recommend superconductors, supercapacitors and spare battery groups. In addition, vehicle to grid (V2G) featured electric vehicles are highly recommended due to their provision of mobile energy which are a considerable focus of discussion. Another suggestion of solution would be the removal of the loads from the system in accordance to the importance degree if the system does not meet the targeted load efficiently. That is, to conduct the efficient management of load is recommended.

References

- [1] Gayen P. K., Jana A.: 'An ANFIS based improved control action for single phase utility or micro-grid connected battery energy storage system', *Journal of Cleaner Production*, 2017, 164, pp. 1034–1049
- [2] Karaman Ömer Ali, Ağır Tuba Tanyıldızı, Arsel İsmail.: 'Estimation of solar radiation using modern methods', *Alexandria Engineering Journal*, 2021, 60.2: 2447-2455.

- [3] Elsisı M., Solıman M., Aboelela M.A.S., Mansour W.: 'Bat inspired algorithm based optimal design of model predictive load frequency control', *Electrical Power and Energy Systems*, 2016, 83, pp. 426–423
- [4] Aziz A., Oo A. T., Stojcevski A.: 'Analysis of frequency sensitive wind plant penetration effect on load frequency control of hybrid power system', *Electrical Power and Energy Systems*, 2018, 99, pp. 603–617
- [5] Dong L., Zhang Y., Zhiqiang G.: 'A robust decentralized load frequency controller for interconnected power systems', *ISA Transactions*, 2012, 51, pp. 410–419
- [6] Tan W., Hao Y., Li D.: 'Load frequency control in deregulated environments via active disturbance rejection', *Electrical Power and Energy Systems*, 2015, 66, pp. 166–177
- [7] Sekhar G.T.C., Sahu R.K., Baliarsingh A.K., Panda S.: 'Load frequency control of power system under deregulated environments using optimal firefly algorithm', *Electrical Power and Energy Systems*, 2016, 74, pp. 195–211
- [8] Maslo K., Kolcun M.: 'Load–frequency control management in island operation', *Electrical Power Systems Research*, 2014, 114, pp. 10–20
- [9] Khooban M. H., Niknam T., Frede B.: 'A new load frequency control strategy for micro-grids with considering electrical vehicles', *Electrical Power Systems Research*, 2017, 143, pp. 585–598
- [10] Waraich A. R., Galus D. M., Cristoph D., Balmer M., Andersson G., Axhausen W. K.: ' Plug-in hybrid electric vehicles and smart grids: Investigations based on a microsimulation', *Transportation Research Part C*, 2013, 28, pp. 74–86
- [11] Tan M. K., Ramachandaramurthy K. V., Yong Y.J.: 'Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 53, pp. 720–732
- [12] Falahati S., Taher A. S., Mohammad S.: 'A new smart charging method for EVs for frequency control of smart grid', *Electrical Power and Energy Systems*, 2016, 83, pp. 458–469
- [13] Panwar K. L., Reddy S. K., Kumar R., Panigrahi B. K., Vyas S.: 'Strategic Energy Management (SEM) in a micro grid with modern grid interactive electric vehicle', *Energy Conversion and Management*, 2015, 106, pp. 41–52
- [14] Kavousi-Fard A., Abunasri A., Alireza Z., Hoseinzadeh R.: 'Impact of plug-in hybrid electric vehicles charging demand on the optimal energy management of renewable micro-grids', *Energy*, 2014, 78, pp. 904–915
- [15] Kamankesh H., Agelidis G.V., Kavousi-Fard A.: 'Optimal scheduling of renewable micro-grids considering plug-in hybrid electric vehicle charging demand', *Energy*, 2016, 100, pp. 285–297
- [16] Aliasghari P., Mohammadi-Ivatloo B., Alipour M., Abapour M.: 'Optimal scheduling of plug-in electric vehicles and renewable microgrid in energy and reserve markets considering demand response program', *Journal of Cleaner Production*, 2018, 186, pp. 293–303
- [17] Drude L., Niknam T., Junior P. C. L., Rütther R.: 'Photovoltaics (PV) and electric vehicle-to-grid (V2G) strategies for peak demand reduction in urban regions in Brazil in a smart grid environment', *Renewable Energy*, 2014, 68, pp. 443–451
- [18] Peng C., Jianxiao Z., Lian L.: 'Dispatching strategies of electric vehicles participating in frequency regulation on power grid: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 68, pp. 147–152
- [19] Shaukat N., Khan B., Ali S. M., Mehmood C. A., Khan J., Farid U., Majid M., Anwar S. M., Jawad M., Ullah Z.: 'A survey on electric vehicle transportation within smart grid system', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81, pp. 1329–1349
- [20] Bahramara S., Heriř G.: 'Robust optimization of micro-grids operation problem in the presence of electric vehicles', *Renewable Energy*, 2018, 37, pp. 388–395
- [21] Ferro G., Laureri F., Minciardi R., Robba M.: 'An optimization model for electrical vehicles scheduling in a smart grid', *Sustainable Energy, Grids and Grids*, 2018, 14, pp. 62–70W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [22] Vandoorn, T. L., Meersman, B., Degroote, L., Renders, B., & Vandeveldel, L. (2011). A control strategy for islanded microgrids with dc-link voltage control. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(2), 703-713.

- [23] Mohd, A., Ortjohann, E., Morton, D., & Omari, O. (2010). Review of control techniques for inverters parallel operation. *Electric Power Systems Research*, 80(12), 1477-1487.
- [24] Reza, M., Sudarmadi, D., Viawan, F. A., Kling, W. L., & Van Der Sluis, L. (2006, October). Dynamic stability of power systems with power electronic interfaced DG. In *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition* (pp. 1423-1428). IEEE.
- [25] Sootweg, J. G., & Kling, W. L. (2002, July). Impacts of distributed generation on power system transient stability. In *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, (Vol. 2, pp. 862-867). IEEE.
- [26] Borup, U., Blaabjerg, F., & Enjeti, P. N. (2001). Sharing of nonlinear load in parallel-connected three-phase converters. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 37(6), 1817-1823.
- [27] Khadem, S. K., Basu, M., & Conlon, M. F. (2011). Parallel operation of inverters and active power filters in distributed generation system—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5155-5168.

A NEW RESAMPLING APPROACH BASED ON WEIGHTED GEOMETRIC MEAN FOR UNBALANCED DATA

Abdullah DAL¹, İbrahim Halil GÜMÜŞ², Serkan GÜLDAL³, Mustafa YAVAŞ^{4*}

¹Adiyaman University, Graduate Education Institute, Department of Mathematics, Adiyaman, 02040, Turkey

²Adiyaman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Adiyaman, 02040, Turkey

³Adiyaman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Adiyaman, 02040, Turkey

⁴Adiyaman University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Computer Technologies, Adiyaman, 02040, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 26.05.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 23.08.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.940539

ABSTRACT

In recent years, there have been great improvements in data classification processes using machine learning methods. As technological advances increase, the size of data in the internet and other environments also increases rapidly. With these developments, unbalanced and unclassified data has emerged. The problem of imbalance is that one of the two classes has fewer samples than the other. Most of the datasets, especially used in the medical field, have an unbalanced distribution. A dataset with unbalanced distribution negatively affects the performance of classification algorithms. Many studies have been conducted to balance and classify this distribution. These studies are at the data and algorithm level and are undersampling and oversampling processes. In this study, the existing samples belonging to the minority class were resampled synthetically, and the datasets were balanced. For the resampling process, among the samples belonging to the minority class, the closest neighbors were determined for all data points using the Euclidean distance metric. Based on these neighbors, the desired number of new synthetic samples were created between each sample using the Weighted Geometric Mean. As a result of this process, the dataset has been balanced. In addition, Random Undersampling (RUS), Random Oversampling (ROS), and Synthetic Minority Sampling Technique (SMOTE) methods are also used to balance the datasets. The raw and balanced datasets are classified using the Random Forest algorithm, and the results are compared. As a result of the study, an increase is observed in all performance values of the datasets balanced with the new resampling approach. Using the approach proposed in the study, it is shown that the balanced datasets using the new resampling method improve the classification performance compared to the raw dataset and other methods.

Keywords: *Resampling, Weighted Geometric Mean, Unbalanced Data, SMOTE*

DENGESİZ VERİLER İÇİN AĞIRLIKLIL GEOMETRİK ORTALAMA TABANLI YENİ BİR YENİDEN ÖRNEKLEME YAKLAŞIMI

ÖZET

Son yıllarda makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak veri sınıflandırma işlemlerinde büyük gelişmeler yaşanmıştır. Teknolojik gelişmeler arttıkça, internet ortamında ve diğer ortamlarda verilerin boyutu da hızla artmaktadır. Bununla beraber dengesiz ve sınıflandırılmamış veriler ortaya çıkmıştır. Dengesizlik problemi iki sınıftan birinin diğerine göre daha az örneğe sahip olması durumudur. Özellikle tıbbi alanda kullanılan veri kümelerin çoğu dengesiz dağılıma sahiptir. Dengesiz dağılıma sahip bir veri kümesi sınıflandırıcı algoritmaların başarımlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu dağılımı dengelemek ve sınıflandırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar veri ve algoritma düzeyinde olup, yeniden örnekleme yöntemi ile örnekleme azaltma ve örnekleme çoğaltma işlemleridir. Bu çalışmada azınlık sınıfa ait mevcut örnekler, yeniden sentetik olarak çoğaltılmıştır ve veri kümeleri dengelenmiştir. Yeniden örnekleme işlemi için, azınlık sınıfa ait örnekler arasında, Öklid uzaklık metriğiyle tüm data noktaları için en yakın komşular tespit edilmiştir. Bu komşular baz alınarak, her örnek arasında Ağırlıklı Geometrik Ortalama kullanılarak istenen sayıda yeni sentetik örnekler oluşturulmuştur. Bu işlem sonucunda veri kümeleri dengeli hale getirilmiştir. Ayrıca, veri setlerini dengelemek

* e-mail: ¹ m.abdullah.dal@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9306-6276>

² igumus@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3071-1159>

³ sguldal@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4247-0786>

⁴ myavas@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9111-9095> (Sorumlu Yazar)

için Rastgele Az Örnekleme (RUS), Rastgele Aşırı Örnekleme (ROS) ve Sentetik Azınlık Örnekleme Tekniği (SMOTE) yöntemleri de kullanılmıştır. Orijinal ve dengelenmiş veri kümeleri Random Forest algoritması ile sınıflandırılmış ve sonuçları kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, yeniden örnekleme yaklaşımı ile dengelenen veri setlerinin tüm performans değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Çalışmada önerilen yaklaşım ile yeniden örneklenecek dengelenen veri kümesi, ham veri kümesi ve diğer yöntemlere kıyasla sınıflandırma performansını iyileştirdiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeniden Örnekleme, Ağırlıklı Geometrik Ortalama, Dengesiz Veri, SMOTE

1. Introduction

It is not possible to manually process and analyze the increased data on the Internet and other digital platforms. In recent years, these data can be classified with artificial intelligence-based machine learning methods, and predictive analysis can be made from past data [1]. Machine learning methods are continuously developed to find the most suitable model for new data using existing data. The processes of analyzing the data, extracting and interpreting the useful information from it can be done with machine learning-based data mining [2]. Machine learning methods are used in many areas such as medical diagnostics, face recognition, text classification, fake transactions, and spam filtering [3]. The purpose of usage in these areas is to produce feasible solutions to complex events in our lives. However, machine learning and deep learning-based algorithms are insufficient in studies conducted in these areas. One of the problems in this regard is the problems caused by unbalanced datasets. An unbalanced dataset is an unequal distribution of data across classes. There is a noticeable decrease in the performance values of machine learning algorithms if the dataset is unbalanced. For this reason, resampling methods that stabilize unbalanced datasets are an important step in increasing the performance values of classifiers before starting the classification phase. There are two well-known methods emerging to eliminate this imbalance [4]. The first method is oversampling and making synthetic samples, the second method is undersampling. In the oversampling method, the data of the party with less class is generated by the existing dataset and reused to balance the two sets. In the synthetic data generation method, the classes are to be balanced by resampling the data of the minority class using certain algorithms. In the undersampling method, it is to ensure that the majority class in the dataset is reduced and then balanced.

According to the results of many studies, it has been observed that the applications that give more successful results in balancing the unbalanced dataset are the methods used by increasing the samples in the dataset. It has been observed that the results of datasets with fewer samples are more inconsistent. It was seen that the SMOTE algorithm of Chawla, Bowyer [5] is one of the methods that systematically balances the samples in the dataset and provides the most accurate operation of the application.

In this study, a synthetic sample generation method provides higher performance values in the classification phase of the datasets. In the developed method, the neighbor pairs of the samples belonging to the minority group in the predefined range are determined by using Euclidean distance metric, and new synthetic data is generated in the desired number of samples using Weighted Geometric Mean. The defined range changes respect to the balance of the overall dataset. With the applied new method, the datasets are balanced, and the new datasets are classified using the Random Forest algorithm. In addition, Random Undersampling (RUS), Random Oversampling (ROS), and Synthetic Minority Sampling Technique (SMOTE) methods are also used to balance the datasets. As a result of the experiments conducted in the study, it was found that the dataset balanced using the proposed method increased the performance values as a result of classification and improves the classification performance compared to the raw dataset and other sampling methods. As the performance value, overall Accuracy, Precision, Recall, F-Measure, and AUC-ROC values were taken into account.

2. Related Studies

Many different approaches have been proposed to classify the dataset to improve model performance and get better results. The simplest method to reduce the imbalance rate is to remove some

random samples from the majority class from the dataset. This approach is included in the Random Undersampling (RUS) method proposed by Batista et al. [8]. Unlike RUS, instead of removing samples from the majority class, Random Oversampling (ROS) randomly selects samples in the minority class, copies them and balances the dataset [8]. In Chawla et al. [5], the SMOTE algorithm was developed to stabilize the unbalanced datasets, and it is among the best working algorithms on this subject. Han et al. [6] proposed the Borderline- SMOTE method in the study by using the borderlines of the datasets formed by the samples in the minority class using the SMOTE method. Nguyen et al. [7] developed the SVM-SMOTE model in order to create a new minority dataset element by using support vectors. Batista et al. [8] developed the SMOTE-ENN method with the combination of the Edited Nearest Neighbors (ENN) methods by using the random sampling reduction method with SMOTE. Mani and Zhang [9] proposed the NearMiss method in order to reduce the sample numbers of high-dimensional datasets in a more systematic way instead of randomly decreasing them. Sun et al. [10] obtained high performance values by using the AdaBoost method at the algorithm level, weighting strategies for different datasets and the activities in identifying rare cases through experiments on several real-world medical datasets with class imbalance problem. Yijing et al. [11] proposed an adaptive model based on local properties for multi-class unbalanced datasets. It is stated that they can make a successful classification for almost all kinds of unbalanced datasets in the model they named Adaptive Multiple Classifier System. Rahman and Davis [12] proposed an advanced sampling technique by examining the performances of oversampling and undersampling techniques to balance medical data. As a result of the study, it is shown that the proposed method is more successful than the existing methods.

3. Material ve Method

3.1. Datasets Used

In the study, 4 real-life datasets with different sizes, different sample numbers, and different imbalance rates were used. Datasets are taken from KEEL (Knowledge Extraction based on Evolutionary Learning) open source software tool site [13]. The characteristics of the datasets used in the study are given in Table 1.

Table 1. Characteristics of the datasets. The imbalance ratio is obtained by dividing the majority class by the minority class.

Datasets	No. of Samples	Attributes	No. of Majority	No. of Minority	Imbalance Ratio
Pima	768	8	500	268	1.87
Wisconsin	683	9	444	239	1.86
Vehicle2	846	18	628	218	2.88
Yeast1	1484	8	1055	429	2.46

Considering the sample distribution and imbalance rate of the datasets shown in Table 1, it is seen that the datasets have an unbalanced distribution. By using the new resampling method and other methods proposed in the study, the majority and minority classes are approximated, samples belonging to the minority class were artificially resampled, so the datasets were balanced.

3.2. Resampling Methods

Many methods have been proposed in the data level for solutions to deal with the class imbalance problem [14, 15]. To balance the datasets used in this study, sample reduction method RUS, sample duplicate method ROS and synthetic sampling method SMOTE were used.

RUS is a non-heuristic way of balancing classes by randomly removing majority class instances. It consists of minimizing random samples from the majority class by eliminating them. Due to the fact that this elimination is done in an unsupervised way, there is a risk that samples useful for the classifier will be removed from the dataset. This method is often used because of its simplicity and increases the speed of the learning phase [16].

ROS is the simplest and oldest method of dealing with this problem. In this method, while the classifier trains until it reaches the desired ratio, it is used to balance the distribution by randomly copying the minority class samples to bring them closer to the larger class [17].

SMOTE has an oversampling approach to balance the raw dataset [5]. Unlike ROS, instead of implementing a simple copy of minority class instances, SMOTE generates synthetic instances from minority class instances. In the SMOTE algorithm, each sample belonging to the minority class finds k close neighbors using the Euclidean distance and randomly selects from the samples it finds. The difference between the sample and k nearest neighbors is taken, a random number (α) between 0-1 is chosen and multiplied by the difference found. Using formula 1, new synthetic samples are obtained.

$$x_{new} = x_i + (x_j - x_i) \times \alpha \quad (1)$$

where, x_i represents each minority sample, x_j represents the randomly selected neighbor of x_i 's nearest neighbors, and x_{new} represents the new synthetic sample.

3.3. Proposed Method

In order to solve the problem of imbalance in datasets, a different method from previous approaches has been used. To balance the class distribution, minority class samples have been synthetically regenerated. In the approach suggested by the study, the samples belonging to the minority class are based on the closest neighbor samples while generating synthetic data. The distance between the nearest neighboring couples is measured with the Euclidean distance metric. Synthetic data is generated as much as the number of balances needed by using a weighted geometric mean among the samples identified in the predefined range. The method steps developed in the study are as follows;

- First, in the dataset, the imbalance ratio is determined by the ratio of the number of samples in the majority class to the number of samples in the minority class. If the dataset is unbalanced, other steps are applied.
- In order to balance the dataset, a sufficient number of synthetic data is generated from the minority class. At this phase, the Euclidean distance metric was used, which measures the distance between the two samples $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ and $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$. The Euclidean distance metric is shown by formula 2.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

- A significant distance zone was defined for the samples and based on the remaining samples within the zone. The range of these areas is defined by brute force in the algorithm zone is expended until it reaches the number of missing data points. All the samples are selected within the zone.
- To generate new synthetic samples, we use weighted geometric mean. The weighted geometric mean for vectors with positive components is defined as follows: A random number between 0 and 1 is chosen for α . For $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T \in R_+^n$ and $\alpha \in (0,1)$

$$x * y = \begin{bmatrix} x_1^\alpha y_1^{1-\alpha} \\ x_2^\alpha y_2^{1-\alpha} \\ \vdots \\ x_n^\alpha y_n^{1-\alpha} \end{bmatrix} \tag{3}$$

For generating new synthetic samples, we use the following formula,

$$S_{new} = x * y \tag{4}$$

- Formula 4 is repeated to generate the desired number of synthetic samples.

3.4. Random Forest Algorithm

The Random Forest algorithm is a powerful learning algorithm that generates results using multiple classifier estimates, instead of a single classifier, and classifies a new data sample with the votes from the classifier's predictions [18]. Random Forest is an ensemble classifier that uses multiple models of multiple decision trees to achieve better prediction performance. It searches for a random subset of variables to obtain a split at each node of the trees. For classification, the input vector is passed to each tree in the algorithm, and each tree votes for a class. The algorithm selects the class with the most votes [19]. The working system of the Random Forest algorithm is shown in Figure 1.

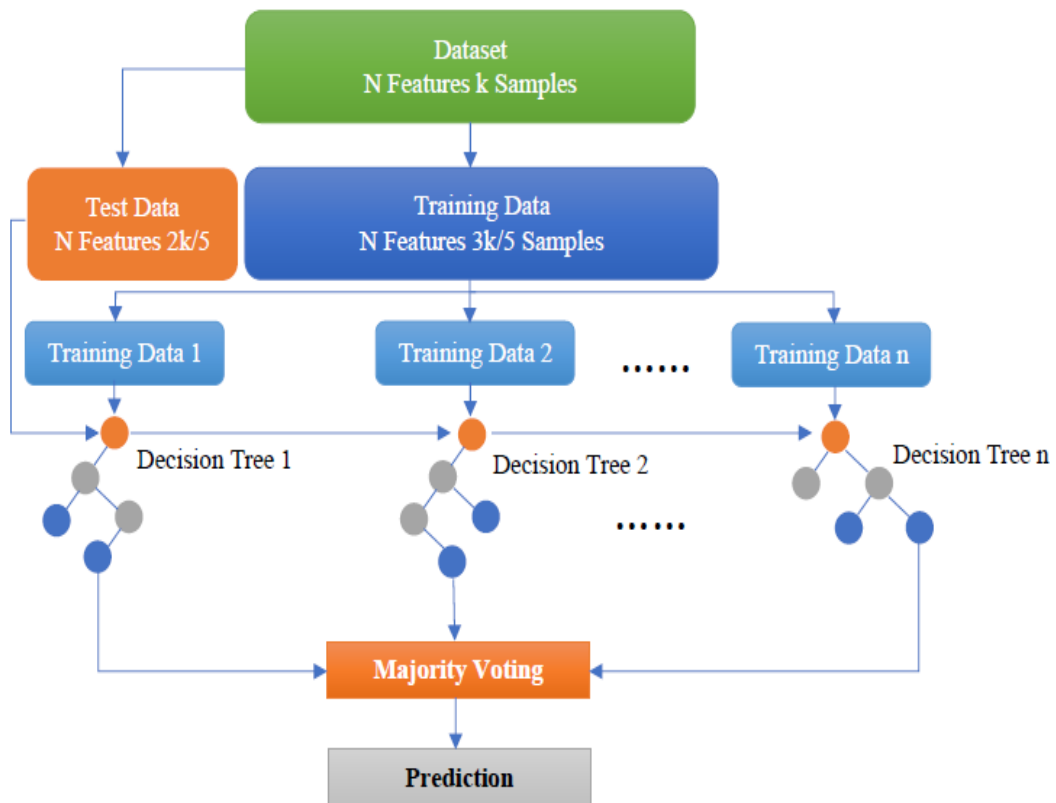


Figure 1. Random Forest algorithm working system

Random Forest method requires two different data groups as shown in Figure 1. These are training dataset (in-bag) and test dataset (out-of-bag, oob). The training dataset is 3/5 of the data and the test dataset is 2/5 throughout our study. The training dataset is used for training the tree. Test dataset is used to determine the generalized error rate (oob error) of the tree. A different training set is used for each tree in

the forest to be taken from the specified dataset. The training and test datasets of each tree are different to prevent any bias because of the selected dataset. In this study, the analysis is repeated 1500 times. If there is a data group reserved for testing purposes in the original dataset, this data group is used to detect the general fault of the forest. The average error rates of individual trees and the overall error rate of the forest are almost the same [20].

3.5. Model Performance Measurements

The performance of machine learning algorithms is typically evaluated using a confusion matrix, as shown in Table 2 for a binary class problem. The columns are the predicted classes and the rows are the actual classes. In the confusion matrix, TP represents true positive samples, FP represents false positive samples, TN represents true negative samples, and FN represents false negative samples.

Table 2. Confusion Matrix

	Predicted Positive Samples	Predicted Negative Samples
Actual Positive Samples	TP	FN
Actual Negative Samples	FP	TN

Different evaluation measures can be calculated using the confusion matrix. Accuracy, Recall, Precision, F-Measure, and AUC-ROC were used in this study.

Accuracy is the ratio of samples correctly classified by a classifier to the number of all samples.

$$Accuracy = (TP + TN)/(TP + FP + TN + FN) \quad (5)$$

Recall is obtained by dividing the number of samples correctly classified as positive by all positive samples.

$$Recall = TP/(TP + FN) \quad (6)$$

Precision is the calculation obtained by dividing the number of samples correctly classified as positive by all samples classified as positive.

$$Precision = TP/(TP + FP) \quad (7)$$

F-Measure is the harmonic mean of Precision and Recall values. Calculated with formula 8.

$$F - Measure = 2 * (Precision * Recall)/(Precision + Recall) \quad (8)$$

The Area Under the Curve-Receiver Operating Characteristic (AUC-ROC) curve is a performance measurement of data with binary or multi classes as a result of classification operations. The ROC is a probability curve, and the AUC represents the degree or measure of separability. In the AUC-ROC curve, the true positive rate-tpr (Recall) is drawn in the function of the false positive rate-fpr for different breakpoints. Each point in the ROC curve represents a tpr/fpr pair corresponding to a specific decision threshold. A test with perfect discrimination (no overlap in two distributions) has a ROC curve passing through the upper left corner. Therefore, as the ROC curve approaches the top left corner, the overall accuracy of the test increases [21].

4. Results and Discussions

In this section, we present the experimental results of the resampling approach developed based on weighted geometric mean. For the experimental results of the study, the datasets given in Table 1 is used. For example, in the Pima dataset, out of 768 patient samples, 500 belonged to the majority (0) class and 268 to the minority (1) class. Looking at these numbers, it seems that the dataset has an unbalanced distribution. In order to minimize the imbalance rate and obtain a balanced dataset, minority class samples were produced synthetically with the above-mentioned resampling approach. A total of 535 samples were obtained by producing 267 synthetic samples from minority class samples. In order to visualize the balanced dataset class distribution, Age and Glucose attributes are taken as a basis, and in Figure 2, before (raw data) and after resampling is shown in two-dimensional plane.

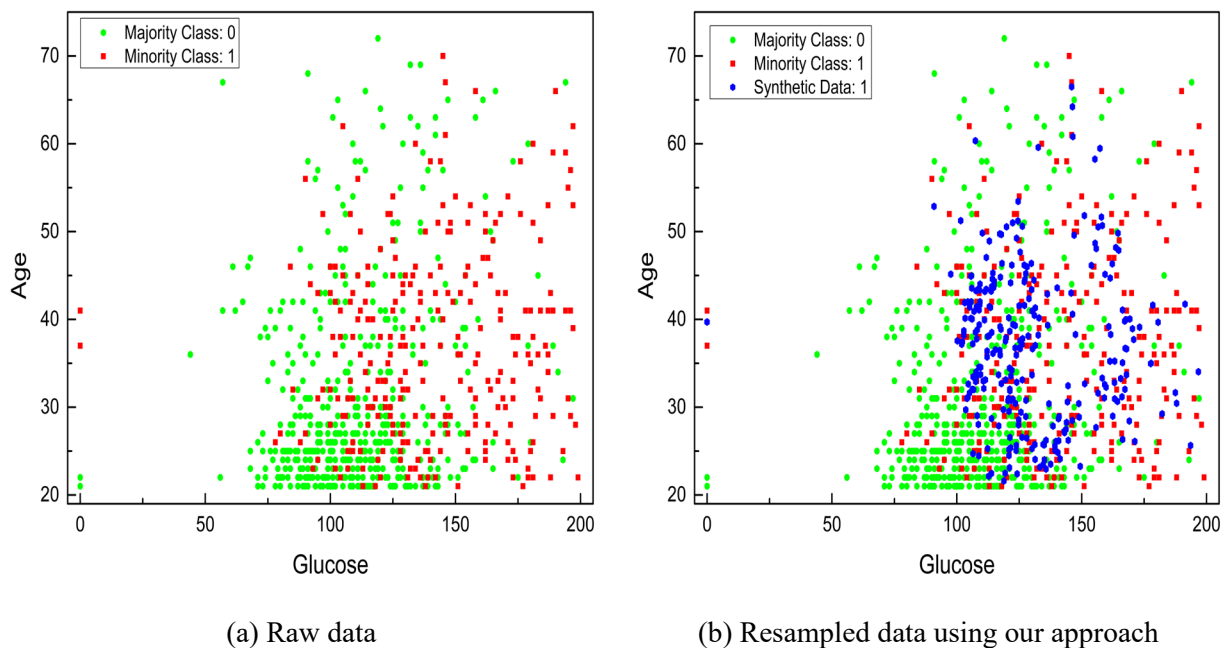


Figure 2. (Color online) Pima dataset is 500 majority and 268 minority. 267 synthetic data is generated by weighted geometric mean

As shown in Figure 2, it is seen that the minority classes are brought closer to the majority group and the closest neighbor values are sampled in the region where the minority samples are found in density.

In order to improve the classification performance, samples belonging to the minority group were resampled and all datasets were balanced. The datasets and algorithms we used in our study were coded in the Wolfram Mathematica program using Machine Learning functions. Windows Server 2019 Standard Edition is used for all classification and other operations. Server hardware information; System Type: x64-based PC, Processor(s): Intel(R) Xenon(R) CPU E5-2640 v3 @ 2.60 GHz 2.60 GHz (2 Processors), Total Physical Memory: 63.362 MB.

The datasets, which are balanced as a result of approximation of the majority and minority class samples, are classified by the Random Forest algorithm. In addition, raw and other resampled data sets were also classified, and the average performance values of both classes were compared. The average of Precision, Recall, F-Measure, and AUC-ROC of the Random Forest algorithm with the 4 different sampling methods are summarized in Table 3-6. The best performance of the sampling methods with a fixed classifier is in bold.

Table 3. Performance Values of Pima Dataset Classification Results

Dataset Status	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	AUC-ROC
Raw	0.749	0.731	0.699	0.706	0.813
RUS	0.737	0.739	0.737	0.736	0.818
ROS	0.757	0.698	0.741	0.707	0.817
SMOTE	0.786	0.787	0.782	0.785	0.863
Our Approach	0.792	0.793	0.792	0.792	0.873

Table 4. Performance Values of Wisconsin Dataset Classification Results

Dataset Status	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	AUC-ROC
Raw	0.705	0.526	0.497	0.424	0.710
RUS	0.956	0.955	0.943	0.948	0.975
ROS	0.943	0.942	0.947	0.942	0.974
SMOTE	0.961	0.962	0.945	0.953	0.974
Our Approach	0.969	0.970	0.953	0.961	0.981

Table 5. Performance Values of Vehicle2 Dataset Classification Results

Dataset Status	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	AUC-ROC
Raw	0.972	0.972	0.957	0.963	0.996
RUS	0.961	0.962	0.961	0.961	0.991
ROS	0.977	0.918	0.984	0.946	0.998
SMOTE	0.984	0.983	0.984	0.983	0.998
Our Approach	0.984	0.984	0.983	0.983	0.998

Table 6. Performance Values of Yeast1 Dataset Classification Results

Dataset Status	Accuracy	Precision	Recall	F-Measure	AUC-ROC
Raw	0.761	0.725	0.650	0.662	0.780
RUS	0.709	0.713	0.709	0.707	0.780
ROS	0.766	0.642	0.722	0.655	0.796
SMOTE	0.772	0.774	0.773	0.772	0.855
Our Approach	0.775	0.777	0.775	0.774	0.861

When the performance values of the classification results shown between Table 3 and Table 6 are examined, it is clearly seen that our proposed method is more successful than raw and other methods. When we compared the raw and new approach resampled dataset performance values in Table 3, the overall accuracy value increased from 0.749 to 0.792. Other values, Precision increased from 0.731 to 0.793, Recall from 0.699 to 0.792, F-Measure from 0.706 to 0.792 and AUC-ROC from 0.813 to 0.873. When we examine the Accuracy, Precision, Recall, F-Measure, and AUC-ROC performance values obtained from the new approach between Table 4 and Table 6; In Table 4, the results are 0.969, 0.970, 0.953, 0.961, and 0.981 respectively. In Table 5, the results are 0.984, 0.984, 0.983, 0.983, and 0.998 respectively. In Table 6, the results are 0.775, 0.777, 0.775, 0.774, and 0.861 respectively.

There is improvement in all result values of the new approach compared to raw and other methods. It is especially striking that there is a higher increase in the Recall values for all datasets. In addition, in the resampled datasets, the Precision, Recall and F-Measure values produced close results and brought the

performance values closer together. Although the performance values of the RUS, ROS, and SMOTE methods are close to each other, the SMOTE method has been more successful than the others. However, it has been less successful than the method we proposed.

In addition, the ROC curve of the Pima dataset is shown as an example in Figures 3 and 4 for raw and resampled respectively. Here, the performance values of each class are visualized separately with the ROC curve.

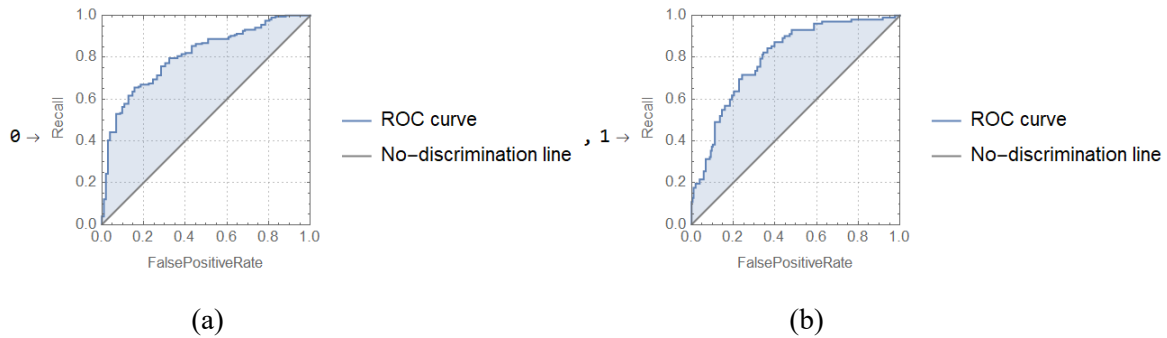


Figure 3. ROC curves of the raw data. (a) is majority class (0) and (b) is minority class (1)

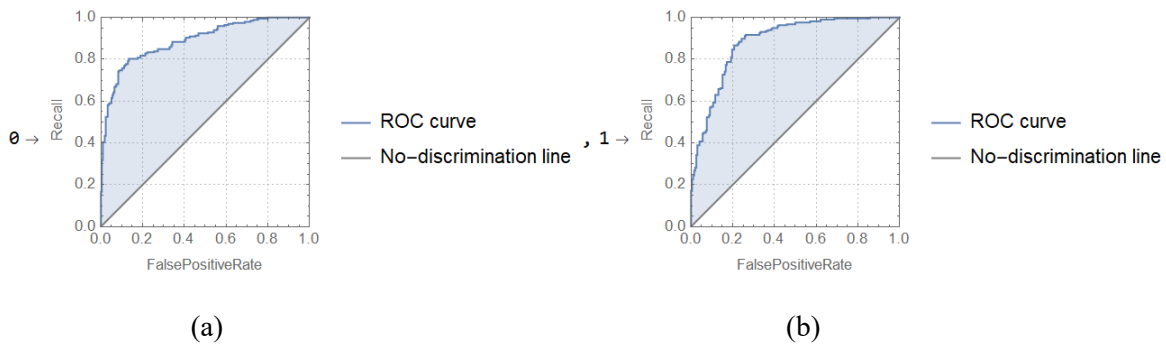


Figure 4. ROC curves of the resampled data. (a) is majority class (0) and (b) is minority class (1)

In Figures 3 and 4, the AUC values of the raw and resampled datasets are shown with the ROC curve. As a result of the Random Forest classification, the AUC value of class 0 increased from 0.813 to 0.873 and the AUC value of class 1 increased from 0.814 to 0.874. When the AUC values of the classes and the ROC curves are examined, it is seen that the resampled dataset is more successful in both classes. In addition, the approach of the ROC curve to the upper left corner indicates that the Recall (tpr) ratio is high, so the area under the curve is high. Based on this, it is seen that the resampled dataset has more area under the curve than the raw dataset since the classification of resampled data makes a more successful distinction.

5. Conclusion

In this study, a synthetic sample replication method is proposed, which provides higher performance values as a result of balancing and classifying the datasets by using datasets with four different unbalance ratios. In the proposed method, the nearest neighbors of the samples belonging to the minority group were determined using Euclidean distance metric and new synthetic data was generated in the desired number of samples using Weighted Geometric Mean. With the applied method, the datasets were balanced and classified using Random Forest algorithm. The performance values of the raw and resampled datasets were compared and the resampled dataset was more successful in almost all metrics. It was also found that the

resampled dataset had more area under the curve than the raw dataset, making a more successful distinction. RUS, ROS, and SMOTE methods were also compared with the proposed method in the study and it was seen that the new method was more successful. As a result of the experiments conducted in the study, it was determined that the datasets that were balanced using the proposed method increased the performance values as a result of the classification.

References

- [1] E. Alpaydin, *Introduction to machine learning*. MIT press, 2020.
- [2] D. T. Larose and C. D. Larose, *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. John Wiley & Sons, 2014.
- [3] K. Kowsari, K. Jafari Meimandi, M. Heidarysafa, S. Mendu, L. Barnes, and D. Brown, "Text classification algorithms: A survey," *Information*, vol. 10, no. 4, p. 150, 2019.
- [4] M. S. Shelke, P. R. Deshmukh, and V. K. Shandilya, "A review on imbalanced data handling using undersampling and oversampling technique," *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*, vol. 3, no. 4, pp. 444-449, 2017.
- [5] N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall, and W. P. Kegelmeyer, "SMOTE: synthetic minority over-sampling technique," *Journal of artificial intelligence research*, vol. 16, pp. 321-357, 2002.
- [6] H. Han, W.-Y. Wang, and B.-H. Mao, "Borderline-SMOTE: a new over-sampling method in imbalanced data sets learning," in *International conference on intelligent computing*, 2005: Springer, pp. 878-887.
- [7] H. M. Nguyen, E. W. Cooper, and K. Kamei, "Borderline over-sampling for imbalanced data classification," *International Journal of Knowledge Engineering and Soft Data Paradigms*, vol. 3, no. 1, pp. 4-21, 2011.
- [8] G. E. Batista, R. C. Prati, and M. C. Monard, "A study of the behavior of several methods for balancing machine learning training data," *ACM SIGKDD explorations newsletter*, vol. 6, no. 1, pp. 20-29, 2004.
- [9] I. Mani and I. Zhang, "kNN approach to unbalanced data distributions: a case study involving information extraction," in *Proceedings of workshop on learning from imbalanced datasets*, 2003, vol. 126: ICML United States.
- [10] Y. Sun, M. S. Kamel, A. K. Wong, and Y. Wang, "Cost-sensitive boosting for classification of imbalanced data," *Pattern Recognition*, vol. 40, no. 12, pp. 3358-3378, 2007.
- [11] L. Yijing, G. Haixiang, L. Xiao, L. Yanan, and L. Jinling, "Adapted ensemble classification algorithm based on multiple classifier system and feature selection for classifying multi-class imbalanced data," *Knowledge-Based Systems*, vol. 94, pp. 88-104, 2016.
- [12] M. M. Rahman and D. N. Davis, "Addressing the class imbalance problem in medical datasets," *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 3, no. 2, p. 224, 2013.
- [13] K. D. Repository. (12.04.2021). *Imbalanced Dataset* [Online]. Available: <https://sci2s.ugr.es/keel/imbalanced.php>.
- [14] R. Longadge and S. Dongre, "Class imbalance problem in data mining review," *arXiv preprint arXiv:1305.1707*, 2013.
- [15] S. M. Abd Elrahman and A. Abraham, "A review of class imbalance problem," *Journal of Network and Innovative Computing*, vol. 1, no. 2013, pp. 332-340, 2013.
- [16] S. Vluymans, *Dealing with imbalanced and weakly labelled data in machine learning using fuzzy and rough set methods*. Springer, 2019.
- [17] A. Fernández, S. García, M. Galar, R. C. Prati, B. Krawczyk, and F. Herrera, *Learning from imbalanced data sets*. Springer, 2018.
- [18] L. Breiman, "Random forests," *Machine learning*, vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001.
- [19] A. Liaw and M. Wiener, "Classification and regression by randomForest," *R news*, vol. 2, no. 3, pp. 18-22, 2002.
- [20] M. Ercire, "Classification of short-term power quality disturbances with wavelet analysis and random forest method," Ph.D Doctoral 2019.
- [21] S. Narkhede, "Understanding auc-roc curve," *Towards Data Science*, vol. 26, pp. 220-227, 2018.

ADİYAMAN ÇÖREĞİ (TABLAMA)'NİN BAZI ÖZELLİKLERİ

Ali Mücahit KARAHAN^{1*}, Osman KILINÇÇEKER²

¹⁻² Adiyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 01.06.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 18.07.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.946235

ÖZET

Bu çalışmada Adiyaman çöreğinin bazı özellikleri araştırılmıştır. Piyasadan toplanan örneklerde fiziksel olarak renk özellikleri, çap, kalınlık ve pH değerleri ölçülürken, kimyasal niteliklerden nem, yağ, kül ve protein oranları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, L değerleri 60.42-74.81, a değerleri -6.03-8.15, b değerleri 39.85-72.76, çaplar 88.18-155.17 mm, kalınlıklar 4.06-11.75 mm ve pH değerleri ise 5.12-6.73 aralığında saptanmışlardır. Ayrıca nem oranları % 3.8-11.47, yağ oranları % 15.68-29.99, kül oranları ise % 0.60-1.12 aralığında belirlenirken, protein miktarlarının % 5.28-6.85 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre Adiyaman çöreklerinin fiziksel ve kimyasal olarak önemli farklılık sergilediği tespit edilmiştir. Bahsedilen özellikler bileşimdeki malzemelerden ve üretim şartlarından etkilenirken, bu çörek hakkında bir standardın oluşturulmasının ilerde yapılacak çalışmalar için önem arz edeceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adiyaman çöreği, tablama, fiziksel özellikler, kimyasal özellikler

SOME PROPERTIES OF ADİYAMAN SCONE (TABLAMA)

ABSTRACT

In this study, some properties of Adiyaman scone were investigated. While colour properties, diameter, thickness and pH values were measured physically in samples collected from the market, moisture, oil, ash and protein ratios were determined as chemical properties. As a result of the study, L^* values were determined between 60.42-74.81, a^* values between -6.03-8.15, b^* values 39.85-72.76, diameters 88.18-155.17, thicknesses 4.06-11.75 and pH values between 5.12-6.73. In addition, while the moisture content was 3.8-11.47%, the oil content was 15.68-29.99%, the ash content was determined between 0.60-1.12%, it was observed that the protein amounts varied between 5.28-6.85%. According to these results, it was understood that Adiyaman scones differ significantly physically and chemically. While the mentioned properties are affected by the materials in the composition and the production conditions, it has been understood that setting a standard about this scone will be important for future studies.

Keywords: Adiyaman scone, tablama, physical properties, chemical properties

1. Giriş

İnsanların yeme alışkanlıkları bölge şartlarından veya o bölgedeki tarımsal ürünlerden etkilenmektedir. Gelir seviyesinin yanı sıra kullanılan hammaddelerin bulunabilirliği ve ürün hazırlamadaki kolaylıklarda etkili faktörler arasında sayılabilir [1-2].

Bu durum dünya genelinde benzer iken, Türkiye içinde geçerlilik arz etmektedir. Ülkemizde farklı bölgelerdeki yaşam şartları ve tarımsal hammadde çeşitliliğinin değişim göstermesi yemek

*¹ e-mail: mkarahan@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8779-4349> (Sorumlu Yazar),

² e-mail: okilinceker@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5222-1775>,

profilleri üzerinde önemli bir etken olmuştur. Örneğin Ege veya Akdeniz bölgelerinde sebze, meyve ve tahıl ağırlıklı yemek kültürü gelişirken, Doğu ve Güneydoğu Bölgelerine baktığımızda et, süt ve tahıl ürünlerinin ağırlık kazandığı söylenebilir. Ya da Karadeniz’de balık tüketiminin fazlalığı yine bu duruma örnek olarak verilebilir [3-4-5].

Adıyaman ve çevresi de Güneydoğu Anadolu Bölgesi kapsamında olan ve yemek kültürü oldukça gelişmiş bir ilimizdir. Hayvancılık ile ilgili faaliyetlerin de olduğu bilinse de, bu ilimizde ağırlıklı olarak bitkisel tarım ürünlerinin ekimi yapılmaktadır. Bu faaliyetler kapsamında özellikle buğday ekimi önemli bir paya sahiptir. Buna bağlı olarak Adıyaman’da ekmek, çörek ve börek gibi gıdaların üretimi çokça yapılmakta olup, geleneksel olarak bir çok ailenin sofrasında yerini almaktadır [6-7-8].

Bu ürünlere bir örnek Adıyaman çöreği veya diğer adı ile bayram tablamasıdır. Adıyaman çöreği ticari olarak birçok fırın veya unlu mamul üretim yerinde üretilip satılır iken, özellikle dini bayramlarda aileler tarafından yapılarak misafirlere sunulmaktadır. Genel olarak un, tuz, çörek otu, rezene ve susamın karıştırılması ve bir müddet bekletmeyi takiben yağ ilave edilerek yoğurma ile oluşan hamurun yuvarlaklar halinde açılıp, üzerine yumurta sarısından hazırlanan sos veya haspir sosu denilen sarı renkli bir sıvının sürülmesi ve ekmek fırınında 225-250°C sıcaklıkta 5 dakika pişirilmesi ile elde edilen ve 50-60 gr ağırlığında geleneksel bir mamuldür. Çoğunlukla bayramlarda üretilmesine rağmen, ticari işletmeler tarafından yıl boyunca üretimi ve satışı yapılabilen bir çörektir [7].

Ancak yapılan literatür araştırmalarında bu çöreğin özelliklerini belirleyen bir araştırmaya rastlanamamıştır. Hatta Türkiye genelinde bazı illerde bu çöreğe benzer ürünler olsa da, bunlar hakkında da deneysel bir veri olmadığı gözlenmiştir. Anlatılanlara bağlı olarak bu çalışmada Adıyaman’a özgü olan çöreğin, yani tablamasının, bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek, ileride bu veya benzeri ürünler hakkında yapılacak çalışmalara bir kaynak sunulmak istenmiştir.

2. Materyal ve Metod

Çalışmada kullanılan çörekler Adıyaman’da üretim yapan yerlerden satın alınmıştır. Beş farklı işletmeden tuzlu ve tatlı olacak şekilde dokuz örnek toplanmıştır. Çörekler toplandıktan sonra uygun plastik ambalaja konarak, Gıda Mühendisliği Bölüm laboratuvarına getirilmiş ve analizlere tabii tutulmuşlardır. Fiziksel analizlerden; L^* (açıklık), a^* (kırmızılık ve b^* (sarılık) indeksi ölçümleri kolorimetre (Konica Minolta, Inc., Osaka, Japan) kullanılarak [9], çap ve kalınlık ölçümleri ise dijital kumpas yardımı ile saptanırken, pH değerleri Orion Star marka bir pH metre kullanımı ile belirlenmiştir [10]. Kimyasal analizlerden; nem oranları 105±2 °C’de etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutma ile, yağ oranları hegzanın kullanıldığı soxhelet ekstraksiyon metodu ile, protein oranları kjeldahl azot tayin metodu ile yapılırken, kül tayini 550±2 °C’de kül fırında açık gri renk elde edilene kadar yakma işlemi ile belirlenmiştir [11]. Çalışma iki tekerrür ve üç paralel olarak yürütülmüştür. Sonuçların istatistik analizinde SPSS programı kullanılarak varyans analizi yapılmış, önemli olan ortalamalara Duncan testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar ise çizelgelerde ortalama±standart sapma olarak sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Gıdalarda en sık karşılaşılan sorunlardan birisi de ürün renginin stabilitesidir ve bu durum tüketici tercihlerini etkilemektedir. Bu nedenle gıdalarda renk maddeleri kullanılabilir. Çörek gibi unlu mamullerde önemli özelliklerden biri renktir. Tüketicinin ilk olarak dikkatini çeken fiziksel bir kriter olup, tercih üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu tarz gıdalarda özellikle parlak sarımsı-kırmızı rengin artması beğeniyi artırabilmektedir. Bu nedenle çörek ve poğaça gibi ürünlere çeşitli renklendirici katılarak, ya da yüzeye sürülerek albeni artırılmaya çalışılmaktadır [12]. Çalışmamızda Çizelge 1’de sunulan renk kriterlerine bakıldığında örneklerin L^* , a^* ve b^* değerlerinin istatistiksel olarak farklı olduğu anlaşılmaktadır ($P<0.01$). Sonuçlara bakıldığı zaman en düşük L^* değeri 60.42 olarak 9 numaralı örnekte, en yüksek L^* değeri ise 74.81 olarak 5 numaralı örnekte ölçülmüştür. En düşük a^* değeri -6.03

olarak 5 numaralı örnekte, en yüksek a^* değeri 8.15 olarak 9 numaralı örnekte belirlenmiştir. Ayrıca en düşük b^* değeri 39.85 olarak 3 numaralı örnekte, en yüksek b^* değeri ise 72.76 olarak 5 numaralı örnekte ölçülmüştür. Benzer olarak Türkiye’de farklı üretim yerlerinden toplanan unlu mamullerde yapılan bir çalışmada; çöreklerde ölçülen L^* değerlerinin 34.43-48.67, a^* değerlerinin 12.40-16.78 ve b^* değerlerinin ise 5.41-22.49 aralığında olduğu saptanmıştır. Bahsedilen çalışmada ölçümlerin değişim gösterdiği ve bu değişimlerin üretimlerde kullanılan malzemelere ve pişirme şartlarındaki farklılıklara bağlı olduğu vurgulanmıştır [13]. Bizim çalışmamızda da renk değerlerindeki değişimler kullanılan katkı maddelerine ve pişirmede uygulanan fırın şartlarına bağlı olarak farklılık gösterirken, özellikle açıklık oranını gösteren L^* ve sarı rengi ifade eden b^* değerlerinin çöreklerin yüzeyine sürülen haspir sosundan dolayı yüksek çıktığı düşünülmektedir.

Çizelge 1. Çöreklerin renk değerleri

Örnek no	L^*	a^*	b^*
1	61.79±1.24 ^{def}	1.26±2.57 ^{bc}	54.47±10.55 ^{cd}
2	69.83±0.02 ^{abc}	-3.47±0.37 ^{cd}	64.15±1.35 ^{abc}
3	67.52±2.08 ^{bcd}	6.06±2.01 ^{ab}	39.85±0.02 ^e
4	60.87±6.20 ^{ef}	5.70±5.30 ^{ab}	44.45±4.16 ^{de}
5	74.81±2.80 ^a	-6.03±0.83 ^d	72.76±1.43 ^a
6	73.85±1.29 ^{ab}	-5.36±1.14 ^d	68.18±5.43 ^{ab}
7	67.66±1.53 ^{bcd}	-0.86±0.52 ^{cd}	60.62±1.75 ^{bc}
8	66.98±0.13 ^{cde}	-0.89±0.98 ^{cd}	68.20±2.45 ^{ab}
9	60.42±2.50 ^f	8.15±1.99 ^a	45.02±1.77 ^{de}

^{a-f} Örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir ($P<0.05$).

Renk değerlerinde olduğu gibi bu tarz yuvarlak şekilli çöreklerin çaplarının ve kalınlıklarının da yaklaşık değerlerde olması homojen görüntü bakımından önemlidir. Tüketici tercihinin yanı sıra ambalajlamada da etkili olabilen niteliklerdir. pH değeri ise çöreğin tadı üzerinde farklılık yaratabilmektedir. Bu nedenle standart bir üretimde bu özelliklerin belirli sınırlarda olması arzu edilir. Araştırmamıza konu olan çöreklerin çap, kalınlık ve pH gibi diğer fiziksel özelliklerine ait sonuçlar Çizelge 2’de gösterilmiştir. Bu çizelgeden de anlaşılacağı üzere örneklerin çap, kalınlık ve pH değerlerinin birbirinden önemli düzeyde farklı olduğu anlaşılmaktadır ($P<0.01$). Bu değerlere bakıldığında en düşük çapın 88.18 mm olarak 7 numaralı örnekte, en yüksek çapların ise 154.32, 155.17 ve 154.73 mm olarak 2, 5 ve 6 numaralı örnekte ölçüldüğü anlaşılabılır. En düşük kalınlık 4.06 mm olarak 6 numaralı, en yüksek kalınlık ise 11.75 mm olarak 7 numaralı çörekte ölçülmüştür. pH değerlerinde ise en düşük sonucun 5.12 olarak 1 numaralı, en yüksek sonucun ise 6.73 olarak 8 numaralı örnekte ölçüldüğü anlaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre çap değerleri TS 9052 [14] peksimet standardında büyük boy peksimetler için belirtilen 80 ± 5 mm ölçüsünden bile oldukça yüksek çıkmıştır. Çöreklerin pH değerleri Certel ve arkadaşları [15] tarafından ekmekte $pH=5.6-5.8$ aralığında belirtildiği vurgulanan değerler ile yakın olmakla birlikte, bazı örneklerde farklılık arz etmiştir. Bahsedilen kaynaklardan da

anlaşılacağı üzere çöreklerin çap, kalınlık ve pH değerlerinin hem bileşime giren malzemelerden hem de üretimde uygulanan işlemlerden etkilendiği ve sonuçlarda değişime sebep olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 2. Çöreklerin çap, kalınlık ve pH değerleri

Örnek no	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	pH
1	107.84±6.25 ^e	10.30±1.16 ^b	5.12±0.06 ^f
2	154.32±0.64 ^a	4.99±0.54 ^{de}	5.56±0.02 ^e
3	134.16±5.66 ^c	8.80±0.43 ^c	6.29±0.27 ^b
4	128.53±0.38 ^c	6.11±0.75 ^d	5.94±0.02 ^c
5	155.17±2.94 ^a	4.15±0.08 ^e	5.78±0.04 ^{cd}
6	154.73±2.98 ^a	4.06±0.11 ^e	5.64±0.06 ^{de}
7	88.18±3.58 ^f	11.75±0.03 ^a	6.38±0.13 ^b
8	142.65±0.67 ^b	6.19±0.03 ^d	6.73±0.01 ^a
9	117.23±0.90 ^d	10.98±0.26 ^{ab}	5.86±0.08 ^{cd}

^{a-f} Örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir (P<0.05).

Çizelge 3. Çöreklerin nem, yağ, kül ve protein oranları (%)

Örnek no	Nem	Yağ	Kül	Protein
1	7.75±0.10 ^b	26.58±0.07 ^{abc}	0.60±0.02 ^g	5.37±0.05 ^e
2	7.59±0.80 ^{bc}	28.98±0.06 ^{ab}	0.73±0.03 ^e	5.46±0.08 ^e
3	5.52±0.29 ^{cd}	28.53±1.18 ^{abc}	0.99±0.02 ^b	6.35±0.13 ^b
4	6.82±0.88 ^{bc}	27.29±8.23 ^{abc}	1.12±0.01 ^a	6.85±0.07 ^a
5	3.80±0.95 ^d	15.68±1.64 ^d	0.66±0.01 ^f	5.32±0.09 ^e
6	4.51±1.97 ^d	21.45±3.12 ^{cd}	0.85±0.04 ^c	5.96±0.06 ^{cd}
7	6.57±0.55 ^{bc}	22.06±0.37 ^{bcd}	0.71±0.01 ^{ef}	5.28±0.15 ^e
8	6.65±0.19 ^{bc}	29.99±0.01 ^a	0.99±0.02 ^b	5.80±0.13 ^d
9	11.47±0.01 ^a	21.39±0.91 ^{cd}	0.80±0.01 ^d	6.05±0.001 ^c

^{a-g} Örnekler arasındaki istatistiksel farklılığı göstermektedir (P<0.05)

Çöreklerin hem besleyici değeri hem de duyusal kalitesi üzerinde etkili olan diğer bir grupta kimyasal özelliklerdir. Bu değerler kullanılan un ve diğer katkı maddelerinden etkilenmektedir. Duyusal kalitenin yanı sıra raf ömrü üzerinde de etkili olabilen faktörlerdir [16]. Çalışmada kullanılan çöreklerle ait bazı kimyasal özellikler Çizelge 3'te sunulmuştur. Uygulanan istatistik sonuçlara göre çöreklerin nem, protein ve kül değerleri $P<0.01$ düzeyinde farklılık gösterirken, yağ oranlarının $P<0.05$ düzeyinde farklı olduğu anlaşılmıştır. Çizelgeye bakıldığında en düşük nem oranı % 3.80 ve % 4.51 olarak 5 ve 6 numaralı, en yüksek nem oranının ise % 11.47 olarak 9 numaralı çörekte hesaplandığı anlaşılabılır. En düşük yağ oranı % 15.68 olarak 5 numaralı örnekte, en yüksek yağ oranı 29.99 olarak 8 numaralı örnekte saptanmıştır. Kül değerlerinde en düşük miktar % 0.60 olarak 1 numaralı çörekte, en yüksek miktar ise 1.12 olarak 4 numaralı çörekte hesaplanmıştır. Son olarak, protein değerlerine bakıldığında en düşük oranın % 5.37, 5.46, 5.32 ve 5.28 olarak sırası ile 1, 2, 5 ve 7 numaralı örnekte, en yüksek oranın ise % 6.85 olarak 4 numaralı örnekte olduğu belirlenmiştir. Sonuçlara göre, çöreklerin üç tanesinin nem oranları TS 9052 peksimet standardında [13] maksimum % 6 olmalı şeklinde belirtilen ifadeye uygun iken altı tanesinin bu değerden yüksek olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca yağ oranlarının bu standartta yağlı-az şekerli peksimetler için % 7-9, çok yağlı-şekerli peksimetler için ise % 9.1-12 olarak belirtilen oranlardan bile oldukça yüksek oldukları anlaşılmıştır. Bununla birlikte, örneklerin kül oranları, yine aynı standartta peksimet için belirtilen maksimum % 1 oranına genel olarak uygunluk göstermiştir [13]. Protein değerlerinde ise; çöreğe yakın bir üründe veri bulunamadığı için kıyaslama yapılamazken, sonuçlarımızın Elgün ve Ertugay [17] tarafından ekmek bileşimindeki malzemelere bağlı olarak değişebileceği vurgulanan ve normal katkılı ekmekler için % 8.7 olarak verilen protein oranına kıyasla düşük oldukları anlaşılmıştır. Bahsedilen çalışmalarda da vurgulandığı gibi çöreklerin nem, yağ, kül ve protein oranları yapım tekniklerine bağlı olarak değişim sergilerken, özellikle yüksek oranda yağ katılması çörekteki yağ oranını artırmış, protein oranını ise düşürmüştür.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışma sonucunda piyasadan toplanan Adıyaman çöreklerinin fiziksel ve kimyasal bazı özellikler bakımından önemli farklar içerdiği anlaşılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre; renk indeksi olan L^* değerleri 60.42-74.81, a^* değerleri -6.03-8.15 ve b^* değerleri ise 39.85-72.76 aralığında ölçülmüştür. Diğer fiziksel özellikler olan çaplar 88.18-155.17 mm, kalınlıklar 4.06-11.75 mm ve pH değerleri ise 5.12-6.73 aralığında saptanmışlardır. Kimyasal faktörlerden olan nem oranları % 3.8-11.47, yağ oranları % 15.68-29.99, kül oranları ise % 0.60-1.12 aralığında belirlenirken, protein miktarlarının % 5.28-6.85 aralığında değiştiği gözlenmiştir. Saptanan bu farklılıklarda üretimde kullanılan malzemeler, bu malzemelerin miktarları ve üretim şartlarının önemli etkilerinin olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında Adıyaman çöreği, yani tablamasının daha kaliteli ve standart bir özellikte üretilerek adının duyurulmasının önemli olduğu ve bu konu hakkında daha detaylı çalışmaların yürütülmesinin gerekliliği göz önüne serilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Aksoy M, Kazkondur İ. Türkiye'de Yiyecek Seçiminin Bölgelere Göre Farklılaşması. *Journal of the Tourism and Gastronomy Studies* 2020; 8(2): 1306-1333.
- [2] Aysin EO, Kızıltan G. Beslenme ve Diyet Alışkanlıklarının Kültürel Değişimi. *Sağlık ve Toplum* 2020; 30(2): 3-10.
- [3] Güler S. Türk Mutfak Kültürü ve Yeme İçme Alışkanlıkları. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2010; 26(2): 24-30.
- [4] Ertuş Y, Gezmen-Karadağ M. Sağlıklı Beslenmede Türk Mutfak Kültürünün Yeri. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2013; 2(1): 117-136.

- [5] Şengül S. Türkiye'nin Gastronomi Turizmi Destinasyonlarının Belirlenmesi: Yerli Turistler Üzerine Bir Araştırma. Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2017; 20(37): 375-396.
- [6] Kılınççeker O. Öndül E. Adıyaman Geleneksel Lezzeti: Şapalah. IV. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 17-19 Nisan 2014. Adana, Sempozyum Kitabı 2014; s: 142-145.
- [7] Köten M. Yazman M. Yazman L. Ünsal S. Adıyaman Bayram Tablaması. III. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, 10-12 Mayıs 2012. Konya, Sempozyum Kitabı 2012; s: 737-738.
- [8] Ukav İ. Çetinsöz BC. Adıyaman İlinde Çiftçilerin Tarım Turizmi Üzerine Algılamaları. Mesleki Bilimler Dergisi 2015; 4(1): 8-20.
- [9] Anonymous. The Basics of Color Perception and Measurement. Hunterlab Presents, Reston VA., USA 2001.
- [10] AOAC (Official Methods of Analysis), 13th ed. Official Method 981.12. pH of Acidified Foods International Washington D.C, 1998.
- [11] Elgün A. Ertugay Z. Certel M. Kotancılar G. Tahıl Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü ve Laboratuvarı Uygulama Klavuzu. A.Ü. Yay. Yayın No:867, Erzurum 1998.
- [12] Delgado-Vargas F. Paredes-Lopez O. Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses. CRC Press. USA 2013; p:305
- [13] Hendek-Ertop M. Öztürk-Sarıkaya SB. The Relations between Hydroxymethylfurfural Content, Antioxidant Activity and Colorimetric Properties of Various Bakery Products. Gıda 2017; 42(6): 834-843.
- [14] Anonim. TS 9052, Peksimet Standardı-Asker Yiyeceği Olarak Kullanılan. Türk Standartları Enstitüsü. Necati Bey Caddesi, No:112, Bakanlıklar, Ankara 2010.
- [15] Certel M. Erem F. Karakaş B. Farklı Depolama Koşullarında Normal ve Kepekli Ekmeklerin Mikrobiyolojik Özellikleri, Su Aktivitesi ve Sünme Durumunun Değişimi. Gıda 2009; 34(6): 351-358.
- [16] Gökmen V. Öztan A. Gıdaların Raf Ömrünü Etkileyen Faktörler ve Raf Ömrünün Belirlenmesi. Gıda 1995; 20(5): 265-271.
- [17] Elgün A. Ertugay Z. Tahıl İşleme Teknolojisi (Beşinci Baskı). Atatürk Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 718, Ders Kitabı Serisi No: 52, Erzurum 2011.

İÇME SUYU ARITMA TESİSİ ÇAMURU İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ ZEMİNLERDE CBR DEĞERLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Esra Deniz GÜNER¹, Baki BAĞRIAÇIK^{2*}

¹Çukurova Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Balcalı 01330, Adana, Türkiye

²Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balcalı 01330, Adana, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 01.07.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 14.09.2021 DOI:10.54365/adyumbd.960741

ÖZET

Temiz ve güvenilir içme suyuna olan küresel talep katlanarak artmaktadır. Bu talebi karşılamak için, yüzey suyunun arıtılması sırasında su arıtma tesislerinde büyük miktarda çamur oluşur. İçme suyu arıtma tesislerinden gelen çamur (İSAÇ), genellikle tehlikeli olmayan atık olarak düzenli depolama sahalarında bertaraf edilir. Ancak İSAÇ'ın ekonomik olarak sürdürülebilir ve çevre dostu bir şekilde yönetilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda atıkların bertaraf yöntemlerinden biri, zemin iyileştirmede kullanılmasıdır. İSAÇ'ın bu kapsamda değerlendirilmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan uygun olmaktadır. Çalışmada, İSAÇ'ın zemin iyileştirmede kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kil zemine sırasıyla %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15 oranlarında İSAÇ ilave edilerek karışımın Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) belirlenmiştir. Kil zemine ilave edilen İSAÇ oranına bağlı olarak CBR değerlerinde %75'e varan iyileşmeler gözlenmiştir. Ayrıca, kil bir zeminin iyileştirmesinde CBR bakımından İSAÇ'ın optimum oranı %12.5 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, İSAÇ'ın geoteknik mühendisliğinde zemin iyileştirmede kullanılabilecek alternatif bir atık olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelime: Kaliforniya taşıma oranı (CBR), İçme suyu arıtma çamuru, Kil zemin, Zemin iyileştirme

INVESTIGATION OF CBR VALUES AT SOIL IMPROVEMENT BY USING DRINKING WATER TREATMENT SLUDGE

ABSTRACT

The global demand for clean and safe drinking water is growing exponentially. To meet this demand, a large amount of sludge is formed in water treatment plants during the treatment of surface water. Sludge from these drinking water treatment plants (DWTS) is generally disposed of as non-hazardous waste in landfills. However, DWTS needs to be managed in an economically sustainable and environmentally friendly manner. In line with this need, one of the disposal methods of waste is its use in soil improvement. Evaluation of DWTS, in this context, is appropriate both economically and environmentally. For this purpose, in this study, the usability of DWTS in soil improvement was investigated. The California Bearing Ratio (CBR) of the mixture was determined by adding 5%, 7.5%, 10%, 12.5% and 15% DWTS to the clay soil, respectively. Depending on the rate of DWTS added to the clay soil, up to 75% improvements were observed in CBR values. In addition, the optimum ratio of DWTS in terms of CBR in the improvement of a clay soil was determined as 12.5%. As a result, DWTS is considered to be an alternative waste that can be used for soil improvement in geotechnical engineering.

Keywords: California Bearing Ratio (CBR), Drinking water treatment sludge, Clay soil, Soil improvement

*2 e-mail: bbagriacik@cu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1860-2881> (Sorumlu Yazar),

1 e-mail: eguner@cu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0492-2999> (Sorumlu Yazar),

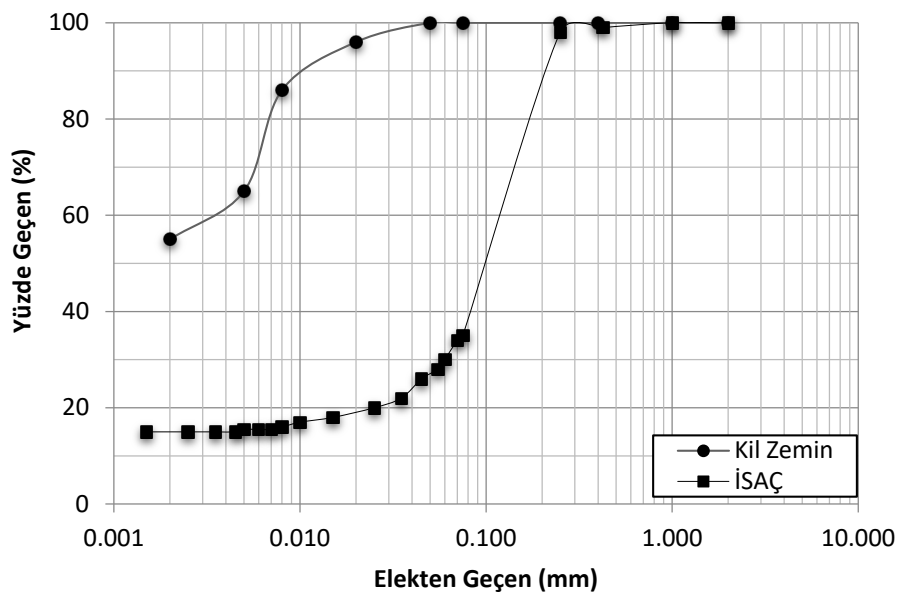
1. Giriş

İçilebilir su için yüzey suyunun arıtılması sırasında su arıtma tesisleri büyük önem taşır. İçme suyu arıtma tesisleri fiziksel, bakteriyolojik ve kimyasal açıdan istenilen içme ve kullanma standartlarında su ihtiyacını karşılamak için dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. İçme suyu arıtma yöntemleri suyun bileşimine ve kalitesine büyük ölçüde bağlılık gösterse bile, genel olarak, arıtma birkaç önemli adım içerir. Geleneksel içme suyu arıtma tesisi, koagülasyon (hızlı karıştırma), flokülasyon (yavaş karıştırma), çökeltme, filtrasyon ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşur. Bazı parçacıklar kendiliğinden durgun sudan çökeltme denilen süreç ile çökeltmekle sudan ayrılır. Kendi ağırlığı ile çökelemeyen partikül maddeler ise, koagülasyon, flokülasyon işlemi ile giderilir. Koagülasyon işleminde, suya alüminyum sülfat, demir sülfat, demir klorür veya polimerler gibi demir veya alüminyum tuzları eklenir [1]. Flokülasyon işleminde ise koagülasyon işlemine suya ilave edilen pozitif yüklü kimyasal maddeler, suda çözünmüş ve asılı parçacıkların negatif yükünü nötralize eder. Bu reaksiyon oluştuğunda, parçacıklar birbirine bağlanır veya pıhtılaşır (bu işleme pıhtılaştırma da denir). Bu proseste kendi ağırlığı ile çökelebilen daha büyük parçacıklar (floc) yumakları oluşturulur[2]. Bu yumaklar çöktürme sürecinde dibe çökler ve dipte oluşan bu kaçınılmaz atık malzemeye içme suyu arıtma çamuru (İSAÇ) denir. Elde edilen bu atık İSAÇ çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik teknolojilerle kalınlaştırma, yumuşatma, susuzlaştırma, stabilizasyon ve kurutma proseslerinden [3, 4] geçerek bertarafa hazır hale getirilir. İSAÇ, genellikle sıvı ya da yarı sıvı halde olup su arıtımı işlemi sırasında askıya alınmış veya çözünmüş organik/inorganik maddelerden oluşmaktadır [5]. İSAÇ'ın katı madde içeriği işletmeye göre değişim gösterse de %0.25-12 oranında katı içermektedir [6]. İSAÇ içeriğine göre, yakma, kompost ve gübre malzemesi olarak tarımda [7], kurak arazilerde zemin iyileştirici olarak[8], deponi tesislerinde örtü malzemesi olarak [9], ek yakıt olarak [10], tuğla, fayans ve diğer seramik gibi inşaat malzemesi üretimi [5, 11-13] gibi pek çok farklı alanda ekonomik değerlere sahip yeniden kullanılabilir bir materyaldir. Ancak içme ve kullanma su ihtiyacının sürekli olduğu ve artarak devam ettiği göz önüne alınırsa oluşan İSAÇ'ın da kayda değer orandan artacağı aşikardır. İçme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan çamur üretiminin genellikle arıtma prosesi sırasında kullanılan ham suyun hacminin %1-3'ünü temsil ettiği tahmin edilmektedir [14]. Küresel ölçekte çamur üretiminin 10.000 ton/gün aştığı ve tipik bir arıtma tesisinde yaklaşık 100.000 ton/yıl çamur ürettiği tahmin edilmektedir [15, 16]. Üretilen İSAÇ miktarının sürekli artması ve sürdürülebilir kalkınmaya göre hareket etmenin önemi ile yerel idareler için hem çevresel hem de ekonomik problem olarak İSAÇ'ların bertarafı karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden İSAÇ'ların verimli ve faydalı olacak şekilde yeniden kullanım alanlarının çeşitlendirilmesi oldukça önemlidir. Zemin iyileştirme, “mühendislik özellikleri bakımından yetersiz olan zeminler temelden gelen yükü güvenilir bir şekilde taşıyabilmesi yapılan çalışmalar” olarak tanımlanabilir [17]. Bu amaçla iyileştirme, zemin parçacıklarının fiziksel olarak kimyasaldan daha fazla yapıştırılmasıyla sağlanır. Zemin iyileştirmenin temel amacı, belirli bir projenin mühendislik özellikleri bakımından yeterli kriterleri sağlamayan zayıf zeminlerin mühendislik kriterleri bakımından uygun hale getirilmesidir. Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi inşaat endüstrisindeki en büyük zorluklardan biridir [18, 19]. Özellikle karayolu ve demiryolu gibi ulaşım yapılarında [19, 20] bu tür iyileştirmeler sıklıkla yapılmaktadır. Zemin stabilizasyonu, sadece yumuşak zeminin basınç dayanımının artırılmasından değil [21, 22], aynı zamanda kayma mukavemeti, filtre, drenaj sisteminin iyileştirilmesinde [22], trafik yüklerine karşı zemin direncinin artırılması gibi proje gereksinimlerini karşılamak için [23] kullanılmaktadır. Zemin iyileştirme teknikleri, dünyanın her yerinde zemin taşıma kapasitesini ve dengesini artırmak, setler, istinat duvarları ve köprüleri gibi çok uzun tasarım ömrüne sahip projelerin inşasını mümkün kılmak için kullanılmaktadır [24]. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) deneyi yol yapımında temel ve alt temel zeminlerin kontrolünün sağlanmasında kullanılan önemli bir geoteknik mühendisliği deneyidir. CBR bakımından yeterli kriterleri sağlamayan zeminlerin çeşitli atıklarla kullanılarak hem zeminin mühendislik özellikleri iyileştirilmekte hem de atık malzemelerin bir taraf edilmesi sağlanmaktadır. Literatürde bu çerçevede atık kullanımına yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Öğütülmüş atık lastik katkısının (%1 ve %2 oranlarında) zemin numunesi üzerindeki etkisini belirleyebilmek için farklı su

muhtevalarında CBR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Atık lastik karıştırılarak en yüksek CBR değeri %8 ile %8.5 su muhtevası değerlerinde elde edilmiştir. Kumlu zeminde atık lastiklerin karışım oranlarının artmasıyla CBR değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir[25]. Başka bir çalışmada ise, uçucu kül ve inşaat atıklarından olan mermer tozu kullanarak otoyol alt temel yapısında değerlendirilmesi için doğal zemine %5, %10 ve %15 oranlarında ilave edilmiş ve CBR deneyleri yapılmıştır. Atık malzemeler ile elde edilen yeni zemin numunelerinde CBR değerlerinde iyileşmeler görülmüştür [26]. Zemine ilave edilen atık seramik tozlarının CBR ve dayanım parametreleri hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda, atık seramik tozlarının %30 oranına kadar zemin iyileştirilmesinde kullanılabileceği açıklanmıştır [27]. Yine farklı bir çalışmada, inşaat yıkıntı atıkları ile iyileştirilen zeminlerin CBR değerleri araştırılmıştır. Çalışmada, İnşaat yıkıntı atığı kullanımı ile zeminlerin iyileştirilebileceği anlaşılmış ve en yüksek CBR değeri %23 oranında kullanılan yıkıntı atığı katkısında tespit edilmiştir [28]. Literatüre bakıldığında İSAÇ kullanımı ile zemin iyileştirmeye yönelik çalışmalar çok kısıtlıdır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, mühendislik özelliği bakımından yeterli kriterleri sağlamayan bir kil zeminde İSAÇ'ın kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla farklı oranlarda hazırlanan numuneler üzerinde CBR testleri yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Deneylerde, 0.074 mm elek aralığının (No.200) altında kalan kohezyonlu zemin kullanılmıştır. Deneylerden kullanılan numunelere ait gradasyon eğrisi Şekil 1'de sunulmuştur. Kohezyonlu zemine ait endeks ve mukavemet parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bir seri deney gerçekleştirilmiş ve sonuçlara göre, zeminin sınıfı [29] orta plastisiteli kil (CI) olarak belirlenmiştir. Orta plastisiteli kil zeminin likit limit değeri yaklaşık olarak %42, plastik limit değeri yaklaşık olarak %24, maksimum kuru birim hacim ağırlığı 17.4 kN/m^3 , optimum su muhtevası ise %18.10 [30] olarak yapılan deneyler sonucunda belirlenmiştir. İSAÇ ise, Adana ilindeki Çatalan barajında toplanan suyu arıtan "Çatalan İçme Suyu Arıtma" ($37^{\circ}18'84.5''\text{K}$, $35^{\circ}26'27.3''\text{E}$) yüzey suyu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Bu arıtma tesisi $500.000 \text{ m}^3/\text{gün}$ kapasiteye sahip olup, yaklaşık 4 ton/gün İSAÇ üreterek yılda yaklaşık 1460 ton üretim yapmaktadır. Sudaki kolloidal organik ve inorganik safsızlıkları gidermek için pıhtılaştırıcı olarak demir III klorür kullanılır. Tesisde oluşan İSAÇ susuzlaştırma işlemi sonrası depolama sahasına iletilir. Susuzlaştırma işlemi sırasında dekantörde oluşan İSAÇ Şekil 2'de görülmektedir. Dekantör prosesinden toplananıp laboratuvar da kullanılan İSAÇ yığın resimleri Şekil 3'te gösterilmiştir. İSAÇ'a ve kil zemine ait kimyasal içerikler Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Numunelere ait gradasyon eğrileri

Tablo 1. Numunelere ait kimyasal içerikler [30]

Bileşik	İSAÇ (%)	Kil Zemin (%)	Bileşik	İSAÇ (%)	Kil Zemin (%)
SiO ₂	16.02	50.6	NaO ₂	0.3	-
Al ₂ O ₃	48.23	18.4	TiO ₂	0.53	1.65
CaO	2.62	3.2	P ₂ O ₅	0.13	0.65
K ₂ O	8.10	3.1	MnO	0.38	3.1
MgO	0.31	6.1	ZnO	1.12	-
Fe ₂ O ₃	1.15	-	Fe ₂ O		8.7
Na ₂ O		2.5			

**Şekil 2.** Dekantörde oluşan İSAÇ**Şekil 3.** Dekantör prosesinden toplanıp deneylerde kullanılan İSAÇ resimleri

Karayolları temel zeminlerinde kullanımında problem çıkarabilecek orta plastisiteli kil zeminlerin stabilizasyonunun kontrolünü yapmak amacıyla CBR deneyleri yapılmıştır (Şekil 4). CBR deneyi aşağıdaki prosedürlerde gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bir su içeriğinde ve yoğunluğunda hazırlanan zemin numunesinin üzerine belli bir hızla batırılan penetrasyon pistonunun istenen derinliğe kadar batması için uygulanan gerilmenin, kırma taşla yapılan deneyde aynı pistonun aynı batma derinliğine kadar gelmesi için uygulanan standart gerilmeye oranı olarak tanımlanmaktadır. CBR değeri genellikle 2.54 mm (0.10 in) penetrasyona karşılık gelen deneyde uygulanan gerilmenin standart gerilmeye oranı olarak bulunur. Deney sonunda bir CBR elde edilir [31]. Farklı oranlarda İSAÇ karıştırılarak oluşturulan zemin numunesi üzerinde CBR değerleri belirlenmiştir. İçme suyu arıtma tesisi atığı oranları ise sırasıyla %5, %7.5, %10, %12.5 ve %15 olarak seçilmiştir. Deneylerde, çapı 14.24 cm ve yüksekliği 17.78 cm olan CBR kalıpları kullanılmış ve zemin kalıba 5 tabaka halinde serilerek sıkıştırılmıştır. Taban plakası takılmış ancak üst yüzeyi açık kalıba yerleştirilen zemin numunesi, basınç aletinin plakası üzerine yerleştirilmiştir [32]. Numunenin üzerine 4.5 kg'lık ağırlıklar konularak, penetrasyon işlemi için kullanılacak alet 1.27 mm/dk (0.05 in/dk) hızla pistonu numune içerisine itilmiştir. Belirlenen penetrasyon miktarına karşılık gelen yük okumaları kayıt edilmiş ve yük okumaları 5 mmlik penetrasyon değerlerine kadar alınmıştır [31]. Penetrasyon işlemi tamamlandıktan sonra, piston kaldırılmış, numune yüzeyinde bırakmış olduğu girintiler doldurularak, çıkıntılar çelik cetvelle kesilip numunenin yüzeyi düzeltilmiştir. Deney sonucunda, %100 CBR değerine karşılık olan standart yük- penetrasyon, 1.25 mm'lik penetrasyonda 860 kg, 2.5 mm'de 1350 kg, 5.0 mm'de 2035 kg, 7.5 mm'de 2585 kg, 10 mm'de 3130 kg ve 12.5 mm'de 3590 kg olarak tanımlanarak, belirli bir penetrasyonu sağlayan yükün aynı penetrasyonu sağlayan standart eğri üzerindeki yüke oranı, o penetrasyondaki CBR değeri olarak tanımlanmıştır [31, 32].

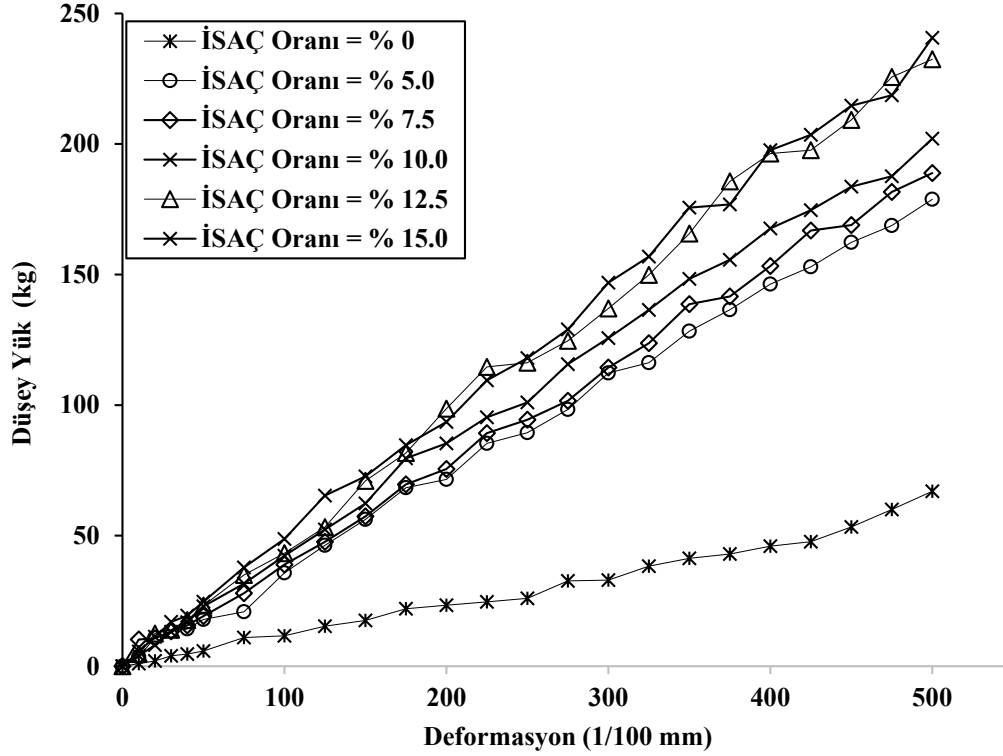


Şekil 4. Deney düzeneği

3. Bulgular ve Tartışma

Kil zeminin iyileştirilmesi amacıyla farklı oranlarda İSAÇ katkısı ile oluşturulan numuneler için 2.5 mm ve 5 mm penetrasyona karşılık gelen CBR değerleri belirlenmiştir. CBR değerleri TS 1900'da belirtildiği gibi, yük-deformasyon grafiğinde, 2.5 mm penetrasyona karşılık gelen yükün 1350'ye, 5 mm penetrasyona karşılık gelen yükün de 2035'e bölünmesi ile belirlenmiştir. Orta plastisiteli kil zemin için, su içeriği tüm deneylerde yaklaşık %10 alınmıştır [33]. Şekil 5'te farklı oranlarında İSAÇ

atığı ile oluşturulan orta plastisiteli kil zemin için yük deformasyon ilişkisi görülmektedir. Dene sonuçlarına göre, tüm karışım oranlarında İSAÇ ile stabilizasyon yapılması durumunda, stabilizasyon yapılmamış duruma göre, aynı deformasyona karşılık düşey yük değerlerinde iyileşmeler meydana gelmiştir.

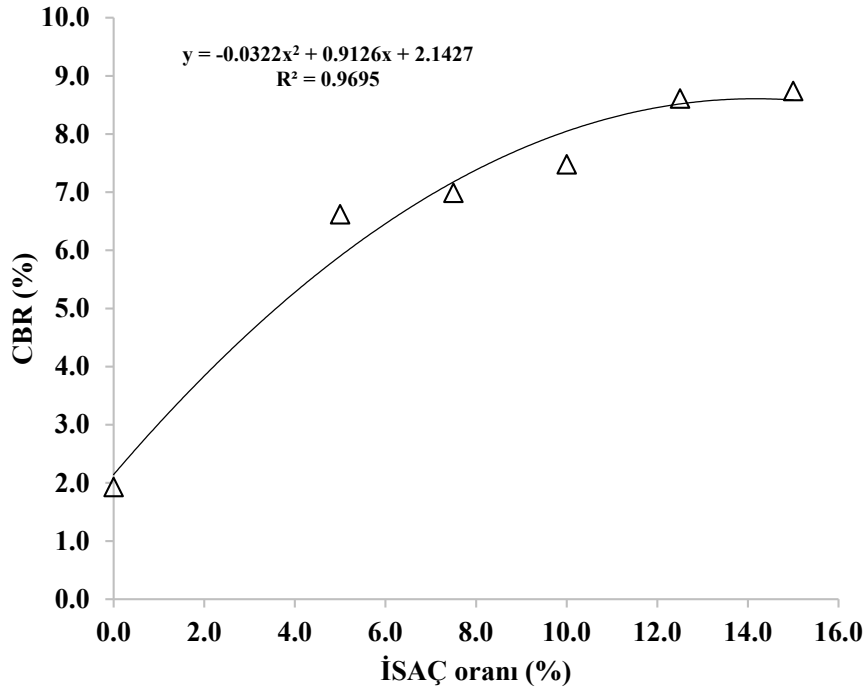


Şekil 5. Farklı oranlarda oluşturulan orta plastisiteli kil zemin için yük deformasyon ilişkisi

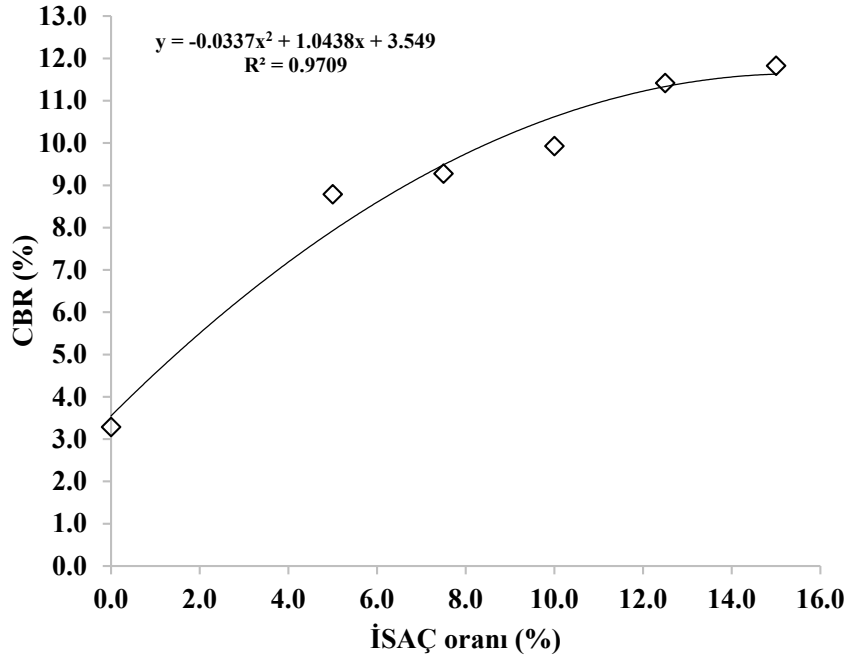
Şekil 6-7 ve Tablo 2’de, farklı oranlarda İSAÇ ile hazırlanan orta plastisiteli kil zemin için 2.5 mm ve 5 mm penetrasyona karşılık gelen CBR değerleri görülmektedir.

Tablo 2. 2.5 mm ve 5.0 mm için %CBR – %İSAÇ İlişkisi

İSAÇ Oranları %	2.5 mm için CBR değerleri	5 mm için CBR değerleri
0	1.93	3.29
5	6.62	8.79
7.5	6.99	9.28
10	7.48	9.93
12.5	8.61	11.42
15	8.74	11.83



Şekil 6. 2.5 mm için %CBR – %İSAÇ ilişkisi



Şekil 7. 5.0 mm için %CBR – %İSAÇ ilişkisi

CBR değerlerine göre zeminler 3 sınıfta (zayıf, az zayıf/orta ve sağlam zeminler) gruplandırılabilirler. CBR değeri 0-3 arasında değişen zeminler çok zayıf zeminlerdir. Bu gruptaki zeminler mutlaka ıslah edilmelidir. CBR değeri 3-7 arasında değişen zeminler az zayıf- orta zeminlerdir. Bu gruptaki zeminler ilave tedbirlerin alınıp alınmaması zeminin diğer mühendislik özelliklerine bağlıdır. CBR değeri 10'dan büyük zeminler ise sağlam zeminler olarak kabul edilmektedir [34]. Çizelge 1 incelendiği zaman, başlangıçta zeminin CBR açısından değerlendirilmesi yapıldığında zayıf grupta kategori

edilirken, zemine İSAÇ eklenmesi durumunda zeminin zayıf zemin kategorisinden çıkarak, az zayıf ve orta zemin kategorisinde değerlendirilebileceği gözlenmiştir. En yüksek CBR değeri her iki penetrasyon değerinde de yaklaşık %15 karışım oranında meydana geldiği gözlenmiş ancak %5, %7.5, %10, %12.5, %15 oranlarında İSAÇ karıştırılarak yapılan karışımlarda, İSAÇ olmaması durumuna göre, 2.5 mm ve 5 mm için CBR değerlerinde sırasıyla ortalama %66.71, %68.47, %70.53, %74.39 ve %75.05 artışlar meydana gelmiştir. %12.5 karışım oranına kadar CBR değerlerinde kayda değer bir artış (%74.39) meydana gelirken, %12.5 karışım oranından daha fazla karışım oranında yaklaşık olarak %0.66 oranında bir değerinde bir artış meydana gelmiştir. Bu nedenle, karışımda İSAÇ atığının %12.5'den fazla eklenmesi durumunda CBR değerlerinde kayda değer bir artış meydana getirmediğinden optimum oran olarak %12.5 oranı belirlemiştir. Ayrıca, her iki batma değeri için yüksek korelasyon katsayılı ($R^2=0.97$) formüller önerilerek, orta plastisiteli killerin İSAÇ ile iyileştirilip karayolları zeminlerinde kullanılması planlandığında; CBR değerlerinin belirlenmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir (Denklem 1 ve Denklem 2).

2.5 mm penetrasyon için;

$$\text{CBR} = -0.0337 (\text{İSAÇ})^2 + 1.0438(\text{İSAÇ}) + 3.549 \quad (1)$$

5 mm penetrasyon için;

$$\text{CBR} = -0.0322 (\text{İSAÇ})^2 + 0.9126(\text{İSAÇ}) + 2.1427 \quad (2)$$

(İSAÇ: % cinsinden içme suyu arıtma tesisi atığı miktarını ifade etmektedir.) (Denklemler %0- %15 aralığındaki karışım oranlarında geçerliliğini korumaktadır.)

4. Sonuçlar

İçme suyu arıtma tesisleri su arıtma prosesler ile istenilen ve yasal standartları karşılayan içme ve kullanma suyu üretirken, bir yan ürün olan içme suyu arıtma çamuru (İSAÇ) oluşturmaktadırlar. Bu atık İSAÇ'ların bertarafı için zemin iyileştirmede kullanılması önemli bir geri kullanım alanı sağlayabilir. Bu amaçla bu atığın, taşıma gücü ve oturma bakımından problem arz eden orta plastisiteli kil zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek amacıyla %5, %7.5, %10, %12.5, %15 oranlarında orta plastisiteli kil zeminlerle karışım yapılarak oluşturulan numunelerde CBR deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda genel olarak özetlenmiştir.

- İSAÇ %5, %7.5, %10, %12.5, %15 oranlarında karıştırılarak yapılan karışımlarda, İSAÇ olmaması durumuna göre, CBR değerlerinde sırasıyla ortalama %66.71, %68.47, %70.53, %74.39 ve %75.05 artışlar meydana gelmiştir.
- %12.5 İSAÇ ile yapılan karışım oranına kadar CBR değerlerinde %25.07'ye varan iyileşmelerin meydana geldiği belirlenmiştir.
- %12.5 karışım oranından daha fazla karışım oranında ise iyileşme değerinin bir miktar daha artarak (%0.66) sabit kaldığı, bu orandan sonra daha fazla artışın iyileşmede pek bir etkisinin olmayacağı görülmüştür.
- Orta plastisiteli killerin, İSAÇ ile iyileştirilmesinin sağlanmasında, optimum değer %12.5 olduğu görülmüştür.
- Kil zemin için CBR değerleri 2.5mm ve 5.0mm için sırasıyla 1.93 ve 3.29 olarak ortaya çıkmıştır. Kil zemine İSAÇ katkısı arttıkça, CBR değerlerinde 2.5mm ve 5.0mm için sırasıyla yaklaşık 4.5 ve 3.5 kata varan artışlar meydana gelmiştir. Böylece zemin zayıf zemin kategorisinden az zayıf- orta zeminler kategorisine yükselmiştir. İSAÇ kullanımı ile zeminin kategorisindeki iyileşmenin sebebi, İSAÇ içerisinde yüksek oranda Al_2O_3 bileşiğinin kil zeminin dayanımını artırarak, daha rijit bir yapının oluşması olarak düşünülmektedir.

- Bu tür zeminlerin, İSAÇ ile iyileştirilip karayolları zeminlerinde kullanılması planlandığında; CBR değerlerinin belirlenmesi için yüksek korelasyonlu denklemler elde edilmiş ve bu denklemlerin uygulamacılar ve literatüre katkı sağlayacağı düşünülmüştür.
2.5 mm penetrasyon için;
 $CBR = -0.0337(İSAÇ)^2 + 1.0438(İSAÇ) + 3.549$
5 mm penetrasyon için;
 $CBR = -0.0322(İSAÇ)^2 + 0.9126(İSAÇ) + 2.1427$
- Deney sonuçlarına göre, atık bir ürün olarak her yıl binlerce ton üretilen İSAÇ'ın, geoteknik mühendisliğinde zemin iyileştirmede alternatif bir katkı olarak kullanılabilceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Sales A, De Souza FR, Dos Santos WN, Zimer AM., Almeida FdCR. Lightweight composite concrete produced with water treatment sludge and sawdust: thermal properties and potential application. *Construction and building materials* 2010; 24(12): 2446-2453.
- [2] Trinh TK, Kang LS. Response surface methodological approach to optimize the coagulation–flocculation process in drinking water treatment. *Chemical engineering research and design* 2011; 89(7): 1126-1135.
- [3] Kelessidis A, Stasinakis AS. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste management* 2012; 32(6): 1186-1195.
- [4] Yu S, Zhang G, Li J, Zhao Z, Kang X. Effect of endogenous hydrolytic enzymes pretreatment on the anaerobic digestion of sludge. *Bioresource technology* 2013; 146:758-761.
- [5] Hamood A, Khatib JM, Williams C. The effectiveness of using Raw Sewage Sludge (RSS) as a water replacement in cement mortar mixes containing Unprocessed Fly Ash (u-FA). *Construction and Building Materials* 2017; 147: 27-34.
- [6] Yıldız Ş, Yılmaz, E, Ölmez, E. Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri: İstanbul Örneği İstaç A.Ş., Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu (TÜRKAY), Yıldız Teknik Üniversitesi Oditoryum ve Sergi Salonu, Piyalepaşa Bulvarı No.74, Şişli, 34379, İstanbul, 2009.
- [7] Grobelak A, Stępień W, Kacprzak M. Sewage sludge as an ingredient in fertilizers and soil substitutes. *Inżynieria Ekologiczna* 2016; 48: 52-60.
- [8] Chen P, Zhan L, Wilson W. Experimental investigation on shear strength and permeability of a deeply dewatered sewage sludge for use in landfill covers. *Environmental earth sciences* 2014; 71(10): 4593-4602.
- [9] Dayton E, Basta N. Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. *Water Environment Research* 2001; 73(1): 52-57.
- [10] Cao Y, Pawłowski A. Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012; 16(3): 1657-1665.
- [11] Amin SK, Hamid EA, El-Sherbiny S, Sibak H, Abadir M. The use of sewage sludge in the production of ceramic floor tiles. *HBRC journal* 2018; 14(3): 309-315.
- [12] Rahman MM, Khan MMR, Uddin MT, Islam MA. Textile effluent treatment plant sludge: characterization and utilization in building materials. *Arabian Journal for Science and Engineering* 2017; 42(4): 1435-1442.
- [13] Zhang Y, Jia L, Mei H, Cui Q, Zhang P, Sun Z. Fabrication, microstructure and properties of bricks fired from lake sediment, cinder and sewage sludge. *Construction and Building Materials* 2016; 121:154-160.

- [14] Blakemore R, Chandler R, Surrey T, Ogilvie D, Walmsley N, Management of water treatment plant residuals in New Zealand, Water Supply Managers' Group, New Zealand Water and Wastes Association, Auckland (1998) 56.
- [15] Ahmad T, Ahmad K, Alam M. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. *Procedia Environmental Sciences* 2016; 35: 950-955.
- [16] Okuda T, Nishijima W, Sugimoto M, Saka N, Nakai S, Tanabe K, Ito J, Takenaka K, Okada M. Removal of coagulant aluminum from water treatment residuals by acid. *Water research* 2014; 60: 75-81.
- [17] Essler R. Chapter 59 Design principles for ground improvement, ICE manual of geotechnical engineering, Thomas Telford Ltd2012, pp. 911-938.
- [18] Cristelo N, Glendinning S, Fernandes L, Pinto AT. Effects of alkaline-activated fly ash and Portland cement on soft soil stabilisation. *Acta Geotechnica* 2013; 8(4): 395-405.
- [19] Senol A, Edil TB. M.S. Bin-Shafique, H.A. Acosta, C.H. Benson, Soft subgrades' stabilization by using various fly ashes. *Resources, Conservation and Recycling* 2006; 46(4): 365-376.
- [20] Fauzi A, Nazmi WM, Fauzi UJ. Subgrade stabilization of Kuantan Clay using Fly Ash and bottom ash, The 8th international conference on geotechnical and transportation engineering, 2010.
- [21] Bergado D, Anderson L, Miura N, Balasubramaniam A. Soft ground improvement in lowland and other environments, ASCE, 1996.
- [22] Prabakar J, Dendorkar N, Morchhale R. Influence of fly ash on strength behavior of typical soils. *Construction and Building Materials* 2004; 18(4): 263-267.
- [23] Zaliha SS, Kamarudin H, Al Bakri A, Binhussain M, Salwa MS. Review on soil stabilization techniques. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2013; 7(5): 258-265.
- [24] Cofra, Ground Improvement, MebraDrain, BeauDrain and AuGeo <<http://www.cofra.co.uk/brochures/PVDUK.pdf>>, 2019 (accessed 10 Mar 2016).
- [25] Ordu E, Bicer P, Ordu S, Abanozoglu EG. Kumlu zeminlerin iyileştirilmelerinde atık lastiklerin kullanılması üzerine bir araştırma. *Aksaray University Journal of Science and Engineering* 2017; 1(1): 51-61.
- [26] Öntürk K, Fırat S, Vural İ, Khatib JM. Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi. *Politeknik Dergisi* 2014; 17(1): 35-42.
- [27] Sabat AK. Stabilization of expansive soil using waste ceramic dust. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 17(Bund. Z) 2012.
- [28] Vural İ., İnşaat Yıkıntı Atıklarının Zemin İyileştirmesinde Kullanılabilirliği. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 2019; 7(1): 1-6.
- [29] T.S. Enstitüsü, TS 1500, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Ankara, 2000.
- [30] Bağrıaçık, B., Güner, E.D. An Experimental Investigation of Reinforcement Thickness of Improved Clay Soil with Drinking Water Treatment Sludge as an Additive. *KSCE J Civ Eng*, 2020; 24, 3619–3627.
- [31] Aytekin M. Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara, 2004.
- [32] T.S. Enstitüsü, TS 1900 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [33] Bağrıaçık B. Ulaşım Yapıları Temel/Alt Temel Zeminlerinin Kireçle Stabilizasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2017; 32(1): 39-48.
- [34] Türedi Y, Örnek M, Bal BB, Işık AO. Çelikhane Cürufu Katkısının Cbr Sonuçlarına Etkisinin Araştırılması. 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul, Turkey; 2017, 429-436.

ELASTANLI SÜPREM KUMAŞLARDA TERMAL EFÜZYON VE İLETKENLİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ELASTAN ORANININ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Seval UYANIK*

Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 05.07.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.09.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.962657

ÖZET

Kumaşta elastik iplik kullanımı, kumaşta yapısal parametreleri ve bu parametrelere bağlı olarak değişen gözenekliliği doğrudan etkilediği için termal konfor ve dolayısıyla giysi konforu üzerinde oldukça etken bir faktördür. Isıl tuşe; yatak tekstilleri, otomotiv ve kumaş-giyim sektörleri için malzeme seçimi ve kalite kontrolünde kritik bir performans özelliğidir ve sıcak veya soğuk olsun malzemelerin dokunulduğunda nasıl hissettirdiğini belirler. Bu çalışmada farklı elastan oranlarına sahip düz örgü (süprem) kumaşların termal iletkenlik ve efüzyon özellikleri, elastan içermeyen süprem kumaş ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve elastan oranının bu özellikler üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonuçları, elastan oranı arttıkça süprem kumaşlarda termal iletkenlik ve termal efüzyon değerlerinin arttığını; ısıl tuşe açısından ise pamuk hammaddeli elastansız ve/veya elastanlı süprem kumaşların soğuk hissi veren malzeme aralığına yakın olduğunu ve elastan oranı artışıyla soğuk hissinin de arttığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yuvarlak örme kumaş, Süprem (düz örgü), Elastan oranı, Termal Efüzyon (ısıl tuşe), Termal iletkenlik

RESEARCHING OF THE EFFECTS OF ELASTANE RATIO ON THE THERMAL EFFUSIVITY AND CONDUCTIVITY PROPERTIES IN PLAIN KNIT FABRICS WITH ELASTANE

ABSTRACT

The use of elastic yarn in fabric directly affects the structural parameters of the fabric and the porosity that changes depending on these parameters, it is a very effective factor on thermal comfort and therefore clothing comfort. Thermal touch; it is a critical performance characteristic in material selection and quality control for the bedding, automotive and fabric-apparel industries and determines how materials feel to the touch, whether hot or cold. In this study, the thermal conductivity and effusivity properties of plain knit (jersey) fabrics with different elastane ratios were compared with the single jersey fabric without elastane, and it was aimed to determine the effects of elastane ratio on these properties. The results of the study showed that as the elastane ratio increases, thermal conductivity and thermal effusion values increase in single jersey fabrics; in terms of thermal touch, single jersey fabrics with cotton raw material without elastane and/or with elastane are close to the range of materials that give a cold feel, and the cold feel increases with the increase in the elastane ratio.

Keywords: Circular knitted fabric, Plain knit (jersey), Elastane ratio, Thermal effusivity (thermal touch), Thermal conductivity,

* e-mail: suyanik@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9513-5746> (Sorumlu Yazar),

1. Giriş

Örme kumaşlar, dokuma kumaşlara göre daha esnek ve gevşek yapıda olup kullanıcılara verdiği rahatlık hissiyle özellikle pandemi döneminde çok daha fazla tercih edilen ürünler haline gelmiştir. Söz konusu rahatlık hissi giysi konforu olarak adlandırılmakta olup giysi konforunu etkileyen faktörler birçok çalışma ile araştırılmış ve araştırılmaya da devam etmektedir.

Giysi konforunu etkileyen faktörlerin başında kumaşın geçirgenlik özelliklerinin gelmekte olduğu ve geçirgenlik özelliklerinin de sıklık, kalınlık ve gramaj gibi kumaşın yapısal parametrelerinden etkilendiği bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur [1-7].

Ayrıca giysi konforunun; vücudun termal dengesi ile yakından ilgili olduğunu gösteren ve termal (ısı) konfor özelliklerini etkileyen faktörlerin lif-iplik özellikleri, kumaş yapısı ve terbiye işlemleri olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [8-15].

Isıl konfor kavramının ön plana çıktığı, Dönmez ve arkadaşları [9] tarafından yapılan detaylı çalışmada; ısı konforunun, giysilerin ısı ve nem geçirgenlik özellikleri ile ilgili olduğu ve bu açıdan konforlu giysilerin vücudun ısı (sıcaklık ve nem) dengesini korudukları, farklı çevre koşulları ve aktivitelere bağlı olarak vücut ile çevresi arasında optimum ısı ve nem geçişini sağladıkları, ısı konforu etkileyen ana faktörlerin çevre, insan ve giysi parametreleri olduğu ve giysi parametrelerinin lif tipi, iplik konstrüksiyonu, örgü yapısı, kumaş kalınlığı, giysi bileşenlerinden oluştuğu ifade edilmiştir.

Öner ve Okur da [11] yaptıkları çalışmada konforun, en önemli bileşenlerinden birinin termal konfor olduğunu, kumaşın ısı ve nem iletim özellikleri ile insan vücut yüzeyinden çevreye ısı ve nem iletim yeteneğinin giysinin termal konforunun belirlenmesinde en önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir.

Kumaşların elastikiyetini artırmak, gerilme sonrası eski haline dönebilmesini sağlamak ve kullanım ömrü süresince giysiden en iyi performansı elde etmek amacıyla elastan olarak bilinen elastik iplikler örme kumaşlarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Kumaşta elastik iplik kullanımı, kumaşta yapısal parametreleri ve bu parametrelere bağlı olarak değişen gözenekliliği doğrudan etkilediği için giysi konforu üzerinde oldukça etken bir faktördür.

Giysi konforu ile ilgili olarak elastik iplikli örme kumaşlar üzerine Gorjanc ve arkadaşları [16] ile Marmaralı ve arkadaşları [17] tarafından yapılan çalışmalarda, elastan ilave edilen kumaşlarda sıklığın arttığı ve böylece su buharı geçirgenlik değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir.

Ertekin ve arkadaşları [18] yaptıkları çalışmada, farklı elastan iplik numarası ve elastan besleme oranıyla üretilmiş örme kumaşların fiziksel, mukavemet ve ısı konfor özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları, daha kalın elastan numarası ya da yüksek elastan oranıyla örülen kumaşların yapısal özellikler açısından yüksek gramaj ve kalınlığa, ısı konfor özellikleri açısından ise kalın elastan iplik numarası ile tam elastanlı yapıda örülmüş kumaşların daha yüksek ısı iletkenlik ve ısı soğurganlık değerlerine sahip olduğunu, daha düşük hava ve su buharı geçirgenliği sağladığını göstermiştir.

Farklı ilmek uzunluğu ve elastan oranı içeren süprem örme kumaşlarda termal konfor özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelendiği başka bir çalışmada Khalil ve arkadaşları [19] likra (elastan) durumunun ısı iletkenlik ve hava geçirgenliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve ısı direnç, emicilik ve RWVP üzerinde ise önemsiz bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Uyanık ve Kaynak [20-21] çalışmalarında farklı elastan oranlarına sahip süprem kumaşların yapısal, boyutsal, estetik, konfor ve boncuklanma direnci özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemişler ve elastan içeriğinin süprem kumaşları daha sık, ağır ve kalın hale getirdiğini; boy çekme, verevlik ve may dönme oranlarını oldukça azalttığını, boncuklanmaya karşı direnci artırdığını ve giyside konforu azalttığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak elastan oranları değişen süprem kumaşların termal

özellikleri, termal iletkenlik ve termal efüzyon yeteneği temelinde incelenmiştir.

Termal (ısı) iletkenlik (λ), bir materyalden, birim kalınlıkta, 1°K (Kelvin) sıcaklık farklılığında geçen ısı miktarının ölçüsü olup malzemenin iki yüzeyi birim sıcaklık farkına maruz kaldığında gerçekleşmektedir [9].

Termal efüzyon (ısı atalet ya da termal duyarlılık) yeteneği, malzemenin çevresi ile termal enerji alışverişini yapma kabiliyetini gösterir ve uygulamada malzemelerin soğukluk veya sıcaklık hissini yarı kalitatif ölçümüdür [22].

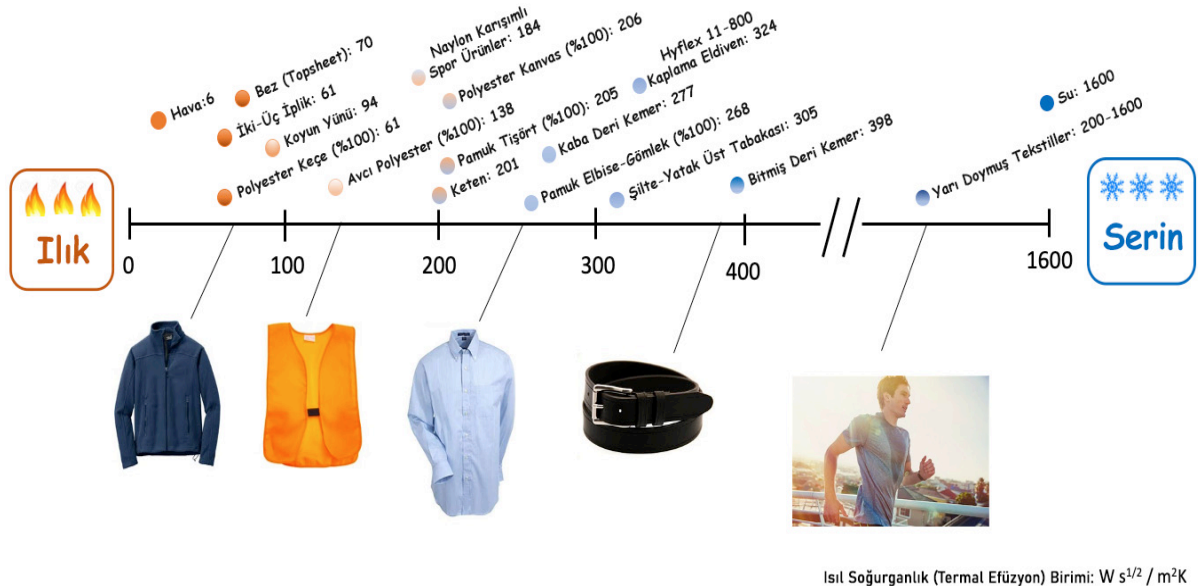
$$\text{efüzyon } (e) = \sqrt{(\lambda\rho c_p)} \quad (1)$$

Formülde; λ termal iletkenlik, ρ yoğunluk ve c_p özgül ısı kapasitesini gösterir ve ρ ile c_p hacimsel ısı kapasitesi olarak bilinir.

Isıl tuşe; yatak tekstilleri, otomotiv ve kumaş-giyim sektörleri için malzeme seçimi ve kalite kontrolünde kritik bir performans özelliğidir. Termal efüzyon, sıcak veya soğuk olsun malzemelerin dokunulduğunda nasıl hissettirdiğini belirler ve ürün performansını iyileştirmek isteyen endüstriler için oldukça kolaylık sağlar [23].

Düşük termal efüzyona sahip malzemeler daha sıcak, daha yüksek termal efüzyona sahip malzemeler daha soğuk hissedilir. Malzemelerin termal performansları ve dokunma özellikleri için test edilmesi; aktif giyim, çocuk bezleri, denim ve kişisel koruyucu giysiler dahil olmak üzere geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir [23].

Genel olarak birçok bilinen giyim markası tarafından termal efüzyon değeri $> 200 - 280 \text{ W s}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$ olan malzemeler ‘soğuk’ hissi, efüzyon değeri $< 65 - 100 \text{ W s}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$ olan malzemeler ise ‘ılık’ hissi veren malzemeler olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çeşitli tekstil ürünlerinde termal efüzyon değerleri [23]

Mevcut çalışma ile farklı elastan oranlarına sahip düz örgü (süprem) kumaşların termal iletkenlik ve efüzyon özellikleri, elastan içermeyen süprem kumaş ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve elastan

oranının bu özellikler üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma süprem kumaşlarda pratikte uygulanan tüm elastan oranlarının, termal tuşe üzerine veya başka bir ifadeyle dokunma ile sıcak-soğuk hissi üzerine etkilerinin ortaya konulması açısından önceki çalışmalardan farklı olup bu yönüyle literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

2. Materyal ve Metod

Çalışma kapsamında 1 adet elastansız ve farklı besleme oranları ile 3 adet elastanlı düz örme veya bilinen adıyla elastanlı süprem kumaşlar, yuvarlak örgü makinesinde üretilmiştir. Elde edilen kumaşların üretim parametreleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kumaş üretim parametreleri

Makine tipi	Mayer-Relanit açık en
Makine çapı (pus)	32 inç
Makine inceliği (E)	28 iğne/inç
Makine hızı	25 d/dk
İplik cinsi ve numarası	Ne 30/1 penye ring pamuk ipliği
Elastan cinsi ve numarası	40 denye likra
Terbiye işlemleri	Ön terbiye - Ağartma

Üretim sonrası mamul kumaşlara standart atmosfer koşullarında ilgili standartlara [24-26] göre sıklık, gramaj ve kalınlık testleri uygulanarak yapısal özellikleri belirlenmiştir. Üretilen kumaşların yapısal parametreleri ve diğer özellikleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kumaş yapı özellikleri

Kumaş cinsi	İlmeç iplik uzunluğu (lfa) mm		İlmeç sıra sayısı/cm (cpc)	İlmeç çubuk sayısı/cm (wpc)	İlmeç yoğunluğu /cm ²	Gramaj g/m ²	Kalınlık mm	İğne diyagramı	Görünüm
	Pamuk ipliği	Elastan							
Düz örgü (süprem)	3.2	-	14.2	13.4	190.28	126.53	0.48		
1x1 elastanlı süprem	3.2	1.2	19.5	14.5	282.75	205.92	0.69		
2x1 elastanlı süprem	3.2	1.2	21.1	14.9	314.39	223.18	0.70		
Tam dolu elastanlı süprem	3.2	1.2	27.2	15.2	413.44	301.70	0.80		

Kumaşların termal efüzyon ve iletkenlik özellikleri ise ASTM D7984-16 standardına [27] göre C-Therm-TCI marka (Şekil 2) termal iletkenlik cihazında MTPS (Modified Transient Plane Source) sensörü kullanılarak her bir numune için 5'er ölçüm yapılmak suretiyle tespit edilmiştir. Cihazdan elde edilen test sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 2. C-Therm-TCI termal iletkenlik-efüzyon test cihazı

Çizelge 3. Kumaşların termal efüzyon ve iletkenlik değerleri

	Efüzyon $\frac{W \cdot \sqrt{s}}{(m^2) \cdot K}$	İletkenlik (W/mK)	Ortam sıcaklığı (°C)	Delta T (°C)	V0 (mV)
Düz örgü (süprem)	186	0,090	19,91	1,30	2.449,32
1x1 elastanlı süprem	203	0,100	19,90	1,29	2.449,26
2x1 elastanlı süprem	189	0,090	20,14	1,30	2.448,94
Tam dolu elastanlı süprem	234	0,110	20,49	1,26	2.448,23

Termal efüzyon birimi $Ws^{1/2}/m^2K$ olup termal iletkenlik, yoğunluk ve özgül ısı kapasitesinin çarpımının karekökünün bir ölçümüdür:

- Termal iletkenlik (W/mK veya watt/metre-Kelvin)
- Yoğunluk (kg/m^3 veya metreküp başına kilogram)
- Isı kapasitesi (J/kgK veya Joule / Kilogram / Kelvin)

Cihazda **Delta T** ölçüm sırasında sensör yüzeyindeki sıcaklık artışını, **V0** ölçüm başlangıcındaki başlangıç voltajını ifade eder.

Test sonuçlarının istatistiksel olarak yorumlanması için SPSS 25 paket programı kullanılmış ve %95 güven aralığında tek yönlü varyans analizi (One-WayANOVA) ve Pearson korelasyon testleri yapılmıştır. İstatistiksel analizlerde elastan oranı ve kumaş yapısal parametreleri faktör olarak alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Termal efüzyon-iletkenlik ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlar, grafiksel ve istatistiksel (Çizelge 4-5) olarak termal iletkenlik ve termal efüzyon başlıkları altında incelenmiştir.

Çizelge 4. One-Way ANOVA sonuçları

Değişkenler	F	Sig.
Termal iletkenlik	27,212	,000
Termal efüzyon	115,500	,000

Çizelge 5. Pearson korelasyon sonuçları

Faktör	Termal İletkenlik	Termal Efüzyon
Elastan oranı	,516*	,625**
cpc	,670**	,787**
wpc	,483*	,576**
İlmek yoğunluğu	,651**	,768**
Gramaj	,669**	,779**
Kalınlık	,613**	,691**

* Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlıdır.

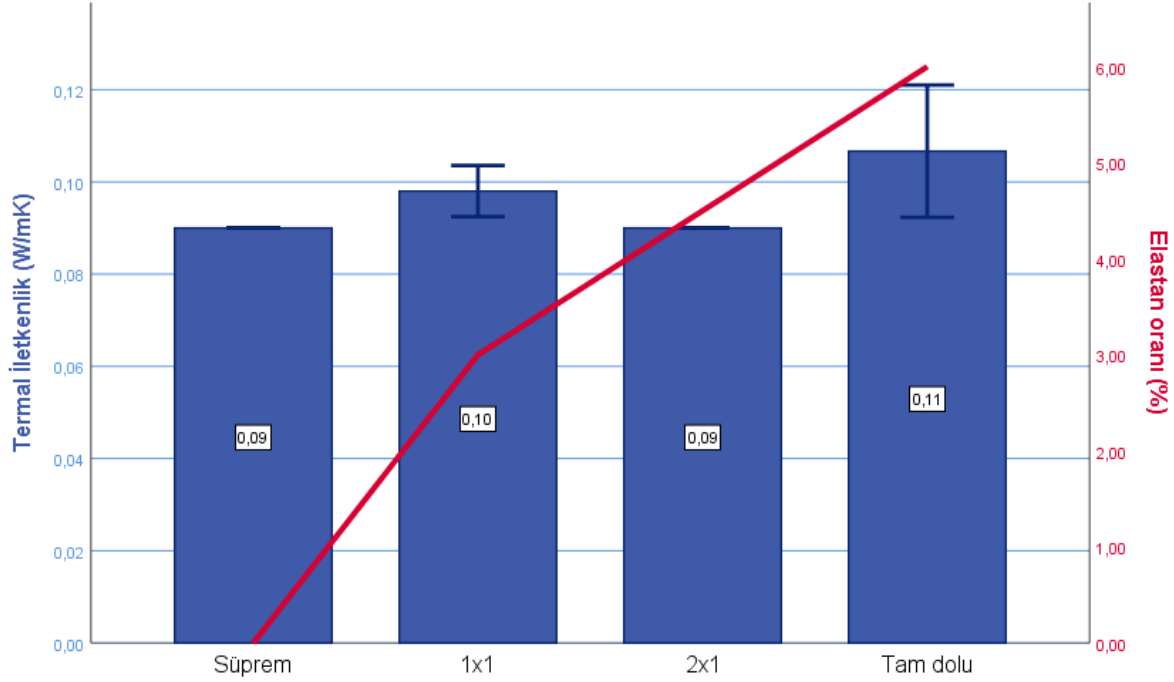
** Korelasyon 0.01 düzeyinde anlamlıdır.

3.1. Termal (Isıl) İletkenlik

Şekil 3'te verilen termal iletkenlik sonuçları incelendiğinde elastansız süprem ve 2x1 elastanlı süpremden iletkenlik değerlerinin aynı olduğu, 1x1 elastanlı süpremden biraz daha yüksek iken tam dolu elastanlı süpremden çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4'te verilen ANOVA sonuçları ,000 p değeri ile elastan oranının termal iletkenlik üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Elastan oranı ile termal iletkenlik ve kumaş yapısal özellikleri ile termal iletkenlik arasındaki ilişkilerin yönünü ve kuvvetini ortaya koymak için yapılan korelasyon test sonuçlarına (Çizelge 5) göre tüm faktörler ile termal iletkenlik arasında pozitif yönlü ve kuvvetli ilişkiler bulunmaktadır. Ancak faktörlerden elastan oranı ve ilmek çubuk sayısının (wpc) termal iletkenlik üzerine etkileri, diğer faktörlerin etkileriyle kıyaslandığında biraz daha düşüktür.

Bu sonuçlar dikkate alındığında elastan oranı ile kumaş yapısal özellikleri olan sıklık (cpc, wpc, ilmek yoğunluğu), gramaj ve kalınlık değerlerindeki artışın kumaşların termal iletkenlik değerlerini artırdığı söylenebilmektedir.



Şekil 3. Termal iletkenlik sonuçları

3.2. Termal (Isıl) Efüzyon

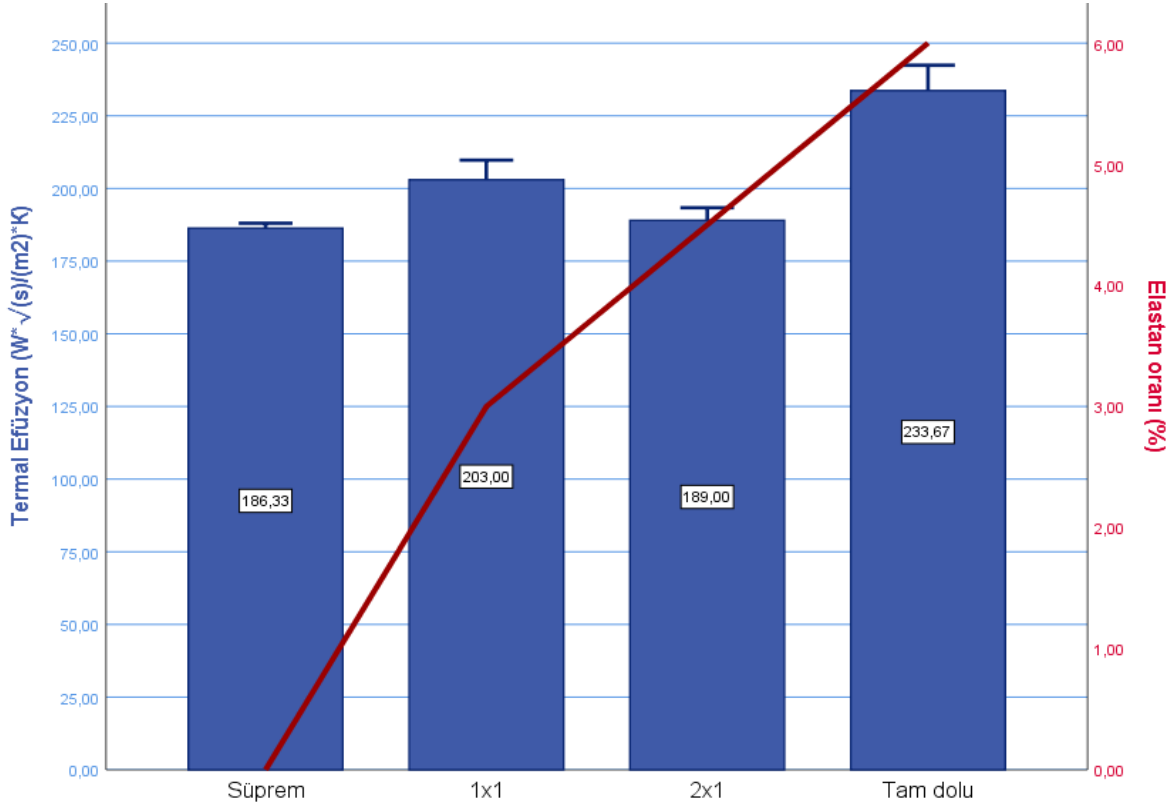
Termal efüzyon sonuçlarını gösteren grafik (Şekil 4) incelendiğinde termal iletkenlikte olduğu gibi elastansız süprem ve 2x1 elastanlı süprem kumaşlarda efüzyon değerlerinin birbirine çok yakın olduğu, 1x1 elastanlı süpreme daha yüksek ve tam dolu elastanlı süpreme ise belirgin derecede daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4'te görülen ANOVA sonuçları ,000 p değeri ile elastan oranının termal efüzyon üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğunu göstermekle birlikte aynı zamanda F değerleri açısından termal efüzyon F değeri olan 115,500 ile termal iletkenlik F değeri olan 27,212 değerleri karşılaştırıldığında termal efüzyon F değerinin çok daha yüksek olması, elastan oranının termal efüzyon üzerinde iletkenliğe oranla çok daha fazla anlamlı etkiye sahip olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5'te verilen korelasyon test sonuçları da elastan oranı ile kumaş yapısal özellikleri olan sıklık, gramaj ve kalınlık değerlerindeki artışın, termal efüzyonu pozitif yönlü olarak kuvvetli şekilde artırdığını ortaya koymaktadır. Termal iletkenlikte gözlemlendiği gibi elastan oranı ve ilmek çubuk sayısının (wpc) ve ilave olarak kalınlığın termal efüzyon üzerine etkileri, diğer faktörlerin etkilerine oranla biraz daha düşük kalmıştır.

Yukarıda belirtilen yorumlamalar gözönüne alındığında elastan oranı ile sıklık (cpc, wpc, ilmek yoğunluğu), gramaj ve kalınlık gibi kumaş yapısal özellikleri değerlerindeki artışların, kumaşların termal efüzyon değerlerini artırdığı anlaşılmaktadır.

Şekil 1'de verilen ve tekstil malzemelerinin efüzyon değerleri gösteren resim incelendiğinde, elastansız ve elastanlı süprem kumaşların soğuk hissi veren malzeme aralığına yakın olduğu ve elastan oranı artışıyla kumaşın soğuk hissi verme oranının da arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4. Termal efüzyon sonuçları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada yuvarlak örgü makinesinde üretilen elastan içermeyen ve farklı oranlarda elastan içeren düz örgü (süprem) kumaşların termal (ısı) iletkenlik ve termal (ısı) efüzyon özellikleri üzerine elastan oranının etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonuçları elastan oranı arttıkça süprem kumaşlarda termal iletkenlik ve termal efüzyon değerlerinin arttığını açıkça ortaya koymuştur. Aynı zamanda efüzyon değeri, malzemenin ısıl tuşesini yani temas yolu ile yüzeylerin sıcak-soğuk hissi verme durumunu ifade eden bir değer olup bu açıdan değerlendirmede ise test sonuçları, pamuk hammaddeli elastansız ve elastanlı süprem kumaşların soğuk hissi veren malzeme aralığına yakın olduğunu ve elastan oranı artışıyla soğuk hissini de arttığını göstermiştir. Sonuç olarak, tekstil malzeme ve yüzeylerinin termal iletkenlik ve efüzyon özellikleri, daha önceki çalışmalarda da belirtildiği üzere giysilerde termal konfor açısından önemlidir ve konforu yüksek kumaşların üretiminde mutlaka gözönünde bulundurulması gerekmektedir.

İleriki çalışmalarda viskon, modal, polyester, naylon, akrilik vb. farklı liflerle, farklı numaralarda elastan iplikler kullanılarak süprem ve/veya diğer örgü türlerinde elde edilecek kumaşların termal efüzyon özelliklerinin araştırılması literatüre ve ticari ürünlerin giysi konforunun geliştirilmesine katkı sağlayacağı için önerilir.

Teşekkür

Çalışma kapsamında kumaş numunelerinin üretilmesini gerçekleştiren KARA HOLDİNG'e ve termal testlerin yapılmasında destek veren Liberec Teknik Üniversitesi / Tekstil Mühendisliği Fakültesi'nden Ladislav Nagy'ye teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- [1] Yoon HN, Buckley A. Improved comfort polyester, Part I: Transport properties and thermal comfort of polyester/cotton blend fabrics. *Textile Research Journal* 1984; 54 (5): 289-298.
- [2] Milenkovic L, Skundric P, Sokolovic R, Nikolic T. Comfort properties of defence protective clothing. *The Scientific Journal Facta Universitatis* 1999; 1(4):101-106.
- [3] Havenith G. The interaction of clothing and thermoregulation. *Exogenous Dermatology* 2002; 1(5): 221-230.
- [4] Turan B, Okur A. Kumaşlarda hava geçirgenliği. *Tekstil ve Mühendis* 2008; 72: 17-25.
- [5] Punna T, Amsamani S. Investigations on moisture transmission characteristics of blended single jersey fabrics. *Journal of Textile and Apparel* 2012; 7(4): 1-17.
- [6] Uyanık S, Duru Baykal P. Vortex örme kumaşların hava geçirgenliği üzerine lif cinsi, karışım oranı ve kumaş sıklığının etkileri. 4.Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu 2018;69-72.
- [7] Demiröz Gün A, Bodur A. Kumaşların su buharı geçirgenliği. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2014; 8(3): 20-34.
- [8] Li Y. The science of clothing comfort. *Textile Progress* 2001; 31(1/2): 64-77.
- [9] Marmaralı A, Dönmez Kretzschmar S, Özdil N, Gülsevin Oğlakcioğlu N. Giysilerde ısı konforu etkileyen parametreler. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2006; 4: 241-246.
- [10] Oğlakcioğlu N, Marmaralı A. Thermal comfort properties of some knitted structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 2007; 15(5-6): 64-65.
- [11] Öner E, Okur A. Materyal, üretim teknolojisi ve kumaş yapısının termal konfora etkileri. *Tekstil ve Mühendis* 2010; 17(80): 20-29.
- [12] Majumdar A, Mukhopadhyay S, Yadav R. Thermal properties of knitted fabrics made from cotton and regenerated bamboo cellulosic fibres. *International Journal of Thermal Sciences* 2010; 49(10): 2042-2048.
- [13] Bilgi M, Kalaoğlu F. The effects of special finishing processes on the performance and comfort of the military garments. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2010; 20(4): 343-347.
- [14] Sampath MB, Aruputharaj A, Senthilkumar M, Nalankilli G. Analysis of thermal comfort characteristics of moisture management finished knitted fabrics made from different yarns. *Journal of Industrial Textiles* 2012; 42(1): 19-33.
- [15] Oğlakcioğlu N. Design of functional knitted fabrics for medical corsets with high clothing comfort characteristics. *Journal of Industrial Textiles* 2016; 45(5): 1009-1025.
- [16] Gorjanc DS, Dimitrovski K, Bizjak M. Thermal and water vapour resistance of the elastic and conventional cotton fabrics. *Textile Research Journal* 2012; 82(14):1498-1506.
- [17] Marmaralı A, Özdil N, Dönmez Kretzschmar S. Elastik iplikli düz örme kumaşların ısı konfor özellikleri. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2007; 3: 178-182.
- [18] Ertekin G, Oğlakcioğlu N, Marmaralı A. Pamuk/elastan örme kumaşların mukavemet ve ısı konfor özellikleri. *Tekstil ve Mühendis* 2018; 25(110): 146-153.
- [19] Khalil A, Tešinová P, Aboalasaad ARR. Thermal comfort properties of single jersey knitted fabric produced at different Lycra states. *ICNF 2019-4th International Conference on Natural Fibers*.
- [20] Uyanık S, Kaynak HK. Pamuklu elastan süprem kumaşlarda fiziksel, boyutsal ve estetik özellikler. *Tekstil ve Mühendis* 2018; 25(110): 121-129.
- [21] Uyanık S, Kaynak HK. Pamuklu elastan süprem kumaşlarda konfor ve boncuklanma özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2019; 34(1): 13-22.
- [22] https://tr.esc.wiki/wiki/Thermal_inertia.
- [23] <https://ctherm.com/products/tx-thermal-effusivity-touch-tester/>
- [24] TS EN 14971: 2013. Tekstil-Örülmüş kumaşlar-Birim uzunluk ve birim alan başına örgü ilmeği sayısının tayini.
- [25] TS EN 12127: 1999. Tekstil-Kumaşlar-Küçük numuneler kullanarak birim alan başına kütlenin tayini.
- [26] TS 7128 EN ISO 5084: 1998. Tekstil-Tekstil ve tekstil mamullerinin kalınlık tayini.
- [27] ASTM D7984-16 Standard test method for measurement of thermal effusivity of fabrics using a modified transient plane source (MTPS) instrument.

YAPAY SİNİR AĞLARI VE DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ YÖNTEMLERİ İLE BÖLGESEL TRAFİK YOĞUNLUK TAHMİNİ

İclal ÇETİN TAŞ^{1*}, Ahmet Anıl MÜNGEN²

¹⁻²OSTİM Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 14.07.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 20.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.971461

ÖZET

Büyük şehirlerde kilometre başına düşen insan yoğunluğu arttıkça trafik sıkışıklığı artmakta ve yolcuların daha fazla sürelerini trafikte harcamaktadırlar. Trafik sıkışıklığı nedeni ile harcanan ekstra zaman ve yakıt hem kullanıcılar hem de ülkeler için büyük bir gider kalemidir. Büyükşehirlerde yaşayan vatandaşların trafik yoğunluğunun zaman bazlı değişimini tahmin etmek ve buna göre planlama yapmaları bir zorunluluk haline dönüşmüştür. Trafik sıkışıklıkları genelde tüm şehirde aynı anda gerçekleşmez. Bölgesel olarak yaşanan trafik sıkışıklıkları diğer yolları da etkilemesi ile yaygınlaşır. Bu çalışma da yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak önerilen yöntem ile geçmiş trafik verileri kullanarak bölgesel yoğunluklar tahmin edilmeye çalışılacaktır. Çalışma birçok benzer çalışmadan farklı olarak hava durumu gibi çevresel etkenleri de alarak tahmin modellemesinin başarısını arttırılmıştır. İstanbul Büyük Şehir Belediyesi Açık Veri Portalından toplanan 75 farklı noktaya ait 150.000 veri kullanarak önerilen model test edilmiş ve yaklaşık %90 başarı ile bölgesel trafik yoğunluğu tespit edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Trafik Tahmini, YSA, SVM, Ortalama Hız, Büyük Veri.

PREDICTION OF REGIONAL TRAFFIC INTENSITY WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND SUPPORT VECTOR MACHINES

ABSTRACT

As the density of people per kilometer increases in big cities, traffic congestion increases and passengers spend more time in traffic. The extra time and fuel spent due to traffic congestion is a big expense item for both users and countries. It has become a necessity to predict the time-based change in the traffic density of citizens living in metropolises and to plan accordingly. Traffic jams don't usually happen in the whole city at once. Regional traffic jams become widespread as they affect other roads. In this study, it will be tried to predict regional congestions by using historical traffic data with the proposed method using artificial neural networks (ANN). The study increases the success of forecasting modeling by taking environmental factors such as weather conditions apart from many equivalent studies. Using 150,000 data from 75 different points collected from the Istanbul Metropolitan Municipality Open Data Portal, the proposed model was tested and the regional traffic density could be determined with 90% success.

Keywords: Traffic Prediction, ANN, SVM, Average Speed, Big Data .

1. Giriş

Bir ulusal medya ajansı olan Ajans Press'in medyadan ve dijital uygulamalardan derlediği bilgilere göre İstanbul'da çalışanların insanların üçte biri her iş günü yaklaşık 2 saatten fazla süreyi trafikte zaman kaybetmektedir [1]. Ankara'da çalışan insanlar için ise bu oran 1 saatin biraz üzerindedir.

*¹ e-mail: iclal.cetintas@ostimteknik.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1101-9773> (Sorumlu Yazar),

² e-mail: ahmetanil.mungen@ostimteknik.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-6507>

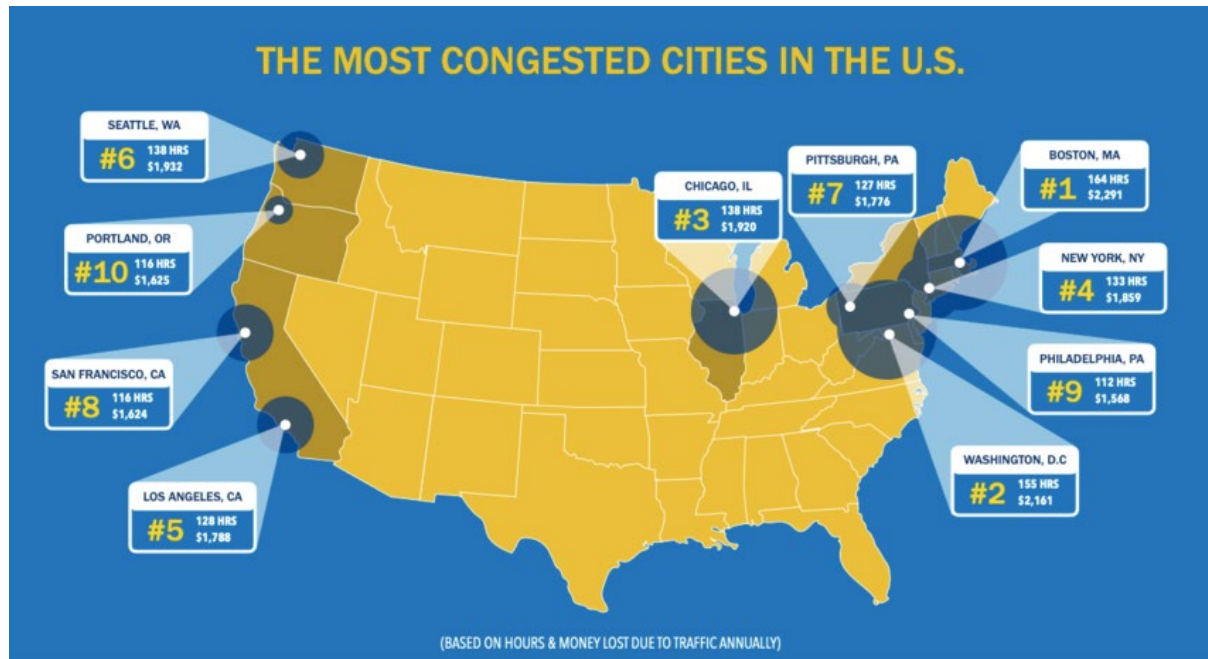
CuHaftada altı gün çalışan bir kişi 2021 yılı içerisinde 299 gün mesaiye gitmektedir. İstanbul'da çalışan bir kullanıcı 1 yıl içerisinde yaklaşık 600 saatini yani 25 gününü trafikte harcamaktadır. Bundan dolayı özellikle trafiğin hızlandırılması ile ilgili yapılacak çalışmalar büyük şehirde yaşayan insanların hayatını kolaylaştırması adına arz etmektedir.

Makinalar gibi sistemlerinde sahip oldukları işlem gücü diğer bir deyişle kapasitenin belirli bir sınırı vardır. Kısıtlı kaynaklarla sonsuz ihtiyaçları giderme ekonominin temel maddelerinden biridir. Diğer bir deyiş ile kapasite ve sınırlamalar günlük hayatın temel kurallardan biridir. Hiçbir kaynak sınırsız olmadığı için hizmet veren altyapıların veya makinaların kapasitelerinin optimize edilmesi hem hizmetinin verimliliği hem de ekonomik faydanın maksimize edilmesi önemlidir.

Sanayi devriminin ardından teknoloji geliştikçe makine ve araçların hayatımızdaki yeri artmıştır. Günlük hayatta artık vazgeçilmez olarak kabul edilen araçlardan biri de kişisel kullanımdaki otomobillerdir. Teknolojik gelişmeler ile araç üretiminin artması ve maliyetlerinin düşmesi araçları daha alt ekonomik düzeydeki kullanıcıların ulaşmasını sağlamıştır. Ayrıca altyapılardaki gelişmeler bireysel taşıtların kullanım oranını önemli düzeyde arttırmıştır. Yöneticilerin bireysel taşıt sayısı artan kullanıcılardan gelen talepler doğrultusunda daha fazla ulaşım altyapısına yatırım yapması da yine bireysel taşıtların sayısını artıran etkenlerden biridir.

Her sınırlı sistem de arz talebi karşılamadığı zaman yoğunluk yaşanabilir. Arz/Talep dengesi olarak adlandırılan bu olgu kapasitenin üzerinde hizmet talebi olduğunda görülür ve hizmet vermede sıkışma ve beklemler olur. Bazı durumlarda talep zamana homojen yayılmayacağı için günün belli saatleri veya belli dönemler için hizmette yoğunluk ve sıkışıklık ortaya çıkabilir. Hem dijital dünyada hem de fiziksel dünyada bu tür sıkışıklıkları sıklıkla görmekteyiz.

Talep ve altyapı dengesizliğinden dolayı sürecin düzgün işlemediği ve kullanıcıların beklediği alanlardan biri de trafiktir. Trafik tanım olarak araçların aynı altyapıyı yani yolları trafiğin işleyişi nedeniyle araçlar belli bir sırayla yer alır ve bu sırayla yolları yani altyapıyı kullanır. Eğer hizmet sağlayıcı olan yolların kapasitesi talep edenlerin yani hizmeti kullanmak isteyen araçların sayısından daha düşükse araçlar aynı anda hizmet alamayacağı için bir sıra oluşur. Bu durumda araçların birbirini beklemesine trafik sıkışıklığı olarak isimlendirilir. Trafik kullanıcılar için hem zaman hem de yakıt kaybı yarattığı için ekonomik sonuçları olan bir problemdir.



Şekil 1. ABD için en çok zaman ve para kaybına yol açan trafik sıkışıklıklarının haritası [2]

Tüm dünyada büyük şehirlerin sayısında ve bu şehirlerin nüfuslarında artma eğilimi vardır [3]. Ayrıca dikey mimarinin artması nedeni ile küçük bir bölgede yaşayan insan yoğunluğu da artmaktadır. Böylece bölgede yer alan insan sayısı ve bölgede kullanılan araç sayısı da artmaktadır. Bireysel araç sahibi sayısının da artmasıyla oluşan sıkışıklık hemen hemen tüm dünyada görülen ortak bir problemidir. Bu trafik sıkışıklığından dolayı her sene milyonlarca insan milyarca dakika zaman kaybetmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre trafik sıkışıklığının Amerika Birleşik Devletleri ekonomisine maliyeti 2018 yılı için 87 Milyar dolar olmuştur [2]. Şekil 1’de ABD’de en çok trafik sıkışıklığı olan bölgelerin harita üzerinde konumları gösterilmiştir.

Araştırmacılar trafik sıkışıklıklarını düzenli tekrarlayan ve tekrarlamayan olmak üzere 2 ana gruba ayırmışlardır. Toplu etkinlikler, yol bakım çalışması, ani hava durumu değişiklikleri ve kaza yapan araçların yarattığı durumlar da dâhil olmak üzere trafik yoğunluğundaki olağandışı değişimler tekrarlanmayan trafik sıkışıklığı kategorisindedir [4]. Trafik sıkışıklarının yarısından fazlası tekrarlayan sıkışıklardır [5]. Tekrarlayan trafik sıkışıklığı incelendiğinde sıkışıklığının nedeninin daha çok belli bölgede yolların sıkışması ve o yolların yoğunlaşmasından kaynaklı tüm yollarda yoğunlaşma olduğu gözlemlenmektedir. Trafik problemi aslında genellikle bir bölgedeki tüm yollar ile ilintili olmayıp bazı kesişim noktalarında ortaya çıkmaktadır.

Araç yolları konusunda yapılan altyapı çalışmaları hem mali hem de insan kaynakları olarak ciddi bir planlama ve bütçe gerektirmektedir. Bundan dolayı da şehir planlayıcıları ve yöneticiler ihtiyaçtan çok daha geniş yollar yapmak yerine kısa ya da orta vade de şehir büyüme planlarına göre yollar yapmaktadır. Altyapı çalışmaları dışında yerel yöneticiler trafiğin akışını düzenlemeleri için de bazı yetkileri vardır. Trafik lambalarının yönleri ve sürelerini değiştirerek ve yollar ile ilgili akış kurallarını gün içinde farklı zamanlarda değiştirerek kısmi olarak trafiğin sıkışıklığının önüne geçilmesi sağlanabilir. Yerel yöneticilerin alacağı bu tip önlemler düşük maliyet ile kolayca uygulanabilir. Bu çözümler fiyat/performans metriğine göre değerlendirildiğinde trafik sıkışıklığında azaltılmasında önemli bir faydaya sahiptir.

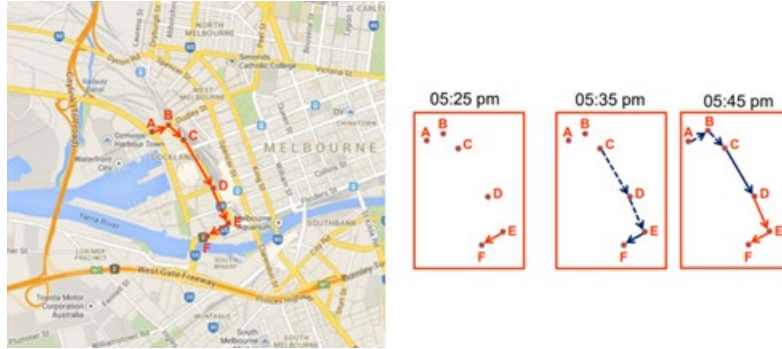
İstanbul içerisindeki bir bölgede yer alan ve araçların geçiş hızlarını ölçen sensörler kullanılarak trafikten alınan verilerin geçmişe yönelik analiz edilmesi ve bölgesel olarak hava durumu verilerinin ile birleştirilerek gelecekteki trafik sıkışıklığının zaman ve yoğunluk olarak tespitinin yapılabileceği bir yöntem sunar. Çalışma sonucunda önerilen yöntem ile belli bir tarihte seçilen bölgedeki trafik yoğunluğunu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Böylece hava durumunun etkisiyle trafik sıkışıklığı oluşacak bölgeleri tespit edip yerel yöneticilere raporlayabilecek bir model ortaya koyulmuştur. Böylece yoğunluk olacak bölgeler için trafik kuralı düzenlemeleri yapılabilir. Yeni yapılacak yol planlamalarında bu çalışma ile elde edilen sonuçlar analiz edilebilir. Ayrıca belediye görevli araçlarının görev saati ve yerinin belirlenmesinde planlama amaçlı kullanılabilir.

Bu çalışma dört bölüm ile devam etmektedir. İkinci bölüm trafikle ilgili yapılan önemli çalışmalar sıralanmış ayrıca İstanbul trafiği ile ilgili yapılan çalışmalar için ayrı bir paragraf ayrılmıştır. Üçüncü bölümde toplanan veri ve uygulanan yöntem ile yöntemin sonuçları detaylı şekilde açıklanmıştır. Son bölüm ise tartışma ve sonuç kısmıdır.

2. Literatür Taraması

Trafik sıkışıklarının nedenleri ve çözümleri ile ilgili yapılan çalışmalar akademik yayınlar ve raporlar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Amerikan Ulusal Ulaştırma Dairesi tarafından akademisyenlere ve araştırma kuruluşlarına yaptırılan birçok rapor mevcuttur. Mazzenga ve Demetsky yaptıkları araştırma raporunda önerdikleri yöntem ile trafik sorununu çözmek için otoyollar ile ilgili yapılabilecek değişikliklerin ilk yıl getirisinin yarım milyon dolar olduğu ve sadece onların önerdiği çözümden toplam 8 milyon dolara yakın tasarruf yapılabileceğini göstermiştir [6]. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Ulaşım Kütüphanesinden [7] de bu konuda yapılmış çokça çalışma mevcuttur. Çalışmalar alınan kısa vadeli önerilerin de trafiğinin akışını olumlu etkilediği göstermişlerdir. Amerikan Ulusal Ulaştırma

Dairesi raporları daha çok otoyollar ve bu otoyollara bağlı yoğunlaşmalar ile ilgilenmiştir. Bu çalışmada ise şehir içi ve çoğu otoyol olmayan ana ve tali yollardaki yoğunluklara odaklanılmıştır.



Şekil 2. Zaman periyodu boyunca futbol maçlarından sonra yoğunluğun hesaplanması ve modellenmesi [8]

Derin sinir ağları birçok çalışmada daha önce trafik sıkışıklarının tespiti amacı ile kullanılmıştır. Sun ve arkadaşları [9] yaptıkları çalışmada derin sinir ağları kullanarak tekrarlamayan ve futbol maçlarından kaynaklı oluşan trafik yoğunluğunu tespit eden ve çözüm öneren bir sistem önermişlerdir. Sun ve arkadaşlarının önerisi tekrarlamayan sıkışıklıklara odaklanmış olmasıyla bizim çalışmamızdan farklı bir alana odaklanmıştır. Buna karşın sıralı kontrol noktalarını takip etmesi ve noktaların yoğunluklarını tespit etmesi bu çalışmada yer alan aynı caddenin sırayla birden fazla bölümüne odaklanmamız ile benzerlikler taşır. Farrak ve arkadaşları [10] karayollarının sıkışıklığını hafifletmek için kullanılan Dynamic hard shoulder running ve ramp closure metotlarının başarısını simülasyonlar ile ölçmeye çalışmışlardır. Uyguladıkları testlerde önerilen yöntemlerin bazı durumlarda %50'ye yakın tasarruf sağladığını ortaya koymuşlardır. Brennan ve arkadaşları [11] eyaletler arası trafik sıkışıklığının tespiti ve analizi için yöntem önermişlerdir. Lan ve arkadaşları [12] tekrarlayan ve tekrarlamayan trafik sıkışıklıklarını ABD otoyollarında modelleyebilecek bir model önermişlerdir. Kidando ve arkadaşları [13] Random Variation Markov Structured Model kullanarak yinelenen trafik sıkışıklığının dinamik evrimini analiz etmiştir. Nguyen [14] ve arkadaşları nedensellik kavramı içinde birbirine neden olan sıkışıklıkların zamansal yayılımını araştırmış ve bu bilgiler ile gelecekteki tıkanıklıkları tahmin etmeye çalışmışlardır. Anjum ve arkadaşları [15] hem hava kalitesi hem trafik akış modellemesini kullanan yuğünsal bir yaklaşım ile trafik tıkanıklığını modellemeye çalışmıştır.

Amini ve arkadaşları [16] yaptıkları çalışmayla toplu taşıma ve toplu taşımanın kullandığı yolları modellemeye çalışmışlardır. Önerdikleri model ile şerit kapatma ve diğer durumlarda trafikteki artışı da öngörmeye çalışmışlardır. Her ne kadar bu çalışma sürekli tekrarlayan sıkışıklıklar odaklanılmasa da Sun ve arkadaşların [9] Şekil 2'de gösterilen yöntemlerinde olduğu gibi tekrarlamayan sıkışıklıkları çalışan araştırmacıların önerdikleri yöntemlerden yararlanılmıştır.

Bu çalışmalar dışında trafik akışı ve trafik akışındaki problemleri analiz etmek ile ilgili de farklı çalışmalar yapılmıştır. Wu ve arkadaşları [17] hibrit bir derin öğrenme yöntemi ile trafik akışını tahmin etmeye ve anlamaya çalışmışlardır. Fu ve arkadaşları [18] LSTM kullanarak trafik akış modellemesi önermişlerdir. Heejing ve arkadaşları [19] TensorFlow kullandıkları derin öğrenmeli bir model önermiş ve 5 dakikalık aralıklı gerçek veri kullanarak trafik tahmini yapan bir model önermişlerdir. Sharma ve arkadaşları [20] Hindistan'da iki şeritli bölünmemiş otoyol için yapay sinir ağını kullanarak kısa vadeli bir trafik tahmin modeli önermişlerdir. Her iki çalışmada da MAE minimum 15km/h olarak elde edilmiştir.

İstanbul'da yer alan trafik sorunu konusunda yapılmış akademik çalışmalarda mevcuttur. Çetiner ve arkadaşları [21] yapay sinir ağları kullanarak geçmiş veri ile İstanbul'daki büyük kesişim noktalarındaki değişen trafik boyutunu tespit etmeye çalışmışlardır. Canitez ve arkadaşları [22] İstanbul'un sürekli değişen ulaşım politikaları ve gelecek stratejilerini analiz etmiştir. Yaman ve arkadaşları [23] yaptıkları çalışma ile 366 noktadan toplanan trafik verisi ile RMSE ve MAPE

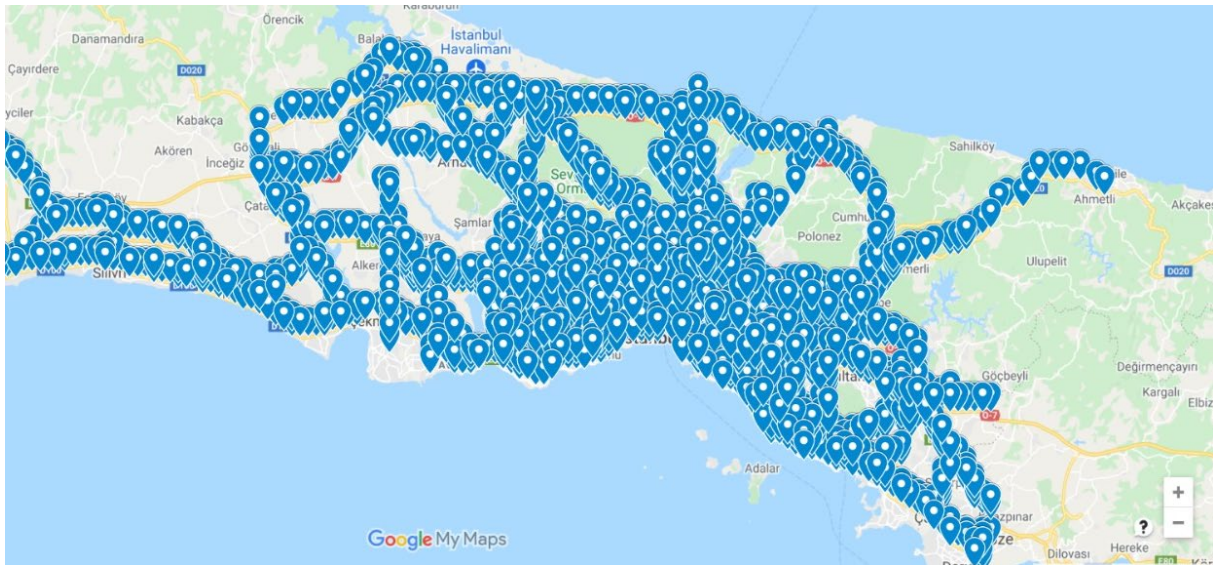
performans göstergelerini kullanarak trafik yoğunluğunun tespitine çalışmışlardır. Canitez ve Deveci [24] toplu taşıma sistemlerine bütünleşmiş araç paylaşım uygulamalarının önemini ve bu çerçevede bir model önermiştir.

3. Materyal ve Metod

Bu bölümde, çalışma için önerilen YSA algoritmasının yapısı ve uygulama adımları açıklanmıştır. Ayrıca çalışmada toplanan gerçek veriler ve bu verilerin özellikleri bu kısımda açıklanmıştır. YSA'lar biyolojik sinir ağlarından ilham alınarak tasarlanmıştır. YSA, tahmin uygulaması için sıklıkla yöntemler kullanmıştır. Destek vektör makineleri (SVM), denetimli bir makine öğrenimi yöntemidir. Bu yöntem YSA gibi birçok farklı alanda uygulanmaktadır. Bu çalışmada lineer destek vektör makineleri (SVM Lineer), radyal tabanlı fonksiyonları kullanan destek vektör makineleri (SVM RBF), çok katmanlı yapay sinir ağları (MLP) ve genel regresyon sinir ağı (GRNN) yöntemleri kullanılmıştır.

3.1. Veri Toplama

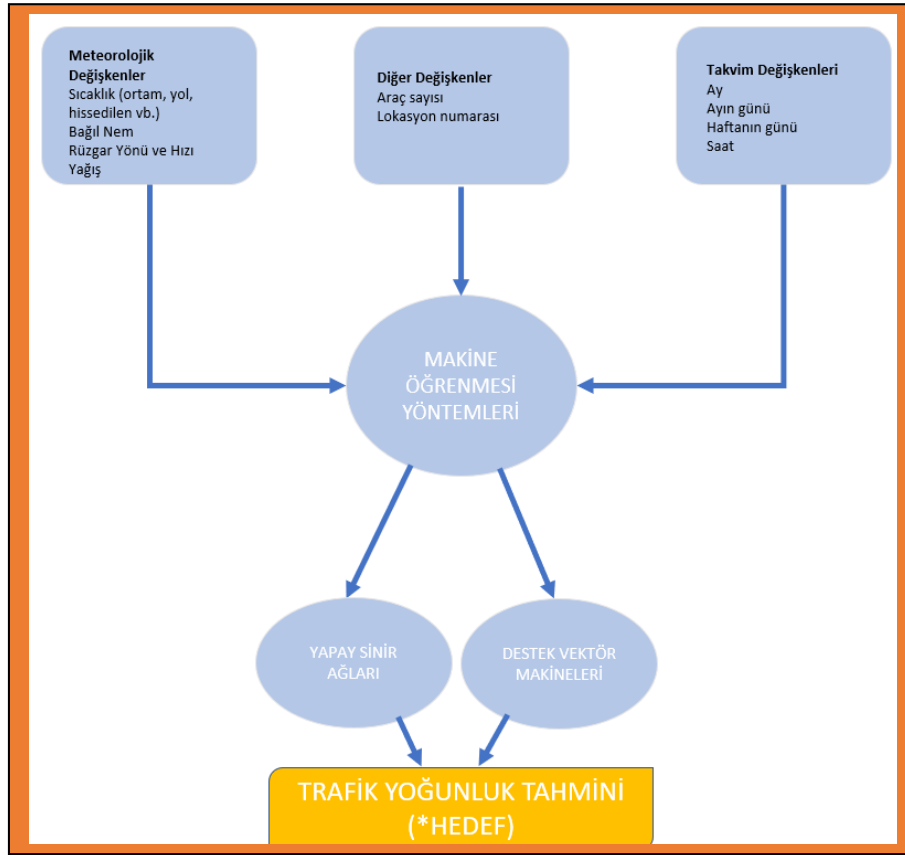
İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından İstanbul ile ilgili elde edilen verilerin akademik ve diğer amaçlarla ücretsiz olarak erişebilmesi için IBB Açık Veri Portalı [25] kurulmuştur. Bu portal üzerine çevre, sağlık, yer bilimi de dahil olmak üzere birçok farklı disiplini ilgilendiren 100'den fazla çeşit veri paylaşımı yapılmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı tarafından paylaşılan veri seti 1 Ocak 2020 - 1 Ocak 2021 tarihleri arasında İstanbul bölgesinde bulunan 30 dan fazla istasyondan alınan saatlik hava durumu veriler mevcuttur. Bu servis aracılığı ile trafik yoğunluğu ölçüm istasyonundan kullanılan bölgeye en yakın hava durumu bilgisi alınmıştır.



Şekil 3. Çalışma kapsamında toplanan veri ve verinin harita üzerinde gösterimi.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı tarafından paylaşılan veri seti 1 Ocak 2020 - 1 Ocak 2021 tarihleri arasında İstanbul bölgesinde bulunan 500 dan fazla trafik yoğunluk istasyonundan alınan saatlik hava durumu veriler mevcuttur. Bu çalışma kapsamında trafik yoğunluk ölçüm istasyonlarından 15'i, hava durumu istasyonlarından ise 10 tanesi kullanılmıştır. Toplam 21000 trafik yoğunluk durum verisi servis aracılığı ile alınmış en yakın hava durumu istasyonu verisi ile birleştirilerek sistemi eğitmek ve test etmek için veri tabanına kaydedilmiştir. Toplanan veri ve toplandığı alanın konumları Şekil 3'te gösterilmiştir. API ile elde edilen tüm veriler ilişkisel bir

veritabanı olan MySQL 'de tutulmuştur. Bu veriler model eğitimi yapılacağı belirli filtreler uygulanarak CSV formatında model eğitimi yapılacak platforma aktarılmıştır.



Şekil 4. Veri seti değişkenlerinin, yöntemlerinin ve hedefin akış şeması

3.2. GRNN

GRNN, önemli YSA modellerinden biridir. GRNN, sürekli değişkenler sağlar ve temel durgunluk düzlemine yakınsar. Bu yöntemin ana prensibi, olasılık yoğunluk fonksiyonlarının tahminidir. GRNN en önemli özellikleri hızlı eğitim sürelerinin olması ve doğrusal olmayan fonksiyonlar modellenenbilmeleridir. GRNN, doğrulanmamış bir doğrusallık varsayımı için kullanılabilir. GRNN, sadece bir eğitim seti vererek, x ve y 'nin birleşik olasılık yoğunluk fonksiyonunu tahmin etme prensibine dayanır. $Y(x)$, x girişinin tahmin değeridir ve şu şekilde tanımlanır[26] [27]:

$$Y(x) = \frac{\sum_{k=1}^N y_k K(x, x_k)}{\sum_{k=1}^N K(x, x_k)} \quad (1)$$

Yoğunluk fonksiyonu $K(x, x_k)$ radyal tabanlı fonksiyondur:

$$K(x, x_k) = e^{-\frac{D^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

D^2 skaler fonksiyondur ve öklid mesafesini temsil etmektedir. Bu mesafenin hesaplanması x_k ve x girişler cinsinden Denklem 3 'teki gibi ifade edilebilir.

$$D^2 = (x - x_j)^T (x - x_j) \quad (3)$$

3.3. MLP

MLP, bir tür ileri beslemeli sinir ağıdır. Birincisi, işlenecek giriş sinyalini alan giriş katmanıdır. Çıkış katmanında tahmin ve sınıflandırma yapılır. Giriş ve çıkış katmanı arasına yerleştirilen isteğe bağlı sayıda gizli katman, MLP'nin hesaplama parçalarıdır. Veri, girişten çıkış katmanına ileri yönde akar. MLP'ler, herhangi bir sürekli fonksiyona yaklaşmak için tasarlanmıştır ve doğrusal ve ayrılabilir doğrusal olmayan sorunları çözebilir. MLP'nin başlıca kullanımı, örüntü sınıflandırma, tanıma, tahmin ve yaklaşım uygulamalarıdır.

$$a = \Phi \left(\sum_j w_j x_j + b \right) \quad (4)$$

$$o(x) = G(b(2) + W(2)h(x)) \quad (5)$$

$$h(x) = \Phi(x) = s(b(1) + W(1)x) \quad (6)$$

a birimin aktivasyonudur. $b(1), b(2)$ sapma vektörleridir; ağırlık matrisleri W , G ve s aktivasyon fonksiyonlarıdır [28][29]. s fonksiyonu tipik seçimler olarak belirlenebilir örneğin \tanh veya lojistik sigmoid seçilebilir.

3.4. SVM

SVM modelleri MLP'ye çok benzemektedirler. Genel olarak, sınıflandırıcıları eğitmek için kullanılır. Farklı kernel fonksiyonları kullanılarak uygulanabilir. Bu uygulama için RBF ve doğrusal kernel seçilmiştir. Doğrusal kısıtlamalarla ilgili ikinci dereceden bir programlama problemini çözmek, çekirdek işlevindeki ağ yapısının ağırlıklarını belirler.

SVM'ler doğrusal olmayan bir sınıflandırma uygulayabilir. SVM, hiper düzleme yakın veri noktalarını özetler. Genel olarak, orijinal maksimum marj hiperdüzlem algoritması olarak doğrusal bir sınıflandırıcı kullanılır. Bununla birlikte, doğrusal olmayan sınıflandırıcılar kullanarak maksimum marjlı hiperdüzlemler için çekirdek hilesinden farklı yöntemler kullanılır.

SVM yöntemi için kullanılan RBF kernel fonksiyonu Denklem 7'de [30] verilmiştir.

$$K(x, x') = \exp(-\gamma \|x - x'\|^2) \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{1}{2\sigma^2} \quad (8)$$

Burada x ve x' , RBF çekirdeğinin iki örneğini temsil eder. σ serbest parametre temsilidir.

3.5. GMDH

GMDH algoritması, normalde özel bir yapay sinir ağı türü olarak sınıflandırılan bir tür ileri beslemeli ağıdır. Model doğal seçim ilkesine bağlı olduğu için hayvan evrimi veya bitki yetişmesi ilkesine dayanmaktadır. Çok katmanlı kriterler, birbirini izleyen nesiller için üstün ağları korur ve sonunda optimal bir ağ sağlar.

GMDH algoritmasında, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki genel bağlantı, Kolmogorov-Gabor polinomunun Volterra fonksiyonel serisi ile ifade edilir[27] [31][32].

$$y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \dots, \quad (9)$$

$y(t)$ çıkış değişkenini, $X(x_1, x_2, \dots, x_m)$ giriş vektörlerini ve $A(a_1, a_2, \dots, a_m)$ ise ağırlıkları temsil etmektedir. Genellikle, denklem iki değişkenin ikinci dereceden formunda kullanılır. GMDH ağlarında, giriş katmanı, x ile gösterilen her giriş değişkeni için nöronlar içerir. Birinci katmandaki her bir nöron, girdilerini girdi katmanındaki iki nörondan alır. İkinci ve üçüncü katmandaki nöronlar, girdilerini bir önceki katmandaki nöronlardan ikisinden alır ve bu işlem çıktı katmanına kadar devam eder. Çıktı katmanı, girdilerinden ikisini önceki katmandan alır ve girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi sağlamada en uygun analitik ifadeyi gösteren nihai sonucu üretir.

GMDH ağlarında bir katmandaki nöron sayısı n ise, bir sonraki katmanda aday nöron sayısı hesabı 2 değişkenli polinomlar için Denklem 10'daki şekilde yapılır.

$$\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (10)$$

Eğitim sürecinde, girişler ana eğitim verileri ve kontrol verileri olmak üzere iki farklı şekilde kullanılırlar. Kontrol verileri genellikle ana eğitim verilerinin yaklaşık %20'si kadar veri içerir. Eğitim algoritması sırasında, her bir nöron için ortalama hata karesi değeri hesaplanır ve kontrol verilerine de uygulanır. Geçerli katmandaki en iyi nöronun ortalama hata karesi, kontrol verisi bir önceki katmandaki en iyi nöronun ortalama hata karesinden daha düşüktür ve maksimum katman sayısı henüz elde edilmemişse eğitim süreci yeni bir katman oluşturmaya devam eder. Aksi takdirde eğitim süreci durur. Aşırı uyum gösterme başladığında, kontrol verileriyle ölçülen hatanın artacağı, dolayısıyla eğitim sürecinin duracağı unutulmamalıdır.

Yöntemin Pozitif Yönlerini;

- Verilen probleme göre uyarlanabilir ağ topolojileri sunar,
- Güvenilirlik sayesinde yerel olarak iyi ağırlıklar bulurlar,
- Seyrek bağlantı yapısı ile hızla eğitilebilirler,

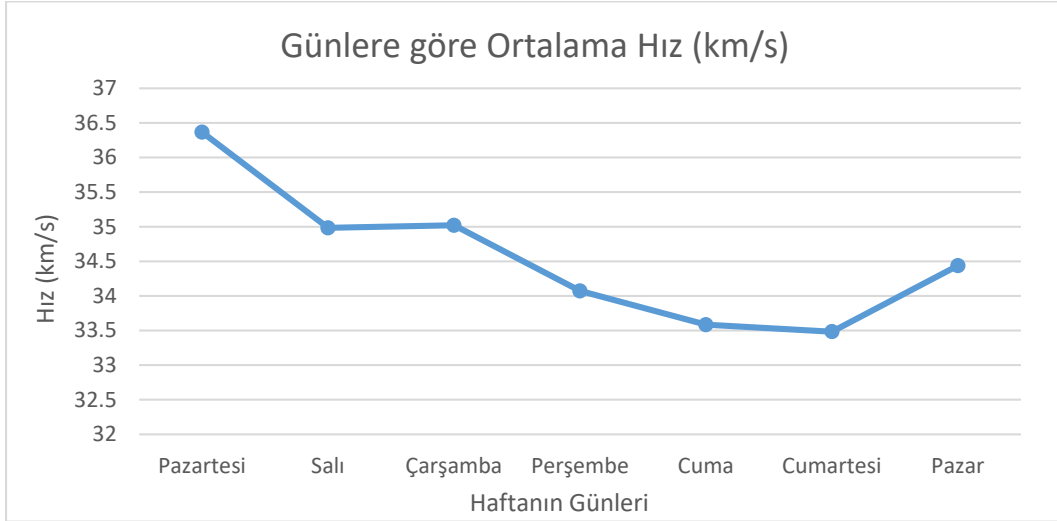
Negatif Yönlerini;

- Basit sistemler için oldukça karmaşık polinomlar üretme eğilimindedirler,
- Gerçek yapıyı oluşturmayı garanti etmezler,
- En küçük kareler yöntemi ile katsayıları yanlış tahmin edebilirler,

olarak sıralayabiliriz.

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

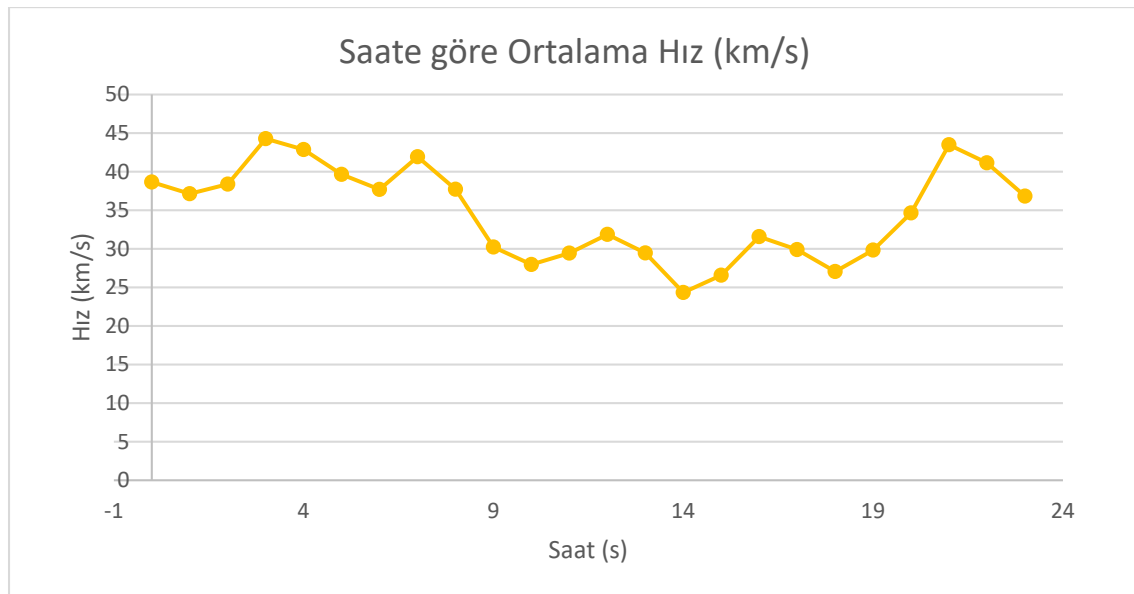
Trafik verisi çok hareketlilik gösteren bir veridir haftanın günü, saat, hava durumu, bölgedeki özel bir durum ya da etkinliğe (kongre, miting, maç, konser vb.) göre de anlık olarak değişmektedir. Şekil 5' de güne göre ortalama hız değişimlerinin grafikleri verilmiştir. Ortalama hız verisi IBB servisinden alınmıştır.



Şekil 5. Haftanın Günlerine göre Ortalama Hız Değeri Grafiği

Grafik incelendiğinde haftanın ilk iş günü olan pazartesi gününde başlamak üzere ortalama hızın azaldığı, pazar günü ise iş yoğunluğu minimum seviyede olup sosyal yoğunluktan kaynaklı trafik sıkışıklığı bulunduğundan ortalama hızın bir miktar arttığı görülmüştür.

Şekil 6'da saate göre ortalama hız değişimlerinin grafikleri verilmiştir. Benzer şekilde burada da mesai saatleri içerisinde hızın en minimum seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Günün Saatine göre Ortalama Hız Değeri Grafiği

MySQL veritabanında yer alan hava durumu ve yol verileri çalışmanın kapsamını daraltmak için belirli bir bölgedeki verileri almıştır. Bu ön işleme adımı JAVA ile gerçekleştirilmiştir. Önışlemeden geçen veriler MATLAB'a aktarılacak için ortak CSV dosyalarına yazılmıştır. Çalışmada gerçekleştirilen uygulamalar MATLAB kullanılarak eğitilmiş ve test edilmiştir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	id	DOW	HOURS	MONTH	DOM	DATETT	AVERAGE_SPEED	AVERAGE_TEMPERATURE	NEM	MINIMUM_SPEED	MAXIMUM_SPEED	NUMBER_OF_VEH
1	261898	4	0	1	1	1'01 January'	33	6	77	6	75	
2	295686	4	1	1	1	1'01 January'	32	5	77	6	96	
3	670242	4	2	1	1	1'01 January'	29	5	67	6	90	
4	14466	4	3	1	1	1'01 January'	34	4	62	6	107	
5	191923	4	4	1	1	1'01 January'	33	5	65	7	68	
6	288919	4	5	1	1	1'01 January'	38	5	75	7	78	
7	177042	4	6	1	1	1'01 January'	38	5	88	6	85	
8	70475	4	7	1	1	1'01 January'	36	5	93	6	110	
9	233395	4	8	1	1	1'01 January'	15	6	95	6	30	
10	265544	4	9	1	1	1'01 January'	37	6	89	7	75	
11	36215	4	10	1	1	1'01 January'	31	8	68	6	74	
12	54783	4	11	1	1	1'01 January'	29	8	65	6	64	
13	169835	4	12	1	1	1'01 January'	32	8	62	6	78	
14	151223	4	13	1	1	1'01 January'	29	7	66	6	73	
15	166276	4	14	1	1	1'01 January'	31	6	67	6	79	
16	415923	4	15	1	1	1'01 January'	13	6	66	6	27	
17	51712	4	16	1	1	1'01 January'	28	6	64	6	93	
18	149605	4	17	1	1	1'01 January'	22	6	62	6	71	

Şekil 7. Matlab ortamında verilerin aktarımı

Bu bölümde, çalışmada uygulanan yöntemlerde göre kullanılan konfigürasyon bilgileri sırasıyla açıklanmıştır. MLP'de, en uygun sayıda gizli katman nöronunun aranması için 2 ila 20 nöron arası seçilmiştir. Aktivasyon fonksiyonları, gizli katman için lojistik, çıkış katmanı için doğrusal olarak kullanılır. GRNN, Gauss çekirdek işleviyle birlikte kullanılır. σ değer aralığı 0.001 ile 10 arasında belirlenir. GMDH uygulaması için maksimum ağ katmanı sayısı 20, maksimum polinom derecesi 16, her katmandaki maksimum nöron sayısı 20 olarak belirlenmiştir.

SVM uygulaması için çekirdek fonksiyonu olarak RBF ve lineer olmak üzere iki ayrı fonksiyon seçilmiştir. ε -SVR regresyon modeli kullanılmış ve parametre aralıkları C için 0.1-5000, ε için 0.0001-100 ve γ için 10-3 ve 0.001-50 arasında belirlenmiştir.

Tüm modeller için rastgele örnekleme uygulanır. Eğitim verilerini oluşturmak için veri setinin %80'i oranında belirlenmiş bir oran değeri kullanılır ve veri setinin %20'si doğrulama verilerini oluşturmak üzere ayrılır.

Yöntem performanslarını karşılaştırmak için ortalama mutlak hata (MAE) (Denklem10) ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) (Denklem11) ve R-kare (R^2) (Denklem12) metrikleri kullanılır. Literatürde trafik ile ilgili araştırmalarda genel olarak söz konusu metriklerin kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada bunları karşılaştırmak için aynı hata hesaplama türleri seçilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (11)$$

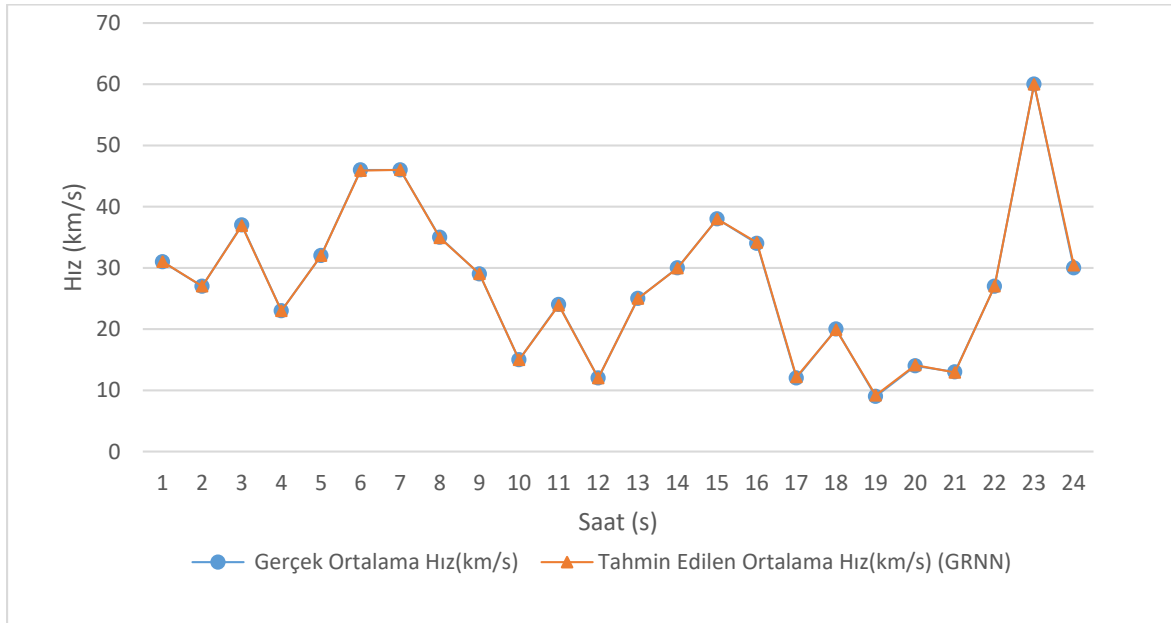
$$(12)$$

$$MAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{|y_i|}$$

Çizelge 1. Uygulanan Yöntemler Performanslarının Metrik Değerler Üzerinden Karşılaştırılması

Konum 1		Hesaplanan Hata Oranı		
Yöntem	Tür veya kernel çeşidi	MAE (km/h)	MAPE (%)	R ² (%)
YSA	MLP	4.272	13.508	82.762
	GRNN	3.078	9.372	89.888
	RBF	3.912	12.645	84.885
	GMDH	4.089	13.496	83.343
SVM	SVM RBF	3.876	12.622	84.928
	SVM Lineer	3.999	12.901	85.272

Şekil 8’de rastgele seçilen 1 gün için gerçek ve GRNN ile tahminlenen ortalama hız değerlerine ait grafik görülmektedir. En düşük hata oranına sahip olan bu yöntem ile yapılan tahminlerin gerçek değerler ile örtüştü gözlemlenmektedir.



Şekil 8. Gerçek ve Tahminlenen Ortalama Hız Değeri Grafığı

5. Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda yapay sinir ağları ve kara destek makineleri kullanılarak belirli bir zaman aralığı ve konum için trafik yoğunluğu tahmin modeli önerilmiştir. Literatürde makine öğrenmesi metotları kullanılarak yapılan bu uygulamalara ilgi duyulmaktadır. Birbirinden farklı kurgulara sahip yapay sinir ağı modelleri yapılmış ve sonuçları metrik olarak karşılaştırılmıştır. Önerilen modeli geliştirmek için 75 noktadan toplanan 150.000 trafik verisi kullanılmıştır. Ayrıca veri setine bölgesel hava tahmini raporları (sıcaklık, nem rüzgâr, yağış v.b) gibi çevresel raporlar ile trafik yoğunluğu tahminindeki başarı geliştirilmiştir. Yapay sinir ağları yöntemlerinin trafik yoğunluğu tahminleme

uygulamalarında kullanılabileceği görülmüştür. Önerilen model %90 başarı oranı ile trafik yoğunluğunu doğru tespit ettiği görülmüştür. Böylece İstanbul’da yaşayan yerel yöneticilerin ve araç sahiplerinin yollar ile ilgili yoğunluk tahmini veren bir model önerilmiştir.

Kaynaklar

- [1] SputnikNews TR, “İstanbullular trafikte ne kadar vakit kaybediyor? - Sputnik Türkiye.” <https://tr.sputniknews.com/analiz/201712201031487131-istanbullular-trafikte-ne-kadar-vakit-kaybediyor/> (accessed Jun. 17, 2021).
- [2] INRIX, “Scorecard - INRIX,” 2020. Accessed: Mar. 18, 2021. [Online]. Available: <https://inrix.com/scorecard/>.
- [3] E. Romanova, “Increase in Population Density and Aggravation of Social and Psychological Problems in Areas with High-Rise Construction,” in *E3S Web of Conferences*, Mar. 2018, vol. 33, p. 03061, doi: 10.1051/e3sconf/20183303061.
- [4] M. E. Hallenbeck, J. M. Ishimaru, and J. Nee, “MEASUREMENT OF RECURRING VERSUS NON-RECURRING CONGESTION,” Washington (State). Dept. of Transportation, Oct. 2003. Accessed: Mar. 18, 2021. [Online]. Available: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38804>.
- [5] “FHWA Operations - Reducing Recurring Congestion.” https://ops.fhwa.dot.gov/program_areas/reduce-recur-cong.htm (accessed Mar. 18, 2021).
- [6] N. J. Mazzenga Graduate, R. Assistant, and M. J. Demetsky, “Investigation of Solutions to Recurring Congestion on Freeways Virginia Transportation Research Council,” Virginia Transportation Research Council, 2009. Accessed: Mar. 18, 2021. [Online]. Available: http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/09-r10.pdf.
- [7] “Welcome to ROSA P | Welcome.” <https://rosap.ntl.bts.gov/> (accessed Mar. 19, 2021).
- [8] F. Sun, A. Dubey, and J. White, “DxNAT - Deep neural networks for explaining non-recurring traffic congestion,” in *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2017*, Jul. 2017, vol. 2018-January, pp. 2141–2150, doi: 10.1109/BigData.2017.8258162.
- [9] F. Sun, A. Dubey, and J. White, “DxNAT - Deep neural networks for explaining non-recurring traffic congestion,” in *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2017*, Jul. 2017, vol. 2018-Janua, pp. 2141–2150, doi: 10.1109/BigData.2017.8258162.
- [10] S. G. Farrag, F. Outay, A. U.-H. Yasar, and M. Y. El-Hansali, “Evaluating Active Traffic Management (ATM) Strategies under Non-Recurring Congestion: Simulation-Based with Benefit Cost Analysis Case Study,” *Sustainability*, vol. 12, no. 15, p. 6027, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12156027.
- [11] T. M. Brennan, R. A. Gurriell, A. J. Bechtel, and M. M. Venigalla, “Visualizing and Evaluating Interdependent Regional Traffic Congestion and System Resiliency, a Case Study Using Big Data from Probe Vehicles,” *J. Big Data Anal. Transp.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–36, Jun. 2019, doi: 10.1007/s42421-019-00002-y.
- [12] C.-L. Lan, R. Venkatanarayana, and M. D. Fontaine, “Development of a Methodology for Determining Statewide Recurring and Nonrecurring Freeway Congestion: Virginia Case Study,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2673, no. 6, pp. 566–578, Jun. 2019, doi: 10.1177/0361198119850471.
- [13] E. Kidando, R. Moses, T. Sando, and E. E. Ozguven, “Evaluating Recurring Traffic Congestion using Change Point Regression and Random Variation Markov Structured Model,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2672, no. 20, pp. 63–74, Dec. 2018, doi: 10.1177/0361198118787987.
- [14] H. Nguyen, W. Liu, and F. Chen, “Discovering Congestion Propagation Patterns in Spatio-Temporal Traffic Data,” *IEEE Trans. Big Data*, vol. 3, no. 2, pp. 169–180, Jul. 2016, doi: 10.1109/tbdata.2016.2587669.
- [15] S. S. Anjum *et al.*, “Modeling Traffic Congestion Based on Air Quality for Greener Environment: An Empirical Study,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 1–24, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2914672.

- [16] S. Amini, N. Motamedidehkordi, E. Papapanagiotou, and F. Busch, "Estimation of traversal speed on multi-lane urban arterial under non-recurring congestion," in *5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, MT-ITS 2017 - Proceedings*, Aug. 2017, pp. 514–519, doi: 10.1109/MTITS.2017.8005726.
- [17] Y. Wu, H. Tan, L. Qin, B. Ran, and Z. Jiang, "A hybrid deep learning based traffic flow prediction method and its understanding," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 2018, doi: 10.1016/j.trc.2018.03.001.
- [18] R. Fu, Z. Zhang, and L. Li, "Using LSTM and GRU neural network methods for traffic flow prediction," 2017, doi: 10.1109/YAC.2016.7804912.
- [19] H. Yi, J. Heejin, and S. Bae, "Deep Neural Networks for traffic flow prediction," 2017, doi: 10.1109/BIGCOMP.2017.7881687.
- [20] B. Sharma, S. Kumar, P. Tiwari, P. Yadav, and M. I. Nezhurina, "ANN based short-term traffic flow forecasting in undivided two lane highway," *J. Big Data*, vol. 5, no. 1, p. 48, Dec. 2018, doi: 10.1186/s40537-018-0157-0.
- [21] B. Gültekin Çetiner, M. Sari, and O. Borat, "A neural network based traffic-flow prediction model," *Math. Comput. Appl.*, vol. 15, no. 2, pp. 269–278, 2010, doi: 10.3390/mca15020269.
- [22] F. Canitez, P. Alpkokin, and S. T. Kiremitci, "Sustainable urban mobility in Istanbul: Challenges and prospects," *Case Stud. Transp. Policy*, vol. 8, no. 4, pp. 1148–1157, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.cstp.2020.07.005.
- [23] T. T. Yaman, H. B. Sezer, and E. Sezer, "Modeling Urban Traffic by Means of Traffic Density Data: Istanbul Case," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Jul. 2021, vol. 1197 AISC, pp. 867–874, doi: 10.1007/978-3-030-51156-2_100.
- [24] F. Canitez and M. Deveci, "An Integration Model for Car Sharing and Public Transport : Case of Istanbul," *Transist Istanbul Transp. Congr. Exhib.*, no. April, pp. 1–10, 2017, Accessed: Mar. 20, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/324530842>.
- [25] "Istanbul Metropolitan Municipality Air Quality Station Information Web Service." <https://data.ibb.gov.tr/tr/dataset/hava-kalitesi-istasyon-bilgileri-web-servisi> (accessed Feb. 26, 2021).
- [26] D. F. Specht, "A General Regression Neural Network," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 2, no. 6, pp. 568–576, 1991, doi: 10.1109/72.97934.
- [27] A. S. Ahmad *et al.*, "A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consumption forecasting," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33. Elsevier Ltd, pp. 102–109, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.01.069.
- [28] R. Grosse, "Lecture 5: Multilayer Perceptrons."
- [29] F. Wahid, R. Ghazali, A. S. Shah, and M. Fayaz, "Prediction of Energy Consumption in the Buildings Using Multi-Layer Perceptron and Random Forest," *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 101, pp. 13–22, Apr. 2017, doi: 10.14257/IJAST.2017.101.02.
- [30] "Electrical load forecasting using support vector machines | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore."
- [31] O. Nelles, "Classical Polynomial Approaches," *Nonlinear Syst. Identif.*, pp. 893–901, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-47439-3_20.
- [32] I. Ebtehaj, H. Bonakdari, A. H. Zaji, H. Azimi, and F. Khoshbin, "GMDH-type neural network approach for modeling the discharge coefficient of rectangular sharp-crested side weirs," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 18, no. 4, pp. 746–757, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.JESTCH.2015.04.012.

BİR TERMOELEKTRİK JENERATÖR SİSTEMİNİN ISI ALICISININ ISIL PERFORMANSINA FARKLI DIŞ ORTAM SICAKLIKLARININ ETKİSİ

Ali GÜRCAN¹, Gülay YAKAR^{2*}

¹⁻²Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Denizli, 20160, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 26.07.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.974337

ÖZET

Bu çalışmada turboşarjlı bir traktörün turbo şarj kompresörü ile ara soğutucusu arasına yerleştirilmek üzere bir termoelektrik jeneratörlü bir geri kazanım sistemi tasarlanmış, farklı dış ortam sıcaklıkları için geri kazanım sisteminin dış ortama verdiği maksimum ısı miktarı ve kanat yüzey verimleri Matlab programı kullanılarak hesaplanmıştır. Mevcut literatürde otomobillerin termoelektrik jeneratörlerinde egzoz gazlarının ısı enerjisi kullanılırken, bu çalışmada alternatif olarak termoelektrik jeneratörde kompresördeki basınçlı havanın ısı enerjisi kullanılmıştır. Termoelektrik jeneratör sisteminin turboşarjlı traktörün kompresörü ile ara soğutucusu arasına yerleştirilmesi, sistemde elektrik gücü sağlamasının yanı sıra ara soğutucuya giren havanın daha düşük bir sıcaklıkta olmasını sağlamıştır ki bu da turboşarjlı traktörün motor veriminin artması için önemlidir. Dış ortam sıcaklığındaki artışla maksimum ısı transferi ve ısı taşınım katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Buna ilave olarak ısı alıcılarının kanatlı yüzey verimliliğinin dış ortam sıcaklığı ile arttığı belirlenmiştir. 268 K sıcaklığında gerçekleşen maksimum ısı transferinin 303 K sıcaklığına göre yaklaşık olarak %9.3 artış gösterdiği bulunmuştur. Ancak 303 K sıcaklığındaki kanatlı yüzey veriminin ise 268 K sıcaklığına göre yaklaşık olarak %1.3 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termoelektrik jeneratör, Turboşarj, Isı alıcı, Isıl performans, Matlab

THE EFFECT OF DIFFERENT ENVIRONMENTAL TEMPERATURES ON THE THERMAL PERFORMANCE OF THE HEAT SINK OF A THERMOELECTRIC GENERATOR SYSTEM

ABSTRACT

In this study, the maximum heat transfer and finned surface efficiencies of heat sinks on the cold side of the thermoelectric generator system placed between the compressor and the intercooler in a turbocharged tractor for different outdoor temperatures were determined using the Matlab program. While thermal energy of exhaust gases is used in thermoelectric generators of automobiles in the current literature, alternately in this study, the thermal energy of the compressed air in the compressor was used in the thermoelectric generator. The placement of the thermoelectric generator system between the compressor and the intercooler of the turbocharged tractor provided electrical power in the system, as well as a lower temperature of the air entering the intercooler, which is important for increasing the engine efficiency of the turbocharged tractor. It was determined that the maximum heat transfer and heat convection coefficient decreases with the increase in the external environment temperature. In addition, it has been detected that the finned surface efficiency of the heat sinks increases with the external environment temperature. It was found that the maximum heat transfer at a temperature of 268 K increased approximately 9.3% compared to 303 K. However, it was determined that the finned surface efficiency at 303 K temperature was approximately 1.3% higher than at 268 K temperature.

Keywords: Thermoelectric generator, Turbocharger, Heat sink, Thermal performance, Matlab

*² e-mail: gyakar@pau.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1865-7815> (Sorumlu Yazar),

¹ e-mail: agurcan@gelisim.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2745-1413>

1. Giriş

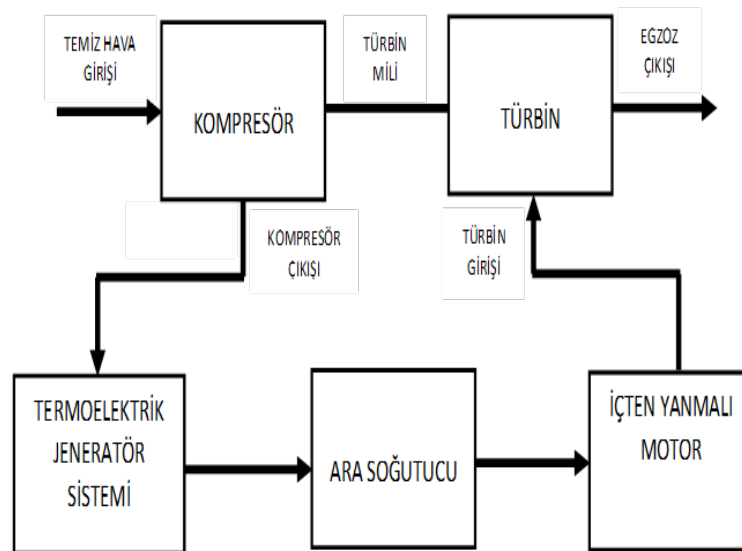
Günümüzde termoelektrik modüller ve bu modülleri kullanan sistemler yaygınlaşmıştır. Basit yapıları ve bakım gerektirmemeleri onları çekici kılmaktadır. Termoelektrik modüller ısıtma, soğutma ve elektrik üretimi için kullanılabilir. Bu modüller elektrik üretiminde kullanıldığında termoelektrik jeneratörler olarak adlandırılır. Termoelektrik jeneratör sistemlerinde kullanılan ısı alıcıların kanat optimizasyonları, termoelektrik jeneratörlerin ısı verimleri için önemli olmaktadır. Termoelektrik jeneratörler ve dolayısıyla da ısı alıcıları birçok farklı çalışma alanında kullanılmaktadır. Bunlardan biri, otomobillerin ve diğer içten yanmalı motorların egzoz gazlarını kullanan termoelektrik jeneratörlerdir: Wang ve ark. [1], çok kademeli termoelektrik jeneratör şeması kullanan LNG-dizel çift yakıtlı gemiler için bir atık enerji geri kazanım sistemi geliştirdiler. Farklı sıcaklık bölgelerinde uygun termoelektrik malzemeler ve uygun çok kademeli seri-paralel şemalar ile maksimum dönüşüm veriminin %18.54'e ulaşabileceğini buldular. He ve ark. [2] dizel motorunun egzoz ısısı geri kazanımı için çok katmanlı termoelektrik jeneratörün performans özelliklerini araştırdılar. Elde ettikleri sonuçlar, motor yükü ile çıkış gücünün arttığını, ancak motor hızındaki değişime karşı duyarsız olduğunu göstermiştir. Ayrıca düz kanatlı ısı değiştiricinin kanat aralığı ve kanat yüksekliğinin etkilerinin kanat kalınlığına göre daha önemli olduğunu tespit etmişlerdir. Luo ve ark. [3] ısı eşanjörünün ısı transferini ve sıcak taraf sıcaklığını arttırmayı amaçlamışlardır. Çalışmaları, termoelektrik jeneratör sistemlerinin sayısal analizleri için yeni anlayışlar sağladı ve bir ısı eşanjörünün egzoz gazı kanalını optimize etmek için yeni bir konsept sundu. Ezzitouni ve ark. [4] termoelektrik jeneratörlü bir dizel motorda enerji dengesini incelediler. Mevcut termoelektrik malzemelerin düşük verimliliğine rağmen termoelektrik jeneratörlerin içten yanmalı motorların verimliliğini artırabileceğini belirlediler. Ravi ve ark. [5] düşük dereceli atık ısı enerjisi elde etmek için içten yanmalı motorlarda egzoz gazlarının enerji geri kazanım kapasitesini incelediler. Bu çalışmanın sonuçları, uzun kanatlı karşı akışlı ısı eşanjörünün, kanatçıkları olmayan geleneksel ısı eşanjörleri ile karşılaştırıldığında, çalışma sıvısı çıkış sıcaklığını, etkinliğini, ısı transfer hızını ve ayrıca genel fren termal verimliliğini arttırdığını göstermiştir. Pacheco ve ark. [6] bir hafif hizmet aracıda yeni bir sıcaklık kontrollü termoelektrik jeneratör konseptinin performansını ve gerçekçi sürüş koşulları altında yakıt ekonomisi üzerindeki etkisini araştırdılar. Grubun önceki konseptleriyle karşılaştırıldığında, yerçekimi yardımına ihtiyaç duymadığını ve geleneksel jeneratörlere benzer bir form faktörüne sahip olduğunu buldular. Karana ve Sahoo [7] alüminyum bazlı bir ısı eşanjörü kullanan bir otomobilin termoelektrik atık ısı geri kazanım sisteminin enerji ve ekserji analizini gerçekleştirdiler. Egzoz yoluyla önemli miktarda enerjinin kaybolduğunu ve sabit motor devri ile daha yüksek yük kullanılmasının atık ısı geri kazanımının kapsamını geliştirdiğini elde ettiler. Ramírez ve ark. [8] termoelektrik jeneratörün farklı kullanım koşulları altında enerji geri kazanımını karakterize etmek için motorun dokuz çalışma noktasını içeren deneysel çalışmayı gerçekleştirdiler. Sheikh ve ark. [9] A, B ve C olmak üzere üç farklı gruptaki dokuz tip ısı eşanjörünü üç boyutlu olarak modellemiş ve araç egzozundan elektrik enerjisi elde etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizini kullanmışlardır. Tüm modellerde basınç düşüşünün izin verilen aralıkta olduğunu ve A grubundaki gaz akış hızının diğer modellerde çalışılanlara neredeyse benzer olduğunu gördüler. Ancak sonuçları, içinde üretilen gücün diğer modellerden en az %7.25 daha yüksek olduğunu gösterdi. Sofyan ve ark. [10] farklı ısı kaynağının kanatçık düzenlemelerini göz önünde bulundurarak termoelektrik egzoz ısı geri kazanım sisteminin performansını araştırdılar. Termoelektrik egzoz gazı geri kazanım sisteminin ürettiği voltaj ve akımın motor devrinin artışına paralel olarak arttığını belirlemişlerdir. Abbasi ve Tabar [11] araçta termoelektrik jeneratör tarafından üretilen enerjinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Verileri yüksek hızda bir bilgisayara aktaran güvenilir bir sensör ile esnek bir ölçüm sistemi önerdiler. Ayrıca hibrit araçlarda uygun bir termoelektrik jeneratör sistemi tasarlamaya ve enerji yönetimine yardımcı olan ölçülen ve tahmin edilen değerleri belirlediler. Ramírez ve ark. [12] 20 modüllü bir termoelektrik jeneratörün performansını araştırdılar. Deneysel sonuçları, B10, B5 ve Dizel için 57.87 W ile 71.13 W arasında değişken bir güç geri kazanım aralığı gösterdi. Kim ve ark. [13] gerçek araç çalışma koşulları altında

çalışan hibrit elektrikli araç motoruna kompakt termoelektrik jeneratör uygulamasını incelediler. Elzalik ve ark. [14] tam maksimum güç noktasını belirleyerek termoelektrik jeneratör modülünü araştırmak ve karakterize etmek ve termoelektrik jeneratör modülünün dinamik parametrelerini tahmin etmek için yeni bir yöntem önerdiler. Sonuçları, simülasyon, deneysel ve veri sayfası arasında iyi bir uyum olduğunu gösterdi. Najjar ve Sallam [15] motor egzoz sisteminden termoelektrik enerji geri kazanımı için optimum tasarım, ısı transferi ve performans analizini araştırdılar. Bakır ısı eşanjörü ve ticari bizmut-tellürit (Bi_2Te_3) termoelektrik modülleri kullanılarak 553.3 W maksimum net güç çıkışı elde edildiğini belirlediler. Nonthakarn ve ark. [16] dizel motorlar için entegre bir turbo jeneratör ve termoelektrik jeneratör tasarladılar ve optimize ettiler. Amaçları, aracın egzoz gazından elektrik üretmekti. Yüksek motor performansında (3400 d/d) 0.1024 kg/s egzoz kütle debisi ile çalışırken tasarlanan prototipten çıkan maksimum gücün 1262 W olduğunu buldular. Kalteh ve Garnejani [17] bir analitik model kullanarak Thomson ısısının bir termoelektrik jeneratörün gücü ve verimliliği üzerindeki etkisini araştırmış ve farklı koşullarda etkisinin miktarını belirtmişlerdir. Farklı malzemeleri Thomson ısı etkisinin oranı açısından karşılaştırmak için Bi-Te ve Pb-Te alaşımlarını incelediler. 650 K'den yüksek sıcaklık aralıkları için, sonuçları, Thomson ısısının güç ve verim üzerinde olumlu etkisi olduğundan, Pb-Te'nin uygun malzeme olabileceğini göstermiştir. Subramaniam ve ark. [18] bir otomotiv egzoz termoelektrik jeneratörünün çeşitli özelliklerinin değerlendirilmesi için bir test düzeneğinin tasarımını ve geliştirilmesini gerçekleştirdiler. Sıcak taraf ısı eşanjörünün zayıf verimliliği nedeniyle, otomotiv egzoz termoelektrik jeneratörünün genel verimliliğinin sadece %0.4 olduğunu buldular. Al-Nimr ve Alajlouni [19] içten yanmalı motorun yanma gazları ile soğutma sıvısı arasındaki yüksek sıcaklık farkından yararlanarak performansını artırmak için içten yanmalı bir motorun yanma odasının duvarına yerleştirilen bir termoelektrik modülü araştırdılar. Elde ettikleri sonuçlar, önerilen sistem tarafından 600 W elektrik enerjisinin üretildiğini ve verimliliğin dakikada 4000 devirde %2.75 arttığını gösterdi. Eddine ve ark. [20] motorun çalışması sırasında termoelektrik jeneratörün davranışını ve motor akış özelliklerinin termoelektrik jeneratör performansı üzerindeki etkisini incelediler. Nithyanandam ve Mahajan [21] termoelektrik jeneratörleri kullanarak egzoz sistemlerinden yayılan ısıyı verimli bir şekilde toplama ve elektriğe dönüştürme konusunda çalışmışlardır. Ayrıca, termoelektrik jeneratörlerde sıcak tarafın termal direncini azaltmak için metal köpük bazlı ısı eşanjörlerinin performansını incelediler. Sonuçları, termoelektrik jeneratör tarafından üretilen net elektrik gücünün, metal köpüğü olmayan termoelektrik jeneratörden daha az olduğunu gösterdi. Kim ve ark. [22] bir altıgen termoelektrik jeneratörün atık ısı geri kazanım performansını deneysel olarak incelediler. Altıgen termoelektrik jeneratörün çıkış gücünün, motor hızı ve yükündeki artış ile artma eğiliminde olduğunu ve 21.2 ile 98.8 W arasında değiştiğini belirlediler. Temizer ve İlkılıç [23] termoelektrik jeneratör sistemlerine uygun çalışma prensibi için bir prototip geliştirilmişlerdir. Dizel motorun egzoz sistemini yüzeyi ısıtmak için kullanmışlardır. Ayrıca farklı sıcaklıklarda gerekli olan soğutma etkisi için termoelektrik soğutma sistemini kullanmışlardır. Topalcı ve ark. [24] buji ateşlemeli bir motorda atık ısı geri kazanımı için kullanılan termoelektrik jeneratörünün Matlab/Simulink programı ile teorik modelini geliştirmişlerdir. Termoelektrik jeneratör sisteminin Matlab/Simulink modeli ile DC elektrik enerjisi üretiminin, 1500-4000 d/d motor devri aralığı için 6.36-50.96 W aralığında değiştiğini tespit etmişlerdir. Kunt ve Güneş [25] içten yanmalı bir dizel motorun egzoz atık ısısını doğrudan elektrik gücüne dönüştürmek için bir termoelektrik geri kazanım sistemi tasarlamış ve yüksüz durumda farklı motor hızlarında performans ölçmüşlerdir. Modüler yapıdaki termoelektrik jeneratörlerin, termoelektrik sistemin verimi düşük olmasına rağmen atık ısı geri kazanımı açısından Rankine çevrim sistemine göre daha önemli bir alternatif olduğunu görmüşlerdir. Kim ve ark. [26] bir termoelektrik jeneratörün atık ısı geri kazanım performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlarından, motor yükü ve hızının bir fonksiyonu olarak termoelektrik jeneratörünün güç çıkışını gösteren bir kontur haritası elde etmişlerdir. Muralidhar ve ark. [27] öngörülen bir sürüş döngüsü boyunca hibrit elektrikli araçlarda termoelektrik elektrik jeneratörleri kullanmanın faydalarını değerlendirdiler. Spesifik olarak, bir hibrit elektrikli otobüsü ilk olarak gerçekçi bir kentsel sürüş döngüsü üzerinden modellediler.

Bu çalışmanın amacı, turboşarjlı sistemin kompresörü ile ara soğutucusu arasına yerleştirilen termoelektrik jeneratör sisteminin soğuk tarafındaki ısı alıcılarının dış ortama verdikleri maksimum ısı transferinin ve kanatlı yüzey verimlerinin farklı dış ortam sıcaklıklarına göre değişimlerinin incelenmesidir. Termoelektrik jeneratör sisteminin soğuk yüzeyinden çevreye verilen ısı miktarındaki artış termoelektrik jeneratör sistemin ısı verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu artış ise soğuk tarafın ısı alıcıları ile sağlanmaktadır. Çalışmada, termoelektrik jeneratör sistemi, turboşarjlı traktörün kompresörü ile ara soğutucusu arasına yerleştirilmiştir. Böylece termoelektrik jeneratör sistemi sayesinde hem elektriksel güç elde edilmekte hem de hava daha düşük sıcaklıkta ara soğutucuya girmektedir. Bu durum, turboşarjlı traktörün motor verimliliğine olumlu katkı sağlayacaktır. Mevcut literatür taramasına göre; içten yanmalı motorlarda, yanmış egzoz gazlarının ısı enerjisini kullanan Termoelektrik jeneratör sistemleri ile ilgili çok sayıda çalışmanın gerçekleştirildiği görülmüştür. Ancak turboşarjlı sistemlerin kompresöründen çıkan havanın ısı enerjisini kullanan bir termoelektrik jeneratör ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu doğrultuda, bu çalışmanın ilgili literatüre bu konuda katkı sağlaması beklenmektedir.

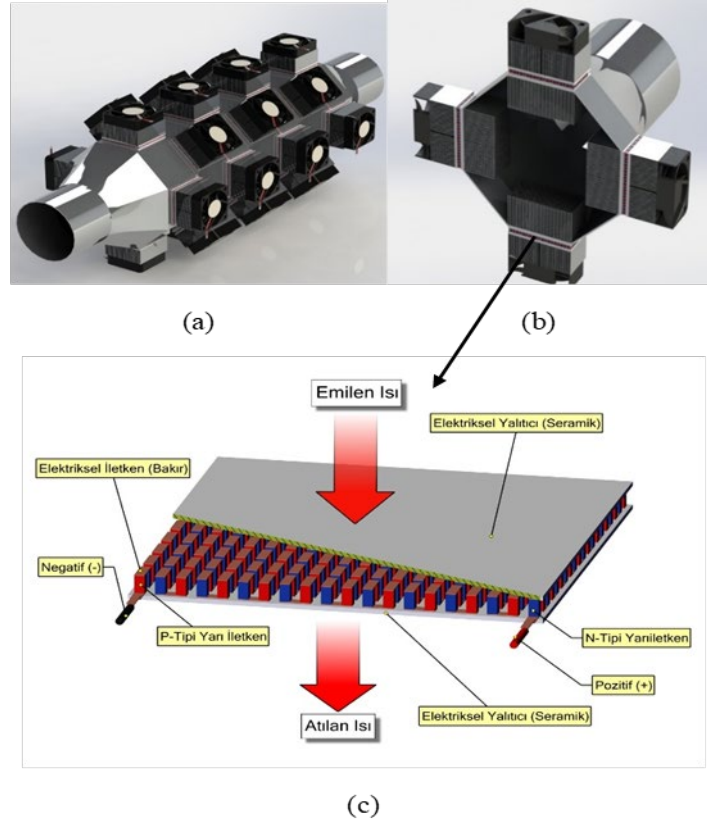
2. Materyal ve Metot

Turboşarjlı sistemlerde, turboşarj sisteminin kompresöründen çıkan hava, daha yüksek motor verimi için ara soğutucuda soğutulduktan sonra motora gönderilir. Bu çalışmada, turboşarjlı bir traktörün kompresörü ile ara soğutucusu arasına Şekil 1’de gösterildiği gibi bir termoelektrik jeneratör sistemi yerleştirilmiştir. Böylece kompresörden çıkan havanın ısı enerjisinden elektriksel güç üretilmiştir. Bu nedenle kompresörden çıkan hava ara soğutucuya daha soğuk bir şekilde girer. Bu durum ara soğutucu etkinliğini ve motor verimini olumlu yönde etkileyecektir. Ayrıca termoelektrik jeneratör sisteminde üretilen elektriksel güç, bu traktörün elektrik gücü gerektiren diğer cihazları tarafından da kullanılabilir. Örnek olarak, bu traktörde kullanılan termoelektrik soğutuculu bir traktör buzdolabının elektriksel güç ihtiyacı, bu tür termoelektrik jeneratör sisteminin güç çıkışı ile rahatlıkla karşılanabilmektedir.



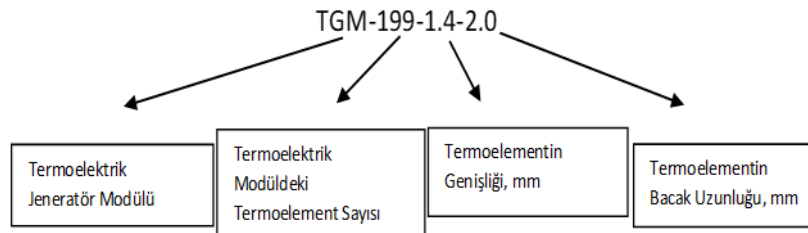
Şekil 1. Basınçlı havanın ısı enerjisini kullanan termoelektrik jeneratör sisteminin blok diyagramı

Çalışmada kullanılan termoelektrik jeneratör sisteminin Şekil 2’de gösterilen CAD modellemesinde SolidWorks programından yararlanılmıştır.



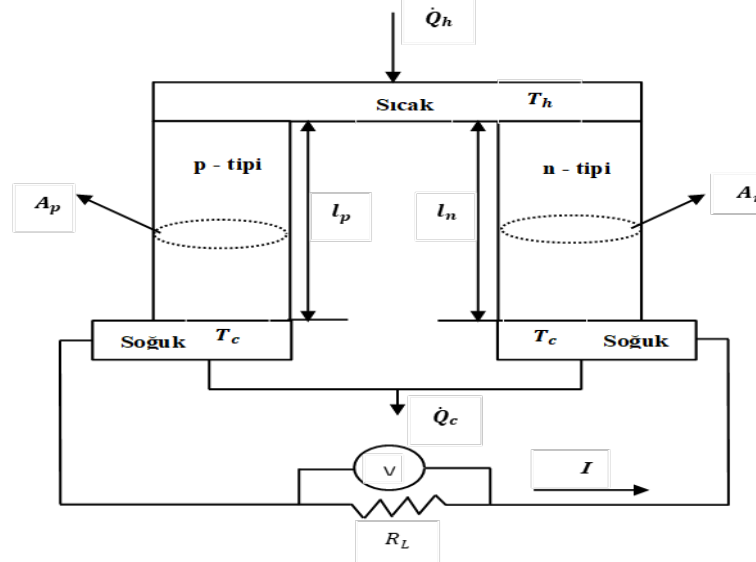
Şekil 2. Turboşarjlı traktörde kullanılan termoelektrik jeneratör sisteminin CAD modeli (a) Montaj görünümü (b) Kesit görünümü (c) Termoelektrik jeneratör modülünün üç boyutlu modeli [28]

Şekil 2’de CAD modeli gösterilen termoelektrik jeneratör sisteminde ticari termoelektrik jeneratör modüllerinin (TGM-199-1.4-2.0) sayısı 28’dir. Termoelektrik modüllerin ısıtılan tarafları kompresörden gelen sıcak havaya maruz bırakılmıştır. Soğuk tarafları dış havaya maruz kalmıştır. Termoelektrik jeneratör modüllerinin soğuk ve sıcak tarafları arasındaki bu sıcaklık farkı, termoelektrik jeneratör modüllerinde elektrik akımı üretmektedir.

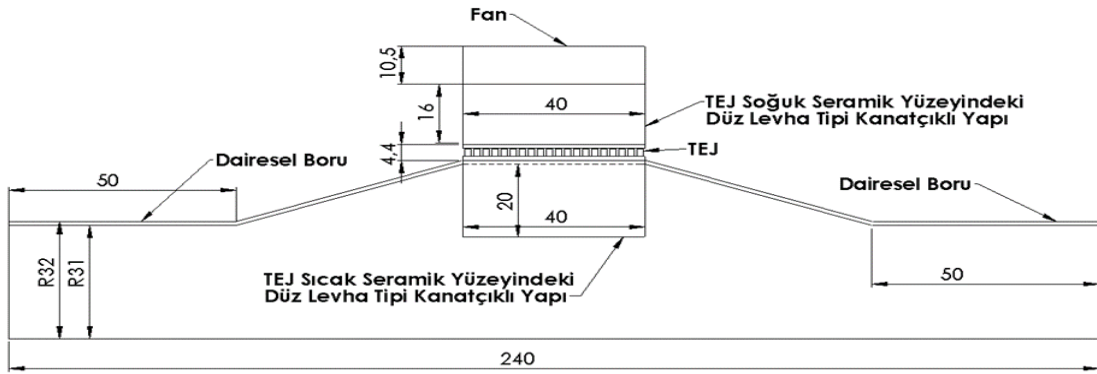


Çalışmada kullanılan turboşarjlı traktörün efektif gücü 107 BG ve devir sayısı ise 2500 d/d değerindedir [29]. Ayrıca termoelektrik jeneratör sistemine giren havanın sıcaklığı ve kütleli debisi sırasıyla 408 K ve 0.162 kg/s’dir [29]. Kompresör için basınç artış oranı (p_k / p_o) 2.2 [29]’dir. Kompresörün çıkışındaki borunun çapı 63 mm’dir [29]. Yaz ve kış sıcaklık koşullarının bu çalışmanın sonuçlarına etkisini belirlemek için yedi farklı dış ortam sıcaklığına (268, 278, 283, 288, 293, 298 ve 303 K) göre sayısal analizler yapılmıştır. Termoelektrik jeneratör sisteminin sekizgen tasarımının nedeni, dairesel şekle benzemesinin yanı sıra üzerine daha fazla termoelektrik jeneratör modülünün yerleştirilmesidir. Bir kenar uzunluğu 45 mm olan düz sekizgen termoelektrik jeneratör sisteminin kesit alanı 0.0098 m²’dir.

Her biri p tipi ve n tipi yarı iletken elemanlardan oluşan bir dizi termokupl, bir termoelektrik modül oluşturur (Şekil 2c). Ayrıca bu birkaç termokupl, yüksek ısıl iletkenliğe sahip ancak düşük elektrik iletkenliğine sahip seramik plakalar arasında sandviç yaparak elektriksel olarak seri ve ısıl olarak paralel bağlanır. Termoelementin kesit alanı ve bacak uzunluğu sırasıyla $A_p = A_n = 1.96 \text{ mm}^2$, $l = 2 \text{ mm}$ 'dir. p-tipi ve n-tipi termoelemanlardan oluşan termokupl sayısı 199'dur. Şekil 3, devreli tek bir termokupl gösterimini sağlamaktadır. Ayrıca Şekil 4, termoelektrik jeneratör sisteminin şematik diyagramını göstermektedir.

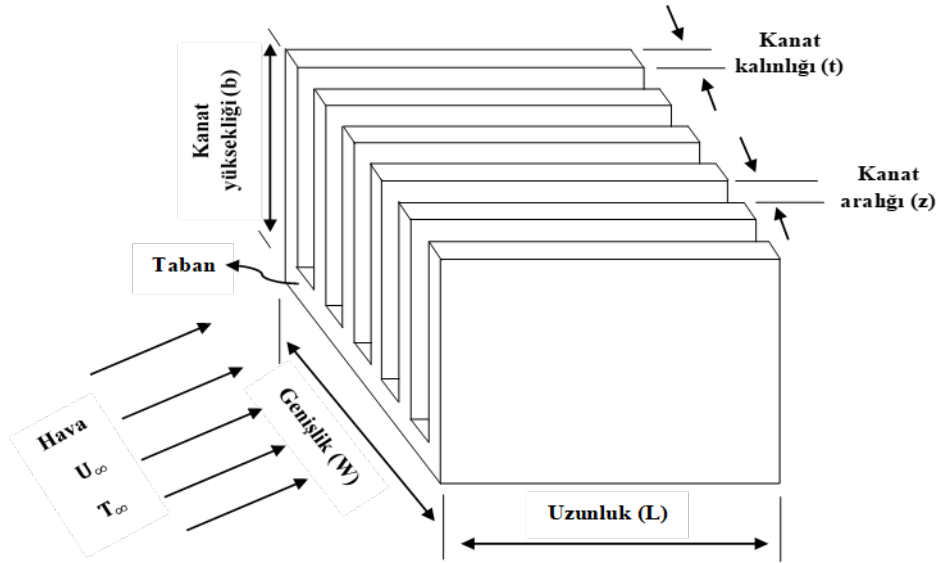


Şekil 3. Devreli bir termokupl



Şekil 4. Termoelektrik jeneratör sisteminin şematik diyagramı (TEJ: Termoelektrik Jeneratör) [28]

Kanatlar gibi genişletilmiş yüzeyler kullanarak havadaki termal enerjiyi etkili bir şekilde emmek veya dağıtmak önemlidir. Bu nedenle, termoelektrik jeneratör modüllerinde düz plaka tipi kanatlı yapılar (ısı alıcılar) yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 5, bu çalışmanın termoelektrik jeneratör modüllerinde kullanılan düz plaka tipi kanatlı yapıyı göstermektedir.



Şekil 5. Düz plaka tipi kanatlı yapı (ısı alıcı)

Çizelge 1, termoelektrik jeneratör modüllerinin malzeme özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 1. Termoelektrik jeneratör modüllerinde kullanılan malzemelerin özellikleri.

Malzemelerin özellikleri	d (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	k (W/mK)
Seramik (Alümina)	3720	880	25
Bizmut tellür	7700	544	1.5
Alüminyum	2719	871	202.4
Bakır	8978	381	387.6

Termoelektrik jeneratör sisteminin iki akış alanı vardı: İlk akış alanı kompresörden gelen 408 K sıcaklığındaki havadır. İkinci akış alanı dış ortam havasıdır.

3. Termoelektrik Jeneratör Sisteminin Matematiksel Modellemesi

Kanat kalınlığı arttıkça ısı transferi de artacaktır. Ancak bu düz plaka kanat yapısının hacmi sabittir (Şekil 5). Bu nedenle optimum kanat kalınlığının ne olacağı önemlidir [30]: Boyutları bilinen bir kanatçıklı yapının optimum kalınlık ve optimum kanat aralığını bulmak için kanat kalınlığı cinsinden fonksiyon oluşturulup Matlab programında kodlamalar yapılarak optimum kanat kalınlığı bulunmaktadır. Bunun içinde maksimum ısıl enerji için olan kanat kalınlığı, optimum kanat kalınlığı olmaktadır.

Alüminyumdan yapılmış düz plaka tipi kanatlar için kanat sayısı ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$n_f = \frac{W}{z_{opt} + t} \quad (1)$$

burada, w kanat genişliği, z_{opt} optimum kanat aralığı, t kanat kalınlığıdır.

Tek bir kanatçık verimi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\eta_f = \frac{\tanh(\beta)}{\beta} \quad (2)$$

burada,

$$\beta = b \left(\frac{2h}{k_{al}t} \right) \quad (3)$$

burada, b kanat yüksekliği, h ısı taşınım katsayısı, k_{al} alüminyumun ısı iletim katsayısıdır. Burada, b kanat yüksekliği sabit alınmıştır.

Tek bir kanadın alanı şu şekilde yazılır:

$$A_f = 2(L + t)b \quad (4)$$

Toplam kanatlı yüzey alanı şu şekilde ifade edilir:

$$A_t = n_f(A_f + Lz_{opt}) \quad (5)$$

Toplam kanatlı yüzey verimi şu şekilde yazılabilir:

$$\eta = 1 - n_f \frac{A_f}{A_t} (1 - \eta_f) \quad (6)$$

Toplam ısı transfer hızı şu şekilde ifade edilir:

$$q_{top} = \eta A_t h (T_{Taban} - T_{\infty}) \quad (7)$$

Zorlanmış taşınım için optimize edilmiş düz plaka kanatçık tasarımı yapıldı. Bu nedenle optimum kanat aralığı (z_{opt}) aşağıdaki gibi tanımlanır [30]:

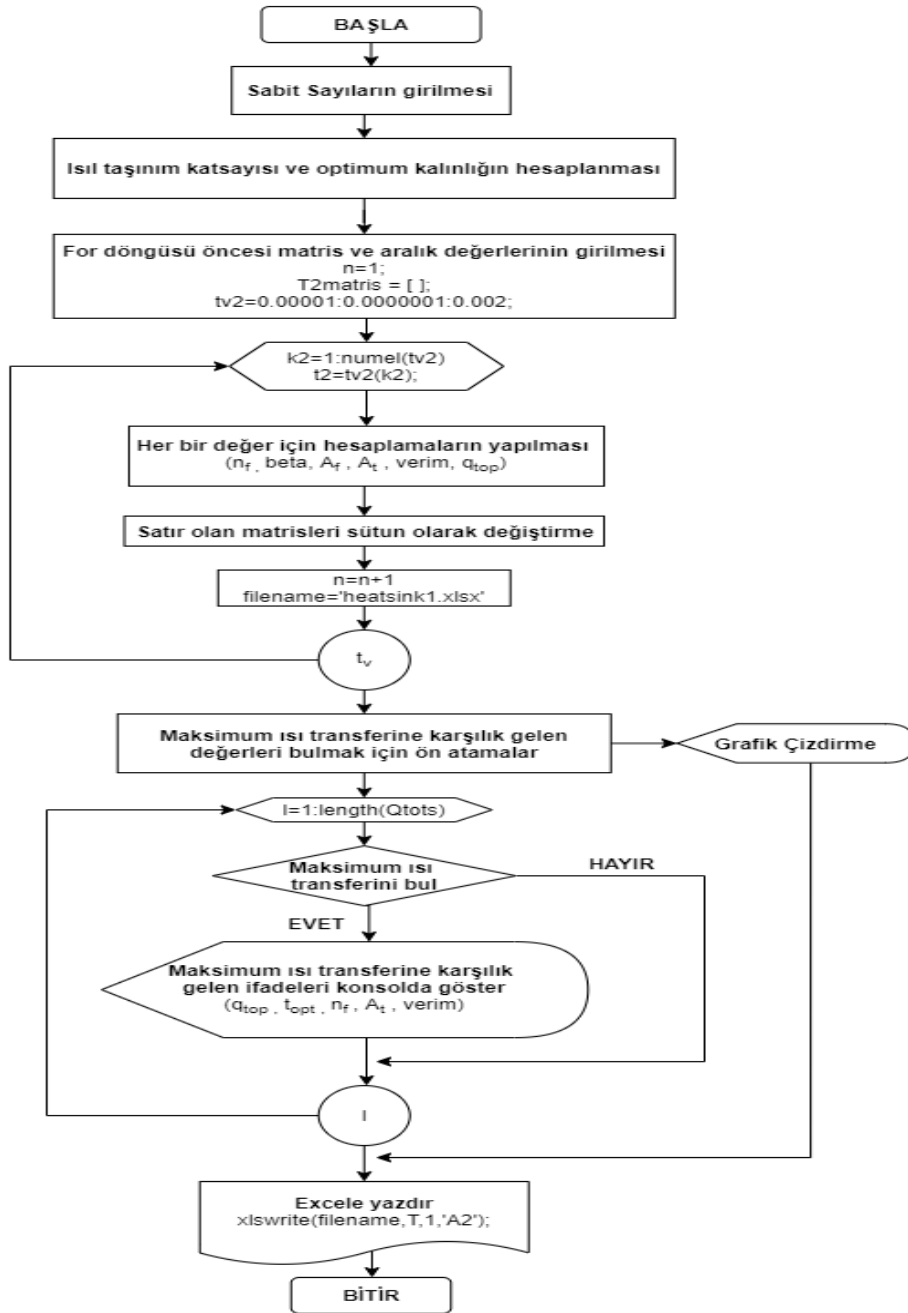
$$z_{opt} = L_c 3.24 Re^{-1/2} Pr^{-1/4} \quad (8)$$

Reynolds sayısı, $Re = \frac{U_{\infty} L_c}{\nu}$ şeklinde tanımlanır.

Isı taşınım katsayısı şu şekilde ifade edilir:

$$h = \frac{k_{air}}{L_c} 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (9)$$

(1)'den (9)'a kadar olan denklemler kullanılarak, düz plaka tipi kanatlı yapının her bir kanat kalınlık değeri için tüm performans değerleri MATLAB^R yazılımı ile hesaplanmış ve maksimum ısı transfer hızını sağlayan optimum kanat kalınlığı tespit edilmiştir. Böylece termoelektrik jeneratör sisteminin sıcak ve soğuk yüzeylerinde düz plaka tipi kanatlı yapının optimum boyutları belirlenmiştir. Bu duruma ait akış şeması, soğuk taraftaki kanatlı yapı için Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. Soğuk taraf ısı alıcıların optimum değerleri için Matlab Algoritma akış şeması

Termoelektrik jeneratör modülünde kararlı hal ısı transferi öngörülmüştür. Ayrıca termoelektrik jeneratör modülündeki elektriksel ve termal temas direncinin önemsiz olduğu, termoelektrik jeneratör modülünün mükemmel şekilde yalıtılmış olduğu, termoelemanların yüzeylerindeki radyasyon ve konveksiyonun ihmal edilebilir olduğu ve p ve n tipi termoelemanların benzer olduğu varsayılmıştır. Termoelektrik jeneratör modüllerinin tüm termoelektrik özellikleri sabittir. Başka bir deyişle, sıcaklıkla özellik değişimi ihmal edilmiştir [31].

Bu çalışmadaki denklem setleri, termoelektrik jeneratör modüllerinin hem sıcak hem de soğuk taraflarındaki enerji transferini içermektedir. Alt simgeler 1 ve 2, sırasıyla sıcak ve soğuk miktarları temsil eder. Teorik analizler aşağıdaki denklemlere dayalı olarak yapılmıştır:

T_h sıcaklığındaki sıcak yüzeyde emilen ısı şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{Q}_h = n \left[\alpha T_h I - \frac{1}{2} I^2 R + K(T_h - T_c) \right] \quad (10)$$

$$\dot{Q}_h = \eta_1 h_1 A_{t1} (T_{\infty 1} - T_h) \quad (11)$$

burada,

$$\alpha = |\alpha_p| + |\alpha_n| \quad (12)$$

$$R = \frac{\rho_p l_p}{A_p} + \frac{\rho_n l_n}{A_n} \quad (13)$$

$$K = \frac{k_p A_p}{l_p} + \frac{k_n A_n}{l_n} \quad (14)$$

R , iç elektrik direncidir ve K , ısıl iletkenliktir. p-tipi ve n-tipi termokupllar benzer olduğundan, $R = \rho l/A$ ve $K = kA/l$ 'dir, burada $\rho = \rho_p + \rho_n$ ve $k = k_p + k_n$. Ayrıca α , p- ve n-tipi yarı iletken elemanların Seebeck katsayısıdır, k , p- ve n-tipi yarı iletken elemanların ısı iletim katsayısıdır, ρ , p- ve n-tipi yarı iletken elemanların elektriksel öz direncidir, l , p- ve n-tipi yarı iletken elemanların bacak uzunluğu ve A ise p- ve n-tipi yarı iletken elemanların kesit alanıdır [31].

Soğuk yüzeyde açığa çıkan ısı transfer hızı şu şekilde verilir:

$$\dot{Q}_c = n \left[\alpha T_c I + \frac{1}{2} I^2 R + K(T_h - T_c) \right] \quad (15)$$

$$\dot{Q}_c = \eta_2 h_2 A_{t2} (T_c - T_{\infty 2}) \quad (16)$$

Termoelektrik jeneratör modülü için elektrik akımı şu şekilde elde edilir:

$$I = \frac{\alpha(T_h - T_c)}{R_L + R} \quad (17)$$

Toplam voltaj şu şekilde ifade edilebilir:

$$V = n I R_L = n [\alpha(T_h - T_c) - I R] = \frac{n \alpha (T_h - T_c)}{\frac{R_L}{R} + 1} \left(\frac{R_L}{R} \right) \quad (18)$$

Toplam güç çıkışı, dış yük direnci ile şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{W} = n I^2 R_L = I V \quad (19)$$

Toplam güç çıkışı, iç özellikler açısından şu şekilde tanımlanabilir:

$$\dot{W} = n[\alpha I(T_h - T_c) - I^2 R] = \frac{n\alpha^2(T_h - T_c)^2}{R} \frac{\frac{R_L}{R}}{\left(1 + \frac{R_L}{R}\right)^2} \quad (20)$$

Isıl verim şu şekilde ifade edilir:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_h} \quad (21)$$

Denklem (21) Denklemler (10) ve (20) kullanılarak yeniden düzenlendiğinde aşağıdaki ifade elde edilir [31]:

$$\eta_{th} = \frac{\left(1 - \frac{T_c}{T_h}\right)\left(\frac{R_L}{R}\right)}{\left(1 - \frac{R_L}{R}\right) - \frac{1}{2}\left(1 - \frac{T_c}{T_h}\right) + \frac{1}{2Z\bar{T}}\left(1 - \frac{R_L}{R}\right)^2\left(1 + \frac{T_c}{T_h}\right)} \quad (22)$$

burada, $\bar{T} = \frac{T_h + T_c}{2}$ ve $Z = \frac{\alpha^2}{\rho k}$ [31].

Denklem (10) ile (22) arasındaki bu ideal denklemler kullanılarak termoelektrik jeneratör modülünün performansının simüle edilmesi arzu edilir. Bunun için modülün termoelektrik malzeme özelliklerini (α , σ ve k) bilmek gerekir. Ticari termoelektrik jeneratör modülü üreticileri ürün kataloglarında maksimum parametre değerlerini (I_{max} , V_{max} , \dot{W}_{max} ve η_{mp}) belirtirler. Ancak termoelektrik malzeme özelliklerini (α , σ ve k) vermezler. İdeal denklemler, elektriksel ve termal temas direnci, Thomson etkisi ve ısı kayıpları gibi çeşitli kayıpları içermez. Bu kayıpların ideal denklemlerde hesaba katılması problemin çözülmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle ideal denklemler ve malzeme özellikleri kullanılarak hesaplanan performans eğrileri ile ticari modüllerin ölçülmesiyle elde edilen performans eğrileri arasında sapmalar bulunmaktadır. Bu nedenle Lee [31], bir sistem tasarımında bu kayıpları içeren etkin malzeme özelliklerini geliştirmiştir. Bu etkin malzeme özellikleri ikiye bölünmelidir çünkü her özellik p-tipi ve n-tipi termoelementler içerir.

Etkin elektriksel öz direnç aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\rho^* = \frac{4(A/l)\dot{W}_{max}}{n(I_{max})^2} \quad (23)$$

Etkin Seebeck katsayısı şu şekilde yazılabilir:

$$\alpha^* = \frac{4\dot{W}_{max}}{nI_{max}(T_h - T_c)} \quad (24)$$

Etkin performans katsayısı şu şekilde ifade edilir:

$$Z^* = \frac{1}{\bar{T}} \left[\left(\frac{1 + \frac{\eta_{max} T_c}{T_h}}{1 - \frac{\eta_{max}}{\eta_c}} \right)^2 - 1 \right] \quad (25)$$

burada, $\eta_c = (1 - T_c/T_h)$ Carnot çevrimi verimidir [31].

Etkin ısı iletkenlik şu şekilde tanımlanır:

$$k^* = \frac{(\alpha^*)^2}{\rho^* Z^*} \quad (26)$$

Termoelektrik cihazların önemli parametrelerini temsil etmek için yeni boyutsuz gruplar tanımlanmıştır. Özellikle, yeni bir optimal tasarıma yol açan boyutsuz parametrelerin paydalarında bir akışkanın konveksiyon iletkenliğini kullanmak önemlidir. Bu, optimum termokupl sayısını veya optimum ısı iletkenliği belirlememizi sağlar [31]:

Boyutsuz ısı iletkenlik aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$N_k = \frac{n(Ak/l)}{\eta_2 h_2 A_{t2}} \quad (27)$$

Boyutsuz konveksiyon şu şekilde yazılabilir:

$$N_h = \frac{\eta_1 h_1 A_{t1}}{\eta_2 h_2 A_{t2}} \quad (28)$$

Boyutsuz elektrik direnci şu şekilde ifade edilir:

$$R_r = \frac{R_L}{R} \quad (29)$$

Boyutsuz sıcaklıklar şu şekilde tanımlanır:

$$T_h^* = \frac{T_h}{T_{\infty 2}} \quad (30)$$

$$T_c^* = \frac{T_c}{T_{\infty 2}} \quad (31)$$

$$T_{\infty}^* = \frac{T_{\infty 1}}{T_{\infty 2}} \quad (32)$$

İki boyutsuz ısı transferi hızı ve boyutsuz güç çıkışı şu şekilde tanımlanır:

$$Q_h^* = \frac{\dot{Q}_h}{\eta_2 h_2 A_{t2} T_{\infty 2}} \quad (33)$$

$$Q_c^* = \frac{\dot{Q}_c}{\eta_2 h_2 A_{t2} T_{\infty 2}} \quad (34)$$

$$W^* = \frac{\dot{W}}{\eta_2 h_2 A_{t2} T_{\infty 2}} \quad (35)$$

Denklem (27) ile (32) arasında ifade edilen boyutsuz parametreler kullanılarak, Denklem (10) ile (17) arasındaki ifadeler aşağıdaki gibi iki formüle indirgenir:

$$\frac{N_h(T_{\infty}^* - T_h^*)}{N_k} = \frac{Z T_{\infty 2} (T_h^* - T_c^*) T_h^*}{R_r + 1} - \frac{Z T_{\infty 2} (T_h^* - T_c^*)^2}{2(R_r + 1)^2} + (T_h^* - T_c^*) \quad (36)$$

$$\frac{T_c^*-1}{N_k} = \frac{ZT_{\infty 2}(T_h^*-T_c^*)T_c^*}{R_r+1} + \frac{ZT_{\infty 2}(T_h^*-T_c^*)^2}{2(R_r+1)^2} + (T_h^* - T_c^*) \quad (37)$$

burada Z , performans katsayısıdır ($Z = \alpha^2/\rho k$). Denklem (33) ve (34) T_h^* ve T_c^* için çözülebilir. Boyutsuz sıcaklıklar beş bağımsız boyutsuz parametrenin bir fonksiyonudur [Denklemler (38) ve (39)]:

$$T_h^* = f(N_k, N_h, R_r, T_{\infty}^*, ZT_{\infty 2}) \quad (38)$$

$$T_c^* = f(N_k, N_h, R_r, T_{\infty}^*, ZT_{\infty 2}) \quad (39)$$

T_{∞}^* girdidir ve $ZT_{\infty 2}$ girdiyle birlikte malzeme özelliğidir ve her ikisi de başlangıçta sağlanır. Bu nedenle optimizasyon sadece ilk üç parametre (N_k, N_h ve R_r) ile gerçekleştirilebilir. İki boyutsuz sıcaklık (T_h^* ve T_c^*) çözüldüğünde, termoelektrik jeneratör modülünün hem sıcak hem de soğuk bağlantılarındaki boyutsuz ısı transfer hızları aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$Q_h^* = N_h(T_{\infty}^* - T_h^*) \quad (40)$$

$$Q_c^* = T_c^* - 1 \quad (41)$$

Daha sonra boyutsuz güç çıkışı şu şekilde yazılabilir:

$$W^* = Q_h^* - Q_c^* \quad (42)$$

Buna göre, ısı verim şu şekilde ifade edilir:

$$\eta_{th} = \frac{W^*}{Q_h^*} \quad (43)$$

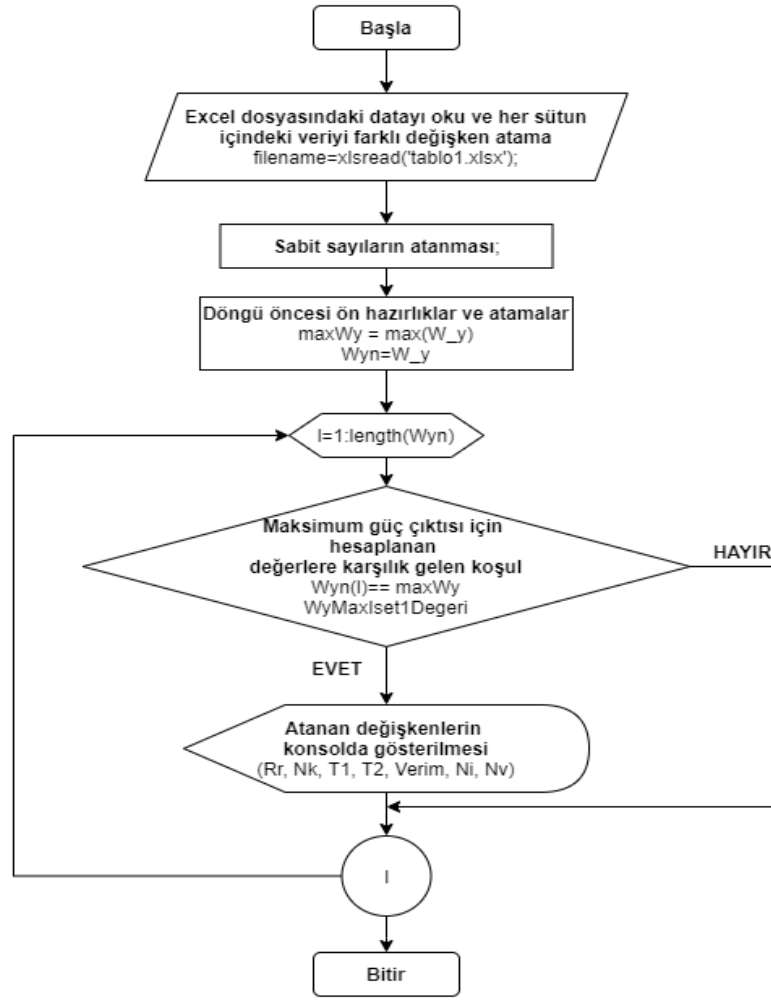
Boyutsuz akım aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$N_I = \frac{ZT_{\infty 2}(T_h^*-T_c^*)}{R_r+1} \quad (44)$$

Ayrıca boyutsuz voltaj şu şekilde ifade edilir:

$$N_V = \frac{W^*}{N_I N_k} \quad (45)$$

Hesaplanan değerler, Denklem (36) ve (37)'ye yerleştirildiğinde 4 bilinmeyenli 2 denklem oluşur. Bu denklemlerden, T_h^* ve T_c^* değerlerini bulabilmek için R_r ve N_k değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle bu değerler MATLAB^R yazılımında artımlı değerler olarak girilmiştir. En uygun tasarım için maksimum güç çıkışına göre bulunan değerlerden en uygun değerler elde edilmiştir. Böylece T_h^*, T_c^* ve R_r değerleri elde edildi. Dolayısıyla Denklem (30) kullanılarak T_h ve Denklem (31) kullanılarak da T_c değerleri elde edilebildi. Maksimum güç çıkışına göre bulunan değerlere ait akış şeması Şekil 7'de ve en uygun tasarım için optimizasyon değerlerinin çözümüne ait akış şeması ise Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Maksimum güç çıkışına göre bulunan değerler için Matlab akış şeması

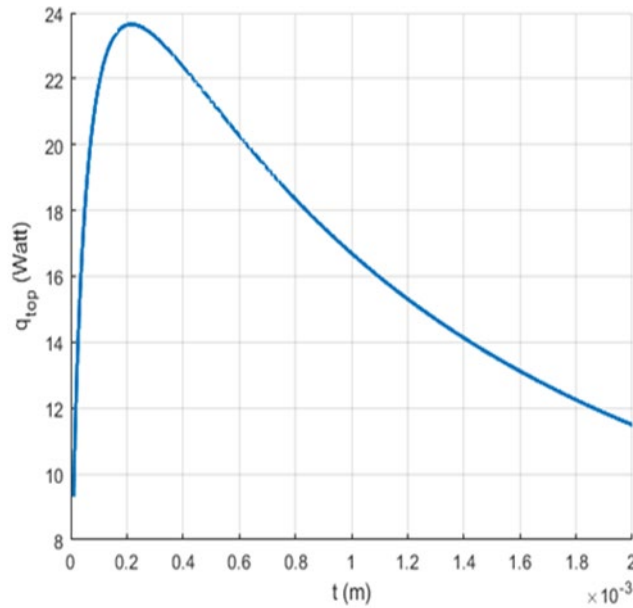
Şekil 7 ve 8’de gösterilen akış şemaslarına göre Matlab programında gerçekleştirilen analizler ile elde edilen boyutsuz değerler, yedi farklı dış ortam sıcaklığı için Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. TGM-199-1.4-2.0 modülünün optimum boyutsuz değerleri.

$T_{\infty 2}(K)$	N_h	T_{∞}^*	R_r	N_k	W^*	T_1^*	T_2^*	η_{th}	N_I	N_V
268	1.2489	1.523	1.261	0.439	0.00344	1.405	1.143	0.0234	0.0536	0.1462
278	1.2828	1.468	1.264	0.443	0.00288	1.364	1.129	0.0217	0.0498	0.1306
283	1.2992	1.442	1.266	0.445	0.00263	1.345	1.123	0.0208	0.0478	0.1235
288	1.3156	1.417	1.268	0.447	0.00239	1.326	1.117	0.0199	0.0458	0.1168
293	1.3337	1.393	1.269	0.449	0.00216	1.308	1.111	0.0191	0.0439	0.1096
298	1.3490	1.369	1.271	0.451	0.00195	1.290	1.105	0.0182	0.0419	0.1032
303	1.3640	1.347	1.273	0.452	0.00176	1.273	1.099	0.0174	0.04	0.0973

4. Sayısal Analizin Doğrulanması

Denklem (1) ve (7) arasındaki eşitlikler bir fonksiyon olarak yazılıp, modülün soğuk tarafındaki ısı alıcıların optimum kanat kalınlıkları ve kanat aralıkları, farklı dış ortam sıcaklıkları için Matlab programı kullanılarak belirlenmiştir. Kanat kalınlığı, $t_2 = 0,00001, 0,0000101, 0,0000102, \dots, 0,002$ mm değerleri Matlab programında for döngüsü içine konularak, plot koduyla Şekil 9 elde edilmiştir. Bu durumun akış şeması ise Şekil 6'da gösterilmektedir.



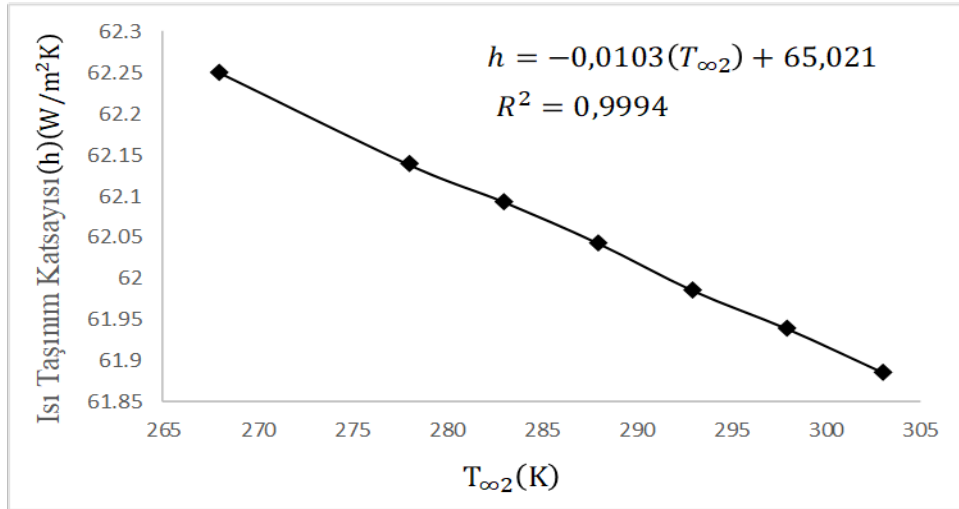
Şekil 9. Isı alıcıdan gerçekleşen toplam ısı transferi ile kanat kalınlığının değişimi ($T_{\infty 2} = 303$ K için)

Şekil 9'da da görüldüğü gibi, kanat kalınlığı arttıkça soğuk taraftaki ısı alıcılardan gerçekleşen toplam ısı transferi hızlı bir şekilde artmakta ve maksimum değerine ulaştığı, optimum kanat kalınlığından daha büyük kanat kalınlıklarında ise azalmaya başlamakta ve bu azalma yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Şekil 8'de görülen değişim, dış ortam sıcaklığının 303 K değerine aittir. Bu değişim, 268 K, 278 K, 283 K, 288 K, 293 K ve 298 K dış ortam sıcaklıkları için de benzer şekilde elde edilerek, bu sıcaklıklara ait optimum kanat kalınlıkları da tespit edilmiştir. 303 K için optimum kanat kalınlığının 0.216 mm, optimum kanat aralığının 0.889 mm ve soğuk taraftaki ısı alıcılardan gerçekleşen maksimum toplam ısı transferi değerinin ise 23.65 W olduğu bulunmuştur. Yani 303 K dış ortam sıcaklığında, 0.216 mm kanat kalınlığına kadar toplam ısı transferi hızlı bir şekilde artmış, 0.216 mm'de maksimum değerine ulaşmış ve 0.216 mm değerinden daha büyük değerlerde ise azalmaya başlamış ve bu azalış yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Kaynak 30'da da farklı çalışmalara ait, ısı alıcılardan gerçekleşen toplam ısı transferi ile kanat kalınlığı arasındaki değişimler gösterilmektedir. Bu değişimler ile Şekil 9'da elde edilen değişimin benzer davranış gösterdiği görülmektedir.

5. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, turboşarjlı traktörün kompresörü ile ara soğutucusu arasına elektrik enerjisi üretecek ve ara soğutucuya giren havayı daha düşük sıcaklığa soğutacak şekilde termoelektrik jeneratör sistemi yerleştirilmiştir. Bu, turboşarjlı traktörün motor verimliliğini artırmak için önemlidir. Yaz ve kış sıcaklık koşullarının çalışma sonuçlarına etkisini belirlemek için yedi farklı dış ortam sıcaklığı (268, 278, 283, 288, 293, 298 ve 303 K) için sayısal analizler yapılmıştır.

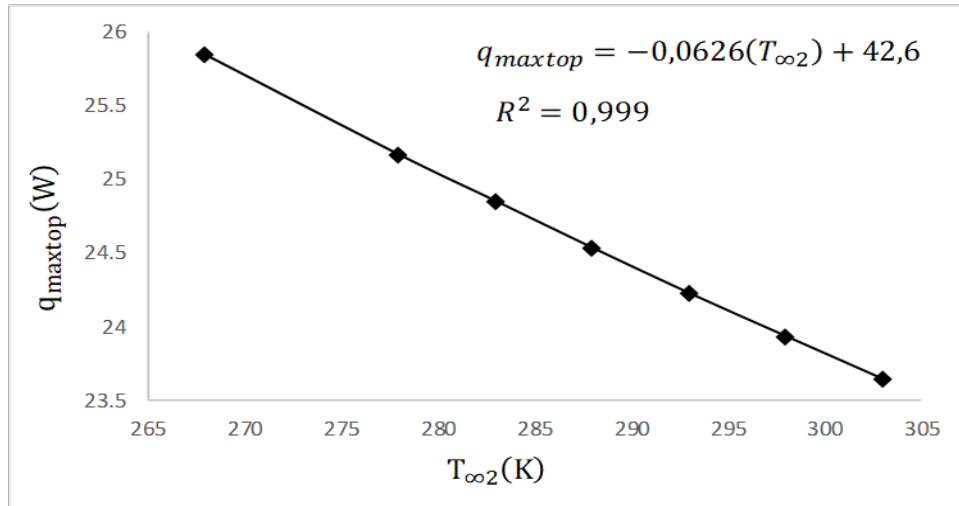
Şekil 10’da ısı taşınım katsayısının dış ortam sıcaklığına göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 10. Dış ortam sıcaklığına göre ısı taşınım katsayısının değişimi

Şekil 10’da da görüldüğü gibi, dış ortam sıcaklığı artarken ısı taşınım katsayısı azalmaktadır. Ayrıca, ısı taşınım katsayısı ile dış ortam sıcaklığı arasında lineer bir durum söz konusudur ve bu durum $h = -0.0103(T_{\infty 2}) + 65.021$ şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 10).

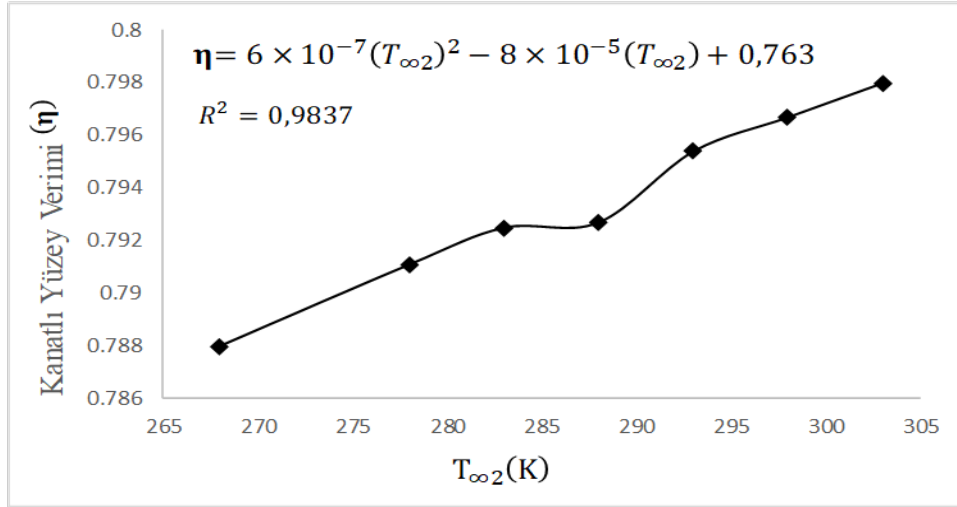
Termoelektrik jeneratör modülünün soğuk tarafındaki ısı alıcıdan dış ortama verilen maksimum ısı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki değişim Şekil 11’de gösterilmektedir.



Şekil 11. Kanatlı yüzeylerden transfer edilen maksimum ısı miktarının dış ortam sıcaklığı ile değişimi

Termoelektrik jeneratör modülünün soğuk tarafındaki kanatlı yüzeyden (ısı alıcı) dış ortama transfer edilen maksimum ısı ile dış ortam sıcaklığı arasında da lineer bir ilişki bulunmaktadır ve bu ilişki $q_{maxtop} = -0.0626(T_{\infty 2}) + 42.6$ şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 11). Bu lineer birliktelikte, dış ortam sıcaklığı artarken transfer edilen maksimum ısı azalmaktadır. Bu durum ise, dış ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte, ısı transferinin gerçekleşmesini sağlayan, modülün soğuk yüzey sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı arasındaki farkın azalmasından kaynaklanmaktadır.

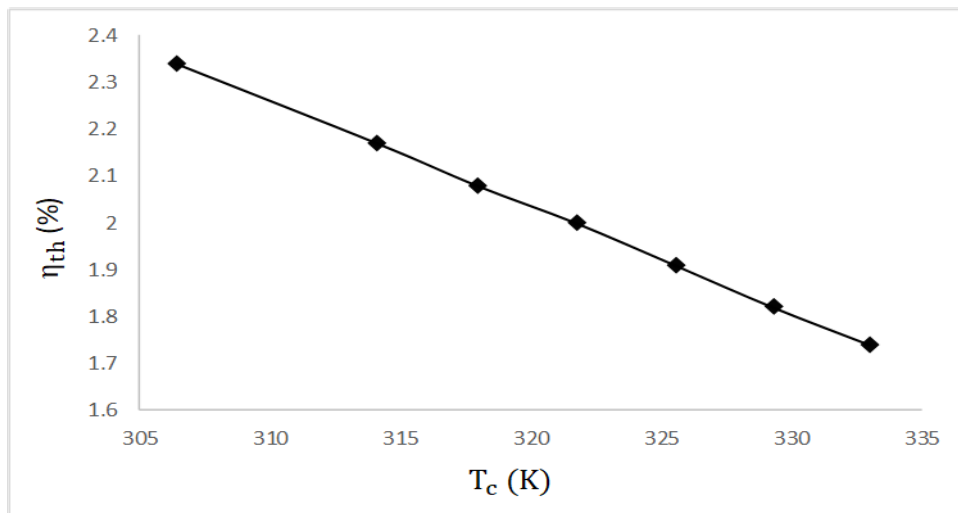
Kanatlı yüzey veriminin farklı dış ortam sıcaklıklarındaki değişimi Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 12. Kanatlı yüzey veriminin dış ortam sıcaklığı ile değişimi

Dış ortam sıcaklığındaki artış ile kanatlı yüzey veriminin de arttığı Şekil 12’de gösterilmektedir. Bu durum, dış ortam sıcaklığı arttıkça, soğuk taraftaki ısı alıcılardan dış ortama gerçekleşen maksimum ısı transferinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü dış ortam sıcaklığı arttıkça termoelektrik modülün soğuk yüzey sıcaklığı artmaktadır. Ancak dış ortam sıcaklığıyla birlikte kanatlı yüzey verimindeki bu artış, yaklaşık olarak 283 K sıcaklığına kadar gerçekleşmekte ve $283 K < T_{\infty 2} < 288 K$ aralığında ise azalma eğilimi göstermektedir. Buna ilave olarak $T_{\infty 2} > 288 K$ durumunda da, dış ortam sıcaklığı arttıkça kanatlı yüzey verimi tekrar artmaktadır (Şekil 12). Ayrıca kanatlı yüzey verimi ile dış ortam sıcaklığı arasında $\eta = 6 \times 10^{-7}(T_{\infty 2})^2 - 8 \times 10^{-5}(T_{\infty 2}) + 0.763$ şeklinde polinomsal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 12).

Termoelektrik jeneratör modülün soğuk yüzey sıcaklığı ile termoelektrik jeneratör sisteminin ısıl verimi arasındaki ilişki Şekil 13’te gösterilmektedir.



Şekil 13. Termoelektrik jeneratör modülünün soğuk yüzey sıcaklığı ile termoelektrik jeneratör sisteminin ısıl veriminin değişimi

Şekil 13'te de görüldüğü gibi, termoelektrik jeneratör modülünün soğuk yüzey sıcaklığı azaldıkça termoelektrik jeneratör sisteminin ısı verimi artmaktadır. Yani ısı alıcılardan dış ortama gerçekleşen ısı transferi arttıkça termoelektrik jeneratör sisteminin ısı verimi artmaktadır. Sonuç olarak; turboşarjlı sistemin kompresörü ile ara soğutucusu arasına yerleştirilen termoelektrik jeneratör sisteminin soğuk tarafındaki ısı alıcıların kanat optimizasyonunun, farklı dış ortam sıcaklıklarına göre belirlenmesi, termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel güç miktarındaki artış için önemli olmaktadır. Başka bir ifadeyle, termoelektrik jeneratör sisteminin soğuk yüzeyinden dış ortama verilen ısı miktarındaki artış, termoelektrik jeneratör sisteminin ısı verimindeki artışı önemli ölçüde etkilemektedir. Bu artış ise soğuk tarafın ısı alıcıları ile sağlanmaktadır. Yani dış ortama verilen ısı miktarındaki artış, Termoelektrik modülün soğuk yüzey sıcaklığını etkilemektedir. Termoelektrik jeneratörün ısı verimi de bu modülün soğuk yüzey sıcaklığına bağlıdır ve bu durum Denklem (22)'de de görülmektedir.

6. Sonuçlar

Çalışmada, bir termoelektrik jeneratörün soğuk tarafındaki kanatlı yüzeyden dış ortama verilen maksimum ısı miktarının farklı dış ortam sıcaklıklarına göre değişimi Matlab programı kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre, dış ortam sıcaklığındaki artış ile ısı taşınım katsayısının ve transfer edilen maksimum ısının azaldığı ve her iki durumda da değişimin lineer gerçekleştiği belirlenmiştir. 268 K sıcaklığında gerçekleşen maksimum ısı transferinin 303 K sıcaklığına göre yaklaşık olarak %9.3 artış gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca, kanatlı yüzey veriminin de dış ortam sıcaklığı ile değişimi incelenmiş ve sıcaklık arttıkça kanatlı yüzey veriminin arttığı tespit edilmiştir. Ancak, bu artışın yaklaşık olarak 283 K sıcaklığına kadar gerçekleştiği, $283 K < T_{\infty 2} < 288 K$ aralığında ise azalma eğilimi gösterdiği ve $T_{\infty 2} > 288 K$ için ise tekrar arttığı belirlenmiştir. 303 K sıcaklığındaki kanatlı yüzey veriminin 268 K sıcaklığına göre yaklaşık olarak %1.3 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca termoelektrik jeneratör modülünün soğuk yüzey sıcaklığı azaldıkça termoelektrik jeneratör sisteminin ısı veriminin arttığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmayı 2018FEBE035 numaralı proje kapsamında finansal olarak desteklediği için Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerini sunmaktadırlar.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedirler.

Semboller

A	p- ve n-tipi malzemenin kesit alanı (m^2)
A_t	Toplam kanatlı yüzey alanı (m^2)
A_f	Tek kanatçık alanı (m^2)
b	Kanat yüksekliği (m)
c_p	Özgül ısı kapasitesi (J/kgK)
d	Yoğunluk (kg/m^3)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
I	Elektrik akımı (A)

I_{max}	Maksimum elektrik akımı (A)
k	p- ve n-tipi malzemenin ısı iletim katsayısı (W/mK)
K	Isıl iletkenlik (W/K)
k_{al}	Kanat malzemesinin (alüminyum) ısı iletim katsayısı (W/mK)
k_{air}	Havanın ısı iletim katsayısı (W/mK)
k^*	Etkin ısıl iletkenlik (W/mK)
l	p- ve n-tipi termoelektrik elemanın bacak uzunluğu (m)
L	Isı alıcının uzunluğu (m)
L_c	Akışın karakteristik uzunluğu (m)
n	Termoelektrik jeneratör modülünün termokupl sayısı (p ve n sayısı)
n_f	Kanat sayısı
N_k	Boyutsuz ısıl iletkenlik
N_h	Boyutsuz konveksiyon
N_I	Boyutsuz akım
N_V	Boyutsuz voltaj
P	Basınç (Pa)
Pr	Prandtl sayısı
\dot{Q}_c	Termoelektrik jeneratör modülünden ısı akışı (W)
Q_c^*	Soğuk tarafta boyutsuz ısı transfer hızı
\dot{Q}_h	Termoelektrik jeneratör modülüne ısı akışı (W)
Q_h^*	Sıcak tarafta boyutsuz ısı transfer hızı
q_{top}	Isı alıcının toplam ısı transfer hızı (W)
R	İç elektrik direnci (Ω)
Re	Reynolds sayısı
R_L	Dış yük direnci (Ω)
R_r	Boyutsuz elektrik direnci
t	Kanat kalınlığı (m)
T_c	Termoelektrik jeneratör modülünün soğuk yüzey sıcaklığı (K)
T_c^*	Soğuk tarafta boyutsuz sıcaklık
T_h	Termoelektrik jeneratör modülünün sıcak yüzey sıcaklığı (K)
T_h^*	Sıcak tarafta boyutsuz sıcaklık
$T_{\infty 1}$	Sıcak ortam sıcaklığı (K)
$T_{\infty 2}$	Dış ortam sıcaklığı (K)
T_{∞}^*	Boyutsuz sıcaklık
\bar{T}	Ortalama sıcaklık (K)
T_{Taban}	Isı alıcının taban sıcaklığı (K)
U_{∞}	Hava akış hızı (m/s)
V	Voltaj (V)
w	Isı alıcının genişliği (m)
\dot{W}	Elektriksel güç çıkışı (W)
W^*	Boyutsuz güç çıkışı
\dot{W}_{max}	Maksimum güç çıkışı (W)
Z	Performans katsayısı (1/K)
z	Kanat aralığı (m)
z_{opt}	Optimum kanat aralığı (m)
Z^*	Etkin performans katsayısı (1/K)

Yunan sembolleri

α	Seebeck katsayısı (V/K)
α^*	Etkin Seebeck katsayısı (V/K)

ρ	Elektriksel özdirenç (Ωm)
ρ^*	Etkin elektriksel özdirenç (Ωm)
η	Toplam kanatlı yüzey verimi (%)
η_f	Kanat verimi (%)
η_{th}	Isıl verim (%)
η_{mp}	Maksimum güç verimi (%)
η_c	Carnot çevrimi verimi (%)
η_{max}	Maksimum ısıl verim (%)
ν	Kinematik viskozite (m^2/s)

Alt indisler

c	Soğuk taraf
h	Sıcak taraf
1	Sıcak taraf
2	Soğuk taraf
n	N-tipi termoelektrik eleman
p	P-tipi termoelektrik eleman

Kaynaklar

- [1] Wang Z, Han F, Ji Y, Li W. Redundant energy combination and recovery scheme for dual fuel carriers based on thermoelectric harvesting with a large temperature range. *International Journal of Energy Research* 2020; 1-17. DOI: 10.1002 / er.6324
- [2] He M, Wang E, Zhang Y, Zhang W, Zhang F, Zhao C. Performance analysis of a multilayer thermoelectric generator for exhaust heat recovery of a heavy-duty diesel engine. *Applied Energy* 2020; 274: 115298. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115298
- [3] Luo D, Wang R, Yu W, Ahou, W. A numerical study on the performance of a converging thermoelectric generator system used for waste heat recovery. *Applied Energy* 2020; 270: 115181. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115181
- [4] Ezzitouni S, Fernández-Yáñez P, Sánchez L, Armas, O. Global energy balance in a diesel engine with a thermoelectric generator. *Applied Energy* 2020; 269: 115139. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115139
- [5] Ravi R, Pachamuthu S, Kasinathan P. Computational and experimental investigation on effective utilization of waste heat from diesel engine exhaust using a fin protracted heat exchanger. *Energy* 2020; 200: 117489. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117489
- [6] Pacheco N, Brito FP, Vieira R, Martins J, Barbosa H, Goncalves LM. Compact automotive thermoelectric generator with embedded heat pipes for thermal control. *Energy* 2020; 197: 117154. DOI: 10.1016/j.energy.2020.117154
- [7] Karana DR, Sahoo RR. An experimental study on the thermal behavior of aluminum thermoelectric system integrated with engine exhaust. *Experimental Heat Transfer* 2020; 1730525. DOI: 10.1080/08916152.2020.1730525
- [8] Ramírez R, Gutiérrez AS, Eras JJC, Hernández B, Forero JD. Data supporting the evaluation of the energy recovery potential of thermoelectric generators in diesel engines. *Data in Brief* 2020; 28: 105075. DOI: 10.1016/j.dib.2019.105075
- [9] Sheikh R, Gholampour S, Fallahsohi H, Goodarzi M, Taheri MM, Bagheri M. Improving the efficiency of an exhaust thermoelectric generator based on changes in the baffle distribution of the heat exchanger. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2020. DOI: 10.1007/s10973-019-09253-x

- [10] Sofyan SE, Jalaluddin MK, Bahri S. The performance of thermoelectric exhaust heat recovery system considering different heat source's fin arrangements. *Earth and Environmental Science* 2020; 463: 012022. DOI: 10.1088/1755-1315/463/1/012022
- [11] Abbasi V, Tabar VS. Measurement and evaluation of produced energy by thermoelectric generator in vehicle. *Measurement* 2020; 107035. DOI: 10.1016/j.measurement.2019.107035
- [12] Ramírez R, Gutiérrez AS, Eras JJC, Valencia K, Hernández B, Forero JD. Evaluation of the energy recovery potential of thermoelectric generators in diesel engines. *Journal of Cleaner Production* 2019; 241: 118412. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118412
- [13] Kim TY, Kwak J, Kim B. Application of compact thermoelectric generator to hybrid electric vehicle engine operating under real vehicle operating conditions. *Energy Conversion and Management* 2019; 201: 112150. DOI: 10.1016/j.enconman.2019.112150
- [14] Elzalik M, Rezk H, Mostafa R, Thomas J, Shehata EG. An experimental investigation on electrical performance and characterization of thermoelectric generator. *International Journal of Energy Research* 2019; 1-16. DOI: 10.1002/er.4873
- [15] Najjar YSH, Sallam A. Optimum design, heat transfer and performance analysis for thermoelectric energy recovery from the engine exhaust system. *Journal of Electronic Materials* 2019. DOI: 10.1007/s11664-019-07416-y
- [16] Nonthakarn P, Ekpanyapong M, Nontakaew U, Bohez E. Design and optimization of an integrated turbo - generator and thermoelectric generator for vehicle exhaust electrical energy recovery. *Energies* 2019; 12: 3134. DOI: 10.3390/en12163134
- [17] Kalteh M, Garnejani HA. Investigating the influence of Thomson effect on the performance of a thermoelectric generator in a waste heat recovery system. *International Journal of Green Energy* 2019. DOI: 10.1080/15435075.2019.1642896
- [18] Subramaniam H, Duraisamy S, Raghavan G, Govindan S. Design and development of a test rig for the performance evaluation of automotive exhaust thermoelectric generator. *AIP Advances* 2019. DOI: 10.1063/1.5093587
- [19] Al-Nimr MA, Alajlouni AA. Internal combustion engine waste heat recovery by a thermoelectric generator inserted at combustion chamber walls. *International Journal of Energy Research* 2018; 1-13. DOI: 10.1002/er.4241
- [20] Eddine AN, Chalet D, Faure X, Aixala L, Chessé P. Effect of engine exhaust gas pulsations on the performance of a thermoelectric generator for wasted heat recovery: An experimental and analytical investigation. *Energy* 2018; 162: 715-727. DOI: 10.1016/j.energy.2018.08.065
- [21] Nithyanandam K, Mahajan RL. Evaluation of metal foam based thermoelectric generators for automobile waste heat recovery. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2018; 122: 877-883. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.02.029
- [22] Kim TY, Kwak J, Kim B. Energy harvesting performance of hexagonal shaped thermoelectric generator for passenger vehicle applications: An experimental approach. *Energy Conversion and Management* 2018; 160: 14-21. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.01.032
- [23] Temizer İ, İlkılıç C. The performance and analysis of the thermoelectric generator system used in diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 63: 141-151. DOI: 10.1016/j.rser.2016.04.068
- [24] Topalcı Ü, Gürbüz H, Akçay H, Demirtürk S. Buji ateşlemeli bir motorda egzoz atık ısı geri kazanımı için termoelektrik jeneratör modelinin geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2020; 8: 582-596. DOI: 10.21923/jesd.703886
- [25] Kunt MA, Güneş H. Comparing the recovery performance of different thermoelectric generator modules in an exhaust system of a diesel engine both experimentally and theoretically. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part D-Journal of Automobile Engineering* 2020; 234: 183-190. DOI: 10.1177/0954407019837786
- [26] Kim TY, Negash AA, Cho G. Waste heat recovery of a diesel engine using a thermoelectric generator equipped with customized thermoelectric modules. *Energy Conversion and Management* 2016; 124: 280-286. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.07.013

- [27] Muralidhar N, Himabindu H, Ravikrishna RV. Modeling of a hybrid electric heavy duty vehicle to assess energy recovery using a Thermoelectric Generator. *Energy* 2018; DOI: 10.1016/j.energy.2018.02.023
- [28] Gürcan A. Farklı boyutlarda termoelektrik jeneratör kullanılarak egzoz ısı enerjisinin geri kazanımı. Yüksek Lisans Tezi. Denizli: Pamukkale Üniversitesi; 2019.
- [29] Potur RA. Faz IIIB emisyon standardına cevap veren dizel traktör motorunun tasarımı için gerçek çevrimin matematik modellenmesi ve optimum yanma kanununun belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi; 2009.
- [30] Lee HS. *Thermal Design: Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat Pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells*. Wiley, Hoboken; 2010.
- [31] Lee HS. *Thermoelectrics: Design and Materials*. Wiley, Chichester; 2017.

6'YA 6 TAHTA ÜZERİNDE AT KAPLAMA PROBLEMİNİ ÇÖZMEK İÇİN DENETİMSİZ MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMASI

Serkan Güldal¹

¹Adiyaman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Adiyaman, 02040, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 09.08.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 25.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.980660

ÖZET

Modülerlik, çizgelerden bilgi çıkarmak için, çok kullanılan bir makine öğrenimi algoritmasıdır. Modülerlik, özünde, ele alınan ağı daha küçük kümelerle böler. Oluşturulan kümeler, aynı kümedeki düğümler arasındaki paylaşılan özellikleri vurgular. Bu çalışmada 6×6 at çizgesini modülerlik yöntemiyle analiz ederek 6 At Kaplama Probleminin (6-AKP) çözümlerini elde ettik. Araştırmamız 0,1 ile 2,0 arasındaki çözünürlükler için değişmektedir. Çözünürlük 1,2 için bulunan maksimum modülerlik puanı 0,318'dir. 0,3 ve 0,4 olmak üzere çözünürlükler, tüm çözümleri 8 at ile tanımladı. Ayrıca, 0,2 çözünürlükler için 8 at ve 0,2, 0,3 ve 0,4 çözünürlükler için 9, 10, 11, 12, 13 at ile bazı çözümler elde edilmektedir. Ayrıca, çözünürlük 0,3, 6-AKP çözümlerini bulmak için en verimli çözünürlüktür. Ayrıca, analizlerimiz gösterdi ki 0,2 çözünürlüğü, 6-AKP'nin 195 çözümünü daha fazla çözüm bulmak için en iyi çözünürlüktür. Son olarak, modülerlik yöntemi, 2253 çözüm arasından 0,5 çözünürlük için 61'den, 0,2 çözünürlük için 195'e kadar olan çözümleri çıkarıyor.

Anahtar Kelimeler: At çizgesi, modülerlik, At Kaplama Problemi, Makine öğrenmesi

UNSUPERVISED MACHINE LEARNING ALGORITHM TO SOLVE KNIGHT COVERING PROBLEM FOR 6 BY 6 BOARD

ABSTRACT

Modularity is a well-known method as a machine-learning algorithm to extract information from graphs. The modularity, in essence, divides the considered network into smaller clusters. The extracted clusters highlight the shared properties between the nodes in the same cluster. In the present study, we analyze the 6×6 knight graph by modularity method to obtain 6 Knight Covering Problem (6-KCP) solutions. Our investigation is ranged for the resolutions from 0.1 to 2.0. The maximum modularity score is 0.318 found for resolution 1.2. The resolutions, namely 0.3 and 0.4, identified all solutions, by 8 knights. Moreover, some solutions are obtained by 8 knights for the resolutions 0.2 and by 9, 10, 11, 12, 13 knights for the resolutions 0.2, 0.3, and 0.4. Moreover, resolution 0.3 is the most efficient resolution to find 6-KCP solutions. Also, within our analysis, resolution 0.2 is the best resolution to find more solutions, 195 solutions of 6-KCP. Lastly, the modularity method extracts the solutions from 61, for resolution 0.5, to 195, for resolution 0.2, out of 2253 solutions.

Keywords: Knight graph, modularity, Knight Covering Problem, Machine learning

1. Introduction

The Knight Covering Problem (KCP a.k.a. N-KCP) is an interesting problem for computer scientists since there is no analytical solution. The problem is introduced based on the knights' movements on the chess-board-likes. The uniqueness of knight moves became subject to various researches such as the knight's tour problem [1-5] extended problems [6-8]. image encryption [9-13] and the N-KCP [14-21]. In the N-KCP, the knights are placed on a N×N board in such a way so no knights attack each other and the placed knights cover the board by either occupy or threaten. The N-KCP is an NP-Complete problem with Quadratic Time Complexity: $O(n^2)$. Nevertheless, there are many numerical methods are developed to identify some or all KCP solutions such as the independent set [22, 23] and the Girvan-Newman clustering algorithm [24] of the responding knight graphs of N-KCP. Additionally, modularity algorithm is introduced for 3-KCP [25], 4-KCP [26], and 5-KCP [27]. At present, the knight

¹ e-mail: sguldal@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4247-0786> (Sorumlu Yazar),

graph representation of 6-KCP is introduced and classified by the modularity. The classified graph is analyzed by means of 6-KCP solutions. The details of the analysis are discussed in the following sections.

6-KCP is the problem to place a certain number of knights on 6 by 6 chessboard-like, so every cell is either occupied or threatened. In Figure 1, 2 of the 6-KCP solutions which are found by binary graph method [22] are depicted. The solutions consist of 18 knights on the 6 by 6 boards. The solutions are shown in Figure 1 are rotationally, vertically, and horizontally symmetric solutions. Thus, they represent only 1 unique solution.

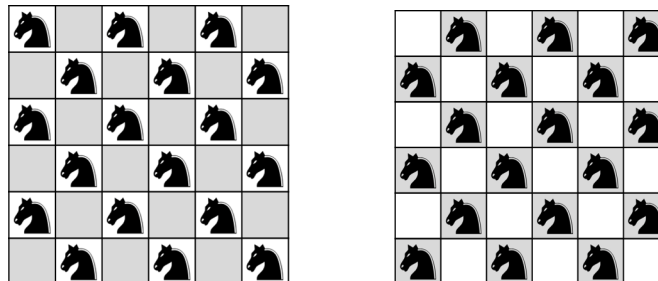
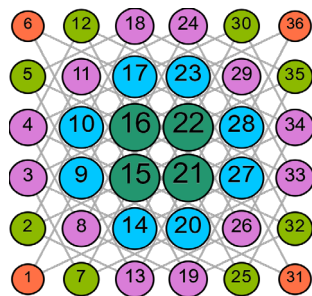


Figure 1. 2 of the 6-KCP solutions by utilizing the binary graph method.

We intend to use the unsupervised clustering algorithm, namely modularity, to solve 6-KCP. Thus, the first step of the algorithm is the conversion of the board (6x6) to the knight graph. Figure 2 shows the particular knight graph in which every node is colored and proportionally sized with respect to the degrees of the nodes. Every cell on the board is represented by a node on the board and is labeled by an index number. To highlight the indexing, the graph is presented in the board layout. The cells on the corners (colored orange) can cover 2 cells. The cells on the edges (colored green) can cover 3 cells, and the cells (colored purple) are next can cover 4 cells. The cells, colored light blue, can cover 6 cells. Lastly, 4 cells (colored dark green) can cover 8 cells. The cells which are covered are reachable by one legal knight move. Hence, the cells in which the knight covers and an extra cell is occupied by the particular knight. To sum up, the graph form of 6-KCP is composed of 36 nodes and 80 edges. The nodes have 2, 3, 4, 6, and 8 degrees. They are distributed from the entire graph by the portion respectively 11.11%, 22.22%, 33.33%, 22.22%, and 11.11%. Every knight and their place on the board is explicitly shown in Figure 3.



Color code	Degree	Number of Nodes	Percentage in the graph (%)
Orange	2	4	11.11
Green	3	8	22.22
Purple	4	12	33.33
Light Blue	6	8	22.22
Dark Green	8	4	11.11

Figure 2. 6-KCP graph is depicted with the nodes that are colored and sized proportionally to the degrees of nodes. Please see Figure 3 for a more detailed view of relations.

The graph analyses provide important information to extract information from data presented in the form of networks such as computational networks [28-30], social networks [31-34], biological networks [35-37], word networks [38-40], infection networks [41, 42]. One of the many analysis methods is clustering which divides the whole network into smaller relational clusters of the nodes. Each cluster presents a relatively stronger relation of included nodes in the same cluster. The clustering algorithms are extensively utilized since it is relatively computationally efficient. There are numerous graph clustering algorithms which are based on different properties of the graph, so they end up with different clusters. For example, the Girvan-Newman algorithm is based on edge betweenness, Highly Connected Clusters utilizes graph connectivity, k-means clustering divides the network by mean value, and Modularity generates modules (a.k.a. clusters) by means of the strength of division of a network. In this study, we investigated 6-KCP by modularity. The modularity algorithm has many advantages such as it is a flexible algorithm by the changing resolution. To increase resolutions divide the network to a greater number of clusters and to decrease the resolution is a lesser number of clusters. The appropriate

resolution can be found based on the intention and the modularity score. Since we intend to provide 6-KCP solutions by modularity application, we changed the resolution from 0.1 to 2.0 which are all meaningful clusters.

2. Unsupervised Machine Learning

Unsupervised machine learning algorithms have a wide range of applications such as image processing [43-45], digital signal processing [46, 47], biomedical research [48], segmentation [49-52]. Likewise, in this study, we have applied the unsupervised learning algorithm, namely modularity. Knight graph for 6×6 board, as shown in Figure 2, is clustered to extract the relational information, so the relational information provides heuristic information in the sense of 6-KCP solution.

There are developed algorithms to solve N-KCP based on knight graphs [22]. In Figure 1, two of the 6-KCP solutions are presented which are found by the binary layout of the graph. Likewise, in this study, we are benefited by graph forms in the search of 6-KCP solutions. Specifically, we use modularity to analyze the 6-KCP graph to find solutions. The considered analysis method divides the 6-KCP network into densely connected smaller clusters. The clustered nodes present a stronger relationship between the knights. Thus, this heuristic highlights the knights which are less likely to be in the same solution. The details of the modularity method and the solution algorithm is introduced in the following sections.

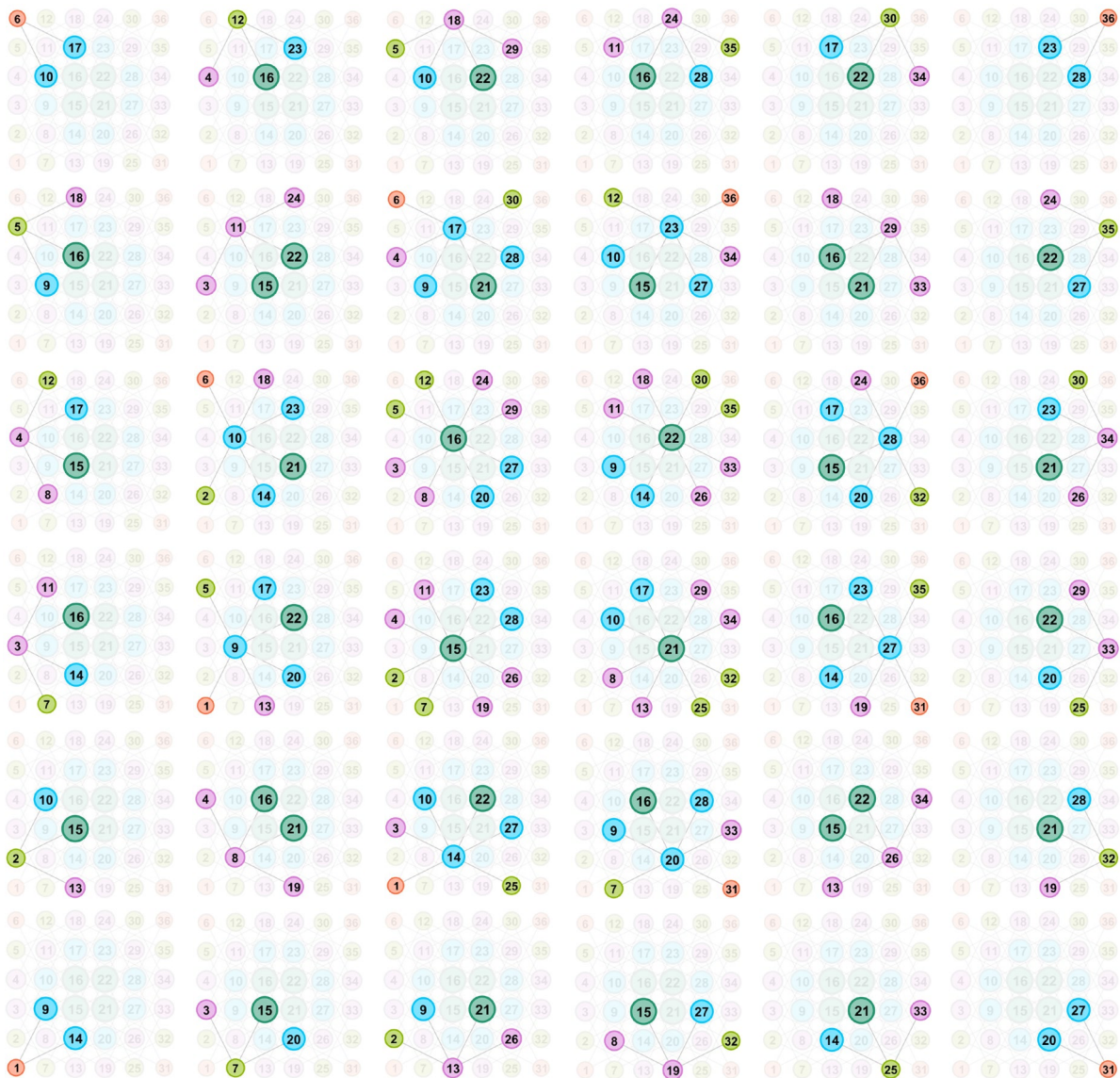


Figure 3. 6-KCP has 36 cells to place a knight. Each cell is represented by a node, and they are connected to the nodes which they can cover

3. Modularity

We used the modularity to identify the closely related knights for the 6-KCP. The modularity score is calculated by various formulas. The formula which we utilized is as follows [53, 54]

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i,j} \left(A_{ij} - \gamma \frac{k_i k_j}{2m} \right) \delta(c_i, c_j) \quad (1)$$

where m stands for the number of edges in the graph. A_{ij} represents the weights of the edge between nodes i and j . γ is the resolution parameter. δ -function is 1 if $c_i = c_j$; in other words, node i and j are in the same cluster and 0 otherwise. k_i is the degree of node i and k_j is the degree of node j .

Throughout our analysis, we used the Gephi [55-57], and the resolutions are limited from 0.1 to 2.0 which is defined specific to the 6-KCP graph. The analysis and implementation results will be given in the Results and Discussion section.

4. Results and Discussion

The investigated relational information of the 6-KCP graph by modularity score extracted communities from 1 to 16 with respect to the changing modularity resolution.

The modularity identifies the strong relationships between nodes. However, the 6-KCP solutions are to place the knight which should have weak/no relations in the same solution. Thus, the extracted clusters reveal the list of positions that are the least likely to be in the same solutions.

In Figure 5, modularity results on 6-KCP (for resolution = 0.1 – 2.0) graphs are presented. The resolutions 1.9 and 2.0 is extracted 1 cluster in 6-KCP graph as shown in Figure 5.s and t. Thus, in the generated possible solutions from the graphs, there is no two nodes could be included simultaneously in a solution, so no solution is identified. In Figure 5.o, p, q, and r, 2 clusters are generated by modularity with the resolutions 1.5, 1.6, 1.7, and 1.8 respectively. Likewise, 2 nodes (a.k.a. 2 knights) solutions do not exist for 6-KCP. Likewise, modularity application for resolution 1.4 cannot generate 6-KCP solutions since there is only 3 clusters. For the resolution = 1.1, 1.2 and 1.3, in Figure 5.k, l, and m, the 6-KCP graph is divided into 4 clusters which leads to no solutions. For resolutions = 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 6-KCP graph is divided to 6 cluster with different topology therefore no solution generated. The resolution is 0.6 extracts 6 clusters again which is not sufficient for 6-KCP solutions. The resolution 0.5 divides 12 clusters, so 61 solutions are identified. Resolution 0.4 leads to 80 solutions with length 8, 9, 10, 11, and 12. The resolution 0.3 is found the solutions for changing lengths from 8 and 13, and the total number of solutions are 185. The resolution 0.2 results with 2 solutions with length 8 and 13, also, 6, 36, 48, 101 solutions with length 9,10, 11, 12 respectively. In summary, the modularity mostly covers the solutions with length from 8 to 13. The relation with the number of clusters and found solutions are summarized in Figure 10.

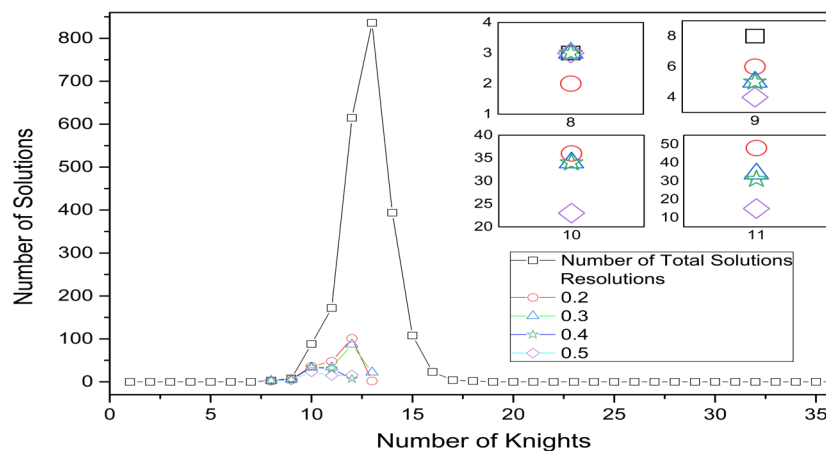


Figure 4. (Color Online) Black empty squares show the number of total solutions by the specified number of knights. The red circle, upside blue triangle, and downside triangle show the number of found solutions for the resolutions 0.2, 0.3, and 0.4 respectively.

The modularity identifies some solutions of 6-KCP. Figure 7 presents the number of solutions vs the number of required knights. The found solutions are limited to length 8 and 13. While resolution 0.2 has the highest capacity for the solution places more knights on the board such as 11 and 12, resolution 0.5 finds less number of solutions such as 9, 10, and 11.

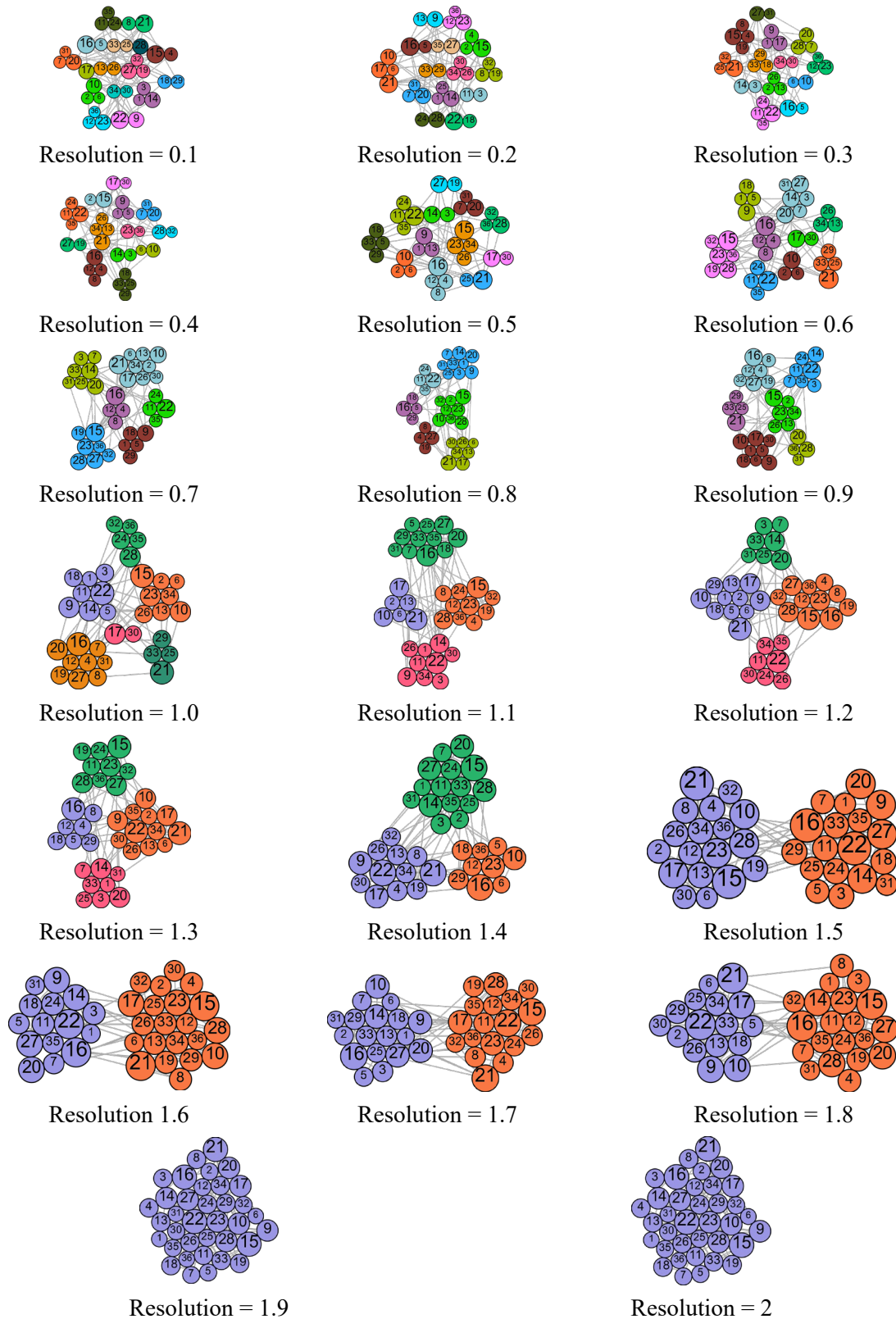


Figure 5. The modularity method is applied to 6-KCP graph for various resolutions from 0.1 to 2.0

The applied modularities for the resolutions between 0.1 to 2.0 clustered the 6-KCP graph. In Figure 6, the increasing resolutions divide the network into smaller numbers of clusters. However, the modularity score does not follow any particular trend. The maximum modularity score is 0.318 for the resolution 1.2, so the best clusters in the sense of modularity algorithm. The investigations show the increasing number of clusters more likely to find 6-KCP solutions (See Figure 4 and Figure 7). The modularity score as a quality measurement shows no explicit correlation with the number of found solutions for the same resolutions as shown in Figure 6. The highest modularity score is 0.318 (for resolution 1.2). Thus, clustering for 1.2 presents the best sub-communities by means of modularity.

In Figure 7, the number of generated permutations is compared with the number of identified solutions for the resolution between 0.1 and 1.2. Although communities are identified, no solutions are obtained for the resolutions 1.2-1.8. The resolution 0.1 leads to 107495424 permutations which is beyond our computational capability. The resolutions 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, and 0.6 generates 44789760, 24883200, 21870000, 12960000, and 1470000 permutations respectively. These permutations are ended with several solutions such as 195, 185, 80, 61 respectively. The relational information is depicted in computational efficiency (See Figure 8).

The number of generated permutations has a strong correlation with the identified solutions. Thus, the computational efficiency of the particular resolution shows the efficiency of this correlation. The computational efficiency of a resolution is defined in equation 2 and presented with changing resolution in Figure 8. The computational efficiency is formulated as:

$$\text{Efficiency of the cluster} = \frac{\text{Number of found solutions} * 100}{\text{Number of permutations}} \quad (2)$$

Resolution 0.2 introduces the best clustering by means of 6-KCP, 195 solutions. However, it is not computationally efficient (4.35367×10^{-4}) because it is one of the resolutions which generate the highest number of permutations. The most computationally efficient resolution is 0.3 by 7.43474×10^{-4} . It finds 185 solutions by 24883200 permutations. Thus, resolution 1.0 extracts relatively more meaningful clusters for solution identification of 6-KCP.

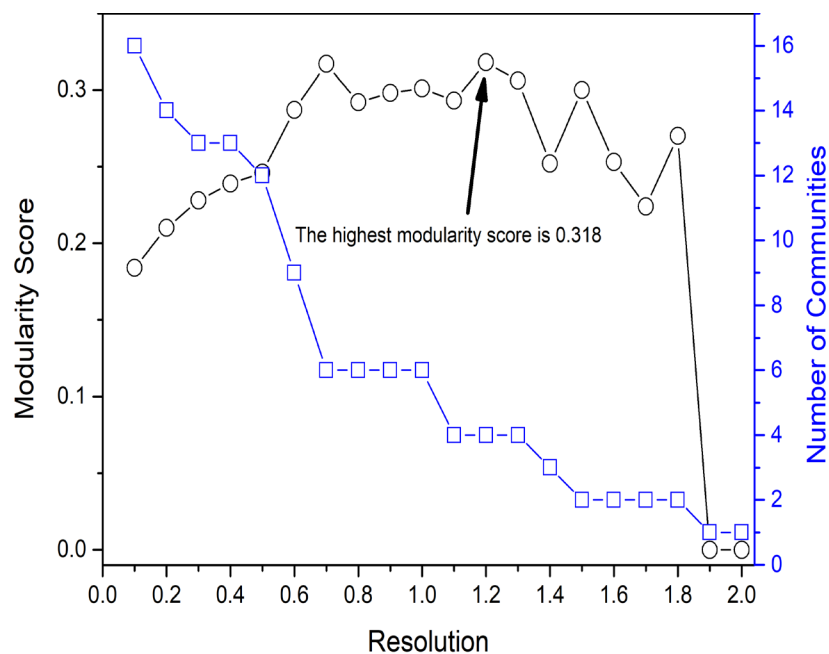


Figure 6. (Color online) While the resolution increase causes to the lower number of communities for 6-KCP graph, the modularity score does not follow a particular pattern

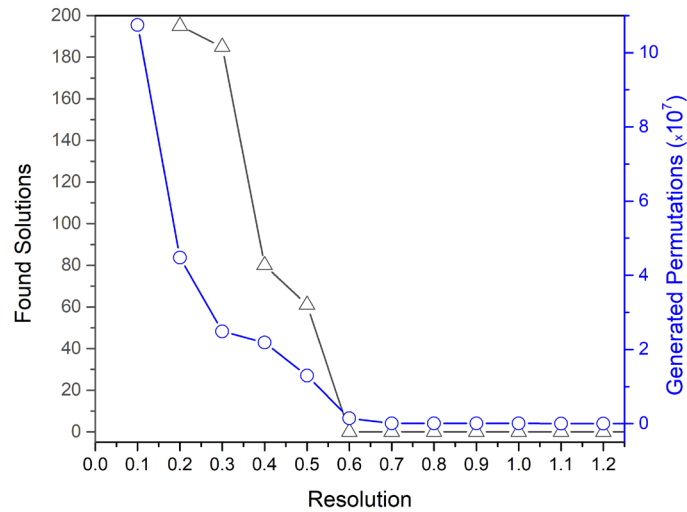


Figure 7. (Color online) The number of found solutions are strongly related to the number of permutations.

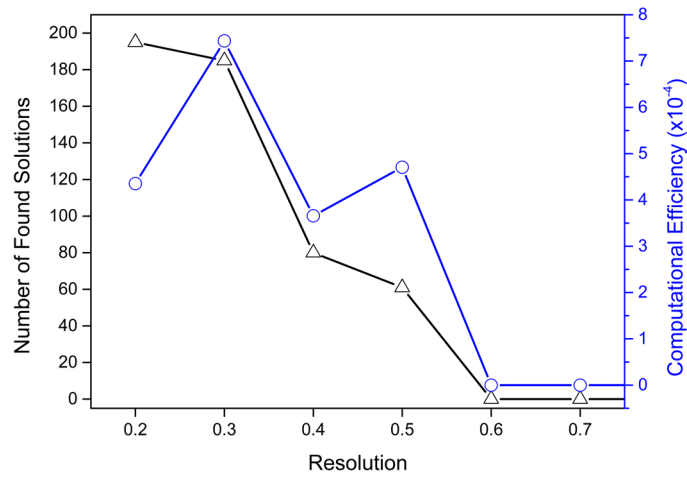


Figure 8. (Color online) Resolution 0.3 has the highest computational efficiency concerning the other resolutions. However, the highest number of solutions, namely 195, is obtained by resolution 0.2 which is considerably computationally less efficient. Our analysis does not include resolution 0.1.

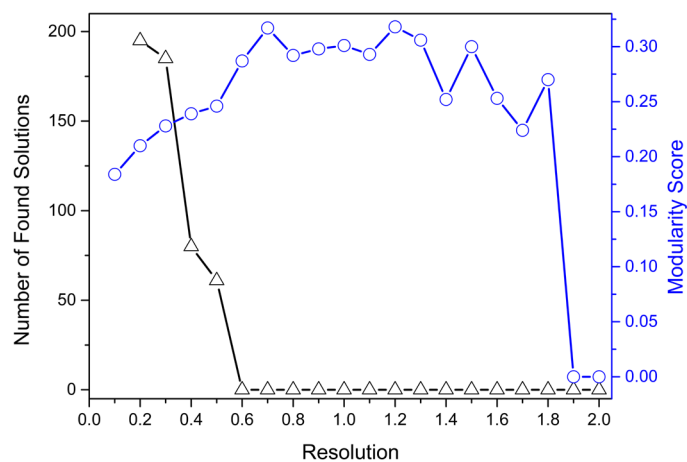


Figure 9. (Color online) Modularity score has no explicit relation with the number of found solutions for the 6-KCP graph in the application of modularity algorithm

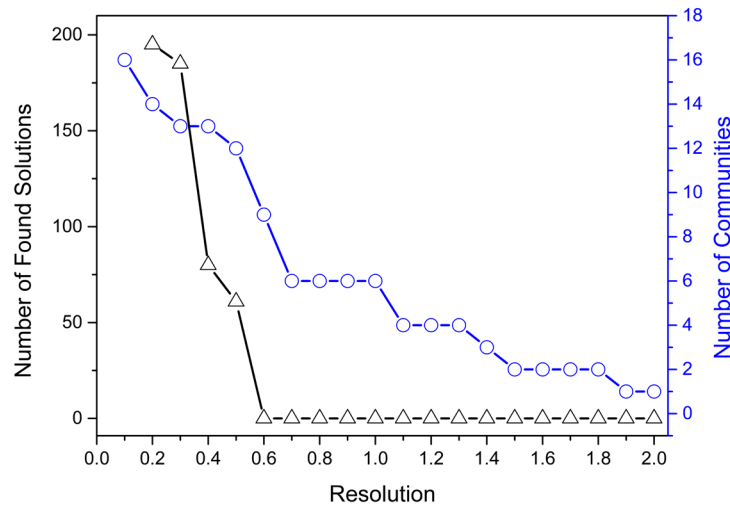


Figure 10. The number of communities increases up to reach a threshold and then it starts to identify the 6-KCP solution.

5. Conclusion

In this study, we have applied an unsupervised learning algorithm namely the Modularity on 6-KCP. The analyses show resolution 0.3 is the computationally efficient resolution to find some solutions of 6-KCP. Moreover, the analysis shows resolution 0.2 is the best resolution to find some solutions of 6-KCP. The maximum modularity score is 0.318 found for resolution 1.2. Moreover, resolution 0.2 is the best resolution to find more solutions of 6-KCP. However, no solution is identified for that particular resolution. Lastly, modularity extracts the solutions from 61 to 195 out of 2253 solutions.

Acknowledgment

The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] S. Bai, G. Zhu, and J. Huang, "An Intelligent Algorithm for the (1,2,2)-Generalized Knight's Tour Problem," in *2013 Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security*, 14-15 Dec. 2013 2013, pp. 583-588, doi: 10.1109/CIS.2013.129.
- [2] H. Jian and B. Sen, "An Efficient Algorithm for the Generalized (1,k)-Knight's Tours Problem," in *2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science*, 7-8 March 2009 2009, vol. 1, pp. 697-701, doi: 10.1109/ETCS.2009.161.
- [3] P. Hingston and G. Kendall, *Ant Colonies Discover Knight's Tours*. 2004, pp. 1213-1218.
- [4] S. Bai, X. Liao, X. Qu, and Y. Liu, "Generalized Knight's Tour Problem and Its Solutions Algorithm," in *2006 International Conference on Computational Intelligence and Security*, 3-6 Nov. 2006 2006, vol. 1, pp. 570-573, doi: 10.1109/ICCIAS.2006.294200.
- [5] I. Parberry, "An Efficient Algorithm for the Knight's Tour Problem," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 73, pp. 251-260, 03/01 1997, doi: 10.1016/S0166-218X(96)00010-8.
- [6] J. Demaio and B. Mathew, "Which Chessboards have a Closed Knight's Tour within the Rectangular Prism?," *Electr. J. Comb.*, vol. 18, 01/05 2011, doi: 10.37236/495.
- [7] A. Kumar, "Non-crossing Knight's Tour in 3-Dimension," 03/29 2008.
- [8] P. Aliquippa and Pennsylvania, "Thematic Knight's Tour Quotes " 06/29 2020.
- [9] A. Philip, "A Generalized Pseudo-Knight's Tour Algorithm for Encryption of an Image," *IEEE Potentials*, vol. 32, no. 6, pp. 10-16, 2013, doi: 10.1109/MPOT.2012.2219651.
- [10] J. Kumar and S. Nirmala, "Securing the contents of document images using knight moves and genetic approach," in *2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 10-13 Aug. 2015 2015, pp. 1091-1095, doi: 10.1109/ICACCI.2015.7275755.
- [11] J. Delei, B. Sen, and D. Wenming, "An Image Encryption Algorithm Based on Knight's Tour and Slip Encryption-Filter," in *2008 International Conference on Computer Science and*

- Software Engineering*, 12-14 Dec. 2008 2008, vol. 1, pp. 251-255, doi: 10.1109/CSSE.2008.1142.
- [12] M. Singh, A. Kakkar, and M. Singh, "Image Encryption Scheme Based on Knight's Tour Problem," *Procedia Computer Science*, vol. 70, pp. 245-250, 12/31 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.10.081.
- [13] Q. B. Hou, X. F. Yang, Y. S. Wang, and X. S. Huang, "An image scrambling algorithm based on wavelet transform and Knight's tour," vol. 41, pp. 369-375, 02/01 2004.
- [14] D. C. Fisher, "On the $n \times n$ Knight Cover Problem," *Ars Comb.*, vol. 69, / 2003.
- [15] F. Rubin, "Improved Knight Coverings," *Ars Combinatoria*, vol. 69, / 2003.
- [16] F. Rubin, "Knight Covers for the 50x50 Chessboard," presented at the Mathfest 2004, Providence RI, 2004.
- [17] F. Rubin, "A Family of Efficient Knight Covering Patterns," *Journal of Recreational Mathematics*, Article vol. 33, no. 3, pp. 165-175, 2005.
- [18] F. Rubin, "An Improved Method for Finding Knight Covers," *Ars Combinatoria*, vol. 82, / 2007.
- [19] B. Lemaire, "Knights Covers on $N \times N$ Chessboards," *J. Recr. Math.*, vol. 31, pp. 87-99, 2003.
- [20] A. H. Jackson and R. P. Pargas, "Solutions to the $N \times N$ Knights Covering Problem," *Journal of Recreational Mathematics* vol. 23, pp. 255-267, 1991.
- [21] F. Wei, "Research on Knight Covering Based on Breadth First Search Algorithm," (in English), *Applied Mechanic and Materials*, vol. 686, pp. 377-380, 2014.
- [22] S. Güldal, M. Lipscomb, and M. M. Tanik, "Solving Knights Covering Problem: Backtracking, Permutation, Bipartite Graph, and Independent Set," presented at the Nineteenth Annual Early Career Technical Conference, Birmingham, Alabama USA, 2019.
- [23] S. Güldal, M. M. Tanik, and M. M. Lipscomb, "Solving Knights Covering Problem by a Hybrid Algorithm," presented at the IEEE SouthEastConn, Huntsville, Alabama, April 11 - 14 2019.
- [24] S. Güldal, "Connectives of Knights Covering Problem By Girvan-Newman Clustering," presented at the SDPS 2019 Workshop, Madrid, Spain, November 25-26 2019, 2019.
- [25] S. Güldal, "Unsupervised Machine Learning Algorithms to Find 3-KCP Solution: Modularity, Clique Percolation, Spectral, Centrality, and Hierarchical Clustering," 8, 2021, doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/adyumbd/927555>.
- [26] S. Güldal, "4x4 Knight's Graph Analysis by Modularity A Knight Graph Application," 16, 2021, doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjst/710151>.
- [27] S. Güldal, "Identification of Knights' Relations for 5x5 Knight Graph by Modularity," 7, 2021, doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/adyumbd/792772>.
- [28] "Analysis of the Application of Artificial Intelligence in Computer Networks Technology," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 750, p. 012097, 03/24 2020, doi: 10.1088/1757-899X/750/1/012097.
- [29] C. Engström and S. Silvestrov, "PageRank for networks, graphs, and Markov chains," *Theory of Probability and Mathematical Statistics*, vol. 96, p. 1, 10/05 2018, doi: 10.1090/tpms/1034.
- [30] Y. L. Karpov, I. Volkova, A. A. Vylitok, L. Karpov, and Y. G. Smetanin, "Designing classes' interfaces for neural network graph model," *Proceedings of the Institute for System Programming of RAS*, vol. 31, pp. 97-112, 10/01 2019, doi: 10.15514/ISPRAS-2019-31(4)-6.
- [31] M. Gençer, "Sosyal Ağ Analizi Yöntemlerine Bir Bakış," *Yildiz Social Science Review*, vol. 3, pp. 19-34, 12/15 2017.
- [32] P. Nerurkar, M. Chandane, and S. Bhirud, "Understanding attribute and social circle correlation in social networks," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 27, pp. 1228-1242, 03/22 2019, doi: 10.3906/elk-1806-91.
- [33] N. Almolhem, Y. Rahal, and M. Dakkak, "Social network analysis in Telecom data," *Journal of Big Data*, vol. 6, 12/01 2019, doi: 10.1186/s40537-019-0264-6.
- [34] M. E. J. Newman, "Modularity and community structure in networks," vol. 103, no. 23, pp. 8577-8582, 2006, doi: 10.1073/pnas.0601602103 %J Proceedings of the National Academy of Sciences.
- [35] K. Kugler, L. Mueller, A. Graber, and M. Dehmer, "Integrative Network Biology: Graph Prototyping for Co-Expression Cancer Networks," *PloS one*, vol. 6, p. e22843, 07/29 2011, doi: 10.1371/journal.pone.0022843.

- [36] B. Eckman and P. Brown, "Graph data management for molecular and cell biology," *IBM Journal of Research and Development*, vol. 50, pp. 545-560, 12/01 2006, doi: 10.1147/rd.506.0545.
- [37] V. Gadiyaram, S. Vishveshwara, and S. Vishveshwara, *From Quantum Chemistry to Networks in Biology: A Graph Spectral Approach to Protein Structure Analyses*. 2019.
- [38] L. Johnsen, "Graph Analysis of Word Networks," <http://ceur-ws.org/Vol-2021/>, vol. 2021, 01/01 2017.
- [39] E. Hasanah and D. Agustini, *Analysis of "Halal" Word in Social Media Using Text Mining and Word Networking*. 2020.
- [40] R. Ozcelik, G. Uludoğan, S. Parlar, Ö. Bakay, O. Ergelen, and O. Yildiz, *User Interface for Turkish Word Network KeNet*. 2019, pp. 1-4.
- [41] S. Valverde, B. Vidiella Rocamora, R. Montañez Martínez, A. Fraile, S. Sacristán, and F. García-Arenal, "Coexistence of nestedness and modularity in host-pathogen infection networks," *Nature Ecology & Evolution*, pp. 1-10, 03/09 2020, doi: 10.1038/s41559-020-1130-9.
- [42] T. Shiino, "Phylogenetic analysis of a viral infection network," *Frontiers in microbiology*, vol. 3, p. 278, 07/31 2012, doi: 10.3389/fmicb.2012.00278.
- [43] Q. Fan, J. Yang, D. Wipf, B. Chen, and X. Tong, "Image smoothing via unsupervised learning," vol. 37, no. 6 %J ACM Trans. Graph., p. Article 259, 2018, doi: 10.1145/3272127.3275081.
- [44] Y. Zheng, X. Li, and X. Lu, "Unsupervised Learning of Human Action Categories in Still Images with Deep Representations," vol. 15, no. 4 %J ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl., p. Article 112, 2019, doi: 10.1145/3362161.
- [45] A. Hart, "Using Neural Networks for Classification Tasks – Some Experiments on Datasets and Practical Advice," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 43, no. 3, pp. 215-226, 1992/03/01 1992, doi: 10.1057/jors.1992.31.
- [46] R. Marxer and H. Purwins, "Unsupervised incremental online learning and prediction of musical audio signals," vol. 24, no. 5 %J IEEE/ACM Trans. Audio, Speech and Lang. Proc., pp. 863–874, 2016, doi: 10.1109/taslp.2016.2530409.
- [47] F. Saki, N. Kehtarnavaz, F. Saki, and N. Kehtarnavaz, "Real-Time Unsupervised Classification of Environmental Noise Signals," vol. 25, no. 8 %J IEEE/ACM Trans. Audio, Speech and Lang. Proc., pp. 1657–1667, 2017, doi: 10.1109/taslp.2017.2711059.
- [48] J. E. Vogt, "Unsupervised structure detection in biomedical data," vol. 12, no. 4 %J IEEE/ACM Trans. Comput. Biol. Bioinformatics, pp. 753–760, 2015, doi: 10.1109/tcbb.2015.2394408.
- [49] J. G. Dy and C. E. Brodley, "Feature Selection for Unsupervised Learning," vol. 5, pp. 845–889, 2004.
- [50] H. Hammarström and L. Borin, "Unsupervised learning of morphology," vol. 37, no. 2 %J Comput. Linguist., pp. 309–350, 2011, doi: 10.1162/COLI_a_00050.
- [51] M. Creutz and K. Lagus, "Unsupervised models for morpheme segmentation and morphology learning," vol. 4, no. 1 %J ACM Trans. Speech Lang. Process., p. Article 3, 2007, doi: 10.1145/1187415.1187418.
- [52] S. Küçükpetek, F. Polat, and H. Oğuztüzün, "Multilevel graph partitioning: an evolutionary approach," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 56, no. 5, pp. 549-562, 2005/05/01 2005, doi: 10.1057/palgrave.jors.2601837.
- [53] M. E. J. Newman, "Analysis of weighted networks," *Physical Review E*, vol. 70, no. 5, p. 056131, 11/24/ 2004, doi: 10.1103/PhysRevE.70.056131.
- [54] V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, and E. Lefebvre, "Fast unfolding of communities in large networks," vol. 2008, p. 10008, October 01, 2008 2008, doi: 10.1088/1742-5468/2008/10/p10008.
- [55] M. Bastian, S. Heymann, and M. Jacomy, "Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks," in *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, 2009.
- [56] V. D. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte, E. J. J. o. s. m. t. Lefebvre, and experiment, "Fast unfolding of communities in large networks," vol. 2008, no. 10, p. P10008, 2008.
- [57] R. Lambiotte, J.-C. Delvenne, and M. J. a. p. a. Barahona, "Laplacian dynamics and multiscale modular structure in networks," 2008.

For the resolution 0.4

13,14,17,18,19,20,23,24
 4,6,13,14,18,20,23,24,30,32
 4,6,13,14,18,20,24,30,32,36
 4,6,13,14,18,19,20,23,24,30
 4,6,13,14,18,19,20,24,30,36
 8,13,14,17,18,20,23,24,32
 6,8,13,14,18,20,23,24,30,32
 6,12,13,14,18,19,20,24,30,36
 2,14,17,18,19,20,23,24,26
 2,4,6,14,18,20,24,32,34,36
 2,4,6,14,18,20,23,24,26,30,32
 2,4,6,14,18,20,24,26,30,32,36
 2,4,6,14,18,19,20,24,34,36
 2,8,14,17,18,20,23,24,26,32
 2,6,8,14,18,20,23,24,26,30,32
 2,12,14,17,18,19,20,24,26,36
 2,12,14,17,18,19,20,24,34,36
 2,6,12,14,18,19,20,24,34,36
 6,12,14,15,18,20,21,24,30,36
 6,12,14,15,18,20,21,30,35,36
 1,6,15,16,21,22,31,36
 1,10,13,15,16,25,30,31,32,35,36
 1,10,13,15,16,30,31,32,33,35,36
 1,3,6,12,15,18,20,21,24,27,30,36
 1,3,6,12,15,18,20,21,30,35,36
 5,13,14,17,19,20,23,24,29
 4,5,6,13,14,20,23,24,29,30,32
 4,5,6,13,14,20,24,29,30,32,36
 4,5,6,13,14,19,20,23,24,29,30
 4,5,6,13,14,19,20,24,29,30,36
 5,6,8,13,14,20,23,24,29,30,32
 5,8,13,14,17,20,23,24,29,32
 5,6,12,13,14,19,20,24,29,30,36
 2,5,14,17,19,20,23,24,26,29
 2,4,5,6,14,20,24,29,32,34,36
 2,4,5,6,14,20,23,24,26,29,30,32
 2,4,5,6,14,20,24,26,29,30,32,36
 2,4,5,6,14,19,20,24,29,34,36
 2,4,5,6,14,19,20,23,24,26,29,30
 2,4,5,6,14,19,20,24,26,29,30,36
 2,5,8,14,17,20,23,24,26,29,32
 2,5,6,8,14,20,23,24,26,29,30,32
 2,5,12,14,17,19,20,24,26,29,36
 2,5,12,14,17,19,20,24,29,34,36
 2,5,6,12,14,19,20,24,29,34,36
 2,5,6,12,14,19,20,24,26,29,30,36
 5,6,12,14,15,21,24,30,31,33,36
 5,6,12,14,15,21,30,31,33,35,36
 5,6,12,14,15,20,21,24,30,36
 5,6,12,14,15,20,21,30,35,36
 4,7,9,10,11,27,28,33,34
 4,7,9,10,11,27,32,33,34,36
 4,7,9,10,11,26,27,28,30,33
 4,7,9,10,11,26,27,30,32,33,36
 4,7,9,10,24,27,32,33,34,36
 4,7,9,10,24,26,27,30,32,33,36
 9,10,15,16,25,31,32,34,35,36
 9,10,15,16,31,32,33,34,35,36
 9,10,15,16,25,30,31,32,35,36
 9,10,15,16,30,31,32,33,35,36
 3,4,9,10,27,28,33,34
 3,4,9,10,26,27,28,30,33
 3,4,9,10,24,27,32,33,34,36
 3,4,9,10,24,26,27,30,32,33,36
 3,4,9,10,24,31,32,33,34,36
 3,4,9,10,24,26,30,31,32,33,36
 3,4,9,10,19,24,31,33,34,36
 3,4,9,10,19,24,26,30,31,33,36
 3,4,9,10,31,32,33,34,35,36
 3,4,9,10,26,30,31,32,33,35,36
 3,4,9,10,19,31,33,34,35,36
 3,4,9,10,19,28,31,33,34,35
 3,4,9,10,19,26,30,31,33,35,36
 3,4,9,10,19,26,28,30,31,33,35
 3,9,10,12,19,24,31,33,34,36
 3,9,10,12,19,24,26,30,31,33,36
 3,9,10,12,19,31,33,34,35,36
 3,9,10,12,19,28,31,33,34,35
 3,9,10,12,19,26,30,31,33,35,36
 3,9,10,12,19,26,28,30,31,33,35

For the resolution 0.5

13,14,17,18,19,20,23,24
 3,4,9,10,27,28,33,34
 1,6,15,16,21,22,31,36
 8,13,14,17,18,20,23,24,32
 4,7,9,10,11,27,28,33,34
 3,4,9,10,26,27,28,30,33
 3,4,9,10,25,27,28,29,34
 12,13,14,17,18,19,20,24,34,36
 2,12,14,17,18,19,20,24,34,36
 2,12,14,17,18,19,20,24,26,36
 4,6,13,14,18,19,20,24,34,36
 6,12,13,14,18,19,20,24,34,36
 6,8,13,14,18,20,23,24,30,32
 4,6,13,14,18,20,23,24,30,32
 4,6,13,14,18,19,20,23,24,30
 4,6,13,14,18,19,20,24,30,36
 6,12,14,15,18,20,21,24,30,36
 6,12,13,14,18,19,20,24,30,36
 6,12,14,15,18,20,21,30,35,36
 5,6,12,14,15,20,21,30,35,36
 5,6,12,14,15,20,21,24,30,36
 3,4,9,10,19,24,31,33,34,36
 3,9,10,12,19,24,31,33,34,36
 3,4,9,10,19,28,31,33,34,35
 3,9,10,12,19,31,33,34,35,36
 3,4,9,10,19,31,33,34,35,36
 4,7,9,10,11,26,27,28,30,33
 3,4,9,10,25,26,27,28,29,30
 4,7,9,10,11,25,27,28,29,34
 3,4,9,10,19,24,26,30,31,33,36
 3,4,9,10,19,26,30,31,33,35,36
 3,4,9,10,19,26,28,30,31,33,35
 3,9,10,12,19,24,26,30,31,33,36
 3,9,10,12,19,26,30,31,33,35,36
 3,9,10,12,19,26,28,30,31,33,35
 3,4,9,10,19,24,25,29,31,34,36
 3,4,9,10,19,25,29,31,34,35,36
 3,4,9,10,19,25,28,29,31,34,35
 4,7,9,10,11,25,26,27,28,29,30
 3,9,10,12,19,24,25,29,31,34,36
 3,9,10,12,19,25,29,31,34,35,36
 3,9,10,12,19,25,28,29,31,34,35
 1,3,6,12,15,18,20,21,30,35,36
 1,3,5,6,12,15,20,21,30,35,36
 3,4,9,10,19,24,25,26,29,30,31,36
 3,4,9,10,19,25,26,29,30,31,35,36
 3,4,9,10,19,25,26,28,29,30,31,35
 3,9,10,12,19,24,25,26,29,30,31,36
 3,9,10,12,19,25,26,29,30,31,35,36
 3,9,10,12,19,25,26,28,29,30,31,35
 1,2,3,12,17,18,19,20,25,34,35,36
 1,2,3,12,17,18,19,20,24,25,34,36
 1,2,3,12,17,18,19,25,31,34,35,36
 1,2,3,12,17,18,19,24,25,31,34,36
 1,2,3,12,17,18,19,20,25,26,35,36
 1,2,3,12,17,18,19,20,24,25,26,36
 1,2,3,12,17,18,19,25,26,31,35,36
 1,2,3,12,17,18,19,24,25,26,31,36
 1,3,6,12,15,18,20,21,24,27,30,36
 1,3,5,6,12,15,20,21,24,27,30,36

FARKLI BATIKLIK ORANLARINA SAHİP BATIK HİDROLİK SİÇRAMANIN SAYISAL MODELLEMESİ

Oğuz ŞİMŞEK^{1*}, Mehmet KÖSEN², Veysel GÜMÜŞ³

^{1,2,3}Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, 63050, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 26.08.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 06.11.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.987338

ÖZET

Hidrolik sıçrama, akımın sahip olduğu enerjinin büyük miktarının sönmüldüğü ve aşırı türbülansın oluştuğu oldukça karmaşık akım problemidir. Bu çalışmada, farklı akım durumlarında kayar kapak mansabında oluşan batmış hidrolik sıçramanın sayısal modellemesi yapılmıştır. ANSYS- Fluent programı kullanılarak akımı idare eden temel denklemlerin sayısal olarak çözümünde, türbülans viskozitesinin hesap edilmesinde Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) tabanlı Reynolds Gerilme Modeli (Reynolds Strees Model-RSM) ve su- hava arakesitinin belirlenmesinde ise Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluids) kullanılmıştır. Q6 durumunun sayısal modellemesinden elde edilen hız profilleri, deneysel hız profilleriyle karşılaştırılmıştır. Farklı batıklık oranlarına sahip batmış hidrolik sıçramanın sayısal modellemesi sonucunda, meydana gelen hidrolik sıçrama ve geri dönüş bölgesi uzunlukları ve hız alanında meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Bunun yanında, hidrolik sıçramada meydana gelen sınır tabakası kalınlığı farklı akım durumlarında incelenmiştir. Çalışma sonucunda, sayısal modelleme tekniklerinin, farklı batıklık oranlarında oluşan hidrolik sıçramanın sayısal modellemesinde oldukça başarılı olduğu ve deneysel çalışmalara kıyasla akımla ilgili detaylı bilgi sunma avantajından dolayı su yapılarının tasarımında tercih edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batık hidrolik sıçrama, Batıklık oranı, Sayısal modelleme, Reynolds gerilme modeli

NUMERICAL MODELING OF SUBMERGED HYDRAULIC JUMP WITH DIFFERENT SUBMERGENCE RATES

ABSTRACT

Hydraulic jump is a highly complex flow problem in which a large amount of the energy is absorbed, and turbulence occurs in the flow. In this study, the numerical modelling of the submerged hydraulic jump occurring in the downstream sluice gate in different flow conditions is performed. The basic equations governing the flow are solved with ANSYS-Fluent program. In numerical solution of the basic equations, Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) based Reynolds Stress Model (RSM) is used to calculate turbulent viscosity and Volume of Fluid (VOF) method is used to determine the flow-air intersection. The velocity profiles obtained from the numerical modeling of the Q6 state were compared with the experimental velocity profiles. As a result of the numerical modeling of the submerged hydraulic jump with different submergence ratios, the lengths of the hydraulic jump and roller zone and the changes in the velocity field were evaluated. Besides, boundary layer development occurring in hydraulic jump has been investigated in different flow conditions. As a result of the study, it has been determined that numerical modeling techniques are quite successful in numerical modeling of hydraulic jump occurring at different submergence rates and can be used safely due to the advantage of providing very detailed information about flow compared to experimental studies.

Keywords: Submerged hydraulic jump, Submergence rate, Numerical modelling, Reynolds stress model

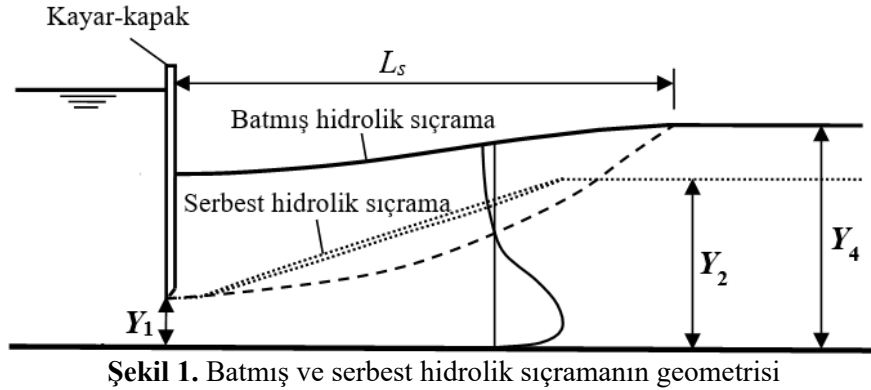
* e-mail: ¹ oguzsimsek@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6324-0229> (Sorumlu Yazar)

² mhntksn5147@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3076-2746>

³ gumus@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2321-9526>

1. Giriş

Barajlar, su kaynaklarından hidroelektrik enerjisi, sulama ve içme suyu temini gibi çeşitli amaçlar için inşa edilen hidrolik yapılardır. Baraj yapısının elemanlarından olan baraj gövdesi; akarsu yatağı tamamen kapatılarak su akışını engelleyerek akımın baraj rezervuarında depolanmasını sağlamak üzere inşa edilir iken, barajın güvenliğini sağlayan dolusavaklar taşkın anında veya baraj haznesinde depolama kapasitesinden fazla gelen suyun mambadan mansaba aktarılmasında kullanılmaktadır. Dolusavakla, memba bölgesinden mansaba savaklanan su, memba ve mansap arasındaki kot farkından dolayı dolusavak topuk noktasında aşırı hıza sahip olmaktadır. Yüksek hızla mansap bölgesindeki yatağa ulaşan akım, topuk bölgesinde oyulmalara ve aşınmalara neden olarak baraj dolusavak yapısının stabilizesini riske etmektedir. Bu olumsuz durumların yaşanmaması için akımın enerjisinin sönmülmesi (nehir rejimine dönüşmesi) gerekmektedir. En etkili enerji sönmülme yolu, akımın enerji kırıcı tesis içerisinde hidrolik sıçrama sürecinden geçmesini sağlamaktır. Buradan da görüleceği üzere hidrolik sıçramanın oluşması için enerji kırıcı yapıların tasarımı oldukça önemlidir. Dolusavak mansap bölgesinde enerji kırıcı tesislerin yanında, açık kanal akımlarında su seviyesini ve akımı kontrol etmek üzere inşa edilen kayar kapakların mansap su derinliğinin fazla olması durumunda akımın enerjisinin bir miktarını korumak için akım hidrolik sıçrama gerçekleştirmek zorunda kalmaktadır. Hidrolik sıçrama sürecinde akım içerisine fazla miktarda hava karışmakta ve türbülans oluşmaktadır. Hidrolik sıçrama, mansap bölgesindeki akım derinliğine bağlı olarak batık veya serbest hidrolik sıçrama olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 1). Mansap su derinliğinin, hidrolik sıçrama sonrası oluşan eşlenik derinlikten büyük olması durumunda, sıçrama kapak veya dolusavak şüt kanalına ulaşmakta ve enerji sönmülme miktarının, sıçrama ve geri dönüş bölgesi uzunluğunun serbest hidrolik sıçramaya kıyasla daha az olduğu batık hidrolik sıçrama oluşmaktadır. Mansap su derinliğinin, hidrolik sıçrama sonrası su derinliğinden (Y_2) eşit veya bu derinlikten daha küçük olması durumunda ise serbest hidrolik sıçrama oluşmaktadır. Şekilde bulunan, Y_1 kapak açıklığı (hidrolik sıçrama öncesi akım derinliğini), Y_2 serbest sıçrama halinde mansap derinliğini ve Y_4 batmış sıçramanın mansap derinliğini ifade etmektedir.



Şekil 1. Batmış ve serbest hidrolik sıçramanın geometrisi

Hidrolik sıçrama karmaşık akım yapısına sahip olmasından dolayı birçok araştırmaya konu olmuş ve yapılan çalışmalarda hidrolik sıçrama sürecinde meydana gelen enerji kayıpları, hidrolik sıçrama uzunluğu ve türbülans karakteristikleri, deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır [1-6]. Bunun yanında, son yıllarda elektronik cihazlarda ve bilgisayar yazılımlarında meydana gelen gelişmelerle beraber birçok alanda sayısal modelleme tekniklerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Hidrolik alanında da basit ve karmaşık akım problemlerinin çözümünde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yöntemlerine dayalı sayısal modelleme programlarının kullanımı artmıştır. Ma ve ark. [7] farklı akım durumunda oluşan batık hidrolik sıçramanın türbülans özelliklerini, Standart k- ϵ (SKE) modeli aracılığıyla sayısal olarak incelenmiştir. Su hava ara yüzünün belirlenmesinde VOF yöntemi kullanılmıştır. Sayısal modellemelerden, 3.2 ile 8.2 arasında değişen Froude sayılarında ve 0.24 ile 0.85 arasında değişen

batıklık oranlarına sahip akımlar için serbest yüzü profilleri, hidrodinamik basınçlar, ortalama hızlar, türbülans şiddeti, kayma gerilmeleri, maksimum yatay hızlar ve kanal yatağı boyunca sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Sayısal modelleme sonuçları mevcut deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Sayısal modellemenin batık hidrolik sıçramanın hem makroskopik yapısı hem de türbülanslı yapısı hakkında yeterince güvenilir bilgi sağladığı tespit edilmiştir. Javan ve Eghbalzadeh [8], hidrolik sıçramanın hareketini Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerini zamana bağlı sayısal olarak çözmüşlerdir. Türbülans viskozitesinin sayısal modellemesinde SKE modeli, serbest yüzeyin modellenmesi için ise Lagrangian hareketli ızgara yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen modelde kinematik serbest yüzey sınır koşulu, momentum ve süreklilik denklemleri ile eş zamanlı olarak çözümlenerek, çözümün bir parçası olarak hız ve basınç alanlarıyla birlikte su yüksekliği elde edilebilmiştir. Froude sayısının 3.2 ile 8.2 arasında değiştiği ve batıklık oranının 0.24 ile 0.85 arasında değiştiği akım durumları için sayısal modelleme gerçekleştirilmiştir. Sayısal model sonuçlarının deneysel ölçümlerle yapılan karşılaştırmalarından, sayısal modelin çeşitli istasyonlarda hız alanını, serbest yüzeyin değişimini, maksimum hızı, Reynolds kayma gerilmelerini ve normal gerilmeleri oldukça makul doğrulukla modellenebileceği belirlenmiştir. Ahmed ve ark. [9], aralıklı üçgen şerit oluklu yatağın batık hidrolik sıçramanın özellikleri üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırılmışlardır. Hem düz hem de pürüzlü yatak durumunda, Froude sayısının 1.68 ile 9.29 arasında değiştiği farklı akım koşullarında çok sayıda ölçüm yapılmışlardır. Çalışma sonucunda, üçgen oluklu şeritle kontrol altına alınan hidrolik sıçramanın sıralı derinliğinin ve sıçrama uzunluğunun sırasıyla %15.14 ve %21.03 ortalama değerlerinde azaldığını, buna karşın sıçrama veriminin, klasik bir sıçramaya kıyasla optimum aralıklı pürüzlülükte %50.31 arttığı doğrulanmıştır. Ayrıca, sıçrama özelliklerini tahmin etmek için boyutsuz ilişkiler çıkarılmış ve elde edilen sonuçların literatürde mevcut çalışmalarla [10-17] uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Shekari ve ark. [18], batık hidrolik sıçramanın akış alanını deneysel ve sayısal olarak üç boyutlu incelemişlerdir. Sayısal modellemelerde akımı idare eden temel denklemlerin çözümde türbülans modeli olarak Standart k-ε (SKE), Re-Normalization Group k-ε (RNG), Relazible k-ε (RKE) ve Reynolds-Gerilme Modeli (RSM), su hava ara kesitinin belirlenmesinde ise Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluids-VOF) kullanılmıştır. Sayısal ve deneysel model sonuçlarının karşılaştırılmasından batık hidrolik sıçramanın akım özelliklerinin ve serbest su yüzünün uyumlu olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, su yüzünün belirlenmesinde RNG modeli en başarılı olurken, tam gelişmiş bir bölgenin kanal yatağının yakınında RSM modeli kullanılan diğer türbülans modellerine göre deneysel hız profilleriyle daha uyumlu olduğu belirtilmiştir. Gümüş ve ark. [19], kayar kapak mansabında oluşan batık hidrolik sıçramanın su yüzü profilini farklı akım durumlarında deneysel ve sayısal modellemişlerdir. Sayısal modellemede temel denklemlerin çözümünde SKE, RNG ve RKE modellerini, su yüzünün belirlenmesinde ise VOF yöntemini kullanmışlardır. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılmasından, RNG modelinin akım ve batmış hidrolik sıçramanın özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan diğer modellere kıyasla daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Gümüş ve ark. [20], iki farklı debi durumunda kayar kapak mansabında batmış hidrolik sıçramanın özelliklerini ve hız alanını deneysel ve beş farklı türbülans modeli kullanılarak sayısal modellemişlerdir. Sayısal modellemelerde hesaplama ağının sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemek için ağ yakınsama indeksi yöntemini, su yüzünün belirlenmesinde ise akışkan hacimleri yöntemi kullanılmıştır. Deneysel ve sayısal olarak elde edilen hız alanının karşılaştırılmasından, RSM modelinin kullanılan diğer türbülans modellerine kıyasla daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Gümüş ve ark. [20], tarafından iki farklı batıklık oranına sahip akım durumları için laboratuvar ortamında gerçekleştirilen fiziksel ve sayısal modelin 4 farklı batıklık oranlarında iki boyutlu sayısal modellemesi yapılmıştır. Akımı idare eden süreklilik ve momentum denklemleri, ANSYS- Fluent paket programı yardımıyla sayısal olarak çözülmüştür. Su yüzü profilinin sayısal olarak belirlenmesinde Akışkan Hacimleri Yöntemi ve türbülans viskozitesinin sayısal modellenmesinde ise Gümüş ve ark. [20] tarafından farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal model sonuçlarının deneysel verilerle daha uyumlu tahminde bulunduğu belirlenen RSM modeli kullanılmıştır. Farklı batıklık oranlarında RSM modeli kullanılarak sayısal olarak elde edilen hız profilleri, dinamik basınç, batık sıçrama özellikleri, Reynolds gerilmelerinin ve türbülans kinetik enerjisinin desenleri değerlendirilmiştir.

2. Deneysel Çalışma

Deneyler, Gümüş ve ark. [20] tarafından Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 2). Deneylerin gerçekleştirildiği kanalın uzunluğu 2.4 m, genişliği ve derinliği 0.20 m ve dikdörtgen prizması şeklindedir. Açık kanalın tabanı ve yan yüzeyleri camdan imal edilmiş ve hidrolik açıdan cilalı olarak tanımlanmaktadır. Laboratuvar kanalında su kapalı çevrim sistem ile aktarılmakta sürekli olarak sisteme yeniden su takviyesi gerekmemektedir. Gümüş ve ark. [20] tarafından laboratuvar ortamında kapak açıklığının 4 cm olduğu durumlarda kayar kapak mansabında oluşan batmış hidrolik sıçramayı deneysel ve sayısal olarak modellemiştir.



Şekil 2. Deneysel düzeneği [20]

Hidrolik sıçramanın karakteristik özelliklerinden,

$$\text{Batma faktörü: } S = \frac{Y_4 - Y_2}{Y_2}$$

$$\text{Serbest sıçramanın ikinci derinliği: } Y_2 = \frac{1}{2} Y_1 (\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1)$$

$$\text{Ampirik elde edilmiş batık hidrolik sıçramanın uzunluğu: } L_s = Y_2(4.9S + 6.1)$$

ifadesi ile verilmiştir [21].

Bu çalışmada, sayısal modellemesi yapılan akım durumlarına ait akım ve hidrolik sıçrama karakteristikleri Çizelge 1’de verilmiştir. Burada, Q akım debisini, Y_1 kayar kapak açıklığını, V kapak altı kesitinde elde edilen akım hızını, Fr_1 kapak altında elde edilen Froude sayısını, Y_2 teorik olarak elde edilen serbest hidrolik sıçrama eşlenik derinliğini, Y_4 ise sayısal modellemelerden elde edilen batmış hidrolik sıçrama mansap derinliğini temsil etmektedir. Çizelgede verilen değerlerden, akım debisinin artmasıyla V , Y_2 , Y_4 ve L_s değerleri artarken, batıklık oranının ise azaldığı görülmektedir. Batık hidrolik sıçrama mansap su derinliğinin (Y_4), serbest hidrolik sıçrama eşlenik derinliğinden (Y_2)’den büyük

olduğu görülmektedir. Bu akım şartları altında batık hidrolik sıçramanın meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 1. Sayısal modellemesi akım ve hidrolik sıçrama özellikleri.

Durum	Q (lt/s)	Y ₁ (m)	V (m/s)	Fr ₁	Y ₂ (m)	Y ₄ (m)	L _s (m)	S
1	4	0.04	0.500	0.798	0.029	0.111	0.577	2.761
2	5	0.04	0.625	0.998	0.040	0.112	0.595	1.801
3	6	0.04	0.750	1.197	0.051	0.124	0.668	1.450
4	7	0.04	0.875	1.397	0.062	0.129	0.706	1.097

3. Sayısal Modelleme

Bu çalışmada, içerisinde batık hidrolik sıçrama oluşan açık kanal akımı; zamana ve yere göre bağlı, iki-boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı ve serbest yüzeyle akım özelliklerine sahiptir. Bu akım türünün hareketini yöneten temel denklemler süreklilik ve momentum denklemleri olup aşağıda Denklem 1, 2 ve 3'te sırasıyla verilmiştir.

Kütlenin korunumu:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Momentumun korunumu denkleminin x doğrultusundaki bileşeni:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) = \rho X - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \quad (2)$$

Momentumun korunumu denkleminin y doğrultusundaki bileşeni:

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) = \rho Y - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemlerde bulunan \bar{u} ve \bar{v} sırasıyla x ve y doğrultusundaki zamansal ortalama hız bileşenini, X ve Y sırasıyla x ve y doğrultusunda birim kütleyle gelen kütleli kuvvet bileşenini, \bar{p} zamansal ortalama basıncı, μ dinamik viskoziteyi, ρ akışkan yoğunluğunu ve τ_{xx} , τ_{xy} ve τ_{yy} türbülans (Reynolds) gerilmelerini ifade etmektedir.

Yukarıdaki denklemlerde bulunan bilinmeyenler incelendiğinde sayılarının altı olduğu, buna karşılık çözümde kullanılacak denklem adetinin üç olduğu görülmektedir. Bu haliyle bilinmeyenlerin bu denklemler yardımıyla çözümü mümkün olmamaktadır. Bu noktada sayısal modellemelerde denklem takımının çözülerek bilinmeyenler belirlenmesi için momentum denkleminde bulunan Reynolds gerilmelerinin çözümünün, türbülans modelleri kullanılarak yapılması gerekmektedir. Doğrusal bünye denklemleri kullanılarak, türbülans kayma gerilmeleri, sıkışmayan akımlar için Boussinesq'in türbülans viskozitesi yaklaşımına göre aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\tau_{xx} = -\overline{\rho u'v'} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} \rho k \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = -\overline{\rho u'v'} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \quad (5)$$

$$\tau_{yy} = -\overline{\rho v'v'} = \mu_t \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} \rho k \quad (6)$$

u' yatay doğrultudaki türbülans hız sapıncını ve v' düşey doğrultudaki türbülans hız sapıncını, μ_t türbülans viskozitesini ve k ($= \overline{u'u'}/2$) türbülans kinetik enerjisini temsil etmektedir.

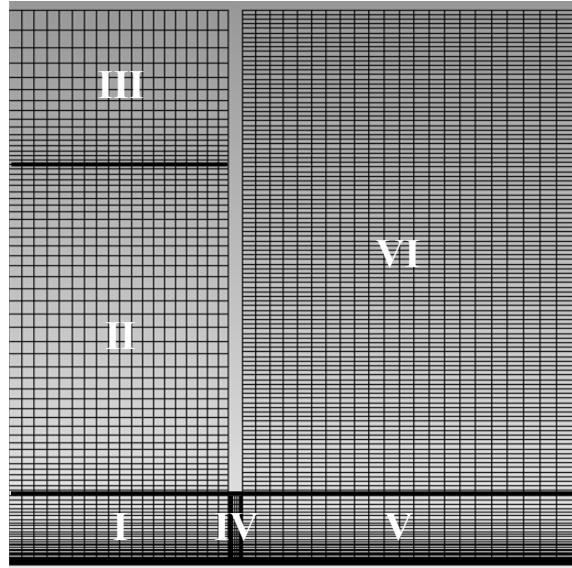
Farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen türbülans viskozitesinin hesaplanmasında, akımın farklı özelliklerini kullanan türbülans modelleri önerilmiştir [22]. Bu modellerde, türbülans viskozitesinin tanımlanmasında türbülans kinetik enerjisi (k), türbülans kinetik enerji kayıp miktarının (ϵ), türbülans kinetik enerjinin özgül kayıp oranı (ω) gibi parametrelerin kullanıldığı, bazı türbülans modellerinin ise Reynolds gerilmelerini doğrudan hesap ettiği görülmektedir. Reynolds gerilmelerini doğrudan hesaplama özelliğine sahip olan RSM modelinin bu özelliğinden dolayı ikinci mertebeli türbülans modeli olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, bu modeli geliştirenler tarafından akımda ayrılmaların bulunduğu, ikincil akımların mevcut olduğu ve akım çizgilerinin eğrisel bir yapıya sahip olduğu akım türlerinde diğer türbülans modellerine kıyasla üstünlüklere sahip olduğu belirtilmiştir [23-25]. Yapılan literatür araştırmasından, RSM türbülans modelinin batık hidrolik sıçramanın bulunduğu açık kanal akımlarının ve dolusavak üzerinden geçen akımın sayısal modellemesinde başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçtan, RSM modeli bu çalışmada batık hidrolik sıçramanın sayısal modellemesinde kullanılmıştır.

Yapılan sayısal modellemelerden, akımda sürekliliğinin 20 sn.'lik hesaplama süresinde sağlandığı belirlenmiş olup, bu süreden sonra 10 sn.'lik çözümler yapılarak akım karakteristiklerinin ortalaması alınmıştır. Böylelikle, toplamda 30 sn.'lik sayısal modelleme süresi belirlenmiştir. İterasyon adımının büyüklüğü kullanılan paket program tarafından Courant sayısı, $C_n \leq 2$ olacak şekilde belirlenmiştir. Hesaplama adımlarında hesaplama hassasiyeti 0.00001 olarak belirlenmiştir. Değerin bu kadar yakınsamaması durumunda ise her bir iterasyon adımında program tarafından maksimum 10 iterasyon yapılmıştır.

Sayısal modellemelerde türbülans viskozitesinin hesap edilmesinin yanında diğer bir problem ise iki farklı akışkanın arakesitinin net olarak belirlenmesidir. Akışkan Hacimleri Yöntemi, bu problemin çözümünde farklı araştırmacılar tarafından oldukça sık tercih edilmiş ve başarılı olduğu belirlenmiştir [26]. Bu yöntemde, hesaplama ağının doluluk oranını ifade eden bir "F" fonksiyonu tanımlanarak, bu "F" fonksiyonu iki veya daha fazla akışkan türlerinin hesaplama ağının doldurduğu oranda sıfır ile bir arasında değer almaktadır. Eğer iki farklı akışkandan birisi su diğeri hava ise, hesaplama ağının su ile dolu olması durumunda "F" bir değerini, hava ile dolu ise "F" sıfır değerini almaktadır. Bu çalışmada da su hava arakesitinin belirlenmesinde Akışkan hacimleri yöntemi kullanılmıştır.

Sayısal modelleme sonuçları etki eden bir diğer parametre ise hesaplama ağı tasarımıdır. Sayısal model sonuçlarının hesaplama ağından bağımsız olup olmadığının kontrolünde Ağ Yakınsama İndeksi araştırmacılar tarafından oldukça sık kullanılan bir yöntemdir [27-28]. Bu yöntemde, 3 farklı yoğunlukta hesaplama ağı tasarımı gerçekleştirilmektedir. Bu hesaplama ağları arasında, akım ile ilgili parametrelerin hesaplama ağlarındaki değişimi değerlendirilerek, ağ yapısının çözümler üzerindeki etkisinin olup olmadığı belirlenmektedir. Gümüş ve ark. [20] tarafından yapılan değerlendirme sonucunda, kullanılan ağ yapısının sayısal model sonuçları üzerinde etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada da sayısal modellemelerde Şekil 3'te verilen ve Gümüş ve ark. [20] tarafından kullanılan

hesaplama ağı kullanılmıştır. Hesaplama ağının dikdörtgen elemanlardan oluşturulması için çözüm bölgesi 6 alt bölgeye ayrılmıştır. Çözüm bölgesinin tamamında toplam 26700 adet eleman bulunmaktadır.



Şekil 3. Hesaplama ağı tasarımı ve alt bölgeler [20]

4. Bulgular ve Tartışma

Teorik ve sayısal model sonucunda elde edilen batık hidrolik sıçrama özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Teorik ve sayısal olarak elde edilen hidrolik sıçrama uzunluklarının arasındaki farkın %10’dan küçük olduğu ve genel olarak birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Sayısal olarak elde edilen hidrolik sıçrama geri dönüş bölgesi uzunluğunun debi değerinin artmasına paralel olarak azaldığı, hidrolik sıçrama uzunluğunun hem teorik hem de sayısal sonuçlardan arttığı söylenebilir.

Çizelge 2. Teorik ve sayısal olarak elde edilmiş hidrolik sıçrama özellikleri

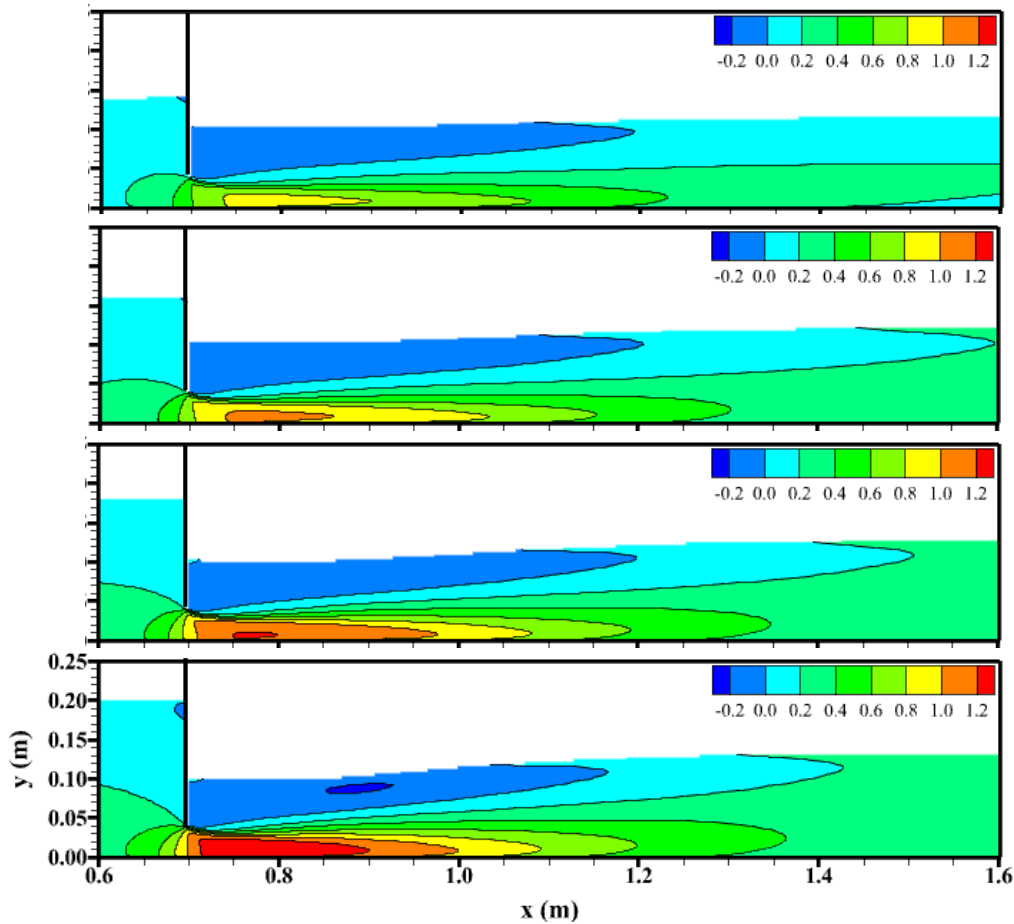
Durum	Y ₄ (m)	Teorik		Sayısal	
		L _s (m)	S	L _s (m)	L _r (m)
1 (Q ₄)	0.111	0.577	2.761	0.523	0.500
2 (Q ₅)	0.112	0.595	1.801	0.614	0.495
3 (Q ₆)	0.124	0.668	1.450	0.621	0.490
4 (Q ₇)	0.129	0.706	1.097	0.634	0.455

Şekil 4’te farklı akım durumlarında sayısal modelleme sonucunda elde edilen x doğrultusundaki hız bileşenine (u) ait ortalaması alınmış desenler verilmiştir. Şekil 4’den görüleceği üzere, kapağın memba bölgesinde akım alanı üzerindeki etkisinin bulunduğu, bu bölgede eğri yörüngeli yapıda olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu etkilenme bölgesinin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Çizelge 2’de belirtilen akım koşullarında, kapağın hemen mansap bölgesinde Durum 1’de maksimum hızın 0.8-1.0 m/s aralığında, Durum 2’de ise 1.0-1.2 m/s aralığında, Durum 3’te ise 1.2 m/s’den daha büyük hızların oluştuğu şekillerden açıkça söylenebilir. Ayrıca, Durum 4’te 1.2 m/s’den daha büyük hız değerinin oluştuğu bölgenin Durum 3’ten daha büyük olduğu belirlenmiştir. Tüm akım durumlarında, kapak mansap bölgesinde negatif hızlar oluşmakta ve sadece Durum 4’te kapak memba bölgesinde

debinin artışına bağlı olarak negatif hızların oluştuğu ve kapak mansap bölgesinde diğer durumlara kıyasla bu durumda daha büyük negatif hızların oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 2. Teorik ve sayısal olarak elde edilmiş hidrolik sıçrama özellikleri

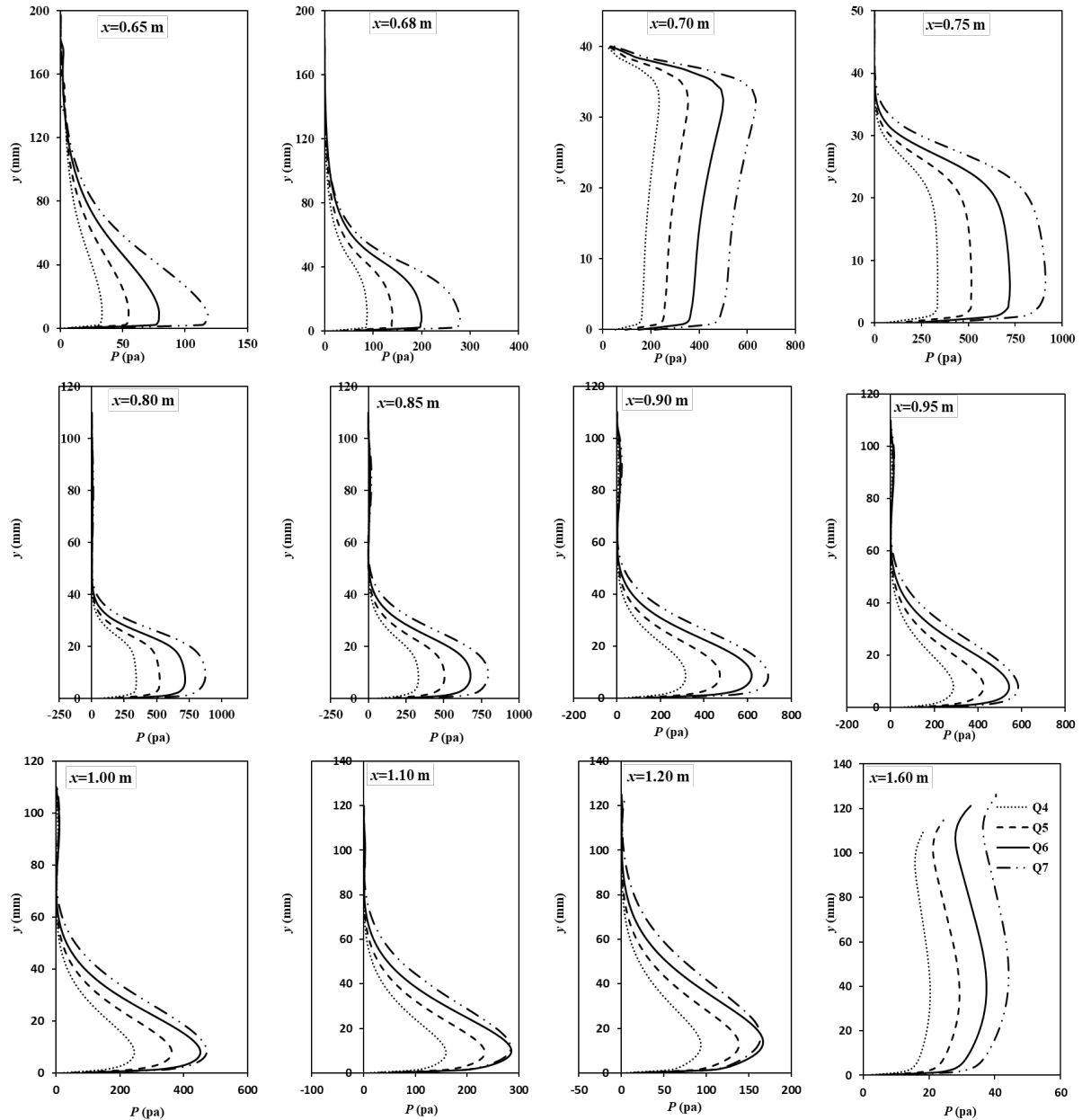
Durum	Y ₄ (m)	Teorik		Sayısal	
		L _s (m)	S	L _s (m)	L _r (m)
1 (Q ₄)	0.111	0.577	2.761	0.523	0.500
2 (Q ₅)	0.112	0.595	1.801	0.614	0.495
3 (Q ₆)	0.124	0.668	1.450	0.621	0.490
4 (Q ₇)	0.129	0.706	1.097	0.634	0.455



Şekil 4. Farklı akım durumlarında x doğrultusundaki ortalama hız bileşeni desenleri

Farklı akım durumlarında RSM modeli kullanılarak farklı kesitlerde sayısal olarak elde edilen dinamik basınç değerlerinin değişimleri Şekil 5'te verilmiştir. Ele alınan kesitlerde en büyük dinamik basınç değerinin debinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Kapak memba bölgesinde $x=0.65$ ve 0.68 m kesitlerinde, $y=4$ cm'de akımın kapak altından geçtiği bölgede dinamik basınç değerinin bu yükseklikten itibaren azalma eğilime sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca, bu kesitlerde akım üzerinde kapak etkisinin artmasıyla birlikte kapağa yaklaştıkça oluşan dinamik basınç değeri artarak kapak altı kesitinde ($x=70$ cm) yaklaşık 4 kat arttığı belirlenmiştir. Kapak altı kesitinde akım derinliğinin

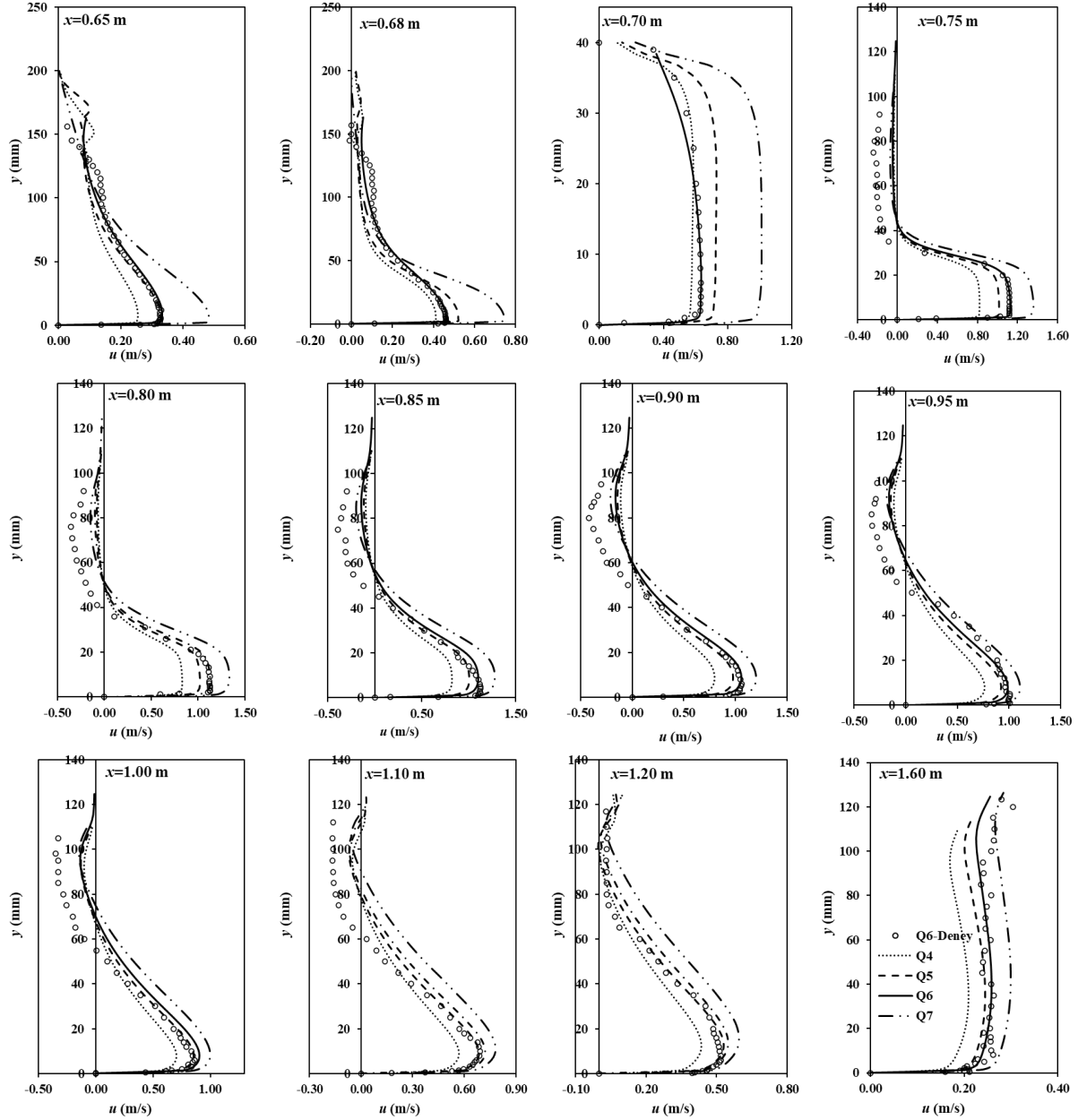
artmasıyla, bu kesitte elde edilen dinamik basınç değerleri artmıştır. Durum 1 ve 4 arasında bu kesitte yaklaşık olarak 4 kat fark söz konusudur. Kapak mansap bölgesinde ($x=75-95$ cm) elde edilen dinamik basınç değerlerinin, kapak memba bölgesinden daha büyük olduğu söylenebilir.



Şekil 5. Farklı akım durumlarında elde edilen dinamik basınç değerleri

Şekil 6'da, Q6 durumunda deneysel ve farklı akım durumlarında RSM modeli kullanılarak sayısal olarak farklı kesitlerde elde edilen yatay hız bileşenin akım derinliği boyunca değişimi verilmiştir. Kapak memba bölgesinde elde edilen hız profillerinden akımın kapak altına geçiş bölgesinde ($y=4$ cm) büyük hızlara sahip olduğu görülmektedir. Akım kesit alanının daraldığı kapak altı bölgesinde ve kapak mansap bölgesinde ($x=0.7-1.10$ m) kanal tabanı üzerinde oldukça büyük değerlerinin oluştuğu ve debinin artmasıyla maksimum hız değerlerinin büyüdüğü söylenebilir. Kapak mansabında batık hidrolik sıçramanın oluştuğu kesitlerde, akım derinliğinin $y=4$ cm'den büyük olduğu derinliklerde negatif hız değerleri oluşmaktadır. Debinin artmasıyla, kanal tabanına yakın bölgede oluşan jet akımında görülen farklılığın, negatif hızların oluştuğu bölgede daha az olduğu belirlenmiştir.

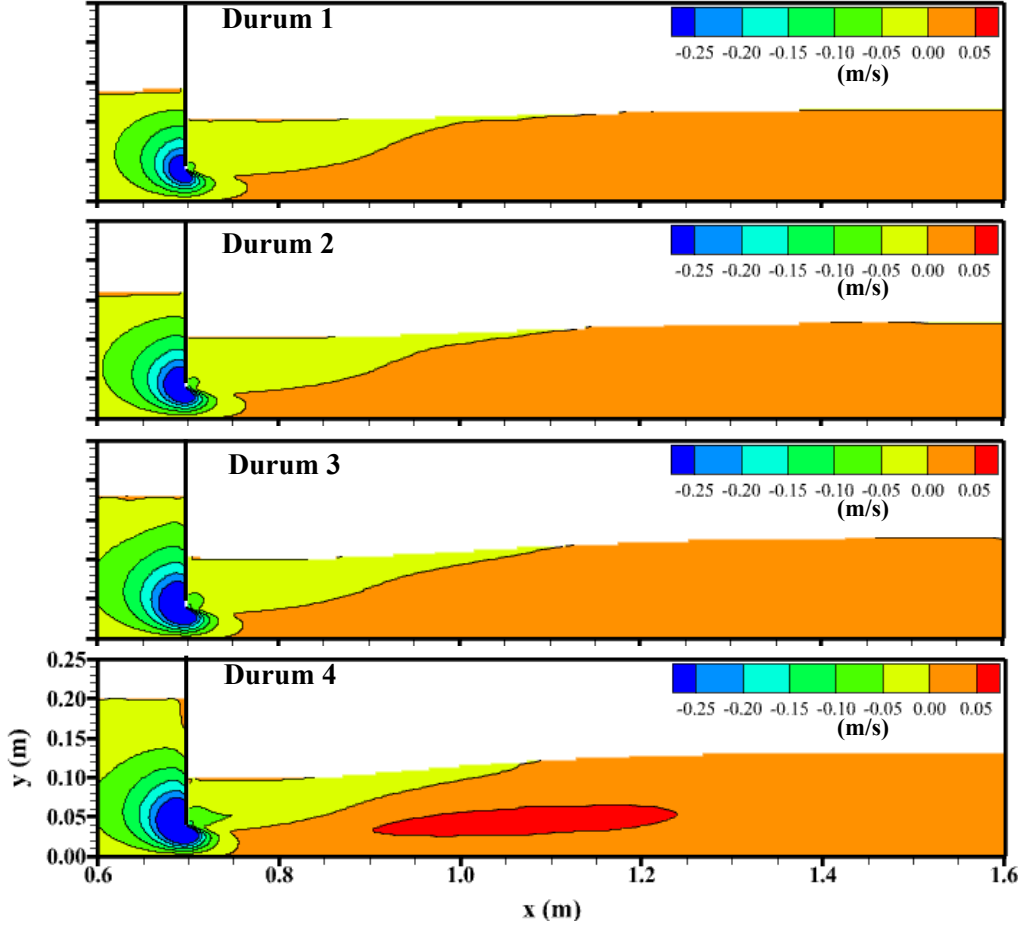
Q6 durumunda, deneysel ve sayısal olarak elde edilen hız profillerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu söylenebilir. Çizelge 2’de verilen geri dönüş bölgesinin ve hidrolik sıçrama uzunluk değerlerinin hız profilleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Farklı akım durumlarında elde edilen yatay hız bileşeni (u) profilleri

Şekil 7’de, farklı akım durumlarında sayısal modelleme sonucunda elde edilen y doğrultusundaki hız bileşenine (v) ait ortalama desenler verilmiştir. Kapak memba bölgesinde özellikle kapak uç noktasında negatif hızların büyük değerlere sahip olduğu, membaya ve su yüzüne doğru bu değerlerin azaldığı görülmektedir. Membaya bölgesinde negatif v hızlarının olduğu bölgelerin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak artmaktadır. Kapak alt uç noktasından başlayarak negatif hızların olduğu bölgenin debinin artmasıyla kapak alt bölgesinden kapak mansap bölgesine kaydığı şekillerden

söylenbilir. Ayrıca, y doğrultusunda elde edilen hız bileşenine ait maksimum değer Durum 4'te 0.05 m/s'den daha büyük olduğu belirlenmiştir.

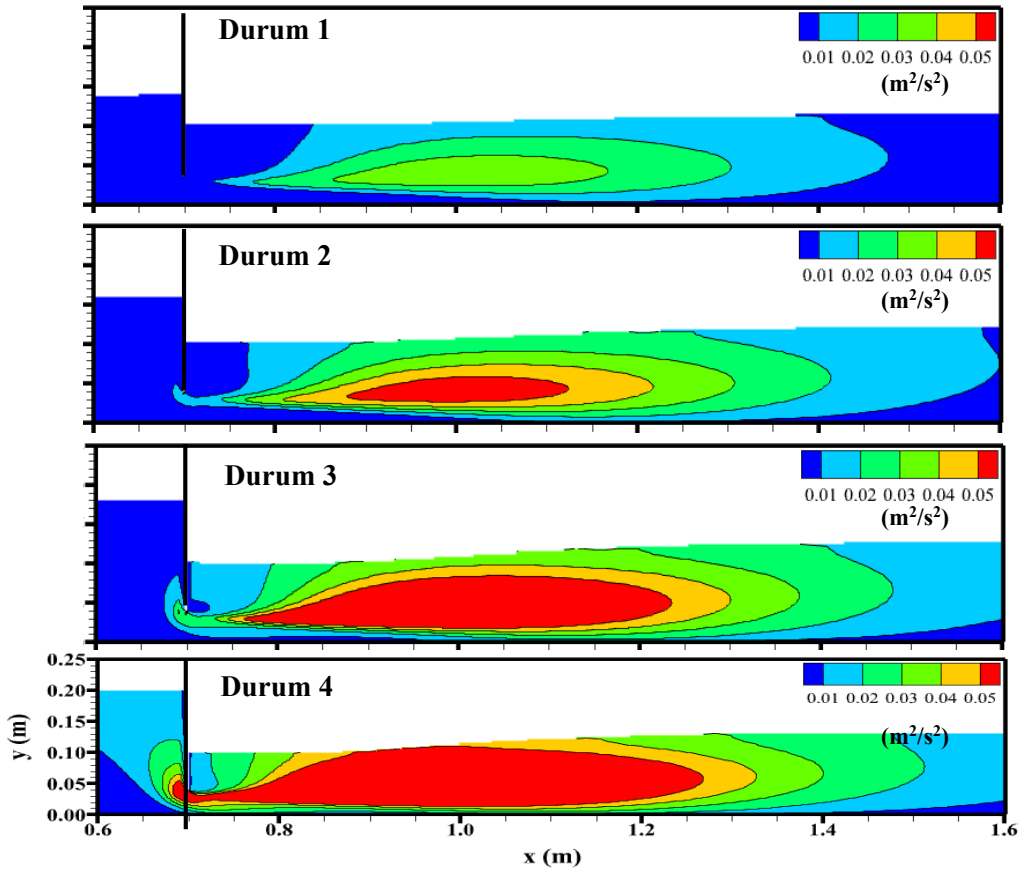


Şekil 7. Farklı akım durumlarında y doğrultusundaki ortalama hız bileşeni desenleri

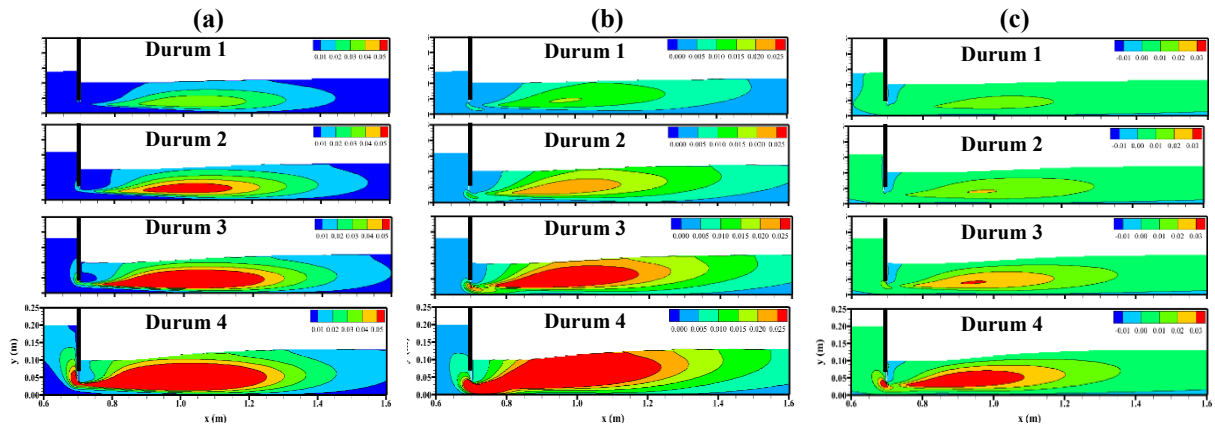
Şekil 8'de, farklı akım durumlarında sayısal modelleme sonucunda elde edilen türbülans kinetik enerji (TKE) desenleri sunulmuştur. Verilen şekillerden, TKE değişimin Durum 1'de sadece kapak mansap bölgesinde olduğu ve maksimum TKE değerinin $0.04 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olduğu görülmektedir. Bu akım durumları dışında ele alınan akım durumlarında maksimum TKE değerinin $0.05 \text{ m}^2/\text{s}^2$ olduğu, maksimum TKE değerinin oluştuğu bölgenin debinin artmasıyla büyüdüğü ve kapak memba bölgesine kaydığı görülmektedir. Ayrıca, Durum 4'te kapağın hemen membasında hız alanında değişimin diğer akım durumlarına kıyasla daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 9'da, Denklem 4, 5 ve 6'da verilen türbülans gerilmelerinin farklı akım durumlarında elde edilen desenleri verilmiştir. Farklı türbülans gerilmelerine ait verilen şekiller incelendiğinde, türbülans gerilmelerine ait şekillerin Şekil 8'de verilen türbülans kinetik enerjisi desenlerine benzer olduğu görülmektedir. $\rho u'u'$, $\rho v'v'$ ve $\rho u'v'$ gerilmelerine ait maksimum değer ve bu değer oluştuğu bölgenin, debinin artmasıyla arttığı belirlenmiştir. Bunun yanında $\rho u'u'$ ve $\rho v'v'$ değerlerinin negatif olmadığı ve $\rho u'v'$ değerlerinin ise kapağın hemen mansabında negatif olduğu şekillerden anlaşılmaktadır. Batık hidrolik sıçramanın gerçekleştiği kapak mansap bölgesinde oldukça büyük türbülans gerilmeleri oluşmaktadır. Bu bölgede, $\rho u'u'$ için maksimum değer $0.05 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 'ten büyük, $\rho v'v'$ için maksimum değer $0.025 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 'ten ve $\rho u'v'$ için ise maksimum değer $0.03 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 'ten büyük

olduğu belirlenmiştir. Buradan batmış hidrolik sıçrama bölgesinde akımın hareketinde etkin olan x doğrultusundaki değişimin diğer hız bileşenlerinde meydana gelen değişimden daha büyük olduğu söylenebilir.



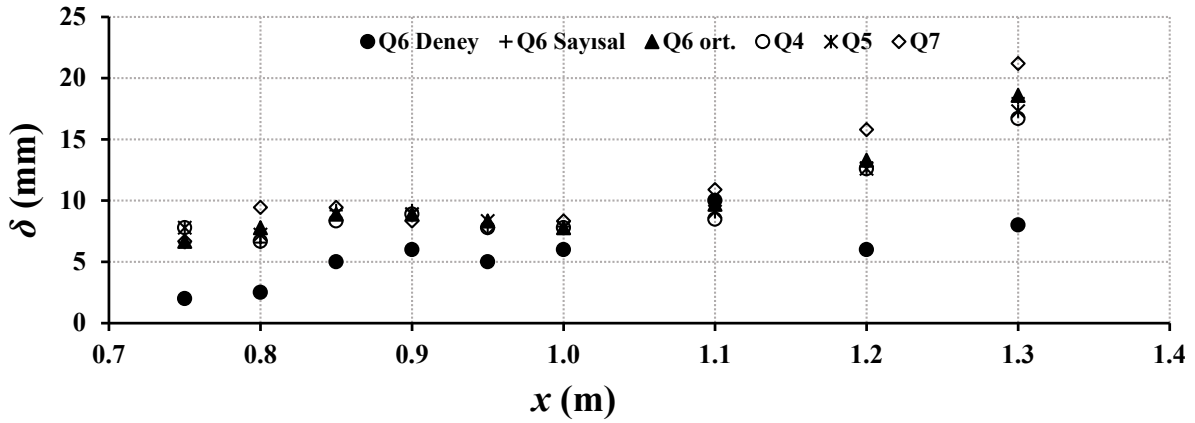
Şekil 8. Farklı akım durumlarında elde edilen türbülans kinetik enerji desenleri



Şekil 9. Farklı akım durumlarında elde edilen a) $\rho u' u'$, b) $\rho v' v'$ ve c) $\rho u' v'$ gerilmelerinin desenleri

Farklı akım durumlarında batık hidrolik sıçrama bölgesinde deneysel ve sayısal olarak elde edilen sınır tabakası kalınlıklarının değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Farklı akım durumlarında elde edilen sınır tabakası kalınlıkları debinin artmasıyla artmıştır. Q7 durumunda en büyük sınır tabakası kalınlığı elde edilmiş ise de Q4, Q5 ve Q6 durumlarında sınır tabakası kalınlıklarının oldukça yakın

olduğu belirlenmiştir. Batmış hidrolik sıçramanın olduğu bölgede ($x=0.7-1.0$ m) sınır tabakasının kalınlığında sayısal modellemelerde elde edilen sonuçlarda büyük bir artış meydana gelmez iken, Q6 durumunda elde edilen deneysel sınır tabakası kalınlığında sayısal model sonuçlarına kıyasla daha büyük bir değişim meydana gelmektedir. Sınır tabakası kalınlığının $x=1.1$ m kesitinden itibaren 10 mm'den daha büyük olduğu ve batmış hidrolik sıçramanın sona erdiği kesitlerde 20 mm'ye kadar ulaştığı anlaşılmaktadır. Deneysel olarak elde edilen sınır tabakası kalınlıklarının sayısal model sonuçlarından elde edilen sınır tabakası kalınlıklarından daha küçük olduğu, bu farklılığın nedeninin sayısal modellemelerde kullanılan hesaplama ağının tasarımından ve hız profillerinin deneysel olarak elde edilmesinde kullanılan ölçüm sisteminin hassasiyetinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



Şekil 10. Farklı akım durumlarda elde edilen sınır tabakası kalınlıkları

5. Sonuçlar

Kayar kapak mansabında farklı batıklık oranlarında oluşan batmış hidrolik sıçramanın sayısal modellemesinde sonlu hacimler yöntemine dayalı çözüm yapan ANSYS Fluent paket programı kullanılmıştır. Akışkanın hareketini idare eden süreklilik ve momentum denklemlerinin çözümünde Reynolds Gerilmesi Modeli'nden (Reynolds Stress Model-RSM), su hava arakesitinin belirlenmesinde ise Akışkan Hacimleri Yöntemi'nden (Volume of Fluids Method) yararlanılmıştır. Q6 durumunda deneysel olarak elde edilen hız profilleriyle, RSM kullanılarak elde edilen hız profillerinin, hidrolik sıçrama sonrası derinlik ve sıçrama uzunluklarının oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir. Farklı akım durumlarında sayısal modelleme sonucunda elde edilen bulgulardan, tüm akım durumlarında, kapak mansap bölgesinde negatif hızların olduğu, kayar kapağın memba bölgesinde düşey hız bileşeninin negatif olduğu ve bu bölgenin büyüklüğü debinin artmasına paralel olarak arttığı, türbülans kinetik enerjisinin maksimum değerine batık hidrolik sıçramanın olduğu bölgede olduğu belirlenmiştir. Reynolds gerilmelerine ait maksimum değer turbülans kinetik enerjisinin belirlendiği bölgede olduğu ve bu değer olduğu bölgenin büyüklüğünün debinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Farklı batıklık oranlarında deneysel olarak elde edilmesi için özel ölçüm aletleri ve ekipmanları gerektiren akım karakteristiklerinin, sayısal modelleme sonucunda istenilen herhangi bir durumda tekrar edilmesi ve kolayca elde edilmesinden dolayı, sayısal modelleme tekniklerinin tercih edilebileceği belirlenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları tarafından yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığı beyan edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] De Padova D. Mossa M. Sibilla S. SPH numerical investigation of characteristics of hydraulic jumps. *Environmental Fluid Mechanics* 2018; 18(4): 849-870. Doi.10.1007/s10652-017-9566-4.
- [2] Singh D. Das AK. Computational simulation of radially asymmetric hydraulic jumps and jump–jump interactions. *Computers & Fluids* 2018; 170: 1-12. Doi.10.1016/j.compfluid.2018.04.024.
- [3] Roushangar K. Homayounfar F. Prediction characteristics of free and submerged hydraulic jumps on horizontal and sloping beds using SVM method. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2019; 23(11): 4696-4709. Doi.10.1007/s12205-019-1070-6.
- [4] Pourabdollah N. Heidarpour M. Abedi Koupai J. Characteristics of free and submerged hydraulic jumps in different stilling basins. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* 2020; 173(3): 121-131. Doi.10.1680/jwama.19.00029.
- [5] Roy Biswas T. Dey S. Sen D. Undular hydraulic jumps: critical analysis of 2D RANS-VOF simulations. *Journal of Hydraulic Engineering* 2021; 147(11): 06021017. Doi.10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001939.
- [6] Park M. Kim HS. Choi S. Ryu YU. PIV and BIV Measurements of Roller in Hydraulic Jumps. *Journal of Coastal Research* 2021; 114: 56-60. Doi.10.2112/JCR-SI114-012.1.
- [7] Ma F, Hou Y, Prinos P. Numerical calculation of submerged hydraulic jumps. *J. Hydraul. Res.* 2001; 39: 493-503. Doi.10.1080/00221686.2001.9628274.
- [8] Javan M, Eghbalzadeh A. 2D numerical simulation of submerged hydraulic jumps. *Applied Mathematical Modelling* 2013; 37(10–11):6661-6669. Doi.10.1016/j.apm.2012.12.016.
- [9] Ahmed HMA, El Gendy M, Mirdan AMH, Ali AAM. Haleem FSFA. Effect of corrugated beds on characteristics of submerged hydraulic jump. *Ain Shams Engineering Journal* 2014; 5(4): 1033-1042. Doi.10.1016/j.asej.2014.06.006.
- [10] Smetana J. Experimental Studies on the Free and Submerged Hydraulic Jumps. *L'Energia Elettrica* 1937; 24 (10): 829–835.
- [11] Citrini D. Il Salto di Bidone. *L'Energia Elettrica* 1939; 16 (6): 441–465.
- [12] Silvester R. Hydraulic jump in all shapes of horizontal channels. *J. Hyd. Div. ASCE* 1964; 90(1):23–55. Doi.10.1061/JYCEAJ.0000977.
- [13] Rajaratnam N. Hydraulic jump on rough bed. *Trans Eng Inst Canada* 1968; 11: 1–8.
- [14] Hager WH, Bremen R. Classical hydraulic jump; sequent depths. *J Hydr. Res.* 1989;27(5):565–85. Doi.10.1080/00221688909499111.
- [15] Izadjoo F, Shafai-Bajestan M. Effects of trapezoidal shape corrugated bed on the characteristics of hydraulic jump. In *17th Canadian hydrotechnical conference, Alberta, Canada, August 17–19, 2005.*
- [16] Denli Tokyay N. Effect of channel bed corrugated on hydraulic jumps. In: *Proceedings of the world water and environmental resources congress: impacts of global climate change, EWRI, 2005.* 1-9. Doi.10.1061/40792(173)408.
- [17] Abdelhaleem Fahmy S, Amin AM, Helal YE. Effect of corrugated bed shapes on hydraulic jump and downstream local scour. *The Journal of American Science* 2012; 8(5):1–10.
- [18] Shekari Y. Javan M. Eghbalzadeh A. Effect of turbulence models on the submerged hydraulic jump simulation. *J. Appl. Mech. Tech. Phy.* 2015; 56:454–463. Doi.10.1134/S0021894415030153.
- [19] Gümüş V. Aköz MS. Kirkgöz MS. Kapak mansabında batmış hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. *Teknik Dergi* 2013; 24: 6379-6397.
- [20] Gumus V. Simsek O. Soydan NG. Akoz MS. Kirkgoz MS. Numerical modeling of submerged hydraulic jump from a sluice gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 2016; 142(1): 04015037. Doi.10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000948.
- [21] Rajaratnam N. Hydraulic jumps. *Advances in Hydroscience* 1967; 4: 197-279. Doi.10.1016/B978-1-4831-9935-1.50011-2.
- [22] Wilcox DC. *Turbulence modeling for CFD.* 1993. DCW Indus., California A.B.D. 456p.

- [23] Yakhot V. Orszag SA. Thangam S. Gatski TB. Speziale CG. Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. *Physics of Fluids* 1992; 7: 1510-1520. Doi.10.1063/1.858424.
- [24] Shih TW. Liou WW. Shabbir A. Yang Z. Zhu J. A new k- ϵ eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows-model development and validation. *Computers and Fluids* 1995; 24(3): 227-238. Doi.10.1016/0045-7930(94)00032-T.
- [25] Launder BE. Reece GJ. Rodi W. Progress in the Development of a Reynolds-stress turbulent closure. *Journal of Fluid Mechanics* 1975; 68(3): 537-566. Doi.10.1017/S0022112075001814.
- [26] Hirt CW. Nichols BD. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics* 1981; 39: 201-225. Doi.10.1016/0021-9991(81)90145-5.
- [27] Roache PJ. Verification of codes and calculations. *AIAA Journal* 1998; 36(5): 696-702. Doi.10.2514/2.457.
- [28] Çelik İB. Ghia U. Roache PJ. Freitas CJ. Coleman H. Raad PE. Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. *ASME Journal of Fluids Engineering* 2008; 130(1): 1-4. Doi.10.1115/1.2960953.

YAPRAK HASTALIKLARININ SINIFLANDIRILABİLİMESİ İÇİN ÖNCEDEN EĞİTİLMİŞ AĞ TABANLI DERİN AĞ MODELİ

Halit ÇETİNER^{1*}

¹Teknik Bilimler MYO, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 28.08.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 30.09.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.988049

ÖZET

Bitkiye zarar veren hastalıkların erken teşhisi, kimyasal tarım ilaçlarının tüketimini azaltmak, mali olarak tasarruf etmek ve çevreye verilen kirliliği engelleyebilmek için oldukça önemlidir. Elma ağaç yapraklarında oluşan herhangi bir hastalık durumunda, hastalık belirtilerini erken aşamada tespit edebilmek için çiftçiler uzman tarım personeline destek almak zorunda kalmaktadır. Bu durum çiftçilere büyük bir maliyet oluşturmaktadır. Bahsedilen problemi çözebilmek adına scab, rust ve her ikisinin bir arada kullanılabilmesi için çoklu hastalık gruplarını sınıflandırabilmek için Konvolüsyonel Sinir Ağı (CNN) yöntemi tabanlı derin öğrenme modeli geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım popüler transfer öğrenim teknikleri olan DenseNet201, MobileNetV2, ResNet50V2, ResNet101V2, ResNet152V2 algoritmalarını giriş katmanı olarak kullanan CNN katmanlarının birleşiminden oluşmaktadır. Geliştirilen yöntem farklı seviyelerde aydınlatma, gürültü, arka planı homojen olmama durumlarını içeren zorluk seviyesi yüksek bir veri seti üzerinde test edilmiştir. Test işlemlerinde önerilen CNN tabanlı yöntemle sınıflandırma doğruluk oranı olarak %97 değerine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CNN, elma yaprak hastalığı, sınıflandırma, transfer öğrenme

PRE-TRAINED NETWORK BASED DEEP NETWORK MODEL FOR CLASSIFICATION OF LEAF DISEASES

ABSTRACT

Early diagnosis of plant-damaging diseases is very important to reduce the consumption of chemical pesticides, to save money and to prevent pollution to the environment. In case of any disease in apple tree leaves, farmers have to get support from expert agricultural personnel in order to detect the signs of disease at an early stage. This situation creates a great cost to the farmers. In order to solve the aforementioned problem, a deep learning model based on the Convolutional Neural Network (CNN) method has been developed to classify scab, rust and multiple disease groups in which both can be used together. The proposed approach consists of a combination of CNN layers using popular transfer learning techniques DenseNet201, MobileNetV2, ResNet50V2, ResNet101V2, ResNet152V2 algorithms as input layer. The developed method has been tested on a data set with high difficulty level, which includes different levels of illumination, noise, and heterogeneous illumination. With the CNN-based method recommended in the test processes, the classification accuracy rate was 97%.

Keywords: CNN, apple leaf disease, classification, transfer learning

1. Giriş

Günümüzde nüfusun hızlı artışı, su ve toprak kaynaklarının sürekli olarak kullanılması ve buna bağlı olarak artan kimyasal tarım gübre ve zirai ilaç tüketimi kirliliği artırmıştır. Bunlara ek olarak tarımda zararlı böcekler ile mücadele adına yapılan aşırı gübreleme ve bilinçsiz tarım ilacı kullanımı

* e-posta: halitcetiner@isparta.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7794-2555> (Sorumlu Yazar)

yakın su kaynaklarının doğasına zarar vermektedir. Bunların sonucunda toprak kirliliği, sudan içen hayvanların zehirlenmesi ve insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Aynı zamanda bu etkilerden dolayı meyve üretimi çok büyük oranlarda zarar görmektedir. Bu gibi çeşitli faktörlerin sonucunda üretimde verim kaybı yaşanmakta ve tarım endüstrisindeki dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı tarım ürünlerindeki hastalıkların hızlı, ucuz, otomatik ve en doğru bir şekilde tanımlanması için görüntü işleme ve makine öğrenme teknikleri ile oluşturulacak yeni çözümlere ihtiyaç vardır.

Elma Türkiye’de Kayseri ve Isparta başta olmak üzere çok farklı şehirlerde yetiştirilebilen ve uzun süre çevresel şartlardan çok fazla etkilenmeden kalabilen bir meyvedir. Dünya genelinde ise 2018 yılında muz ve karpuzdan sonra en çok üretilen meyve türüdür ve yaklaşık olarak 86 milyon ton üretilmiştir [1]. Bu rakamlar potansiyel elma verimine göre azdır. Bunun da ana sebeplerinden bazıları; bitkisel hastalıklar, böcek haşereleri, üretim esnasında teknoloji kullanılmamasıdır. Belirtilen problemlerin önüne geçmek, üretim maliyetlerini düşürmekle beraber sürekli oluşan çevre kirliliğini de azaltacaktır.

Literatürde elma, bağışıklık sistemini geliştiren biyoaktif bileşenlerin kaynağı olarak görülmektedir [2]. Elmanın insan sağlığı üzerinde çok fazla faydasının olmasının yanında, bu meyvenin kendisi mikroorganizma ya da bakteriyel hastalıklara karşı oldukça hassastır. Bu durum beslenmede kullanılan farklı meyve ve sebze türleri içinde geçerlidir. Dünya çapında her yıl tarımsal üretimin yaklaşık olarak %42’si çeşitli mikroorganizmalar ve bitkisel hastalıklar neticesinden kullanılmadan çöpe gitmektedir [3]. Bu anlamda bitkilerin ve ürünlerin hastalıklardan korunması için ağaçların belirli zamanlarda gübrelenmesi ve ilaçlanması önemli bir noktadır.

Gübreleme işlemine rağmen yapraklarda değişim meydana geldiğinde çiftçiler tanı koyma konusunda problemler yaşayabilmektedir. Bunun yanında teknoloji kullanmayan çiftçiler, ürünleri ilaçlama noktasında uygun zamanı da kaçırabilmektedir. Hatalı ya da zamanında yapılmayan tedavi yaprak hastalıklarının hızlı bir şekilde yayılmasına neden olmaktadır. Özellikle patojen tarzı virüsler kısa zamanda çoğalmasından dolayı böcek hasarları ve hastalıklarda büyük artış göstermektedir. Bunların yanı sıra olası yanlış teşhis durumunda kimyasallar fazla veya yetersiz kullanımıyla çevresel zararlar ve maliyetler de artış görülmektedir [4]. Böyle bir durumda da uzman tarım personeline ihtiyaç duymaktadır. Özellikle kırsal kesimde küçük kapsamda üretim yapan çiftçiler çoğu zaman bahse konu olan uzman personele ulaşamamaktadır. Tasarlanan sistem ile hastalıklara üreticiler de tanı koyabilecektir. Böylece hastalıklardan en az seviyede etkilenerek verim artışı da sağlanabilecektir. Buna ek olarak uzman personel ihtiyacını da kısmen karşılamış olacaktır.

Bitki hastalığına bağlı çevresel, sosyal ve ekonomik açılardan meydana gelen kayıpları ortadan kaldırmak için bitki hastalıklarının önceden tespit edilmesi gerekmektedir. Geleneksel olarak bu önleme işlemleri ziraat mühendisleri tarafından yapılmasına rağmen zaman kaybı, verimsizlik ve büyük bir maliyet doğurmasından dolayı farklı yöntemler araştırılmaktadır [5]–[7]. Son zamanlarda derin öğrenme, görüntü işleme ve nesne tanıma alanlarında yapılan çalışmalar bu tür hastalıkların tespit edilmesi için uzmanlara yardımcı araçların geliştirilebileceğini göstermektedir. Elma hem Dünya genelinde hem de Türkiye’de çok fazla üretilen bir meyvedir. Bu makale kapsamında belirtilen problemlere çözüm, elma yaprak hastalıklarının otomatik sınıflandırılmasında aranmıştır. *Venturia Inaequalis* gibi farklı hastalıklar elma yapraklarında sıklıkla görülmektedir [8]. Bu hastalıkların oluşturduğu beneklerden dolayı elma üretiminde farklı oranlarda verim kaybı yaşamaktadır. Bunlara ek olarak son zamanlarda seller, yangınlar ile kendini daha fazla hissettiren küresel ısınma gibi sebeplerden dolayı hastalık daha hızlı yayılmakta ve yeni enfeksiyonlara neden olmaktadır. Tüm bu sebeplerin çözüme kavuşabilmesi için hastalıkların erken dönemde hızlı bir biçimde otomatik olarak tespit edilip sınıflandırılması önemlidir. Elma yapraklarında görülen genel hastalıklardan bazıları kahverengi ve sarı lekeler gibi farklı semptomlar meydana gelmektedir. Sağlıklı bir elma yaprak görüntüsüne göre meydana gelen farklılıklara odaklanarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır.

Günümüzde bitki hastalıkların tespiti için daha zahmetli ve daha fazla zaman alan çıplak göz ile tanı koyma işlemi, tespit sürecini yavaşlatmaktadır. Geçmişte kullanılan klasik yöntemler ile hastalık teşhisi yapmak çok fazla zaman ve emek almaktadır. Günümüz şartlarında bile hastalık tanısı genellikle

aynı yöntem ile konulmaktadır. Binlerce ağacın bulunduğu tarım arazilerinde ise daha büyük probleme neden olabilmektedir. Sonuç olarak teknolojik sistemlerin eksikliği meyve kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle çiftçilere yardımcı olabilecek karar destek sistemlerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Son yıllarda literatürde çeşitli bitkilere ait yaprak hastalıklarının sınıflandırılmasında kullanılan farklı makine öğrenme ve görüntü işleme algoritmaları bulunmaktadır [3], [9]–[11]. CNN yöntemleri ile bitkilerdeki en ayırt edici öznelikleri elde etme konusunda umut verici gelişmeler yaşanmaktadır. Bu gelişmelerde genellikle ince ayarlama yapılmış transfer öğrenme [12]–[15] yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında da CNN modelinin oluşturulmasında ayrı ayrı 4 farklı önceden eğitilmiş transfer modeli kullanılmıştır. Her birisinden elde edilen sonuçlar doğruluk ve kayıp bilgilerine göre karşılaştırmalı sunulmuştur.

Literatürdeki çalışmalar yeniden eskiye doğru incelendiğinde, büyük bir çoğunluğunda klasik makine öğrenme algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir [9], [10], [16]. Bu çalışmalardan dikkat çeken bazıları; Sujatha vd. turunçgiller üzerinde bitki hastalıklarını tespit etmek için makine öğrenme algoritmalarını kullanmıştır [17]. Benzer bir çalışmada Yun vd. salatalık bitkisine ait yaprak görüntülerini olasılık tabanlı sinir ağı ile sınıflandırmaya çalışmıştır [18]. Literatürdeki başka bir çalışmada ise patates ve mısır bitkilerine ait yaprak hastalıklarının tanımlanabilmesi için bir sistem geliştirilmiştir [19]. Mevcut çalışmalar incelendiğinde üründe veya yaprağında bozulma meydana gelen bölgeden elde edilen istatistiksel öznelikleri kullanılmaktadır. Bunun yanında çalışmalarda kullanılan görüntülerde segmentasyon işlemi de gerçekleştirilmiştir.

Klasik görüntü işleme yöntemlerinde kararlı sonuçlar alınabilmesi için eğitim örneklerinin yeterli sayıda olması gerekmektedir [20]. Bu tür yöntemlerin kullanılması esnasında aydınlıkta, parlaklık, kontrast düzensizlikleri, kusurlu lezyon alanı ile normal alan arasındaki benzerlikler gibi çeşitli faktörler sorun teşkil edebilmektedir. Son zamanlarda bu sorunların üstesinden gelebilecek, önceden eğitilmiş sinir ağı yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde kullanılan konvolüsyon tabanlı yaklaşım ile yaprak hastalıklarının ve zararlılarının tespit edilmesinde klasik yöntemlere göre çok önemli öznelikleri otomatik olarak elde edilebilmektedir [21]. Yukarıdaki tespitleri baz alarak yapılan çalışmada elde edilen ana katkılar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- ResNet152V2, DenseNet201, MobileNetV2, ResNet50V2 önceden eğitilmiş ağ modelleri yardımıyla ön işlemde geçirilmiş bitki hastalık görüntülerinden girdi katmanı elde edilmiştir. Kullanılan yöntemlerden hangisinin yaprak hastalığının türünü belirlemede iyi olduğunu belirlemek için eklenen model ile ayrı ayrı performans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.
- Önerilen temel bir konvolüsyonel sinir ağı (CNN) modeli ile de test görüntülerini tahmin edebilecek bir model önerilmiştir.
- Gerçekleştirilen çalışma ile hem üreticilere yardımcı bir karar destek sistemi geliştirilmiş hem de son yıllarda popüler olan derin öğrenme uygulamalarına ait önceden eğitilmiş farklı transfer öğrenme yöntemlerinin performans analizleri sunulmuştur.
- Tarım sektöründe erken teşhisin yaygınlaşması ile elma üretiminin artması beklenmektedir.

Makalenin geri kalan bölümü aşağıdaki şekilde planlanmıştır. Literatür özetinde çalışma konusu ile ilgili benzer çalışmalar incelenmiştir. Materyal ve Metod bölümünde kullanılan veri seti ve yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Geliştirilen model bölümünde ise sunulan model detaylı bir şekilde anlatılmış ve sonuçları paylaşılmıştır. En son bölüm olan Sonuç bölümünde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar detaylandırılmıştır.

2. Literatür özeti

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ImageNet, CoCoNet vb. önceden eğitilmiş ağ yapılarının içerisinde 1000 adet farklı sınıfa ait görüntülerin bulunduğu görülmüştür. Bitki hastalıklarında bu sınıflar içerisine entegre ederek sınıflandırabilecek bir sistemin tasarımı mümkündür [15]. Genel olarak

yapay zeka yöntemleri ve önceden eğitilmiş ağlar ince ayarlar yapılarak eğitimden sağlığa [22], enerjiden [23] hayvancılığa [24] kadar farklı birçok alana uygulanabilmektedir. Transfer öğrenme olarak tanımlanan bu yapılar, derin bir modelin öznitelik çıkarıcısı olarak kullanılmaktadır. Literatürde bitki hastalıklarının sınıflandırılmasında, transfer öğrenme yaklaşımının tüm ağırlıklarının sıfırdan öğrenildiği öğrenme yaklaşımlarına göre daha doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [14], [15]. Transfer öğrenme çalışmalarının çoğu ImageNet veri seti baz alarak geliştirilen önceden eğitilmiş modellere dayanmaktadır [13]. Genellikle ImageNet ağırlıklarını kullanan transfer öğrenme teknikleri, bu çalışmada olduğu gibi veri seti daha az görüntüden ve sınıftan oluşan durumlarda bile daha doğru modeller oluşturmaya olanak vermektedir. Buna ek olarak kontrollü koşullar altında sağlanan veri setlerinde de ince ayarlamalar yapılarak iyi sonuçlar verdiği görülmektedir [25]. Bu çalışmada kullanılan veri seti, ImageNet veri seti ağırlıkları kullanılarak modelin girdi katmanı oluşturulmuştur. Sonrasında diğer katmanların eklenmesi ile elde edilen modeller üzerinde yapılan ince ayarlar ve eklenen katmanlar ile sınıflandırma doğruluk oranları artırılmaya çalışılmıştır. Literatürde var olan çalışmalar incelendiğinde bitki lezyonlarına ait renk, doku, şekil, biçim gibi öznitelikler kullanılarak bitki hastalıklarının tespiti gerçekleştirilmiştir [5], [26], [27]. Bu çalışmalardan esinlenerek derin öğrenme algoritmalarında kullanılacak görüntüler bazı aşamalardan geçirilmektedir. İlk aşamada çalışmada kullanılacak görüntü sayısını arttırmak için görüntüler çevrilerek, yakınlaştırılıp uzaklaştırılarak görüntü sayısı arttırılmaktadır. Sonrasında da klasik görüntü ön işleme adımları uygulanmaktadır.

Dubey vd. şekil, doku, renk gibi farklı görüntü öznitelikleri kullanarak elma hastalıklarını sınıflandırmak için bir uygulama geliştirmiştir [28]. Geliştirdiği uygulamada K ortalamalar algoritması yardımıyla lezyon oluşan bölgeyi tespit etmiştir. Sonrasında tespit ettiği bölgeyi tanımlayan istatistiksel öznitelikleri tanımlayarak sınıflandırmıştır. Turkoglu vd. önceden eğitilmiş ağ modellerinden olan AlexNet, GoogleNet, DenseNet201 modelleri ile öznitelik elde edip LSTM yöntemi ile sınıflandıran bir model geliştirmiştir [8]. Wang vd. hastalık sebebiyle oluşan verim kaybını ölçebilmek adına hastalık şiddetini otomatik tahmin eden bir yapı tasarlamıştır [6]. Liang vd. ResNet tabanlı bir derin öğrenme yöntemi ile yaprak hastalığını sınıflandırmıştır [29]. Zhang vd. kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarını kullanarak üç kanallı konvolüsyonel bir sinir ağı oluşturmuştur. Bu sinir ağı modeli ile sebze yaprak hastalıklarını sınıflandırmıştır [30]. Tasarladığı yapıda en iyi sonucu VGG16 modeli ile elde etmiştir.

Çin’de yapılan bir çalışmada ise AlexNet transfer öğrenme modelinde yapılan ince ayarlamalar ile elma yaprak hastalıkları sınıflandırılmıştır [12]. Türkiye’de yapılan bir çalışmada ise yine endüstriyel otomasyon sisteminden elde edilen görüntüler üzerinden derin öğrenme modelleri ile sağlam ve çürük elma sınıflandırması gerçekleştirilmiştir [31]. Literatürdeki bir diğer çalışmada ise Ferentinos, farklı bitkilere ait sağlıklı ve hastalıklı görüntülerden oluşan bir verisetini kullanarak konvolüsyonlu bir sinir ağı modeli geliştirmiştir. Çalışmasında bitki hastalıklarındaki belirtilerin optik olarak gözlenmesindeki zorluklara da değinmektedir. Agronomistler, çiftlik teknisyenleri, ziraat mühendisleri, pazar bahçıvanları, ağaç yetiştiricileri ve bitki patoloğları tarafından bile genellikle bazı hastalıkların tipini, türünü belirlemede başarısız duruma düştükleri bahsedilmektedir. Bitki hastalıklarının tanısı ve teşhisinin otomatik olarak gerçekleştirmesinin optik yöntemler ile tanı koymaya çalışan uzmanlar açısından büyük bir kolaylık sağlayacağı vurgulanmaktadır [32]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde sahada çalışan uzmanlar tarafından, çıplak göz ile yaprak hastalık tespiti ve sınıflandırılmasının zor olduğu ifade edilmektedir [25].

3. Materyal ve Metod

3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında kullanılan veri setindeki görüntüler, farklı aydınlatma seviyesi ve açısı bulunan ortamlardan elde edilmiştir. Buna ek olarak görüntülerin arka planları da değişken yapıdadır. Veri setinde bir sağlıklı sınıf ve üç farklı hastalık sınıfına ait toplam 3642 adet yaprak görüntüleri bulunmaktadır. Veri seti içerisindeki farklı sınıflara ait yaprak görüntüleri dengeli olarak dağılmamaktadır. Veri setinin yüzde beşlik bir kısmında hem kabuklanma hastalığı hem de pas hastalığı

bulunmaktadır [4]. Veri setinde bahsedilen olumsuz durumlar görüntüler üzerinden hastalık analizini zorlaştırmaktadır. Kullanılan veri setinde healthy sınıfında 516, multiple diseases (MD) sınıfında 91, rust sınıfında 622, scab sınıfında 592 elma yaprak görüntüsü bulunmaktadır. Veri setindeki görüntüler 1821'şer adet eğitim ve test olarak ikiye ayrılmaktadır. Healthy sınıfa ait görüntüde herhangi bir hastalık işareti bulunmamaktadır. Bu görüntü lekesiz ve işaretsiz saf yeşilden oluşan sağlıklı yaprağı temsil etmektedir. Aynı şekilde MD ise aynı anda hem kabuklanma hem de paslanma hastalığı olan hastalık grubudur. Rust, yaprak üzerinde sarı şekillerin bulunduğu pas mantarından kaynaklanan hastalık grubudur. Son hastalık grubu olan Scab ise kahverengi yaralar ve izlerin bulunduğu mantardan meydana gelen hastalık grubunu temsil etmektedir. Bahsedilen hastalıklar Şekil 1'de gösterilmiştir.

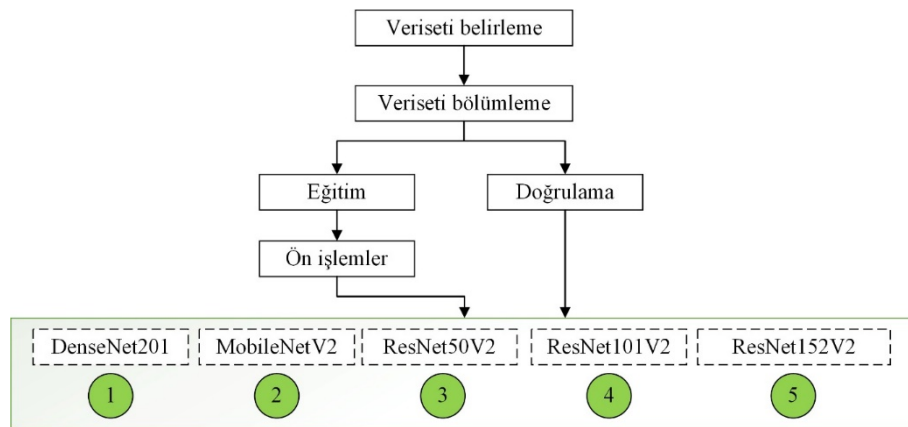


Şekil 1. Veri setindeki sınıflardan örnek görüntüler ve toplam sayıları

Şekil 1'de gösterilen veri setinde bulunan yaprak görüntü örnekleri eğitim, test ve doğrulama gruplarına ayrılması gerekmektedir. Gruplara ayrıldıktan sonra veri çoğaltma işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğitim veri setinde veri çoğaltma işlemi gerçekleştirilirken diğer gruplar üzerinde veri çoğaltma gerçekleştirilmemiştir.

3.2. Transfer öğrenme adımları

Derin öğrenme karmaşık ya da normal veri setlerinden en az ön işleme önemli özellikleri çıkartıp öğrenmeye odaklanan bir makine öğrenme alt yapısı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2. Transfer öğrenme adımları

Klasik makine öğrenme algoritmalarına göre derin öğrenme algoritmaları farklı görüntü formatlarına doğrudan uygulanabilmektedir. Klasik makine öğrenme algoritmalarında var olan özellik çıkarma adımı derin öğrenme algoritmalarında tercihe bağlı olarak kendi içerisinde gerçekleştirilebilmektedir. Her iki algoritmada da görüntü boyutlandırma, gürültü temizleme, kenar belirleme, histogram eşitleme, ROI bölgesini belirleme adımları ortaktır. Şekil 2'de gösterilen adımlar, bu makale kapsamında oluşturulan modelin ilk aşaması olarak tanımlanmıştır.

Veri seti belirleme adımında zorluk derecesine bakılarak, arka planı homojen olmayan, aydınlatma durumu değişen, birden fazla hastalık bulunduran bir veri seti belirlenmiştir. İkinci adımda veri setinin orijinal halinde bulunan Eğitim ve Test verileri birleştirilerek tekrar %80'i eğitim, %10 doğrulama, %10 test verisi olacak şekilde ayrılmıştır. Şekil 2'de gösterilen ön işleme adımında eğitim görüntülerinin tamamı (224,224,3) boyutuna göre yeniden boyutlandırılmıştır. Belirtilen boyutlandırma önceden eğitilmiş ağ modellerine girdi sırasında işlem kolaylığı sağlamaktadır. Sonrasında bir diğer ön işleme adımı olarak veri çoğaltma tekniği uygulanmıştır. MD sınıfı gibi sayı olarak diğer sınıflardaki yaprak sayılarından az olması sebebiyle genelleştirme kabiliyeti düşüktür. Bu düşüklüğü ortadan kaldırabilmek için MD sınıfı başta olmak üzere görüntüleri iyileştirme, döndürme, ölçekleme ve çeviri ile veri sayısı az olan sınıf görüntülerinin genelleme kabiliyeti artırıldı. Bu işlemler Şekil 2'de gösterilen ön işlemler adımında gerçekleştirilmiştir. Ön işleme adımından sonra DenseNet201, MobileNetV2, ResNet50V2, ResNet101V2 ve ResNet152V2 transfer öğrenme teknikleri üzerinde ince ayarlamalar yapılmıştır. Bu makale kapsamında giriş ve çıkış katmanları revize edilerek kullanılan veri setine uygun hale getirilmiştir. Bu şekilde gerçekleştirilen öğrenme diğerlerine göre daha hızlıdır [25]. Öğrenmeyi hızlandırabilmek için ImageNet veri kümesi kullanılmıştır. Hastalık sınıflarının kategorisini belirlemek ve sınıflandırmak için ince ayar yapılmıştır. Şekil 2'de gösterilen modelde, ImageNet ile önceden eğitilmiş ağırlıklı modeller ayrı ayrı oluşturulmuştur. Modelde yapılan bir diğer ince ayarda ise RMSProp algoritması 0.0001'lik bir başlangıç öğrenme oranı kullanılmıştır. Şekil 2'de ince ayarlanmış modellerden elde edilen değerler, bundan sonraki aşamada sunulan ve çalışmaya özgü önerilen CNN modeline aktarılmıştır.

3.3. DenseNet201

Bu model Huang vd. [33] tarafından ağdaki katmanlar arasında maksimum bilgi aktarımını sağlamak için oluşturulmuştur. Her katman için önceki katmanlar girdi olarak kullanılır. Her katmanın öznelikleri sonraki katmanlara girdi olmaktadır. DenseNet ağ modelleri kaybolan gradyan problemini önemli ölçüde hafifletmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için model azaltılmış parametre sayısına sahiptir. Bunlara ek olarak DenseNet, önceki tüm katmanlar tarafından elde edilen öznelik haritalarını sonraki katmana girdi olarak vererek parametre verimliliği sağlamaktadır [34]. Parametre verimliliği ile ağlardaki derin katmanların önceki katmanlar tarafından üretilen tüm öznelik haritalarına erişmesi ve kullanması sağlanmaktadır. Bu durum l. katmandaki Xl öznelik haritası, diğerleri ise X0, ..., Xl-1 öznelik haritaları şeklinde Denklem 1 ile ifade edilebilir:

$$X_l = H_l([X_0, \dots, X_{l-1}]) \quad (1)$$

Denklem 1'de 0'ıncı katmandan l-1'inci katmana kadar ki öznelik haritası $[X_0, \dots, X_{l-1}]$ ile gösterilmiştir. H_l , toplu normalleştirme (BatchNormalization), Rectified linear units (ReLU) ve 3x3 konvolüsyon katmanlarının birleşmesinden oluşmaktadır.

Bu makale kapsamında yaprak hastalıklarını tanımlayabilmek için Denklem 1'i kullanan DenseNet201 yapısı oluşturuldu. Yapı ImageNet ile önceden eğitilmiş ağırlıklar ile yüklenmiştir. Sonrasında bu yapı, yaprak hastalıklarını sınıflandırmak için önerilen CNN modeline girdi olarak verilmiştir.

3.4. MobileNetV2

Mobil cihazların yaygınlaşması ile birlikte son zamanlarda geliştirilen tüm uygulamalar mobil ortamlarda çalışabilmektedir. Mobil ortamlar gibi taşınabilir bilgisayarlarda çalışabilen derin sinir ağı modellerinin en popüler olanlarından birisi MobileNetV2 mimarisidir. Hem mobil ortamda hem de diğer platformlarda çalışabilmesi bu mimariyi daha ön plana çıkarmaktadır.

Bu mimari, derinlemesine ayrılabilir konvolüsyon (depthwise separable convolution (DWSC)) yapısını kullanmaktadır. Çalışmada kullanılan bu mimari modelde ilk konvolüsyon 13 adet ayrılabilir konvolüsyon yapısını takip etmektedir. MobileNet mimarisinde her konvolüsyon yapısını bir toplu

normalleştirme ve ReLU aktivasyon fonksiyonu takip etmektedir. y adlı bir görüntüde normal bir konvolüsyon (NK) işlemini denklem ile ifade etmek istediğimizde;

$$NK(W, y)_{(i,j)} = \sum_{k=1}^{k=K} \sum_{l=1}^{l=L} \sum_{m=1}^{m=M} W(k, l, m) y(i + k, j + l, m) \quad (2)$$

Denklem 2 ifadesinde W ağırlıkları temsil etmektedir. $k=1$ den K değerine kadar görüntü genişliği, $l=1$ den L sütun değerine kadar görüntünün yüksekliği, i ve j değerleri görüntünün pozisyonlarını ve $m=1$ den M sayısına kadar filtreleri temsil etmektedir.

DWSC, iki adet derinlemesine konvolüsyon (depthwise convolution (DWC)) ve bir adet noktasal konvolüsyon (pointwise convolution (PWC)) yapısından oluşmaktadır. DWC yapısında görüntünün her renk kanalına, konvolüsyon filtreleri ve ağırlık matrisleri uygulanmaktadır.

$$DWSC(W_p, W_d, y)_{(i,j)} = PWC_{(i,j)} \left(W_p, DWC_{(i,j)}(W_d, y) \right) \quad (3)$$

$$DWC(W_d, y)_{(i,j)} = \sum_{k=1}^{k=K} \sum_{l=1}^{l=L} W_d(k, l) x y_{(i+k, j+l)} \quad (4)$$

$$PWC(W_p, y)_{(i,j)} = \sum_{m=1}^M W_m y_{(i,j,m)} \quad (5)$$

MobileNet mimari modellerini oluşturan DWSC, DWC ve PWC yapıları sırasıyla Denklem 3, 4 ve 5’de gösterilmiştir. Denklem 2 ifadesinde olduğu gibi K değerleri görüntü genişliğini temsil ederken, L değerleri görüntü yüksekliğini temsil etmektedir. i ve j değerleri de Denklem 2’de olduğu gibi burada da görüntü pozisyonları ifade etmektedir. DWC y görüntüsüne W_d ‘yi, PWC ise W_p ‘yi kullanmaktadır. PWC, DWC’nin çıktılarını birleştirebilmek için 1×1 konvolüsyon filtresi içermektedir. PWC’nin ana özneliği DWC’nin çıkış öznelik matris boyutlarını azaltmaktır. Denklem 5’de görüldüğü üzere PWC öznelik matrisi m sayıdaki filtreye doğrudan bağlıdır. W_m ise PWC yapısının ağırlık filtresi olarak tanımlanmaktadır.

Bu mimari diğer mimarilere göre daha düşük donanımsal özelliklere sahip cihazlar üzerinde çalışabilmektedir. Yapılan çalışma kapsamında performans değerlendirmesine tabi tutulan diğer mimarilerden daha az hesaplama maliyetine sahiptir. Diğer mimari yapılarda olduğu gibi bu mimari yapıda da ImageNet ağırlıkları kullanılmıştır. Sonrasında oluşturulan yapı, yaprak hastalıklarını sınıflandırmak için önerilen CNN modeline girdi olarak verilmiştir.

3.5. ResNet

He vd. [35] tarafından ortaya çıkartılan ResNet, konvolüsyon ve havuzlama katmanlarından oluşan blok yapılarından oluşmaktadır. Bu mimari VGG mimarisine benzemekle birlikte VGG ağlarından çok daha fazla derindir. Tam bağlantılı katmanlar yerine genel olarak ortalama havuzlama yapıları kullanılmaktadır. 50, 101 ve 152 katmanlardan oluşan ResNet mimarileri bulunmaktadır.

ResNet mimarilerinde katmanları atlayan kısayal bağlantıları bulunan Residual Building Block (RBB) yapıları bulunmaktadır [36]. Bu yapılar sayesinde optimizasyon amaçlı yerel optimum noktalarına takılma sorunu çözülmektedir. RBB yapıları bu kısayol bağlantılarına ek olarak konvolüsyon, toplu normalleştirme, ReLU katmanlarından oluşmaktadır. RBB yapılarının ise RBB-1 ve RBB-2 olmak üzere iki farklı yapısı bulunmaktadır. RBB-1 yapısında kısayollar x , doğrusal olmayan fonksiyon F ile gösterilmiştir. Belirtilen parametreler ile RBB-1’in çıkışını gösteren y ise Denklem 6’da gösterilmiştir.

$$y = F(x) + x \quad (6)$$

RBB-2 yapısında ise RBB-1 yapısı üzerine bir adet konvolüsyon ve toplu normalleştirme katmanı daha eklenmiştir. Birlikte eklenen bu katmanlar H ile ifade edilirse Denklem 7 oluşmaktadır.

$$y = F(x) + H(x) \quad (7)$$

Bu makale kapsamında yaprak hastalıklarını tanımlayabilmek için ResNet50V2, ResNet101V2, ResNet152V2 yapıları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yapılar ImageNet veri setini kullanarak ağırlıklar ile yüklenmiştir. Sonrasında bu yapılar, yaprak hastalıklarını sınıflandırmak için önerilen CNN modeline girdi olarak verilmiştir.

4. Geliştirilen Model

Transfer öğrenme mimarilerinde giriş, tam bağlantı ve sınıflandırma katmanlarında yapılan ince ayarlamalar ile bu mimarilerin eğitildiği veri seti dışında farklı veri setlerinede uygulanabilmesi mümkündür. Önceden eğitilmiş ağlardan farklı bir veri setinde kullanımında öznelik çıkarma işlemi uygulanabildiği gibi oluşturulan bir CNN modeline girdi katmanı olarak yerleştirilebilmektedir. Bunun için önceden eğitilmiş ağlarda değişiklik yapılması gereken katmanlar ile birlikte ağın tüm katmanlarının yeni görüntü üzerinde çalıştırılmasını gerekmektedir.

Burada;

- Önceden eğitilmiş bir ağ alınmaktadır. Çıkış katmanı kaldırılmaktadır. Giriş katmanı bu çalışmada kullanılan veri setine göre ince ayarlardan geçirilmektedir.
- Önceden eğitilmiş ağın üstüne yeni bir CNN mimarisi eklenmekte ve sonrasında bir sınıflandırma eklenmektedir.
- Sonrasında, bu ince ayarlar ile birlikte hem doğrulama hem eğitim verileri ile ağ modeli oluşturulmaktadır.
- Son olarak test görüntüleri modele verildiğinde tanıma işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir.

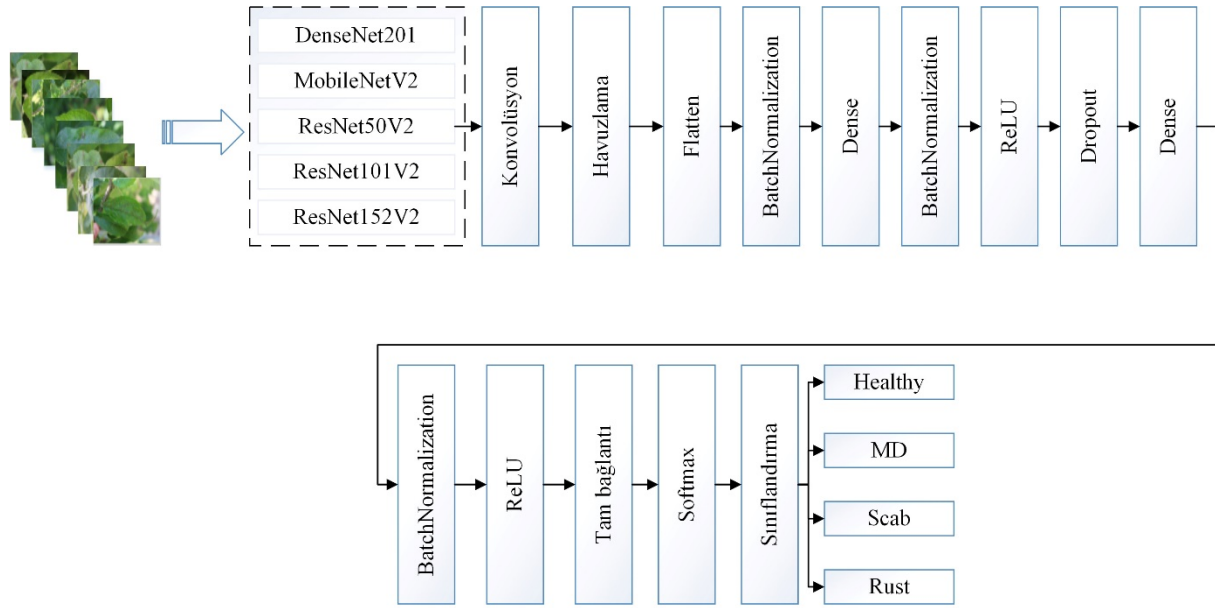
CNN tabanlı sınıflandırma modeli Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 2'de CNN tabanlı modülün ilk katmanını oluşturan transfer öğrenim çıktıları elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan DenseNet201, MobileNetV2, ResNet50V2, ResNet101V2 ve ResNet152V2 önceden eğitilmiş, ince ayarlı CNN algoritmaları genel olarak giriş katmanına katman olarak eklenmiştir. Sonrasında önerilen modelin katman sıralaması şu şekilde planlanmıştır. 5x5'lik filtrelere sahip konvolüsyon katmanı, maksimum havuzlama, düzleştirme (Flatten) katmanı, toplu normalleştirme, 2048 çıkışlı tam bağlantı katmanı, toplu normalleştirme, ReLU aktivasyon, unutma (Dropout) katmanı, 1024 çıkışlı tam bağlantı katmanı, toplu normalleştirme, ReLU aktivasyon katmanı, unutma katmanı ve son olarak sınıf sayısına eşit sayıda çıkış değerine sahip softmax aktivasyon fonksiyonlu tam bağlantı katmanı eklenmiştir.

Tablo 1. Öznelik çıkarmada kullanılan ağ detayları

Ağ	Derinlik	Boyut (MB)	Parametre
DenseNet201 [33]	201	77	20.242.984
ResNet50V2 [35]	-	98	25.613.800
ResNet101V2 [35]	-	171	44.675.560
ResNet152V2 [35]	-	232	60.380.648
MobileNetV2 [37]	88	14	3.538.984

Giriş katmanı ağa verilen girdilerin verildiği katmandır. Bu katmanda girdi boyutunun önceden ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışma boyunca girdiler (224,224) genişlik ve yükseklik boyutunda ayarlanmıştır. Renk kanalı olarak RGB renk kanalı kullanılmış. Girdi sağlamadan temel anlamda görüntüler ön işleminden geçmiştir. Konvolüsyon katmanı, görüntüdeki piksel matrislerini kullanarak öznelik matrisini elde eden temel katmandır. Bu katman görüntü üzerinde belirli filtreleri dönüştürmektedir. Filtreler farklı boyutlarda tanımlı olabilmektedir. En sık kullanılan bu boyutlara örnek olarak 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 veya 11x11 verilebilir.

Çalışmada 60 adet 5×5 'lik filtrelelere sahip konvolüsyon katmanı oluşturulmuştur. ReLU katmanı, aslında aktivasyon katmanıdır. Aktivasyon katmanı konvolüsyon katmanından sonra gelmektedir. Doğrusal ve doğrusal olmayan dönüşüm işlemlerinde kullanılmaktadır. Gerçek veriyi ağına anlayabileceği aralık ve formata getirmektedir. Havuzlama katmanı, konvolüsyon ve ReLU işlemlerinden sonra gerçekleştirilmektedir. Hafızaya dokunmadan görüntü boyutunu azaltmaya çalışmaktadır. Havuzlama katmanında genel olarak maksimum filtreleme ya da ortalama filtreleme kullanılmaktadır. Tam bağlantılı katman ise konvolüsyon, ReLU ve havuzlama katmanından sonra gelmektedir. Bu katmandan önceki öznelik çıkarma nöronları ile tam bağlantı halindedir. Unutma katmanı ağıdaki bazı nöronları aşırı öğrenmenin önüne geçebilmek adına silmektedir. Rastgele seçilen bazı nöronlar ihmal edilebilmektedir. Sınıflandırma katmanı, adından da anlaşılabilir gibi sınıflandırma girdilere göre sınıf etiketlerinin elde edilmesini sağlar. Sınıf etiketlerin elde edilmesinde softmax fonksiyonunu kullanılmaktadır. Tablo 1'de bu çalışma kapsamında kullanılan önceden eğitilmiş ağların detay özellikleri verilmiştir.



Şekil 3. Önerilen CNN tabanlı elma yaprak hastalığı sınıflandırma modeli

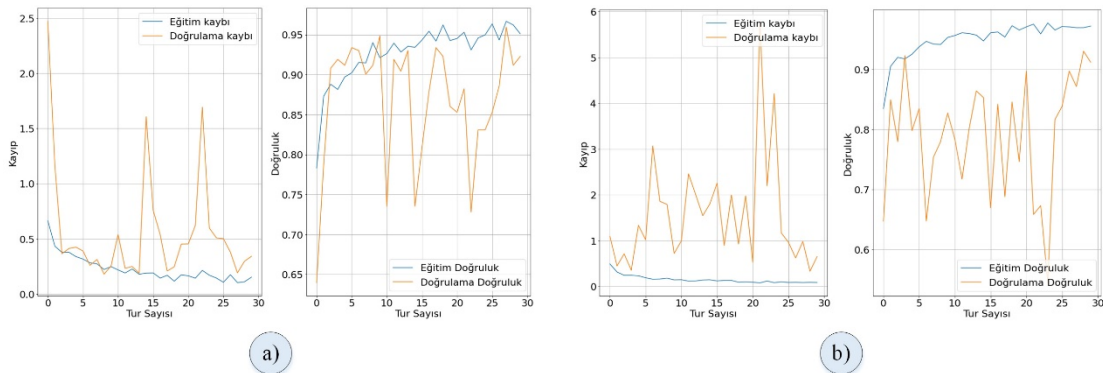
DenseNet201, ResNet50V2, ResNet101V2, ResNet152V2 ve MobileNetV2 mimarileri üzerinde yapılan farklı katmanlardaki ince ayar ile oluşturulan yeni modele katman olarak verilmiştir. Sonrasında önerilen modele ait yukarıda ayrıntıları verilen katmanlar sırasıyla yerleştirilmiştir. Katmanlar ardı sıra boyutları birbirine uyacak şekilde sıralaması belirlenmiştir. Son aşamada ise tam bağlantı katmanı ile her bir nöron tüm öznelik haritası ile bağlantı sağlanmaktadır. Bu bağlantılar, Softmax aktivasyon fonksiyonunu baz alarak sınıf puanlamalarını belirlemektedir. Sınıflandırma katmanı ise sınıflandırıcı görevi için özelleşmektedir. Elma yaprak hastalıklarını sınıflandırmak için farklı deneysel çalışmalar sonucunda Şekil 3'de belirtilen CNN algoritması oluşturulmuştur.

4.1. Deneysel Sonuçlar

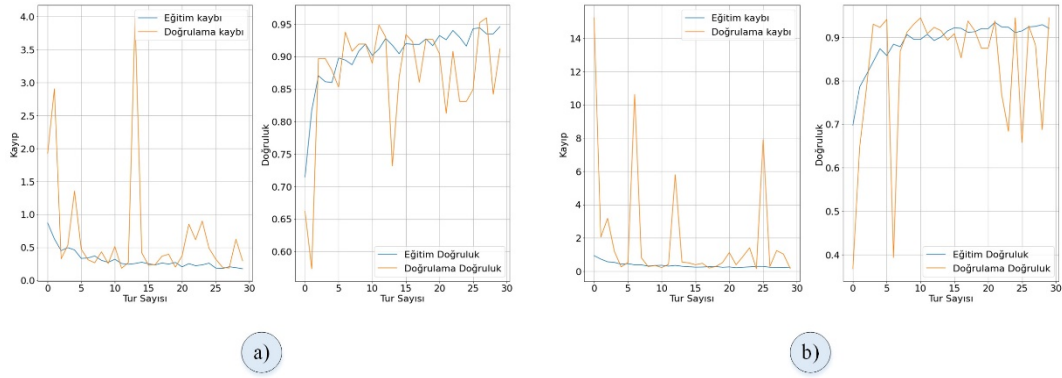
İnce ayarlamalarda, adım değerleri gibi tüm değerlerin, transfer öğrenme yapılmak istenen tüm mimarilerde aynı olacak şekilde değer atamaları yapılmıştır. Buna ek olarak eğitim, doğrulama ve test verileri K-fold 10 değerine ayrılmıştır. Bu nedenle çalışmada K-fold10 değerine göre elde edilen performans değerlerini ortalaması sunulmuştur. Yapılan eğitim işlemlerinde elde edilen sonuçlarda DenseNet201 diğer modellerden daha başarılı bir sonuç vermiştir. Bu sonuçlar ve sıradan modellere göre önerilen modellerin verdiği başarı oranları Tablo 2'te sunulmuştur. F1, Hassasiyet, Eğitim doğruluk ve doğrulama doğruluk değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 2. Kullanılan transfer öğrenimine göre önerilen CNN algoritmanın sınıflandırma sonuçları

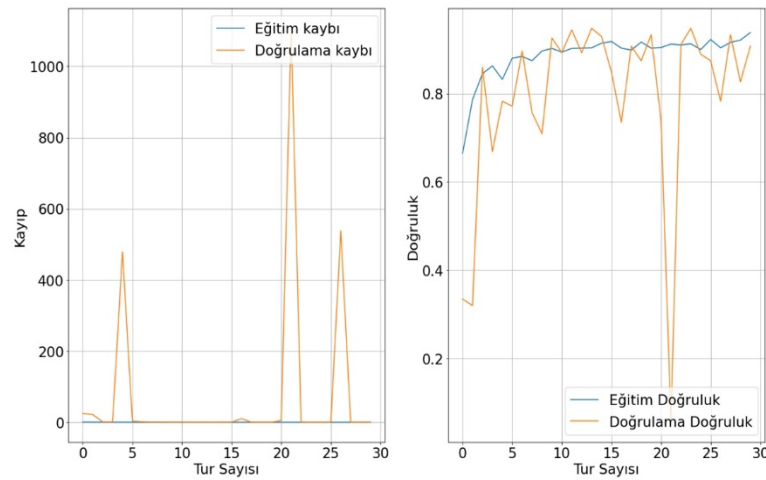
Transfer öğrenme	Eğitim doğruluk	Doğrulama doğruluk	F1 puan	Hassasiyet
Önerilen DenseNet201	0.96	0.95	0.95	0.96
Önerilen ResNet50V2	0.94	0.95	0.94	0.95
Önerilen ResNet101V2	0.93	0.94	0.93	0.93
Önerilen ResNet152V2	0.94	0.95	0.93	0.94
Önerilen MobileNetV2	0.97	0.93	0.94	0.93
DenseNet201	0.94	0.92	0.93	0.92
ResNet50V2	0.91	0.92	0.91	0.91
ResNet101V2	0.92	0.91	0.92	0.91
ResNet152V2	0.93	0.93	0.92	0.91
MobileNetV2	0.95	0.90	0.92	0.92

**Şekil 4.** a) Önerilen CNN algoritmasının DenseNet201 için eğitim ve doğrulama kaybı ve doğruluk grafikleri, b) Önerilen CNN algoritmasının MobileNetV2 için eğitim ve doğrulama kaybı ve doğruluk grafikleri

Şekil 4'te önerilen CNN yöntemiyle aynı ince ayarlamalara tabi tutulan DenseNet201 ve MobileNetV2 transfer öğrenim teknikleri ile elde edilen eğitim ve doğrulama kayıp ve doğruluk grafikleri sunulmuştur. Şekil 5'te önerilen CNN yöntemiyle aynı ince ayarlamalara tabi tutulan ResNet50V2 ve ResNet101V2 transfer öğrenim teknikleri ile elde edilen eğitim ve doğrulama kayıp ve doğruluk grafikleri gösterilmiştir. Şekil 6'da önerilen CNN yöntemiyle aynı ince ayarlamalara tabi tutulan ResNet152V2 transfer öğrenim tekniği ile elde edilen eğitim ve doğrulama kayıp ve doğruluk grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğine doğrulama grafiklerinde bir dalgalanma görülmektedir. Bunun ana sebebi olarak görülebilecek eğitim ve doğrulama verilerinin dağılımı düşünülebilir. Ancak veri dağılımı rastgele olacak şekilde yapılmıştır. Veri çoğaltma tekniğinde sınıflar arası veri dengesizliğinin giderilebilmesi için veri çoğaltma tekniği uygulanmıştır. Veri çoğaltma tekniğinde MD sınıfına özel veri çoğaltma yapılarak veri sayısı diğer sınıflardan en yüksek veri sayısına sahip sınıfın sayısına getirilmiştir. Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 birlikte incelendiğinde eğitim doğruluklarının genel olarak doğrulama doğruluk değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5. a) Önerilen CNN algoritmasının ResNet50V2 için eğitim ve doğrulama kaybı ve doğruluk grafikleri, b) Önerilen CNN algoritmasının ResNet101V2 için eğitim ve doğrulama kaybı ve doğruluk grafikleri



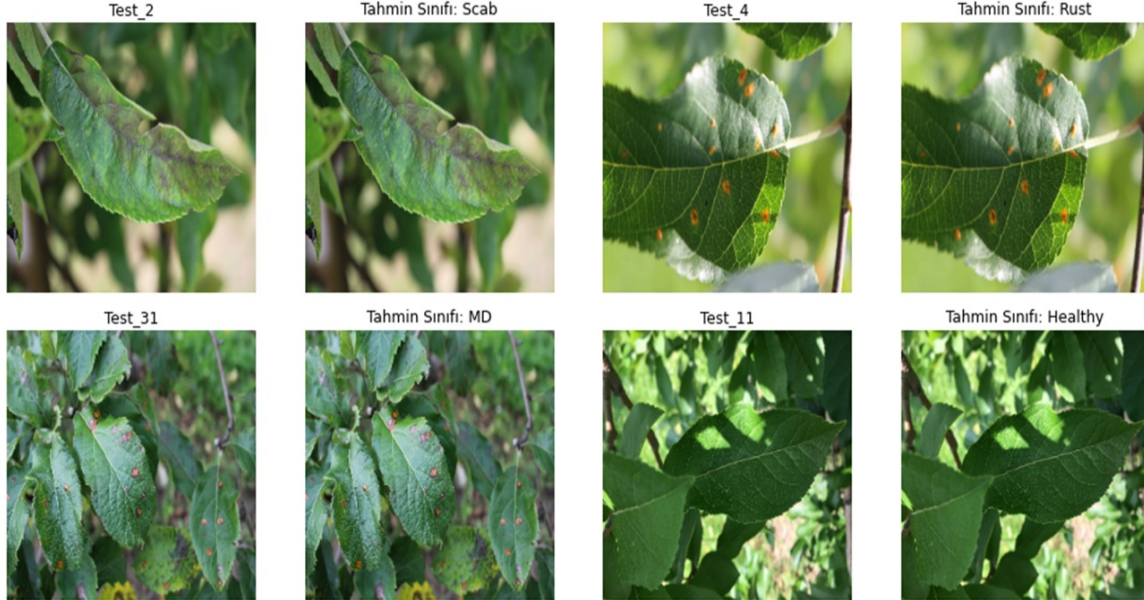
Şekil 6. Önerilen CNN algoritmasının ResNet152V2 için eğitim ve doğrulama kaybı ve doğruluk grafikleri

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modeller ile karşılaştırma tablosu hazırlanmıştır. Tablo 3 aynı verisetini kullanan iki farklı çalışma ile yapılan doğruluk karşılaştırılmasını göstermektedir. Önerilen yaklaşım iki farklı çalışmadan da daha iyi doğruluk oranı vermiştir. Bansal et al. [38] çalışmasında DenseNet121, EfficientNetB7 ve EfficientNet NoisyStudent modellerini kullanarak bir method oluşturduğunu bildirmektedir. Belirtilen önceden eğitilmiş algoritmalarından faydalanarak bitki hastalığı varsa hızlı bir şekilde tespit etmeye çalışmıştır. Divakar et al. [39] ise SMOTE yöntemi kullanılarak elde edilmiş dengeli bir veri setinde EfficientNetB7 yöntemi ile sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Yöntemde farklı önceden eğitilmiş modeller kullanılmasına rağmen en başarılı sonuçların EfficientNetB7 yönteminde elde edildiğini bahsetmektedir.

Tablo 3. Aynı veri setini kullanan literatürdeki çalışmalarla karşılaştırma sonuçları

Model	Yıl	Yöntem	Doğruluk
Bansal et al. [38]	2021	Derin konvolüsyonel sinir ağı	0.96
Divakar et al. [39]	2021	Smote-DL	0.91
Proposed model	2021	Konvolüsyonel sinir ağı yaklaşımı	0.97

Önerilen mimari model oluşturulduktan sonra, test işlemlerinde kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Test veri setindeki görüntüler, eğitilen modele girdi olarak verilmiştir. Girdi sonucunda elde edilen sonuç softmax fonksiyonuna sokularak sınıf puanları elde edilmiştir. Elde edilen sınıf puanlarından maksimum olanı tahmin edilen sınıf etiketi olarak atanmıştır. Son olarak önerilen modelin tahmin ettiği sınıf etiketi ile gerçekteki sınıf etiketi karşılaştırılarak tahminin doğru olup olmadığına karar verilmektedir. Test veri setinden 4 farklı sınıfa ait bazı görüntülerde yapılan tahmin sonuçları Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Test veri setindeki Test_2, Test_4, Test_31 ve Test_11 görüntülerinin test sonuçları

5. Sonuç

Bu çalışma kapsamında elma yaprak hastalıkları ön işlemlerden geçirilerek DenseNet121, MobileNetV2, ResNet50V2, ResNet101V2 ve ResNet152V2 transfer öğrenme teknikleri yardımıyla önerilen CNN yönteminin girdi katmanı oluşturulmuştur. Girdi katmanı üzerine tanıma ve sınıflandırma oranlarını artıracak şekilde temel sinir ağı katmanları eklenmiştir. Elde edilen çalışma sonucunda DenseNet201 ağından elde edilen eğitim doğruluk ve doğrulama doğruluk sonuçları diğer ağ modellerinden daha yüksektir.

Bundan sonraki çalışmada veri setinin aynı sınıfları içeren farklı veri setleri ile birleştirilerek kullanılması üzerine gerçek zamanlı bir çalışma yapılması planlanmaktadır. Doğrulama, doğruluk ve kayıplar arasındaki farklılıkların üzerine gidebilmek için orijinal verilerin artırılması gerekmektedir. Özellikle MD sınıfında az olan örnek sayısı problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Sınıflar arasındaki veri dağılımını dengeleyebilmek için MD sınıfı üzerinde daha fazla veri çoğaltma işlemi yapılması gerekmiştir. Bu işlem gerçekleştirildiğinde ise Şekil 4, 5 ve 6’da görüldüğü üzere farklı aşağı yukarı grafik hareketleri görülmektedir. Eğitim ve doğrulama arasındaki istatistiksel değer farklılıklarının kapanabilmesi için doğrulama verilerinin veri setini daha iyi temsil edebilecek görüntülerden seçilmesinin önem içerdiği kanısına varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan veri setini hazırlayan [4] çalışmasına ait yazarlara teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] G. Sottocornola, F. Stella, and M. Zanker, *Counterfactual Contextual Multi-Armed Bandit: a Real-World Application to Diagnose Apple Diseases*. 2021.
- [2] B. Duralija *et al.*, “The Perspective of Croatian Old Apple Cultivars in Extensive Farming for the Production of Functional Foods,” *Foods*, vol. 10, no. 4. 2021, doi: 10.3390/foods10040708.
- [3] M. Bin Tahir *et al.*, “Recognition of Apple Leaf Diseases using Deep Learning and Variances-Controlled Features Reduction,” *Microprocess. Microsyst.*, p. 104027, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104027>.
- [4] R. Thapa, K. Zhang, N. Snavely, S. Belongie, and A. Khan, “The Plant Pathology Challenge 2020 data set to classify foliar disease of apples,” *Appl. Plant Sci.*, vol. 8, no. 9, p. e11390, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.1002/aps3.11390>.
- [5] V. Singh and A. K. Misra, “Detection of plant leaf diseases using image segmentation and soft computing techniques,” *Inf. Process. Agric.*, vol. 4, no. 1, pp. 41–49, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.005>.
- [6] G. Wang, Y. Sun, and J. Wang, “Automatic Image-Based Plant Disease Severity Estimation Using Deep Learning,” *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2017, p. 2917536, 2017, doi: 10.1155/2017/2917536.
- [7] K. Kayaalp and S. Metlek, “Classification of Robust and Rotten Apples by Deep Learning Algorithm,” *Sak. Univ. J. Comput. Inf. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 111–119, Aug. 2020, doi: 10.35377/saucis.03.02.717452.
- [8] M. Turkoglu, D. Hanbay, and A. Sengur, “Multi-model LSTM-based convolutional neural networks for detection of apple diseases and pests,” *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, 2019, doi: 10.1007/s12652-019-01591-w.
- [9] G. Shrivastava, “Review on Emerging Trends in Detection of Plant Diseases using Image Processing with Machine Learning,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 174, Jan. 2021, doi: 10.5120/ijca2021920990.
- [10] N. Gobalakrishnan, K. Pradeep, C. J. Raman, L. J. Ali, and M. P. Gopinath, “A Systematic Review on Image Processing and Machine Learning Techniques for Detecting Plant Diseases,” in *2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2020, pp. 465–468, doi: 10.1109/ICCSP48568.2020.9182046.
- [11] A. Gargade and S. A. Khandekar, “A Review: Custard Apple Leaf Parameter Analysis and Leaf Disease Detection using Digital Image Processing,” in *2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, 2019, pp. 267–271, doi: 10.1109/ICCMC.2019.8819867.
- [12] B. Liu, Y. Zhang, D. He, and Y. Li, “Identification of Apple Leaf Diseases Based on Deep Convolutional Neural Networks,” *Symmetry (Basel)*, vol. 10, no. 1, p. 11, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.3390/sym10010011>.
- [13] O. Russakovsky *et al.*, “ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge,” *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 115, no. 3, pp. 211–252, 2015, doi: 10.1007/s11263-015-0816-y.
- [14] E. C. Too, L. Yujian, S. Njuki, and L. Yingchun, “A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 161, pp. 272–279, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.032>.
- [15] S. H. Lee, H. Goëau, P. Bonnet, and A. Joly, “New perspectives on plant disease characterization based on deep learning,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, p. 105220, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105220>.
- [16] L. S. P. Annabel, T. Annapoorani, and P. Deepalakshmi, “Machine Learning for Plant Leaf Disease Detection and Classification – A Review,” in *2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2019, pp. 538–542, doi: 10.1109/ICCSP.2019.8698004.
- [17] R. Sujatha, J. M. Chatterjee, N. Z. Jhanjhi, and S. N. Brohi, “Performance of deep learning vs machine learning in plant leaf disease detection,” *Microprocess. Microsyst.*, vol. 80, p. 103615, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103615>.

- [18] Y. Shi, X. F. Wang, S. W. Zhang, and C. L. Zhang, "PNN based crop disease recognition with leaf image features and meteorological data," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 8, pp. 60–68, Aug. 2015, doi: 10.3965/j.ijabe.20150804.1719.
- [19] K. Aurangzeb, F. Akmal, M. A. Khan, M. Sharif, and M. Y. Javed, "Advanced Machine Learning Algorithm Based System for Crops Leaf Diseases Recognition," in *2020 6th Conference on Data Science and Machine Learning Applications (CDMA)*, 2020, pp. 146–151, doi: 10.1109/CDMA47397.2020.00031.
- [20] M. A. Khan, T. Akram, M. Sharif, and T. Saba, "Fruits diseases classification: exploiting a hierarchical framework for deep features fusion and selection," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 79, no. 35, pp. 25763–25783, 2020, doi: 10.1007/s11042-020-09244-3.
- [21] X. Yang and T. Guo, "Machine learning in plant disease research," *Eur. J. Biomed. Res.*, vol. 3, p. 6, Mar. 2017, doi: 10.18088/ejbmr.3.1.2017.pp6-9.
- [22] S. Metlek and E. E. Kılınç, "Determination of Heart Disease By Machine Learning Methods," in *5th International Gap Mathematics-Engineering-Science and Health Sciences Congress*, 2020, pp. 48–74, doi: ISBN: 978-625-7687-23-2.
- [23] D. F. Mengi and S. Metlek, "Türkiye'nin Akdeniz Bölgesine ait rüzgâr ekserjisinin çok katmanlı yapay sinir ağı ile modellenmesi," *Int. J. Eng. Innov. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 102–120, 2020.
- [24] S. Metlek and K. Kayaalp, "Detection of bee diseases with a hybrid deep learning method," *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 36, no. 3, pp. 1716–1731, Mar. 2021, doi: 10.17341/gazimmfd.749443.
- [25] S. P. Mohanty, D. P. Hughes, and M. Salathé, "Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection," *Front. Plant Sci.*, vol. 7, p. 1419, 2016, doi: 10.3389/fpls.2016.01419.
- [26] K. Prashar, R. Talwar, and C. Kant, *Robust Automatic Cotton Crop Disease Recognition (ACDR) Method using the Hybrid Feature Descriptor with SVM*. 2017.
- [27] D. Tiwari, M. Ashish, N. Gangwar, A. Sharma, S. Patel, and S. Bhardwaj, *Potato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning*. 2020.
- [28] S. R. Dubey and A. S. Jalal, "Apple disease classification using color, texture and shape features from images," *Signal, Image Video Process.*, vol. 10, no. 5, pp. 819–826, 2016, doi: 10.1007/s11760-015-0821-1.
- [29] Q. Liang, S. Xiang, Y. Hu, G. Coppola, D. Zhang, and W. Sun, "PD2SE-Net: Computer-assisted plant disease diagnosis and severity estimation network," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 157, pp. 518–529, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.compag.2019.01.034.
- [30] S. Zhang, W. Huang, and C. Zhang, "Three-channel convolutional neural networks for vegetable leaf disease recognition," *Cogn. Syst. Res.*, vol. 53, pp. 31–41, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.04.006>.
- [31] K. Kayaalp and S. Metlek, "Classification of Robust and Rotten Apples by Deep Learning Algorithm," *Sak. Univ. J. Comput. Inf. Sci.*, vol. 3, pp. 111–119, Aug. 2020, doi: 10.35377/saucis.03.02.717452.
- [32] K. P. Ferentinos, "Deep learning models for plant disease detection and diagnosis," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 145, pp. 311–318, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.009>.
- [33] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 4700–4708.
- [34] X. Yu, N. Zeng, S. Liu, and Y.-D. Zhang, "Utilization of DenseNet201 for diagnosis of breast abnormality," *Mach. Vis. Appl.*, vol. 30, no. 7, pp. 1135–1144, 2019, doi: 10.1007/s00138-019-01042-8.
- [35] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Jun. 2016, pp. 770–778, doi: 10.1109/CVPR.2016.90.
- [36] T. Liu, M. Chen, M. Zhou, S. S. Du, E. Zhou, and T. Zhao, "Towards understanding the importance of shortcut connections in residual networks," *arXiv Prepr. arXiv1909.04653*, 2019.
- [37] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen, "Mobilenetv2: Inverted

- residuals and linear bottlenecks,” in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2018, pp. 4510–4520.
- [38] P. Bansal, R. Kumar, and S. Kumar, “Disease Detection in Apple Leaves Using Deep Convolutional Neural Network,” *Agriculture*, vol. 11, no. 7. 2021, doi: 10.3390/agriculture11070617.
- [39] S. Divakar, A. Bhattacharjee, and R. Priyadarshini, “Smote-DL: A Deep Learning Based Plant Disease Detection Method,” in *2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2021, pp. 1–6, doi: 10.1109/I2CT51068.2021.9417920.

YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA KOHEZİF BÖLGE MODELİ UYGULAYARAK VE UYGULAMADAN MODELLEME YAPILMASININ GERİLME DAĞILIMINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İsmail SARAÇ^{1*}

¹Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Aksaray, 68100, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 02.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 21.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.990291

ÖZET

Yapıştırma bağlantılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan sayısal yöntemler zaman içerisinde gelişim göstermiştir. Başlangıçta maksimum gerilme/gerinim yöntemi kullanılarak analizler yapıldı. Bunu takiben, yapıştırma bağlantılarında oluşan hasarın bir çeşit kırılma problemi olması nedeniyle kırılma mekaniği yaklaşımları kullanılmaya başlandı. İlk olarak Lineer Elastik Kırılma Mekaniği temelli çalışmalar yoğun bir şekilde yapıldı. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği yaklaşımıyla önemli oranda başarılı çalışmalar yapılmasına rağmen, çatlak ucunda oluşan gerilme alanının tamamen elastik kabulü ve plastik şekil değişiminin ihmal edilmesi nedeniyle bazı sınırlamalarla karşılaşmıştır. Lineer Elastik Kırılma mekaniğindeki bu sınırlama nedeniyle non-Lineer Elastik Kırılma Mekaniğine odaklanılarak çalışmalar yapılmıştır. 1990' lı yıllarda ise özellikle kohezif bölge modeli hızlı bir gelişme göstermiştir. Tokluğu yüksek yapıştırıcıların, uygulamada artan kullanımıyla birlikte, yapıştırma bağlantılarının doğrusal olmayan kırılma davranışlarını incelemek daha da önemli oldu. Yapılan bu çalışmada, tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme ara bölgelerinde, kohezif bölge modeli uygulayarak ve kohezif bölge modeli uygulamadan modelleme yapılmasının, gerilme ve strain enerji dağılımlarına etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, yapıştırma bağlantılarında kohezif bölge modeli uygulamanın fiziksel probleme daha uygun olduğu ve yapıştırıcı tabakasındaki soyulma gerilmesi, kayma gerilmesi ve strain enerji dağılımı açısından önemli farklılıklar olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapıştırma bağlantıları, kohezif bölge modeli, sayısal analiz

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MODELING WITH AND WITHOUT COHESIVE ZONE MODELING ON THE STRESS DISTRIBUTION IN ADHESIVE JOINTS

ABSTRACT

Numerical methods used to determine the mechanical properties of adhesive joints have developed over time. Initially, analyzes were performed using the maximum stress/strain method. Following this, fracture mechanics approaches were used, since damage to adhesive joints is a kind of fracture problem. Initially, studies based on Linear Elastic Fracture Mechanics were intensively carried out. Although there have been significant successes with the Linear Elastic Fracture Mechanics approach, some limitations have been encountered due to the fact that the stress field formed at the crack tip is assumed to be fully elastic and plastic deformation is neglected. Due to this limitation in Linear Elastic Fracture mechanics, studies have been carried out focusing on non-Linear Elastic Fracture Mechanics. In the 1990s, especially the cohesive zone model showed a rapid development. With the increasing use of high toughness adhesives in practice, it has become even more important to examine the nonlinear fracture behavior of adhesive joints. In this study, the effects of modeling on the stress and strain energy distributions in single lap adhesive joints, between the adhesive and the adhesive material, by applying the cohesive zone model and without applying the cohesive zone model, were investigated. As a result of the study, it was emphasized that the application of the cohesive region model in adhesive joints is more suitable for the physical problem and there are significant differences in terms of the peel stress distribution in the adhesive layer.

Keywords: Adhesive joints, cohesive zone model, numerical analysis

* e-posta: ismailsarac@aksaray.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8438-2744> (Sorumlu Yazar)

1. Giriş

Yapıştırma bağlantılarının mühendislik uygulamalarında güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için mekanik özelliklerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Yapıştırma bağlantılarının mukavemet tahmin yöntemleri zaman içerisinde gelişme göstermiştir. Başlangıçta, basit bağlantı geometrileri (tek tesirli bindirme bağlantısı, çift tesirli bindirme bağlantısı gibi) kullanılarak teorik metotlar geliştirilmiştir. Teorik metotların temel yaklaşımı, yapıştırıcı tabakasındaki maksimum gerilme değerlerinin tespit edilmesi ve bu değerlerin yapıştırıcı dayanım değerleriyle karşılaştırılması şeklinde olmuştur. Bu şekilde hasar tahminleri maksimum gerilmeye bağlı olarak yapılmaya çalışılmıştır. Daha sonraki yıllarda, sonlu elemanlar yönteminin yapıştırma bağlantılarının analizlerinde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte maksimum gerilme/gerinme yöntemi kullanılarak çok sayıda sayısal çalışma yapılmıştır [1-5]. Buna göre yapıştırıcı tabakasındaki gerilme/gerinim dağılımları sonlu elemanlar paket programları kullanılarak elde edilmiş ve kritik değerlerle karşılaştırılarak hasar tahminleri yapılmıştır.

Bunu takiben, yapıştırma bağlantılarında oluşan hasarın bir çeşit kırılma problemi olması nedeniyle kırılma mekaniği yaklaşımları kullanılmaya başlandı. İlk olarak Lineer Elastik Kırılma Mekaniği temelli çalışmalar çok yoğun bir şekilde yapıldı. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği özellikle kırılma/gevrek karakterli malzemelerde önemli oranda doğru sonuçlar vermektedir. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği Yaklaşımında, bağlantılara uygulanan yüklemeler, çatlak büyümesi ile ilgili, gerilme şiddeti faktörü veya enerji yayılım hızı faktörleriyle ilişkilendirilerek çalışmalar yapılmıştır. Lineer Elastik Kırılma Mekaniği yaklaşımıyla önemli oranda başarılı çalışmalar yapılmasına rağmen, çatlak ucunda oluşan gerilme alanının tamamen elastik kabulü ve plastik şekil değişiminin ihmal edilmesi nedeniyle bazı sınırlamalarla karşılaşmıştır.

Özellikle plastik şekil değiştirme kabiliyeti yüksek, kırılma özellikte olmayan yapıştırıcıların üretilmesiyle birlikte yapıştırma bağlantılarının mekanik analizinde yeni çözüm yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır. Çünkü tokluğu yüksek yapıştırıcılarda, kohezif mukavemet plastik bölgeyle doğrudan ilişkili olmaktadır. Lineer Elastik Kırılma mekaniğindeki bu sınırlama nedeniyle Lineer olmayan Elastik Kırılma Mekaniğine odaklanılarak çalışmalar yapılmıştır.

Araştırmacılar tarafından 1950'lerin sonlarına doğru kohezif bölge kavramı önerildi [6-7]. Buna göre, potansiyel bir çatlak yolu (kohezif bölge) boyunca gerilme değerleri, referans olarak kabul edilen çekme-ayrılma yasası kavramıyla ilişkilendirilerek, çatlak ilerlemesi ve kırılma incelemeleri yapıldı. Kırılma prosesinde, gerilme değerleri, kabul edilen ara yüzey yasasına göre deformasyon miktarlarına göre değişmektedir. Öte yandan 1960'ların sonlarına doğru, çatlak ucundaki plastik deformasyonu da dikkate alarak enerji salınım hızını hesaplamak için sünek malzemelere uygulanabilen J-İntegral metodunu önermiştir [8]. Bu çalışmaların öncülüğünde 1990'lara kadar yapıştırma bağlantılarının lineer olmayan kırılma davranışlarını araştırmak için yoğun çalışmalar yapılmıştır.

1990'lı yıllarda ise özellikle kohezif bölge modeli hızlı bir gelişme göstermiştir. Tokluğu yüksek yapıştırıcıların uygulamada artan kullanımıyla birlikte yapıştırma bağlantılarının doğrusal olmayan kırılma davranışlarını incelemek daha da önemli oldu. Böylece tek parametrelili, Lineer Elastik Kırılma mekaniği yaklaşımının, özellikle tokluğu yüksek yapıştırıcıların kullanılmasıyla oluşturulan yapıştırma bağlantılarında, doğru simülasyonların yapılmasında yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Lineer Elastik Kırılma Mekaniğindeki tek parametrelili model yerine, daha doğru bir modelleme yapılabilmesi için kohezif bölge modeli yaklaşımında iki veya üç parametreye gerek olduğu bildirilmiştir. Bu parametreler, kırılma tokluğu, kohezif dayanım ve kohezif dayanımın kayb olduğu karakteristik deplasman değerleri olarak seçilebilmektedir.

Araştırmacılar tarafından yapıştırma bağlantılarının kırılma sürecini modellemek için çeşitli kohezif bölge modelleri önerilmiştir. Bu modeller arasındaki temel fark çekme-deplasman eğrisinin şekli ve kullanılan parametrelerdir. Kohezif bölge modellerinin hepsi kritik değerlere ulaşıldığında çatlak yayılmasına izin verilen bir veya daha fazla ara yüzün tanımlanabileceği varsayımına dayanır. Kohezif bölge modelleri yapıştırma bağlantıları da dahil olmak üzere çeşitli malzeme ve yapıların kırılma davranışlarını incelemek için geleneksel sonlu elemanlar modellerine uyarlanabilmektedirler. Yapıştırma bağlantılarının kırılma problemlerini sayısal olarak incelemek için birkaç tane kohezif bölge modeli tabanlı yöntem bulunmaktadır.

G_n ve G_s , CZM şekillerindeki, yer değiştirme miktarlarına göre çekme-ayrılma grafiklerinin altında kalan alandır. Maksimum normal ve kayma yer değiştirmeleri (δ_n^f, δ_s^f) için, $G_n = G_n^c$ ve $G_s = G_s^c$ kritik tokluk değerleri elde edilir.

Bu tekniğin uygulanabilmesi için, ayrılmanın beklendiği yüzeylere çekme-ayrılma (traction-separation) yasalarının uygulanması gerekmektedir. Buna göre kırılma yolu boyunca çekme ve kayma durumları için enerji salınım hızlarına (G_n ve G_s) ve ilgili malzemeye ait kritik değerlere veya kritik tokluk değerlerine (G_n^c ve G_s^c) ihtiyaç vardır. Ayrılmanın beklendiği yüzeyler malzeme içerisinde bir yüzey olabildiği gibi iki farklı malzemenin ara yüzeyi de olabilmektedir. Normal gerilme (t_n^0) ve kesme gerilmesi (t_s^c) koheziv dayanımları, elastik bölgenin bitimiyle ilgili parametreleridir ve bilinmesi gerekmektedir [1].

Yapıştırma bağlantılarının kohezif bölge modeli kullanılarak modellenmesinde, genellikle yapıştırıcı ara tabakası bir bütün olarak ele alınır ve ince yapıştırıcı tabakanın yerini bir dizi ara yüz veya kontak elemanı alır. Yapıştırıcı tabakası bir yüzey olarak modellenir. Bu yöntem çok ince yapıştırıcı tabakaya sahip yapıştırma bağlantılarının kırılma davranışının incelenmesinde, basitliği ve pratikliği nedeniyle yaygın şekilde kullanılmaktadır. Hesaplama pratikliğine rağmen bu yöntemde bazı sınırlamalar vardır. Çünkü kohezif dayanım, yapıştırıcı tabakasının elastoplastik davranışından etkilenmektedir. Yapıştırıcı tabakası bir yüzey olarak ele alındığında, yapıştırma bağlantısına uygulanan zorlama etkisiyle yapıştırıcı tabakasının elasto-plastik davranışı dikkate alınmamaktadır. Kohezif bölge modeli parametreleri, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme kalınlıklarına bağımlı olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Dolayısıyla, tüm ince ara katmanı bir ara yüz olarak modellemek yerine, yapıştırıcı katman bir elastoplastik süreklilik olarak modellenmesi önerilmektedir [10-11].

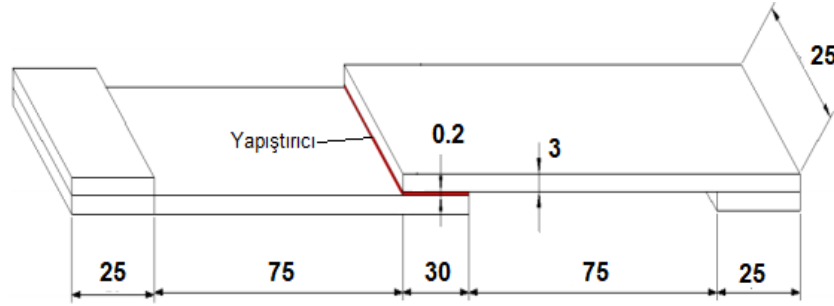
2. Materyal ve Metod

Yapılan bu çalışmada, literatürden alınan deneysel bir çalışmada kullanılan tek tesirli bağlantı modeli boyutlarına uygun şekilde 30 mm bindirme mesafesinde sayısal modeller oluşturulmuştur [12]. Tek tesirli bindirme bağlantı modelinde yapıştırıcı olarak DP460 epoksi yapıştırıcı, yapıştırılan malzeme olarak ise St37 genel yapı çeliği kullanılmıştır. Yapıştırıcı ve yapıştırılan malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 1’de, 30 mm bindirme mesafesinde oluşturulan sonlu elemanlar modelinin genel boyutları Şekil 2’de gösterilmiştir.

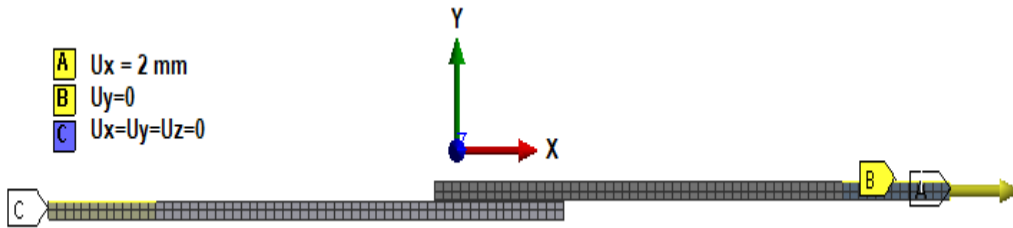
Çizelge 1. DP460 ve St37 mekanik özellikleri [13-14].

Mekanik Özellikler	St37	DP460
Elastisite modülü (MPa)	210.000	1984
Poisson oranı	0,3	0,38
Akma dayanımı(MPa)	235	38,4
Çekme dayanımı (MPa)	375	44,6
Tanjant modülü (MPa)	610	500

Sınır koşulları Şekil 3’ te gösterildiği gibi belirlenmiştir. Buna göre oluşturulan modellerin bir ucu her yönde sabitlenmiştir. Diğer ucuna ise yatay doğrultuda deplasman uygulanmıştır. Deneysel çalışmalarda, tek tesirli yapıştırma bağlantısının, çekme cihazının çeneleri içinde kalan kısımlarında y eksenine doğrultusunda hareket serbestliği kısıtlandığı için buna uygun olarak oluşturulan modellerin her iki ucundaki 25 mm kısımların y eksenine doğrultusundaki hareket serbestliği kısıtlanmıştır.

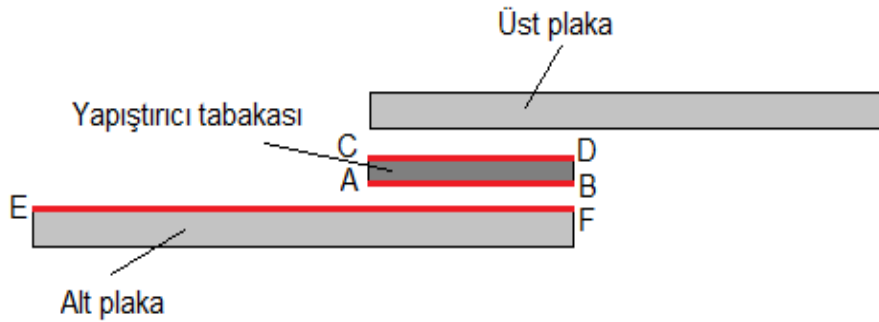


Şekil 2. Sonlu elemanlar modeli genel boyutları



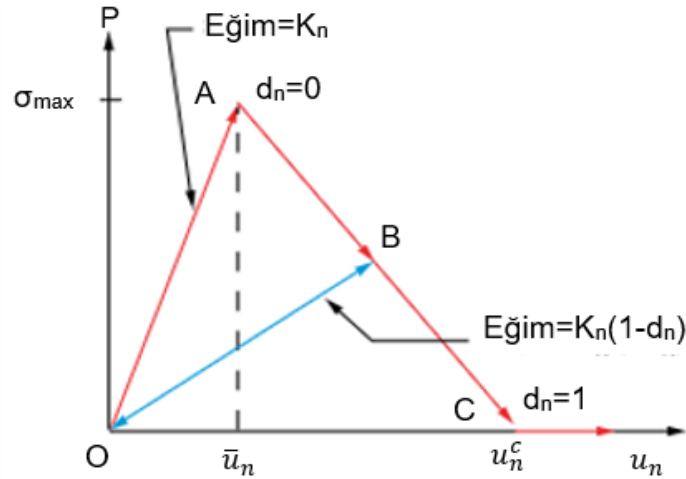
Şekil 3. Sınır şartları

Sonlu elemanlar analizleri iki boyutlu olarak gerçekleştirildi. İki boyutlu analizlerde genelleştirilmiş düzlem şekil değiştirme yöntemi kullanıldı. Yapıştırıcı ve plaka malzemeleri “Bilinear Isotropic Hardening” malzeme modeli kullanılarak elastoplastik olarak modellendi. Yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasındaki Şekil 4’te gösterilen C-D ve A-B yüzeylerine kohezif bölge malzeme modeli uygulanarak (CZM) ve uygulanmadan (Non-CZM) iki farklı teknik kullanılarak sonlu elemanlar modelleri oluşturuldu. Yapılan çalışmada, kohezif malzeme modeli olarak üçgen (bilinear) model kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 4. Kohezif bölge malzeme modeli uygulanan ve gerilme analizi yapılan hatlar

Ara yüz modellenmesinde kontak eleman seti kullanılmıştır. Kontak elemanları ile ara yüzey ayrılmasını modellemek “debonding” olarak adlandırılır. Debonding” şeklinde ara yüzey modellenmesinde kontak elemanları yapışmış (bonded) durumdadır ve kontak bölgesi için bir kohezif bölge materyali tanımlanması gerekir Ara yüz delaminasyonunu modellemek için “Debonding” yöntemini kullanmanın birçok avantajı vardır. Kontak elemanları kullanılarak oluşturulmuş modeller kolaylıkla modifiye edilebilmektedir. Ara yüzey ayrımı, temas boşluğu veya penetrasyon ve teğetsel kayma mesafesi olarak tanımlanır.



Şekil 5. Üçgen koheziv bölge modeli için normal kontak gerilmesi ve kontak boşluğu eğrisi

Şekil 5'te (OA) doğrusu, doğrusal elastik yüklemeyi, (AC) doğrusu, doğrusal yumuşamayı gösterir. Maksimum normal kontak gerilmesi, (A) noktasında elde edilir. Ayrılma (A) noktasında başlar ve normal kontak gerilmesi sıfır değerine ulaştığında (C) noktasında tamamlanır. (OAC) eğrisinin altındaki alan, ayrılmadan dolayı açığa çıkan enerjidir ve kritik kırılma enerjisi olarak adlandırılır. (OA) çizgisinin eğimi, maksimum normal kontak gerilmesindeki kontak aralığını belirler. Böylece, normal kontak gerilmesinin kontak boşluğu ile nasıl azaldığını, yani kırılmanın kırılğan mı yoksa sünek mi olduğunu karakterize eder.

Tek tesirli yapıştırma bağlantılarının mekanik dayanımını etkileyen temel faktörlerden birisi, bindirme bölgesi uç kısımlarında yoğunlaşan soyulma gerilmeleridir. Ayrıca kayma gerilmeleri de hasar oluşumunda etkin olmaktadır. Bundan dolayı, CZM uygulamasında Ansys program paketinden Mod-I ve Mod-II temelli "Mixed Mod" seçilerek analizler yapılmıştır.

Mixed-Mod, normal ve teğetsel kontak gerilmeleri için denklemler şu şekilde yazılır:

$$P = K_n u_n (1 - d_m) \quad (1)$$

$$\tau_t = K_t u_t (1 - d_m) \quad (2)$$

P = normal kontak gerilmesi

K_n = normal kontak katılık

u_n = normal kontak deplasmanı

T_t = teğetsel kontak gerilmesi

K_t = teğetsel kontak katılık

u_t = teğetsel kontak deplasmanı

d_m = ayrılma parametresi

Ayrılma parametresi şu şekilde tanımlanır:

$$d_m = \left(\frac{\Delta_m - 1}{\Delta_m} \right) X \quad (3)$$

$\Delta_m \leq 1$ için, $d_m = 0$, ve $\Delta_m > 1$ için, $0 < d_m \leq 1$

Δ_m ve X aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\Delta_m = \sqrt{\Delta_n^2 + \Delta_t^2} \quad (4)$$

$$\Delta_n = \frac{u_n}{\bar{u}_n} \quad (5)$$

$$\Delta_t = \frac{u_t}{\bar{u}_t} \quad (6)$$

$$X = \left(\frac{u_n^c}{u_n^c - \bar{u}_n} \right) = \left(\frac{u_t^c}{u_t^c - \bar{u}_t} \right) \quad (7)$$

\bar{u}_n = maksimum normal kontak gerilmesindeki normal deplasman

\bar{u}_t = maksimum teğetsel kontak gerilmesindeki teğetsel deplasman

u_n^c = ayrılma tamamlandığında toplam normal deplasman

u_t^c = ayrılma tamamlandığında toplam teğetsel deplasman

Mixed modlu ayrılma için, hem normal hem de teğetsel kontak gerilmeleri toplam kırılma enerjisine katkıda bulunur ve bileşenler için kritik kırılma enerjisi değerlerine ulaşılmadan önce bağ çözme tamamlanır. Bu nedenle, ayrılmanın tamamlanmasını tanımlamak için bir birleşik bir enerji kriteri kullanılır (Denklem 8).

$$\left(\frac{G_n}{G_n^c} \right) + \left(\frac{G_t}{G_t^c} \right) = 1 \quad (8)$$

$$G_n = \int P du_n \quad (9)$$

$$G_t = \int \tau_t du_t \quad (10)$$

G_n ve G_t are, sırasıyla, normal ve teğetsel kırılma enerjileridir.

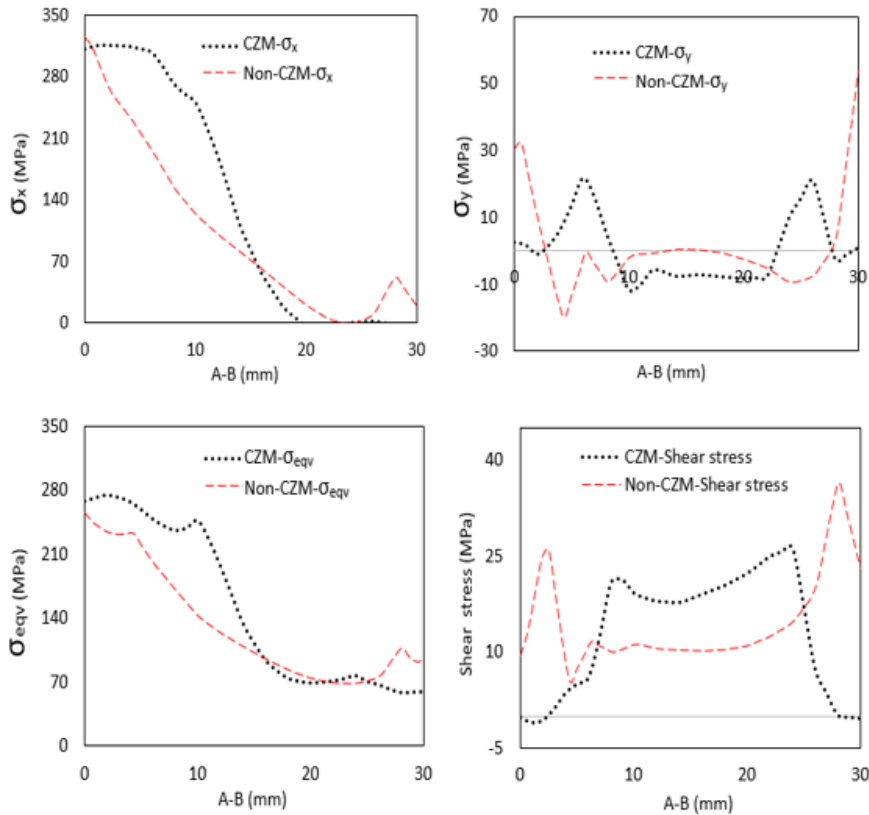
Ansys sonlu elemanlar programında; üçgen malzeme modelinin farklı varyasyonları mevcuttur; bu çalışmada, kırılma enerjisi temelli kohezif bölge malzeme modeli (Fracture-Energies based Debonding, CZM) kullanılmıştır. Bu modelin uygulanabilmesi literatürden alınan DP460 yapıştırıcıya ait kohezif parametreleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. DP460 CZM parametreleri [15].

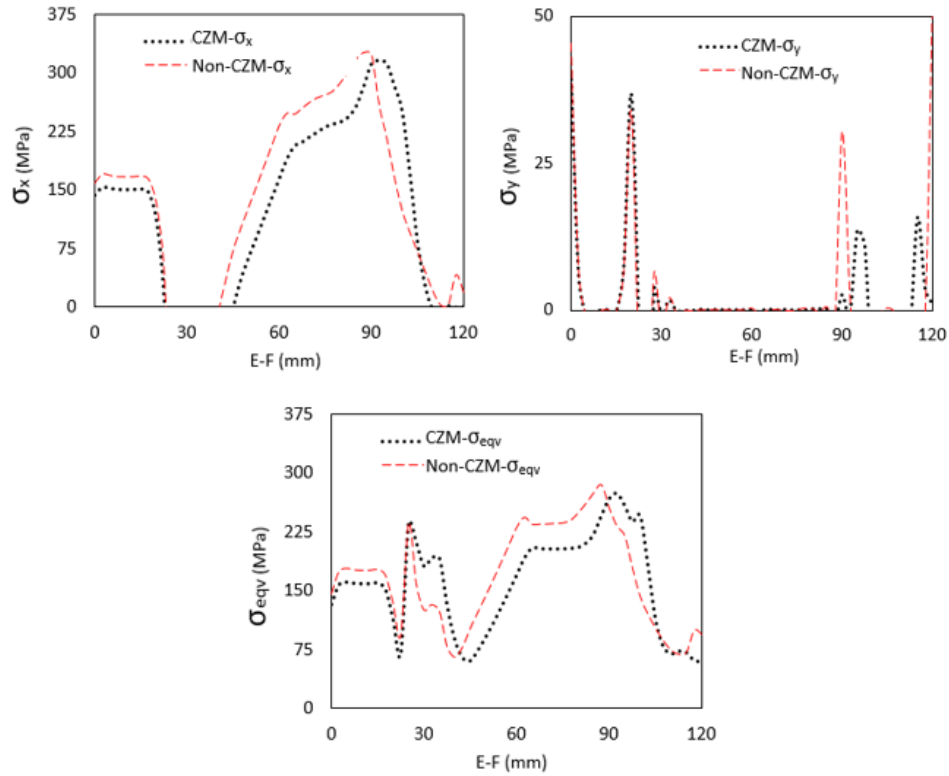
Maksimum normal gerilme (t_n^0)	32,6 MPa
Kritik normal enerji salınım hızı (G_n^c)	2,56 N/mm
Maksimum kesme gerilmesi (t_s^0)	28,5 MPa
Kritik teğetsel enerji salınım hızı (G_t^c)	11,71 N/mm
Maksimum normal yerdeğiştirme mesafesi (δ_n^f)	0,142 mm
Maksimum kayma yerdeğiştirme mesafesi (δ_s^f)	0,518 mm

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapıştırıcı tabakasındaki A-B hattı ve plaka üzerindeki E-F hattı boyunca elde edilen gerilme dağılım grafikleri Şekil 6-7’de verilmiştir. A-B hattında, σ_x normal gerilme, σ_y soyulma gerilmesi, σ_{eqv} eşdeğer gerilme ve τ_{xy} kayma gerilme dağılımları elde edilmiştir. E-F hattında ise σ_x normal gerilme, σ_y soyulma gerilmesi ve σ_{eqv} eşdeğer gerilme dağılımları elde edilmiştir.

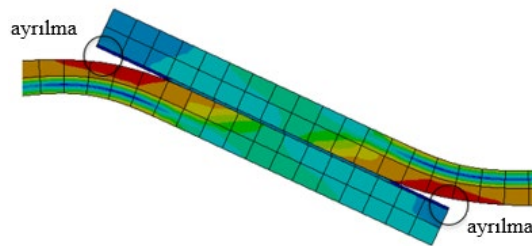


Şekil 6. A-B hattındaki gerilme dağılımları

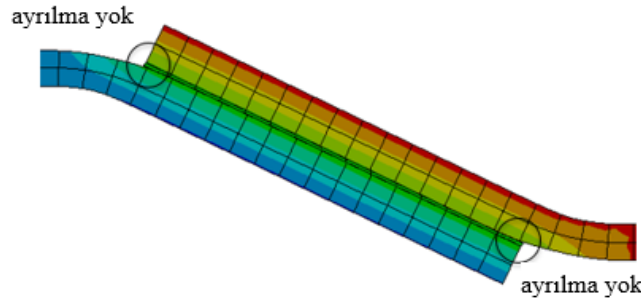


Şekil 7. E-F hattındaki gerilme dağılımları

Yapıştırıcı tabakasındaki A-B hattı boyunca elde edilen gerilme dağılımları incelendiğinde, özellikle soyulma ve kayma gerilme dağılımları, CZM uygulanan ve CZM uygulanmayan modellerde farklılık göstermektedir. CZM kullanılarak yapılan modellemede maksimum soyulma gerilmeleri bindirme uçlarından iç bölgelerde oluşmuştur. Bindirme uç bölgelerinde ise sıfıra yakın değerler elde edilmiştir. CZM uygulanan modelde bindirme uçlarında ayrılma oluştuğu için gerilme değerlerinin düşük olması gerekmektedir. Buna karşı ayrılmanın sonlandığı kısımlarda ise gerilme değerleri yüksek olmaktadır (Şekil 8). CZM uygulanmayan modelde ise bindirme uç bölgelerinde ayrılma oluşmadığı için soyulma gerilmeleri maksimum değerler almaktadır (Şekil 9). Kayma gerilme dağılımları incelendiğinde, CZM uygulanan modelde, bindirme uç bölgelerinde kayma gerilmeleri sıfıra yakın çıkmaktadır. Maksimum kayma gerilmeleri ayrılmanın olmadığı kısımlarda oluşmuştur. CZM uygulanmayan modelde ise kayma gerilmelerinin maksimum değerleri bindirme uç bölgeleri civarında oluşmaktadır. E-F hattındaki gerilme dağılımları incelendiğinde, soyulma gerilme dağılımları, CZM uygulanmayan modelde, bindirme bölgesi uç kısımlarında maksimum değerleri alırken, CZM uygulanan modelde ise bindirme bölgesi iç kısımlarda maksimum değerleri almaktadır. Bu durum A-B hattındaki soyulma gerilme dağılımı ile örtüşmektedir.



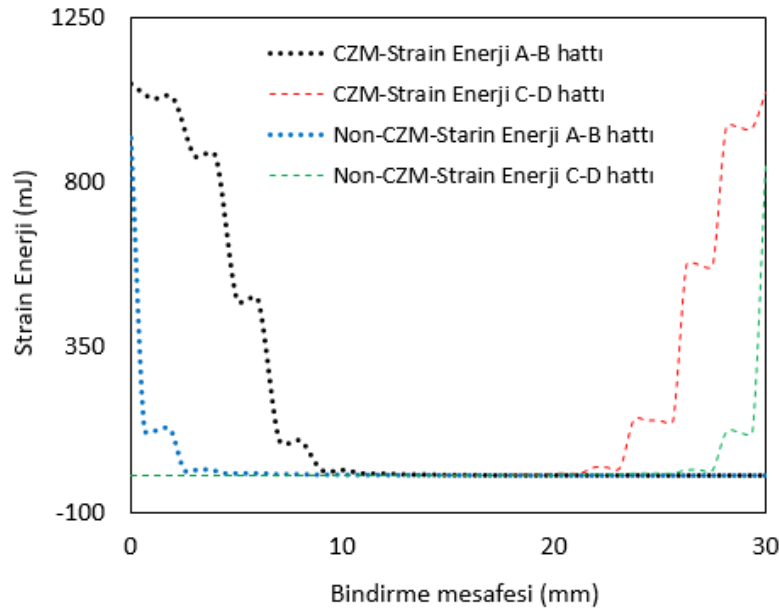
Şekil 8. CZM uygulanan modelde bindirme uçlarındaki ayrılma



Şekil 9. CZM uygulanmayan modelde bindirme uçlarındaki deplasman

CZM analizinde, kırılma enerjisi yüke ve yer değiştirmeye bağlı olduğu için, tek tesirli bindirme bağlantıları bindirme uçlarındaki kırılma enerjisi yapıştırıcının kırılma enerjisine ulaştığında hasar oluşumu başlar. Hasar oluşumu, yüzeylerin birbirinden ayrılması şeklinde kendini gösterir (Şekil 8). Uygulanan sınır şartlarına bağlı olarak tamamen ayrılma gerçekleşinceye kadar hasar ilerler. CZM uygulanmadan yapılan analizde ise bindirme uçlarında ayrılma gerçekleşmez, sadece deplasman meydana gelir (Şekil 9). Tek tesirli bindirme bağlantılarında yapılan çekme deneylerinde, bağlantının hasar durumu incelendiğinde ilk olarak, bindirme uç bölgelerinde oluşan yüksek gerilme yığılmalarının etkisiyle ayrılmalar net olarak gözlemlenmektedir. Bindirme uç kısımlarında ayrılmaların oluşmasından kısa bir süre sonra bağlantı tamamen hasara uğramaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar ve sayısal analizler incelendiğinde CZM uygulanan modellerin bindirme uç bölgelerindeki davranışının deneysel çalışmalar ile direkt olarak uyumlu olduğu görülmektedir.

CZM uygulanan ve uygulanmayan modellere ait A-B ve C-D hatlarındaki strain enerji dağılımları incelendiğinde, CZM uygulanan modellerin bindirme uçlarındaki strain enerji miktarları, non-CZM modellere göre daha yüksek çıkmaktadır (Şekil 10). Bu durum CZM modellerin bindirme uçlarındaki ayrılmalardan kaynaklı olarak deplasman miktarlarının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 10. A-B ve C-D hatlarındaki strain enerji dağılımları

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada, 30 mm bindirme mesafelerinde tek tesirli yapıştırma bağlantılarında, sayısal modeller, CZM kullanılarak ve CZM kullanılmadan (Non-CZM) iki farklı şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin bir ucu sabitlenerek diğer ucuna deplasman uygulanmıştır. Yapılan analiz sonucunda, yapıştırıcı tabakasındaki gerilme ve strain enerji dağılımları ve yapıştırılan malzeme üzerindeki, gerilme dağılımları elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda belirlenen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

Soyulma gerilmeleri; CZM’de bindirme uçlarındaki ayrılmaların bitiş noktalarında maksimum çıkmıştır, non-CZM’de ise bindirme uç kısımlarında maksimum değerler almıştır.

CZM’de bindirme uçlarındaki strain enerji miktarları Non-CZM’e göre daha yüksek çıkmıştır.

Kayma gerilmeleri; CZM’de bindirme uçlarında sıfıra yakın değerler alırken bindirme bölgesi orta kısımlarında maksimum değerler almıştır, Non-CZM’de ise bindirme uç kısımları civarında maksimum değerler almıştır.

Sonuç olarak, yapıştırma bağlantıları sayısal analizinde; CZM yönteminin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda gerilme ve strain enerji dağılımları farklılık göstermektedir. Yapıştırma bağlantılarının sayısal analizinde, CZM yönteminin kullanılmasının, fiziksel probleme daha uygun olduğu, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzemeler arasındaki ayrılmaların daha gerçekçi simüle edilebildiği gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Campilho RDSG., Banea MD, Neto JABP, Da Silva LFM. Modelling adhesive joints with cohesive zone models: effect of the cohesive law shape of the adhesive layer. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2013; 44: 48-56.
- [2] Saraç İ, Adin H, Temiz Ş. Investigation of the effect of use of nano-Al₂O₃, nano-TiO₂ and nano-SiO₂ powders on strength of single lap joints bonded with epoxy adhesive. *Compos Part B* 2019; 166: 472-482.
- [3] Çitil Ş, Ayaz Y, Temiz Ş. Stress analysis of adhesively bonded double strap joints with or without intermediate part subjected to tensile loading. *J Adhes* 2017; 93(5):343-356.
- [4] Saraç İ. Basit bindirmeli yapıştırma bağlantılarında bindirme bölgesi uç açısı değişiminin bağlantı mukavemetine etkisinin sayısal olarak incelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering* 2020; 25(1): 101-110.
- [5] Saraç İ. Boru yapıştırma bağlantılarında farklı tasarım parametrelerinin yapıştırıcı tabakasında gerilme dağılımına etkisinin sayısal olarak araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Dergisi* 2021; 26(1): 215-231.
- [6] Barenblatt GI. The formation of equilibrium cracks during brittle fracture. General ideas and hypotheses. Axially-symmetric cracks. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics* 1959; Vol. 23: 622-636.
- [7] Dugdale DS. Yielding of steel sheets containing slits. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 1960; 8: 100-104.
- [8] Rice JR. A path independent integral and the approximate analysis of strain concentrations by notches and cracks. *Journal of Applied Mechanics* 1968; 35: 379-386.
- [9] Çitil Ş. Investigation of curved and scarf lap joints subjected to tensile loads using the cohesive zone model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 2019; 233(17): 6149-6156.
- [10] Gefu J, Zhenyu O, Guoqiang L, Samuel I, Su-Seng P. Effects of adhesive thickness on global and local Mode-I interfacial fracture of bonded joints. *International Journal of Solids and Structures* 2010; 47: 2445-2458.
- [11] Stein N, Rosendahl PL, Becker W. Modelling load transfer and mixed-mode fracture of ductile adhesive composite joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 2018; 82: 299-310.

- [12] Saraç İ., Adin H, Temiz Ş. Experimental determination of the mechanical properties of adhesive joints bonded epoxy adhesive included Al₂O₃ nanoparticle. *EJT* 2016; 6(2): 104-112.
- [13] Akpınar S. The strength of the adhesively bonded step-lap joints for different step numbers. *Composites Part B* 2014; 67: 170-178.
- [14] Malag L, Kukielka L. Hybrid method to determinate the states of deformation and stress in material during the tensile test *Proc. Appl. Math. Mech.* 2007; 7: 2090025-2090026.
- [15] Kanar B, Akpınar S, Akpınar IA, Akbulut H, Ozel A. The fracture behaviour of nanostructure added adhesives under ambient temperature and thermal cyclic conditions. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 2018; 97: 120-130.

MARTI OPTİMİZASYON ALGORİTMASININ KISITLI MÜHENDİSLİK TASARIM PROBLEMLERİ İÇİN PERFORMANS ANALİZİ

Feyza ALTUNBEY ÖZBAY^{1*}, Erdal ÖZBAY²

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, 23119, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 03.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 30.09.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.990708

ÖZET

Metasezgisel arama algoritmaları, birçok uygulama alanında farklı optimizasyon problemlerini çözmek için yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Özellikle, son yıllarda, karmaşık optimizasyon problemlerini etkin bir biçimde çözebilmek için fiziksel, kimyasal veya biyolojik olaylardan esinlenilerek birçok farklı metasezgisel algoritma geliştirilmiştir. Doğadaki martıların göç ve saldırı davranışlarından ilham alınarak geliştirilen Martı Optimizasyon Algoritması (MOA), maliyetli optimizasyon problemlerinin çözümü için etkili biyoloji tabanlı metasezgisel bir yöntemdir. Bu çalışmada, MOA'nın performansını değerlendirmek için, MOA amaç fonksiyonları, kısıtları ve karar değişkenleri farklı beş kısıtlı mühendislik tasarım problemine uygulanmıştır. MOA ile elde edilen sonuçlar, farklı metasezgisel algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, MOA, karşılaştırılan diğer optimizasyon yöntemlerine göre oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Martı optimizasyon algoritması, Metasezgisel algoritmalar, Mühendislik tasarım problemi

PERFORMANCE ANALYSIS OF SEAGULL OPTIMIZATION ALGORITHM FOR CONSTRAINED ENGINEERING DESIGN PROBLEMS

ABSTRACT

Metaheuristic search algorithms are widely used in many application areas to solve different optimization problems. In particular, in recent years, many different metaheuristic algorithms have been developed, inspired by physical, chemical, or biological phenomena, in order to effectively solve complex optimization problems. The Seagull Optimization Algorithm (MOA), inspired by the migration and attack behavior of seagulls in nature, is an effective biology-based metaheuristic method for solving costly optimization problems. In this study, MOA objective functions, constraints, and decision variables have been applied to five different constrained engineering design problems to evaluate the performance of MOA. The results obtained with MOA have been compared with different metaheuristic algorithms. According to the experimental results obtained, MOA achieved quite good results compared to other optimization methods.

Keywords: Seagull optimization algorithm, Metaheuristic algorithms, Engineering design problem

1. Giriş

Optimizasyon son yıllarda oldukça büyük ilgi görmekte ve her geçen gün birçok yeni optimizasyon yöntemi geliştirilmektedir. Geliştirilen bu yeni yöntemler gerçek dünya problemlerini çözmek için kullanılmaktadır. Optimizasyon, belirli kısıtlamalar altında mevcut arama alanında, belirli

*1 e-mail: faltunbey@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0629-6888> (Sorumlu Yazar),

² e-mail: erdalozbay@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9004-4802>

bir problemin en uygun çözümünü araştıran aktif bir araştırma alanıdır. Optimizasyonun temel amacı, bir amaç fonksiyonu minimize veya maksimize etmek için karar değişkenlerini belirleme sürecidir.

Gerçek dünya problemlerinin çoğu, doğrusal olmayan kısıtlamalara, yüksek hesaplama maliyetine, karmaşık ve çok sayıda çözüm alanına sahiptir. Bu nedenle, çok sayıda değişken ve kısıtlama içeren bu tür problemleri çözmek oldukça karmaşıktır. Klasik optimizasyon tekniklerinin çoğu, son zamanlarda geliştirilen karmaşık optimizasyon problemlerine uygun çözümler sağlayamayan klasik matematik ve olasılık ilkelerine dayalı olarak formüle edilmiştir. Matematiksel programlama gibi klasik optimizasyon yöntemleri genellikle, basit optimizasyon problemleri için etkili çözümler sunabilmektedir. Ancak, gerçek dünya mühendislik optimizasyon problemlerini klasik optimizasyon yöntemleri ile çözülmesi nispeten zordur. Bu nedenle birçok araştırmacı, karmaşık optimizasyon problemlerini makul bir hesaplama süresi içinde kabul edilebilir bir maliyet ile çözmek için metasezgisel algoritmalar adı verilen yeni çözüm teknikleri önermeye başlamıştır.

Metasezgisel yöntemler, klasik optimizasyon tekniklerine göre birçok avantaja sahip olduğu için son yıllarda araştırmacılar arasında daha popüler hale gelmiştir. Bu yöntemlerin, klasik optimizasyon yöntemlerine göre en önemli avantajı, optimizasyon problemlerini çözmek için gradyan bilgisine ihtiyaç duymamasıdır. Diğer önemli bir avantaj ise, farklı çalışma alanlarında uygulanmalarının kolay olmasıdır. Metasezgisel optimizasyon algoritmalarının en önemli avantajlarından biri de, iyi bilinen kısıtlı matematiksel ve mühendislik tasarım problemlerine daha iyi çözümler sağlayabilme konusundaki etkinlikleri ve başarılarıdır. Metasezgisel algoritmalar, zor optimizasyon problemleri için iyi çözümler bulabilir, ancak optimal çözümlere ulaşılabilmesinin garantisi bulunmamaktadır [1]. Araştırmacılar metasezgisel algoritmaları geliştirirken doğadaki fiziksel, biyolojik, kimyasal olaylardan ya da doğadaki canlıların yaşam biçimlerinden ilham almışlardır. Elektromanyetik kuvvet, eylemsizlik kuvveti ve yerçekimi gibi fizik kanunlarını kullanarak farklı yöntemler önermişlerdir. Fizik kanunlarından esinlenerek geliştirilen algoritmalarından popüler olanları: Büyük-Patlama Büyük-Çöküş (Big-Bang Big-Crunch) [2], Kara Delik (Black Hole) [3], Merkezi Kuvvet Optimizasyonu (Central Force Optimization) [4], Yer Çekimi Arama Algoritması (Gravitational Search Algorithm) [5], Su Döngüsü Algoritması (Water Cycle Algorithm) [6]. Metasezgisel yöntemler önerilirken ilham alınan diğer önemli bir esin kaynağı ise doğadaki canlıların sürü şeklindeki yaşayış biçimleridir. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) [7], Karınca Koloni Optimizasyonu (Ant Colony Optimization) [8], Yarasa Algoritması (Bat Algorithm) [9], Ateşböceği Algoritması (Firefly Algorithm) [10], Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) [11] gibi birçok algoritma sürü tabanlı metasezgisel yöntemlere örnek olarak verilebilir.

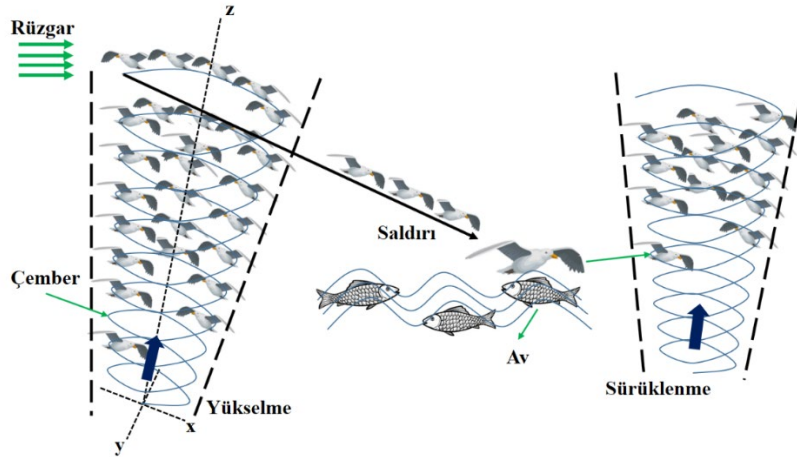
Literatürde birçok optimizasyon algoritması önerilmesine rağmen bütün optimizasyon problemlerine en uygun çözümü sunabilecek bir algoritma bulunmamaktadır [12]. Martı Optimizasyon Algoritması (MOA), doğadaki martıların göç ve saldırı davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş yeni biyoloji tabanlı bir metasezgisel yöntemdir [13]. Bu yöntemde, martıların bu davranışları, belirli bir arama uzayında keşif ve sömürüyü vurgulamak için matematiksel olarak modellenmiştir [14]. Bu çalışmada, yeni geliştirilmiş bir metasezgisel yöntem olan MOA'nın farklı mühendislik tasarım problemleri üzerindeki performansları ölçülmüştür. Bu amaçla MOA, kaynaklı kiriş, germe/sıkıştırma yay, basınçlı kap, hız düşürücü ve üç çubuklu kafes olmak üzere amaç fonksiyonları, kısıtları ve karar değişkenleri farklı beş kısıtlı mühendislik tasarım problemine uygulanmıştır. Biyolojiden esinlenerek geliştirilen MOA ile edilen sonuçlar, literatürdeki, kaynaklı kiriş, germe/sıkıştırma yay, basınçlı kap, hız düşürücü ve üç çubuklu kafes problemine çözüm bulan farklı metasezgisel algoritmalar ile karşılaştırılarak performans analizi yapılmıştır.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki gibi ilerlemektedir: İkinci bölümde, MOA'nın ilham kaynağı ve algoritmanın matematiksel modeli incelenmiştir. MOA'nın performansı, beş farklı mühendislik tasarım problemi üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar iyi bilinen birçok farklı algoritma ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ve gelecekteki çalışmalar dördüncü bölümde tartışılmıştır.

2. Martı Optimizasyon Algoritması

2.1. Biyolojik Paradigma

Laridae ismiyle bilinen martıgiller familyasının birer üyesi olan martılar, türlerinin çoğunluğunun Larus olarak adlandırıldığı deniz kuşlarının ortak adıdır. Martılar, hem tatlı hem de tuzlu su içebilen nadir hayvanlardan biridir. Bu bakımdan martılar, çöller ve kutupların donmuş kesimleri haricinde dünyanın birçok bölgesindeki su çevrelerinde koloniler halinde yaşama olanağı bulabilen, genellikle iri gövdeli hantal kıyı kuşlarıdır. Çeşitli martı türleri, farklı kütle ve uzunluğa sahip olabilmektedir. Türlerinin çoğu uzun bir gagaya ve perdeli ayaklara sahiptir, büyük çoğunluğunun gövdeleri beyaz ya da gri tonlarındadır ve baş kısımlarında siyah renkte izler bulunabilmektedir. Martı türleri, gaga renkleri ve kanat desenlerinin yanı sıra bacaklarına da bakılarak ayrıştırılabilmektedir. Martılar omnivordur, çoğunlukla besinleri, yengeç, küçük balık ve yumuşakçalardan oluşmaktadır. Bunların dışında böcek, sürüngen, amfibi ve solucan gibi hemen hemen her şeyi yiyebilen cesur ve zeki kuşlardır. Örneğin; balık avlarken onları çekmek için ekme kırıntılarını kullanırlar, benzer şekilde toprak altındaki solucanları yukarıya çekmek için ayaklarıyla yağmuru anımsatan sesler çıkarabilmektedirler. İletişimlerinde ise gelişmiş bir sosyal yapının karmaşık metotlarını sergilemektedirler. Örneğin; birçok martı türü, farklı türden kuş ya da diğer davetsiz misafirlere karşı saldırı eğilimindedir.



Şekil 1. Martıların ava saldırma ve göç davranışları

Martılar için en önemli iki davranışı, göç etme ve ava saldırı planlamasıdır. Martıların bu iki önemli davranışı Şekil 1’de örneklendirilmiştir. Martılar av bulma ve saldırı konularında zekâsını ortaya koymaktadırlar. Martılar için göç, kendilerine yeterli enerjiyi sağlayabilecek, bol ve en zengin besin kaynaklarına ulaşabilmek için mevsimsel olarak bir yerden başka bir yere hareket etmeleri olarak nitelendirilmektedir [15]. Martıların göç ve ava saldırı davranışlarına ait bazı özellikler şu şekilde açıklanmaktadır;

- Martılar göçe hazırlanırken birbirleriyle çarpışmalarını için farklı başlangıç konumlarından harekete geçerler ve göç esnasında sürekli grup halinde seyahat ederler.
- Grup halindeki martılar, hayatta kalmaya en uygun olan martı (popülasyonu değerlendiren ve çözümün kalitesini ölçen bir fonksiyon olan uygunluk değeri diğerlerine kıyasla düşük olan) yönünde seyahati tercih edebilirler.
- Diğer martılar en uygun martıya göre başlangıç konumlarını güncelleyebilmektedir.

Martılar, göç esnasında göç eden diğer kuşlara saldırı yapma eğilimindedir [16]. Saldırı hücumu sırasında doğal spiral şeklindeki hareketleri sergileyebilirler. Bu davranışın yansıtıldığı kavramsal bir model Şekil 1’de verilmiştir.

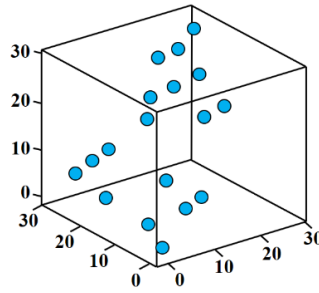
2.2. Matematiksel Model

MOA, martıların göç ve ava saldırı esnasında sergilediği doğal davranışlardan esinlenerek formüle edilen bir algoritmadır. Bu bakımdan bu davranışlar, optimize edilecek olan amaç fonksiyonu ile ilişkilendirilebilecek şekilde formüle edilmeye imkân sağlamaktadır.

2.2.1. Göç (Keşif)

MOA'da, bir grup martının bir konumdan diğerine geçiş esnasında nasıl hareket ettiği benzeştirilmektedir. Bir martının bu aşamada sağlaması zorunda olduğu üç koşul bulunmaktadır. Bunlar:

- **Çarpışmalardan kaçınma:** Şekil 2'de gösterildiği üzere birbirleri (komşu martılar) arasında gerçekleşebilecek çarpışmaları önlemek adına, yeni arama ajanı konumunun hesaplanması için denklem (1)'de ek bir A değişkeni kullanılmaktadır [17].



Şekil 2. Arama ajanları arasında çarpışmadan kaçınma

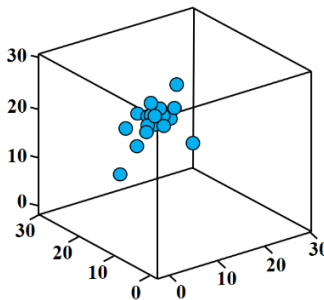
$$\vec{C}_s = A \times \vec{P}_s(x) \quad (1)$$

Denklem 1'deki \vec{C}_s , diğer arama ajanları ile çarpışmayan bir aday arama ajanının konumunu temsil etmektedir, \vec{P}_s , mevcut arama ajanının pozisyonunu temsil etmektedir. Buradaki x , mevcut yinelemeyi göstermektedir. A ile bir arama ajanının, verilen arama uzayındaki hareketine ait davranışı temsil edilmektedir [17].

$$A = f_c - (x \times (f_c / Mak_{yineleme})) \quad (2)$$

Burada $x = 0, 1, 2, \dots, Mak_{yineleme}$ aralığındadır. f_c , f_c 'den 0'a doğru lineer olarak azaltılan A değişkeninin kullanım sıklığını kontrol etmek için tanımlanmıştır.

- **En iyi komşu yönünde hareket:** Komşular arasındaki çarpışmalardan kaçınmakla birlikte Şekil 3'te gösterildiği üzere arama ajanları en iyi komşu yönüne doğru hareket etmektedirler [17].



Şekil 3. Arama ajanlarının en iyi komşu yönünde hareketi

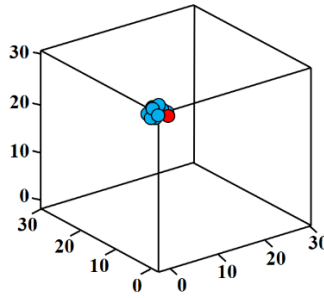
$$\vec{M}_s = B \times (\vec{P}_{bs}(x) - \vec{P}_s(x)) \quad (3)$$

Buradaki \vec{M}_s , \vec{P}_{bs} 'nin en uygun arama ajanı olan \vec{P}_s 'ye (en uygun martı) yönelik konumlarını temsil etmektedir. B , keşif ve sömürü arasındaki dengeyi niteleyen rastgele bir davranışı nitelendirmektedir ve denklem (4) ile hesaplanmaktadır:

$$B = 2A^2 \times rd \quad (4)$$

Burada, [0, 1] aralığında yer alan rastgele bir sayıdır.

• **En iyi arama ajanına yakın kalma:** Göç (keşif) davranış modelinin son koşulu olarak, arama ajanı, Şekil 4'te gösterildiği üzere en iyi arama ajanına yönelimli olarak konumunu güncelleyebilmektedir.

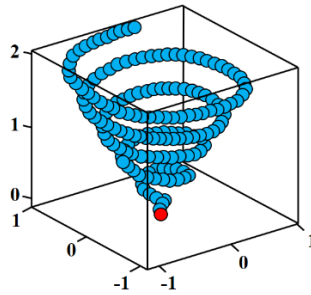


Şekil 4. En iyi arama ajanına yönelik yakınsama hareketi

$$\vec{D}_s = |\vec{C}_s + \vec{M}_s| \quad (5)$$

Buradaki \vec{D}_s , arama ajanı ile en uygun arama ajanı (uygunluk değeri daha düşük olan en iyi martı) arasındaki mesafeyi temsil etmektedir.

2.2.2. Ava Saldırı (Sömürü)



Şekil 5. Martının avına saldırıdaki doğal spiral hareketi

Martılar için ava saldırı, geçmişteki arama süreçlerinden edinilen tecrübe ve deneyimlerin bütününden yararlanmayı hedeflemektedir. Göç esnasında martılar, hızlarının dışında zaman zaman saldırı açılarını da değiştirebilmektedir. Bununla birlikte yüksek irtifalarını korumak adına uzun kanat açıklığı ve gövde ağırlıklarından faydalanmaktadırlar. Martılar belirledikleri bir ava saldırı düzenledikleri sırada havada spiral hareket davranışları sergilemektedirler. Bu hareket şekil 5'te temsili

olarak gösterilmektedir. Bu davranış koordinat ekseninin x , y ve z düzlemlerinde denklem (6)-(9) ile tanımlanmaktadır [17].

$$x' = r \times \cos(k) \quad (6)$$

$$y' = r \times \sin(k) \quad (7)$$

$$z' = r \times k \quad (8)$$

$$r = u \times e^{kv} \quad (9)$$

Burada r , spiral şeklindeki her bir dönüşün yarıçapını ifade etmektedir. k , $[0 \leq k \leq 2\pi]$ aralığında rastgele üretilen bir katsayıdır. u ve doğal logaritmik taban olan e üzerindeki v , spiral şekli tanımlayan sabit değerlerdir. Arama ajanının güncel konumları denklem (5)-(9) ile hesaplanmaktadır.

$$\vec{P}_s(x) = \vec{D}_s \times x' \times y' \times z' + \vec{P}_{bs}(x) \quad (10)$$

Buradaki $\vec{P}_s(x)$ ile hesaplanan en iyi çözüm saklanmakta ve diğer arama ajanlarının konumu güncellenmektedir [17].

Biyolojiden ilham alınarak geliştirilen bir optimizasyon algoritması olan MOA, çalışmaya rastgele oluşturulmuş bir popülasyon ile başlamaktadır. Konum yineleme işlemleri sırasında, arama ajanları konumlarını en iyi arama ajanına göre güncelleyebilmektedir. A değişkenin değeri, her bir yinelemede, f_c 'den 0'a doğru lineer olarak azaltılmaktadır. B değişkeni, göç (keşif) ve ava saldırı (sömürü) arasındaki geçiş dengesinin yumuşaklığından sorumludur. Bu bakımdan MOA, daha iyi bir göç (keşif) sunması ve kullanım kabiliyetinin kolaylığı nedeniyle küresel bir optimize edici olarak kabul edilebilmektedir. MOA'nın sözde kodu Algoritma-1 ile verilmiştir.

Algoritma-1: Martı Optimizasyon Algoritması (MOA)

Girdi: \vec{P}_s , martı popülasyonu

Çıktı: \vec{P}_{bs} , en iyi arama ajanı

1: **başla** (MOA prosedürü)

2: A , B ve $Max_{yineleme}$ başlangıç parametrelerini ayarla

3: $f_c \leftarrow 2$, $u \leftarrow 1$, $v \leftarrow 1$ 'e ayarla

4: **while** ($x < Max_{yineleme}$) **do**

5: $\vec{P}_{bs} \leftarrow FitnessHes(\vec{P}_s)$, FitnessHes ile her arama ajanı için uygunluk değeri hesaplanır.

Göç (keşif) davranışı-

6: $rd \leftarrow Rast(0, 1)$, $[0, 1]$ aralığında rastgele sayı üretilir.

7: $k \leftarrow Rast(0, 2\pi)$, $[0, 2\pi]$ aralığında rastgele sayı üretilir.

Ava saldırı (sömürü) davranışı-

8: $r \leftarrow u \times e^{kv}$, spiral davranışın oluşturulması için.

9: Denklem (5) kullanılarak \vec{D}_s mesafesi hesaplanır.

10: $P \leftarrow x' \times y' \times z'$ (6)-(9) Denklemleri kullanılarak x , y , z düzlemleri hesaplanır.

11: $\vec{P}_s(x) \leftarrow (\vec{D}_s \times P) + \vec{P}_{bs}(x)$

12: $x \leftarrow x + 1$

13: **end while**

14: return \vec{P}_{bs}

15: **bitir**

1: **başla** FitnessHes (\vec{P}_s) prosedürü

2: **for** $i \leftarrow 1 : n$ **do**, burada n , verilen bir problemin boyutunu temsil etmektedir.

3: $Fit_s[i] \leftarrow FitnessFunction(\vec{P}_s(i, :))$, Her bireyin uygunluk değerini hesapla.

4: **end for**

```

5:  $Fit_{s_{best}} \leftarrow Best(Fit_s[])$ ,  $Best$  fonksiyonu kullanılarak en iyi uygunluk değeri hesaplanır.
6: return  $Fit_{s_{best}}$ 
7: bitir

```

```

1: başla  $Best(Fit_s[])$  prosedürü
2:  $Best \leftarrow Fit_s[0]$ 
3: for  $i \leftarrow 1 : n$  do
4:   if ( $Fit_s[i] < Best$ ) then
5:      $Best \leftarrow Fit_s[i]$ 
6:   end if
7: end for
8: return  $Best$ , En iyi uygunluk değeri döndürülür.
9: bitir

```

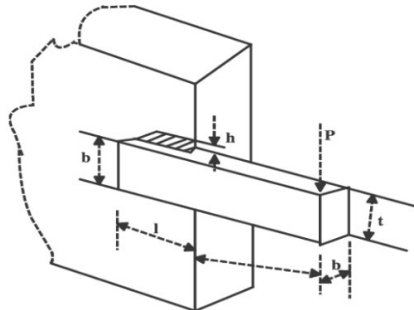
3. Deneysel Sonuçlar

Bu bölümde, MOA'nın etkinliğini test etmek için gerçek hayattaki mühendislik tasarım problemlerine uygulanmıştır. Gerçekleştirilen tüm uygulamalar Matlab R2019b yazılım ortamında yapılmıştır. MOA, kaynaklı kiriş, germe/sıkıştırma yayı, basınçlı kap, hız düşürücü ve üç çubuklu kafes problemi olmak üzere iyi bilinen beş adet kısıtlı mühendislik tasarım problemine uygulanmıştır. Ele alınan tüm problemler, farklı amaç fonksiyonlarına, kısıtlamalarına ve karar değişkenlerine sahiptir. Bu problemler, gerçek hayat problemlerinde MOA geçerliliğini ve etkinliğini göstermek için seçilmiştir. MOA'nın etkinliğini göstermek için elde edilen sonuçlar birçok farklı güncel metasezgisel algoritma ile karşılaştırılmıştır.

3.1. Kaynaklı Kiriş Tasarım Problemi

Kaynaklı tasarım problemi ilk kez Coello tarafından önerilmiştir [18]. Bu tasarım probleminin temel amacı, kesme gerilimi (t), kirişteki eğilme gerilimi (σ), çubuktaki burkulma yükü (P_c), kirişin uç sapması (δ) ve yan kısıtlamalara bağlı olarak kaynaklı kirişin üretim maliyetini minimize etmektir. Şekil 6'da görseli verilen kaynaklı kiriş tasarım probleminin aşağıda tanımlanan dört adet tasarım değişkeni bulunmaktadır;

- h (x_1): kaynak kalınlığı
- l (x_2): kaynak bağlantı uzunluğu
- t (x_3): kirişin genişliği
- b (x_4): kiriş kalınlığı



Şekil 6. Kaynaklı kiriş tasarım problemi

$x = [x_1, x_2, x_3, x_4] = [h, l, t, b]$ değişkenlerini göz önüne alınarak kaynaklı kiriş probleminin matematiksel olarak denklem (11) ile modellenabilir:

$$\begin{aligned}
f(x) &= 1.10471x_1^1x_2 + 0.04811x_3x_4(14 + x_2) \\
g_1(x) &= \tau(x) + \tau_{maks} \leq 0, \\
g_2(x) &= \sigma(x) + \sigma_{maks} \leq 0, \\
g_3(x) &= \delta(x) + \delta_{maks} \leq 0, \\
g_4(x) &= x_1 - x_4 \leq 0, \\
g_5(x) &= P - P_c(x) \leq 0, \\
g_6(x) &= 0.125 - x_1 \leq 0, \\
g_7(x) &= 0.10471x_1^2 + 0.04811x_3x_4(14 + x_2) - 5 \leq 0,
\end{aligned} \tag{11}$$

Burada;

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + 2\tau'\tau''\frac{x^2}{2R} + (\tau'')^2}, \quad \tau' = \frac{P}{\sqrt{2}x_1x_2}, \quad \tau'' = \frac{MR}{J} \tag{12}$$

$$M = P(L + \frac{x_2}{2}), \quad R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + (\frac{x_1+x_3}{2})^2}, \tag{13}$$

$$J = 2 \left\{ \sqrt{2}x_1x_2 \left[\frac{x_2^3}{4} + (\frac{x_1+x_3}{2})^2 \right] \right\}$$

$$\sigma(x) = \frac{6PL}{x_4x_3^2}, \quad \delta(x) = \frac{4PL^3}{Ex_4x_3^2}, \quad P_c(x) = \frac{4.013E\sqrt{\frac{x_3^2x_4^6}{36}}}{L^2} \left\{ 1 - \frac{x_3}{2L} \sqrt{\frac{E}{4G}} \right\} \tag{14}$$

Burada; $P = 6000lb$, $L = 14in$, $E = 30 \times 10^6psi$, $G = 12 \times 10^6psi$, $\tau_{maks} = 13,600psi$, $\sigma(x) = 30,000psi$, $\delta(x) = 0.25in$. Değişkenlerin aralıkları sırasıyla; $0.1 \leq x_1 \leq 2$, $0.1 \leq x_2 \leq 10$, $0.1 \leq x_3 \leq 10$, $0.1 \leq x_4 \leq 2$ 'dir.

Bu problem literatürde birçok farklı araştırmacı tarafından farklı metasezgisel optimizasyon yöntemleri ile çözülmüştür. MOA, kaynaklı kiriş tasarım problemine uygulanırken popülasyon sayısı 30 ve maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenerek 30 kez çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Genetik Algoritma (Genetic Algorithm-GA3) [18], Karga Arama Algoritması (Crow Search Algorithm-CSA) [19], Eş-Evrimsel Parçacık Sürü Optimizasyonu (Co-evolutionary Particle Swarm Optimization-CPSO) [20], Mayın Patlatma Algoritması (Mine Blast Algorithm-MBA) [21], Hibrit Parçacık Sürü Optimizasyonu (Hybrid Particle Swarm Optimization-HPSO) [22], Eş-Evrimsel Diferansiyel Evrim (Co-Evolutionary Differential Evolution-CDE) [23], Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony-ABC) [24], Sinüs Cosinüs Algoritması (Sine Cosine Algorithm-SCA) [25], Çoklu Evren Optimizasyonu (Multi Verse Optimization-MVO) [26] algoritmaları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. Kaynaklı kiriş tasarım problemi için sonuçların karşılaştırılması.

Yöntem	Karar Değişkenleri				$f_{maliyet}$
	x_1	x_2	x_3	x_4	
GA3	0.20880	3.42050	8.99750	0.21000	1.74830
CSA	0.20570	3.47050	9.03660	0.20570	1.72480
CPSO	0.20240	3.54420	9.04820	0.20570	1.72800
MBA	0.20570	3.47049	9.03663	0.20573	1.72480
HPSO	0.20573	3.47049	9.03662	0.20573	1.72485
CDE	0.20313	3.54299	9.03349	0.20618	1.73346
ABC	0.20573	3.47049	9.03662	0.20573	1.72485
SCA	0.20469	3.53629	9.00429	0.21002	1.75917
MVO	0.20561	3.47210	9.04093	0.20571	1.72547
MOA	0.21760	3.23450	9.03941	0.20590	1.71500

Çizelge 1'de MOA ve diğer çözüm yöntemlerinin kaynaklı kiriş tasarım problemi için elde ettikleri en iyi maliyet değeri ve ilgili karar değişkenlerinin değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar

incelendiğinde, MOA'nın $x_{1-4} = (0.2176, 3.2345, 9.03941, 0.2059)$ için 1.715 maliyet fonksiyonu değeri ile diğer yöntemlere göre oldukça iyi bir sonuç verdiği görülmektedir.

Çizelge 2. Kaynaklı kiriş tasarım problemi için istatistiksel sonuçlarının karşılaştırılması.

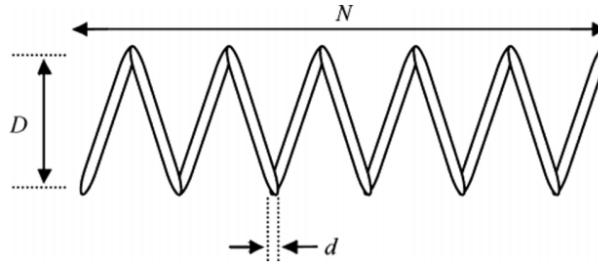
Yöntem	En Kötü	Ortalama	En İyi	Standart S.
GA3	1.78583	1.77197	1.74830	1.12E-2
CSA	1.72480	1.72480	1.72480	1.19450
CPSO	1.78210	1.74880	1.72800	1.29E-2
MBA	1.72485	1.72485	1.72485	6.94E-1
HPSO	1.81429	1.74904	1.72485	4.01E-0
CDE	1.82410	1.76816	1.73346	2.22E-0
ABC	-	1.74191	1.72485	3.1E-02
SCA	1.87341	1.81766	1.75917	2.28E-0
MVO	3.04823	2.23031	1.82039	0.32452
MOA	1.72495	1.72181	1.71500	2.48E-0

Çizelge 2, MOA ve diğer algoritmalar tarafından elde edilen istatistiksel sonuçlarının karşılaştırmasını göstermektedir. Çizelgede görüldüğü gibi, en iyi, en kötü ve ortalama maliyetin elde edilmesi açısından MOA, diğer çözüm yöntemlerinden daha iyi performans göstermiştir.

3.2. Germe/Sıkıştırma Yay Tasarım Problemi

Germe/sıkıştırma yay tasarım problemi, Arora [27] tarafından tanımlanan ve minimum ağırlığa sahip bir yay tasarımı oluşturmayı amaçlayan bir problemdir. Şekil 7'de şematik gösterimi verilen bu minimizasyon problemi, kesme gerilimi, dalgalanma frekansı ve minimum sapma olmak üzere belirli kısıtlamalara sahiptir. Germe/sıkıştırma yayı probleminin üç adet karar değişkeni bulunmaktadır.

- $d(x_1)$: Tel çapı
- $D(x_2)$: Ortalama bobin çapı
- $N(x_3)$: Aktif bobin sayısı



Şekil 7. Germe/sıkıştırma yay tasarım problemi

$x = [x_1, x_2, x_3] = [d, D, N]$ değişkenlerini göz önüne alınarak germe/sıkıştırma yay tasarım probleminin matematiksel gösterimi denklem (15) ile modellenabilir:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= (x_3 + 2)x_2x_1^2 \\
 g_1(x) &= 1 - \frac{x_2^3x_3}{71785x_1^4} \leq 0, \\
 g_2(x) &= \frac{4x_2^2 - x_1x_2}{12566(x_2x_1^3 - x_1^4)} + \frac{1}{5108x_1^2} \leq 0, \\
 g_3(x) &= 1 - \frac{140.45x_3}{x_2^2x_3} \leq 0, \\
 g_4(x) &= \frac{x_1 + x_2}{1.5} \leq 0,
 \end{aligned} \tag{15}$$

Değişkenlerin aralıkları sırasıyla; $0.05 \leq x_1 \leq 2$, $0.25 \leq x_2 \leq 1.3$, $2 \leq x_3 \leq 15$ 'dir.

MOA, germe/sıkıştırma yay tasarım problemine uygulanırken popülasyon sayısı 30 ve maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenerek 30 kez çalıştırılmıştır. Germe/sıkıştırma yay tasarım problemi için MOA, karar değişkenleri ve bunlara bağlı olarak maliyet fonksiyonun değeri bakımından Çizelge 3'te verildiği gibi literatürdeki farklı çözüm yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 3 incelendiğinde, MOA'nın $x_{1-3} = (0.05092, 0.34125, 12.10954)$ değerleri için 0.01253 maliyet fonksiyonu değeri ile diğer yöntemlere göre oldukça iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Çizelge 4, germe/sıkıştırma yay tasarımı problemi için MOA ile elde edilen uygunluk fonksiyonu değerlerinin istatistiksel olarak farklı optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Çizelge 4'e göre, MOA'nın, en kötü, ortalama ve en iyi değerler açısından diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 3. Germe/sıkıştırma yay tasarım problemi için sonuçların karşılaştırılması.

Yöntem	Karar Değişkenleri			$f_{maliyet}$
	x_1	x_2	x_3	
GA3	0.05148	0.35166	11.63220	0.01270
CSA	0.05169	0.35672	11.28901	0.01266
CPSO	0.05179	0.35764	11.24454	0.01267
MBA	0.05165	0.35594	11.34466	0.01266
HPSO	0.05171	0.35713	11.26508	0.01266
CDE	0.05161	0.35471	11.41083	0.01267
ABC	0.05175	0.35818	11.20376	0.01266
SCA	0.05078	0.33478	12.72269	0.01271
MVO	0.05000	0.31596	14.22623	0.01282
MOA	0.05092	0.34125	12.10954	0.01253

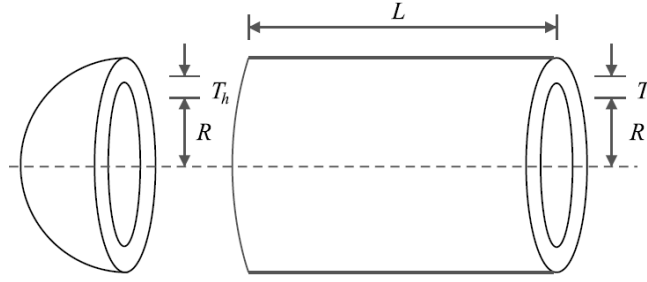
Çizelge 4. Germe/sıkıştırma yay tasarım problemi istatistiksel sonuçlarının karşılaştırılması.

Yöntem	En Kötü	Ortalama	En İyi	Standart S.
GA3	0.01282	0.01277	0.01270	3.94E-5
CSA	0.01267	0.01266	0.01266	1.35707
CPSO	0.01292	0.01273	0.01267	5.20E-4
MBA	0.01290	0.01271	0.01266	6.3E-5
HPSO	0.01272	0.01271	0.01266	1.58E-5
CDE	0.01279	0.01270	0.01267	2.70E-5
ABC	-	0.01271	0.01266	0.01281
SCA	0.01299	0.01284	0.01271	0.00008
MVO	0.01784	0.01446	0.01281	0.00162
MOA	0.01266	0.01257	0.01253	2.24587

3.3. Basınçlı Kap Tasarım Problemi

Kannan ve Kramer tarafından önerilen basınçlı kap tasarımı probleminde amaç, malzeme, şekillendirme ve kaynak maliyetini içeren toplam maliyeti en aza indirmektir [28]. Şekil 8, her iki ucu yarım küre başlıklarla kapatılan basınçlı kabın şematik görünümü göstermektedir. Bu tasarım probleminin dört adet karar değişkeni bulunmaktadır:

- $T_s(x_1)$: Kabuğun kalınlığı
- $T_h(x_2)$: Kafanın kalınlığı
- $R(x_3)$: İç yarıçap
- $L(x_4)$: Kafa göz alınmadan silindirik bölümün uzunluğu



Şekil 8. Basıncılı kap tasarım problemi

$x = [x_1, x_2, x_3, x_4] = [T_s, T_h, R, L]$ değişkenlerini göz önüne alınarak germe/sıkıştırma yay tasarım probleminin matematiksel gösterimi denklem (16) ile modellenebilir:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 0.6224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3 \\
 g_1(x) &= -x_1 + 0.0193x, \\
 g_2(x) &= -x_2 + 0.00954x_3 \leq 0, \\
 g_3(x) &= -\pi x_3^2x_4 - \left(\frac{4}{3}\right)\pi x_3^3 + 1296000 \leq 0, \\
 g_4(x) &= x_4 - 240 \leq 0,
 \end{aligned} \tag{16}$$

Değişkenlerin aralıkları sırasıyla; $0.0625 \leq x_1, x_2 \leq 99 \times 0.0625$, $10 \leq x_3, x_4 \leq 200$ 'dür.

Çizelge 5. Basıncılı kap tasarım problemi için sonuçların karşılaştırılması.

Yöntem	Karar Değişkenleri				f_{maliyet}
	x_1	x_2	x_3	x_4	
GA3	0.81250	0.43750	40.32390	200.00000	6288.74450
CSA	0.81250	0.43750	42.09845	176.63659	6059.71436
CPSO	0.81250	0.43750	42.09127	176.74650	6061.07770
MBA	0.78020	0.38560	40.42920	198.49640	5889.32160
HPSO	0.81250	0.43750	42.09840	176.74650	6061.07770
CDE	0.81250	0.43750	42.09841	176.63769	6059.73400
ABC	0.81250	0.43750	42.09845	176.63659	6059.71434
SCA	0.81758	0.41793	41.74939	183.57270	6137.37240
MVO	0.84572	0.41856	43.81627	156.38164	6011.51480
MOA	0.71610	0.35840	40.34700	200.00000	5430.06150

Çizelge 6. Basıncılı kap tasarım problemi için istatistiksel sonuçlarının karşılaştırılması

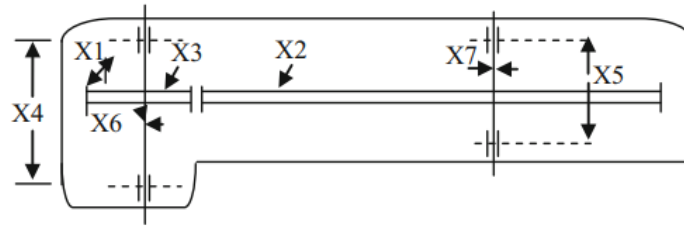
Yöntem	En Kötü	Ortalama	En İyi	Standart S.
GA3	6308.49700	6293.8432 0	6288.74450	7.41330
CSA	7332.84100	6342.4991 0	6059.7143 0	384.94540
CPSO	6363.80410	6147.13320	6061.07770	86.45450
MBA	6392.50620	6200.64765	5889.32160	160.34000
HPSO	6288.67700	6099.93230	6059.71430	86.20220
CDE	6371.04550	6085.23030	6059.73400	43.01300
ABC	-	6245.30814	6059.71474	205
SCA	6512.35410	6326.76060	6137.37240	126.60900
MVO	7250.91700	6477.30500	6011.51480	327.00700
MOA	5927.51930	5589.80825	5430.06150	156.00904

MOA, basınçlı kap tasarım problemine uygulanırken popülasyon sayısı 30 ve maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenerek 30 kez çalıştırılmıştır. Çizelge 5'te, MOA ve literatürde basınçlı kap tasarım problemine uygulanan farklı çözüm yöntemlerinden elde edilen sonuçlar, karar değişkenleri ve bunlara bağlı olarak maliyet fonksiyonun değeri bakımından karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çizelge 5 incelendiğinde, MOA'nın $x_{1-4} = (0.7161, 0.3584, 40.3470, 200.0000)$ değerleri için 5430.0615 maliyet fonksiyonu değeri ile diğer yöntemlere göre oldukça iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Çizelge 6, basınçlı kap tasarım problemi için MOA ile elde edilen uygunluk fonksiyonu değerlerinin istatistiksel olarak farklı optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Çizelge 6 incelendiğinde, MOA'nın, en kötü, ortalama ve en iyi değerler açısından diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

3.4. Hız Düşürücü Tasarım Problemi

Hız düşürücü tasarım problemi şekil 9'da görüldüğü gibi yedi tasarım değişkenine sahip olduğundan dolayı zorlu bir problemdir [29]. Bu problemin temel amacı, hız düşürücünün ağırlığını 11 farklı kısıta bağlı olarak en aza indirmektir [30].

- $b(x_1)$: Yüz genişliği
- $m(x_2)$: Diş modülü
- $z(x_3)$: Pinyondaki diş sayısı
- $l_1(x_4)$: Yataklar arasındaki ilk milin uzunluğu
- $l_2(x_5)$: Yataklar arasındaki ikinci milin uzunluğu
- $d_1(x_6)$: Birinci milin çapı
- $d_2(x_7)$: İkinci milin çapı



Şekil 9. Hız düşürücü tasarım problemi

$x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7] = [b, m, z, l_1, l_2, d_1, d_2]$ değişkenlerini göz önüne alınarak hız düşürücü probleminin matematiksel gösterimi denklem (17) ile modellenebilir:

$$\begin{aligned}
 f(x) &= 0.785x_1x_2^2(3.333x_3^2 + 14.9334x_3 - 42.0934) \\
 &\quad - 1.508x_1(x_6^2 + x_7^2) + 7.4777x_1(x_6^3 + x_7^3) + 1.508x_1(x_4x_6^2 + x_5x_7^2) \\
 g_1(x) &= \frac{27}{x_1x_2^2x_3} - 1 \leq 0, \\
 g_2(x) &= \frac{397.5}{x_1x_2x_3^2} - 1 \leq 0, \\
 g_3(x) &= \frac{1.93x_4^3}{x_1x_3x_6^4} - 1 \leq 0, \\
 g_4(x) &= \frac{1.93x_5^3}{x_1x_3x_7^4} - 1 \leq 0, \\
 g_5(x) &= \frac{1}{110x_6^3} \sqrt{\left(\frac{745x_4}{x_2x_3}\right)^2 + 16.9 \times 10^6} - 1 \leq 0, \\
 g_6(x) &= \frac{1}{85x_7^3} \sqrt{\left(\frac{745x_5}{x_2x_3}\right)^2 + 157.5 \times 10^6} - 1 \leq 0,
 \end{aligned} \tag{17}$$

$$g_7(x) = \frac{x_2 x_3}{40} - 1 \leq 0,$$

$$g_8(x) = \frac{5x_2}{x_1} - 1 \leq 0,$$

$$g_9(x) = \frac{x_1}{12x_2} - 1 \leq 0,$$

$$g_{10}(x) = \frac{1.5x_6 + 1.9}{x_4} - 1 \leq 0,$$

$$g_{11}(x) = \frac{1.1x_7 + 1.9}{x_5} - 1 \leq 0,$$

Değişkenlerin aralıkları sırasıyla; $2.6 \leq x_1 \leq 3.6$, $0.7 \leq x_2 \leq 0.8$, $17 \leq x_3 \leq 28$, $7.3 \leq x_4 \leq 8.3$, $7.8 \leq x_5 \leq 8.3$, $2.9 \leq x_6 \leq 3.9$, $5.0 \leq x_7 \leq 5.5$ 'dir.

MOA, hız düşürücü problemine uygulanırken popülasyon sayısı 30 ve maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenerek 30 kez çalıştırılmıştır. Literatürde hız düşürücü problemine çözüm bulmak için kullanılan birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada, MOA hız düşürücü problemi için Modifiyeli Diferansiyel Evrim (Modified Differential Evolution-MDE) [31], Toplum ve Medeniyet (Society and Civilization SC) [32], Su Döngüsü Algoritması (Water Cycle Algorithm-WCA) [33], Hibrit Evrimsel Algoritması ve Adaptif Kısıtlama İşleme (Hybrid Evolutionary Algorithm and Adaptive Constraint-Handling Technique-HEAA [34], MBA, ABC, SCA ve MVO olmak üzere sekiz farklı yöntem ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler ile elde edilen sonuçların, karar değişkenlerine ve bunlara bağlı olarak elde edilen maliyet fonksiyonu değerleri çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Hız düşürücü tasarım problemi için sonuçların karşılaştırılması.

Yöntem	Karar Değişkenleri							f_{maliyet}
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	
MDE	3.49999	0.69999	17	7.30000	7.80000	3.35021	5.28668	2996.34809
SC	3.50001	0.70000	17	7.32760	7.71532	3.35027	5.28665	2994.74424
WCA	3.50000	0.70000	17	7.30000	7.71532	3.35021	5.28665	2994.47107
HEAA	3.50002	0.70000	17	7.30043	7.71538	3.35023	5.28666	2994.49911
MBA	3.50000	0.70000	17	7.30003	7.71577	3.35022	5.28665	2994.48245
ABC	3.49999	0.70000	17	7.30000	7.80000	3.35021	5.28780	2997.05841
SCA	3.50875	0.70000	17	7.30000	7.80000	3.46102	5.28921	3030.56300
MVO	3.50850	0.70000	17	7.39284	7.81603	3.35807	5.28678	3002.92800
MOA	3.32680	0.70000	17	7.39580	7.53170	3.31190	5.23040	2901.14200

Çizelge 8. Hız düşürücü tasarım problemi için istatistiksel sonuçlarının karşılaştırılması.

Yöntem	En Kötü	Ortalama	En İyi	Standart S.
MDE	2996.39014	2996.36722	2996.35669	0
SC	3009.96474	3001.75826	2994.74424	4.00914
WCA	2994.50558	2994.47439	2994.47107	2994.47106
HEAA	2994.75231	2994.61337	2994.49911	7.0E-02
MBA	2999.65244	2996.76902	2994.48245	1.56
ABC	-	2997.05841	2997.05841	0
SCA	3104.77900	3065.91700	3030.56300	18.07420
MVO	3060.95800	3028.84100	3002.92800	13.01860
MOA	2979.67020	2931.88600	2901.14200	19.23320

Çizelge 7 incelendiğinde, MOA'nın $x_{1-7} = (3.3268, 0.7, 17, 7.3958, 7.5317, 3.3119, 5.2304)$ değerleri için 2901.1420 maliyet fonksiyonu değeri ile diğer yöntemlere göre oldukça iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Çizelge 8, hız düşürücü problemi için MOA ile elde edilen uygunluk fonksiyonu değerlerinin istatistiksel olarak farklı optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmasını göstermektedir.

Çizelge 8 incelendiğinde, MOA'nın, en kötü, ortalama ve en iyi değerler açısından diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

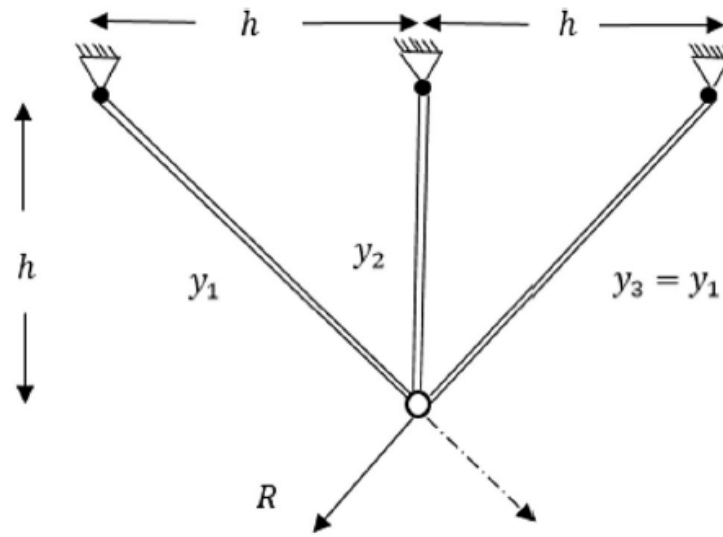
3.5. Üç Çubuklu Kafes Tasarım Problemi

Üç çubuklu kafes tasarımı, inşaat mühendisliği alanında yapısal bir optimizasyon problemidir. Nowacki tarafından tanıtılan bu problemin amacı çapraz kesit alanlarını (x_1 ve x_2) ayarlayarak kafes elemanlarının her biri üzerindeki gerilimi (σ) göz önüne alarak üç çubuklu kafesin hacmini en aza indirmektir [35]. Şekil 10'da şematik gösterimi verilen üç çubuklu kafes probleminin matematiksel gösterimi denklem (18)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} f(x) &= L \times (2\sqrt{2x_1} + x_2) \\ g_1(x) &= \frac{\sqrt{2x_1+x_2}}{\sqrt{2x_1^2+2x_1x_2}} P - \sigma \leq 0, \\ g_2(x) &= \frac{x_2}{\sqrt{2x_1^2+2x_1x_2}} P - \sigma \leq 0, \\ g_3(x) &= \frac{1}{\sqrt{2x_2+x_1}} P - \sigma \leq 0, \end{aligned} \quad (18)$$

Değişkenlerin aralıkları sırasıyla; $0 \leq x_i \leq 1, i = 1,2$ 'dir.

Burada; $l = 100$ cm, $P = 2$ kN/cm², $\sigma =$ kN/cm²'dir.



Şekil 10. Üç çubuklu kafes tasarım problemi

MOA, üç çubuklu kafes problemine uygulanırken popülasyon sayısı 30 ve maksimum iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenerek 30 kez çalıştırılmıştır. Bu probleme çözüm bulabilmek için literatürde birçok farklı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, MOA üç çubuklu kafes tasarımı problemi için SC, CSA, WCA, MBA, HEAA, SCA ve MVO olmak üzere yedi farklı yöntem ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntemler ile elde edilen sonuçların, karar değişkenlerine ve bunlara bağlı olarak elde edilen maliyet fonksiyonu değerleri çizelge 9'da verilmiştir. Çizelge 9 incelendiğinde, MOA'nın $x_{1-2} = (0.7775, 0.4014)$ değerleri için 260.7186 maliyet fonksiyonu değeri ile diğer yöntemlere göre oldukça iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Çizelge 10, üç çubuklu kafes problemi için MOA ile elde edilen uygunluk fonksiyonu değerlerinin istatistiksel olarak farklı optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırılmasını göstermektedir. Çizelge 10 incelendiğinde, MOA'nın, en kötü, ortalama ve en iyi değerler açısından diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 9. Üç çubuklu kafes tasarım problemi için sonuçların karşılaştırılması.

Yöntem	Karar Değişkenleri		
	x_1	x_2	$f_{maliyet}$
SC	0.78862	0.40840	263.89585
CSA	0.78867	0.40824	263.89584
WCA	0.78865	0.40831	263.89584
MBA	0.78856	0.40855	263.89585
HEAA	0.78868	0.40823	263.89584
SCA	0.78906	0.40716	263.89838
MVO	0.78899	0.40735	263.89594
MOA	0.77750	0.40140	260.71860

Çizelge 10. Üç çubuklu kafes tasarım problemi istatistiksel sonuçlarının karşılaştırılması.

Yöntem	En Kötü	Ortalama	En İyi	Standart S.
SC	263.96975	263.90330	263.89580	0.01258
CSA	263.89584	263.89584	263.89584	1.01225
WCA	263.89620	263.89590	263.89584	8.71E-5
MBA	2999.65244	2996.76902	2994.48245	1.56
HEAA	263.89609	263.89586	263.89584	4.9E-05
SCA	263.99511	263.93564	263.89838	0.02884
MVO	263.89709	263.89614	263.89594	0.00025
MOA	260.76120	260.72920	260.71860	0.01158

4. Sonuçlar

Birçok araştırmacı doğadaki fiziksel, biyolojik, kimyasal olaylar ya da doğadaki canlıların yaşam biçimlerinden ilham alarak birçok farklı metasezgisel optimizasyon algoritması geliştirmiştir. Doğadaki süreçler, kavramlar, kurallar ve olaylar etkili ve verimli arama ve optimizasyon yöntemlerinin geliştirilmesi için modellenmiştir.

Bu çalışmada, doğadaki martıların göç ve saldırı davranışlarından ilham alarak önerilen biyoloji tabanlı yeni bir yöntem olan MOA detaylı olarak incelenmiş ve tanıtılmıştır. Martıların bu davranışları belirli bir arama uzayında keşif ve sömürüyü vurgulamak için matematiksel olarak modellenmiştir. MOA'nın etkinliğini test etmek için kaynaklı kiriş, germe/sıkıştırma yay, basınçlı kap, hız düşürücü ve üç çubuklu kafes olmak üzere amaç fonksiyonları, kısıtları ve karar değişkenleri farklı beş kısıtlı mühendislik tasarım problemine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar literatürdeki farklı optimizasyon yöntemleri ile kıyaslanarak performans analizi yapılmıştır. Performans kıyaslamaları için algoritmaların temel versiyonları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, MOA'nın mevcut diğer tekniklerden daha iyi optimizasyon sağladığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, istatistiksel karşılaştırmaların sonuçları, MOA'nın çalışılan kısıtlama problemlerinin çoğunda daha iyi ve oldukça rekabetçi performans elde ettiğini göstermektedir.

MOA algoritması çok yeni bir algoritmadır ve farklı yönlerden geliştirilebilecek bir yöntemdir. Elde edilen umut verici sonuçlar göz önüne alındığında MOA, farklı metasezgisel yöntemler veya diğer global optimizasyon algoritmaları ile birleştirilebilir ve farklı karmaşık arama ve optimizasyon problemleri için verimli sonuçlar elde etmek amacıyla hibrit versiyonları önerilebilir.

Kaynaklar

- [1] Altunbey F, Alataş B. Review of social-based artificial intelligence optimization algorithms for social network analysis. *International Journal of Pure and Applied Sciences* 2015; 1(1): 33-52.
- [2] Erol OK, Eksin I. A new optimization method: big bang–big crunch. *Advances in Engineering Software* 2006; 37(2): 106-111.
- [3] Hatamlou A. Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering. *Information Sciences* 2013; 222: 175-184.
- [4] Formato RA. Central force optimization: A new deterministic gradient like optimization metaheuristic. *Opsearch* 2009; 46(1): 25–51.
- [5] Rashedi E, Nezamabadi-Pour H, Saryazdi S. GSA: a gravitational search algorithm. *Information Sciences* 2009; 179(13): 2232-2248.
- [6] Eskandar H, Sadollah A, Bahreininejad A, Hamdi M. Water cycle algorithm–A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Computers & Structures* 2012; 110: 151-166.
- [7] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. Paper presented at: ICNN'95-IEEE International Conference on Neural Networks, 1995.
- [8] Dorigo M, Birattari M, Stutzle T. Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine* 2006; 1(4): 28-39.
- [9] Yang XS. A new metaheuristic bat-inspired algorithm. *Nature Inspired Cooperative Strategies For Optimization (NICSO 2010)*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010: 65-74.
- [10] Yang XS. Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation. *International Journal of Bio-Inspired Computation* 2010; 2(2):78–84.
- [11] Karaboga D, Basturk, BA powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of global optimization* 2007; 39(3): 459-471.
- [12] Dhiman G, Singh KK, Soni M, Nagar A, Dehghani M, Slowik A, Cengiz K. MOSOA: a new multi-objective seagull optimization algorithm. *Expert Systems with Applications* 2021; 167, 114150.
- [13] Dhiman G, Kumar V. (2019). Seagull optimization algorithm: Theory and its applications for large-scale industrial engineering problems. *Knowledge-Based Systems* 2019; 165: 169-196.
- [14] Xu L, Mo Y, Lu Y, Li J. Improved Seagull Optimization Algorithm Combined with an Unequal Division Method to Solve Dynamic Optimization Problems. *Processes* 2021; 9(6): 1037.
- [15] Del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J. *Handbook of the Birds of the World*. Barcelona: Lynx edicions 1992: 1(8),
- [16] Macdonald SM, Mason CF. Predation of migrant birds by gulls. *British Birds* 1973; 66: 361-363.
- [17] Dhiman G, Kumar V. Seagull optimization algorithm: Theory and its applications for large-scale industrial engineering problems. *Knowledge-Based Systems* 2019; 165: 169-196.
- [18] Coello CAC. Use of a self-adaptive penalty approach for engineering optimization problems, *Computers in Industry* 2000; 41: 113–127.
- [19] Askarzadeh A. A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm. *Computers & Structures* 2016; 169: 1-12.
- [20] He Q, Wang L. An effective co-evolutionary particle swarm optimization for constrained engineering design problems. *Engineering applications of artificial intelligence* 2007; 20(1): 89-99.
- [21] Sadollah A, Bahreininejad A, Eskandar H, Hamdi M. Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained engineering optimization problems. *Applied Soft Computing* 2013; 13(5): 2592-2612.
- [22] He Q, Wang L. A hybrid particle swarm optimization with a feasibility-based rule for constrained optimization. *Applied Mathematics and Computation* 2007; 86: 1407–1422.

- [23] Huang FZ, Wang L, He Q. An effective co-evolutionary differential evolution for constrained optimization. *Applied Mathematics and computation* 2007; 186(1): 340-356.
- [24] Akay B, Karaboga, D. Artificial bee colony algorithm for large-scale problems and engineering design optimization. *Journal of intelligent manufacturing* 2012; 23(4): 1001-1014.
- [25] Mirjalili S. SCA: a sine cosine algorithm for solving optimization problems. *Knowledge-based systems* 2016; 96: 120-133.
- [26] Mirjalili S, Mirjalili SM, Hatamlou A. Multi-verse optimizer: a nature-inspired algorithm for global optimization. *Neural Computing and Applications* 2016; 27(2): 495-513.
- [27] Arora JS. *Introduction to Optimum Design*. McGraw-Hill, New York, 1989.
- [28] Kannan BK, Kramer SN. An augmented lagrange multiplier based method for mixed integer discrete continuous optimization and its applications to mechanical design. *Journal of Mechanical Design* 1994; 16: 405–411.
- [29] Gandomi AH, Yang XS. (2011). Benchmark problems in structural optimization. In *Computational optimization, methods and algorithms*, Springer, Berlin, Heidelberg; 2011: 259-281.
- [30] Mezura-Montes E, Coello CAC. (2005, November). Useful infeasible solutions in engineering optimization with evolutionary algorithms. In *Mexican international conference on artificial intelligence*, Springer, Berlin, Heidelberg 2005: 652-662.
- [31] Mezura-Montes E, Velázquez-Reyes J, Coello CC. Modified differential evolution for constrained optimization. Paper presented at: 2006 IEEE International Conference on Evolutionary Computation 2006: 25-32.
- [32] Ray T, Liew KM. Society and civilization: an optimization algorithm based on the simulation of social behavior. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 2003; 7(4): 386-396.
- [33] Eskandar H, Sadollah A, Bahreininejad A, Hamdi M. Water cycle algorithm—A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Computers & Structures* 2012; 110: 151-166.
- [34] Wang Y, Cai Z, Zhou Y, Fan Z. (2009). Constrained optimization based on hybrid evolutionary algorithm and adaptive constraint-handling technique. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 2009; 37(4): 395-413.
- [35] Fujita Y, Lind K, Williams TJ. (1974). Computer applications in the automation of shipyard operation and ship design. Paper presented at: IFIP/IFAC/JSNA joint conference 1973; 2: 28-30.

MODELLING OF CRUST STRUCTURE OF CENTRAL ANATOLIA REGION

Ali ELMAS^{1*}

¹Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Geophysics, 61080, Trabzon, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 14.06.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 07.08.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.952257

ABSTRACT

In this study, the crustal structure of Central Anatolia was modeled and the crustal and tectonic structure of the region was investigated. For this purpose, the filtered satellite gravity data were evaluated with the Parker-Oldenburg modelling algorithm and the first vertical derivative data were evaluated with the total horizontal derivative technique. While investigating the structural discontinuities of the region at the basement levels, the maximum amplitudes of the horizontal derivative map were used. With the total horizontal derivative map, new discontinuities were found in the basement levels in the study area. The descending and rising parts of the crustal interface topographies were determined using the Parker-Oldenburg modelling algorithm. In order to carry out these operations, first of all, the gravity data was filtered according to the shear wave numbers. Besides the new lineaments found, the depths of the calculated interface topographies are determined as 1.4 - 3.6 km for soft - hard sediment, 3.8 - 7.2 km for basement, 15.5 - 22.5 km for Conrad, 30.5 - 39.5 km for Moho and 81.4 - 88.5 km for LAB, respectively.

Keywords: Central Anatolia; Horizontal Derivative; Vertical Derivative; Discontinuity; Modelling

İÇ ANADOLU BÖLGESİ KABUK YAPISININ MODELLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, İç Anadolu'nun kabuk yapısı modellenmiştir ve bölgenin kabuk ve tektonik yapısı araştırılmıştır. Bu nedenle filtrelenmiş uydu gravite verileri modelleme tekniği ile değerlendirilmiş ve düşey birinci türev verileri toplam yatay türev tekniği ile değerlendirilmiştir. Bölgenin yapısal süreksizlikleri temel kaya seviyelerinde araştırılırken, yatay türev haritasının maksimum genliklerinden yararlanılmıştır. Toplam yatay türev haritası ile çalışma alanındaki temel kaya seviyelerinde yeni süreksizlikler bulunmuştur. Kabuksal arayüz topografyalarındaki alçalma ve yükselme kısımları Parker-Oldenburg inversiyon algoritması kullanılarak belirlendi. Bu işlemlerin yapılabilmesi için öncelikle gravite verileri kesme dalgası sayılarına göre filtrelenmiştir. Bulunan yeni çizgiselliklerin yanı sıra, hesaplanan ara yüzey topografyalarının derinlikleri sırasıyla yumuşak - sert sediment için 1,4 - 3,6 km, temel kaya için 3,8 - 7,2 km, Conrad için 15,5 - 22,5 km, Moho için 30,5 - 39,5 km ve LAB için 81,4 - 88,5 km olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç Anadolu; Yatay Türev; Düşey Türev; Süreksizlik; Modelleme

1. Introduction

The tectonic model and the faulting of Central Anatolia (Figure 1) were preliminarily handled by [27]. [12], [14] proposed the other tectonic model between Şereflikoçhisar-Aksaray and Ecemiş Faults to give the diapiric salt improvements that are in the Salt Lake Basin. [30] found the sediment thickness of around salt lake located in the middle of the study area as 1.2-2 km with 2D gravity inverse analysis. [6] examined the tectonic structure of Central Anatolia using aeromagnetic, seismic, seismological and gravity data. [3] performed the curie point depth investigation using regional aeromagnetic anomalies

*¹ e-mail: elmas@ktu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3343-2742> (Sorumlu Yazar),

of the Central Anatolia. They found that the curie point depths of Central Anatolia varies from 7.9 km to 22.6 km. [4] evaluated the preliminary evaluation of the basins in the study area using the gravity and magnetic data. [5] showed the basement topography depth of the study area by 3D modeling. Found depth values of basement topography were 8 km around Haymana, 10 km around Bala, 5.5 km to the west of Salt Lake and 8-13 km around the salt lake basin. [13] studied the structural evolution of the Salt Lake Basin. [20] studied the tectonic evolution of the Central Anatolian basins. [9] investigated the regional wrench tectonics of inner East Anatolia using potential field data. [32] found that the depth of moho varies between 37-47 km for Central Anatolia using receiver function analysis of seismic data.

Regional or residual gravity data are used in discontinuity studies using horizontal gradient magnitude (HGM) data [1, 10]. Rather than gravity data, [17] has shown for the first time that vertical derivative data is more useful in determining the lineaments. In order to determine the gravity produced by the basement levels of the Central Anatolia, a band-pass filter was used according to certain cut-off wave numbers. The cut-off wave numbers used in this process were determined from the amplitude spectrum for basement. Then, Fast Fourier transform (FFT) technique [21] was used to calculate the vertical derivative (VD) values of the filtered data determined for the basement levels. POTENSOFIT program developed by [2] was used to perform the data filtering and lineament analysis. Parker (1973) calculated the gravity anomaly caused by an uneven, uniform layer of material by means of a series of Fourier transforms [26]. Oldenburg (1974) rearranged his equation to compute the depth to the undulating interface from the gravity anomaly profile by means of an iterative process [22]. [19] have written this algorithm with Matlab programming language. [18] have shown that this program gives erroneous results. This algorithm has been used with a certain error acceptance in inverse solution operations in order to reveal the descending and rising areas of crustal interfaces with depth information of Central Anatolian region.

Since the focal depths of the earthquakes near the study area are mostly at the first 10 km depth [23], in this study, lineaments are investigated at basement levels. For this reason, the VD values of the filtered data for the basement obtained from the Bouguer gravity data of Central Anatolia is used. HGM technique is applied to the VD values and the existence of new discontinuities as well as known discontinuities are investigated. Subsequently, the hard-soft sediment, basement, Conrad, Moho and lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) interface topographies of the region are tried to calculate by inversion using the filtered gravity data that are filtered according to certain cut-off wave numbers from the Bouguer gravity data of the study area. VD, HGM and inversion operations are performed and the current tectonics and crustal structure of Central Anatolia are tried to be modeled.

2. General Geology of Central Anatolia

Central Anatolia is generally covered with young sediments [5]. The old sediments are found in small areas around the Salt Lake Basin. Sedimentary units in the area are surrounded by the Sakarya, Kırşehir Metamorphics and Kütahya - Bolcardağı Metamorphics units of the Menderes-Toros Platforms [29]. The ophiolite remains belonging to the northern branch of the Tethys Ocean are located to the north of Salt Lake. In addition, terrestrial volcanic rocks, which are formed by tectonic activities at different geological times, are found in limited areas (Figure 1). These volcanic rocks are of the same age as the tectonic periods in Central Anatolia [8]. Sediments in the Salt Lake Basin were studied by [5]. The map showing the active fault zones in the study area is shown in Figure 2. SAF, Kırıkkale-Erbaa (KEF) and Ecemis (EF) Faults are known and compatible with the tectonics in the study area (Figure 1). The study area includes the Central Anatolian Thrust Belt (CATB) and the Almus Fault (AF) to the north of this belt. SAF and KEF are crossed at Hinge Point (HP) at the south of Ankara (Figures 1 and 2). In addition, the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), which has a high destructive effect, also passes through the north of the region (Figure 2).

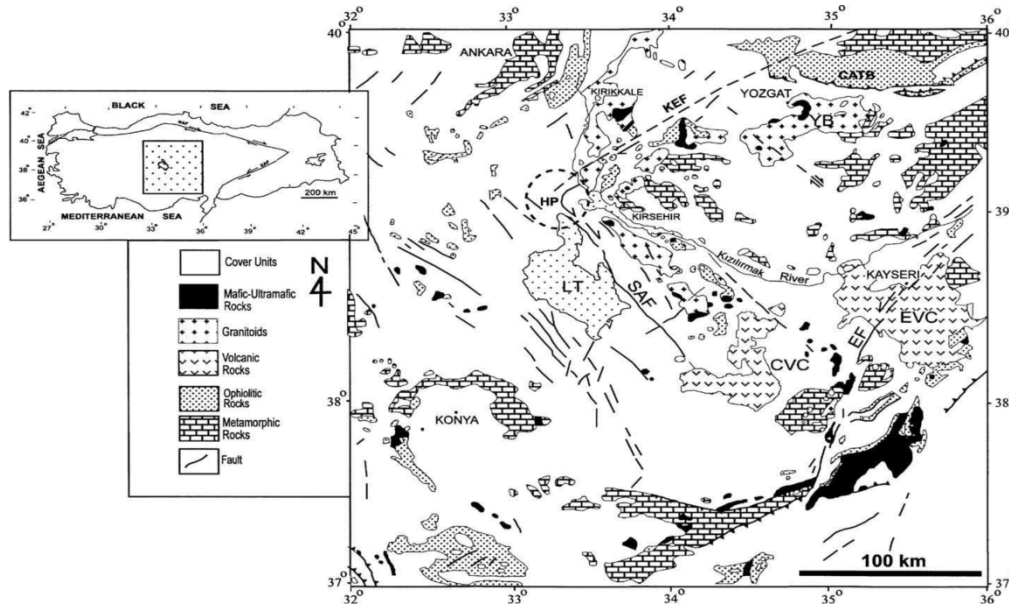


Figure 1. Generalized geological map of the Central Anatolia (after [3]).

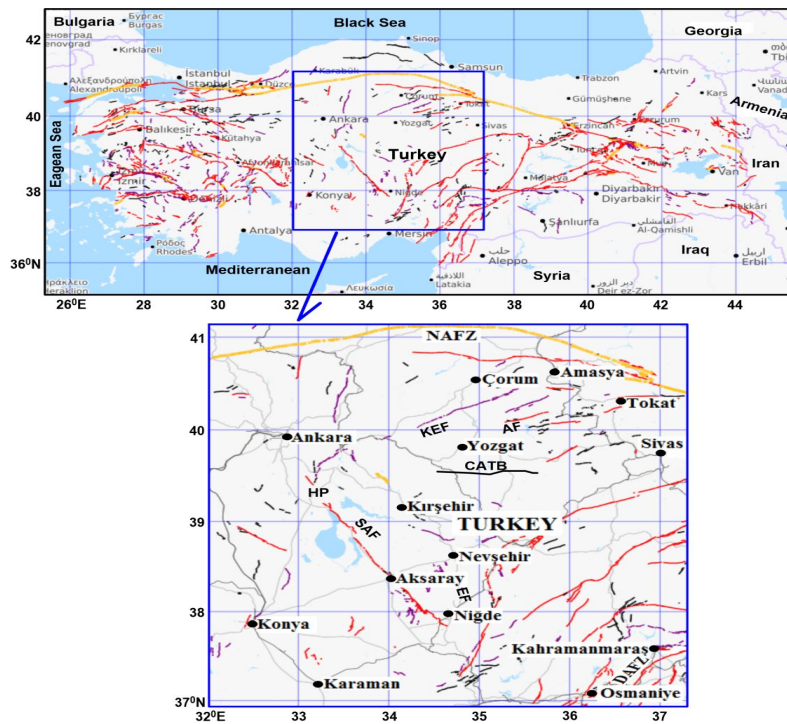


Figure 2. Active fault zone map of Central Anatolia (after [16]).

3. Central Anatolia EGM08 Bouguer Anomalies and Topography Data

[27] published the Earth Gravitational Model that has high resolution in 2008. The availability of the Earth Gravity Model (EGM08) model has been proven by a number of scientists [23]. These scientists proved that EGM08 is the best tested model. In this study, gravity data of the study area was compiled from EGM08 model (Figure 3a) [27]. Minimum gravity values are seen in the area between

Sivas, Yozgat, Aksaray and Kahramanmaraş provinces, while maximum gravity values are seen in the northeast of the region and in the west of Osmaniye province.

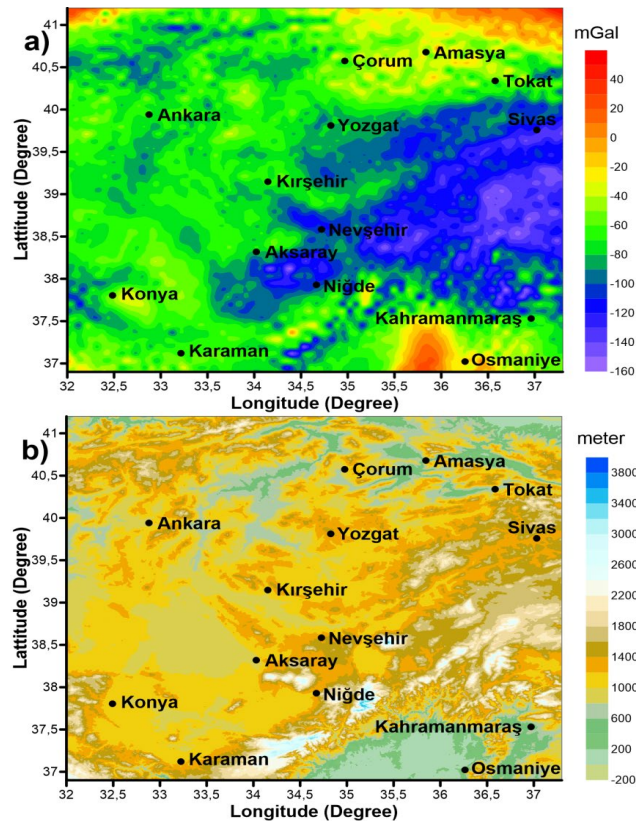


Figure 3. a) EGM08 Bouguer anomaly, and b) topography maps of Central Anatolia.

The low gravity values on the relatively high mountain masses that have low density are about -150 mGal levels (Figure 3a). This is generally related to the reduction of the gravity values produced by the increase in the depth of the asthenosphere material which has a high density as a result of the increase in the thickness of the crust in these parts. The topography data of study area shown in Figure 3b was obtained from the Global Digital Elevation Model (GTOPO30) [31]. When both figures are considered together, it is seen that the gravity and topography data are clearly inversely proportional to each other. That is to say, if a general evaluation is made, gravity values have decreased in mountainous areas where topography values have increased in Central Anatolia.

The mean depths of the crust interfaces of the area in this study were determined using the radial mean amplitude spectrum technique developed by [7]. The process in this technique depends on the 2D Fourier transform of gravity data. The depths of interfaces to be calculated are obtained from the slopes of the linear relationship between the wave numbers and the radial mean amplitude spectrum of the gravity data. As a result of the calculations made with the gravity data used in this study, five different interface depths were found (Figure 4). The mean depths of the soft-hard sediment, Basement, Conrad, Moho and LAB interface boundaries from the sloping parts of the radial mean amplitude spectrum were 2.7, 5.7, 19.0, 34.6 and 85.6 km, respectively (Figure 4).

The Parker-Oldenburg algorithm was used to model the interface topographies using the average depth values found using the amplitude spectrum technique. This algorithm is depended on the connection between the Fourier transform of the interface topography and the Fourier transform of the gravity values. This connection is recursively formed from the density difference and determined depth

of an interface of geological structure [22, 26]. Fourier transform utilized to compute gravity values of an irregular homogeneous unit is as follows [26]:

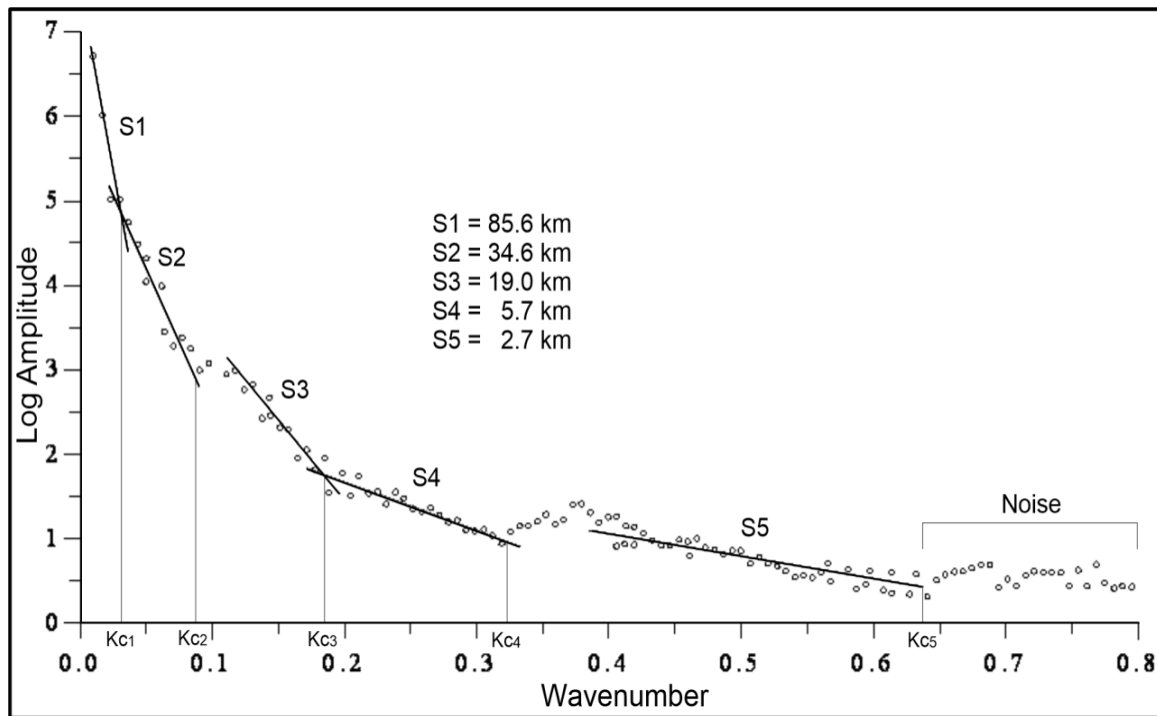


Figure 4. Radial mean amplitude spectrum of Central Anatolia EGM08 Bouguer anomalies and determination of mean depths and critical wave numbers of deep interface boundaries.

$$g[x, y] = F^{-1} \left\{ -2\pi G \Delta\rho e^{-z_0 \sqrt{(k_x^2 + k_y^2)}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{|k|^{n-1}}{n!} F[h^n(x, y)] \right\} \quad (1)$$

where G is the universal gravity constant, $\Delta\rho$ is the density difference, $h(x, y)$ boundary depths, k_x and k_y are the wave numbers in the x and y direction, n degree of undulation and F^{-1} inverse Fourier transform. For the inverse solution of boundary undulation based on gravity anomalies, [22] gives the equation as:

$$f[h_1(x, y)] = -\frac{f[\Delta g(x, y)]e^{k|h_0}}{2\pi G \rho} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{|k|^{n-1}}{n!} f[h_1^n(x, y)], \quad (2)$$

where $f[\Delta g(x, y)]$, h_0 , $h_1(x, y)$, k , G , and ρ are the Fourier transform of the gravity values, average depth, depth under each measurement point, wavenumber, gravitational constant, and the difference of the densities above and below the boundary, respectively. Formula 2 is utilized to compute density interface iteratively utilizing h_0 and $\Delta g(x, y)$. The first prediction of the depth of interface are ensured by inverse Fourier transform. Also, this interface value can be utilized to find the right of Formula 2. For this reason, this cause to be finalizing the second depth reaches findings. The iterations keep up till the convergence measure is arrived. In short, it is taken into account that the root mean square (RMS) errors between the estimated depths $h(x, y)$ at the end of two consecutive iterations are less than a near-zero convergence criterion (0.01 km).

4. Technique of Determining Discontinuities

[11] proposed the HGM technique to reveal the lateral boundaries of the masses. The HGM technique, which is especially useful for displaying the relationship between potential field data and shallow or deep faults, is used to determine the lateral discontinuity limits of geological structures. The amplitude of HGM is expressed as given in Formula 3 [25] according to the first vertical derivative (FVD) values:

$$HGM = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}\right)^2} \tag{3}$$

The terms $\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z}$ and $\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z}$ here refer to derivatives of the FVD values of the regional gravity data in the x- and y-directions.

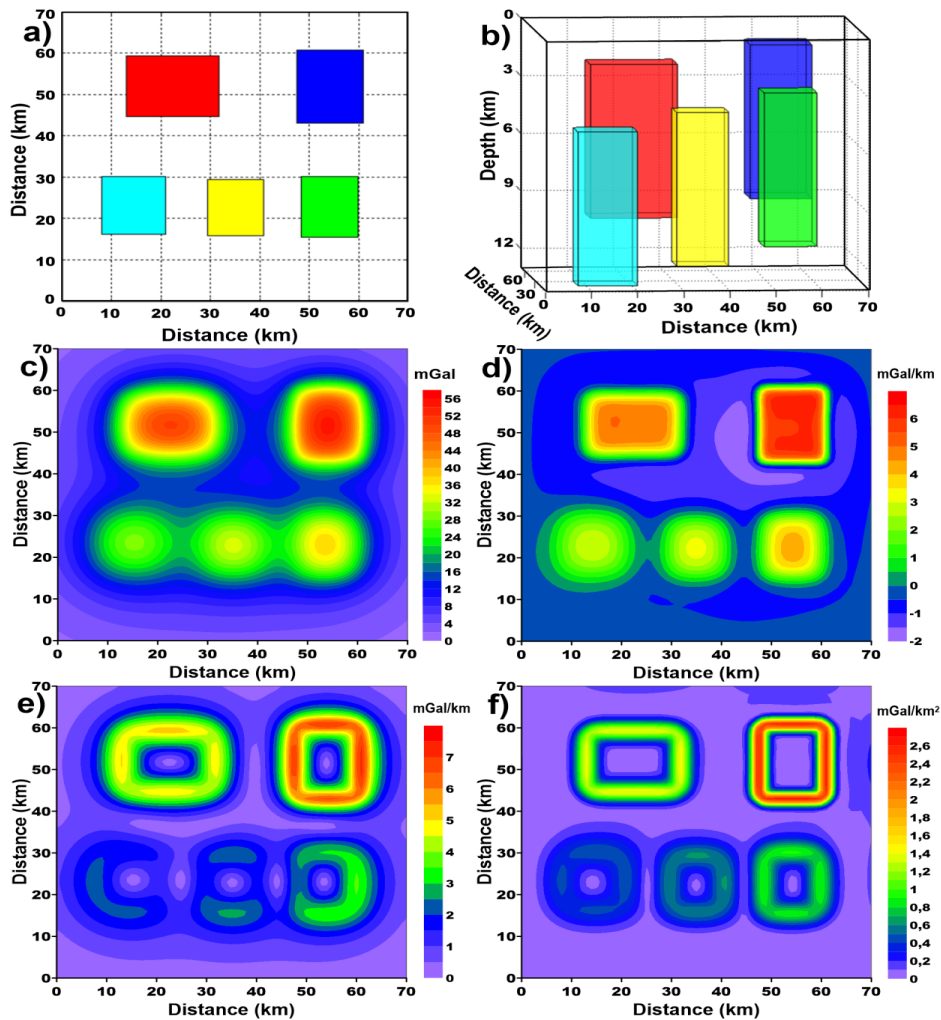


Figure 5. a) Finite vertical prismatic models, b) 3D view of the models, c) gravity map of the models, d) VD map of the gravity, e) HGM map of the gravity, f) HGM map of the VD values.

Figures 5a and 5b show a theoretical model consisting of five rectangular bodies with unlike dimensions and depths having a density difference of 0.3 g/cm^3 . POTENSOFIT software which was designed by [2] was used to make the linear structure determination study with the theoretical model. Depths of bodies forming the model were determined as 1, 2, 3, 4 and 5 km, respectively (Figure 5b). Gravity map produced by the model is given in Figure 5c. VD map of generated gravity values is given in Figure 5d. When the determined gravity and VD maps are evaluated together, it is understood that derivative map is more helpful than gravity anomaly in order to determine lateral boundaries of objects at different depths. In other words, in the vertical derivative map, the boundaries of the masses resulting from the density difference become more apparent. Then, the gravity values and VD values were tested by HGM technique to reveal the data that were more successful in determining the mass boundaries (Figures 5e and 5f). According to the results obtained using HGM technique, as the depth of the object increases, the determination of the lateral boundaries of this object decreases (Figures 5e and 5f). In addition, the lineaments found with the derivative data (Figure 5f) appear to be more accurate than the lineaments found in the gravity data (Figure 5e). When the figures are examined, it can be seen that the boundaries detected with the HGM of the gravity data do not represent the real boundaries well, but the boundaries obtained with the HGM of the vertical derivative data delineate the actual boundaries of the structures well.

5. Performed Works

Band-pass filter is used to obtain filtered gravity data of interfaces of the region using the cut-off wavenumbers. The maximum values of HGM amplitudes computed from FVD values of filtered gravity data for basement represent tectonic discontinuities and lineaments in study area. In this study, lineament research was conducted at the basement levels. The reason for determining these depth levels is that the focal depths of the earthquakes in the vicinity of the study area occur at 10 km below the surface [23]. The crust structure of the study area is shown in Figure 6a. Also, Figure 6b shows the VD anomaly map obtained from filtered gravity data of basement. When the VD map is examined, the masses whose densities are higher than the surrounding rocks became more visible. As indicated in the theoretical model study, it can be said that the discontinuities determined in Figures 6c calculated using the derivative data correspond to tectonic units of region. Compared to Figures 6a and 6c, the known faults could be re-determined by the HGM technique. In addition, the new fault type structures in some parts of the study area and the mass boundaries presenting the density difference are seen in the HGM amplitude map. Some of the obtained lineaments represent active faults, some of them are old faults and some of them represent the mass boundaries that present the density difference. When looking at the HGM map, both the newly discovered lineaments and the NAFZ that pass north of the study area, CATB, SAF, KEF and other important faults can be seen. As a result of the HGM account, known faults and new lineaments resulting from the density difference are seen in Figure 6c. When this figure is considered, new lineaments presenting the density difference, which are parallel to the existing faults in some parts of the study area and are close to these faults are determined. The lineaments found in this study for the basement levels and the tectonic structure that was given by [6] are widely compatible. In particular, several lineaments extending parallel to NAFZ have been identified (Figure 6c). In some sections, new lineaments offering density difference have been found, which cut the known faults.

The soft-hard sediment, basement, Conrad, Moho and LAB topographies of the study area are modeled (Figures 7b, 7d, 7f, 7h and 7j) by applying the Parker-Oldenburg algorithm to the filtered gravity data that are obtained by band-pass filtering according to certain cut-off wave numbers (Figures 7a, 7c, 7e, 7g and 7i). Here, the convergence criterion was 0.01 km and the number of iterations was 5. In order to calculate these topographies, depth values of 2.7, 5.7, 19.0, 34.6 and 85.6 km from the amplitude spectrum are used as initial depth values for soft-hard sediment, basement, Conrad, Moho and LAB topographies, respectively. The density difference between the lower sediment ($\sim 2.55 \text{ g/cm}^3$) and the upper sediment ($\sim 2.25 \text{ g/cm}^3$) is determined as 0.3 g/cm^3 to calculate the soft-hard sediment interface topography. The density difference between the metamorphic unit ($\sim 2.7 \text{ g/cm}^3$) and Neogene

sediment ($\sim 2.4 \text{ g/cm}^3$) to the depth of the basement is determined as 0.3 g/cm^3 to calculate the basement interface topography [15]. The density difference between the lower crust ($\sim 2.93 \text{ g/cm}^3$) and the upper crust ($\sim 2.67 \text{ g/cm}^3$) is determined as 0.26 g/cm^3 to calculate the Conrad interface topography. The density difference between the lithospheric mantle ($\sim 3.28 \text{ g/cm}^3$) and the crust ($\sim 2.72 \text{ g/cm}^3$) is determined as 0.56 g/cm^3 to calculate the Moho interface topography [24]. Finally, the density difference between the asthenospheric mantle ($\sim 3.32 \text{ g/cm}^3$) and the lithospheric mantle ($\sim 3.28 \text{ g/cm}^3$) is determined as -0.04 g/cm^3 to calculate the LAB interface topography [24]. In the calculation for the LAS topography, the density difference is taken as negative due to gravity anomalies [24]. The cut-off wave numbers are determined from the amplitude spectrum as 0.32 km^{-1} and 0.64 km^{-1} for the soft-hard sediment, 0.18 km^{-1} and 0.32 km^{-1} for the basement, 0.09 km^{-1} and 0.18 km^{-1} for the Conrad, 0.03 km^{-1} and 0.09 km^{-1} for the Moho and 0.0 km^{-1} and 0.03 km^{-1} for the LAB respectively. The depths of the calculated interface topographies are determined as 1.4 - 3.6 km for soft - hard sediment, 3.8 - 7.2 km for basement, 15.5 - 22.5 km for Conrad, 30.5 - 39.5 km for Moho and 81.4 - 88.5 km for LAB, respectively (Figures 7b, 7d, 7f, 7h and 7j).

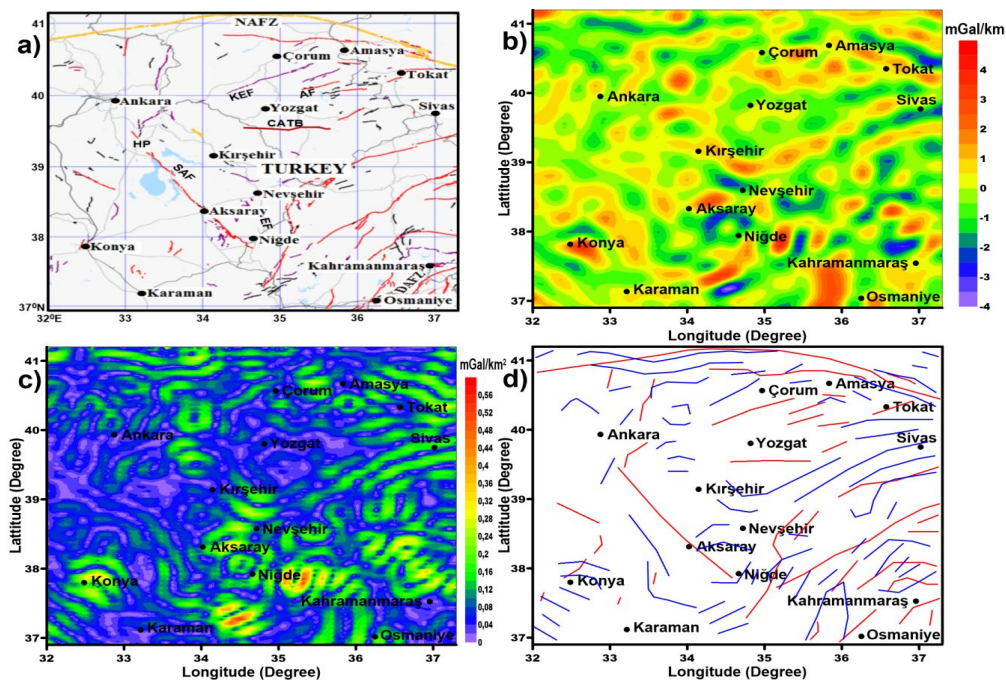


Figure 6. a) Study area, b) The VD map of the filtered gravity data for basement, c) HGM map of the VD data, d) Known faults of study area have been presented by [16] (red lines) and the lineaments recognized using HGM technique (blue lines) of the study field.

When all the interface topographies are evaluated together, it is seen that the crust is generally thickened to the east. When the soft-hard sediment, basement, Conrad and Moho interfaces are formed as a result of the calculations, it is seen that the depths of these interfaces increased to the east and decreased in some parts (Figures 7b, 7d, 7f and 7h). On the other hand, due to a density difference of -0.04 g/cm^3 , the situation is different at the depths of the LAB interface. While the depths of this interface are decreased between Sivas and Nevşehir and is about 81.4 km, and it has 88.5 km depth value in the vicinity of Amasya (Figure 7j). If the gravity values of the units offering density differences are examined, it can be said that there is a relationship between the depth values of the interface topographies and the gravity values of the units in the study area. This is probably due to the low gravity values, the thickness of the crust and the density of the crust is low compared to the density of the asthenosphere. In addition, the lithospheric mantle material with a high density and below the Moho boundary is deeper due to the thicker crust. Therefore, the gravity values are low. Since this is the case in all figures, the

greatest effect is the depth of the lithospheric mantle from sea level. On the other hand, in some parts of the study area, the gravity values are low, the thickness of the crust is low and the crust density is low compared to the lithospheric mantle density. In addition, the lithospheric mantle material with a high density is close to the surface due to the thin crust. Therefore, the gravity values are high here. Since this is the case, the greatest effect that causes this is the depth of the lithospheric mantle from sea level. In other words, the lithospheric mantle, which has a high density, is upward and causes high gravity.

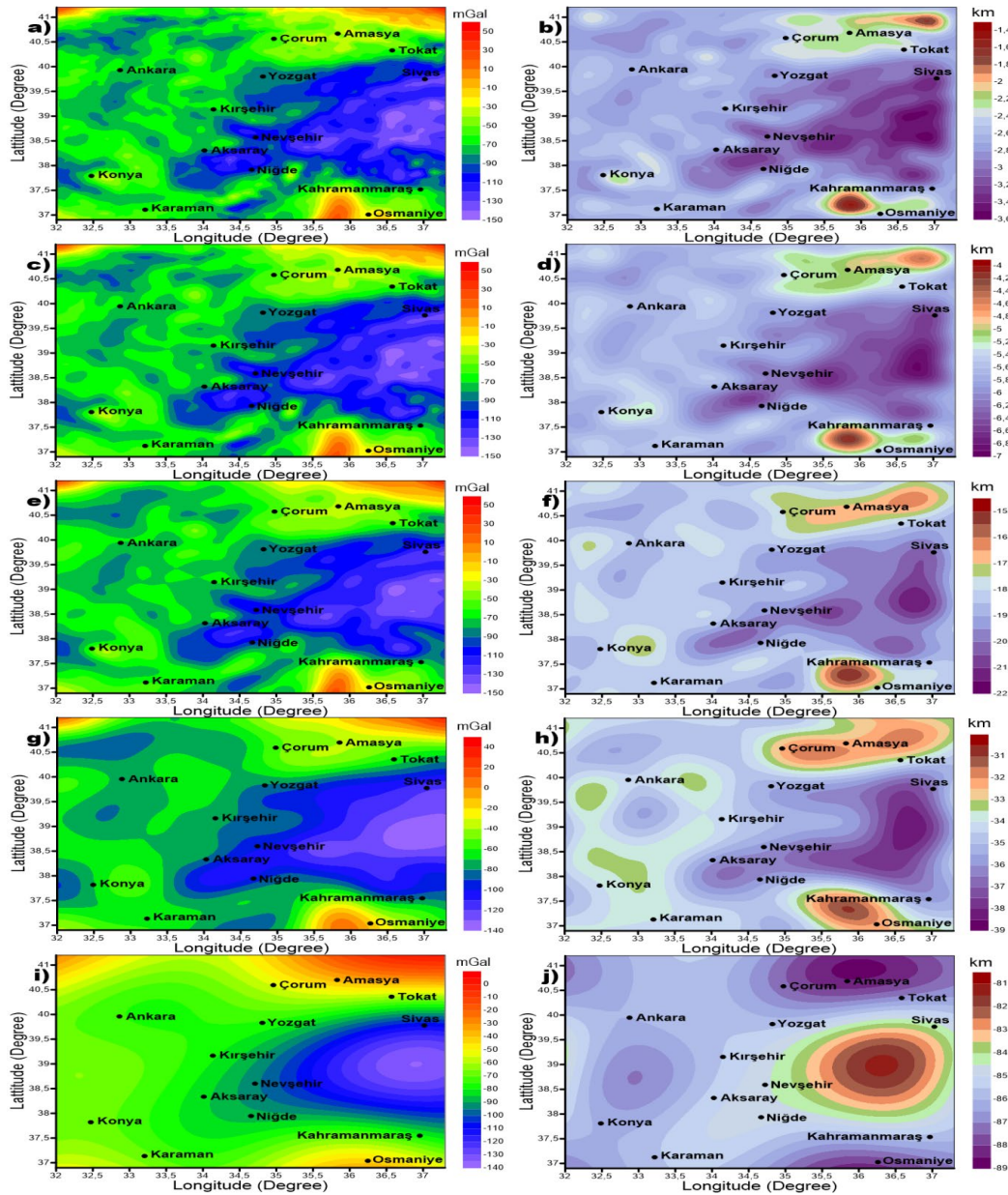


Figure 7. a) Gravity anomaly map of soft-hard sediment interface, b) Calculated topography map of soft-hard sediment interface, c) Gravity map of basement interface, d) Calculated topography map of basement interface, e) Gravity anomaly map of Conrad interface, f) Calculated topography map of Conrad interface, g) Gravity anomaly map of Moho interface, h) Calculated topography map of Moho interface, i) Gravity anomaly map of LAB interface, j) Calculated topography map of LAB interface.

6. Conclusions

In this work, firstly, tectonic structure of the Central Anatolia was given by forming a linearity map. A synthetic data of five prism model structures with different sizes and depths were used to test the validity of the boundary analysis technique used to reveal the lineaments in the basement level in the study area. Then the filtered gravity data of the basement rock of the study area were obtained. The aim of investigating the lineaments at basement rock levels is that the earthquakes in the study area are grouped at the first 10 km depth [23]. The new lineaments determined by the HGM study are generally parallel to the known faults. In some places, new lineaments extending in various directions and new lineaments cutting the old faults are found. In addition to new lineaments, NAFZ, CATB, SAF, KEF and other important faults can be seen in the lineaments map. Using the radial mean amplitude spectrum, the mean depths calculated for the soft-hard sediment, Basement, Conrad, Moho and LAB interface topography are 2.7, 5.7, 19.0, 34.6 and 85.6 km, respectively. The filtered gravity data calculated according to the determined cut-off wave numbers are analyzed by using the inverse solution and then the depths calculated for soft-hard sediment, basement, Conrad, Moho and LAB interface topographies are found to be changed between 1.4 - 3.6 km, 3.8 - 7.2 km, 15.5 - 22.5 km, 30.5 - 39.5 km and 81.4 - 88.5 km respectively. While the first four interface depths from top to bottom are increasing in the east, they decrease in other places. The depth of the LAB interface was opposite the others. This interface takes the shallowest values between Sivas and Nevşehir provinces. Thus, the undulations on the crust interfaces of the study area are determined.

The soft-hard sediment interface depth values found by using inverse solution technique for Central Anatolia are compatible with the depth values found in the same region with 2D gravity inversion calculations [30]. Basement depths found with inverse solution are compatible with the depths found in the same region by using a 3D modeling study [5] and using aeromagnetic, gravity, seismic and seismological data [6]. The Conrad depths found in this study are consistent with the depth values found in the same region by using the curie point depth investigation using regional aeromagnetic anomalies [3]. The depths of the Moho interface found in this study are also consistent with the depth values found in the same region using receiver function analysis of seismic values [32]. At the end of the inverse solution studies, the depths of the LAB are given in addition to the other interfaces. In addition, the Central Anatolian crust interface topographies are given as 2 dimensional underground cross section under the five defined profiles. As a result, although there is a good agreement between the results found in this study and previous studies in the region, new results have been reached to contribute to the geology of the region.

References

- [1] Altınoğlu, F.F., Sarı, M., Aydın, A., Detection of Lineaments in Denizli Basin of Western Anatolia Region Using Bouguer Gravity Data, *Pure and Applied Geophysics*, 172, 415–425, 2015.
- [2] Arısoy, M. Ö., Dikmen, Ü., Potensoft: MATLAB-based Software for potential field data processing, modelling and mapping, *Computers and Geosciences*, 37, 935–942, 2011.
- [3] Ateş, A., Bilim, F., Büyüksaraç, A., Curie Point Depth Investigation of Central Anatolia, Turkey, *Pure and Applied Geophysics*, 162, 357–371, 2005.
- [4] Aydemir, A., Ateş, A., Preliminary evaluation of Central Anatolian basins in Turkey by using the gravity & magnetic data, *Journal of Balkan Geophysical Society*, 8, 7–19, 2005.
- [5] Aydemir, A., Ateş, A., Structural interpretation of the Tuzgölü and Haymana Basins, Central Anatolia, Turkey, using seismic, gravity and aeromagnetic data, *Earth Planets Space*, 58, 951–961, 2006.
- [6] Aydemir, A., Tectonic investigation of Central Anatolia, Turkey, using geophysical data, *Journal of Applied Geophysics*, 68, 321–334, 2009.

- [7] Bhattacharyya, B.K., Some general properties of potential fields in space and frequency domain: a review, *Geoexploration* 5 (3), 127–143, 1967.
- [8] Büyüksaraç, A., Jordanova, D., Ates, A., Karloukovski, V., Interpretation of the gravity and magnetic anomalies of the Cappadocia Region, Central Turkey, *Pure and Applied Geophysics* 162, 2197–2213, 2005.
- [9] Büyüksaraç, A., Investigation into the regional wrench tectonics of inner East Anatolia (Turkey) using potential field data, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 160, 86–95, 2007.
- [10] Cooper, G.R.J., Cowan, D.R., Enhancing potential field data using filters based on the local phase, *Computers and Geosciences*, 32 (10), 1585-1591, 2006.
- [11] Cordell, L., Grauch, V.J.S., Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, (Ed. Hinze, W.J.) *The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps*, Society of Exploration Geophysicists, 181–197, 1985.
- [12] Coşkun, B., Aksaray and Ecemis Faults–Diapiric Salt Relationships: relevance to the hydrocarbon exploration in the Tuz Gölü (Salt Lake) Basin, Central Anatolia, Turkey, *Energy Sources*, 26, 1005–1022, 2004.
- [13] Cemen, I., Göncüoğlu, C., Dirik, K., Structural evolution of the Tuzgölü Basin Central Anatolia, Turkey, *The Journal of Geology*, 107, 693–706, 1999.
- [14] Derman, A.S., Rojay, B., Guney, H., Yildiz, M., Sereflikochisar-Aksaray Fay zonunun evrimi hakkında yeni sedimantolojik veriler. Haymana-Tuzgölü-Ulukisla Basenleri Workshop: TAPG, Special Publication, 5, 47–70, 2000.
- [15] Elmas, A., Kıbrıs Adasındaki Yapısal Süreksizliklerin EGM08 Gravite Verileri Kullanılarak Belirlenmesi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 42, 17-32, 2018.
- [16] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., Açıklamalı 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30. Ankara- Türkiye, 2013.
- [17] Evjen, H. M., The place of the vertical gradient in gravitational interpretations, *Geophysics*, 1, 127–136, 1936.
- [18] Gao, X., Sun, S., Comment on «3DINVER.M: A MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3D horizontal density interface by Parker-Oldenburg’s algorithm». *Computers and Geosciences*, 127, 133—137, 2019.
- [19] Gomez-Ortiz, D., Agarwal, B.N.P., 3DINVER.M: A MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3-D horizontal density interface by Parker–Oldenburg’s algorithm, *Computers and Geosciences*, 31, 513–520, 2005.
- [20] Görür, N., Tuysuz, O., Şengör, A.M.C., Tectonic evolution of the Central Anatolian Basins, *International Geology Review*, 40, 831–850. 1998.
- [21] Gunn, P.J., Linear transformations of gravity and magnetic fields, *Geophysical Prospecting*, 23 (2), 300-312, 1975.
- [22] Oldenburg, D.W., The inversion and interpretation of gravity anomalies, *Geophysics*, 39, 526–536, 1974.
- [23] Oruç, B., Sönmez, T., The rheological structure of the lithosphere in the Eastern Marmara region, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 139, 183-191, 2017.
- [24] Oruç, B., Gomez-Ortiz, D., Petit, C., Lithospheric flexural strength and effective elastic thicknesses of the Eastern Anatolian and surrounding region, *Journal of Asian Earth Sciences*, 150, 1-13, 2017.
- [25] Oruç, B., Edge detection and depth estimation using a tilt angle map from gravity gradient data of the Kozaklı-Central Anatolia Region, Turkey, *Pure and Applied Geophysics*, 168, 1769-1780, 2011.
- [26] Parker, R.L., The rapid calculation of potential anomalies, *Geophysical Journal International*, 31, 447–455, 1973.

- [27] Pavlis, N.K., Holmes, S.A., Kenyon, S.C., Factor, J.K., An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. EGU General Assembly 2008, Vienna, Austria, April 13–18, 2008. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008>. (Ziyaret tarihi: 11 Şubat 2019), 2008.
- [28] Şengör, A.M.C., Görür, N., Saroglu, F., Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. Special Publication, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 37, 227–264, 1985.
- [29] Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 181 - 241, 1981.
- [30] Şeren, A., Çavsak, H., Jacoby, W., Calculation and inversion of two-dimensional gravity in the vicinity of Lake Tuz, Turkey, Journal of Geodynamics, 29, 87-102, 2000.
- [31] U.S. Geological Survey, Digital Elevation Models GTOPO30, Virginia, 1998. http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg_id=10003_1, (Accessed 8 Feb 2021).
- [32] Vanacore, E.A., Taymaz, T., Saygin, E., Moho structure of the Anatolian Plate from receiver function analysis, Geophysical Journal International, 193, 329–337, 2013.

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL TRENDS THROUGH AEROMAGNETIC DATA FOR THE CENTRAL ANATOLIAN CRYSTALLINE COMPLEX (KIRSEHIR BLOCK), TURKEY

Ezgi ERBEK KIRAN^{1*}

¹ Department of Geophysical Engineering, Faculty of Engineering, Suleyman Demirel University, , Isparta, 32260, Turkey
Geliş Tarihi/Received Date: 17.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 12.12.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.997085

ABSTRACT

The main goal of this study is to delineate the subsurface structural features and depths of the causative sources in the Central Anatolian Crystalline Complex (Kirsehir Block), Turkey from aeromagnetic data. To this end, spectral analysis technique, analytic signal (AS) and tilt angle method were applied to the aeromagnetic data. The depths of causative sources were founded to vary between 8.48 km and 1.60 km. The AS and tilt angle method was implemented to regional anomalies and it was seen that the geological units defined by the field observation have a deeper root below the surface. In addition, although there are no rocks that have magnetic properties in the center of the geological map, the existence of a magnetized structure in the tilt map was determined. This phenomenon can be evaluated as the existence of a highly magnetized unit in the region that may have been covered by continental clastic rocks.

Keywords: Analytic signal, tilt-depth method, aeromagnetic dat

TÜRKİYE İÇ ANADOLU KRİSTALİN KOMPLEKSİ (KIRŞEHİR BLOK) İÇİN AEROMAGNETİK VERİLERLE YAPISAL TRENDLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'deki Orta Anadolu Kristalin Kompleksindeki (Kırşehir Bloğu), bozucu kaynakların yer altı yapısal özelliklerini ve derinliklerini aeromanyetik verilerden belirlemektir. Bu amaçla aeromanyetik verilere spektral analiz tekniği, analitik sinyal (AS) ve tilt açısı yöntemi uygulanmıştır. Bozucu kaynakların derinliklerinin 8,48 km ile 1,60 km arasında değiştiği tespit edilmiştir. AS ve tilt açısı yöntemi bölgesel anomalilere uygulanmış ve saha gözlemiyle tanımlanan jeolojik birimlerin yüzeyin altında daha derin bir köke sahip olduğunu görülmüştür. Ayrıca jeolojik haritanın merkezinde manyetik özelliklere sahip kayalar olmamasına rağmen tilt haritasında manyetize bir yapının varlığı tespit edilmiştir. Bu olgu, bölgede kıtasal kırıntılı kayalarla kaplanmış olabilecek yüksek oranda manyetize olmuş bir birimin varlığı olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Analitik sinyal, Tilt- derinlik yöntemi, havadan manyetik veri

1. Introduction

The magnetic method has been widely used in exploration of oil-gas and geothermal region, detection of location masses of igneous rocks and faults, definition of near-surface volcanic rocks, recognition of the subsurface and surface. Besides those, the aforementioned technique allows the investigation of outcropped or buried magmatic rocks (containing high susceptibility) and their position/geometry. As well-known, this method is based on the Earth's magnetic fields and it measures the variation of the magnetic susceptibility in geological units. However, the interpretation of results

* e-posta: ezgierbek@sdu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4627-8932>

acquired through this method is much more complicated than the other geophysical techniques due to the dipolar nature of the magnetic field and body magnetizations. To eliminate these effects, various techniques have been developed by researchers. One of them is Reduce to Pole correction (RTP) developed by Baranov [1] and it was later improved by Ansari and Alamdar [2]. The method aims to give the exact locations of the magnetic sources caused by the anomaly. The other major techniques, which allow researchers to define the boundaries of the structures, can be listed as Euler (EU) Deconvolution [3], analytic signal (AS) [4], tilt angle derivative [5], total horizontal derivative of the tilt angle [6] and normalized standard deviation [7].

The study region bounded by Longitudes $33.5^{\circ}\text{E} - 35.0^{\circ}\text{E}$ and Latitudes $38.5^{\circ}\text{N} - 40.0^{\circ}\text{N}$ in the central Anatolian Crystalline complex (Kirsehir Block), Turkey (Figure 1) has complex geological and tectonic backgrounds. Considering those, many studies have been carried out in the region. For example, Okay [8] examined the high-pressure/low-temperature metamorphic rocks in this Massif. The volcanic vents and geodynamics properties were observed by Dhont et al. [9.] Kadioglu et al., [10] interpreted the gabbroic rocks in Agacoren Granitoid (located in the Kirsehir Massif) using field observation and aeromagnetic data Akın and Ciftci [11] investigated the distribution of heat flow and radiogenic heat production in this region. Lefebvre et al. [12] searched Late Cretaceous extensional denudation around Kirsehir Massif. Van Hinsbergen et al. [13] and Cinku et al. [14] exhibited tectonic evolution and paleogeography of the Kirsehir Block and central Anatolia. In addition to these geological and tectonic surveys, the area has important metallic mineral and iron-bearing minerals. This phenomenon deserves a further analysis because the studies carried out in the literature are limited. Therefore, the paper aims to delineate the exact locations of the magnetic sources, their elongation, and linear structures caused by the high magnetic anomalies in the Kirsehir Block using the above-mentioned methods.

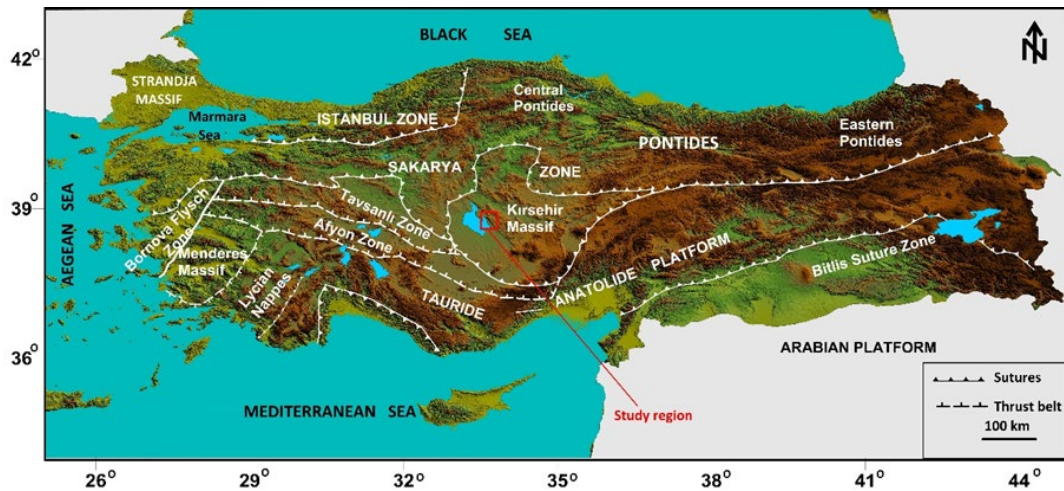


Figure 1. A Simplified tectonic map showing major tectonic units in the central Anatolia and its vicinity (from [15]). Red rectangle shows the study region

2. Geo-Tectonic Settings

The present tectonic structure of Anatolia was shaped by the Pan-African, Hercynian, Kimmerid and especially Alpid mountain formation phases, and was later modified by neo-tectonic movements [16]. After the closure of the Tethys Ocean, the North and South Anatolian Fault zones were formed as a result of the NS-trending compression and after the compression, escape tectonics started in Anatolia [16, 17]. The Kirsehir Block situated in the central Anatolia (Turkey) is triangular crystalline massif of continental origin and it shares the boundary with the Salt Lake fault zone at the west, the East Anatolian Fault Zone at the east, the North Anatolian Fault Zone at the north and the Anatolide-Tauride Platform at the south. The region was defined as a metamorphic belt with Cretaceous aged [18] and it has been

affected by deformation and volcanism [9, 17, 18]. Also, the region was exposed to plutonic activities during Upper Cretaceous - Eocene period and the geological units were characterized by abundant granitoid and syenites with the Upper Cretaceous - Paleocene aged. These granitoid series extend along the Salt Lake (Tuz Gölü) with NW-SE direction.

The region is generally described by the low pressure, high temperature conditions. The geological units contain the high-temperature metamorphic rocks and igneous intrusions with Late Cretaceous aged [12, 13, 19, 20]. The basement of the block is composed of metamorphic rocks and the ophiolitic units overlaid on the basement. In addition, the basement rocks were cut by the magmatic intrusive rocks in the region. Volcano-sedimentary and sedimentary series with Eocene aged is also covered with the metamorphic and the magmatic units [11]. Ophiolitic series located at the NW and NE part of the Kirsehir Block could be associated with the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone. Volcanic series with Late Cretaceous aged (like agglomerate, sandstone, tuff, radiolarite, pelagic limestone, basaltic andesitic pillow lava) are situated at the southern part of the region and they reach out along the E-W trending [11, 21].

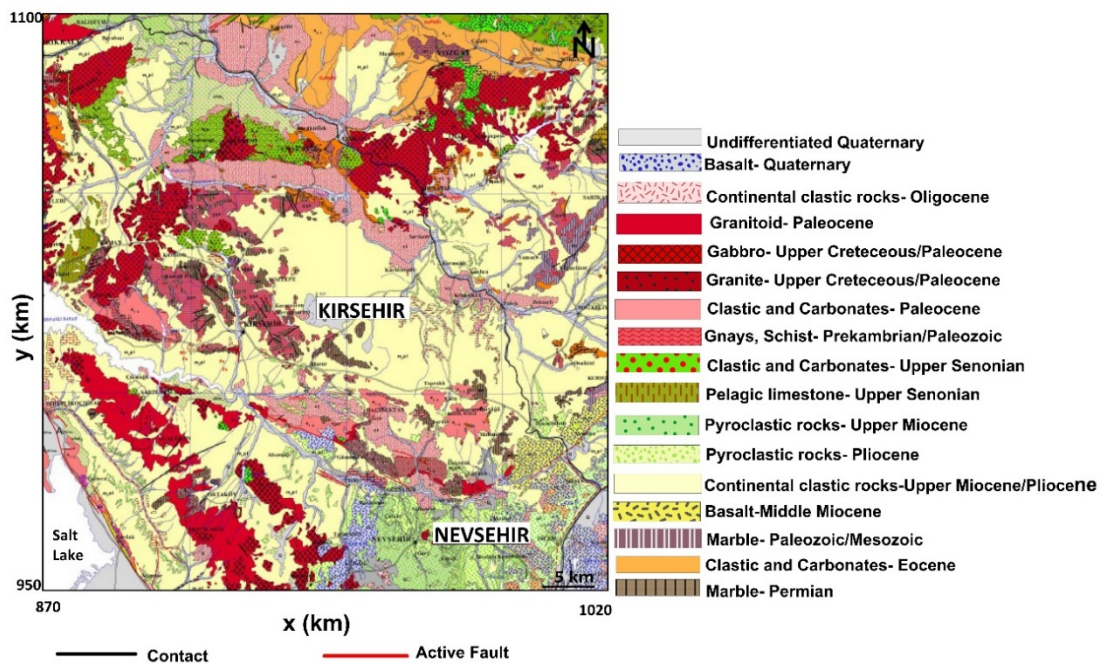


Figure 2. Geological map of the study region (modified from 1/500000 digital geological maps database of Mineral Research and Exploration General Directorate (MTA), [22]).

Many geophysical studies determined the structure of the crust have been carried out in the central Anatolia. Using the dispersion of love waves, the average thickness of the crust in Anatolia was found to be 31 km by Canitez et al., [23] while Genc et al. [24] calculated the average crustal thickness as 35 km for the northern part of Central Anatolia utilizing spectral analysis of the gravity anomalies. Also, the crustal thickness of the central Anatolia was computed to be approximately 34 km by using aeromagnetic, gravity and deep seismic reflection data in the study conducted by Ates et al. [25]. Besides those, Ates et al. [26] discovered the Curie point depths (7.9 - 22.6 km) of the Central Anatolia.

3. Material and Method

Aeromagnetic data with 2-arc-minute resolution (EMAG 2) used in this study are supplied from National Centers for Environmental Information (NOAA). Those data are compiled from satellite, ship, and airborne magnetic measurements. These data have been recorded at an altitude of 4 km above sea level. They provide valuable information for observing anomalies in the continental crust, areas of large-

scale volcanism, and highly magnetized rocks. Other technique information was given by Maus et al. [27]. The variation of magnetic amplitudes was given in Figure 3a and the map shows that the values vary from -563 to +605 nT. To eliminate the undesired effects caused by the dipolar nature of earth, reduce to pole (RTP) correction was applied to aeromagnetic data. During the correction, the inclination angle was computed as 56.7° while the declination angle was taken as 4.2° . The map obtained via RTP correction is seen in Figure 3b and the areas with the low magnetization and non-magnetizing rocks are represented by dark blue, and green tones whereas the rocks containing the minerals with the magnetization feature (especially gabbro etc.) are represented by red and pink colors. Especially, gabbroic rocks display high magnetization in the region.

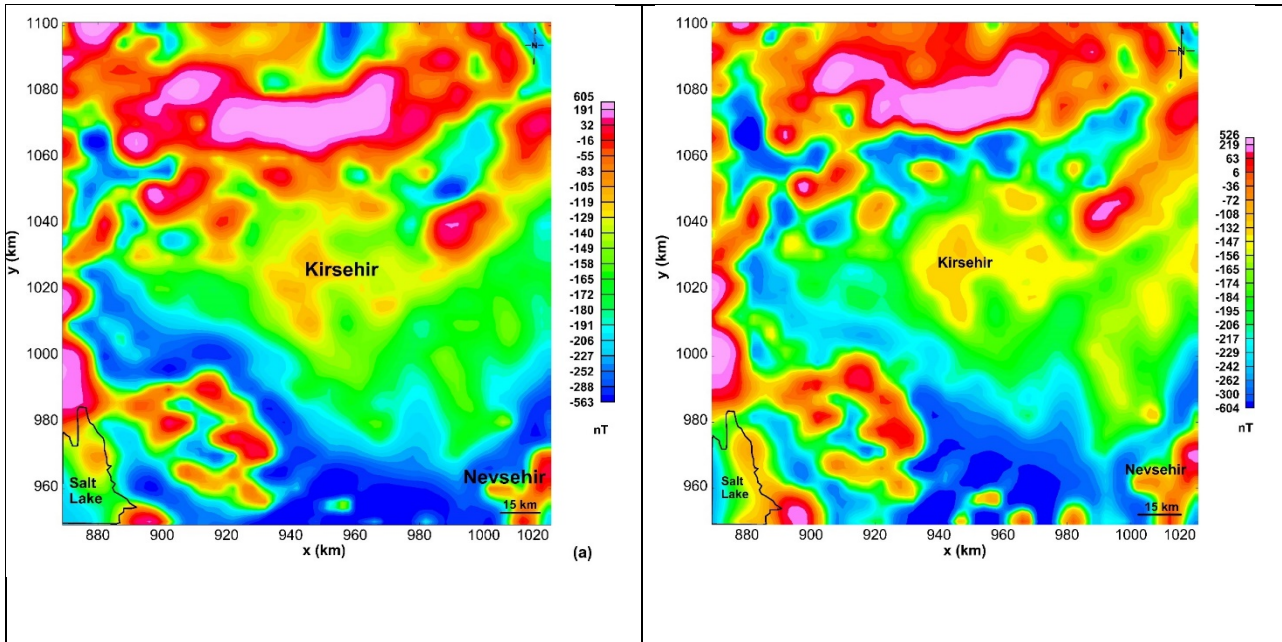


Figure 3. a) The distribution of aeromagnetic data of the study region, b) RTP anomaly map of the study area

3.1. Radially averaged power spectrum technique (RAPS)

Spector and Grant [28] suggested the basic 2-D spectral analysis method that is based on the spectral analysis (power spectrum curve) of the data. This method is widely used to determine the average depth of the causative sources, the depths of the volcanic intrusions and the basement complex and the subsurface geological structures. The technique shows the relationship between the spectrum of the magnetic data and the depth extend of the magnetic body by transforming spatial data into the frequency domain and Shuey et al. [29] pointed out that the method gives better results on regional anomalies.

In this study, the RAPS technique was applied to RTP magnetic data in the frequency domain and the results are plotted RAPS versus wavenumber (k). The slope of the plotted graphic displays the average depth of each segment (Fig. 4) and the depth is calculated by using Eq. (1).

$$depth = - \frac{Slope}{4\pi} \quad (1)$$

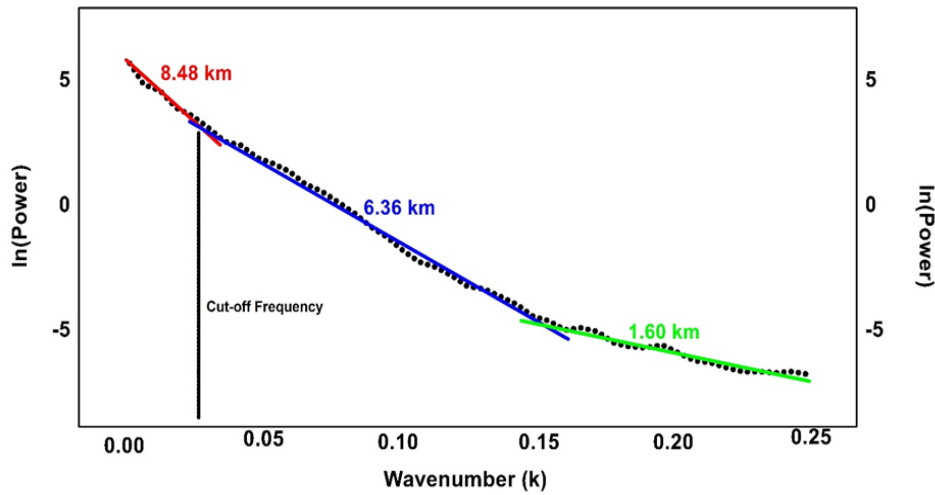


Figure 4. Radially average power spectrum and depth estimate of RTP aeromagnetic data of the Study area. Power spectrum of aeromagnetic data showing the represent the depths of regional and residual anomalies.

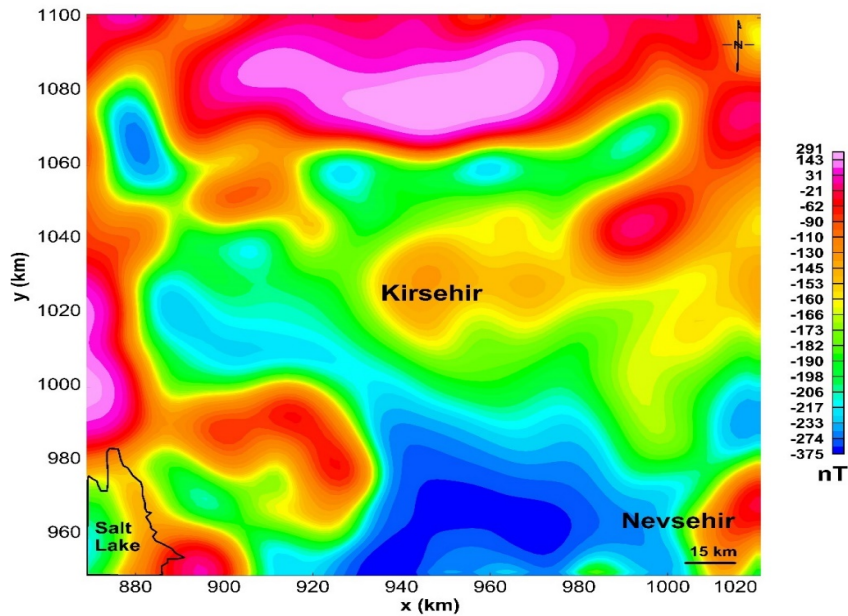


Figure 5. The regional anomaly (High-pass filtered with cut-off frequency (k)=0.03 cycle/km) map of the study region

The graphic can be divided into three segments for this study. First segment is represented the depth for the deep magnetic sources below the ground surface and its depth was computed as 8.48 km while second one corresponds to the depth of intermediate magnetized bodies and it was calculated as 6.36 km. The third segment represents the average depth of the shallow sources located in the region and it was estimated as 1.60 km. As well-known, the magnetic anomalies have two components including the regional (deep magnetized bodies) and residual anomalies (shallow magnetized bodies). In order to emphasize the effects caused by the shallow sources in the map, the high-pass filter technique was applied to the RTP data by utilizing the cut-off number (0.03 cycle/km) obtained from the analysis of RAPS. Hereby, the resulting high-pass filtered map was illustrated in Fig. 5. According to the map, the high magnetic anomalies are located at the northern and southwestern parts of the map trending E-

W and NW-SE, respectively (Fig 5). These anomalies can be associated with the existence of the gabbroic and granodiorite units seen in the geologic map (see Fig. 2).

3.2. Analytic Signal

Analytic signal method, which is widely used to estimate the depth and location of the causative sources, is successfully applied to the data because of the independence of magnetization direction. The 2-D AS was firstly defined by Nabighian [30] and the technique was later improved to the 3-D by Nabighian [31]. The method was based on the derivatives of the potential field data (magnetic data or gravity data) in the x, y and z directions by Roest et al. [4] and it is given as follows:

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \quad (2)$$

where f is the total magnetic anomaly. $\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$, and $\frac{\partial f}{\partial z}$ is the derivatives of the magnetic field in the x, y and z-directions, respectively. The locations of the maximum AS can be used to detect the outlines of the magnetic sources. The AS map produced from the regional anomalies is indicated in Figure 6. According to the map, the AS solutions of the magnetic anomalies were observed at many parts of the study area in the northern and southern parts and the regions indicated the locations of the rocks with high magnetic response (Gabbro, granitoid rocks).

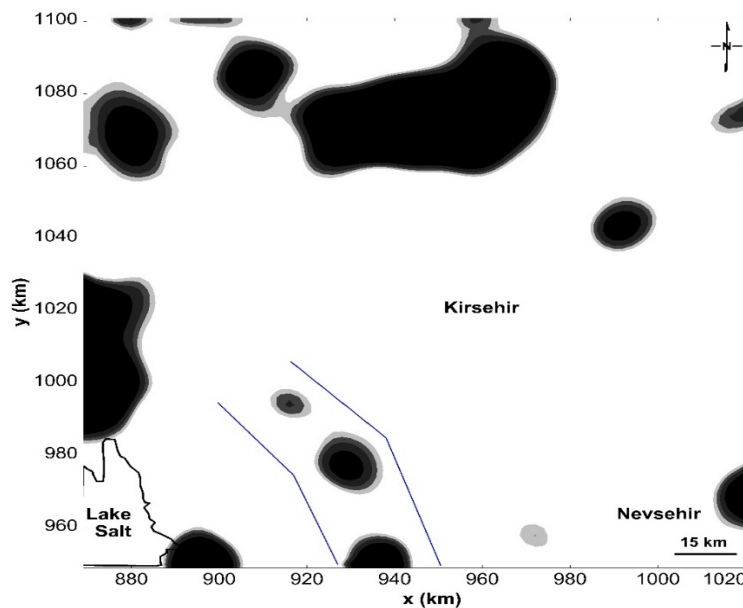


Figure 6. The map shows the analytic signal (AS) map applied to RTP data. Black patches indicate the maximum values of AS. The blue line shows the direction of extension of the structures.

3.3. Tilt angle method

The tilt angle derivative (Tilt) method is a useful tool delineate the trends/contacts region and boundaries of the magnetized sources. The method is developed by Miller and Singh [5], as seen in Eq. 2.

The amplitudes of the Tilt vary between $-\pi/2$ to and $+\pi/2$ due to the arctangent trigonometric function. The Tilt displays positive amplitudes (+0.785) over the magnetized bodies while the negative amplitudes (-0.785) are also located outside of the magnetized bodies. Also, the zero contours passed through over the edges of the structures show the boundaries of bodies.

$$Tilt = \arctan \left[\frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}} \right] \quad (3)$$

The method which is called the tilt-depth method was then improved by Salem et al. [32] in order to estimate the upper depth of the interpreted contact. The upper depth for the sources is estimated by using the distance between $\pm\pi/2$ Radians ($\pm 45^\circ$) contours. Due to not require any geological information, it has an advantage in the estimation of depth [33].

Table 1. The depths to top of the magnetized bodies obtained from the tilt-depth method.

Structure	Tilt-Depth (km)	
	West Edge	East Edge
A	6.7 km	4.4 km
B	4.6 km	6.5 km
C	3.5 km	4.3 km
D	5.7 km	2.1 km
E	5.3 km	7.7 km
F	3.6 km	4.4 km

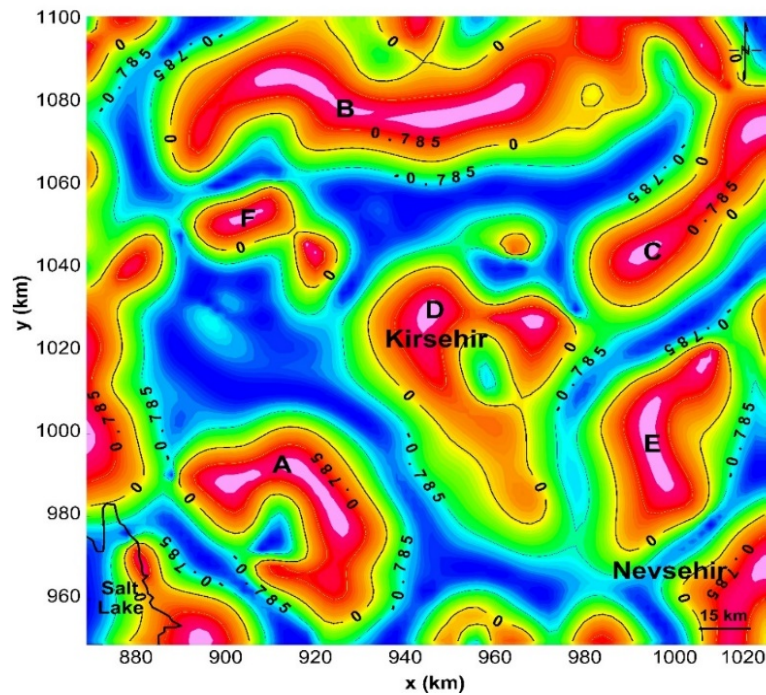


Figure 7. The Tilt map of the study region. Black lines show the zero contour.

By a closer look at Fig. 7, six regions that display high magnetization were observed on the Tilt map (these regions were marked as A, B, C, D, E, and F on the map). In this map, zero contours show the boundaries of the magnetized bodies, and the upper depths of these structures were estimated using the Tilt-depth method (Table 1). It is provided to calculate the upper depth of deep-seated sources in the region clearly utilizing this method. Also, it is shown that these depth estimates are in accordance with the average depth values obtained from power spectrum analysis.

4. Conclusions

This paper aimed to determine structural trends of the Central Anatolian Crystalline Complex (Kirsehir Block), Turkey from aeromagnetic data. To reach these goals, spectral analysis technique, AS method, and Tilt angle method were applied to the aeromagnetic data and the average depths of the regional and residual anomalies were found to be 8.48 km and 1.60 km respectively. In addition, to determine the exact location of the causative sources, AS method was executed to the RTP data. The signal exhibited the maximum value over the causative sources (Fig. 6). As it can be seen from the AS map, maximum magnetization contrasts were observed at northern and southern parts. The strong anomalies located in the northern part of the map display nearly trending E-W whereas the trends of the other anomalies located in the south reach out NW-SE direction. Also, the boundaries of the six magnetized bodies located in the study region and their upper depth were calculated using the tilt method. This method showed that although there are no rocks that have magnetic properties in the center of the geological map, the existence of a magnetized structure in the tilt map was determined as a result of the methods applied. This phenomenon can be evaluated as the existence of a highly magnetized unit in the region that may have been covered by continental clastic rocks. Thus, the determination of the region requires special attention. With sufficient effort in the future, detailed geochemical/geophysical surveys and core drilling could be performed in this region and the structure can be defined.

Acknowledgment

The author thanks the National Centers for Environmental Information (NOAA) for the provision the magnetic data.

Kaynaklar

- [1] Baranov V. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: Pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics* 1957; 22: 359-383.
- [2] Ansari AH, Alamdar K. Reduction to the pole of magnetic anomalies using analytic signal. *World Applied Sciences Journal* 2009; 7(4): 405-409.
- [3] Reid AB, Allsop JM, Granser H, Millett AJ, Somerton IW. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution. *Geophysics* 1990; 55: 80-90.
- [4] Roest WR, Verhoef J, Pilkington M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics* 1992; 57(1): 116-125.
- [5] Miller HG, Singh V. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics* 1994; 32: 213 – 217.
- [6] Verduzco B, Fairhead JD, Green CM, MacKenzie C. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge* 2004; 23: 116-119.
- [7] Cooper GRJ, Cowan DR. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computers & Geosciences* 2006; 32: 1585-1591.
- [8] Okay AI. High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 1986; 164: 333-348.
- [9] Dhont D, Chorowicz J, Yurur T, Froger JL, Kose O, Gundogdu N. Emplacement of volcanic vents and geodynamics of Central Anatolia, Turkey. *J. Volcan. Geother. Res.* 1998; 85: 33-55.

- [10] Kadioglu, Y.K., Ates, A., and Gulec, N. Structural interpretation of gabbroic rocks in Agacoren Granitoid, central Turkey: field observations and aeromagnetic data. *Geol. Mag.* 1998; 135(2), 245-254.
- [11] Akin U, Ciftci Y. Heat flow of the Kırşehir Massif and geological sources of the radiogenic heat production. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 2011; 143: 53-72.
- [12] Lefebvre C. The tectonics of the Central Anatolian Crystalline Complex: A structural, metamorphic and paleomagnetic study. in *Utrecht Studies in Earth Sciences* 2011; 3, 147 p., Utrecht Univ.
- [13] Van Hinsbergen DJJ, Maffione M, Plunder A, Kaymakçı N, Ganerød M, Hendriks BWH, Corfu F, Gurer D, Gelder GINO, Peters K, McPhee P, Brouwer F, Advokaat E, Vissers R. Tectonic evolution and paleogeography of the Kırşehir Block and the Central Anatolian Ophiolites, Turkey. *Tectonics* 2016; 35(4): 983–101.
- [14] Cinku MC, Hisarli ZM, Yilmaz Y, Ulker B, Kaya, Oksum E, Orbay N, Ozbey ZU. The tectonic history of the Niğde-Kırşehirmassif and the Taurides since the Late Mesozoic: Paleomagnetic evidence for two-phase orogenic curvature in Central Anatolia. *Tectonics* 2016; 35, 772–811, doi:10.1002/2015TC003956.
- [15] Okay AI, Tuysuz O. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand B, Jolivet L, Horváth F, Séranne M. (Eds.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within the Alpine Orogen*. Geological Society, London, Special Publications 1999; 156: 475–515.
- [16] Sengor AMC. Cimmeriden orogenic system and tectonics of Eurasia. *Geological Society of America, Special Publication* 1984; 195: 82.
- [17] Sengor AMC, Gorur N, Saroglu F. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study: in Biddle, K.T. and Christie-Blick, N., eds, *Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*. Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub. 1985; 37: 227–264.
- [18] Pasquare G, Poli S, Vezzoli L, Zanchi A. Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics* 1988; 146: 217–230.
- [19] Whitney DL, Dilek Y. Metamorphism during alpine crustal thickening and extension in central Anatolia, Turkey: The Niğde metamorphic core complex. *Journal of Petrology* 1998; 39 (7): 1385–1403.
- [20] Lefebvre C, Peters K, Wehrens P, Brouwer FM, Van Roermund HLM. Thermal and extensional exhumation history of a high-temperature crystalline complex (Hirkadag Massif, Central Anatolia). *Lithos* 2015; 238:156–173.
- [21] Goncuoglu MC. Geologic des westlichen Niğde massivs; PhD Thesis, Bonn University, 1977; 181 pp.
- [22] MTA, 2002. 1/500000 digital geological maps database of Mineral Research and Exploration General Directorate, Ankara, Turkey.
- [23] Canitez N. Structure of earth crust in North Anatolia by Gravity anomalies and seismology. PhD Thesis, Istanbul technical University 1962; 82 pp.
- [24] Genc T, Tufan S, Sevinc A, Yemen H. Investigation of the crust structure of the North of Central Anatolia using Gravity and Magnetic Methods. 13th Geophysical Congress of Turkey, 1993; 110 pp.
- [25] Ates A, Bilim F, Buyuksarac A. Curie Point Depth Investigation of Central Anatolia, Turkey. *Pure appl. Geophys.* 2005; 162: 357–371.
- [26] Ates A, Bilim F, Buyuksarac A, Aydemir A, Bektas O, Aslan Y. Crustal Structure of Turkey from Aeromagnetic, Gravity and Deep Seismic Reflection Data. *Surv Geophys* 2012; 33: 869–885.
- [27] Maus S, et al. EMAG2. A 2 arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne and marine magnetic measurements. *Geochem, Geophys, Geosyst* 2009; 10, Q08005. <https://doi.org/10.1029/2009GC002471>.
- [28] Spector A, Grant FS. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics* 1970; 35: 293–302.
- [29] Shuey R, Schellinger D, Tripp A. Alley L. Curie depth determination from aeromagnetic spectra. *Geophys. J. Int.* 1977; 50 (1): 75–101.

- [30] Nabighian MN. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics* 1972; 37: 507-517.
- [31] Nabighian MN. Toward a three dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations. *Geophysics* 1984; 49(6): 780 -786.
- [32] Salem A, Williams S, Fairhead JD, Ravat DJ, Smith R (2007) Tilt depth method: a simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives. *Leading Edge*, 26 (12), 1489–1624
- [33] Wang YG, Zhang J, Ge KP, Chen X, Nie FJ. Improved tilt-depth method for fast estimation of top and bottom depths of magnetic bodies. *Appl. Geophys.* 2016; 13: 249–256. <https://doi.org/10.1007/s11770-016-0551-3>.

KAN VERMEYE ELVERİŞLİ DONÖRLERİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TESPİTİ

Kerim KARADAĞ^{1*}

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 63000, Şanlıurfa, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 10.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 24.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.993772

ÖZET

İnsanlar hayatları boyunca farklı zamanlarda çeşitli sebeplerden dolayı kan ve kan ürünlerine gerek duymaktadırlar. Kan ve kandan elde edilen ürünler laboratuvar koşullarında elde edilemeyip yalnızca insandan elde edildiğinden, hayati önem taşıyan kanın sağlıklı bireylerden sağlanması gerekmektedir. Karaciğer rahatsızlıkları ile ilgili, Hepatit çeşitleri, karaciğer kanseri, karaciğer büyümesi, karaciğer yetmezliği, siroz ve benzeri hastalıklar kanın durumunu belirleyen etmenlerin başında gelir. Bu hastalıklar ilerledikçe telafisi mümkün olmayan zararlara yol açabileceği için erken teşhis edilip tedavi edilmesi ve kan verilecek kişilere de bulaş riskini ortadan kaldırmak için hayati önem arz etmektedir. Son yıllarda birçok alanda kullanılan bilgisayar destekli öğrenme yöntemleri, bu alanda da geleneksel yöntemlere ilaveten hekimlere fikir verici olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada amaç, makine öğrenme yöntemleri ile karaciğer hastalıklarının tespiti ve donörlerin kan bağıışı yapmaya elverişli olup olmadıklarını kan değerlerinden tespit etmektir. Sınıflandırma için, Karar Ağaçları, Destek Vektör Makinesi ve k-en yakın komşuluk algoritmaları kullanılıp doğruluk ve gerçek oran performans ölçütleri ile değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kan Bağıışı, Karaciğer Hastalıkları, Makine Öğrenme Algoritmaları, Sınıflandırma, Performans Ölçütü

COMPUTER AIDED DETERMINATION OF SUITABLE BLOOD DONORS

ABSTRACT

People need blood and blood products for various reasons at different times throughout their lives. Since blood and products obtained from blood cannot be obtained in laboratory conditions, but only from humans, vital blood must be obtained from healthy individuals. Hepatitis types, liver cancer, liver enlargement, liver failure, cirrhosis and similar diseases are among the factors that determine the state of the blood. Since these diseases can cause irreparable harm as they progress, it is vital to diagnose and treat early and to eliminate the risk of transmission to those who will be given blood. Computer-aided learning methods, which have been used in many fields in recent years, are also used in this field as an idea for doctors in addition to traditional methods. The aim of this study is to detect liver diseases with machine learning methods and to determine whether donors are suitable for blood donation from blood values. For classification, Decision Trees, Support Vector Machine and k-nearest neighbor algorithms were used and evaluated with accuracy and true rate performance measures.

Keywords: Blood Donation, Liver Diseases, Machine Learning Algorithms, Performance Measure, Classification

1. Giriş

Kan bağıışı, kişileri ruhen ve bedenen olumlu etkiler. Kan bağıışı sonrası doku ve organlar uyarılarak, kan hücreleri yenilenmiş olur ve kandaki yüksek yağ oranı düşer. Ayrıca bağıışçılar, her bağıış esnasında Hepatit, HIV gibi farklı enfeksiyon etkenlerinin de taramasından geçmiş olur [1]. İlk kan nakli

*1 e-mail: k.karadag@harran.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5167-4054>

hayvandan hayvana 17. yy da gerçekleştirilmiş, insandan insana kan nakli ise 19. yy da gerçekleştirilmiştir. Kan transferine; kazalar, lösemi, anemi, cerrahi müdahaleler gibi rahatsızlıklarda tedavi edici başka seçeneğin olmadığı durumlarda ihtiyaç duyulmaktadır [2]. İnsanlar hayatları boyunca farklı zamanlarda çeşitli sebeplerden dolayı kan ve kan ürünlerine gerek duymaktadırlar. Kan ve kandan elde edilen ürünler laboratuvar koşullarında elde edilemeyip yalnızca insandan elde edildiğinden, hayati önem taşıyan kanın sağlıklı bireylerden sağlanması gerekmektedir [2]. İnsan vücudundaki birçok organ karmaşık ve bir o kadarda farklı görevlere sahiptir. Bu organlardan biri olan karaciğer; kanı, birçok yabancı ve toksik maddelerden arındırma, vücuttaki yağları sindirme, atıkları vücuttan uzaklaştırma ve safra üretme gibi hayati fonksiyonları yerine getirme gibi görevlere sahiptir [3]. Kan bağışını gerekliliği, uygun donörün seçimi ve bilgisayar destekli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, Masser ve ark., yaptıkları çalışmalarında kan bağışçılarının karar vermesi üzerindeki etkilerin ele alınmasını, bağışçı toplama ve elde tutma yaklaşımına nasıl fayda sağlayabileceğini araştırmışlar [4]. Altındiş ve ark., yaptıkları çalışmada kan verme önündeki engelleri ve bu konudaki tutum-davranışlarını belirlemek ve kan bağışı ile ilgili farkındalığı artırmak için hangi aşamalarda eksiklikler olduğunu saptamayı amaçlamışlar [1]. Czeizler ve Garbarino yaptıkları çalışmalarında, kan bağışı kararının zamansal kurgusal çerçevesi ile kan bağışı talebi arasındaki eşleşmenin bir uyumsuzluktan daha yüksek bağış niyetlerine yol açıp açmadığını test ederek yorum teorisini genişletmişler [5]. Khan ve ark., Hepatit C hastalığını makine öğrenme yöntemleri kullanarak tahmin etmeye çalışmışlar [6]. Mueller-Breckenridge ve ark., yaptıkları çalışmada, HBeAg durumunu doğru bir şekilde sınıflandıran viral varyantları belirlemek için makine öğrenimi yaklaşımı kullanarak bir model geliştirmişler [7]. Keleş ve ark., elde ettikleri modellerle karaciğer hastalıklarının erken evrede yakalanmasını sağlayacak akıllı bir sistemin alt yapısını oluşturmaya çalışmışlar [3]. Tian ve ark., çalışmalarında her hastanın HBsAg seroklerans durumunu laboratuvar ve demografik değişkenlere göre regresyonlayarak, makine öğrenimi algoritmasının değerlendirmesini ve karşılaştırmasını yapmışlar [8]. Nilashi ve ark., yaptıkları çalışmalarında, çeşitli parametreler kullanılarak hepatit hastalığının tahmin edilmesi için topluluk öğrenme tekniklerinin etkinliğini araştırmışlar [9]. Lichthagen ve ark., çalışmalarında, hastaların fibrozis evrelerini histolojik olarak tanımlayıp, belirteç geçerliliğini araştırmak için ROC analizleri yapmışlar [10]. Jekarl ve ark., kronik hepatit B hastalarında WFAM2BP ile karaciğer fibrozisi tanısı ile ilgili bir çalışma yapmışlar [11]. Omran ve ark., kronik HCV hastalarında karaciğer fibrozunun ileri evresini ayırt etmede geliştirilmiş karaciğer fibrozisi (ELF) skorunun geçerliliğini değerlendirmişler [12]. Guo ve ark., hepatit E insidansını ve vaka sayısını tahmin etmek için makine öğrenme yöntemleri ve bu yöntemlerin etkinliğini doğrulamak ve her bir modelin performansını değerlendirmek için farklı performans metriklerini uygulamışlar [13]. Salazar-Concha ve Ramírez-Correa anket verilerinden, donörlerin kan vermeye eğilimlerini karar ağacı yöntemi kullanarak yapmaya çalışmışlar [14]. Hoffmann ve ark., Hepatit C hasta verilerini kullanarak, makine öğrenmesi yöntemlerinin uygulanabilirliğini göstermişler [15].

Yapılan çalışmada, UCI HCV veri seti kullanılarak, kan bağışında bulunacak donörlerin kan değerlerinden sağlıklı ve hastalıklı oluşları makine öğrenmesi yöntemleri ile teşhis edilip kan verip veremeyeceklerine karar verilmeye çalışılmıştır. Sınıflandırma için, Karar Ağaçları (KA), Destek vektör Makineleri (DVM) ve k en yakın komşu (KNN) yöntemleri kullanılmış, performans ölçütü olarak ise doğruluk ve gerçek oran (GO) kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metod

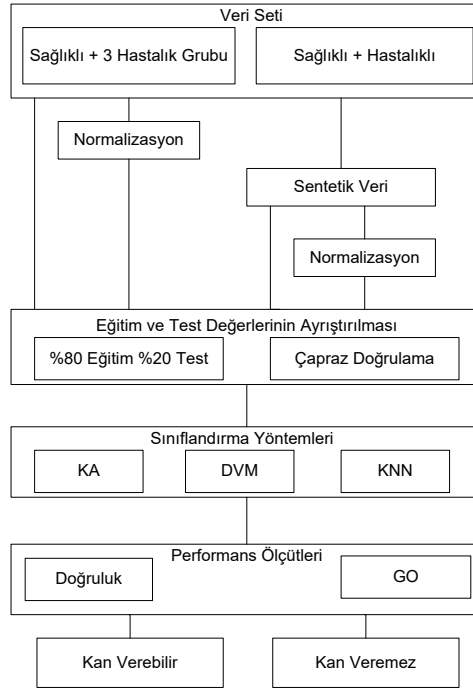
2.1. Veriseti

Bu çalışmada UCI HCV dataset isimli veri kümesi kullanılmıştır [16]. Normalde bu veri kümesi 615 örnek 13 özellik ve 1 çıkıştan oluşmuştur. Bu örneklerden 533 tanesi sağlıklı, 7 tanesi şüpheli, 24 tanesi hepatit, 21 tanesi fibrosis ve 30 tanesi cirrhosis hastalığından oluşmuştur. Fakat bunların 32 tanesinde eksik bilgiler olduğu için ve 7 tanede şüpheli olduğu için sonuçta sağlıklı ve hasta olmak üzere

toplam 583 örnek işleme alınmıştır. Özellik olarak donörlerin yaşı, cinsiyeti, albümin (ALB), bilirubin (BIL), choline (CHE), γ -lutamyl-transferase (GGT), aspartate amino-transferase (AST), alanine amino-transferase (ALT), ALP, CHOL, CREA ve PROT değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışmada 583 örnek, 13 özellikten oluşan bir veri kümesi değerlendirilmiştir.

2.2. Paradigma

Elde edilen veri setinde 583 örneğin; 526 tanesi sağlıklı, 20 tanesi hepatit, 12 tanesi fibrosis ve 24 tanesi cirrhosis hastalığından oluşmuştur. İlk olarak sağlıklı ve 3 farklı hastalığın örnekleri alınarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra sağlıklı (526 örnek) ve hastalıklı (56 örnek) olacak şekilde iki grup işleme alınmıştır. Sağlıklı ve hastalıklı örnekler arasında dengesizlik olduğu için synthetic minority oversampling technique yöntemi ile sentetik veriler oluşturularak aynı şekilde işleme alınmıştır. Son aşamada normal ve sentetikli verisetleri normalize edilerek sınıflandırma işlemine alınmıştır. Sınıflandırmada kullanılacak veriseti eğitim ve test verileri olarak ayrıştırılıp makine öğrenme yöntemlerinden KA, DVM ve KNN kullanılarak kan verecek donörlerin tahmini doğruluk ve GO performans ölçütleri ile yapılmıştır. Çalışma akış diagramı şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma akış diagramı

2.3. Sınıflandırma ve Başarı Ölçütü

Çalışmada, makine öğrenme algoritmalarından yararlanarak sağlıklı ve hasta kişilerin kan değerlerinden kan bağıışı yapıp yapamayacaklarına karar verilmeye çalışılmıştır. Bu algoritmaların temel amacı hesaplama yöntemlerini kullanarak veriden bilgi elde etmeyi sağlamaktır. Kullanılan birçok farklı yöntem vardır, fakat doğru algoritmaların seçimi önemlidir. Bu çalışmada; KA, DVM ve KNN yöntemleri kullanılmıştır. KA, bir kararın her olası sonucunu göstermek için dallanma tekniğini kullanan bir grafik veya ağaç oluşturur. Bir karar ağacı temsiline, her dahili düğüm bir özelliği test eder, her dal, ana düğümün sonucuna karşılık gelir ve her yaprak sonunda sınıf etiketini atar. Bir örneği sınıflandırmak için, ağacın kökünden başlayarak yukarıdan aşağıya bir yaklaşım uygulanır. Belirli bir özellik veya

düğüm için, bir yaprağa ulaşıncaya veya bir etikete karar verilene kadar, o özneliğin veri noktasının değeriyle uyuşan dal dikkate alınır [17]. DVM yöntemi, farklı sınıflara ait veri setini birbirinden en uzak olacak şekilde, aynı sınıfa ait veri kümelerini ise en yakın olacak şekilde ayırmaya çalışan bir yöntemdir. KNN, sınıflandırma işlemi için en yakın komşu sayısı k 'yı seçer ve k 'nın grup üyeliğine göre verileri sınıflandırır. [18]. Veri setleri sınıflandırma işlemine tutulmadan önce normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Normalizasyon için eş.1 kullanılmıştır [19].

$$N = 0,8 * \frac{(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} + 0,1 \quad (1)$$

Literatürde sıklıkla karşılaştığımız doğruluk performans ölçütüne ilave olarak bu çalışmada özellikle vurgulamak istediğimiz GO ölçütü kullanılmıştır. Doğruluk performans ölçütü için eş.2 kullanılmıştır [20].

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Doğru Tahmin Edilen Örnekler}}{\text{Tüm Örnekler}} \quad (2)$$

GO ölçütleri için iki grubun sınıflandırılmasın da eş.3, dört grubun sınıflandırılmasın da ise eş.4 kullanılmıştır.

$$\text{TR} = \frac{\frac{T_{c1} + T_{c2}}{c_1 + c_2}}{2} \quad (3)$$

$$\text{TR} = \frac{\frac{T_{c1} + T_{c2} + T_{c3} + T_{c4}}{c_1 + c_2 + c_3 + c_4}}{4} \quad (4)$$

3. Uygulama ve Başarımlar

Çalışmada kullanılan veri kümesi, sağlıklı ve üç grup hastalıklı olacak şekilde toplam dört grup direkt olarak işleme alınmıştır. Eğitim ve test verileri harmanlanarak 10 çapraz doğrulama ve veri setinin %80 eğitim, %20 test işlemine kullanılacak şekilde iki farklı aşamada sınıflandırılmıştır. Sağlıklı ve diğer hastalıklı gruplar arasında dengesiz bir dağılım olduğu için sentetik veriler oluşturularak tekrardan sınıflandırma işlemi yapılmış ve elde edilen sonuçların doğruluk ve GO değerleri tablo 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Dört grup'a ait başarı oranları.

Yöntem	Gerçek Değerler				Sentetik Değerler			
	GO		Doğruluk		GO		Doğruluk	
	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV
KA	0,536	0,570	0,94	0,933	0,967	0,969	0,967	0,96
DVM	0,900	0,743	0,983	0,967	0,995	0,989	0,995	0,989
KNN	0,725	0,589	0,966	0,952	0,978	0,979	0,978	0,979

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, tüm gruplar direkt işleme alındığında doğruluk performans ölçütü kullanılarak elde edilen sonuçlar GO ölçütü ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek olmuştur. Sentetik olarak oluşturulan veri seti sınıflandırma işlemine alındığında doğruluk ve GO performans ölçütleri kullanılarak elde edilen sonuçların yaklaşık ve yüksek değerler olduğu

gözlemlenmiştir. Sınıflandırma yöntemleri karşılaştırıldığında ise en yüksek sonuçların DVM yöntemi kullanılarak elde edildiği görülmüştür.

İlk uygulamada kullanılan veri seti normalizasyon işlemine tabi tutularak aynı aşamalardan geçirilmiştir. Bu şekilde yapılan sınıflandırma işleminde elde edilen sonuçların doğruluk ve GO değerleri çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Normalizasyonlu dört grup’a ait başarı oranları.

Yöntem	Gerçek Değerler				Sentetik Değerler			
	GO		Doğruluk		GO		Doğruluk	
	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV
KA	0,437	0,494	0,931	0,926	0,947	0,958	0,947	0,958
DVM	0,729	0,741	0,966	0,967	0,988	0,993	0,988	0,993
KNN	0,521	0,601	0,94	0,954	0,983	0,978	0,983	0,978

Normalizasyon işlemine tabi tutularak oluşturulmuş veri setinin sınıflandırma sonuçları karşılaştırıldığında direk işleme alınan veri setinde doğruluk performans ölçütü kullanılarak elde edilen sonuçlar GO ölçütü ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek olmuştur. Sentetik olarak oluşturulan veri seti sınıflandırma işlemine alındığında doğruluk ve GO performans ölçütleri kullanılarak elde edilen sonuçların yaklaşık ve yüksek değerler olduğu gözlemlenmiştir. Sınıflandırma yöntemleri karşılaştırıldığında ise en yüksek sonuçların DVM yöntemi kullanılarak elde edildiği görülmüştür.

Bir sonraki uygulamada veri seti sağlıklı ve hastalıklı olacak şekilde iki grup direkt olarak işleme alınmıştır. Eğitim ve test verileri harmanlanarak 10 çapraz doğrulama ve veri setinin %80 eğitim, %20 test olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Sağlıklı ve hastalıklı gruplar arasında dengesiz bir dağılım olduğu için sentetik veriler oluşturularak tekrardan sınıflandırma işlemi yapılmış ve elde edilen sonuçların doğruluk ve GO değerleri çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. İki grup’a ait başarı oranları.

Yöntem	Gerçek Değerler				Sentetik Değerler			
	GO		Doğruluk		GO		Doğruluk	
	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV
KA	0,713	0,889	0,922	0,973	0,976	0,978	0,976	0,978
DVM	0,954	0,954	0,991	0,990	0,990	0,995	0,99	0,995
KNN	0,818	0,845	0,966	0,966	0,980	0,985	0,981	0,986

İki grubun sınıflandırılması sonucu elde edilen başarı değerleri karşılaştırıldığında, veri seti direk olarak işleme alındığında doğruluk performans ölçütü kullanılarak elde edilen sonuçlar GO ölçütü ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek olmuştur. Sentetik olarak oluşturulan veri seti sınıflandırma işlemine alındığında doğruluk ve GO performans ölçütleri kullanılarak elde edilen sonuçların yaklaşık ve yüksek değerler olduğu gözlemlenmiştir. Sınıflandırma yöntemleri karşılaştırıldığında ise en yüksek sonuçların yine DVM yöntemi kullanılarak elde edildiği görülmüştür.

Aynı şekilde iki grubun sınıflandırılmasında kullanılan veri seti, normalizasyon işlemine tabi tutulup direkt ve sentetik veriler oluşturulmuş şekilde sınıflandırılmıştır. Eğitim ve test verileri bir önceki uygulama ile aynı şekilde ayrıştırılmıştır. Bu şekilde yapılan sınıflandırma işleminde elde edilen sonuçların doğruluk ve GO değerleri çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Normalizasyonlu iki grup'a ait başarı oranları.

Yöntem	Gerçek Değerler				Sentetik Değerler			
	GO		Doğruluk		GO		Doğruluk	
	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV	%80-%20	CV
KA	0,773	0,869	0,957	0,966	0,986	0,975	0,986	0,975
DVM	0,909	0,945	0,983	0,988	0,995	0,989	0,995	0,989
KNN	0,818	0,845	0,966	0,966	0,990	0,988	0,99	0,988

Normalizasyon işlemine tabi tutularak iki grup için oluşturulmuş veri setinin sınıflandırma sonuçları karşılaştırıldığında direk işleme alınan veri setinde doğruluk performans ölçütü kullanılarak elde edilen sonuçlar GO ölçütü ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek olmuştur. Sentetik olarak oluşturulan veri seti sınıflandırma işlemine alındığında doğruluk ve GO performans ölçütleri kullanılarak elde edilen sonuçların yaklaşık ve yüksek değerler olduğu gözlemlenmiştir. Sınıflandırma yöntemleri karşılaştırıldığında ise tüm denemelerde de görüldüğü gibi en yüksek sonuçlar DVM yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Veri setinde sağlıklı ve hasta örnek sayılarının dağılımı dengesiz olduğundan değerlendirmenin daha hassas olabilmesi için sentetik veriler oluşturulmuş ve ayrıca performans ölçütü olarak GO tercih edilmiştir. İlk olarak sentetik veriler oluşturulmadan yapılan çalışmada doğruluk performans ölçütünün daha yüksek olduğu görülmüştür. Fakat veri setlerinin dengesiz dağılımında doğruluk ölçütünün yanıltıcı olabileceği düşünüldüğünden GO performans ölçütünün daha belirleyici olabileceği görülmüştür. Veri setinin dengeli olduğu durumlarda doğruluk performans ölçütünün belirleyici olabileceği bilindiği için sentetik veriler üretilerek tekrardan sonuçlar karşılaştırılmış ve her iki performans ölçütünün de başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada UCI HCV veri seti kullanılarak, sağlıklı ve hasta kişilerin kan değerlerinden kan bağışı yapıp yapamayacakları ele alınmış olup KA, DVM ve KNN olmak üzere üç farklı sınıflandırma algoritması ile sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde en başarılı sınıflandırma yönteminin DVM olduğu sonucuna varılmıştır. Performans ölçütlerinin karşılaştırılmasında ise veri setlerinin dengesiz dağılımlarında GO ölçütünün, dengeli dağılımda ise doğruluk ve GO performans ölçütünün belirleyici olduğu söylenebilir. Hastalık teşhislerinde uzmanlar belirli kriterler ve kendi tecrübelerini kullanarak karar verirler. Karar aşamasında tecrübe eksikliği veya o anki konsantrasyon eksikliği farklı bir teşhis olasılığına sebep olabilir. Ayrıca bazı teşhis durumlarında laboratuvar ortmalarına ihtiyaç duyulur. Bu ve benzeri durumlar zamansal ve ekonomik olarak da maliyet anlamına gelir. Bu çalışmada sunulan makine öğrenimi algoritmaları ile uzmanlara teşhis koyma aşamasında yardımcı olacak fikirler vererek çalışmaya disiplinler arası bir nitelik verilmiş ve sağlıkla ilgili çalışmalarda kapsam dahada genişletilerek farklı çalışmalar yapılabileceği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Altındış, S., Aşıcı, N., Şenol, U., Bakır, A. B., Yücedağ, Ç. Y., Demir, C., ... & Altındış, A. Transfüzyon Amaçlı Kan Verme Önündeki Engellerin Belirlenmesi. *Sakarya Tıp Dergisi*, 9(2), 237-244.
- [2] Yıldız, C., Emekdas, G., & Kanık, A. (2006). Why don't we donate blood. A general view of blood donation by people living Mersin: a public survey. *Turkish Journal of Infection*, 20(1), 41-55.

- [3] Keleş, A., Kaslı, Ö.B., Keleş, A. (2020). Makine öğrenme algoritmaları ile karaciğer hastalığının teşhisi, *Turkish Studies-Applied Sciences*, 15(1), 75-83.
- [4] Masser, B., Ferguson, E., Merz, E. M., & Williams, L. (2020). Beyond description: The predictive role of affect, memory, and context in the decision to donate or not donate blood. *Transfusion Medicine and Hemotherapy*, 47(2), 175-185.
- [5] Czeizler, A., & Garbarino, E. (2017). Give blood today or save lives tomorrow: matching decision and message construal level to maximize blood donation intentions. *Health marketing quarterly*, 34(3), 175-186.
- [6] Khan, M. A., Soh, J. E., Maenner, M., Thompson, W. W., & Nelson, N. P. (2019). A machine-learning algorithm to identify hepatitis C in health insurance claims data. *Online Journal of Public Health Informatics*, 11(1).
- [7] Mueller-Breckenridge, A. J., Garcia-Alcalde, F., Wildum, S., Smits, S. L., Robert, A., van Campenhout, M. J., ... & Haagmans, B. L. (2019). Machine-learning based patient classification using Hepatitis B virus full-length genome quasispecies from Asian and European cohorts. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.
- [8] Tian, X., Chong, Y., Huang, Y., Guo, P., Li, M., Zhang, W., ... & Hao, Y. (2019). Using machine learning algorithms to predict hepatitis B surface antigen seroclearance. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2019.
- [9] Nilashi, M., Ahmadi, H., Shahmoradi, L., Ibrahim, O., & Akbari, E. (2019). A predictive method for hepatitis disease diagnosis using ensembles of neuro-fuzzy technique. *Journal of infection and public health*, 12(1), 13-20.
- [10] Lichtinghagen, R., Pietsch, D., Bantel, H., Manns, M. P., Brand, K., & Bahr, M. J. (2013). The Enhanced Liver Fibrosis (ELF) score: normal values, influence factors and proposed cut-off values. *Journal of hepatology*, 59(2), 236-242.
- [11] Jekarl, D. W., Choi, H., Lee, S., Kwon, J. H., Lee, S. W., Yu, H., ... & Yoon, S. K. (2018). Diagnosis of liver fibrosis with Wisteria floribunda agglutinin-positive Mac-2 binding protein (WFA-M2BP) among chronic hepatitis B patients. *Annals of laboratory medicine*, 38(4), 348.
- [12] Omran, D., Yosry, A., Darweesh, S. K., Nabeel, M. M., El-Beshlawey, M., Saif, S., ... & Zayed, R. A. (2018). Enhanced liver fibrosis test using ELISA assay accurately discriminates advanced stage of liver fibrosis as determined by transient elastography fibroscan in treatment naïve chronic HCV patients. *Clinical and experimental medicine*, 18(1), 45-50.
- [13] Guo, Y., Feng, Y., Qu, F., Zhang, L., Yan, B., & Lv, J. (2020). Prediction of hepatitis E using machine learning models. *Plos one*, 15(9), e0237750.
- [14] Salazar-Concha, C., & Ramírez-Correa, P. (2021). Predicting the Intention to Donate Blood among Blood Donors Using a Decision Tree Algorithm. *Symmetry*, 13(8), 1460.
- [15] Hoffmann, G., Bietenbeck, A., Lichtinghagen, R., & Klawonn, F. (2018). Using machine learning techniques to generate laboratory diagnostic pathways—a case study. *J Lab Precis Med*, 3, 58.
- [16] Dua, D. and Graff, C. (2019). UCI Machine Learning Repository [<http://archive.ics.uci.edu/ml>]. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science.
- [17] Das, K., & Behera, R. N. (2017). A survey on machine learning: concept, algorithms and applications. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 5(2), 1301-1309.
- [18] Karadağ, K. (2020). Makine Öğrenme Yöntemleri ile Semen Kalitesi Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 306-311.
- [19] Gökhan, A. K. S. U., Güzeller, C. O., & Eser, M. T. (2019). The effect of the normalization method used in different sample sizes on the success of artificial neural network model. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(2), 170-192.
- [20] Jiao, Y., & Du, P. (2016). Performance measures in evaluating machine learning based bioinformatics predictors for classifications. *Quantitative Biology*, 4(4), 320-330.

PERFORMANCE ASSESSMENT OF STEEPEST DESCENT METHOD CONSIDERING GRADIENT BASED LINE SEARCH CONDITIONS IN GEOMETRY FITTING OF 2D MEASURED PROFILES

Kadir KIRAN^{1,2*}

¹ Department of Airframe and Powerplant Maintenance, School of Civil Aviation, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

² Design and Manufacturing Technologies Research Laboratory, Innovative Technologies Application and Research Center, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 17.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 10.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.997113

ABSTRACT

This paper focuses on exploring effect of the step length, used in the line search, computation techniques on the performance of steepest descent (SD) method in the geometry fitting of the 2D measured profiles. To this end, the three step length computation techniques or line search conditions accommodating Weak Wolfe (WWC), Strong Wolfe (SWC) and the exact minimizer finder have been implemented during the fitting process. To test the line search conditions performances, the 2D primitive geometry test set consisting of five different geometries such as circle, square, triangle, ellipse and rectangle have been employed. The 2D profiles of those geometries have been extracted using coordinate measuring machine (CMM) with high precision. For performance assessments, the total number of function evaluations when the SD method-line search condition combination satisfies the required converge tolerance have been used. By means of those data, the performance profiles have been created to conduct reliable and efficient assessments on the line search conditions. The results have shown that the step length computation technique plays a crucial role for the SD method performance. Based on the performance profiles, it has been determined that the fastest line search condition is the WWC. Besides that, it has been revealed that the optimum technique is the exact minimizer finder for the geometry fitting process in the study.

Keywords: Steepest descent method, Performance profiles, Line search, Geometry fitting, Optimization

ÖLÇÜLEN 2B PROFİLLERE GEOMETRİ UYDURULMASINDA GRADYAN TEMELLİ DOĞRU BOYUNCA ARAMA ŞARTLARI DİKKATE ALINARAK EN DİK İNİŞ YÖNTEMİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Bu çalışmada ölçülen 2B profillere geometri uydurulmasında doğru boyunca aramada kullanılan adım uzunluğu hesaplama yöntemlerinin en dik iniş yönteminin performansına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, zayıf Wolfe, güçlü Wolfe ve tam olarak minimize eden adım uzunluğunu bulan olmak üzere üç adım uzunluğu hesaplama yöntemi ya da doğru boyunca arama şartları geometri uydurma sürecinde kullanılmıştır. Doğru boyunca arama şartlarının performansını test etmek amacıyla, daire, kare, üçgen, elips ve dikdörtgen geometrilerini içeren bir 2B temel geometri seti kullanılmıştır. Bu geometrilerin profilleri yüksek hassasiyet ile koordinat ölçme cihazı ile elde edilmiştir. Performans değerlendirmeleri için ilgili en dik iniş yöntemi-doğru boyunca arama şartı kombinasyonu istenen tolerans değerini sağladığında ortaya çıkan toplam fonksiyon kullanım sayısından yararlanılmıştır. Doğru boyunca arama şartlarının güvenilir ve verimli bir şekilde performans değerlendirilmesini yapmak için bu veriler vasıtasıyla performans profilleri oluşturulmuştur. Sonuçlar adım uzunluğu hesaplama tekniklerinin en dik iniş yöntemi performansında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Performans profillerine dayanarak, en hızlı doğru boyunca arama şartı zayıf Wolfe olarak saptanmıştır. Bunun yanı sıra, çalışmada geometri uydurma süreci için optimum yöntemin tam olarak minimize eden adım uzunluğunu bulan yöntem olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar kelimeler: En dik iniş yöntemi, Performans profilleri, Doğru boyunca arama, Geometri uydurma, Optimizasyon

* e-posta: kadirkiran@sdu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6109-435X>

1. Introduction

The steepest descent [1] is a basic optimization method that has been frequently used in many areas such as engineering, science, business etc. It has been implemented in many studies along with the various line search conditions. For instance, Bento et al. [2] provided an inexact SD method including Armijo’s rule for multicriteria optimization. A general application of the SD method on the mechanical systems was completed by Haug et al. [3]. Liu and Reynolds [4] derived a multi-objective SD method. They performed applications for optimal well control and it was shown that the proposed method is quite efficient. In [5], the circularity value of a mechanical part was found using a novel SD algorithm. The data measured with CMM was used for the input to the proposed algorithm. Much more applications of the SD method can be found in the literature such those in [6-10]. On the other hand, the SD method performance or any other optimization algorithm performance may differ from problem-to-problem. Thus, researchers have been performing benchmarking studies to make assessments on the particular problem set. Those studies can be seen in many areas. Khan and Lobiyal [11], for instance, carried out performance analysis on the three different algorithms (i.e., Newton-Raphson, conjugate gradient and SD) in application of backbone based wireless networks. Different optimization algorithms were compared to each other for the finite element based structural topology optimization by Rojas-Labanda and Stolpe [12]. The other significant efforts on the benchmarking of optimization algorithms can be found in [13-16].

From the point of view given above, this paper focuses on the performance evaluation of the SD method considering line search conditions in the nonlinear least squares geometry fitting of 2D measured profiles. The primitive geometry set containing circle, square, triangle, ellipse and rectangle have manufactured using 3D printer with PLA material. And then, 2D profiles of these geometries are extracted using the CMM with high precision. All the scanned profiles are subjected to nonlinear least squares fitting process through the SD method along with three different step length computation techniques (i.e., WWC, SWC and exact minimizer finder). During the fitting process, the total number of function evaluations, when the algorithm converges, are recorded and they are used for performance evaluations. Henceforth, the paper is organized as follows: Section 2 provides the primitive test geometry set including their mathematical models and their parameters. The nonlinear least squares fitting procedure is given in Section 3. In Section 4 a brief mathematical background on the step length computation techniques is included. Section 5 shows the experimental setup. Section 6 reports the results with discussions. Finally, the conclusions are made in Section 7.

2. Test Geometries

The five 2D primitive geometries (i.e., circle, square, triangle, ellipse and rectangle) are chosen for the nonlinear least squares geometry fitting process. They are listed in Table 1. that accommodates corresponding mathematical models [17] and parameter vectors.

Table 1. Test geometries and their mathematical models

Geometry number	Mathematical model	Parameter vector	Geometry
1	$x = r_c \cos(u) + x_c$ $y = r_c \sin(u) + y_c$	$p = [r_c \ x_c \ y_c \ u]$	

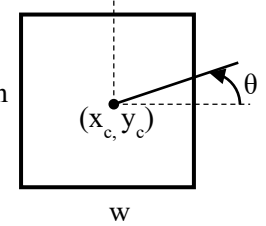
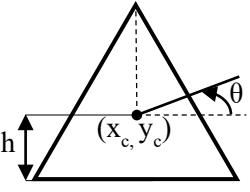
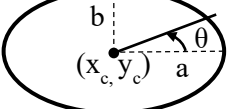
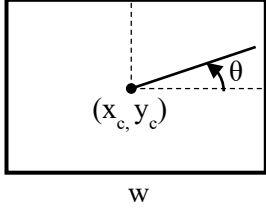
<p>2</p>	$x_u = \frac{w}{2} (\cos(u) \cos(u) + \sin(u) \sin(u))$ $y_u = \frac{h}{2} (\cos(u) \cos(u) - \sin(u) \sin(u))$ $x = x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c$ $y = x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c$	$p = [w \ h \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$	
<p>3</p>	$r = \frac{h}{\cos\left(\frac{2}{n_s} \arcsin\left(\sin\left(\frac{n_s}{2} u\right)\right)\right)}$ $x_u = r \cos(u)$ $y_u = r \sin(u)$ $x = x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c$ $y = x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c$	$p = [h \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$	
<p>4</p>	$x_u = a \cos(u)$ $y_u = b \sin(u)$ $x = x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c$ $y = x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c$	$p = [a \ b \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$	
<p>5</p>	$x_u = \frac{w}{2} (\cos(u) \cos(u) + \sin(u) \sin(u))$ $y_u = \frac{h}{2} (\cos(u) \cos(u) - \sin(u) \sin(u))$ $x = x_u \cos(\theta) - y_u \sin(\theta) + x_c$ $y = x_u \sin(\theta) + y_u \cos(\theta) + y_c$	$p = [w \ h \ x_c \ y_c \ \theta \ u]$	

Table 1- Continue

3. Nonlinear Least Squares Geometry Fitting Procedure

As well-known, in least squares fitting method, the sum of squared error between the measured and modeled data is minimized to find the best parameters that belong to function or the mathematical model. The measured data dimensions may vary by depending on the application or problem. In this study we deal with 2D profiles acquired via the CMM. Therefore, the measured data is described to be (x_i, y_i) that consist of n data points. The sum of squared errors [18] is:

$$\epsilon^2(p) = \sum_{i=1}^n [x_i - x_i^{model}(p)]^2 + \sum_{i=1}^n [y_i - y_i^{model}(p)]^2 \tag{1}$$

where the $x_i^{model}(p)$ and $y_i^{model}(p)$, which depend upon parameter vector (i.e., p), are the data computed using the mathematical model of the geometry. To minimize those errors, there are many methods in the literature. In this study we use a general one called steepest descent. This method progresses with gradient information of the objective function. In other words, the method updates the model parameters along with the opposite direction of the objective function gradient. This can be mathematically defined as:

$$h = J^T D \tag{2}$$

where J is the Jacobian matrix of the objective function, which is calculated using finite difference approach, $D = \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \end{bmatrix}$, $D_x = x_i - x_i^{model}(p)$ and $D_y = y_i - y_i^{model}(p)$. The next parameter vector is then:

$$p_{i+1} = p_i + \alpha h \quad (3)$$

In this equation $\alpha > 0$ is the step length, which is computed by the line search conditions or other algorithms. This line search process keeps searching the best model parameters until the inequality is satisfied as follows:

$$\text{maximum}|J^T D| \leq \partial \quad (4)$$

where the $\partial = 10^{-3}$ is the converge tolerance used in this work.

4. Step Length Computation Techniques

The step length computation is actually a one-dimensional minimization problem as described in Equation 5. For a remarkable progress along the given direction (e.g., opposite direction of the objective function gradient in this study), the one of the exact minimizers of the $F(\alpha)$ is required. However, in general, it brings high computational cost. Therefore, the approximation methods, called line search conditions, are employed to overcome this problem in the literature. In this study, to compute step length during the fitting process, the two well-known line search conditions (i.e., WC and SWC) are used. Besides, an algorithm is proposed to find one of the exact minimizers because it is only option for the fitting of some geometries.

$$\text{minimize}_{\alpha>0} F(\alpha) \equiv \epsilon(p_i + \alpha h) \quad (5)$$

4.1. Wolfe conditions

The Wolfe conditions are basically a combination of sufficient decrease and curvature conditions [19]. Those conditions are respectively:

$$\epsilon(p_i + \alpha h) \leq \epsilon(p_i) + c_1 \alpha G^T h \quad (6)$$

$$G(p_i + \alpha h)^T h \geq c_2 G(p_i)^T h \quad (7)$$

where $G = -J^T D$ is the gradient of the objective function, c_1 and c_2 are the scalars satisfying $0 < c_1 < c_2 < 1$. $c_1 = 10^{-4}$ and $c_2 = 10^{-1}$ are used in the fitting process. The condition in this form is referred to as weak Wolfe. To obtain the strong Wolfe condition, we only need to modify the curvature condition as follows:

$$|G(p_i + \alpha h)^T h| \leq c_2 |G(p_i)^T h| \quad (8)$$

These two similar conditions provide step length α that is close to one of the exact minimizers of the $F(\alpha)$. In general, Wolfe conditions work very well. However, in some cases, it is inevitable to use exact local minimizer for the minimization algorithm success.

4.2. Exact minimizer finder

To find the one of the exact minimizers of the $F(\alpha)$, an algorithm is proposed. It proceeds as follows:

- apply sufficient decrease condition, Equation 6, for finding initial α .
- check the slope of the $F(\alpha)$ if it is negative. In case of positive slope, reduce the α until the slope is negative and set the α as α_{low} .
- increase α_{low} to where the slope of the $F(\alpha)$ is being positive and set it as α_{up} .
- employ Golden section method between α_{low} and α_{up} to find local minimizer of the $F(\alpha)$.

5. Experimental Setup

The test geometries were built with 3D printer using PLA material. The 2D profiles of the geometries were collected via Renishaw Cyclone 2 coordinate measuring machine, as seen in Figure 1.

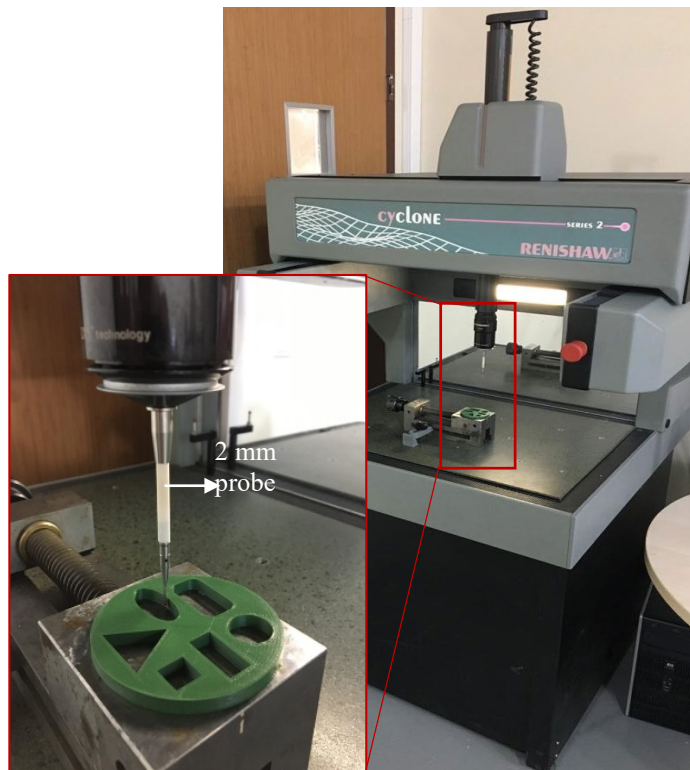


Figure 1. Scanning process with CMM

In the 2D scanning process, 2 mm touch probe was used and the scanning speed was set to 100 mm/min. All the collected data for CMM were processed with MATLAB.

6. Results and Discussion

All the scanned geometries have been subjected to fitting process with all the SD method-line search conditions. As an example, a circle fitting is compared with actual and measured geometries in Figure 2. This example belongs to the fitting process completed with exact minimizer algorithm. In addition to that, the circle fitting parameters (i.e., $p = [r_c \ x_c \ y_c]$), the sum of squared error, the norm of the gradient of objective function and step length are kept track for each iteration, as seen in Figure 3.

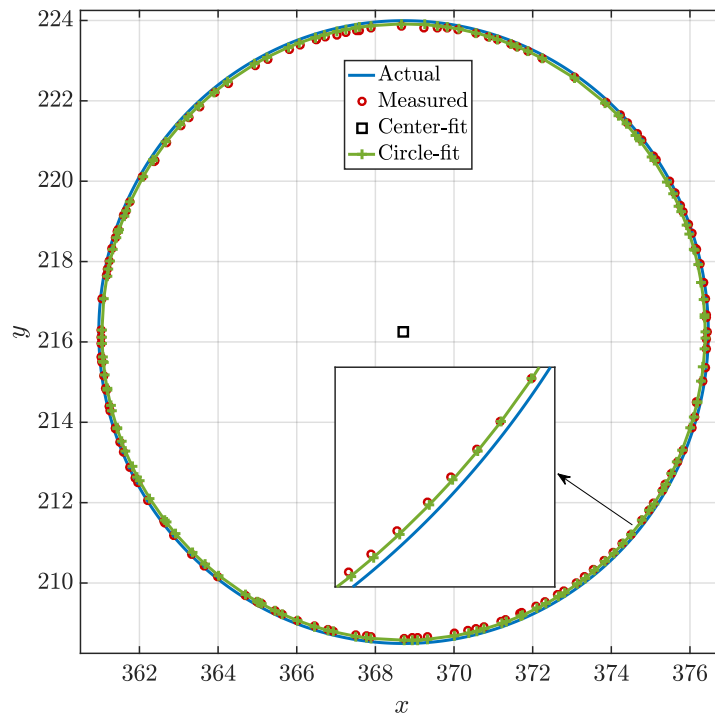


Figure 2. Comparison of actual, measured and fitted circle geometries

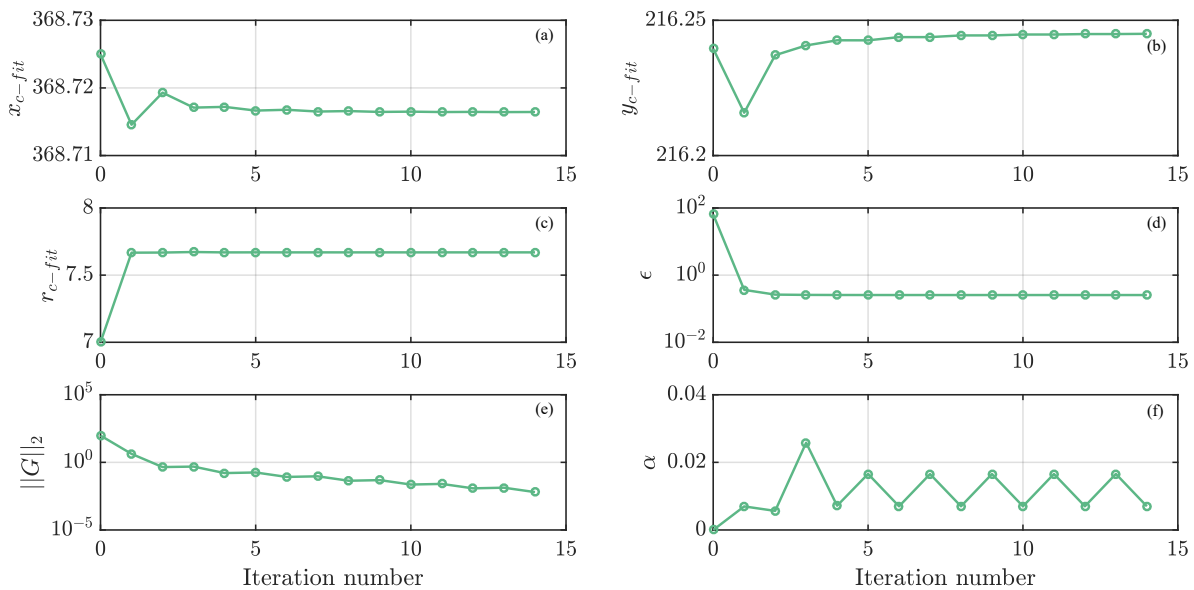


Figure 3. Fitting progress: Results versus iterations, (a) Circle center x -coordinate (b) Circle center y -coordinate (c) Circle radius (d) Sum of the squared error (e) Norm of the gradient of objective function (f) Step length

As mentioned before, the total number of function evaluations, when SD-line search condition combination being used converges, are set to be a performance measure. Therefore, the number of function evaluation at each iteration are also recorded. These results, corresponding to the one in Figure 3, are presented in Figure 4. From those figures, one can notice that even if number of iterations are quite reasonable, the number of function evaluations are remarkably high. This is due to computation of the gradient of the objective function at every iteration. As explained in Section 4, the step length computation methods strictly require to satisfy gradient related conditions during the fitting process so that the algorithm keeps calculating gradient of the objective function using finite difference approach

until the condition is met. This is the reason behind those high number of function evaluations in the gradient related line search conditions.

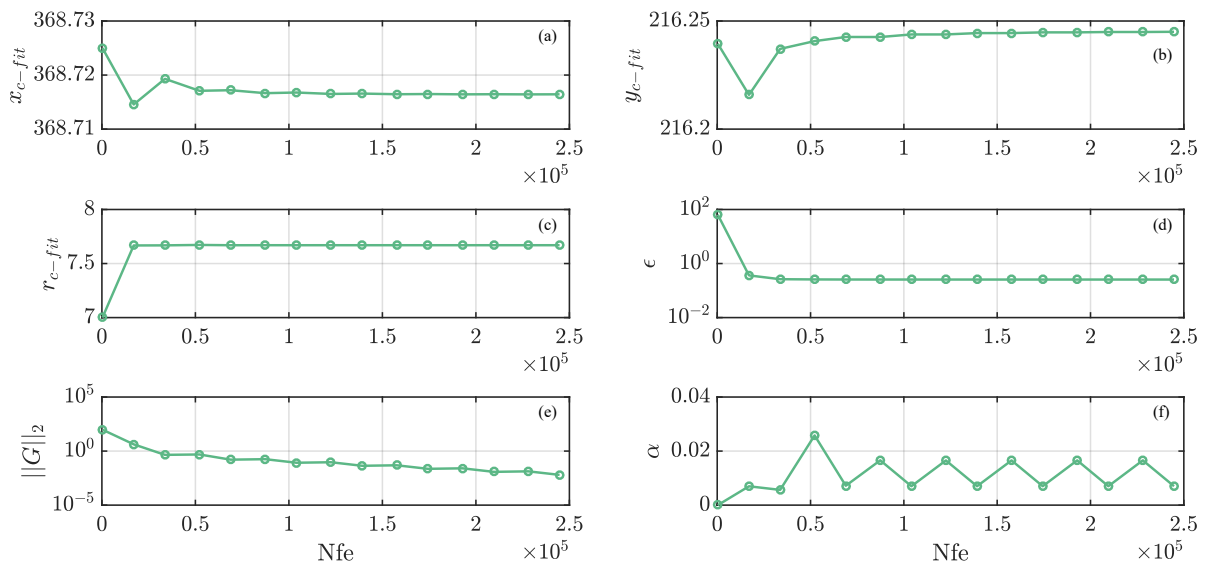


Figure 4. Fitting progress: Results versus number of function evaluations, (a) Circle center x -coordinate (b) Circle center y -coordinate (c) Circle radius (d) Sum of the squared error (e) Norm of the gradient of objective function (f) Step length

All above process shown in Figures 2 to 4 have been completed for all the geometries and line search conditions. The total number of function evaluations for all the line search conditions corresponding to the geometries are illustrated in Figure 5. Note that ∞ in this figure denotes that the line search condition fails to converge.

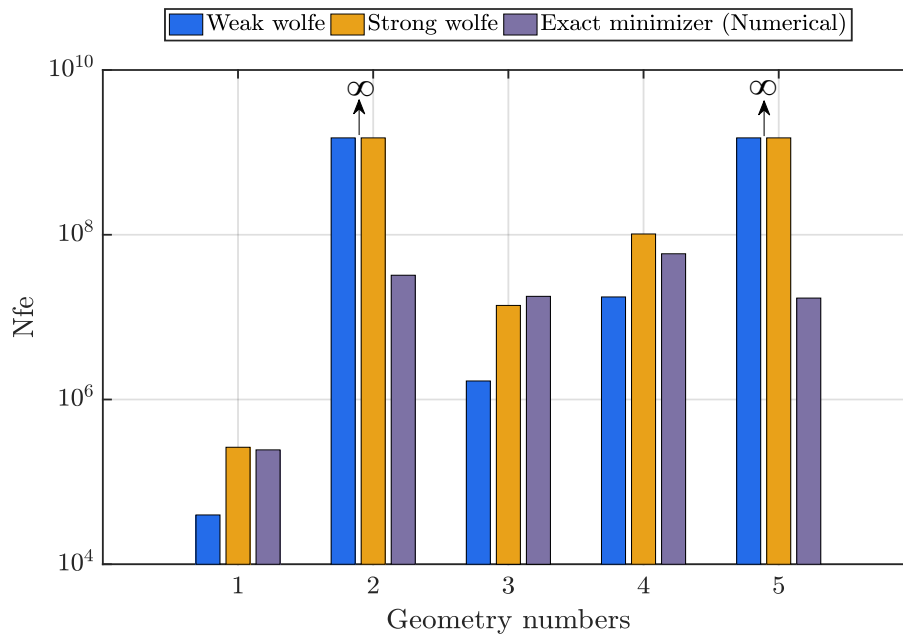


Figure 5. Total number of function evaluations for all the geometries and line search conditions

By a closer look at Figure 5, it must be stated that the line search condition has a considerable influence on the number of function evaluations. The WWC has the lowest number of function evaluations for geometries 1, 3 and 4. However, it fails on fitting of two geometries (i.e., 2 and 5). The same is also true

for the SWC. On the other hand, the exact minimizer is the only one that is successful on all the geometries. All those interpretations seem a general evaluation of the effect of line search conditions on the SD method performance. However, the end-users might need more statistical evaluation results to choose an optimal line search condition for geometry fitting. Thus, we employ performance profiles [20] to perform reliable and efficient assessments and to determine the fastest, slowest and most robust line search conditions. Figure 6(a). shows the performance profiles of line search conditions. Those profiles are generated using the total number of function evaluations reported in Figure 5. In this study, the performance profiles, $P(v)$, basically provides the success probability of the line search conditions within the factor v of the fastest line search condition. In other words, they give how many geometry fitting is completed within the factor v of the fastest line search condition. For further details about the mathematical background of the performance profiles, the reader is referred to [20].

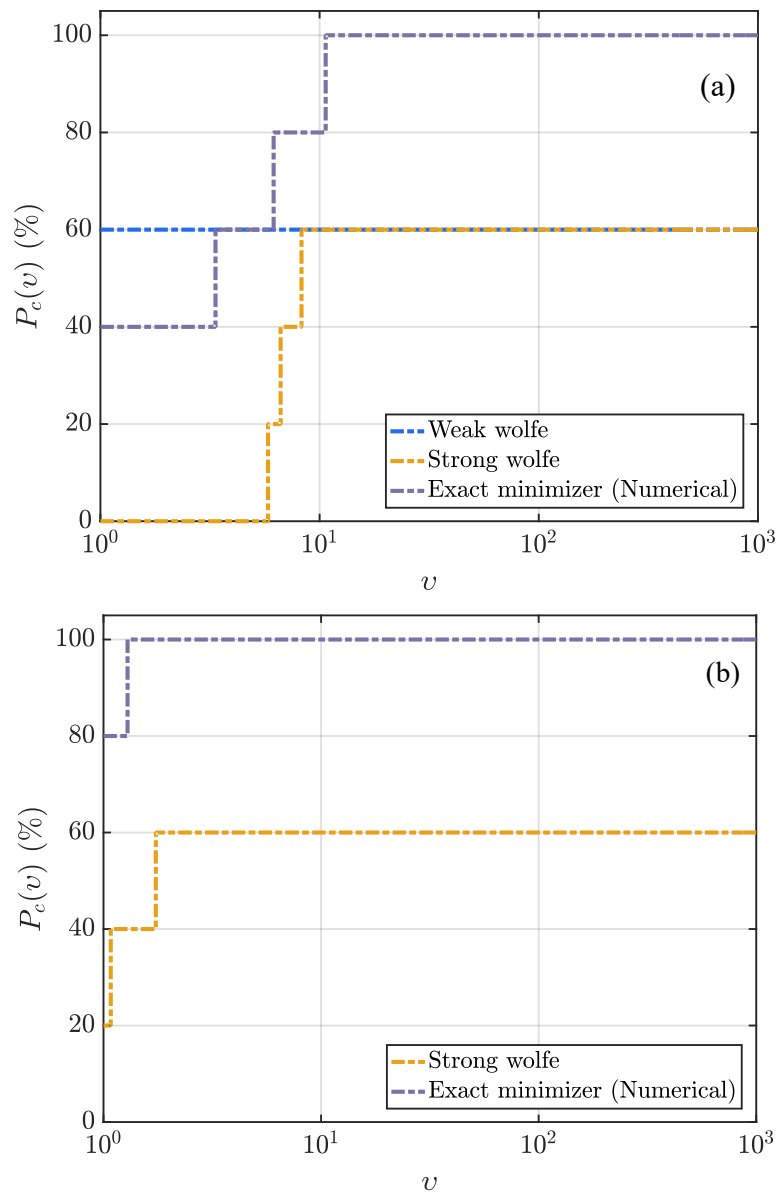


Figure 6. Performance profiles: (a) Step-1 (b) Step-2

From Figure 6(a)., by just looking at $P(10^0)$ values, it can be determined that the WWC is the fastest line search condition with the probability $P(10^0) = 60\%$. More specifically, the WWC is successful on 3 out of 5 geometries with the lowest number of function evaluations. Besides, it preserves being fastest one until $v \leq 3.35$. At that factor, the exact minimizer comes out with the probability $P(3.35) =$

60%. As the ν rises the success rate of the exact minimizer continuously increases and finally it reaches maximum probability, $P(\nu) = 100\%$, at the factor $\nu = 10.66$ of the fastest one. On the other hand, the SWC is slowest one and it is able to be successful on 60% of geometries (i.e., geometry number 1, 3 and 4) at the factor $\nu = 8.27$. In addition to these, we may rank the line search conditions with a successive excluding procedure. More clearly, by excluding first fastest line search condition, the WWC, we can determine the second fastest one which is the exact minimizer. This can be seen from Figure 6(b) (i.e., $P(10^0) = 80\%$). Also, this figure shows that the SWC is the slowest one as mentioned before. From all those results, it is determined that the exact minimizer is the optimal choice for step length computation for geometry fitting in this study.

7. Conclusions

This paper has dealt with a performance evaluation of steepest descent method considering three well-known gradient related line search conditions in nonlinear least squares geometry fitting of 2D geometries. The CMM was used to obtain the 2D profiles of the primitive geometries. The geometry fitting processes for all those scanned data have been completed with three different line search conditions. This has provided us the best model parameters that represent the measured data. The total number of function evaluations to complete the fitting have been recorded for all the SD method-line search conditions combinations. By using these data, the performance profiles have generated for reliable and efficient assessment. From these profiles, the fastest and slowest line search conditions have been identified to be the WWC and SWC, respectively. For an optimal choice, it is determined that the exact minimizer is a great candidate. Considering all the evaluation results, the effect of the line search conditions on the SD method success and performance is significant in the geometry fitting procedure. Even if the approximation methods (i.e., the WWC and the SWC) are the first choices for calculating step length in general, because they might provide lower computational cost, the exact minimizer has proved itself to be an optimal choice for the geometry fitting process. This also shows that the line search conditions performance may differ from problem-to-problem. The approximation methods underperform in this study. The end-users might consider this fact. It is also noteworthy that the WWC and SWC parameters (i.e., c_1 and c_2) may affect the performance of the line search conditions. For future study, this could be elaborated.

Acknowledgements

The author acknowledges Design and Manufacturing Technologies Research Laboratory, Innovative Technologies Application and Research Center, Suleyman Demirel University where the experimental work in this study was performed.

References

- [1] Cauchy A. Methode generale pour la resolution des systemes d'equations simultanees. *Comp. Rend. Sci. Paris* 1847; 25(2): 536-538.
- [2] Bento G., da Cruz Neto J.X., Santos P. An inexact steepest descent method for multicriteria optimization on riemannian manifolds. *Journal of Optimization Theory and Applications* 2013; 159(1): 108-124.
- [3] Haug E., Arora J., Matsui K. A steepest-descent method for optimization of mechanical systems. *Journal of Optimization Theory and Applications* 1976; 19(3): 401-424.
- [4] Liu X., Reynolds A.C. A multiobjective steepest descent method with applications to optimal well control. *Computational Geosciences* 2016; 20(2): 355-374.
- [5] Zhu L.M., Ding H., Xiong Y.L. A steepest descent algorithm for circularity evaluation. *Computer-Aided Design* 2003; 35(3): 255-265.

- [6] Quiroz E.P., Quispe E., Oliveira P.R. Steepest descent method with a generalized armijo search for quasiconvex functions on riemannian manifolds. *Journal of mathematical analysis and applications* 2008; 341(1): 467-477.
- [7] Samir C., Absil, P.A., Srivastava, A., Klassen, E. A gradient-descent method for curve fitting on riemannian manifolds. *Foundations of Computational Mathematics* 2012; 12(1): 49-73.
- [8] George S., Sabari M. Convergence rate results for steepest descent type method for nonlinear ill-posed equations. *Applied Mathematics and Computation* 2017; 294: 169-179.
- [9] Anjidani M., Effati S. Steepest descent method for solving zero-one nonlinear programming problems. *Applied Mathematics and Computation* 2007; 193: 197-202.
- [10] Abbasbandy S., Jafarian A. Steepest descent method for solving fuzzy nonlinear equations. *Applied Mathematics and Computation* 2006; 174: 669-675.
- [11] Khan K., Lobiyal D. Performance evaluation of different optimization techniques for coverage and connectivity control in backbone based wireless networks. *Wireless Personal Communications* 2017; 96(3): 4329-4345.
- [12] Rojas-Labanda S., Stolpe M. Benchmarking optimization solvers for structural topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization* 2015; 52(3): 527-547.
- [13] Tangherloni A., Spolaor S., Cazzaniga P., Besozzi D., Rundo L., Mauri G., Nobile M.S. Biochemical parameter estimation vs. benchmark functions: A comparative study of optimization performance and representation design. *Applied Soft Computing* 2019; 81: 105494.
- [14] Villaverde A.F., Frohlich F., Weindl D., Hasenauer J., Banga J.R. Benchmarking optimization methods for parameter estimation in large kinetic models. *Bioinformatics* 2019; 35(5): 830-838.
- [15] Diachin L.F., Knupp P., Munson T., Shontz S. A comparison of two optimization methods for mesh quality improvement. *Engineering with Computers* 2006; 22(2): 61-74.
- [16] Arsenault R., Poulin A., Cote P., Brissette F. Comparison of stochastic optimization algorithms in hydrological model calibration. *Journal of Hydrologic Engineering* 2014; 19(7): 1374-1384.
- [17] <https://www.desmos.com> (Access date:16.05.2021)
- [18] Jia P. Fitting a parametric model to a cloud of points via optimization methods. Ph.D. thesis. New York: Syracuse University; 2017.
- [19] Nocedal J., Wright S.J. Numerical optimization. 2nd ed. New York: Springer Science & Business Media; 2006
- [20] Dolan E.D., More J.J. Benchmarking optimization software with performance profiles. *Mathematical programming* 2002; 91(2): 201-213.

INVESTIGATION OF THERMO-HYDRAULIC PERFORMANCE OF NANOFLUIDS IN A ZIGZAG CHANNEL WITH BAFFLES

Selma AKÇAY^{1*}

¹ Cankiri Karatekin University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Cankiri, 18100, Turkey
Geliş Tarihi/Received Date: 24.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 08.12.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.1000525

ABSTRACT

In this study, the thermo-hydraulic performance of Al_2O_3 -water nanofluid in a zigzag channel with baffles were numerically investigated. The mass, momentum and energy equations are discretized with finite volume approach and iterations are solved with SIMPLE algorithm. Reynolds number ($200 \leq Re \leq 1600$), and nanoparticle volume fraction ($0.01 \leq \phi \leq 0.03$) were changed, and other parameters kept constant. The lower and upper zigzag surfaces of the channel were kept at constant temperature, and the Nusselt number and friction factor along the channel were calculated. The velocity and temperature contours in the channel were obtained in order to observe the effects of the parameters on the flow and heat transfer. The results shown that the increasing particle volume fractions and Reynolds numbers improved the heat transfer, while the friction factor increased slightly. The best thermo-hydraulic performance was obtained at $Re = 1400$ and $\phi = 3\%$ as approximately 1.15.

Keywords: *Nanofluid, Baffle, Zigzag channel, Heat transfer, Thermo-hydraulic performance*

İÇERİSİNDE BÖLMELER BULUNAN ZİGZAG BİR KANALDA NANOAKIŞKANLARIN TERMO-HİDROLİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, içerisinde bölmeler bulunan zigzag bir kanalda Al_2O_3 -su nanoakışkanın termo-hidrolik performansı sayısal olarak incelenmiştir. Kütle, momentum ve enerji eşitlikleri sonlu hacim yöntemi ile ayrıştırılmış ve iterasyonlar SIMPLE algoritması ile çözülmüştür. Reynolds sayısı ($200 \leq Re \leq 1600$) ve partikül hacim oranı ($0.01 \leq \phi \leq 0.03$) değiştirilmiş ve diğer parametreler sabit tutulmuştur. Zigzag kanalın alt ve üst yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulmuş ve kanal boyunca Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü hesaplanmıştır. Parametrelerin, akış ve ısı transferi üzerindeki etkilerini gözlemlemek için kanal içerisinde hız ve sıcaklık görüntüleri elde edilmiştir. Sonuçlar, artan partikül hacim oranları ve Reynolds sayıları ile ısı transferinin iyileştiğini, sürtünme faktörünün hafif şekilde arttığını göstermiştir. En iyi termo-hidrolik performans $Re=1400$ ve $\phi = \%3$ 'de yaklaşık 1.15 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Nanoakışkan, Bölme, Zigzag kanal, Isı transferi, Termo-hidrolik performans*

1. Introduction

In engineering applications, heat transfer improvement is an important research area as it contributes to the efficiency of thermal devices. Passive and active methods are widely used to increase heat transfer without reducing the overall efficiency of these devices. Passive methods are applications such as in-channel baffles, bent band, vortex generators and special surface geometries. These applications, which do not require an external power, are preferred in evaporators, condensers, gas turbine cooling, nuclear reactors, heat exchangers, solar air heaters. This method is economical

*1 e-mail: selma.352@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2654-0702>

and reliable compared to other techniques as it has no moving parts and does not require any external energy [1-8]. Promvonge et al. [9] experimentally investigated the heat transfer performance in a channel where inclined horseshoe baffles were used and reported that the heat transfer increased by approximately 92-208% and the friction factor increased by 1.76-6.37 compared to straight channels. Kumar et al. [10] experimentally studied the heat transfer behavior of the solar air channel using multiple V-type baffles. Sahel et al. [11] reported that the different baffle design in a rectangular channel improved heat transfer by 65%. Dagdevir et al. [12] numerically examined flow and thermal behaviors in a horizontal tube having trapezoidal dimples with different geometric parameters for both transient and turbulent flow regime. They reported that numerical results were highly influenced by geometric parameters.

In order to improve heat transfer, corrugated channels of different geometries have been studied experimentally and numerically by many researchers. The corrugated surfaces have a significant effect on heat transfer enhancement as they both increase the surface area and provide self-flow oscillation, but these channels increase the pressure drop compared to straight channels [13-17].

Fluids containing water, ethylene glycol, and oil, widely used in industrial applications, have low thermal properties. New technologies are used to improve the thermo-physical properties of such conventional coolants. One of these techniques is the addition of nano-sized solid particles with high thermal conductivity to the base fluid. Some researchers have used nanofluids together with other passive techniques [18-20]. Manca et al. [21] examined the heat transfer for the $20000 \leq Re \leq 60000$ of Al_2O_3 -water nanofluid at different rib heights, at 0% to 4% nanoparticle volume ratios in a channel where homogeneous heat flux was applied to the walls. As a result, they reported that as the Reynolds number and particle volume ratio increased, the heat transfer improved and at the same time an increase in the pumping power was observed. Heshmati et al. [22] numerically studied the mixed convective heat transfer in the $50 \leq Re \leq 400$ with the baffles of different geometries at varying particle volume fractions ($0.01 \leq \phi \leq 0.04$) of different nanofluids. As a result, they reported that the nanofluids with high particle volume fractions and small nanoparticle diameter significantly improved heat transfer. Ajeel et al. [23] numerically studied the flow and heat transfer properties of ZnO-water nanofluid for turbulent flow with L-shaped baffles in a curved corrugated channel and reported that baffles and nanofluids increased heat transfer. Menni et al. [24] carried out the dynamic and thermal behaviors of nanofluids in turbulent flow conditions by using baffles at different angles in a channel and reported that the highest thermal improvement was obtained when vertical baffles were used at high Reynolds numbers. Keklikcioglu and Ozceyhan [25] experimentally investigated the effects of combined using of water-graphene nanoplatelet nanofluid and three different conical wire coils on thermohydraulic performance of a heat exchanger tube. As a result, they declared that use of conical wire coils caused to increase both the heat transfer and fluid friction, also adding the graphene nanoplatelet in water led to strongly increase in heat transfer with a slight increase in friction factor.

There are many studies in the literature examining the combined effects of passive heat transfer applications. However, the high number of parameters used has increased the efforts to find the optimum parameters and new studies are needed on this subject. Previous studies have focused on different baffle arrangements in straight channels. The effects of vertical baffle on flow and heat transfer of the nanofluids in a zigzag corrugated channel have not been investigated. In order to fill this gap in the literature studies, the presented channel geometry was used. Therefore, in this study, the effects on heat transfer and friction factor of Al_2O_3 -water nanofluid in a zigzag channel with baffles was numerically investigated. Al_2O_3 nanoparticles are widely used in literature studies [14, 18, 21, 26]. Al_2O_3 nanoparticle was preferred in the study because it is both cheaper and easier to find than other nanoparticles.

2. Numerical Study

The geometry of the zigzag channel with baffle is given in Figure 1. The numerical model is considered as two dimensional. The height of the channel (H) is 19 mm. At the entrance and exit of

the channel, the lengths of unheated flat section are $L_1 = 11 H$. The total length of the zigzag channel with baffles is $L_2 = 12 H$. The length of zigzag section is considered as $S = 1.5 H$ and the thickness as $t = 3 \text{ mm}$. The baffle lengths are $t_2 = 6 \text{ mm}$, $t = 3 \text{ mm}$ and the thickness of the baffles is $t_1 = 0.5 \text{ mm}$. Other geometric parameters were kept constant.

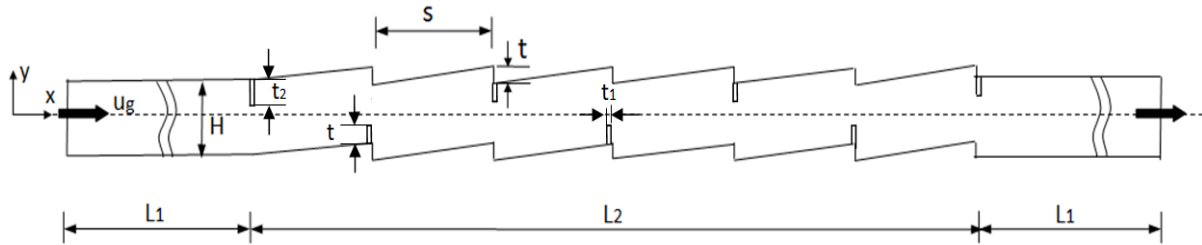


Figure 1. Geometry of the numerical model.

Al_2O_3 -water suspension was considered as the nanofluid, and three different nanoparticle volume fractions ($\phi = 1\%$, 2% and 3%) were used. The simulations were applied for $200 \leq \text{Re} \leq 1600$. This study was carried out in laminar flow regime. In order to avoid the critical Reynolds number for internal flows, the highest Reynolds number studied was accepted as $\text{Re}=1600$. The flow in the channel was considered to be fully developed, laminar, incompressible, two-dimensional, steady, Newtonian type and single-phase. The heat transfer with gravity and radiation has been neglected. The governing equations for these assumptions are given below;

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\text{Re}} \nabla^2 u_j \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{1}{\text{Re Pr}} \nabla^2 T \quad (3)$$

Computational Fluid Dynamics (CFD) based FLUENT 15.0 [27] program was used for numerical solutions. The equations were solved using the SIMPLE algorithm and the convection and diffusion terms were discriminated using a second order upwind scheme. The convergence criterion was taken as 10^{-6} for all residuals. Pave type triangular elements were used in the mesh structure of the numerical model. The mesh spacing was chosen as 0.38. The mesh structure including the three zigzag sections of the channel was shown in Figure 2. Various tests were applied for grid independence at cell numbers of 15785, 38624, 55346, 76409, 98114, 122793. After 76409 element numbers, the difference between Nusselt numbers was determined to be less than 2%. Therefore, the element number of 76409 was adopted for the numerical model. The variation of element numbers and Nusselt numbers were given in Table 1 and Figure 3.

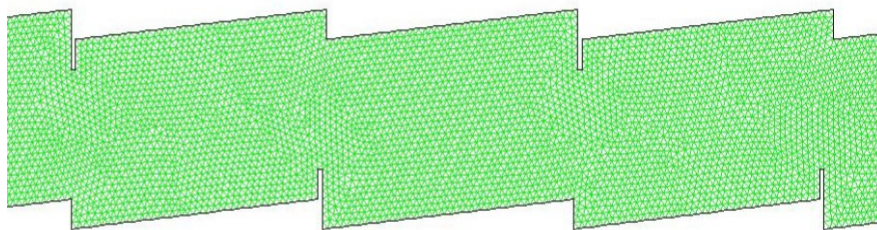
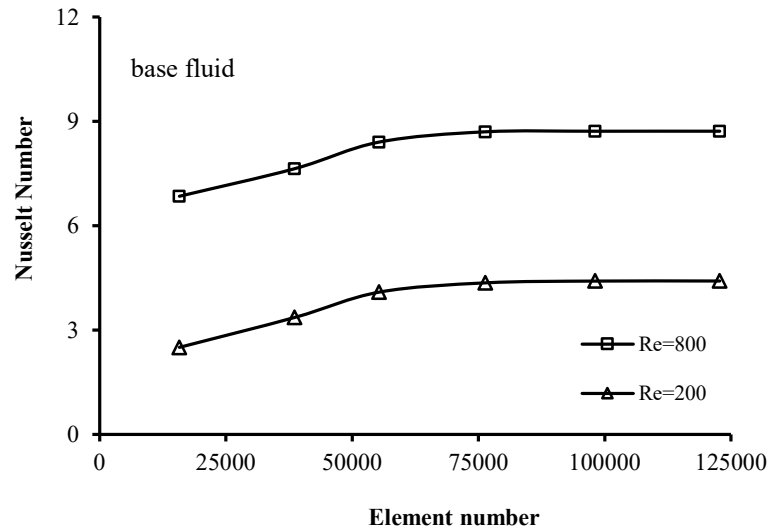


Figure 2. The mesh structure of the numerical model.

Table 1. The Results of Grid Independence Test. (Re=200 and Re=800, for base fluid)

Grid name	Number of elements	Nusselt Number	
		Re=200	Re=800
G1	15785	2,506	6,853
G2	38624	3,367	7,641
G3	55346	4,095	8,403
G4	76409	4,362	8,697
G5	98114	4,413	8,716
G6	122793	4,415	8,721

**Figure 3.** Grid independence testing for Re=200 and Re=800 (for base fluid).

The thermo-physical properties of nanofluids were obtained as follow (density by Eq. (4) and specific heat by Eq. (5) [28], thermal conductivity by Eq. (6) and viscosity by Eq. (7) [29].)

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_{pt} \quad (4)$$

$$c_{nf} = (1 - \varphi)c_{bf} + \varphi c_{pt} \quad (5)$$

$$k_{nf} = k_{bf} \frac{[k_{pt} + 2k_{bf} - 2\varphi(k_{bf} - k_{pt})]}{[k_{pt} + 2k_{bf} + \varphi(k_{bf} - k_{pt})]} \quad (6)$$

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} (123\varphi^2 + 7.3\varphi + 1) \quad (7)$$

The water was used as the base fluid. Thermo-physical properties of Al₂O₃ nanoparticle and water were given in Table 2.

Table 2. Thermo-physical Properties of Al₂O₃ Nanoparticle and Water

	ρ [kg/m ³]	c [j/kgK]	k [W/mK]	μ [kg/ms]
water	998	4182	0.613	0.001003
Al ₂ O ₃	3970	765	37	-

The fluid temperature at the channel inlet is $T_o = 293$ K. At the channel entrance, the "velocity inlet" boundary condition was defined. The flow was considered as fully developed flow at the outlet

because the straight section at the channel outlet was long enough compared to the channel diameter. At the outlet of the channel, "outflow" boundary condition was applied. The lower and upper surfaces of the zigzag channel were preserved at a constant temperature of $T_w = 340$ K and non-slip boundary condition for the channel walls was defined. A non-slip and adiabatic boundary conditions were applied for the straight section at the entrance and exit of the channel.

3. Results and Discussion

For the validation of the numerical solutions, present study was compared with the experimental results of Meyer and Abolarin [30]. A straight channel with a diameter of 19 mm was used and a constant heat flux of 2 kW was applied to the channel surfaces. The heat transfer coefficient was calculated with x / D distances along the channel for $Re = 1331$. The agreement between the results of both studies was shown in Figure 4.

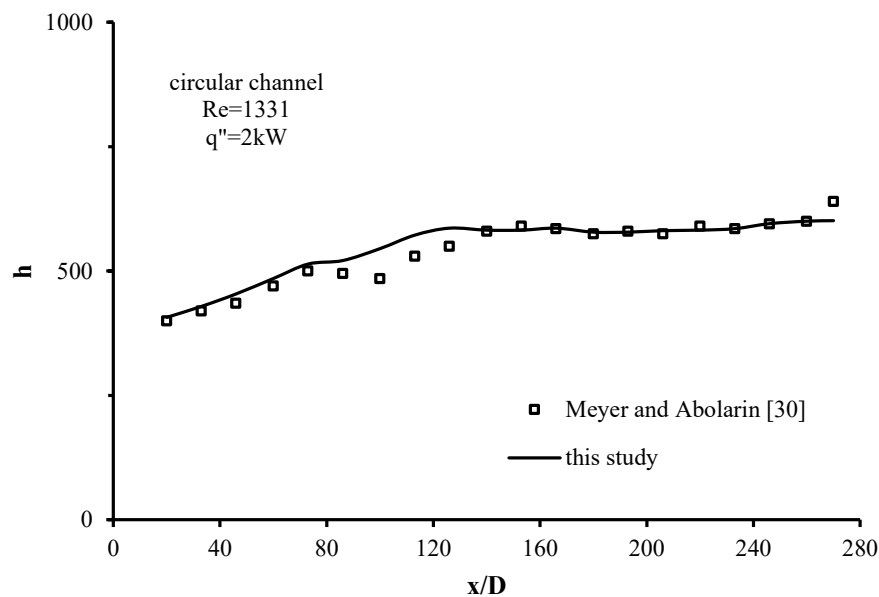


Figure 4. The validation of the numerical solution.

In this section, the velocity, temperature and vortex structures were obtained in the channel to explain the flow and heat transfer mechanism. In Figure 5, the velocity, temperature, and vortex structures were given for $Re = 200$ (Fig.5a) and $Re = 1600$ (Fig.5b) at a constant particle volume fraction ($\phi = 0.02$). It can be seen that the structure of the zigzag channel with baffles significantly affected the flow and temperature fields depending on the Reynolds number. It was shown that the channel geometry caused flow oscillation. As the inlet velocity of the fluid increases, the flow separations occur within the channel.

The baffles help reduce thermal resistance by disrupting the laminar layer on the channel surfaces. In addition, the baffles caused the formation of secondary flow structures in the channel. Increasing Reynolds numbers created larger flow cycles. Thus, heat transfer improved by better contacting the cold fluid with the hot fluid in the channel surfaces.

In Figure 6, the velocity structures (Fig. 6a) and temperature structures (Fig. 6b) were given for $Re = 1400$ at different particle volume fractions. The particle volume fraction was not significantly change the flow structure, but it was seen that the temperature in the channel surfaces decreased with the increase of the particle volume fraction.

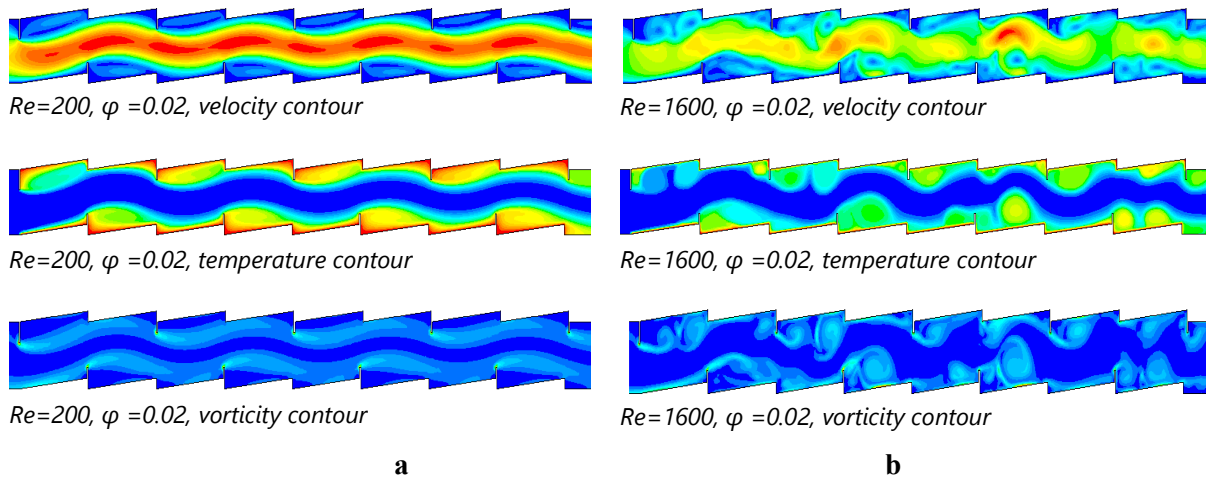


Figure 5. The velocity, temperature and vortex structures at a constant particle volume fraction ($\varphi = 0.02$), a- $Re = 200$, b- $Re = 1600$.

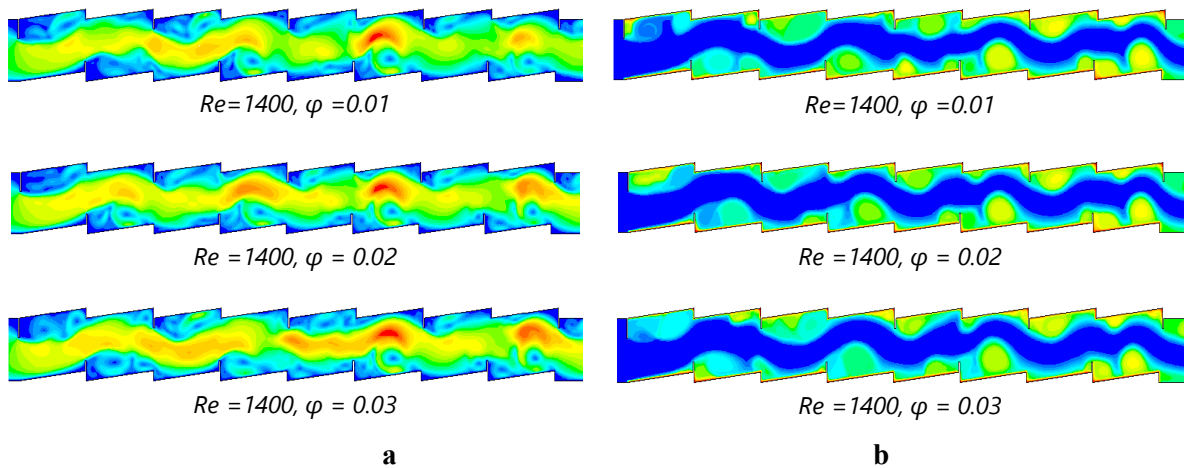


Figure 6. a-The velocity structures b- The temperature structures at $Re = 1400$ for different nanoparticle volume fractions.

In this study, Nusselt numbers are defined by Equations (8-9) to calculate the local and average heat transfer in the channel:

$$Nu_x = \frac{q'' D_h}{k(T_{w,x} - T_{b,x})} \quad (8)$$

$$Nu = \frac{1}{L} \int_0^L Nu_x dx \quad (9)$$

where, k is the thermal conductivity coefficient of the nanofluid, D_h is the hydraulic diameter of the channel, L is the total channel length, T_w is the surface temperature of the channel. The film temperature of the nanofluid is calculated as $T_b = (T_{in} + T_{out}) / 2$.

The heat transfer performance calculated based on the Nusselt number is defined as η and shown by Equation (10).

$$\eta = \frac{Nu_n}{Nu_s} \tag{10}$$

where, Nu_n is the average Nusselt number calculated for the nanofluid, and Nu_s is the Nusselt number calculated for the base fluid.

On the other hand, depending on the particle volume fraction and fluid velocity, a significant pressure drop occurs in the wall and fluid. Due to the high viscosity of nanofluids compared to the base fluid, the pressure drop should also be evaluated in heat transfer improvement studies. In the study, the dimensionless friction factor $r = f_n / f_s$ is defined to determine the pressure drop of the nanofluid. Where, f_n shows the surface friction for the nanofluid flow and f_s is the surface friction for the base flow. Thermo hydraulic performance is achieved by the ratio of heat transfer performance to friction factor and is defined by Eq. (11):

$$THP = \frac{(Nu_n/Nu_s)}{(f_n/f_s)^{1/3}} \tag{11}$$

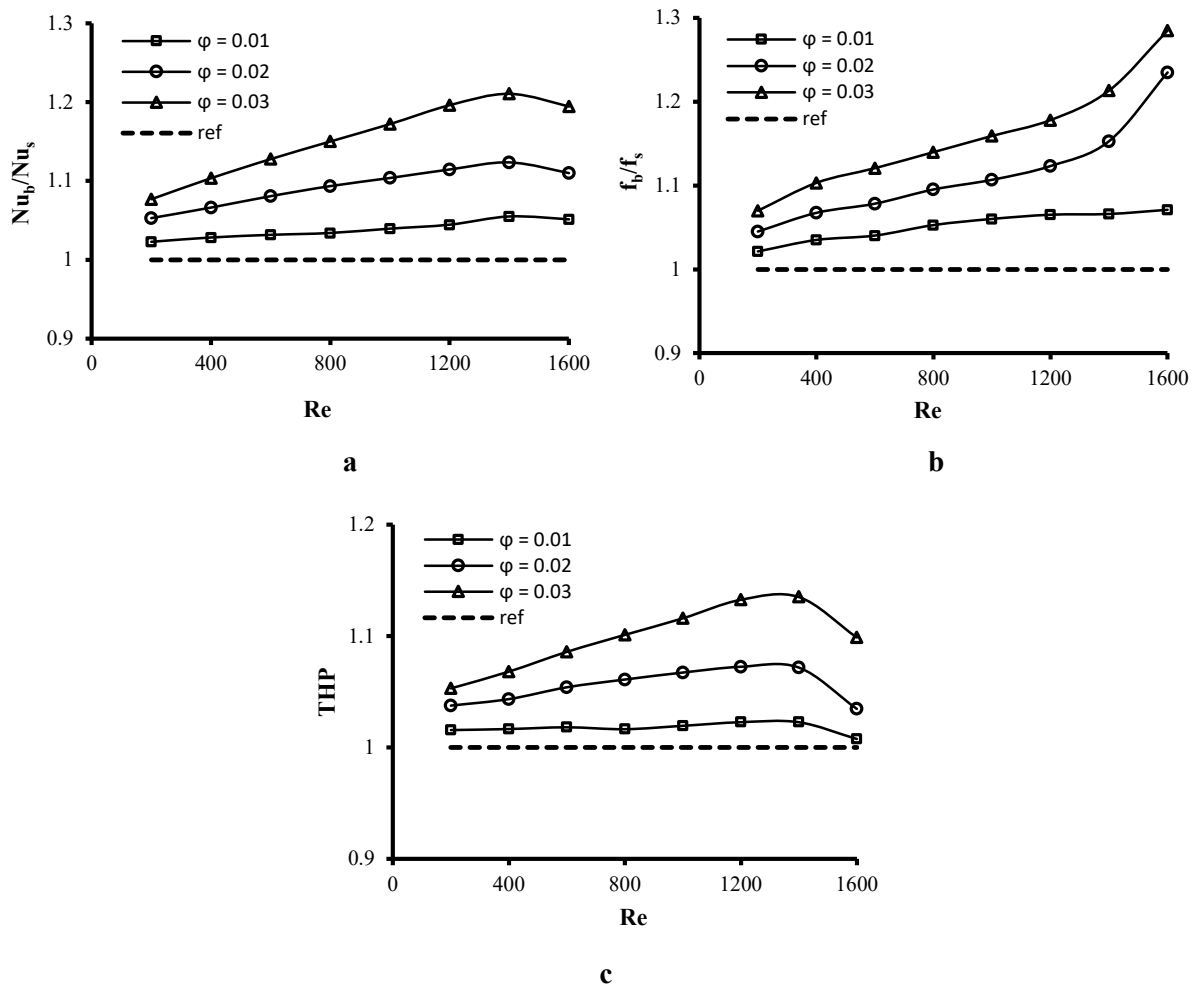


Figure 7. a-The heat transfer performance, b- The dimensionless friction factor, c- Thermo-hydraulic performance, at different Reynolds numbers ve particle volume fractions.

The variation of the heat transfer performance with Reynolds number for different particle volume fractions in Figure 7a, the dimensionless friction factor in Figure 7b, and the thermo-hydraulic performance in Figure 7c were given. From these figures, it was seen that the heat transfer

performance and friction factor increased with the increase of particle volume fraction and Reynolds number. The dashed line represents the base fluid for the same geometry. The frictions increased with the effect of the baffles in zigzag channel and the increase in the particle volume fraction. There is a slight downward trend in heat transfer performance at $Re=1600$. For $\phi = 0.03$, this decrease is more pronounced than the others. The reason for this can be evaluated as the increase in the density of the fluid with the high particle volume ratio and the decrease in the flow velocity.

The highest heat transfer performance was obtained as $\eta=1.21$ at $Re = 1400$ and $\phi = 0.03$. The baffles and nanofluids in the zigzag channel provided significantly heat transfer improvement, while an acceptable increase in friction factor was observed. The highest friction factor was found to be $r=1.28$ at $Re = 1600$ and $\phi = 0.03$. In Figure 7c, Thermo-hydraulic performance values were obtained above the reference value for all Reynolds numbers and particle volume fractions because the heat transfer improvement was greater than the frictions in the channel. At $Re=1600$, the THP curve shows a sharp decline. This is because the friction inside the channel is greater than the heat transfer improvement. The highest thermo-hydraulic performance was obtained at $\phi = 0.03$ and $Re = 1400$ as approximately $THP = 1.15$.

4. Conclusions

In this study, the effects on the flow and heat transfer of Al_2O_3 -water nanofluid in a zigzag channel with baffles were numerically investigated. The effects of particle volume fraction and Reynolds number on the flow and heat transfer were analyzed. The results obtained in the study are listed below:

- a. The flow and temperature fields are highly influenced by channel geometry.
- b. The secondary flow structures in the channel increase with the increase of the inlet velocity.
- c. The particle volume fraction has an important role in heat transfer improvement under laminar steady flow conditions.
- d. The heat transfer performance increases with the increase of Reynolds number and particle volume fraction, and friction factor increases slightly.
- e. The best thermo-hydraulic performance is obtained as approximately $THP = 1.15$ at $Re = 1400$ and $\phi = 0.03$.

References

- [1] Lei YG, He YL, Li R, Gao YF. Effects of baffle inclination angle on flow and heat transfer of a heat exchanger with helical baffles. *Chem. Eng. Process* 2008; 47(12): 2336–2345.
- [2] Keklikcioglu O, Ozceyhan V. Experimental investigation on heat transfer enhancement of a tube with coiled-wire inserts installed with a separation from the tube wall. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2016; 78: 88-94.
- [3] Nanan K, Piriyaungrod N, Thianpong C, Wongcharee K, Eiamsa-ard S. Numerical and experimental investigations of heat transfer enhancement in circular tubes with transverse twisted-baffles. *Heat Mass Transfer* 2016; 52: 2177–2192.
- [4] Li Z, Gao Y. Numerical study of turbulent flow and heat transfer in cross corrugated triangular ducts with delta-shaped baffles. *Int. J. Heat Mass Transfer* 2017; 108: 658–670.
- [5] Sriromreun P. Numerical study on heat transfer enhancement in a rectangular duct with incline shaped baffles. *Chem. Eng. Transfer* 2017; 57: 1243–1248.
- [6] Rashidi S, Eskandarian M, Mahian O, Poncet S. Combination of nanofluid and inserts for heat transfer enhancement, Gaps and challenges. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2019; 135: 437–460.

- [7] Alnak DE. Thermohydraulic performance study of different square baffle angles in cross-corrugated channel. *Journal of Energy Storage* 2020; 28: 101295.
- [8] Chang SW, Cheng TH. Thermal performance of channel flow with detached and attached pin-fins of hybrid shapes under inlet flow pulsation. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2021; 164: 120554.
- [9] Promvong P, Tamna S, Pimsarn M, Thianpong C. Thermal characterization in a circular tube fitted with inclined horseshoe baffles. *Appl. Therm. Eng.* 2015; 75: 1147–1155.
- [10] Kumar R, Kumar A, Chauhan R, Sethi M. Heat transfer enhancement in solar air channel with broken multiple V-type baffle. *Case Stud. Therm. Eng.* 2016; 8: 187–197.
- [11] Sahel D, Ameer H, Benzeguir R, Kamla Y. Enhancement of heat transfer in a rectangular channel with perforated baffles. *Appl. Therm. Eng.* 2016; 101: 156–164.
- [12] Dagdevir T, Keklikcioğlu O, Ozceyhan V. Heat transfer performance and flow characteristic in enhanced tube with the trapezoidal dimples. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2019; 108: 104299.
- [13] Akdag U, Akçay S, Demiral D. Heat transfer enhancement with nanofluids under laminar pulsating flow in a trapezoidal-corrugated channel, *Progress in Computational Fluid Dynamics, An International Journal* 2017; 17(5): 302-312.
- [14] Akdag U, Akçay S, Demiral D. Heat transfer enhancement with laminar pulsating nanofluid flow in a wavy channel. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2014; 59: 17–23.
- [15] Akçay S, Akdag U. Parametric investigation of effect on heat transfer of pulsating flow of nanofluids in a tube using circular rings. *Pamukkale University, Journal of Engineering Sciences* 2018; 24(4): 597-604.
- [16] Akdag U, Akçay S, Demiral D. Heat transfer in a triangular wavy channel with CuO-water nanofluids under pulsating flow. *Thermal Science* 2019; 23(1):191-205.
- [17] Davletshin IA, Mikheev AN, Mikheev NI, Shakirov RR. Heat transfer and structure of pulsating flow behind a rib. *Int.Jour.Heat and Mass Transfer* 2020; 160: 120173.
- [18] Chandrasekar M, Suresh S, Bose AC. Experimental studies on heat transfer and friction factor characteristics of Al₂O₃/water nanofluid in a circular pipe under laminar flow with wire coil inserts. *Exp Therm Fluid Sci.* 2010; 34(2): 122–130.
- [19] Fazeli H, Madani S, Mashaei PR. Nanofluid forced convection in entrance region of a baffled channel considering nanoparticle migration. *Appl Therm. Eng.* 2016; 106: 293–306.
- [20] Karouei SHH, Ajarostaghi SSM, Gorji-Bandpy M, Fard SRH. Laminar heat transfer and fluid flow of two various hybrid nanofluids in a helical double-pipe heat exchanger equipped with an innovative curved conical turbulator. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2021; 143: 1455–1466.
- [21] Manca O, Nardini S, Ricci D. A numerical study of nanofluid forced convection in ribbed channels. *Applied Thermal Engineering* 2012; 37: 280-297.
- [22] Heshmati A, Mohammed HA, Darus AN. Mixed convection heat transfer of nanofluids over backward facing step having a slotted baffle. *Applied Mathematics and Computation* 2014; 240: 368–386.
- [23] Ajeel RK, Sopian K, Zulkifli R. Thermal-hydraulic performance and design parameters in acurved-corrugated channel with L-shaped baffles and nanofluid. *Journal of Energy Storage* 2021; 34: 101996.
- [24] Menni Y, Chamkha AJ, Ghazvini M, Ahmadi MH, Ameer H, Issakhov A, Inc M. Enhancement of the turbulent convective heat transfer in channels through the baffling technique and oil/multi walled carbon nanotube nanofluids. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications* 2021; 79(4): 311-351.
- [25] Keklikcioğlu O, Ozceyhan V. Thermohydraulic performance evaluation for horizontal tube by using combination of modified coiled wire inserts and graphene nanoplatelet-water nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2021; 123: 105206.
- [26] Tian MW, Khorasani S, Moria H, Pourhedayat S, Dizaji HS. Profit and efficiency boost of triangular vortex-generators by novel techniques. *Int. Journal of Heat and Mass Transfer* 2020; 156: 119842.

- [27] ANSYS. Fluent user guide & theory guide- (Release 15. 0) Fluent Ansys Inc., USA, 2015.
- [28] Pak B, Cho YI. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Experimental Heat Transfer* 1998; 11(2): 151–170.
- [29] Kakac S, Pramuanjaroenkij A. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *Int. Jour. Heat and Mass Transfer* 2009; 52: 3187–3196.
- [30] Meyer JP, Abolarin SM. Heat transfer and pressure drop in the transitional flow regime for a smooth circular tube with twisted tape inserts and a square-edged inlet. *Int. Jour. Heat and Mass Transfer* 2018; 117: 11-29.

LPWAN STANDARTLARI TABANLI BİLİŞSEL RADYO AĞLARI İÇİN SPEKTRUM ALGILAMA YAKLAŞIMI

Sercan YALÇIN^{1*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, 02040, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 27.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 20.10.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.1001507

ÖZET

Bilişsel radyo ağları (Cognitive Radio Networks, CRNs) kullanılarak güvenilir bir spektrum elde edebilmek günümüz kablosuz iletişim teknolojileri ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoTs) uygulamaları için vazgeçilmez olmuştur. Bu çalışmada, CRN'ler için spektrum algılama yaklaşımında yeni eğilimler incelenmiştir. Düşük güçlü geniş alan ağları (Low Power Wide Area Networks, LPWANs) standartlarından biri olan geniş kapsama (Long Range, LoRa) içerikli CRN'ler ile spektrum algılaması yapılmıştır. Burada amaçlanan, kullanıcıların frekans spektrumlarından maksimum oranda faydalanabilmesini sağlayabilmektir. Daha hassas spektrum algılaması sayesinde haberleşmedeki farklı bant genişliği ve sinyal yayılım faktörlerine bağlı olarak bant genişliği kullanımı verimli hale getirilmiştir. Buna paralel olarak, bant genişliğinde kullanılan miktar artırılarak verimli güç/frekans analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Düşük güçlü geniş alan ağları (LPWAN), Bilişsel Radyo Ağları, Hücresel Ağlar, Nesnelerin İnterneti

SPECTRUM SENSING APPROACH FOR LPWAN STANDARDS BASED COGNITIVE RADIO NETWORKS

ABSTRACT

Obtaining a reliable spectrum using cognitive radio networks (CRNs) has become indispensable for today's wireless communication technologies and Internet of Things (IoT) applications. In this study, new trends in spectrum sensing approach for CRNs are examined. Spectrum sensing is performed with Long Range (LoRa)-containing CRNs, which is one of the Low Power Wide Area Networks (LPWANs) standards. The aim here is to ensure that users can benefit from the frequency spectrum at maximum rate. Thanks to more sensitive spectrum sensing, bandwidth usage has become more efficient due to different bandwidth and signal spreading factors in communication. In parallel with this, efficient power/frequency analysis has been carried out by increasing the amount of occupied bandwidth.

Keywords: Low-Power Wide Area Networks (LPWAN), Cognitive Radio Networks, Cellular Networks, Internet of Things (IoT)

1. Giriş

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoTs), cihazlar ve çeşitli amaçlar için kullanılan algılayıcılar arasında ara bağlantı ve veri alışverişini ifade eder. IoT teknolojilerinin büyümesiyle, güvenlik, tarım, akıllı ölçüm, akıllı evler ve şehirler, akıllı ulaşım sistemleri de dâhil olmak üzere birçok alanda artan sayıda pratik uygulama bulunabilir. IoT uygulamalarının uzun menzil, düşük veri hızı, düşük enerji tüketimi ve maliyet etkinliği gibi belirli gereksinimleri vardır. Yaygın olarak kullanılan ZigBee, Bluetooth veya Wimax kısa menzilli radyo teknolojileri, uzun menzilli iletim gerektiren senaryolar için uyarlanmamıştır. Hücresel iletişimlere dayalı 2G, 3G, 4G ve 5G gibi çözümler daha fazla kapsama alanı sağlayabilir, ancak aşırı enerji tüketimi gerektirir. Bu nedenle, IoT uygulamalarının gereksinimleri, LPWAN olarak yeni bir kablosuz iletişim teknolojisinin ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir [1,2].

^{*}1 e-mail: svancin@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1420-2490>

Kablosuz iletişimde verimli spektrum kullanımı, birçok teknoloji için ilgi çekici bir araştırma alanı haline gelen bir konudur. Son zamanlardaki teknolojik yenilikler, kablosuz cihazların çok uzun mesafelerde güç verimli iletişim ile çalışmasına olanak tanır. Örneğin, LPWAN'lar, IoT ağları oluşturmak için gelişmekte olan yenilikçi bir platformdur. Özellikle geniş kapsama standardı (Long Range, LoRa) LPWAN teknolojilerinden biridir ve IoT için bir altyapı çözümü olarak kabul edilir. Uç cihazlar, bir köprü görevi gören ve bu LoRa uç cihazları arasındaki mesajı merkezi bir ağ sunucusuna ileten internete bağlı ağ geçitleriyle iletişim kurmak için tek bir kablosuz atlama üzerinden LoRa protokolünü kullanır [3,4]. Bu tür uzun menzilli ağ iletişimi için endüstriyel, bilimsel ve tıbbi bant (Industrial Scientific Medical band, ISM) spektrum paylaşımının kullanılması, araştırmacıları bilişsel radyo ağları (Cognitive Radio Networks, CRNs) için spektrum algılama konusuna yönlendirmektedir. Bilişsel radyoda, ikincil kullanıcılar (Secondary Users, SUs), birincil kullanıcıların (Primary Users, PUs) yokluğunda lisanslı spektrum bandına fırsatçı bir şekilde erişmek için bu bilgileri algılayabilir ve kullanabilir. CRN, akıllı bilişsel radyo kablosuz kullanıcıları ve dinamik spektrum erişim yeteneklerinden oluşan bir ağ olarak tanımlanabilir [5,6]. CRN'ler ilk olarak, lisanssız spektrum bandı kullanıldığında karşılaşılan spektrum kıtlığı ve ağ tıkanıklığı sorununu çözmeye çalışırken tanıtılmıştır. Lisanssız spektrum bandında, akıllı bilişsel radyo iletişim cihazları, spektrum kıtlığı gerçeğine dayanarak, SU'lar olarak adlandırılmış bilişsel radyo kullanıcılarına lisanslı spektrum bandına erişim ve orijinal kullanıcıları ile paylaşma izni verir. Ancak, bu paylaşımında, PU'lar olarak adlandırılmış orijinal kullanıcıların performansının etkilenmeyeceği garantisini vermek zorundadır [6]. Çünkü bilişsel radyo, PU'ların işlemlerine zararlı bir şekilde müdahale edebilir. Dolayısıyla, bilişsel radyoda verimli bir spektrum algılaması, karar vermesi ve spektrumun yönetilmesi zorlu bir görevdir. Ancak, spektrum algılamasında, spektrum deliği için enerji tespiti ve tüketimi radyo ağının verimliliği açısından hassas bir görevdir. Bu yüzden düşük enerji tüketen kablosuz teknolojilerin bu görevde yer alması, enerji verimliliği açısından avantajlı olacaktır. İşte bu nedenle, bu çalışmada, LPWAN standartlarından güncel olan teknolojiler incelenmiş ve bu teknolojilerden LoRa'nın CRN'lerde spektrum algılamasında son zamanlarda araştırmacıların da çalışma materyali olduğu görüldüğünden ötürü, bu teknolojinin bu çalışmada da kullanılmasının yararlı olacağı anlaşılmıştır. Bu anlamda çalışmada, CRN'ler için LoRa kullanılarak spektrum algılama yöntemi planlanmıştır. Deneysel uygulamalar Matlab benzetim ortamında gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Ayrıca bu çalışma, Microchip LoRa evrim kitleri, evrensel yazılım radyo çevre birimleri (USRP) ve GNU radyo kullanılarak yapılabilir. Bu anlamda yazılım tanımlı radyo ağları sisteme bütünleştirilmektedir.

Bu çalışmanın ana katkıları şu şekilde sıralanabilir.

- Bu çalışmada, güncel LPWAN teknolojilerinden biri olan LoRa tabanlı bilişsel radyo ağları için spektrum analizi yapılmıştır. Bu sayede efektif bant kullanımı yapılmış ve güç/frekans dağılımı incelenmiştir.
- Diğer çalışmaların aksine, LoRa ve bilişsel ağlar bir arada düşünülerek kablosuz ağ teknolojileri ve yeni nesil hücresele ağlar için bir takım önerilerde bulunulmuştur.
- Yapılan deneysel çalışmalar ile bilişsel radyo ağında spektrum yayılım faktörü kullanımının önemi vurgulanmıştır.

Bu makalenin geri kalanı şu şekilde özetlenebilir. Bölüm 2'de, araştırma konusuyla ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Bölüm 3'te, güncel ve popüler LPWAN standartları açıklanmıştır. Bölüm 4'te, LoRa kullanan CRN'lerin spektrum algılaması adıyla materyal ve metot sunulmuştur. Bölüm 5'te, deneysel uygulama anlatılarak benzetim sonuçları irdelenmiştir. Son olarak Bölüm 6'da, makale çalışması sonuçlandırılarak çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

2. İlgili Çalışmalar

IoT erişim noktaları veya ağ geçitleri, kapsamları içinde bulunan IoT uç cihazlarına erişim sağlar. Bu ağ geçitlerinin konumları ve yükseklikleri, spektrum girişimi ve antenler, belirli bir yayılma ortamı için sağlanan kapsama alanını yönetir. Ağ tasarımı ve planlaması, ağın bağlanabilirlik ve kapasite

gereksinimlerini karşılamak amacıyla bu ağ geçitleri için en uygun fiziksel konumları tahmin etmek için kapsama modellemesiyle yapılır. Elde edilen kapsama alanı, deneysel ölçümler, ışın izleme benzetimleri veya her ikisinin bir karışımı yoluyla elde edilen yayılma modellemesi yoluyla yakalanan ağın radyo ortamına dayanır. Birçok deneysel model, kablosuz ağlar için belirli kırsal ve kentsel yoğunluk yayılım ortamlarındaki gerçek ölçümlere dayalı olarak türetilmiştir [7,8]. Bu modeller daha sonra, farklı parametrelerine dayalı olarak benzer yoğunluk yayılım ortamları için bir tahmin sağlamak üzere genelleştirilir [9]. Hibrit yayılma modellemesi, orta bir karmaşıklık ve güvenilirlik noktası elde etmek için hem deneysel modelleri hem de ışın izlemeyi birleştirir. Bir dijital iletişim bağlantısının performansını tahmin etmek için tipik olarak paket hata oranı (PER) eğrileri elde edilir. LoRa için en basit PER eğrisi, ek beyaz Gauss gürültüsüne (AWGN) sahip bir kanal içindir. Eşik sinyal gürültü oranları (SNR), LoRa alıcı-verici tedarikçisi Semtech tarafından alıcı veri sayfasında sağlanmaktadır [10]. Bazı çalışmalarda, parazitini yalnızca ağdan üretildiğini varsayarak, LoRa'nın performansını tahmin etmek için matematiksel modeller türetmek için stokastik geometri gibi diğer araçlar kullanılmıştır [11-13]. Tipik olarak mobil geniş bantta konuşlandırılan kablosuz ağ tasarım platformları da IoT ağlarını içerecek şekilde geçiş yapmakta ve çeşitli benzetimler yoluyla hata eğrilerini elde etmek için ışın izleme veya hibrit teknikler kullanmaktadır. Bu teknikler mobil geniş bant veya lisanslı IoT teknolojileri için yeterli olsa da, spektrumda var olan girişim seviyelerindeki önemli farklılıklar nedeniyle aynı şey LoRa gibi paylaşılan spektrumlu IoT teknolojileri için geçerli değildir. IoT spektrumunda mevcut olan girişimin, ortalamasını yetersiz ve çoğu zaman gerçekçi bir dağıtımın yanlış bir temsili yapan geçici bir korelasyona (ilgileşim) sahip olduğu gösterilmiştir. Diğer bir çalışmada, yazılım tanımlı radyoların (Software defined radio, SDR) daha pahalı LoRa alıcılarının yerini almasını sağlamak için GNU radyo uygulamaları için LoRa'nın modülasyon ve kodlama şemasını kullanmıştır [14, 15]. Bununla birlikte, bu uygulamalar ağ tasarımı amaçları için bir platform sağlamamaktadır. Bir çalışmada, Matlab komut dosyası kullanılarak oluşturulmuş bir açık kaynaklı emülatörü kullanan bir LoRa ağ tasarımı çerçevesi sunmaktadır [16]. Bu emülatör, LoRa'nın modülasyon ve kodlama şemasına dayalı olarak LoRa sinyallerini simüle eder. Ayrıca, emülatör, sinyallerin radyo yayılımını daha doğru bir şekilde tahmin etmek için araziye ve bina ayak izlerini birleştirmek için ışın izlemeyi kullanır. Ayrıca, emülatör, spektrum girişimini dâhil etmek için bir SDR'den alınan ölçümleri kullanır.

3. LPWAN Standartları

LPWAN teknolojisi, yeni bir teknoloji standardı olarak değil, makineden makineye (Machine to Machine, M2M) ve IoT cihazlarının ihtiyaçlarına göre ortaya çıkmış bir kablosuz teknolojidir. IoT cihazlarının çoğunda, özellikle akıllı şehir ve endüstri sektörlerinde olmak üzere, müşteri hücresel cihazlarının hız ve bant genişliği aynı değildir. Bununla birlikte, geleneksel Uzun Vadeli Evrim (Long Term Evolution, LTE) hücresel ağların uzun ömürlü olmaları gerekmektedir [17].

Küresel sistem mobil iletişim (Global System Mobile Communication Association, GSMA) kablosuz endüstrisi birliği, ağ operatörlerinin IoT uygulamalarının belirli maliyet, kapsama alanı ve güç tüketimi ihtiyaçlarını karşılamasına yardımcı olmak için IoT ve Endüstri 4.0 uygulamaları için LTE-M ve NB-IoT standartları geliştirmiştir. Aynı zamanda LoRa Alliance, düşük bant genişliği, düşük gecikmeli IoT uygulamaları için başka bir kablosuz bağlantı seçeneğini de ekleyerek ortaya çıkan başka bir LPWAN teknolojisini güçlendirmek için kurulmuştur. LPWAN teknolojileri, mevcut ağlardan, küresel erişimden ve güçlü yerleşik güvenlikten yararlanan düşük maliyetli ve güç tasarruflu kablosuz bir seçenek sunarak IoT çözümleri için çalışma verimini artırır. M2M ve IoT cihazları için özel olarak oluşturulan LPWAN teknolojisi düşük güç tüketimi, uzun menzilli kablosuz bağlantı sağlar [9,18].

LPWAN teknolojisi, IoT cihazlarının tek bir pil şarjı ile 10 yıla kadar güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu süre, şarj için güvenilir bir güç kaynağı bulunmayan sınırlı hareket kabiliyetine sahip çözümler için idealdir. LPWAN teknolojileri genelde aşağıdaki uygulamalar için idealdir [3,4,19].

- Akıllı sayaçlar,
- Akıllı şehir,
- Takip ve izleme,

- Akıllı tarım,
- Akıllı bina uygulamaları

LPWAN teknolojisi, 10 ile 1600 bayt arasında değişen küçük aralıklı veri paketlerinde veri aktarımını destekler. Bu aktarım, gelişmiş verimlilik ve 3 Kb/s'den 375 Kb/s'e kadar optimize edilmiş hızlara izin verir. LPWAN daha yüksek güç ve bant genişliği verimliliği ile ve daha geniş bir alanda çalıştığı için daha az altyapı ve donanıma ihtiyaç duyar. Bu özellikler daha yüksek maliyet verimliliğine dönüşür. Kablosuz ağlar ve teknolojiler sürekli gelişmeye devam ettikçe, bağlı cihazlar zaman zaman ürün yazılımı güncellemeleri gerektirebilir. Bu gereklilik, LPWAN standartları için bir zorluktur, çünkü büyük bir güç çekişi ve bant genişliği gerektirir. Bu tür güncelleme pili bitirebilir ve ömrünü kısaltabilir. Bunun yanında, çoğu kez IoT iş durumunu bile yok edebilir [3,4]. Artan güncelleme yeteneklerine sahip bir IoT modülü seçmek, uzun ömürlü ve LPWAN'a yapılan yatırımı korurken, zamandan ve güçten tasarruf etmek için kritik bir uygulamadır.

LPWAN teknolojisi, SigFox, LoRa, LTE-M ve NB-IoT ve EC-GSM-IoT gibi birçok standardı barındırır. Mevcut ve gelişmekte olan tüm seçeneklerden LTE-M ve NB-IoT, IoT uygulamaları için tercih edilen LPWAN teknolojileri olarak öne çıkmıştır. Bunun nedeni, maliyet verimliliğini esas almasından ve bu standartların uzun ömürlü ve güvenlik farkındalı, geniş kapsamlı ağlar sağlama yeteneğinden kaynaklanmaktadır [20,21]. Bazı güncel LPWAN teknolojileri özetle şu şekilde açıklanabilir.

3.1. Sigfox Standardı

Sigfox, patentli teknolojilerine dayanan uçtan uca IoT bağlantı çözümü sunan bir LPWAN ağ standardıdır. Sigfox, bilişsel yazılım tanımlı radyolarla donatılmış tescilli baz istasyonlarını dağıtır ve IP tabanlı bir ağ kullanarak arka uç sunuculara bağlar. Bu baz istasyonlara, ultra dar bant (100 Hz) subGHz ISM bant taşıyıcısında ikili faz kaydırma anahtarlama (BPSK) modülasyonu kullanılarak uç cihazlar bağlanır. Sigfox, Avrupa'da 868 MHz, Kuzey Amerika'da 915 MHz ve Asya'da 433 MHz olmak üzere lisanssız ISM bantları kullanır [1,4].

3.2. LTE-M Standardı

LTE-M, 3. Nesil Ortaklık Projesi (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) standartlar organizasyonu tarafından yayımlanan bir LPWAN standardı olan endüstri kavramıdır. Genellikle birinci nesil hücreli LPWAN teknolojilerinden biri olarak kabul edilen LTE-M, mevcut LTE ağlarından yararlanır ve içeride ve yerde geniş kapsama alanı ile yüksek verimli bağlantı sağlar. Birden fazla GSM bandında verimli bağlantı sağlayarak cihaz karmaşıklığını büyük ölçüde azaltır, böylece birden fazla modüle ve varyanta olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Şekil 1'de, LTE-M'yi IoT pazarına sunan Cinterion® EMS31 IoT kablosuz modülü gösterilmiştir. LTE-M, 10 yıl veya daha uzun pil ömrü sağlayan güç tasarruflu performans sağlar ve 300 Kbps aşağı bağlantı ve 375 Kbps yukarı bağlantı IoT için optimize edilmiş hızlara sahiptir. EMS31 LTE-M modülü, her türlü çözüm ihtiyacını karşılamak için artımlı ve tam güncelleme özelliklerinin avantajını sunar [1,2].



Şekil 1. Cinterion EMS31 IoT kablosuz modülü [4]

3.3. NB (Dar Bant, Narrow Band)-IoT Standardı

LPWAN standartlarından biri olan NB-IoT veya Narrowband IoT, hücresi başına 50.000'e kadar IoT cihazını bağlayabilir. Böylece, LTE-M'nin maliyet ve güç verimliliğini IoT ağlar için oldukça genişletmiştir. NB-IoT, ağ verimliliğini yeni boyutlara taşıyarak, mevcut spektrumun sadece bir kısmını kullanarak çok sayıda yeni bağlantıyı destekler. Bu verimlilik, 10 yıldan fazla pil ömrü sağlayarak güç tüketimini en aza indirir. NB-IoT, yeraltına ve kapalı alanlara nüfuz ederek içeride 20 + dB kapsama alanı sağlar. NB-IoT, 700MHz, 800 MHz, and 900 MHz bantlarında çalışabilir ve 1600 bayt veri paketlerinde veri aktarımını destekler. Yaklaşık 1 km kentsel alanda, 10 km kırsal alanda kapsama alanında etkili bir şekilde çalışabilir [2,3,6].

Bazı araştırma şirketleri, önde gelen bağlantı IoT modüllerini geliştirmek için güçlerini birleştirerek NB-IoT'yi hızlandırma konusunda uğraşmaktadır. Örneğin bir şirket, NB-IoT'nin kısa zamanda tüm hücrel gönderilerin yüzde 20'sini oluşturacağını tahmin ediyor. Yapılan en son tahmin, 2025 yılına kadar 75 milyardan fazla akıllı cihazın aktif olarak kullanımda olacağını tahmin etmektedir. Bu da, günümüzde kullanılan yaklaşık 15 milyar cihaz üzerinde % 400'lük bir artışın olacağı anlamına gelmektedir. Bu teknoloji pazarında milyarlarca gerçekleşen yeni bağlantıya geçiş yapılmaktadır ve hücrel mobil ağ operatörleri milyarlarca yeni müşteriyi destekleyebilecek teknolojilere büyük yatırım yapmaktadır. Bunun nedeni, büyük yoğunluğunun en iyi düşük bant genişliği, uzun pil ömrünü destekleyen yüksek verimli bağlantı ile sunulan endüstriyel IoT çözümleri olmasıdır. Geleneksel 4G kablosuz ağlar, bu kullanım durumlarının gerektirdiğinden daha fazla beygir gücü sunar. Ayrıca, IoT uygulamaları, çalışma esnasında pil gücünü azaltabileceği ve cihaz ömrünü kısaltabileceği uzak ortamlarda kesintisiz kapsama alanı gerektirir. Hücrel olanın hücrel olmayan bağlantıya oranı, 5G ve NB-IoT'nin ortaya çıkmasıyla dramatik bir şekilde değişmektedir. Bu değişim, hızla büyüyen bir hücrel teknoloji olarak tanımlanır ve 4G LTE frekans bandının sadece bir kısmını kullanarak düşük güçlü, yüksek verimli ve uygun maliyetli bağlantı sunar [2,3,6].

Temelde bu teknoloji, geleneksel hücrel modüllerden daha az karmaşıktır ve tasarım, geliştirme ve dağıtımını basitleştirir. NB-IoT standardı, ağ güvenliği için LTE şifrelemesini kullanır [1]. Ayrıca, LTE mobil ağlarının denenmiş ve gerçek güvenlik ve gizlilik özellikleri şu şekilde sunulabilir.

- Kullanıcı kimliği gizliliği
- Varlık kimlik doğrulaması
- Veri bütünlüğü
- Mobil cihaz tanımlama

Çeşitli şirketler bağlantı modülleri geliştirmek için stratejik işbirliği yaparak NB-IoT'yi geliştirme yolundadır. Yüksek performanslı NB-IoT yonga setleriyle hücrel bağlantı ve dijital güvenlik esaslı yeni LPWAN IoT modülleri, IoT cihaz üreticilerinin cihazlarının maliyetini ve boyutunu azaltmasına yardımcı olmaktadır. LTE-M, GSMA tarafından açıklandığı gibi, basitleştirilmiş cihaz karmaşıklığını, büyük bağlantı yoğunluğunu, düşük cihaz güç tüketimini, düşük gecikmeyi destekleyen ve LTE kurulu tabanın yeniden kullanılmasına izin verir [3,6,7]. LTE-M konuşlandırması, standart bir LTE taşıyıcısı içinde bant içi veya özel bir spektrumda bağımsız olarak yapılabilir. Mevcut hücrel ağlarda dağıtım yapmak isteyen cihaz üreticileri için cazip bir seçenek sunan geniş bir kullanım grubu sunar. NB-IoT, bağlantı için LTE yayılma teknolojisine karşı dörtlü faz kaydırma anahtarlama (QPSK) modülasyon teknolojisini kullanır. Uzun vadede maliyet tasarrufu sağlayan bir ağ geçidi ihtiyacını ortadan kaldırır. Geliştirilmiş iç mekân kapsama alanı, çok sayıda düşük verimli cihaz desteği, düşük gecikme hassasiyeti, düşük cihaz güç tüketimi, optimize edilmiş ağ mimarisi ile karakterize edilir ve ultra maliyet verimlidir. NB-IoT, LTE-M gibi, standart bir LTE taşıyıcısına bant içi veya özel spektrumdaki dağıtımlar için bağımsız olarak yerleştirilebilir. Ek olarak, NB-IoT bir LTE operatörünün koruma bandına da uygulanabilir. Özetle, hem NB-IoT hem de LTE-M'yi bünyesinde barındırabilen az maliyetli, düşük güç tüketen geniş alanlarda kapsamayı gerçekleştiren çift modlu modül cihazlar yeni nesil hücrel ağlar için geliştirilebilir ve milyarlarca tüketiciye bu hizmet sunulabilir.

3.4. EC-GSM-IoT Standardı

Geniştirilmiş kapsama GSM IoT (EC-GSM-IoT), standart tabanlı bir LPWAN teknolojisidir. eGPRS tabanlıdır ve IoT iletişimleri için yüksek kapasiteli, uzun menzilli, düşük enerjili ve düşük karmaşık yapıya sahip hücrel bir sistem olarak tasarlanmıştır. EC-GSM-IoT'de yapılan ve mevcut GSM şebekelerine yapılması gereken optimizasyonlar bir yazılım yükseltmesi olarak yapılabilmektedir. Ayrıca kapsama alanı sağlanmaktadır ve pazara çıkış süresi hızlandırılmaktadır. Bu standart ile çok çeşitli kullanım durumları için 10 yıla kadar pil ömrü desteklenebilir. EC-GSM-IoT ağ denemeleri, 2017 için planlanmış ilk ticari girişimlerle başlamıştır. Tüm büyük mobil donanım, yonga seti ve modül üreticileri tarafından desteklenen EC-GSM-IoT ağları, gelecek nesil hücrel mobil ağlar için de varlığını sürdürebilir. Ayrıca, kullanıcı kimliği gizliliği, varlık doğrulama, gizlilik, veri bütünlüğü ve mobil donanım tanımlama desteği gibi tüm güvenlik ve gizlilik mobil ağ özelliklerinden yararlanacaktır [22].

3.5. LoRa Standardı

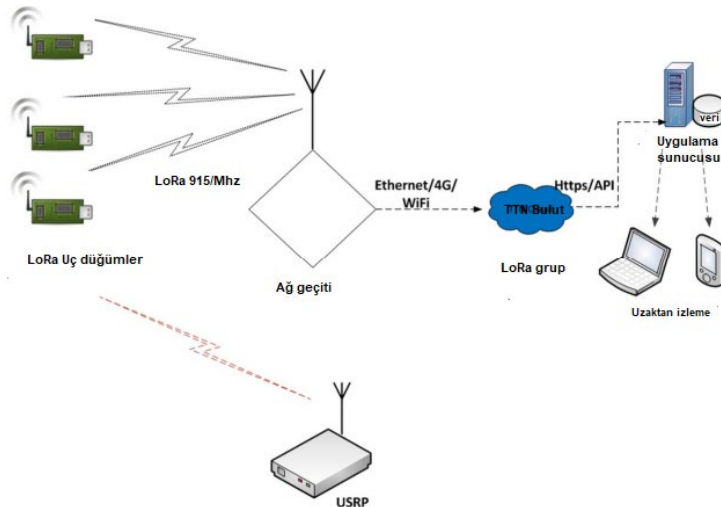
LoRaWAN hücrel olmayan bir LPWAN teknoloji standardıdır. Özellikle pille çalışan cihazlara yöneliktir ve karmaşık yerel kurulumlara gerek kalmadan IoT çözümleri arasında birlikte çalışabilirlik sağlar. LoRa cihazları şifreleme ve kimlik doğrulaması için SIM veya MIM olmadan çalıştığından, genellikle ek bir dijital güvenlik katmanı gerektirir. LoRa, tescilli bir yayılma spektrumu tekniğini yani lisanslı olarak kullanılarak alt-GHz ISM bandındaki sinyalleri modüle eden fiziksel bir katman teknolojisidir. LoRa, Sigfox gibi, Avrupa'da 868 MHz, Kuzey Amerika'da 915 MHz ve Asya'da 433 MHz olmak üzere lisanssız ISM bantlarını kullanmaktadır [22,23].

4. LoRa Kullanan Bilişsel Radyo Ağlarının Spektrum Algılaması

Bu bölümde, LoRa standardı kısaca açıklanarak WAN tabanlı spektrum algılama mimarisi sunulmuştur. Ayrıca, CRN'lerin LoRa ile spektrum algılama yöntemi de verilerek çalışma için gerekli materyal ve metot oluşturulmuştur.

Birçok kablosuz IoT uygulaması, birkaç aydan birkaç yıla kadar değişen uzun pil ömrü gerektirir. Bu tür uygulamalar, Long Range (LoRa) teknolojisinin yükselişi de dâhil olmak üzere düşük güçlü geniş alan ağlarındaki son gelişmeleri motive etmiştir. Bundan ötürü CRN'lere uyumlu çalışabilen LoRa bu çalışmanın ilgi odağı olmuştur.

Şekil 2, LoRa tabanlı bir WAN mimarisini göstermektedir.

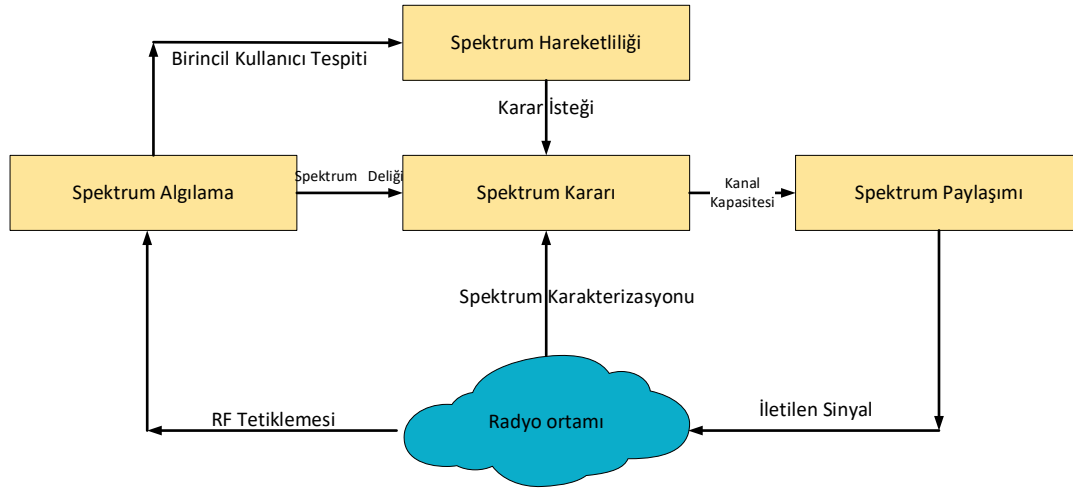


Şekil 2. Örnek bir LoRa ve WAN tabanlı spektrum algılama mimarisi [23]

Şekil 2'de gösterilen tipik bir LoRa-WAN ağı, uç cihazlar vasıtasıyla kablosuz ortamdan gelen paketleri bir ana taşıyıcı arayüzüne ileten çoklu ağ geçitlerinden oluşur. Bu sayede toplanan bilgileri analiz eden mantıksal olarak merkezileştirilmiş bir sunucu, tüm cihazları ve ağ yapılandırmasını koordine eder. Uç cihazlar, ağa erişim sağlamak için belirli bir ağ geçidiyle ilişkilendirilmez. Ağ geçidi basitçe bir bağlantı katmanı olarak hizmet eder ve uç düğümlerden alınan tüm paketleri ağ sunucusuna iletir. Aynı paketler birden fazla ağ geçidi tarafından da iletilebilir ve merkezi sunucu, yinelenen paketleri algılamaktan ve aşağı bağlantı paketlerini iletmek için uygun ağ geçidini seçmekten sorumludur. LoRa-WAN ağ geçitleri, yapılandırılabilen birden fazla frekans kanalında eşzamanlı olarak almak için birden fazla alıcı-verici ile donatılmıştır. Uç cihazlar ise her iletim aşamasında birden fazla mevcut kanal arasından bir iletim kanalını dinamik olarak seçebilir. LoRa-WAN, cihazların karmaşıklığını ve enerji tüketimini en aza indirmek için basit bir Aloha protokolüne dayanan açık kaynaklı bir MAC katmanı sağlar. Uç düğümler, taşıyıcı algısı gerçekleştirmezler, ayrıca, yukarı bağlantı iletiminden sonra yalnızca belirli zaman pencerelerinde paketleri almak için ortamı dinlerler [24,25]. MAC katmanı A, B ve C olmak üzere üç sınıftan oluşur.

- i) **Sınıf A:** Bir paketin iletilmesinden sonra her uç cihazın bir alındı mesajı (ACK) almak için iki alım penceresi açtığı, ardından boş modda kaldıkları iki yönlü iletişime izin verir.
- ii) **Sınıf B:** Uç aygıtlar, ağ geçidi tarafından sağlanan işaret ile senkronize edilmiş daha fazla alım penceresine sahiptir. Sunucunun uç aygıtların ne zaman dinlediğini bilmesini sağlar.
- iii) **Sınıf C:** Uç cihazlar sürekli olarak alım modunda kalır ve bu da onları pille çalıştırma için uygun hale getirmez.

Bilişsel radyo işlevleri çoğunlukla Spektrum Algılama, Spektrum Yönetimi, Spektrum Hareketliliği ve Spektrum Paylaşımı olmak üzere dört ana işleve ayrılır [25]. Şekil 3, dört CRN işlevi dâhil olmak üzere bilişsel radyo döngüsünü göstermektedir [26, 27]. Bu işlevlerin her biri büyük bir araştırma alanıdır. Bu çalışmada, daha çok spektrum algılaması ve doldurulmasına odaklanılmıştır.



Şekil 3. Bilişsel Radyo Döngüsü

Spektrum algılama, bilişsel radyo tarafından gerçekleştirilen en önemli işlev olarak tanımlanabilir [28]. Bilişsel radyonun çevresindeki herhangi bir değişikliğin farkında olması ve olayları algılaması için spektrum algılaması yapılmalıdır. Spektrum algılama, çevreleyen lisanslı spektrum bandını izlemekten, bilgilerini toplamaktan sorumludur, bu bilgilere dayanarak, Şekil 3'te gösterildiği gibi spektrum deliklerinin kullanılmayan kısmını belirler. Ancak, bazen PU'ların iletimini tespit etmek kolay olmadığı için, spektrum deliklerini tespit etmek basit bir iş değildir. Bu görev, PU'ların iletimine müdahale etmeden yapılmalıdır. Çeşitli araştırmalar, spektrum algılama tekniklerini verici algılama, ortak algılama ve girişim tabanlı algılama olmak üzere üç kategoride sınıflandırmıştır [28,29].

Spektrum algılamanın temel görevi, lisanslı PU'ların belirtilen frekans bandında spektrum kullanımının farkındalığını elde etmektir. SU'lar, spektrum algılama işlemi tarafından sağlanan bilgilere dayanarak spektral deliklerin olup olmadığına karar verebilir. Enerji algılama (ED) algılanan enerjiye dayalı olarak PU sinyalini tespit eden tutarlı olmayan bir yöntemdir [30]. ED yöntemi ile mevcut radyo kaynağının enerjisi ölçülür ve önceden tanımlanmış bir eşik seviyesiyle karşılaştırılır. Ölçülen enerji eşik seviyesinin altındaysa, spektrum mevcut olarak işaretlenir, aksi takdirde enerji seviyesi eşğin üzerindeyken spektrum dolu olarak belirlenir. ED yöntemi, önceden PU sinyali bilgisine ihtiyaç duymaz. Yalnızca bantta alınan enerjiye dayanır. PU yoksa ED yalnızca gürültüyü ölçer, aksi takdirde PU varlığında sinyal artı gürültü enerjisini ölçer. Ortamda PU'nun yokluğu veya varlığı H_0 ve H_1 olmak üzere ikili hipotez ile tanımlanabilir. SU'daki i . cihazdan alınan sinyal Y_i , Denklem 1'deki gibi ifade edilir [31,32].

$$Y_i = \begin{cases} n(i) & H_0 \\ h(i)s(i) + n(i) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

Burada Y_i , algılama alıcısı (SU) tarafından gözlemlenen karmaşık sinyaldir, $h(i)$, kanalın genlik kazancıdır, $s(i)$, iletilen PU sinyalidir ve $n(i)$, ek beyaz Gauss gürültüsüdür (AWGN). H_0 hipotezi altında, PU olmadığı kabul edilir ve alınan sinyal örneği Y_i yalnızca gürültü içerir. Aksine, H_1 hipotezi altında alınan sinyal, gürültü ile birlikte $h(i)$ kanalından sonra iletilen sinyalden oluşur. Spektrum algılama işlemi, alınan sinyali gözlemlemeye dayalı ikili hipotez arasında karar vermeyi içerir. PU'nun varlığı, yalnızca frekans bandı dikkate alınarak alınan güç miktarı hesaplanarak ve bir dizi eşik ile karşılaştırılarak tespit edilebilir. PU'nun doluluğuna karar verecek olan ED için test statistiği T_y , Denklem 2'deki şekilde formüle edilebilir [31,32].

$$T_y = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |Y(i)|^2 \quad (2)$$

Burada N , örnek sayısını temsil eder. Her iki hipotez altında (H_0 ve H_1), test statik T_y , Gauss dağılımı ile Denklem 3 ve 4'teki gibi formüle edilebilir [31,32].

$$T_y|H_0 \sim \xi\left(\sigma_n^2, \frac{\sigma_n^4}{N}\right) \quad (3)$$

$$T_y|H_1 \sim \xi\left(\sigma_x^2 + \sigma_n^2, \frac{(\sigma_x^2 + \sigma_n^2)^2}{N}\right) \quad (4)$$

Burada σ_x^2 ve σ_n^2 , sırasıyla iletilen sinyalin ve AWGN'nin varyanslarını gösterir. Karşılık gelen algılama ve yanlış alarm olasılığı, sırasıyla Denklem 5 ve 6'daki gibi verilebilir [31,32].

$$P_{fa} = \Pr(T_y > \lambda | H_1) = Q\left(\frac{\lambda - \sigma_n^2(1+Y)}{\frac{\sigma_n^2(1+Y_s)}{\sqrt{N}}}\right) \quad (5)$$

$$P_{fa} = \Pr(T_y > \lambda | H_0) = Q\left(\frac{\lambda - \sigma_n^2}{\frac{\sigma_n^2}{\sqrt{N}}}\right) \quad (6)$$

Burada $Q()$, Gauss Q -fonksiyonunu gösterir, λ , önceden tanımlanmış algılama eşigidir ve Y , SU'da ölçülen PU sinyalinin sinyal parazit gürültü oranını (Signal Interference Noise Ratio, SINR) temsil etmektedir.

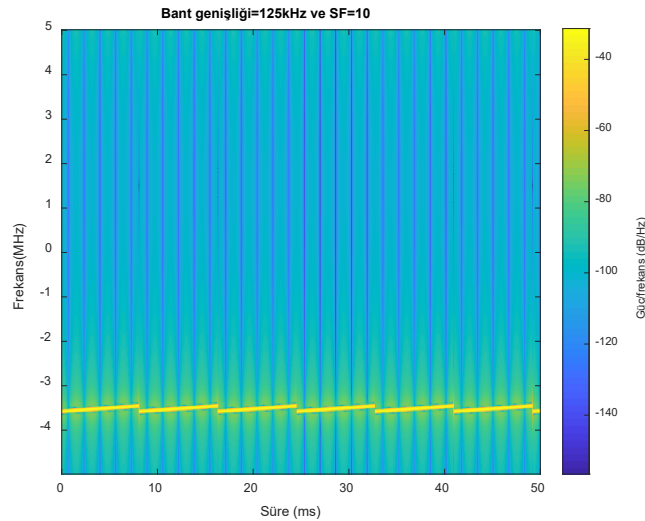
5. Deneysel Uygulama ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, CRN'ler için LoRa-WAN ağı ve spektrum algılaması için yapılan uygulama ve uygulamanın sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmanın uygulaması Matlab yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, 915 MHz monopol antene bağlı çok düşük gürültü oranlı bir SDR kullanılmıştır. LoRa tekniğinde, yayılım faktörleri (SF) 7 ile 12 arasında değişmektedir. Ayrıca LoRa, 125, 250 ve 500kHz'lik bant genişliklerini kullanmaktadır. Bu çalışmada, sıklıkla kullanılan 10 ve 12 sinyal yayılım faktörleri esas alınmıştır. LoRa modülasyon tekniğinde, bilişsel ağlar ile spektrum algılamasının verimliliğini ölçmek adına iki senaryo düşünülmüştür. İlk senaryoda, 125kHz'lik bant genişliğinde ve yayılım faktörü (SF) 10 olduğu bir ağ düşünülmüştür. İkinci senaryoda ise, 250kHz'lik bant genişliğinde ve yayılım faktörü (SF) 12 olduğu bir ağ düşünülmüştür. Bu senaryoların amacı, farklı bant genişliğinde ve yayılım faktörlerindeki sinyal frekans dağılımlarını analiz etmektir. Bant genişliğinin ne kadarının kullanımda olduğunu gözlemleyerek verimlilik analizi yapmak bu çalışmanın muhtevasını oluşturmaktadır. SDR, örnekleri seçilen ölçüme dayalı bir zaman serisi olarak toplamaktadır. Matlab programında kullanılan parametreler Çizelge 1'de özetlenmiştir. Yakalanan sinyalin, tipik bir LoRa ağ geçidinden çok daha düşük olan SDR alıcı ek gürültüsünü içermektedir. Böylece, toplanan örneklerin üzerine AWGN'yi enjekte ederek oluşan fark kapatılmaktadır.

Çizelge 1. Uygulama parametreleri

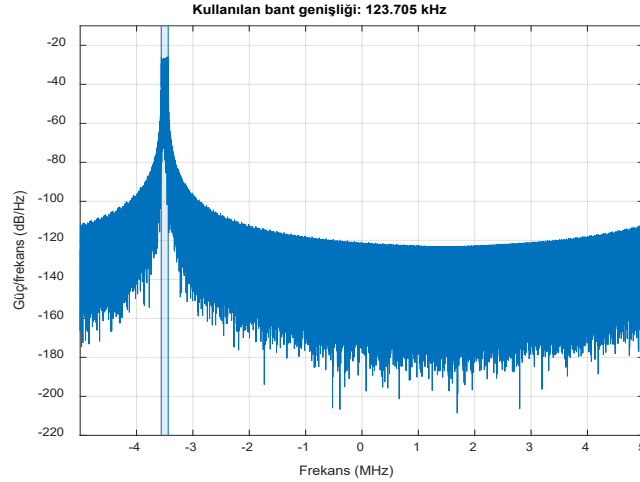
Parametre	Değer	Birim
Frekans bandı	915	Mhz
İletim gücü	6	dBi
Alım hassasiyeti	-146	dBm
SDR örnekleme oranı	20	Mhz
LoRa ağ geçidi ölçülen gürültü rakamı	6	dB
SDR ortalama gürültü	-121	dBm
LoRa ağ geçiti ortalama gürültü	-117	dBm
Mesafe	>15	km



Şekil 4. ISM-bant radyo spektrumunda LoRa iletimlerinin frekans grafiği

İlk senaryoda, toplam 125kHz bant genişliği ve yayılım faktörü (SF) 10 olduğunda LoRa performansı analiz edilmiştir. Şekil 4, ISM-bant radyo spektrumunda LoRa iletimlerinin frekans grafiğini sunmaktadır. 50 ms'lik bir frekans dalgası periyodik olarak görünmektedir.

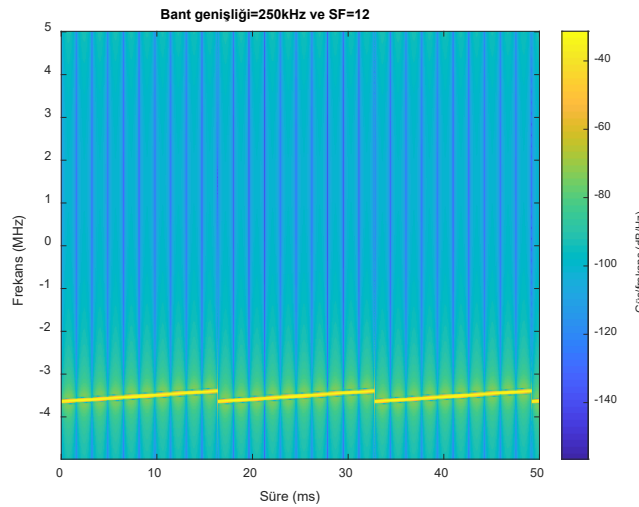
Şekil 5, oluşturulan 13 baytlık bir yüke sahip bir LoRa çerçevesinin iletimini güç/frekans grafiğiyle göstermektedir.



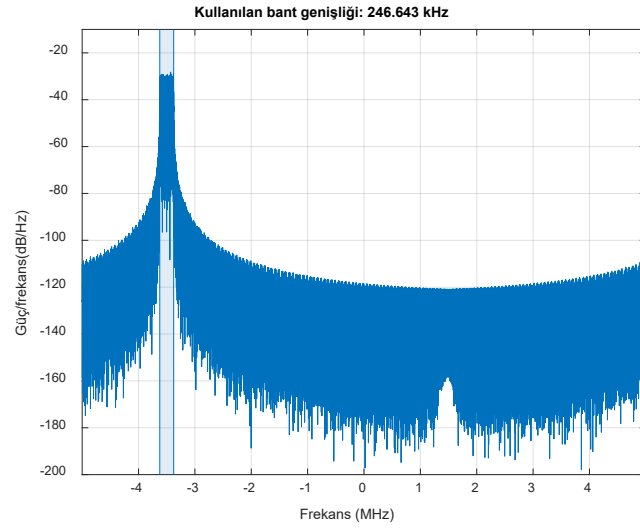
Şekil 5. Oluşturulan 13 baytlık bir yüke sahip bir LoRa çerçevesinin iletimi (Güç/frekans grafiği)

Şekil 5'ten de görüldüğü üzere, kullanılan/meşgul edilen bant genişliği 123.705 kHz olarak hesaplanmıştır. Yani, toplam bant genişliğinin %98.964'ü kullanılmıştır. LoRa'nın performans ölçümlerinin, ağı farklı konfigürasyonları için istatistiksel veriler sunar. Ayrıca, LoRa-WAN ağının sağlayabileceği hizmet kalitesi (QoS) hakkında fikir vermesi gerekir. LoRa-WAN ağına akan paketler LoRa ağ geçidi tarafından alınır ve gönderilir. Benzetimlerde, LE-Tx, gerçek bir LoRa ile aynı olan bir çerçeve oluşturulmuştur.

Diğer yandan, paylaşılan banttaki mevcut trafiğin spektro-zamansal davranışını kaydeden yazılım içerikli radyo kullanılarak yakalanan girişim ölçümlerinden yararlanılmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada, LoRa ağlarda bilişsel spektrum algılama radyo tekniği ile var olan spektrum delikleri doldurulmuş ve kullanıcıların zararlı parazite neden olan hatalara maruz kalması önlenmiştir. İkinci senaryoda ise, toplam 250kHz bant genişliği ve yayılım faktörü (SF) 12 olduğunda LoRa performansı analiz edilmiştir. Şekil 6, ISM-bant radyo spektrumunda LoRa iletimlerinin frekans grafiğini sunmaktadır. Şekil 7'den de görüldüğü üzere, toplam 250kHz bant genişliği ve yayılım faktörü (SF) 12 olduğunda, kullanılan/meşgul edilen bant genişliği 246.643 kHz olarak hesaplanmıştır. Yani, toplam bant genişliğinin %98.657'si kullanılmıştır. Şekil 7, Şekil 6'ya paralel olarak ISM-bant radyo spektrumunda LoRa iletimlerini CRN tabanlı olarak göstermektedir. Şekil 7'den, veri hızı ve frekansı, yayılma faktörüne ve bant genişliğine göre değiştiği açıkça anlaşılmaktadır. Şekil 7'den de anlaşılabacağı üzere frekans dengesi optimum hale getirilmiş ve güç /frekans dengesi kararlı hale getirilmiştir.



Şekil 6. Bilişsel radyo spektrumunda LoRa iletimlerinin frekans grafiği



Şekil 7. Bilişsel radyo spektrumunda LoRa iletimleri (Güç/frekans grafiği)

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu makalede, LPWAN standartlarından biri olan LoRa içerikli CRN'lerin spektrum algılaması için araştırma ve uygulama çalışması yapılmıştır. Çalışmada bahsedilen uygulama, LoRa modülasyonu ve kodlama şemasına dayalı olarak tipik bir LoRa vericisi veya alıcısından oluşur. Kablosuz iletişimdeki enterferansın yalnızca ortalama bir değer olarak gösterilmesine dayanan geleneksel yöntemlerin aksine, bağlantı performansındaki kendiliğinden değişimleri dâhil etme yeteneğine sahiptir. Bant genişliği ve güç dengesi kurularak spektrum algılama ve tespit etmede avantaj elde edilmiştir. Önerilen metodolojiler ve tasarımlar, herhangi bir yayılma CRN'ler için kullanılabilir ve ağ tasarımcılarına ağı fiziksel dağıtımından önce performansını göstermek için daha doğru yöntemler sağlamasına yardımcı olabilir.

Gelecek çalışmalarda, LoRaWAN standardının MAC katman seviyesinde geliştirilmesi amaçlanmaktadır. LoRa sınıflarında çeşitli yöntemlerle değişimler yaratarak zaman slotlarının ayarlanmasıyla, ikinci alım yuvası olan LoRa standardında RX2, iletim yuvası olan Tx çerçevesinden kaldırılması gerçekleştirilebilir. Bu değişiklik, güvenilir bir yer-uydu hattı aktarımı için güncel kanal parametrelerinin toplanmasına izin verebilir. QoS önemli ölçüde iyileştirilebilir, kabul edilen verimli paket sayısı artırılabilir. Ayrıca, spektrum yönetim analizleri yapılabilir ve ikincil kullanıcıların (SU) boş olan spektrumlarından yararlanması sağlanabilir. Literatürde buna benzer araştırmalar benzetim ortamlarında mevcut olsa da bu yöntemleri gerçek ortam ve donanıma uyarlamak ilgi çekici olabilir.

Kaynaklar

- [1] Mekki K, Bajica E, Chaxela F, Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* 2019; 5(1):1-7.
- [2] Sanchez-Sutil F, Cano-Ortega A. Smart regulation and efficiency energy system for street lighting with LoRa LPWAN. *Sustainable Cities and Society* 2021; 70: 102912.
- [3] Sinha R, Wei Y, Hwang S. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT, *J. ICT Expr.* 2017; 3:14-21.
- [4] Queralta JP, Giaa TN, Zoub Z, Tenhunenc H, Westerlunda T. Comparative Study of LPWAN Technologies on Unlicensed Bands for M2M Communication in the IoT: beyond LoRa and

- LoRaWAN. The 14th International Conference on Future Networks and Communications (FNC). August 19-21, Halifax, Canada 2019:343-350.
- [5] Sumathi AC, Vidhyapriya R, Vivekanandan C, Sangaiah AK. Enhancing 4G Co-existence with Wi-Fi/IoT using Cognitive Radio. *Cluster Computing* 2019; 22:11295–11305.
- [6] Onumanyi AJ, Abu-Mahfouz AM, Hancke GP. Low Power Wide Area Network, Cognitive Radio and the Internet of Things: Potentials for Integration. *Sensors* 2020; 20:6837.
- [7] MacCartney GR, Rappaport TS. Rural macrocell path loss models for millimeter wave wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 2017; 35(7):1663–1677.
- [8] Al-Hourani A, Chandrasekharan S, Kandeepan S. Path loss study for millimeter wave device-to-device communications in urban environment. in 2014 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC) 2014: 102–107.
- [9] Al-Hourani A. On the probability of line-of-sight in urban environments. *IEEE Wireless Communications Letters* 2020; 9(8):1178–1181.
- [10] SX1276/77/78/79: 137 MHz to 1020 MHz low power long range transceiver, SEMTECH, 2020, [Online]. Available: <https://www.semtech.com/> [Erişim: Eylül 2, 2021].
- [11] Georgiou O, Raza U. Low power wide area network analysis: Can LoRa scale?. *IEEE Wireless Communications Letters* 2017; 6(2): 162–165.
- [12] Magrin D, Centenaro M, Vangelista L. Performance evaluation of LoRa networks in a smart city scenario. in 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC) 2017: 1–7.
- [13] Beltramelli L, Mahmood A, Gidlund M, Österberg P, Jennehag U. Interference modelling in a multi-cell LoRa system. in 2018 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob) 2018: 1–8.
- [14] Robyns P, Quax P, Lamotte W, Thenaers, W. A multi-channel software decoder for the lora modulation scheme. in Proceedings of the 3rd International Conference on Internet of Things, Big Data and Security IoTBDS,, INSTICC. SciTePress 2018: 41–51.
- [15] Knight M, Seeber B. Decoding lora: Realizing a modern lpwan with sdr. *Proceedings of the GNU Radio Conference* 2016; 1(1).
- [16] Homssi B, Dakic K, Maselli S, Wolf H, Kandeepan S, Al-Hourani A. IoT Network Design using Open-Source LoRa Coverage Emulator. *IEEE Access* 2021: 10.1109/ACCESS.2021.DOI.
- [17] Ruckebusch P, Giannoulis S, Moerman I, Hoebeke J, Poorter E. Modelling the energy consumption for over-the-air software updates in LPWAN networks: SigFox, LoRa and IEEE 802.15.4g. *Internet of Things* 2018; 3(4): 104-119.
- [18] LoRa Alliance, “Specification, LoRaWAN,” LoRaWAN, 2018, [Online]. Available: <https://loralliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf> [Erişim: September 17, 2021].
- [19] Souza Sant’Ana JM, Hoeller A, Souza RD, Alves H, Montejo-Sánchez S. LoRa performance analysis with superposed signal decoding. *IEEE Wireless Communications Letters* 2020; 9(11):1865–1868.
- [20] Beltramelli L, Mahmood A, Osterberg P, Gidlund M. LoRa beyond aloha: An investigation of alternative random access protocols. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 2020:1–10.
- [21] Wang YE, Lin X, Grovlen A, Sui Y, Bergman J. A primer on 3GPP narrowband internet of things. *IEEE Commun. Mag.* 2016; 55 (3): 117–123.
- [22] Liberg O, Sundberg M, Wang YPE, Bergman J, Sachs J, Wikström G. Chapter 4 - EC-GSM-IoT performance, *Cellular Internet of Things (Second Edition). From Massive Deployments to Critical 5G Applications* 2020: 125-154.
- [23] LoRa Alliance, LoRa modulation basic, and1200.22,(<http://www.semtech.com>). [Erişim: Ağustos 12, 2021].
- [24] Cavo L, Fuhrmann S, Liu L. Design of an area efficient crypto processor for 3GPP-LTE NB-IoT devices. *Microprocessors and Microsystems* 2020; 72: 102899.
- [25] Sethi A, Jain SK, Vijay S. Secure Self Optimizing Software Defined Framework for NB-IoT Towards 5G. *Procedia Computer Science* 2020; 171: 2740-2749.

- [26] Akyildiz IF, Lee WY, Vuran MC, Mohanty S. NeXt Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A survey. *Computer Networks* 2006; 50(13): 2127–2159.
- [27] Rao R, Cheng Q, Kelkar A, Chaudhari D. Cooperative Cognitive Radio Network Testbed. *ICST's Global Community Magazine* 2011: ICaST.
- [28] Akhtar AN, Siddique AM. Spectrum Decision Framework to Support Cognitive Radio Based IoT in 5G. in *Cognitive Radio in 4G/5G Wireless Communication Systems Book*, 2018.
- [29] Rateb AM. *Introduction to Cognitive Radio Systems*. Universiti Teknologi Malaysia, 2008.
- [30] Almasoud AMM. Robust Provisioning of Multicast Sessions in Cognitive 160 Radio Networks. in *Proceeding of the 10th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC) 2014*:417–422. doi: 10.1109/IWCMC.2014.6906393.
- [31] Tendeng R, Lee Y, Koo I. Implementation and Measurement of Spectrum Sensing for Cognitive Radio Networks Based on LoRa and GNU Radio. *International Journal of Advanced Smart Convergence* 2018;7(3): 23-36.
- [32] Nurelmadina N, Hasan MK, Memon I, Saeed RA, Ariffin KAZ, Ali ES, Mokhtar RA, Islam S, Hossain E, Hassan MA. A Systematic Review on Cognitive Radio in Low Power Wide Area Network for Industrial IoT Applications. *Sustainability* 2021; 13:1-22.

SOĞUK BÖLGELERDE KULLANILACAK SAF BİTÜMÜN MODİFİKASYONU VE BETON ASFALT ÜRETİMİNDE KULLANIMI: B70/100 BİTÜM ÖRNEĞİ

Abdulgazi GEDİK^{1*}

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34469, Türkiye

Geliş Tarihi/Received Date: 29.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 12.11.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.1001934

ÖZET

Trafik yüklerine ek olarak, soğuk iklim bölgelerindeki asfalt kaplamalı yollar termal olarak indüklenen gerilmelere maruz kalmaktadır ki bu da düşük sıcaklık çatlamlarına neden olmaktadır. Bu nedenle, bir takım bitüm modifikasyonları ile bağlayıcının fiziksel ve reolojik özelliklerinin iyileştirilmesi çok önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı, Polimer Modifiye Bitüm (PMB) performansını değerlendirmek ve ardından optimum polimer miktarını tayin etmektir. Bu doğrultuda, standart saf B70/100 penetrasyon dereceli bitüm bu çalışmada %4, %4.5 ve %5 Stiren-Bütadien-Stiren (SBS) ile modifiye edilmiştir. Optimum SBS miktarı tespit edildikten sonra, aşınma tabakası için PMB'li beton asfalt numuneleri standart Marshall tasarım yöntemine göre üretilmiştir. SBS modifikasyonunun etkisini daha fazla araştırmak için Marshall briketlerinin mekanik ve hacimsel özellikleri araştırılmıştır. Genel olarak; %5.2 PMB içeren (%4 SBS ile modifiye edilmiş) asfalt betonunun Türkiye Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) teknik şartnamesine göre uygun performans gösterdiği ve bu karışımların soğuk iklim bölgeleri için umut verici olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Modifikasyon, Polimer, Asfalt aşınma tabakası, Soğuk iklim bölgesi, Marshall metodu

MODIFICATION OF PURE BITUMEN TO BE USED IN COLD REGIONS AND ITS USE IN ASPHALT CONCRETE PRODUCTION: A CASE OF B70/100 BITUMEN

ABSTRACT

In addition to traffic loads, asphalt-paved roads in cold-climatic regions are subjected to thermally-induced stresses, resulting in low-temperature cracks. As such, improving the physical and rheological properties of binder by some bitumen modifications is very essential. The main aim of this study is to evaluate the performance of Polymer-Modified-Bitumen (PMB) and to determine the optimal polymer amount. Accordingly, standard neat B70/100 penetration grade bitumen was modified with 4%, 4.5%, and 5% Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) in this study. After obtaining the optimum SBS amount, the asphaltic specimens with PMB for wearing course were manufactured according to the standard Marshall design method. Mechanical and volumetric properties of Marshall briquettes were evaluated to further investigate the effect of SBS modification. Overall, it is concluded that asphalt concretes containing 5.2% PMB (modified with 4% SBS) performed satisfactorily in line with Turkey General Directorate of Highways' (KGM) technical specifications and they are promising for cold-climatic regions.

Keywords: Modification, Polymer, Asphalt wearing course, Cold-climatic region, Marshall method

1. Giriş

Beton asfalt üretiminde kullanılan bitümlü bağlayıcının türü ve kimyasal bileşimi esnek kaplamalı yolların trafik yüklerine ve çevre koşullarına dayanıklılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Geçmişte saf geleneksel bitüm ile yapılan asfalt kaplamalar gerekli teknik şartnameleri sağlamaktaydı ve o zamanlar yaygın olan dingil yükleri altında tatmin edici bir performans sergileyebilmekteydi.

*e-posta: gedikab@hotmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1429-034X>

Ancak saf bitüm ile yapılan asfalt kaplamalar son yıllarda artan trafik hacmi ve dolayısıyla artan trafik yükü nedeniyle istenilen performansı artık karşılayamaz hale gelmiştir [1]. Ayrıca saf bitümle yapılan kaplamalarda yolun servis ömrü süresince ağır bakım ve/veya onarım gerektiren bozulmalar tespit edilmiştir.

Bu nedenle karayolu kuruluşları ekonomik, çevre dostu, yeni uluslararası şartnamelerle uyumlu, kullanışlı, pratik ve uygun maliyetli teknik yöntemler ışığında saf bitümlü bağlayıcıların mühendislik özelliklerini geliştirmenin arayışı içine girmiştir. Özellikle 1970'lerin başından itibaren dünyanın değişik yerlerinde çeşitli karayolları kuruluşları, asfalt üreticileri ve bilim insanları bu konuya büyük ilgi göstermeye başlamış ve saf bitümün özelliklerini iyileştirmek için değişik modifikasyonlar önermiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan fiziksel modifikasyon; temel olarak polimer (elastomerler ve plastomerler) ve polimer olmayan katkı maddeleri (filler, genişletici, soyulma önleyici ve oksidasyon önleyici ajanlar) muhteva etmelerine göre kategorize edilmektedir. Fiziksel bitüm modifikasyonunda sıkça kullanılan termoplastik elastomer katkı maddeleri; Strien-Butadien-Stirene (SBS), Strien-Butadien-Kauçuk (SBR), Strien-İzopren-Kauçuk (SIS), Stiren-Etilen-Butadien-Stiren (SEBS), Etilen-Propilen-Dien Terpolimer (EPDM), Isobuten-Isopren Copolimer (IIR), Doğal Kauçuk, Ufalanmış Tekerlek Kauçuğu, Polibutadin (PBD) ve Poliisopren olarak sıralanabilir [2]. Fiziksel bitüm modifikasyonuna ilaveten, daha az yaygın olan diğer bir modifikasyon türü ise kimyasal reaktif modifikasyondur [3].

Bitümlü bağlayıcı modifikasyonundaki temel hedef; saf bitümün kıvamını değiştirerek özellikle sıcak havalarda oluşabilecek tekerlek izini ve soğuk havalarda meydana gelebilecek termal çatlakları engellemek, bitüm ve agrega daneleri arasındaki adhezyonu artırarak olası soyulma ve sökülme önüne geçebilmek ve yaşlanma ile oksitlenmeye karşı asfalt kaplamaların direncini arttırabilmektir. Her ne kadar bağlayıcı modifikasyonu ile bitümün vizkoelastik davranışı üzerinde önemli ölçüde iyileşmeler elde edilse de modifikasyon esnasında bazı sorunlarla karşılaşmaktadır ki bunlardan en önemlisi kullanılan modifiye edici ajan ile bitümlü bağlayıcının matrisi arasında görülen uyumsuzluktur. Bu sorun esas olarak modifiye edici ajan ile bitümlü bağlayıcı arasındaki çözünürlük katsayısı, moleküler ağırlık, yoğunluk ve viskozite gibi farklı temel özellikler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Modifiye edilmiş bağlayıcının faz ayırımına duyarlı olup olmadığını tespit etmek için mikroskobik değerlendirmenin yanı sıra bazı stabilite ve uyumluluk testleri bulunmaktadır. Ve bu testler daha çok polimer modifiye bitümlü (PMB) bağlayıcılar üzerinde uygulanmaktadır.

Avrupa, Asya ve Afrika kıtaları arasında bağlantı sağlayan Türkiye, coğrafik konumu itibariyle ulaştırma sektöründe öncül bir role sahiptir. Türkiye'nin özellikle karayolu ağı sistemi; kendi ulusal gelişimi, bulunduğu bölgenin bütünlüğü ve aynı zamanda küresel gelişimin sağlanabilmesi adına anahtar nitelik taşımaktadır. Türkiye'de son yıllarda artış gösteren bölünmüş yol yapım çalışmaları ve dolayısıyla karayolu üstyapı imalatları inşaat sektörüne önemli ivmelenmeler kazandırarak ülke ekonomisinde lokomotif etki oluşturmuştur. 2017 yılında sıcak ve ılık asfaltın toplam üretimi Avrupa Birliği-28 (EU-28) ülkeleri için %3.1 oranında artarak yaklaşık 234 milyon tona; Norveç, İsviçre ve Türkiye dahil olmak üzere tüm Avrupa ülkeleri için ise %5.0 oranında artarak 297 milyon tona yükselmiştir. Aynı yıl Türkiye, toplam 46 milyon ton asfalt üretimi ile tüm Avrupa'da lider ülke olurken Türkiye'yi 42 milyon ton üretimle Almanya ve 33.7 milyon ton üretimle Fransa izlemiştir [4]. Ülkemizde üretilen bu asfalt betonunun büyük bir miktarı modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcılarla üretilmekte olduğundan tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de bitüm modifikasyonu büyük önem arz etmekte olup bu konu hakkında çok önemli bilimsel ve akademik çalışmalar yapılmaktadır.

Literatürde bitüm modifikasyonu için optimal miktarda polimer kullanılmasını vurgulayan birçok çalışma bulunmaktadır. Optimum değer altında polimer kullanılması modifiye edilecek bağlayıcıda arzu edilen performansın elde edilememesiyle sonuçlanabilirken [5, 6], gereğinden fazla miktarda polimer kullanılması depolama stabilitesinde azalmaya, polimer fazının baskın olmasına ve yüksek maliyetlere yol açabilmektedir [7, 8]. Bu nedenle polimer cinsine bağlı olarak bitüm modifikasyonu için genel olarak bağlayıcının ağırlıkça %2-10%'u arasında polimer kullanılması tavsiye edilmektedir [9]. Her ne kadar polimer teknolojisinde yaşanan son gelişmeler bu aralığın %2-%3 arasında olabileceğini işaret etse de %4-%6 arasında polimer kullanımı bitüm modifikasyonu için ideal olarak değerlendirilmektedir [8].

Bu çalışmanın amacı soğuk bölgeler için B70/100 penetrasyon dereceli saf geleneksel bitüm modifikasyonunda kullanılacak Strien-Butadien-Stirene'nin (SBS) optimal miktarını deneysel yöntemlerle bulmak ve elde edilen modifiye bitüm ile üretilen ve aşınma tabakası olarak dizayn edilecek bitümlü sıcak karışımın mekanik ve hacimsel özelliklerini tayin etmektir.

1. Materyal ve Metod

Bu deneysel çalışmada Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B70/100 penetrasyon dereceli saf bitüm temel bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bitüm modifikasyonunda modifiye ajan olarak SBS (Globalprene 3501) bitümün ağırlıkça üç farklı yüzdesi oranında (%4, %4.5 ve %5) kullanılmıştır. Uygulama bölgesi ise Türkiye'de göreceli olarak daha soğuk olan ve karasal iklimin beligin bir şekilde yaşandığı Bingöl İli seçilmiştir. Belirtilen oranlar ile hazırlanan modifiye bitümlere Karayolları Teknik Şartnamesi'nde (KTŞ) belirtilen bitüm deneyleri uygulanmıştır ve bu bağlayıcıların söz konusu yöre için Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından belirlenen PMB 76-28 kriterlerine uygunluğu araştırılmıştır.

400 gram ağırlığındaki saf bitüm etüvde akışkan hale gelinceye kadar 150°C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile ısıtılmıştır. %4, %4.5 ve %5 oranında kullanılacak modifiye ajan miktarları hassas terazide ölçülmüştür. Daha sonra modifiye edici ajan, saf bitüme topaklanma olmayacak şekilde ilave edilerek sabit sıcaklıkta ve sabit hızda (165°C, 1000 dakika/devir) homojen karışım elde edilecek şekilde 1 saat mekanik blendirde karıştırılmıştır. Olası yaşlanmayı, evaporasyonu ve oksitlenmeyi engellemek/minimize edebilmek ve sabit ısılı bir karışım ortamı sağlamak için karışım esnasında mekanik karıştırıcının kapağı kapatılmıştır ve karışımın havayla olan teması engellenmeye çalışılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra ilgili kodlar verilen numuneler ısı ve güneş ışığından etkilenmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir.

2. Modifiye Bitüm Deneyleri

Taze (yaşlanmamış), kısa vadede yaşlandırılmış ve kısa+uzun vadede yaşlandırılmış modifiye bitüm numunelerine hem geleneksel hem de yeni nesil Superpave deneyleri uygulanmıştır.

2.1. Orijinal Bitüm Deneyleri

Taze numunelerin fiziksel özelliklerini belirlemek için özgül ağırlık, parlama noktası, penetrasyon, yumuşama noktası ve elastik geri dönme deneyleri; reolojik davranışlarını tespit etmek için Dinamik Kesme Reometresi (DSR) deneyi yapılmıştır.

TS EN 15326 [10] ve TS EN ISO 2592 [11] standartları doğrultusunda yapılan deneyler SBS oranından bağımsız olarak modifiye edilmiş her bir bitümün 1.01 özgül ağırlığa ve 220°C'nin üzerinde bir parlama noktasına sahip olduğunu göstermiştir.

%4, %4.5 ve %5 oranında SBS ile modifiye edilmiş taze bitüm numunelerine TS EN 1426 [12] standartlarına uygun (100 gram ağırlığın standart bir iğneye 25°C sabit sıcaklıkta 5 saniye uygulanması) olarak yapılan penetrasyon deneyi sonuçları Şekil 1 (a)'da gösterilmiştir. Penetrasyon değerlerinin artan SBS miktarı ile uyumlu bir şekilde değişmediği görülmektedir. %4 SBS içeren modifiye bitümün penetrasyonu 44 d-mm iken 4.5% SBS miktarı penetrasyonu 38 d-mm'e indirmiştir ve 5% oranındaki SBS ise penetrasyonu tekrar arttırarak 45 d-mm'ye ulaşmasını sağlamıştır. Özetle %4 ve %5 SBS içeren modifiye bitümlerin orijinal haldeyken hemen hemen aynı penetrasyon dereceli olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen her bir penetrasyon derecesi KTŞ'de PMB 76-28 için belirlenen alt ve üst limit değerleri (25-55 d-mm) içinde kalmaktadır [13].

Bu çalışmadaki modifiye edilmiş bitümlerin standart yük altında katı kıvamdan işlenebilir bir akışkanlığa geçtiği sıcaklığı tespit etmek için yumuşama noktası deneyi TS EN 1427 [14] standartlarına (su banyosunda 25 mm yükseklikten düşen 3.5 gram ağırlığındaki standart bilye) uygun

olarak tatbik edilmiştir. Şekil 1 (b)'den de anlaşılacağı üzere SBS miktarındaki artış ile birlikte yumuşama noktasında basamak şeklinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. %4, %4.5 ve %5 SBS içeren modifiye bitümler sırasıyla 72, 75 ve 77°C'de 3.5 gram ağırlığındaki standart bilyeleri artık taşıyamaz hale gelmiştir ve anılan sıcaklıklar bu bağlayıcılar için yumuşama noktası olarak tayin edilmiştir.

Bitümlü bağlayıcılar vizkoelastik bir malzeme olup yüksek yükleme hızlarında elastik davranış sergileyebilmektedir. Bir başka deyişle; belirli bir yük altında deformasyona uğrayan bitüm, maruz kaldığı yük üzerinden kaldırılınca elastik davranışı nedeniyle yüklemmeden önceki eski haline geri dönebilmektedir. Bitümün bu elastik geri dönme davranışı, genellikle bağlayıcının yorulma direncinin değerlendirilmesi veya herhangi bir çatlama ve/veya deformasyon olmaksızın büyük basınçları ne kadar absorbe edebileceğinin bir ölçütüdür. Bitüm modifikasyonunda kullanılan bir takım özel modifiye edici ajanlar gerek morfolojik gerek kimyasal gerekse fiziksel özellikleri nedeniyle modifiye edilmesi hedeflenen bağlayıcılara önemli bir miktarda elastik geri dönme özelliği kazandırabilmektedir. Bilhassa SBS çok yüksek elastik geri kazanımla sonuçlanan çok yüksek bir elastik butadien zincirleriyle sert stiren alanlarına bağlanarak üç boyutlu bir ağ oluşturabilmektedir [2]. Bu çalışmada TS EN 13398 [15] standartları doğrultusunda yapılan 25°C test sıcaklığında, %4 oranındaki SBS %82 oranında elastik geri dönme kazandırırken modifiye ajanın miktarındaki artış elastik davranışta ilave bir artış oluşturmamıştır bilakis küçük bir oranda düşüşe yol açmıştır. Şekil 1 (c)'de de görüleceği üzere %4.5 ve %5 oranında SBS'in kullanılması aynı miktarda (%80) elastik geri dönme ile sonuçlanmıştır ki bu değer KTS'de PMB 76-28 için belirtilen şartları yerine getirmektedir (min. %80) [13].

Modifiye edilmemiş saf bağlayıcıların yük altındaki davranışları göreceli olarak daha basit olup yukarıda belirtilen geleneksel test metodlarıyla (penetrasyon, yumuşama noktası ve elastik geri dönme gibi) tahmin edilebilmektedir. Ancak modifiye edilmiş bitümlerin sınıflandırılması, uluslararası teknik şartnamelere uygunluğu ve reolojik özelliklerinin tesbiti daha karmaşık olduğundan bu tür bağlayıcıların vizkoelastik davranışlarını ölçmek için daha spesifik deney yöntemleri gerekmektedir. Hal böyle olunca bu çalışmada yüksek sıcaklıklarda meydana gelebilecek tekerlek izi (oluklanma) dayanımını ölçmek için SBS ile modifiye edilmiş numunelere DSR testi uygulanmıştır. Tekerlek izi; beton asfalt kaplamalarda kalıcı deformasyonların ve/veya konsolidasyonların yol kaplaması üzerinde zamanla birikmesine bağlı olarak ortaya çıkan önemli bir bozulma türüdür. Her ne kadar tekerlek izi yetersiz kaplama kalınlığı, sıkıştırma eksikliği ve uygunsuz asfalt karışım dizaynından kaynaklansa da bitümlü bağlayıcıların rolü büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle orijinal bitümler için 10 rad/sn'de yapılan DSR testindeki tekerlek izi parametresinin ($G^*/\sin\delta$) en az 1.0 kPa olması istenmektedir. Şekil 1 (d)'de görüleceği üzere $G^*/\sin\delta$ değerinin en az 1.0 kPa olduğu sıcaklıklar %4, %4.5 ve %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümler için sırayla 92.3, 98.3 ve 94°C olup bu yenilme sıcaklıkları KTS'de PMB 76-28 için gereken minimum koşulu ($\geq 76^\circ\text{C}$) yerine getirmektedir [13].

2.2. Kısa Vadede Yaşlandırılmış Bitüm Deneyleri

Bu çalışmada; bağlayıcıların depolanması, sıcak asfalt plentine aktarılması, plentte karıştırılması, karışımın taşınması, serilmesi ve sıkıştırılması işlemleri esnasında maruz kalabileceği kısa vadedeki yaşlanmayı simüle etmek amacıyla numunelere döner ince film halinde ısıtma deneyi (RTFOT) uygulanmıştır. TS EN 12607-1 [16] standartları (8 adet 35 gram bitümün 163°C'de 85 dakika 15 ± 0.2 r/dak hızla döndürülerek ısıtılması) doğrultusunda yaşlandırılmış bu numunelerin daha sonra hem geleneksel hem de reolojik özellikleri tayin edilmiştir.

Şekil 2 (a)'da da görüleceği üzere RTFOT deneyi SBS oranından bağımsız olarak tüm numunelerde %0.4'lük bir kütle değişimine (kayıp) neden olmuştur ki bu değer KTS'de PMB 76-28 için belirtilen şartname limitlerinin (maks. %0.8) altındadır [13]. Kalıcı penetrasyon yüzdesi; 4% ve 4.5% SBS ile modifiye edilmiş bitümler için %61 iken %5 SBS içeren numuneler için %55'dir (Şekil 2 (b)). Elde edilen her bir kalıcı penetrasyon yüzdesi yine KTS'de belirtilen şartname değerini yerine getirmektedir (min. %45) [13].

Şekil 2 (c)'de de görüleceği üzere RTFOT yaşlandırması düşük oranda (%4) SBS ile modifiye edilmiş bitümün yumuşama noktasında önemli bir artışa neden olurken (15°C) bu artış SBS miktarının artmasıyla birlikte kademeli bir şekilde azalmıştır (%4.5 SBS için 11°C; %5 SBS için 9°C).

Yüksek sıcaklıklarda viskoz davranış gösteren bağlayıcının ağır taşıt trafiği altında asfalt betonundaki boşluklara doğru akmasıyla ortaya çıkan oluklanmayı engellemek/minimize etmek için tekerlek izi parametresinin ($G^*/\sin\delta$) RTFOT ile yaşlandırılmış numuneler için 10 rad/s hızla yapılan DSR deneyinde minimum 2.2 kPa olması istenmektedir. Bu çalışmada kısa vadede yaşlandırılmış numunelere uygulanan DSR test sonuçları Şekil 2 (d)'de gösterilmiştir. Tekerlek izi parametresinin ($G^*/\sin\delta$) en az 2.2 kPa olduğu sıcaklıklar %4, %4.5 ve %5 SBS ile modifiye edilmiş numuneler için sırasıyla 107.1, 111.1 ve 109.6°C olup bu sıcaklıklar PMB 76-28 bağlayıcısı için KTŞ'de belirtilen minimum yenilme sıcaklığı (76°C) şartını yerine getirmektedir [13].

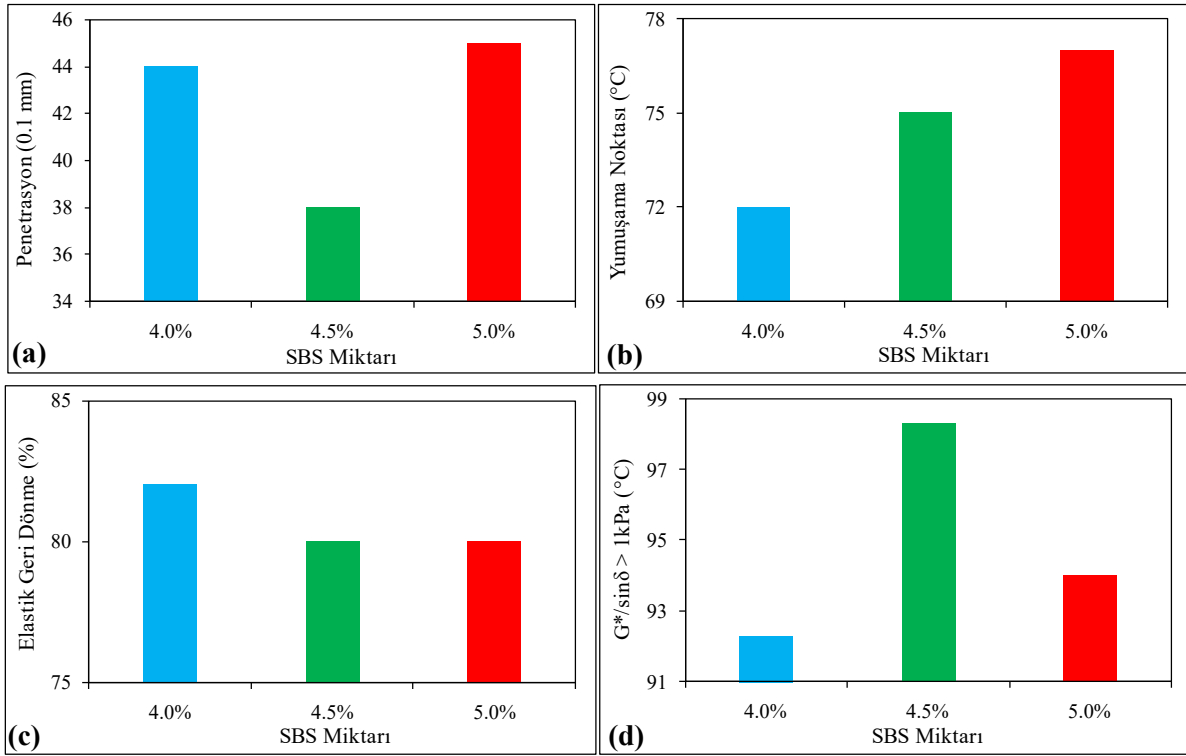
2.3. Kısa+Uzun Vadede Yaşlandırılmış Bitüm Deneyleri

Beton asfalt yolların servis ömrü süresince ortaya çıkabilecek yorulma çatlakları ile düşük ve orta sıcaklıklardaki termal çatlaklara karşı direncini belirleyebilmek için uzun vadede yaşlandırılmış bağlayıcının incelenmesi gerekmektedir. Bağlayıcıları laboratuvar ortamında uzun vadede yaşlandırmak için kullanılan birçok simulator deney bulunmasına rağmen bu çalışmada dünyada ve ülkemizde sıkça kullanılan basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) kullanılmıştır. Daha önceden RTFOT deneyi ile kısa vadede yaşlandırılmış SBS modifiyeli bitüm numunelerine TS EN 14769 [17] standartları doğrultusunda (10 tane 3.2 mm film kalınlığına sahip 50 gram numunenin 2.1 MPa basınca 100°C'de 20 saat maruz bırakılması) PAV uygulanmıştır. Daha sonra kısa+uzun vadede yaşlandırılmış bu numunelerin reolojik özellikleri DSR ve Kiriş Eğilme Reometresi (BBR) testleriyle belirlenmiştir.

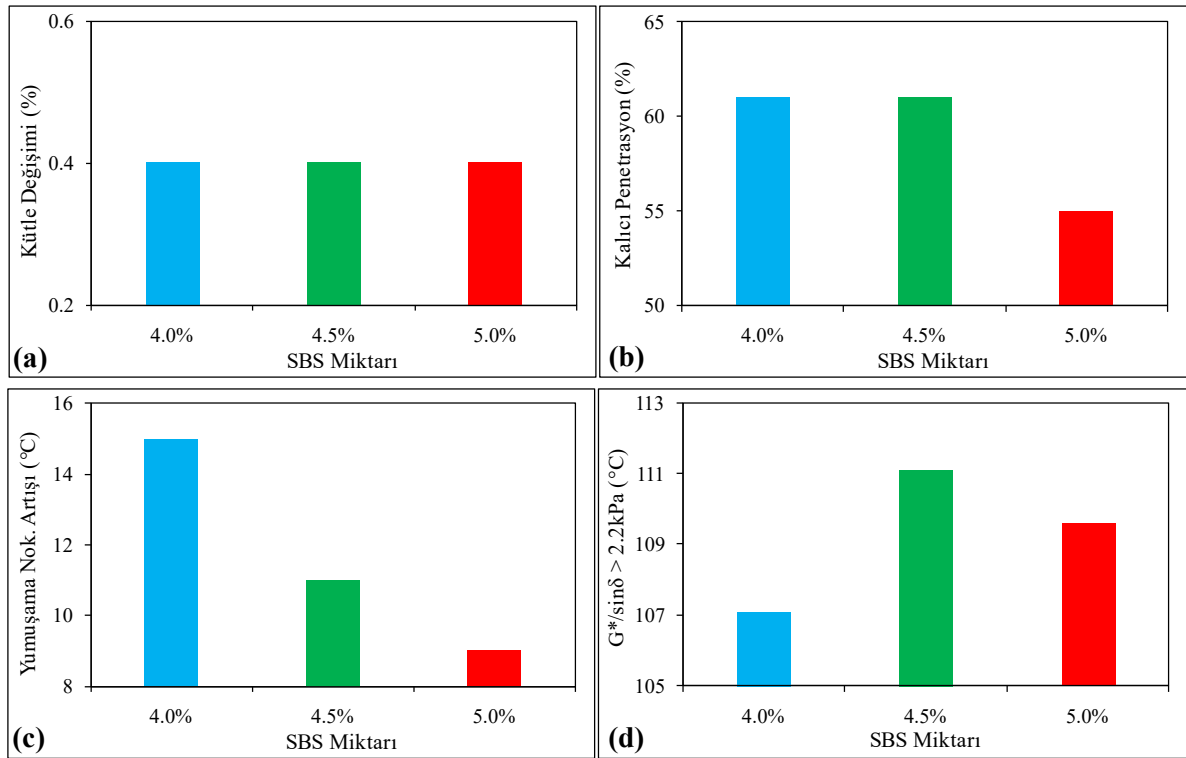
Tekrarlanan trafik yüklerine maruz kalan asfalt kaplamalarda, yorulma nedeniyle birbirleriyle bağlantılı çatlaklar serisi oluşmaktadır. Asfalt kalınlığı daha az olan ince kaplamalarda yorulma çatlakları; çekme gerilmesinin en yüksek olduğu esnek tabakanın tabanından başlamaktadır ve bu çatlaklar daha sonra bir veya daha fazla boyuna çatlak olarak yüzeye yayılmaktadır ki bu tür çatlaklar "aşağıdan yukarıya" veya "klasik yorulma" çatlağı olarak adlandırılmaktadır. Asfalt kalınlığı daha fazla olan kalın kaplamalarda ise yorulma çatlakları; araç tekerleğinin kaplama ile temas ettiği ve bağlayıcının yaşlanmasına bağlı olarak lokalize çekme gerilmelerinin daha çok görüldüğü yüzey noktasından başlayarak "yukarıdan aşağıya" doğru hareket etmektedir. Tekrarlayan yüklemelerden sonra bu boyuna çatlaklar "timsah sırtını" andıran bir desen şeklinde ve çok taraflı keskin açılı parçalar oluşturacak şekilde birleşmektedir [18]. Servis ömrü boyunca esnek kaplamalardaki bu tür yorulma çatlaklarının engellenmesi/minimize edilmesi için 10 rad/s hızla yapılan DSR deneyinde kısa+uzun vadede yaşlandırılmış numunelerin yorulma çatlağı parametresinin ($G^*\sin\delta$) en fazla 5.0 MPa olması istenmektedir.

Bu çalışmada kısa+uzun vadede yaşlandırılmış numunelere uygulanan DSR test sonuçları Şekil 3 (a)'da gösterilmiştir. Yorulma çatlağı parametresinin ($G^*\sin\delta$) en fazla 5.0 MPa olduğu sıcaklıklar %4, %4.5 ve %5 SBS ile modifiye edilmiş numuneler için sırasıyla 11.7, 14.2 ve 13.7°C olup bu sıcaklıklar PMB 76-28 bağlayıcısı için KTŞ'de belirtilen yenilme sıcaklığı şartını ($\leq 28^\circ\text{C}$) yerine getirmektedir [13].

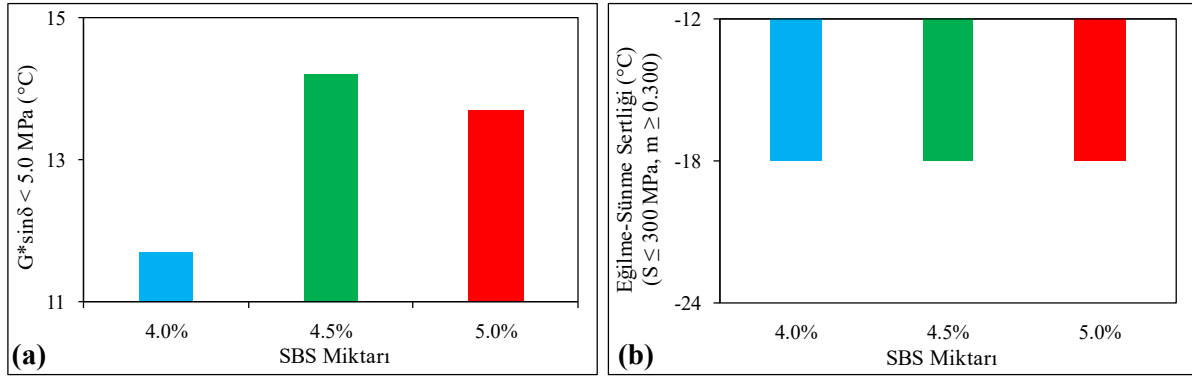
Düşük sıcaklıklarda oluşabilecek termal çatlaklara karşı asfalt kaplamalı yolların performansını belirlemek için BBR testi ile bitümlü bağlayıcıların rijitlik ve sünme özellikleri ölçülmektedir. Bu çalışmada belirli boyutlarda hazırlanan kısa+uzun vadede yaşlandırılmış SBS modifiyeli bitüm kiriş numunelerine TS EN 14771 [19] standartları doğrultusunda BBR testi uygulanmıştır. 240 saniye boyunca sabit yük uygulanan numunelere ait zaman-deformasyon ve zaman-sünme sertliği grafikleri çizilmiştir. 60 saniye sonunda sünme sertliğinin (S) 300 MPa'dan daha düşük olduğu ve sünme oranının (m-değeri) 0.300'dan daha yüksek olduğu yenilme sıcaklıkları tespit edilmiştir. Şekil 3 (b)'de görüleceği üzere SBS oranından bağımsız olarak bu şartların sağlandığı sıcaklık her bir numune için -18°C olup bu değer PMB 76-28 bağlayıcısı için KTŞ'de belirtilen BBR yenilme sıcaklığı şartını ($\leq -18^\circ\text{C}$) yerine getirmektedir [13].



Şekil 1. Orijinal numunelere ait penetrasyon (a), yumuşama noktası (b), elastik geri dönme (c) ve DSR yenilme sıcaklığı (d).



Şekil 2. Kısa vadede yaşlandırılmış numunelere ait kütle değişimi (a), kalıcı penetrasyon (b), yumuşama noktası artışı (c), ve DSR yenilme sıcaklığı (d).



Şekil 3. Kısa+uzun vadede yaşlandırılmış numunelere ait DSR yenilme sıcaklığı (a) ve BBR yenilme sıcaklığı (b).

Sonuç olarak bu çalışmada; soğuk iklimli bölgelerde kullanılması planlanan B70/100 saf bitümün farklı oranlarda (%4, %4.5 ve %5) modifiye edilmesiyle elde edilen numunelerin taze, kısa vadede yaşlandırılmış ve kısa+uzun vadede yaşlandırılmış hallerine uygulanan geleneksel ve reolojik testler neticesinde ve maliyet anlamında daha ekonomik olması nedeniyle modifikasyon için %4 oranında SBS (Globalprene 3501) kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca %4 SBS modifikasyonu, daha az polimer kullanılmasını dolayısıyla homojen bir bağlayıcı elde etmek için karıştırma esnasında daha az enerji tüketimini ve daha az gaz salınımını, bitüm fazı ile polimer fazı arasındaki uyumun artmasını ve depo stabilite probleminin azalmasını sağlayacaktır.

3. Asfalt Karışım Dizaynı

Hveem metoduna ek olarak, Marshall ve Superpave yöntemi, karayolu mühendisliğinde bitümlü sıcak karışım dizaynı için başvurulan en yaygın tasarım yöntemleridir. Her ne kadar ABD'nin birçok eyaleti yakın zamanda tamamıyla Superpave tasarım yöntemine geçmiş olsa da Marshall tasarımının temel ilkeleri dünyanın çoğu yerinde olduğu gibi ülkemizde de halen yaygın bir şekilde uygulanmaktadır [20]. Bu çalışmada da aşınma tabakasında kullanılacak beton asfalt karışım dizaynı için TS 3720'de [21] ayrıntılı olarak belirtilen Marshall tasarım yöntemi kullanılmıştır. Dizaynda; Bingöl İli, Geylan taşocağında üretilen kalker menşeli kaba ve ince agrega ile mineral filler ve %4 oranında SBS kullanılarak hazırlanan PMB kullanılmıştır. Karışım gradasyonunun hazırlanmasında 10 günlük konkasör elek analizi sonuçları esas alınarak %15 oranında 19-12 mm, %45 oranında 12-5 mm ve %40 oranında 5-0 mm dane boyutlu agregalar kullanılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 1'de agregaların kullanım oranları, dizayn gradasyonu ve aşınma tabakası için KGM tarafından belirtilen şartname limitleri verilmektedir.

Çizelge 1'den de görüleceği üzere bu çalışmada seçilen karışım gradasyonu KTŞ'de aşınma tabakası için istenen alt ve üst limit şartlarını yerine getirmektedir [13]. Dizayn gradasyonu doğrultusunda hazırlanan agregalara uygulanan deneyler ve sonuçları, %4 SBS (Globalprene 3501) ile modifiye edilmiş B70/100 bitümlü bağlayıcının temel özellikleri ve karışımın efektif özgül ağırlığı aşağıda Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Karışım Gradasyonu.

Elek		Karışım Gradasyonu (%)	KGM Aşınma Tabak. Limitleri	
İnc/No	Boyut (mm)		Alt (%)	Üst (%)
1 ½"	37.5	100	100	100
1"	25	100	100	100
¾"	19	100	100	100
½"	12.5	91.6	88	100

3/8"	9.5	80.7	72	90
No. 4	4.75	46.7	42	52
No. 10	2	28.5	25	35
No. 40	0.425	14.2	10	20
No. 80	0.180	10.0	7	14
No. 200	0.075	6.3	3	8

Çizelge 1. Devamı.

Çizelge 2. Kaba ve ince agrega, filler, bitüm ve karışımın özellikleri.

Özellik	Birim	Sonuç	Test Metodu
Kaba Agrega			
Los Angeles aşınma kaybı	%	26	TS EN 1097-2 [22]
Yassılık indeksi	%	16	BS 812 [23]
MgSO ₄ don kaybı	%	2.6	TS EN 1367-2 [24]
Soyulma mukavemeti	%	80-85	KTŞ Kısım 403 Ek-A [13]
Metilen mavisi	g/kg	0.5	TS EN 933-9 [25]
Hacim özgül ağırlığı	-	2.671	TS EN 1097-6 [26]
Zahiri özgül ağırlığı	-	2.736	TS EN 1097-6 [26]
Absorpsiyonu	%	0.89	TS EN 1097-6 [26]
İnce Agrega			
Hacim özgül ağırlığı	-	2.665	TS EN 1097-6 [26]
Zahiri özgül ağırlığı	-	2.747	TS EN 1097-6 [26]
Absorpsiyonu	%	1.13	TS EN 1097-6 [26]
Filler			
Zahiri özgül ağırlığı	-	2.716	TS EN 1097-6 [26]
Bağlayıcı (%4 Globalprene 3501 SBS + B70/100 Bitüm)			
Özgül ağırlığı	-	1.01	TS EN 15326 [10]
Penetrasyonu (25°C)	0.1 mm	44	TS EN 1426 [12]
Yumuşama noktası	°C	72	TS EN 1427 [14]
Elastik geri dönme (25°C)	%	82	TS EN 13398 [15]
Parlama noktası	°C	220+	TS EN ISO 2592 [11]
DSR yenilme sıcaklığı	°C	92.3	TS EN 14770 [27]
Karışım			
Efektif özgül ağırlığı (deneyle)	-	2.706	ASTM D2041 [28]
Efektif özgül ağırlığı (hesapla)	-	2.705	ASTM D2041 [28]

Hazırlanan bu gradasyon ve seçilen bitüm tipi ile optimum bağlayıcı oranını tespit etmek için Marshall briketleri hazırlanmıştır. Kaba ve ince agrega, mineral filler ve bağlayıcı 160°C sıcaklıkta karıştırılmıştır ve elde edilen karışımın her iki yüzüne otomatik Marshall kompaktörü ile 75 darbe vurularak numuneler 150°C'de sıkıştırılmıştır. Karışımın toplam ağırlığının %4, %4.5, %5, %5.5, %6 ve %6.5'ı oranında bağlayıcı içeren 6 farklı numune hazırlanmıştır. Her bir bağlayıcı oranı için üçer adet aynı numune olmak üzere toplam 18 adet Marshall numunesi laboratuarda üretilmiştir.

Farklı bitüm yüzdeleri ile hazırlanan standart numunelerin (63.5 mm yükseklikte ve 101.6 mm çapında) statik yükleme altında mekanik ve hacimsel özelliklerini tespit etmek amacıyla ASTM D6927 [29] standartları (60°C sıcaklıkta 50.8mm/dak. deformasyon hızı olacak şekilde sabit yükleme) doğrultusunda Marshall testi yapılmıştır. Deney sonucunda her bir karışıma ait Marshall stabilite,

akma, agregalar arası boşluk oranı (VMA), bitümlü dolu boşluk oranı (VFB), boşluk oranı ve hacim özgül ağırlığı tespit edilmiş olup değişen bitüm oranlarına göre ilgili grafikler sırasıyla Şekil 4 (a), (b), (c), (d), (e) ve (f)'de gösterilmiştir.

Kırılma anındaki maksimum direnci ifade eden stabilitenin; bitüm miktarının artmasıyla önce arttığı, sonra zirve yaptığı ve sonra da düşüş eğilimine geçtiği görülmektedir. %5.5 bitüm kullanılması durumunda elde edilen en yüksek stabilite değeri (1697 kg); distorsiyon, deformasyon, tekerlek izi ve kesme gerilmesine karşı karışımın önemli bir dayanma gücünün olacağını işaret etmektedir. Her ne kadar en düşük (%4) ve en yüksek (%6.5) bitüm içeriğiyle hazırlanan Marshall numuneleri göreceli olarak daha düşük stabiliteli (1544 ve 1527 kg) olsa da KTŞ'de aşınma tabakası için belirtilen şartları yerine getirmektedir (min. 900 kg) [13].

Marshall numunesinin kırılma esnasındaki çökme ya da sıkışma oranı akma miktarı olup bu parametre beton asfalt kaplamalı yolların trafik yükleri altındaki plastik ve elastik davranışı hakkında önemli bir fikir vermektedir. KTŞ'de aşınma tabakası için hazırlanan numunelerin en az 2.00 mm en fazla ise 4.00 mm akma değerinde olması istenmektedir [13]. Bu çalışmadaki numunelerin akma miktarının en az 2.69 mm olduğu, artan bitüm yüzdesi ile birlikte neredeyse lineer bir şekilde yükseldiği ve en yüksek bitüm oranında 3.61 mm'ye ulaştığı görülmüştür.

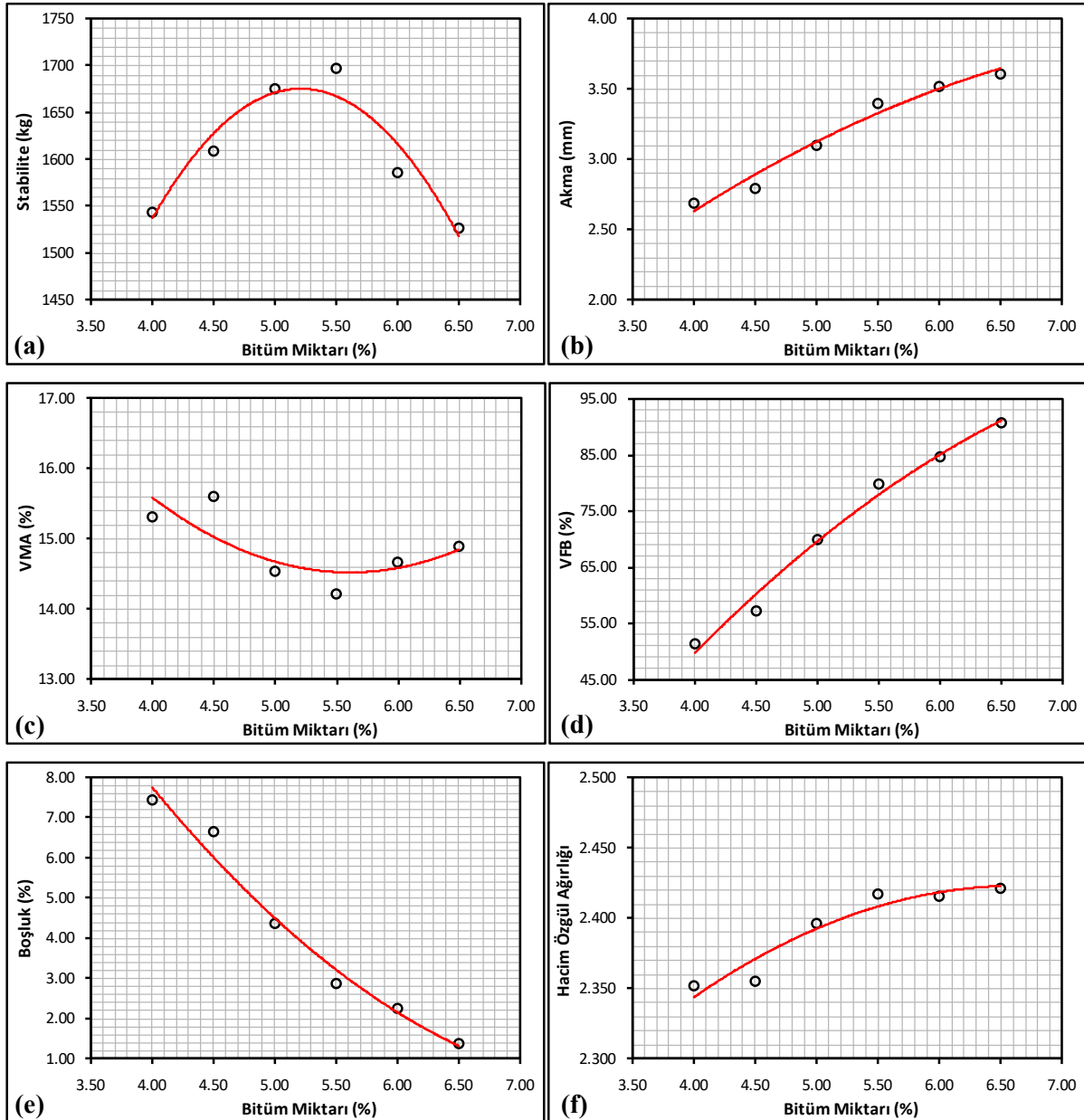
Marshall karışım tasarımında uygun bir VMA içeriğinin belirlenmesi, trafik yükleri altındaki esnek kaplamalarda kasma veya terleme eğilimi göstermeyecek yeterli bir bitümlü film kalınlığı elde edilmesi açısından çok önemlidir. Bu nedenle KTŞ; aşınma tabakası için hazırlanacak beton asfalt numunelerindeki agregalar arasındaki toplam intergranüler hava boşluğu hacminin (hava boşluğu hacmi + agregalarca tutulmamış bitüm hacmi) %14 ile %16 arasında olmasını şart koşmaktadır [13]. Şekil 4 (c)'de de görüleceği üzere bağlayıcı oranından bağımsız olarak bu çalışmadaki tüm numuneler bu şartı sağlamaktadır. Ancak bitüm oranının %4'den %5.5'e artırılması VMA'da bir düşüşe neden olurken %5.5'dan daha fazla bir bitümün kullanılması VMA'da küçük bir artışa yol açmaktadır.

VMA'nın efektif bitüm ile doldurulmuş kısmının oransal karşılığı olan VFB, diğer bir hacimsel parametredir. Bu çalışmadaki asfalt numunelerinde artan bağlayıcı miktarına karşılık VFB değerinde neredeyse doğrusal bir artış görülmüştür. %4 oranında bitüm kullanıldığında %51.3 VFB görülürken; bağlayıcı miktarının %0.5'er oranda artırılmasıyla VFB değeri %57.3, %70, %79.9, %84.7 ve %90.8 değerine yükselmiştir. Aşınma tabakasında kullanılacak beton asfalt numuneleri için VFB değerinin KTŞ'de %65 ile %75 arasında olması şart koşulduğu için bu koşulu sadece %5 oranında bağlayıcı içeren karışım yerine getirebilmektedir [13].

Bitümlü sıcak karışımların uygun bir hava boşluğu içerecek şekilde tasarlanması; karışımın nihai performansı, permabilitesi, durabilitesi ve stabilitesi açısından büyük önem arz etmektedir. Yüksek orandaki bir boşluk; havanın ve suyun bitümlü karışıma daha fazla penetre olmasına ve dolayısıyla daha fazla hasarın oluşmasına sebep olabilmektedir. Diğer taraftan düşük bir boşluk oranı; özellikle sıcak iklimlerde ve ağır taşıt yükleri altında karışımdaki bağlayıcının yüzeye çıkmasına yani asfaltın kusmasına neden olabilmektedir. Sıkıştırılmış asfalt numunesindeki nihai hava boşluğu üzerinde birçok faktör etkili olabilmektedir ki bunlar arasında kullanılan bitümün miktarı ve cinsi ile mineral fillerin oranı ve türü büyük önem arz etmektedir [30]. Aşınma tabakası için dizayn edilecek numunelerin KTŞ'ye göre en az %3 en fazla ise %5 oranında bir hava boşluğu içermesi istenmektedir [13]. Bu çalışmadaki numunelerin hava boşluğunun, artan bitüm oranı ile hemen hemen doğrusal bir şekilde azaldığı ve en az %1.38 en fazla ise %7.45 oranında olduğu görülmüştür. Ayrıca hazırlanan numuneler içinde sadece %5 bağlayıcı karışımın KTŞ'de belirtilen hava boşluğu şartnamesini yerine getirdiği anlaşılmıştır.

Numelere ait hacim özgül ağırlığı değerleri incelendiğinde düzenli bir değişimin görülmediği ve yüksek bağlayıcı oranlarında daha kompakt karışımlar elde edileceği tespit edilmiştir (%4, %4.5, %5, %5.5, %6 ve %6.5 bitüm oranında sırasıyla 2.352, 2.355, 2.396, 2.417, 2.416 ve 2.421).

Sonuç olarak aşınma tabakasında kullanılması düşünülen beton asfaltın Marshall tasarım metoduna göre 2x75 darbeyle yapılan karışım dizaynında optimum bitüm oranı; kuru agregaya göre ağırlıkça %5.2 (100 gram kuru agrega + 5.2 gram modifiye bitüm) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Marshall grafikleri: Stabilite (a), akma (b), VMA (c), VFB (d), boşluk (e) ve hacim özgül ağırlığı (f).

4. Sonuçlar

Soğuk iklimli bölgelerde servis sunan asfalt kaplamalı yollar için düşük sıcaklık çatlamaları önemli bir bozulma türü olup yüksek maliyetli bakım-onarım çalışmaları gerektirmektedir. Bu nedenle, birçok karayolu kuruluşu bu tür üstyapı sorunlarının miktarını ve şiddetini azaltacak ve asfalt yolların hizmet ömrünü uzatacak farklı ajanlar ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıları kullanmaya başladı. Bu noktadan yola çıkılarak bu çalışmada Türkiye’de kış mevsiminin belirgin olarak yaşandığı Bingöl İli örnek alınmış olup polimer modifikasyonun bitüm ve bitümlü sıcak karışım üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Bağlayıcı modifikasyonunda kullanılacak optimum polimer miktarını tayin etmek için B70/100 penetrasyon dereceli saf bitüm farklı oranlarda SBS (%4, %4.5 ve %5) ile modifiye edilmiştir.

- %4 SBS kullanılması halinde modifiye bitümün elastik geri dönme özelliğinde önemli ölçüde bir artış görülmüştür ki bu durum özellikle soğuk bölgelerde kullanılacak bağlayıcılar için arzu edilen bir durumdur.
- %4 SBS içerikli modifiye bitümün düşük sıcaklıklardaki eğilme sünme sertliğinin %4.5 ve %5 SBS içerikli modifiye bitümünki ile aynı olduğu anlaşılmıştır.
- Dünyada ve ülkemizde sıkça uygulanan bitüm performans deneyleri neticesinde %4 SBS ile modifiye edilmiş bitümün KGM teknik şartnamesinde PMB 76-28 için istenen şartları sağladığı anlaşılmıştır.
- %4 oranındaki SBS; bitümün reolojik özellerine kattığı iyileşmelere ilaveten daha az polimer kullanımını, daha az enerji tüketimini, dolayısıyla daha az gaz salınımını ve daha ekonomik ve çevre dostu bir bağlayıcı modifikasyonunu sağlayacaktır.
- Ayrıca 4% SBS ile modifiye edilmiş bitümün ağırlıkça %5.2 oranında kullanılması ile Marshall dizayn yöntemine göre hazırlanan asfalt karışım numunelerinin KTŞ'de asfalt aşınma tabakası için belirtilen şartları yerine getirdiği tespit edilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda daha ekonomik, kolay erişilebilir, çevre dostu ve uzun ömürlü bir modifiye edici ajanın soğuk bölgelerdeki taş mastik asfalt kaplamalar üzerindeki etkisinin araştırılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Gedik A. Esnek yol üstyapılarında bitüm ile birlikte bağlayıcı olarak optimum sülfür oranının ve performansının belirlenmesi. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.
- [2] Yüknü K, Öztürk T, Komut M. Bitümlü bağlayıcılar laboratuvar el kitabı. Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Araştırma Ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2020.
- [3] Elseifi MA, Flintsch GW, Al-Qadi IL. Quantitative effect of elastomeric modification on binder performance at intermediate and high temperatures. Journal of Materials in Civil Engineering 2003, 15(1): 32-40, doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2003\)15:1\(32\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:1(32)).
- [4] EAPA. Asphalt in Figures 2017, Total Production of Asphalt in Europe and EU-28 from 2001 to 2017, <https://eapa.org/eapa-asphalt-in-figures-2017/>, 2017.
- [5] Oner J, Sengoz B, Rija SF, Topal A. Investigation of the rheological properties of elastomeric polymer-modified bitumen using warm-mix asphalt additives. Road Materials and Pavement Design 2017, 18.5: 1049-1066, <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1206484>.
- [6] Sengoz B, Isikyakar G. Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen. Construction and Building Materials 2008, 22.9: 1897-1905, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.013>.
- [7] İskender E. Bentonit Nanokilinin Elastomerik ve Plastomerik Polimer Modifiye Bitümlerin Depolama Stabiliteleri Üzerindeki Etkisi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019; 7(3): 1187-1203, <https://doi.org/10.29130/dubited.511073>.
- [8] Gokalp İ, Çetin HM, Özinal Y, Gündoğan H, Uz VE. Polimer Modifiye Bitüm Modifikasyonuna Etki Eden Parametreler Üzerine Bir Literatür Araştırması. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 8(2): 954-964, <https://doi.org/10.28948/ngumuh.479148>.
- [9] Kalantar ZN, Karim MR, Mahrez A. A review of using waste and virgin polymer in pavement. Construction and Building Materials 2012, 33: 55-62, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.01.009>.
- [10] TS EN 15326 2010. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yoğunluk ve özgül kütle tayini-Kapiler kapaklı piknometre yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [11] TS EN ISO 2592 2017. Petrol ve ilgili ürünler – Parlama ve yanma noktasının tayini - Cleveland açık kap yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [12] TS EN 1426 2015. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-İğne batma derinliği tayini, Türk Standartları Enstitüsü.

- [13] Karayolları Teknik Şartnamesi, KTŞ. Yol altyapısı, sanat yapıları, köprü ve tüneller, üstyapı ve çeşitli işler. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2013.
- [14] TS EN 1427 2015. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Yumuşama noktası tayini-Halka ve bilye yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [15] TS EN 13398 2018. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar - Modifiye bitümün elastik geri kazanımının belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [16] TS EN 12607-1 2015. Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar - Isı ve hava etkisi altında sertleşme direncinin tayini - Bölüm 1: RTFOT yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [17] TS EN 14769 2012. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar - Basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) ile hızlandırılmış uzun süreli yaşlandırma işlemi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [18] Pavement Interactive. Fatigue Cracking, <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-distresses/fatigue-cracking/>, 2021.
- [19] TS EN 14771 2012. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar - Eğilmede sünme rijitliğinin tayini - Eğilen giriş rheometresi (BBR), Türk Standartları Enstitüsü.
- [20] Deniz MT, Lav AH, Gedik A. Experimental investigation into the impact of compaction energy level on thickness of flexible pavement. *International Journal of Civil Engineering* 2021; 19(3): 357-368, <https://doi.org/10.1007/s40999-020-00570-z>.
- [21] TS 3720 2010. Bitümlü karışımlar - Asfalt betonu - Karışım tasarımı hesap esasları - Marshall yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [22] TS EN 1097-2 2010. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü.
- [23] BS 812 1999. Determination of flakiness of aggregates, British Standard.
- [24] TS EN 1367-2 2010. Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 2: Magnezyum sülfat deneyi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [25] TS EN 933-9 2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 9: İnce tanelerin tayini- Metilen mavisi deneyi, Türk Standartları Enstitüsü.
- [26] TS EN 1097-6 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- [27] TS EN 14770 2012. Bitümler ve bitümlü bağlayıcılar - Karmaşık kesme modülü ve faz açısının tayini - Dinamik kesme rheometresi (DSR), Türk Standartları Enstitüsü.
- [28] ASTM D2041/D2041M-19. Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of asphalt mixtures, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, DOI: 10.1520/D2041_D2041M-19.
- [29] ASTM D6927-15. Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, DOI: 10.1520/D6927-15.
- [30] Gedik A. An exploration into the utilization of recycled waste glass as a surrogate powder to crushed stone dust in asphalt pavement construction. *Construction and Building Materials* 2021, 300: 123980, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123980>.

COMPARISON OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COLD BONDED AND SINTERED LIGHTWEIGHT ARTIFICIAL AGGREGATES

Nihat ATMACA^{1*}, Mais İBRAHİM², Adem ATMACA³

¹⁻²Gaziantep University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Gaziantep, 27010, Turkey

³ Gaziantep University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Gaziantep, 27010, Turkey

Geliş Tarihi/Received Date: 21.10.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 07.12.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.1013239

ABSTRACT

Production of artificial aggregate which has the highest volume ingredient in concrete has gained great importance in the last decades. The fundamental cause for this is to reduce harmful environmental impacts. In addition, artificial aggregates are tried to be used to improve some important features of concrete. In the present study, the physical and mechanical properties of two types of artificial aggregates produced by cold bonding and sintering methods were compared. For this purpose, artificial aggregates pelletized and sintered at different temperatures were produced by using fly ash at different percentages. Dry density, specific density, water absorption and crushing strength tests were carried out to investigate the physical and mechanical properties of the produced artificial aggregates. The results showed that the bulk density and density values of sintered Fly ash artificial aggregates have a trend of rising but the water absorption values have a decreasing trend. The minimum and maximum density values were observed as for 50% sintered at 900 °C and 20 % cold bonded artificial lightweight aggregates respectively. Moreover the highest crushed strength value was measured as 945 N in samples with 50% Fly ash sintered at 900 °C.

Keywords: Artificial aggregate, Fly ash, Cold bonded, Sintered, Water absorption, Crushed Strength

SOĞUK BAĞLAMA VE SİNERLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ HAFİF YAPAY AGREGALARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Beton içerisinde en yüksek hacme sahip olarak yer alan agregaların yapay olarak üretimi son yıllarda çok büyük bir önem kazanmıştır. Bunun başlıca sebebi zararlı çevresel etkileri azaltmaktır. Ayrıca betonun bazı önemli özelliklerini iyileştirmek için de yapay agregalardan faydalanılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada soğuk bağlama ve sinterleme yöntemi ile üretilmiş iki tür yapay agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri kıyaslanmıştır. Bu amaçla farklı oranlarda uçucu kül kullanılarak pelletlenmiş ve farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş yapay agregalar üretilmiştir. Üretilen yapay agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmak için kuru yoğunluk, özgül yoğunluk, su emme ve ezilme mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar sinterlenmiş uçucu küllü yapay agregaların yoğunluk ve özgül yoğunluk değerlerinin artan eğilimde ancak su emme değerlerinin azalan eğilimde olduğunu göstermiştir. En yüksek ve en düşük yoğunluk değerleri sırası ile 900 °C’de %50 sinterlenmiş ve %20 soğuk bağlama ile üretilmiş agregalarda gözlenmiştir. Ayrıca en yüksek ezilme dayanımı 945 N olarak 900 °C’de sinterlenmiş %50 uçucu küllü numunelerde ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Yapay agrega, Uçucu kül, Soğuk bağlama, Sinterleme, Su emme, Ezilme dayanımı

*1 e-mail: atmaca@gantep.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3355-7561>, (Sorumlu Yazar)

2 e-mail: mais.ibrahim@cihanuniversity.edu.iq ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7640-4250>

3 e-mail: aatmaca@gantep.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9624-299X>

1. Introduction

Aggregates are one of the most important ingredient of concrete that covers approximately 75% of the concrete. It is used multifunctional purposes as a constructional material and found naturally as an inorganic granular material or produced as an artificial aggregate. In the past several decades, artificial aggregate and especially lightweight aggregate production have become an important study field in construction industry.

The studies related to manufacturing the artificial lightweight aggregates (ALAs), and the manner of using the industrial wastes focused on the compressive and flexural strengths of the composites. At the same time ductility characteristics of artificial lightweight aggregates could be advanced. In the [1] study, it was found that the compressive, splitting, and the flexural strength values were improved using the sintered fly ash (FA) aggregate as a substituted material for the fine aggregates. Cold bonded pelletization manufacturing technique was utilized to produce ALAs [2]. The cold bonding method process is used as to produce ALAs by pelletization. Pelletization procedure is used to produce artificial lightweight coarse aggregate using FA and it relies on the particle sizes and their distribution. There are some other related parameters with the aforementioned method such as; the particle wettability and the moisture content [3]. The usage of artificial aggregates has been studied by many researchers using different mineral admixtures. Bottom ash from municipal solid waste incinerator has been employed by Cioffi et al. [4]. Kockal and Ozturan [5] investigated different types of lightweight fly ash aggregates and discussed the effects of these aggregates on the behavior of concrete mixtures.

The Physico-mechanical and durability properties of ALAs were examined by reference [6]. FA aggregates may be produced by way of adopting pelletization as the system of merging finer particles into a bigger solid material without applying external force which leads in a light weigh product due to the presence of pores [7] and [8]. The properties of the ALAs are directly influenced by the processing parameters and the curing conditions. Pelletization may be conducted through cold bonding or thermal treatment [9].

Sintering method is a thermal hardening technique which implies exposure of pellets to excessive temperatures (usually up to 1200 °C) in different time periods accordance with the related standart [10, 11 and 12]. 1100°C was regarded as the optimal sintering temperature to reach high density, low water absorption, and greater strength ALAs by reference [10]. High strength concrete, having very high carbonation resistance, could be achieved using sintered fly ash aggregates [11].

In recent years, there has been growing interest in production of environmental friendly materials in engineering. FA is among the most widely used waste material especially in civil engineering applications. In this study, a framework that considers the significance of the use of FA in three different percentages (20-30 and 50) in the production of cold bonded and sintered ALAs. It is expected that the outcome of this study will be helpful for project managers, engineers, and academicians in selecting sustainable alternate aggregate as a building material for infrastructure projects. The lightweight aggregate production processes have been explained

2. Material and Method

A number of techniques have been developed in lightweight artificial aggregate production. In this study an experimental method was used to produce cold bonded and sintered type of artificial lightweight aggregates. The materials and artificial lightweight aggregate production methods are explained in following sections.

2.1. Materials

2.1.1. Cement

The Portland cement type CEM I 42.5 N was chosen in accordance with ASTM Type I in experimental analysis. It has a Blaine fineness and specific gravity as 3430 cm²/g and 3.17 respectively. This cement type encloses quite higher quantity of major silicate compounds and has a normal fineness level which is appropriate for preferred setting and harmless release of hydration heat. The chemical compositions of the cement type and FA involved in the present study are shown in Table 1.

2.1.2. Fly Ash (FA)

The FA used in the manufacturing of ALAs has F class type properties. Its specific gravity was 2.25. The specific properties of the F class FA in compliance with ASTM C618-19 [13] and Portland cement type are shown in Table 1.

Table 1 Chemical composition of Portland cement and FA

Chemical composition (%)	Portland Cement	FA
CaO	62.58	4.24
SiO ₂	20.25	56.20
Al ₂ O ₃	5.31	20.17
Fe ₂ O ₃	4.04	6.69
MgO	2.82	1.92
SO ₃	2.73	0.49
K ₂ O	0.92	1.89
Na ₂ O	0.22	0.58
Loss on ignition	3.02	1.78
Specific gravity	3.15	2.25
Blaine Fineness (m ² /kg)	329	287

2.2. Cold bonded Artificial Aggregate

The cold-bonding pelletization technique was carried out to produce the ALA. An electrical pelletizer pan was used in cold bonded artificial aggregate production (Fig.1). The pan has a diameter and depth as 800 mm and 300 mm respectively. This pan was operated to manufacture the ALAs. The pelletizer pan had a horizontal angle and a rotational speed of 45 degrees and 42 rev/min respectively. To manufacture the ALAs, a combination of 20, 30, and 50% FA by weight of cement was utilized as the dry powdered material. Mix identifications 20F80C, 30F70C and 50F50C are designed according to the percentages of FA and cement. For example, 20F80C means that 20% FA and 80% cement. This mixture of powdered material was poured into the pelletization disc and permitted to be blended till a well-mixed material is reached. In a certain amount of water sprayed onto the cement and mixtures which is served as the coagulant and the spherical pellets were completed on the quit of 10-

min in initial step. The pelletization disc with spherical pellets has been allowed to rotate an additional 10 min, by which the stiff and compacted pellets have been manufactured. The manufactured ALAs are shown in Figure 2. Afterward, these pellets have been saved in the plastic bags (with the 70% relative humidity) immediately the manufacturing process finished. The plastic bags were stored under normal curing room temperature ($22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) 28 days.



Figure 1. Pelletization Disc

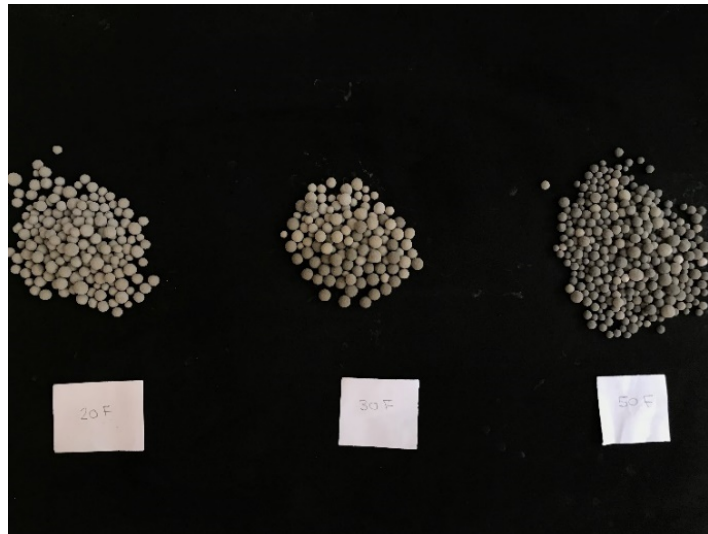


Figure 2. Manufactured cold-bonded ALAs

2.3. Sintered Artificial Aggregate

The effect of sintering on the specific features of the ALAs was produced by heating a series of aggregate samples at three different temperatures of 300, 600, and 900°C. The increasing rate of temperature was set at 10 °C per minute (Fig. 3). After sintering for 1 hour, the hot pellets were kept in the oven for being slowly cooled to the room temperature. The sintered pellets were then tested after

cooling in terms of particle density, water absorption capacity, specific gravity, and crushing strength. The change in color and shape for each type of cold-bonded and sintered ALAs are clearly seen in Fig. 4.



Figure 3. Sintering process of ALAs



Figure 4. The change in color and shape of cold bonded and sintered ALAs

2.4. Test Methods

The ALAs were sieved by using sieve test analyses. The sieved aggregates larger than 4 mm were utilized in manufacturing process of cementitious composite materials. The sieve analyses results of all aggregates are given in Fig. 5.

The dry density, bulk density, water absorption, and crushing strength tests were carried out to investigate some important physical and mechanical features of the produced aggregate pellets. ASTM 127 standart has been applied to the physical properties of ALAs such as ; density, specific gravity, and water absorption.

The density and water absorption of the artificial aggregate pellets were obtained by measuring the dry weight ($W1$), weight of pellets immersed in water ($W2$), and saturated weight after 24 h immersing in water ($W3$). The following relationships were used for calculations:

$$\text{Density} = \frac{W1}{W2-W3} \tag{1}$$

$$\text{Water absorption (\%)} = \frac{W2-W1}{W1} * 100 \tag{2}$$

The crushing strength test was applied on the individual pellets after 28 days curing period finished by placing the pellets between two parallel plates and applying the direct load as shown in Fig. 6. The load was then converted to the crushing strength using the following formula:

$$S = \frac{2.8P_c}{\pi X^2} \tag{3}$$

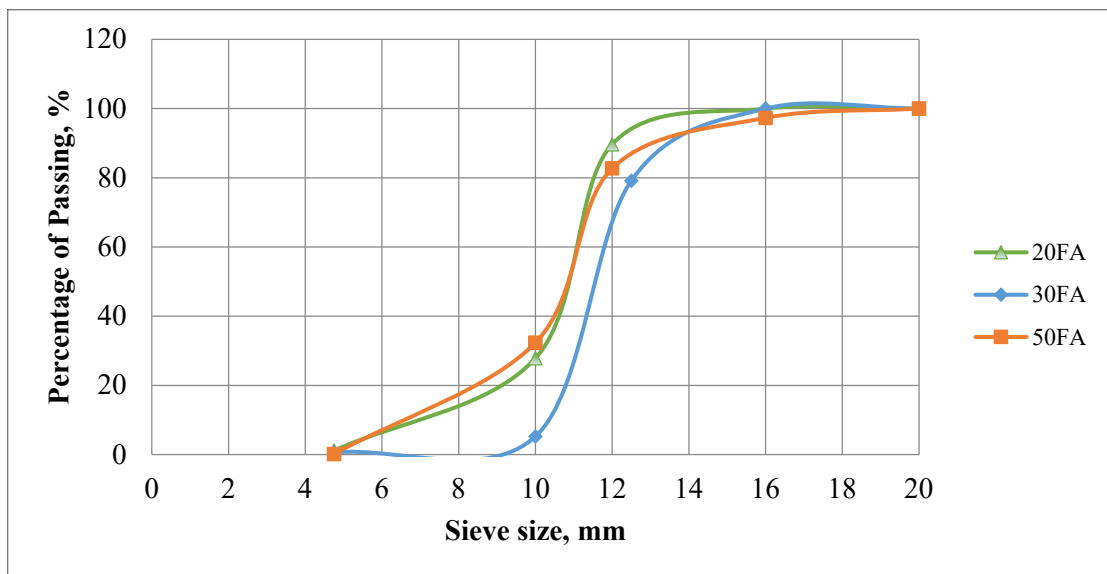


Figure 5. Sieve Sizes of each ALA Types

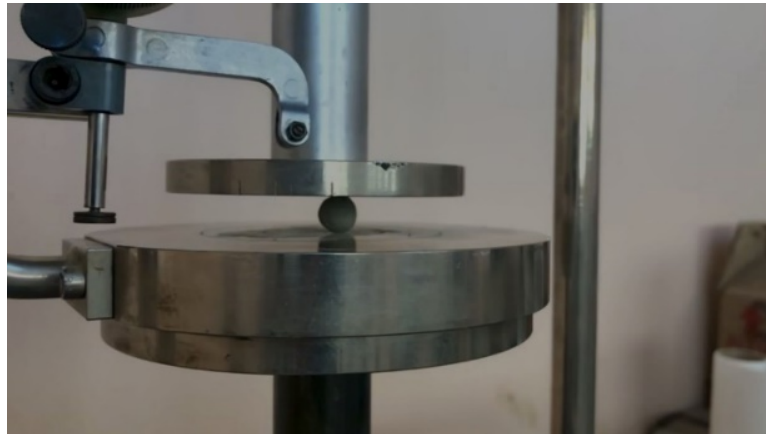


Figure 6. Crushing Strength Test of ALAs

3. Results and Discussions

3.1. Bulk Density

The bulk density results of cold-bonded and sintered ALAs are shown in Fig. 7. The improvement within the density was because of the SiO_2 content in the FA. The SiO_2 content reaction with the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ causes a hydration response of cement and it contributes a strong extend of calcium silicate hydrate gel (C-S-H). As a result of the chemical reactions, it gives a further reduction in the porosity throughout hydration. Minimum and maximum bulk density values are observed as 912.24 and 1012.2 kg/m^3 for cold bonded and sintered artificial aggregates at 900 °C, respectively. It is a fact that FA continues its pozzolanic activities between 14 and 150 days under normal temperature conditions. The improvements of bulk density values in sintered FA lightweight aggregates are higher than the cold bonded pelletized FA lightweight aggregates (Fig. 7). This is obviously due to the high pozzolanic reaction activities of sintered FA lightweight aggregates under high temperature.

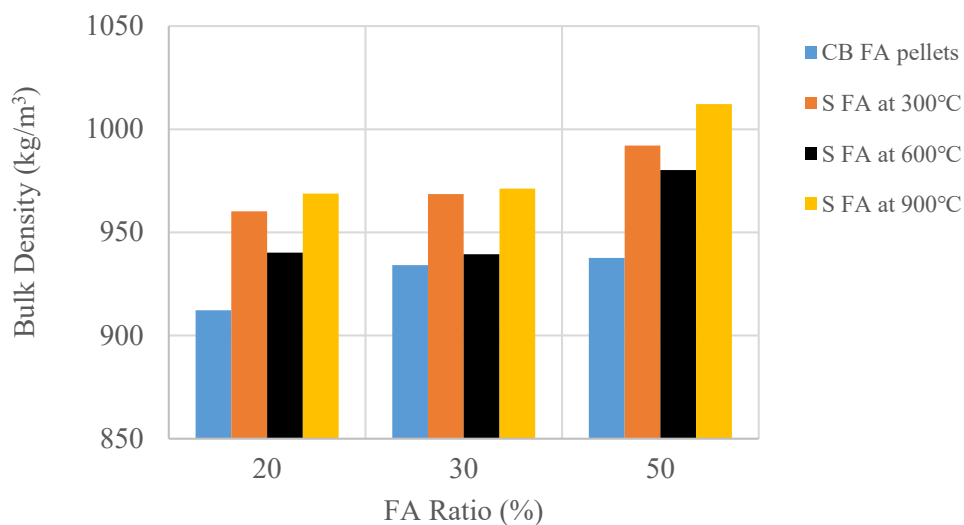


Figure 7. Bulk Density of ALAs

3.2. Water absorption

The water absorption values are shown in Fig. 8. The results also exhibited that 50% FA mix had maximum water absorption equal to 28%. The cement hydration and the pozzolanic reaction of FA generated a denser microstructure due to the higher amounts of the formed C-S-H. A high poro-size causes a higher water absorption percentage. These water absorption results are in accordance with that the bulk density values in which water absorption increases with decreasing bulk density. On the other hand, the water absorption reduces with high temperature of the sintering ALAs (Table 3). The main reason of this result is glassy texture formation on the surface of aggregates at the high temperatures [13]. Furthermore, it is clearly observed that at the higher temperatures of ALAs got smooth with a dense surface. The dense surface formation is due to the gas release and the melting of the raw materials under high temperatures. The high temperatures allow a visible reduction of the water absorption values of sintered FA lightweight aggregates.

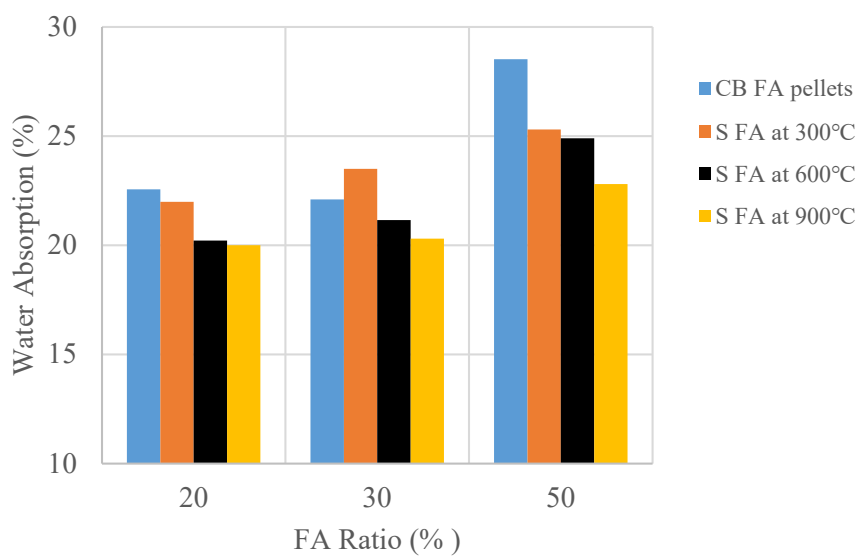


Figure 8. Water Absorption percentages of ALAs

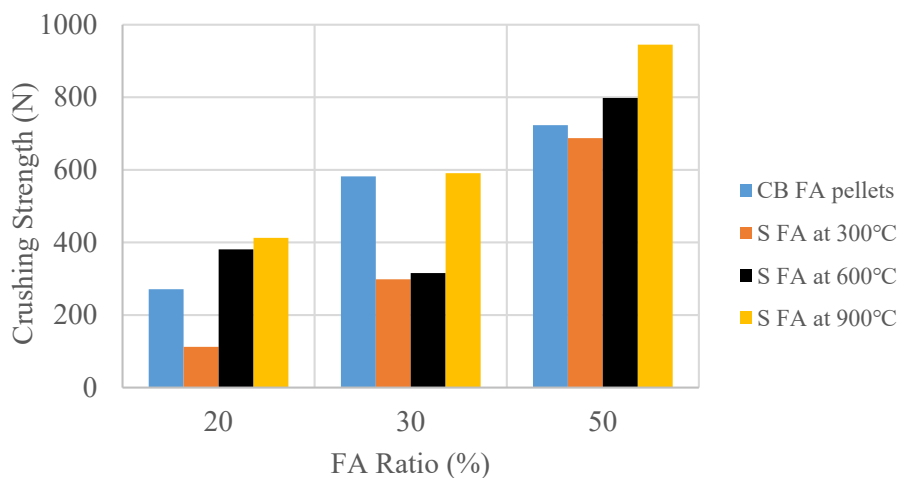


Figure 9. Crushing Strength values of ALAs

3.3. Crushing strength

The crushing strength values of artificial aggregates are shown in Fig. 9. All physical and mechanical results are given in Tables 2 and 3. Portland cement with high percentages of FA lightweight aggregate increases the crushing strength of the artificial lightweight aggregates. The lowest crushing strength has found in the 20% mixture of FA (271.11 N). Addition of 50% FA to the mixture of manufactured aggregates increased the crushing strength by 26% with respect to the crushing strength of the mixture containing 20% FA as seen in Table 2 and Fig. 9. The crushing strength showed significant increase with increasing the temperature. This fact is again related with the increase in puzzolanic activity of FA lightweight artificial aggregates under high temperatures. The 50% FA artificial lightweight aggregate showed crushing strength value as 945 N. The crushing strength results are in a good agreement with the density results. As shown in Table 2, the highest density of each mixture is also consistent with the highest crushing strength. The enhancement in strength occurred by adding FA with high temperature. The reaction with the interior silicate phase of FA lightweight aggregates allows the hydration reaction and production of additional C-S-H gels [14].

Table 2 Physical properties and mechanical results of cold-bonded ALA

Mix ID	Specific Gravity	Apparent Specific Gravity	Density (kg/m ³)	Water Absorption (%)	Crushing Strength (N)
20F80C	1.64	2.62	912.24	22.56	271.11
30F70C	1.66	2.62	934.15	22.10	582.14
50F50C	1.43	2.43	937.59	28.52	722.96

Table 3 Physical properties and mechanical results of sintered ALAs

Tests	Temperature (°C)	Mix ID		
		20F80C	30F70C	50F50C
Bulk Density (kg/m ³)	300	960.2	968.6	992.1
	600	940.2	939.4	980.2
	900	968.8	971.2	1012.2
Water Absorption (%)	300	21.99	23.5	25.3
	600	20.21	21.15	24.9
	900	20	20.3	22.8
Crushing Strength (N)	300	112.3	298.3	687.3
	600	380.87	315.9	798
	900	412.5	590.8	945

4. Conclusions

In this study, FA was selected to be recycled and used in manufacturing two different types of artificial lightweight aggregates; cold pelletized and sintered types. Considering the obtained results, the subsequent conclusions are drawn:

1. All produced aggregate densities were found in the range of 912.24-1012.2 kg/m³. Therefore, according to BS EN 13055-1 (2002), these materials could be utilized to produce ALA since the densities were less than 2,000 kg/m³. The maximum density is achieved in the mixture containing 50% FA sintered at 900°C. On the other hand, the minimum density is observed in mixture containing 20% FA cold-bonded type.
2. The maximum crushing strength is 945 N which belongs to 50% FA sintered at 900°C. The minimum crushing strength is found in 20% FA cold-bonded type of ALA as 271.11 N.
3. It is found that the water absorption increases by increasing the amount of Portland cement in the mixture. This is due to increased amounts of the hydrated products (C-S-H). Maximum and minimum water absorption values are found 20 % and 28 % for 20% FA sintered at 300 °C and 50% FA cold-bonded type artificial aggregate, respectively.
4. Sintered aggregates show a decrease in water absorption with increase in the temperature for all the aggregates mixtures. It is mainly because of the glassy texture formations under high temperatures of sintered aggregates.
5. Further experimental works are planned to be carried out using these ALAs to replace with the coarse aggregates in concrete mixtures with different ratios. These studies could help with examining the effects of artificial aggregates on the durability properties of concrete.
6. A detailed comparison of cost analysis of both types of lightweight artificial aggregates are needed as a future study. The cost analysis results could give very useful information for environmental friendly artificial aggregate production.

Acknowledgement

The authors acknowledge the support provided by the Scientific Research Projects Unit (GUBAP) at the University of Gaziantep.

References

- [1] Basa B, Pradhan N, Priyadarshini Parhi L. Mechanical Properties of Concrete with Sintered Fly Ash Aggregate as Substitute of Natural Fine Aggregate. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020;970.
- [2] Atmaca Nihat. Cold-Bonding Method in Artificial Aggregate Production. UEMK conference, 24/25 October 2019; Vol 3, p:1341-1347.
- [3] Harikrishnan, K.I. and Ramamurthy, K. Influence of pelletization process on the properties of fly ash aggregates. Waste Management 2006; 26-8: 846-852.
- [4] R. Cioffi, F. Colangelo, F. Montagnaro, L. Santoro. Manufacture of artificial aggregate using MSWI bottom ash. Waste Management 2011; 31: 281-288.
- [5] N. U. Kockal, T. Ozturan. Effects of lightweight fly ash aggregate properties on the behavior of lightweight concretes. Journal of Hazardous Materials 2010; 179: 954-965.
- [6] Ul Rehman M, Rashid K, Ul Haq E, Hussain M, Shehzad N. Physico-mechanical performance and durability of artificial lightweight aggregates synthesized by cementing and geopolymerization. Constr Build Mater 2020; 232: 117290.
- [7] Baykal G, Döven AG. Utilization of fly ash by pelletization process; theory, application areas and research results. Resour Conserv Recycl 2000; 30: 59-77.
- [8] Manikandan R, Ramamurthy K. Effect of curing method on characteristics of cold bonded fly ash aggregates. Cem Concr Compos 2008; 30: 848-53.

- [9] Terzić A, Pezo L, Mitić V, Radojević Z. Artificial fly ash based aggregates properties influence on lightweight concrete performances. *Ceram Int* 2015; 41: 2714–26.
- [10] Liu M, Wang C, Bai Y, Xu G. Effects of sintering temperature on the characteristics of lightweight aggregate made from sewage sludge and river sediment. *J Alloys Compd* 2018; 748: 522–7.
- [11] Cheeseman CR, Makinde A, Bethanis S. Properties of lightweight aggregate produced by rapid sintering of incinerator bottom ash. *Resour Conserv Recycl* 2005; 43: 147–62.
- [12] Nadesan MS, Dinakar P. Influence of type of binder on high-performance sintered fly ash lightweight aggregate concrete. *Constr Build Mater* 2018; 176: 665–75.
- [13] Colangelo F, Messina F, Cioffi R. Recycling of MSWI fly ash by means of cementitious double step cold bonding pelletization: Technological assessment for the production of lightweight artificial aggregates. *J Hazard Mater* 2015; 299: 181–91.
- [14] Reddy DMVS, Nataraja DMC, K.Sindhu, V.Harani, K.Madhuralalasa. Performance of Light Weight Concrete using Fly Ash Pellets as Coarse Aggregate Replacement. *Int J Eng Res Technol* 2016; 9: 95–104.

BİLYE ÇEMBER SİSTEMİNİN OPTİMUM PID KONTROLÖR TASARIMINDA KLONAL SEÇİM İLKESİNE DAYALI YARA İYİLEŞTİRME ALGORİTMASININ KULLANILMASI

Mehmet ÇINAR^{1*}

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu,13200, Bitlis

Geliş Tarihi/Received Date: 24.07.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 27.12.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.974192

ÖZET

Sistemleri kontrol etmek için belirsizlikler veya lineer olmayan etkilerle ilgili kontrol stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte geliştirilen optimizasyon algoritmaları kontrol sistemindeki belirsiz matematiksel karakteristikler veya lineersizlik yardımıyla kalıcı durum cevabını geliştirmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapay bağışıklık ilkesine dayanan klonal seçim ilkesi tabanlı geliştirilen yara iyileşme algoritması yardımıyla optimum PID kontrolör tasarlanmıştır. Örnek kontrol sistemi olarak bilye ve çember sistemi (ball and hoop system) kullanılmıştır. PID parametrelerinin geliştirilen algoritma yardımıyla ayarlanabilmesi için amaç fonksiyon olarak integral absolute error (IAE) seçilmiştir. Böylece sistem optimum çözüme hızlı bir şekilde ulaşmış ve zamandan da tasarruf edilmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer algoritmalar ile kıyaslanarak önerilen algoritmanın üstünlükleri ispatlanmıştır. Bunu başarabilmek için Matlab GUI ortamında program yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yapay bağışıklık sistemi, Klonal seçim ilkesi, Yara iyileşme algoritması, PID ayarlama, Bilye çember sistemi*

OPTIMAL TUNING OF PID CONTROLLER USING WOUND HEALING ALGORITHM BASED ON THE CLONAL SELECTION PRINCIPLE

ABSTRACT

Control strategies for uncertainties or non-linear effects need to be developed to control systems. Optimization algorithms developed with the rapid development of computer technology are frequently used to improve the steady-state response with the help of ambiguous mathematical characteristics or nonlinearity in the control system. In this study, the optimum PID controller was designed using the wound healing algorithm based on the clonal selection principle. The proposed algorithm is applied to self-tuning of proportional-integral-derivative-(PID) controller in the ball and hoop system which represents a system of complex industrial processes. In order to adjust the PID parameters with the aid of the developed algorithm, integral absolute error (IAE) has been chosen as the objective function. Thus, the system reached the optimum solution quickly and time was saved. The advantages of the proposed algorithm have been proved by comparing the obtained results with other algorithms. In order to achieve this, a program was written in the Matlab GUI environment.

Keywords: *Artificial immune system, Clonal selection principle, Wound healing algorithm, Tuning of PID, Ball and hoop system*

* e-posta: mcinar@beu.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1542-9120>

1. Giriş

Otomatik kontrol, mühendislik ve bilimin ilerlemesinde önemli bir role sahiptir. Özellikle uzay teknolojisindeki gelişmelerin yanında robotik sistemler, modern üretim ve endüstriyel süreçlerde otomatik kontrol, sürecin önemli ve vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Örneğin, havacılık endüstrisinde kullanılan oto pilot sisteminin tasarımında, sürücüsüz otomobil kontrolünde, imalat endüstrisinde takım tezgahlarının sayısal kontrolünde otomatik kontrol çok önemlidir. Otomatik kontrol teorisi ve pratiğindeki gelişmeler, dinamik sistemlerin optimum performansına ulaşma ve üretkenliği artırma araçları sağlar. Kontrol edilen değişken, ölçülen ve kontrol edilen nicelikler veya durumlar, otomatik kontrol sistemindeki kontrolör tarafından belirlenir. Aslında kontrolörün temel görevi, sistemin kontrol edilen değişken değerini ölçmek ve ölçülen değeri daha önce belirtilen ya da amaçlanan değer ile kıyaslayıp, sapmasını düzeltmek veya sınırlandırmaktır [1]. Kontrolör tasarımı literatürde sıklıkla karşılaşılan bir konudur ve bu konuda pek çok bilimsel çalışma vardır. Özellikle orantılı-integral-türev (PID) kontrolörlerin tasarımı üzerine literatürde çok sayıda çalışma vardır [2,3].

PID kontrolöre ait parametrelerin ayarlanmasına ilişkin maksimum yüzde aşım, yerleşme zamanı, yükselme zamanı, ortalama karesel hata gibi birim basamak cevabı performans ölçütlerini dikkate alan birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları optimizasyon işleminde bu ölçütlerden sadece birini dikkate alırken, bazıları da bahsedilen ölçütlerden bir kaçını birlikte göz önünde bulundurur. Bu yöntemlerin çoğu önceden belirlenmiş kriterlere bağlı olarak sistem için en iyi olan PID parametrelerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Literatürde, PID kontrolör parametreleri iyileştirme yöntemi olarak Ziegler-Nichols ve CHR (Chien-Hrones- Reswick) kuralları sıklıkla kullanılmıştır [4]. Ancak bu yöntemler daha çok temel PID kontrol yapıları için önerilmiş olup, doğrusal olmayan kontrolör yapıları için optimal çözümler sunmamaktadır. PID kontrolör parametrelerini ayarlama işlemi bir optimizasyon problemi olarak kabul edilir.

Optimizasyon algoritmalarının yanı sıra, bilgisayar ve yazılım teknolojisindeki gelişmeler ile kontrolör parametreleri hızlı ve başarılı bir şekilde belirlenebilmektedir. Bilindiği gibi optimizasyon gerçek bir işlevi minimize veya maksimize etmek için fonksiyona değerler yerleştirerek gerçekleştirilen sistematik bir problem çözme sürecidir. Kontrol sistemlerindeki hata, sistemin gerçek ve istenen değeri arasındaki fark olarak ifade edilir. İdeal bir sistemde, hata sıfır olarak kabul edilir. Fakat pratikte bu mümkün değildir. Hatayı en aza indirmek, kontrol sisteminin optimum performansta çalışmasını sağlayacaktır. Optimizasyon tekniği aynı zamanda hata minimizasyonu içinde kullanılmaktadır. Kontrolör, minimum hatayı elde etmek için kontrolör parametrelerine göre tasarlanır. Hesaplama tekniğindeki ilerlemeye paralel olarak bilim ve mühendislik alanındaki uygulamalar hızla artmaktadır. Referans [5]'te, araştırmacılar kök-yer eğrisi ve Bode yaklaşımını kullanarak sürekli zamanlı bir kontrolör tasarlamak için MATLAB tarafından uygulanan bir grafik kullanıcı arayüzü geliştirmişlerdir.

Son yıllarda karmaşık süreçleri tanımlamak ve / veya kontrol etmek için yapay zeka teknikleri sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Doğrusal olmayan sistemlerin kontrolör parametrelerinin ayarlanması, kontrol teorisindeki en karmaşık problemlerden birisidir. Karmaşık problemlerin üstesinden gelebilmek için geliştirilen yapay zeka tabanlı yöntemlerden birisi de bağışıklık sistemini hesapsal olarak taklit eden algoritmalarıdır. Bu çalışmada, doğrusal olmayan bir sistemi düzenlemek için klasik PID denetleyicisinin üç terimini optimum şekilde ayarlamak için klonal seçim ilkesi tabanlı geliştirilen yara iyileşme algoritmasından bahsedilmiştir. Çalışma içerisindeki bölümler şu şekilde düzenlenmiştir:

2. Bölümde yapay bağışıklık sistemleri hakkında genel bilgi verilmiş ve klonal seçim ilkesinden bahsedilmiştir. 3. Bölümde klonal seçim ilkesi tabanlı geliştirilen yara iyileşme algoritmasından bahsedilmiştir. 4. Bölümde önerilen yöntem yardımıyla optimum PID kontrolör parametreleri bilye ve çember sistemi kullanılarak elde edilmiştir. 5. Bölümde sonuç kısmından bahsedilmiştir.

2. Yapay bağışıklık sistemleri

Canlılarda bulunan bağışıklık sistemi vücudun hastalıklara karşı savunma mekanizmasını oluşturan, dışarıdan gelen saldırılara karşı koruyan karmaşık bir sistemdir. En az beyin kadar karmaşık bir yapıya sahip olan bu sistemin sahip olduğu yetenekler ile özellikle matematikçiler, bilgisayarlılar ve diğer bilim alanlarından araştırmacılar ilgilenmektedir. Özellikle son yıllarda bilgisayar bilimindeki hızlı gelişmeler neticesinde özellikle optimizasyon algoritmaları konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Optimizasyon problemleri, karar değişkenlerinin sürekli veya kesikli olmalarına göre ikiye ayrılır. Son otuz yıllık periyotta mühendislik, bilgisayar, yönetim bilimi gibi birçok farklı alanda bu tip problemler ortaya çıkmıştır. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için geliştirilen algoritmalarından birisi de, yapay bağışıklık sistemini hesapsal olarak taklit eden algoritmalarıdır. Bu algoritmalar canlılarda bulunan savunma mekanizması araştırılarak oluşturulmuştur ve birçok alanda araştırma konusu olmuştur [6].

Yapay bağışıklık sistemleri, canlılardaki biyolojik bağışıklık sistemlerinin sınıflandırma ve öğrenme davranışlarının bölümlerini hesapsal olarak taklit ederek bir yapay zeka algoritmaları sınıfı oluşturur. Optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan bu algoritmalar makine öğrenmesi, örüntü tanıma, anormal durum tespiti, kontrolör tasarımı gibi konularda sıklıkla kullanılmaktadır. Çizelge 1'de yapay bağışıklık sistemine dayalı olarak geliştirilen temel 4 algoritma ve uygulama alanları verilmiştir.

Çizelge 1. Yapay bağışıklık algoritmaları ve uygulama alanları

Yapay bağışıklık Algoritmaları	Uygulama alanları
Negatif seçim algoritması	Değişim analizleri
Yapay bağışıklık ağı algoritması	Öğrenme ve öğretme
Klonal seçim algoritması	Arama ve optimizasyon
Antikor ağ modeli	Savunma stratejileri

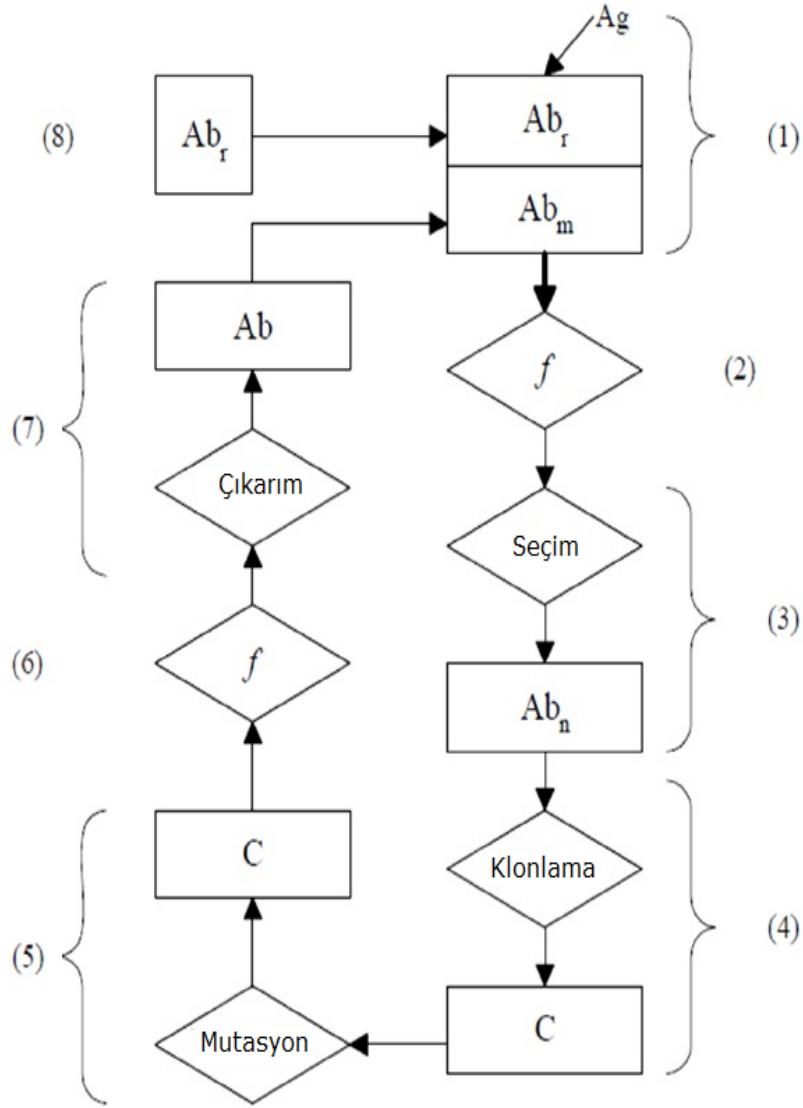
Bu çalışmada klonal seçim algoritması tabanlı geliştirilen yara iyileşme algoritması yardımıyla PID kontrolör parametrelerinin optimum ayarı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

2.1. Klonal seçim algoritması

Klonal seçim algoritması, doğal bağışıklık sisteminden faydalanarak vücuda dışarıdan bir yabancı madde girdiğinde bağışıklık sisteminin verdiği cevabın temel özelliklerini kullanan bir algoritmadır. Bu cevaba göre sadece antijenleri tanıyan hücreler çoğalmaktadır. Seçilen hücreler benzerlik prensibi yardımıyla olgunlaşma işlemine tabi tutulur. Böylece seçilmiş hücrelerin antijene benzerliği geliştirilir. Bağışıklık sisteminde algoritmanın ilgilendiği temel olaylar aşağıdaki gibidir [7]:

- Bellek hücrelerinin saklanması
- Antijen tarafından en fazla uyarılmış bireyin seçimi ve klonlama işlemine tabi tutulması
- Antijen tarafından uyarılmamış hücrelerin ölümü
- Benzerliğin artırılması için hücrelerin mutasyona uğratılması ve tekrar seçimi
- Farklılaşmanın üretilmesi ve farklı hücrelerin popülasyona katılması
- Hücre benzerliği ile orantılı olarak hipermutasyon işleminin uygulanması

Klonal seçim algoritmasının işlem adımları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Klonal seçim algoritması işlem adımları

1. Rastgele üretilmiş B hücreleri (Ab_r) ve hafıza hücrelerinin (Ab_m) birleşerek, çözüm popülasyonu (Ab) oluşturulur.
2. Popülasyonun antijenle (Ag) uyarılma seviyesi hesaplanır. Uyarılma seviyesi probleme uygunluk fonksiyonundan geçirilerek eşik değeri hesaplanır.
3. En çok uyarılan hücreler seçilir.
4. Bu hücreler klonlanmaya tabi tutulur.

$$N_c = \sum_{i=1}^n \text{round} \left(\frac{N}{i} \right) \quad (1)$$

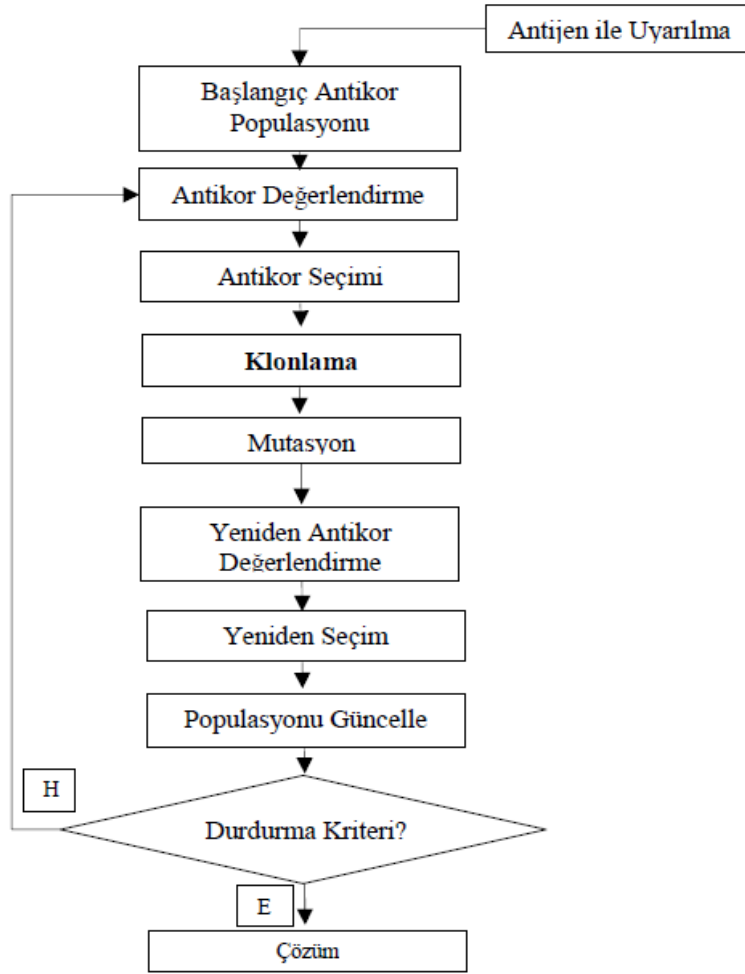
N_c : Her bir Ag 'den üretilen klon sayısı

N : Toplam Ab sayısı

n : Seçilen antikor sayısı

5. Klonlanan hücreler mutasyona tabi tutulur.
6. Mutasyona uğrayan hücreler problemin uygunluğuna göre çözüm ağına katılır.
7. Uygunluk fonksiyonundan geçmeyen hücreler popülasyondan atılır.

Şekil 2' de klonal seçim algoritmasının akış şeması gösterilmiştir.



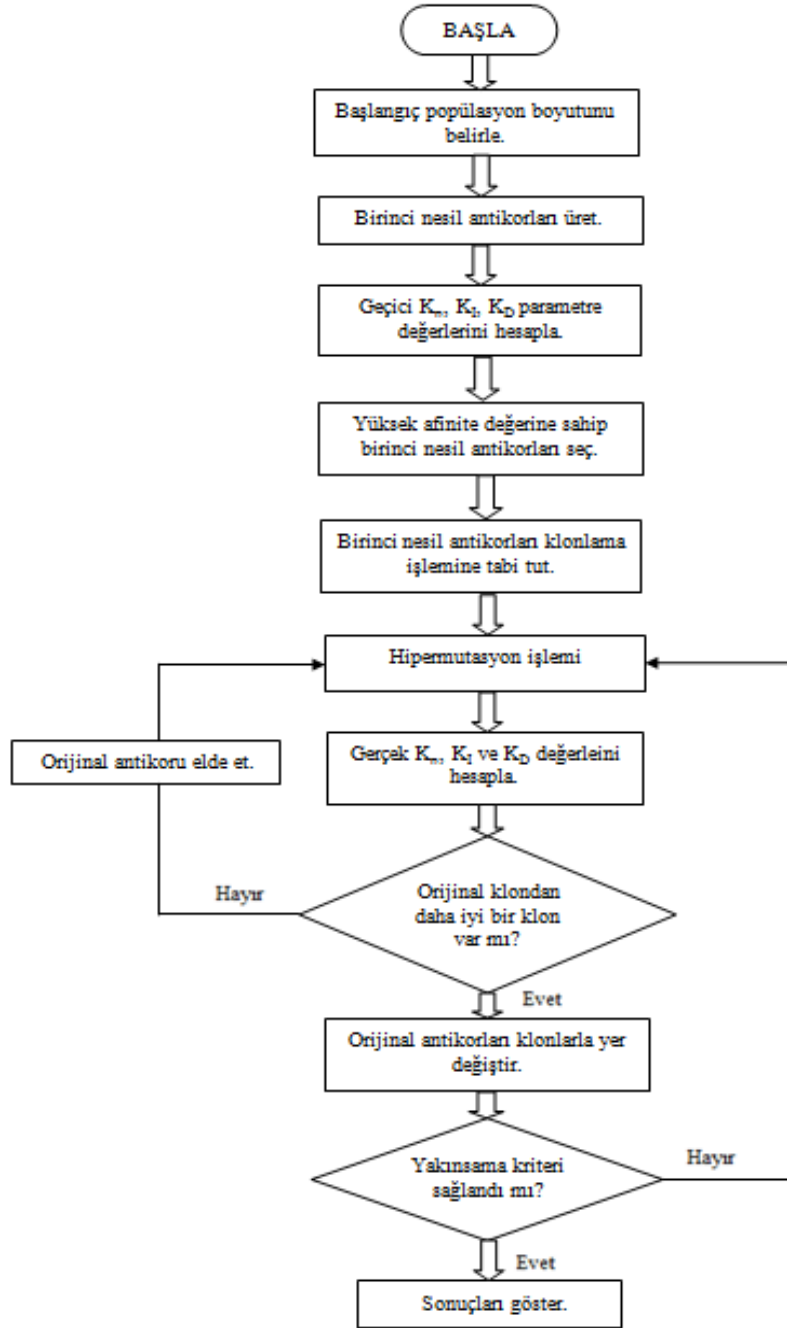
Şekil 2: Klonal seçim algoritmasının akış şeması.

Klonal seçim algoritması bir parametre yönetimi değildir, bu nedenden ötürü de genetik algorithmadan ayrılır. Yakınlık oranının yenilenmesi ve yakınlık olgunlaştırılması klonal seçim algoritmasının iki farklı özeliğidir.

3. Geliştirilen Algoritma (Yara İyileşme Algoritması)

Yara iyileşme algoritmasının temel yapısında klonal seçim ilkesi yatar. Klonal seçim algoritmasında üretilen klon sayısı Denklem 1’de görülmektedir. Geliştirilen yara iyileşme algoritmasında Denklem 1’ e α (klonlama faktörü) ve f (Klonlama işlemini hızlandırma faktörü) parametreleri eklenmiştir. Böylece elde edilen Denklem 4’ de görülmektedir. Eklenen bu yeni parametreler daha iyi sonuç elde edilmesini sağlamıştır. Geliştirilen algoritmanın akış şeması Şekil 3’de verilmiştir. İlk olarak başlangıç popülasyonu P üretilir. Sonra seçim işlemi yeni bir P_n popülasyonu oluşturmak için n adet en iyi afinite özelliğine sahip antikorları seçer. Afinite, antikor ile antijenin birbirine bağlanmasına neden olan çekim başka bir ifadeyle bağışıklık yanıtı demektir. Seçim işlemindeki temel kural antikorların afinite değeridir. Oluşturulan bu popülasyondaki bireyler yeni bir popülasyon oluşturabilmek için klonlama işlemi yardımıyla klonlanır. Klon sayıları antikorların afinite değerine bağlıdır. Daha sonra hipermutasyon işlemi yardımıyla yeni bir popülasyon oluşturmak için klonlar mutasyon işlemine tabi tutulur. Mutasyon işlemindeki temel kural; yüksek afinite değerine sahip antikorlar daha düşük mutasyon oranına sahiptir ya da tersi düşünülürse; düşük afinite değerine sahip klonlar daha yüksek mutasyon oranına sahiptir. Bunun nedeni; lokal optimum değerine yakın antikorlar çözüm değerine daha yakındır; fakat optimum çözümden uzak olan antikorlar; optimum

veya en iyi çözüme doğru hareket edebilmesi için fazla miktarda mutasyona uğrarlar. Tekrar seçim işlemi en iyi klonların ailelerinden iyi olup olmadığını kontrol eder. En sonunda; düşük benzerlikteki antikorlar, yeni antikorlarla yer değiştirilir. Seçim işlemi, klonlama ve mutasyon işlemi popülasyonu en iyi çözüme doğru hareket ettirir.



Şekil 3: Yara iyileşme algoritması akış şeması.

3.1. Yara iyileşme algoritması çözüm aşamaları:

1. N adet antikorla başlangıç popülasyonunu (P) üret.
2. P popülasyonundaki her bir antikor için afinite belirle. En iyi afinite değerine sahip n adet antikor (N_s) seç ve P_n popülasyonunu oluştur.

Antikor ve antijen arasındaki afinite değerini ölçmek için genellikle aralarındaki uzaklığa bakılır. Öklit mesafe formülü ile Denklem (2) yardımıyla hesaplanır:

$$d = \sum_{i=1}^N (Ag_i - Ab_i)^2 \quad (2)$$

Hesaplanan d eşik değer λ ile karşılaştırılır ve E işaretleme hatası aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E = d - \lambda \quad (3)$$

Eğer $E < 0$ ise antikor antijeni tanımamaktadır ve aralarında bir afinite yoktur. E değeri 0 ile 1 arasında ise aralarında bir afinite vardır denir.

3. 2. aşamada seçilen n adet antikoru klonla ve geçici klon popülasyonu N_c ' yi oluştur. N_c ' yi oluşturmak için Denklem (4) kullanılır.

$$N_{c_i} = \sum_{i=1}^n \text{round} \left(\frac{\alpha * N_s * f}{i} \right) \quad (4)$$

α : Klonlama faktörü (değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir)

f : Klonlama işlemini hızlandırma faktörü (değeri 0.9 ile 0.99 arasında değişmektedir.)

N_s : 2. Adımda seçilen en iyi antikor sayısı

4. N_c klon popülasyonunu hipermutasyon işlemine tabi tutun. N_c^* alt popülasyonunu oluşturun. Hipermutasyon işlemi antikorumların afinite değeriyle orantılıdır [8].
5. N_c^* alt popülasyonuna ait her bir antikorumun afinite değerini hesapla ve içinden en iyi değere sahip antikorumları seçerek $N_{c(n)}^*$ oluştur ve başlangıç popülasyonuna ekle.
6. Düşük afinite değerine sahip antikorumları yeni antikorumlarla yer değiştir.
7. Eğer P popülasyonunun değeri N 'den küçükse popülasyonu tamamlamak için antikorumları üret.
8. Yakınsama testini yap. Test başarılı ise programı durdur. Yoksa işlemlere devam et.

4. Optimum PID kontrolör tasarımı

Sistemlerin istenilen özelliklerde çalışmasını sağlayan kontrolör / denetleyici devrelerinin analizi ve tasarımı, kontrol teorisinin başlıca alanlarından biridir. Bu alanda, farklı yapı ve karakteristiklerde kontrolörler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de PID kontrolördür. PID kontrolörler, sağlam ve etkili performans göstermeleri nedeni ile endüstriyel ortamlarda sıkça tercih edilen denetleyicilerdir [9]. PID kontrolörü meydana getiren oransal (P), integral (I), türev (D) kazanç ağırlık parametrelerinden her biri sistemin çalışması esnasında farklı türlerde etki etmektedirler. PID kontrolörün sürekli durum yapısı aşağıdaki gibidir:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (5)$$

Denklem (5)'de $e(t)$ kontrolörün girişi, $u(t)$ çıkışı, K_p oransal kazanç, T_i integral zaman sabiti, T_d türev zaman sabitidir. Denklem (5) Laplace dönüşümü yardımıyla aşağıdaki gibi yazılır:

$$U(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (6)$$

Denklem (6) da K_i : İntegral kazancı K_d : Türev kazancıdır [10].

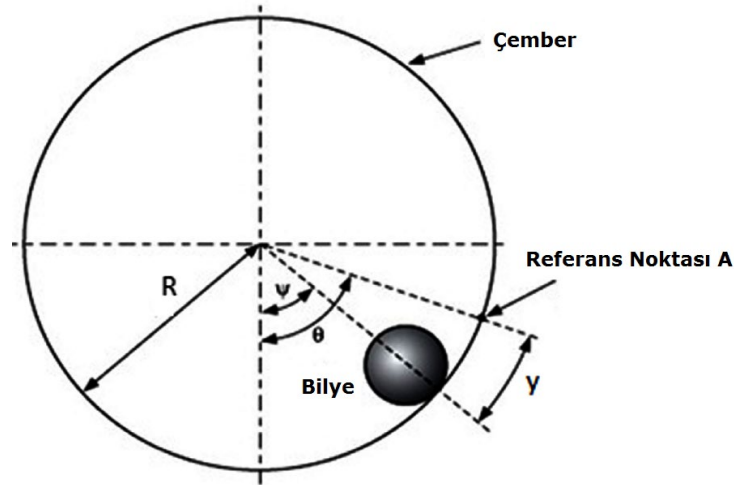
PID kontrol parametrelerinin sistem cevabına etkileri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. PID kontrolör parametrelerinin sistem cevabına etkileri

	K_p(Oransal)	K_i (İntegral)	K_d (Türevsel)
Yükselme zamanı	Azalır	Azalır (Az)	Az etki
Aşım değeri	Artar	Artar	Azalır
Yerleşme zamanı	Artar(az)	Artar	Azalır
Kararlı hal hatası	Azalır	Azalır (çok)	Az etki

4.1. Simulasyon Sonuçları

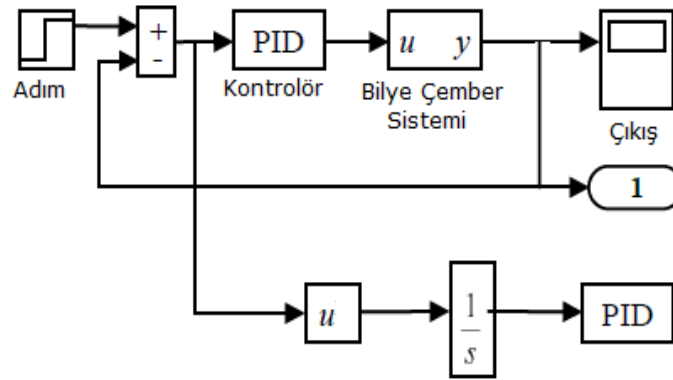
4.1.1. Bilye ve Çember Sistemi:



Şekil 4. Bilye ve çember sistemi [11].

Bilye ve çember sistemindeki anahtar değişkenler: Bilyenin ağırlığı (m), çember açısı (θ), çember yarıçapı (R) ve bilyenin çemberdeki pozisyonu (y) dir. Bilye ve çember sisteminin transfer fonksiyonu denklem (7)’de verilmiştir [12].

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{s^4 + 6s^3 + 11s^2 + 6s} \quad (7)$$



Şekil 5. IAE kontrolör simülasyonu

Optimum PID parametrelerini belirlemek için kullanılan amaç fonksiyon denklem 8’te verilmiştir.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (8)$$

Yara iyileşme algoritması yardımıyla çember ve bilye sisteminin optimum PID parametrelerini hesaplamak için geliştirilen programın ekran görüntüsü aşağıdaki gibidir.

Hazırlayan: Mehmet ÇINAR Versiyon:1.0

IEEE TEST SİSTEMİ

PID

Tek Hat Şeması

Sistem Verileri

SEÇENEKLER

Hedeflenen Fonksiyon Kp, Ki, Kd

Algoritma YARA_IYILEŞME

PROGRAMI ÇALIŞTIR

VERİLERİ SIFIRLA

PROGRAMDAN ÇIKIŞ

YARA İYİLEŞME PARAMETRELERİ

Varsayılan veya özel değerler

Popülasyon sayısı, P: 150

İterasyon sayısı 150

Çalışma sayısı, Itç: 1

İyileşme katsayısı, d1: 1.3

Afinite katsayısı: 1.3

Klon Katsayısı: 0.4

Klon hızlandırma, f: 0.95

TAMAM

Bilye ve çember sistemi için PID parametreleri

Kp:4.8625

Ki:0.0012

Kd:5.6524

Şekil 6. Geliştirilen program

Çizelge 3’de yara iyileşme algoritmasında sistemin analizi için seçilen parametreler ve değerleri verilmiştir. Parametreler seçilirken algoritma 30 defa çalıştırılarak en optimum değerler elde edilmiştir. Çünkü önerilen algoritma stokastik bir algoritma olduğu için başlangıç değerleri rastgele atanmaktadır.

Çizelge 3. Yara iyileşme algoritması parametreleri ve değerleri

Parametreler	Değerler
Popülasyon sayısı	150
İterasyon sayısı	150
Çalışma sayısı	1
İyileşme katsayısı	1.3
Afinite katsayısı	1.3
Klon katsayısı	0.4
Klon hızlandırma	0.95

Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen PID kontrolör parametreleri aşağıdaki gibidir:

$$K_P= 4.8625, K_I= 0.0012, K_D=5.6524$$

Elde edilen bu parametreler yardımıyla bilye ve çember sisteminin kapalı çevirm transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$G(s)= \frac{5.6524s^2 + 4.8625s + 0.0012}{s^5 + 6s^4 + 11s^3 + 11.6524s^2 + 4.8625s + 0.0012} \quad (9)$$

Çizelge 4’de literatürde aynı bilye ve çember sistemi için kullanılan farklı algoritmaların K_p , K_I ve K_D değerleri görülmektedir.

Çizelge 4. Bilye ve çember sistemi için farklı algoritmalar kullanılarak elde edilen PID kontrolör parametreleri

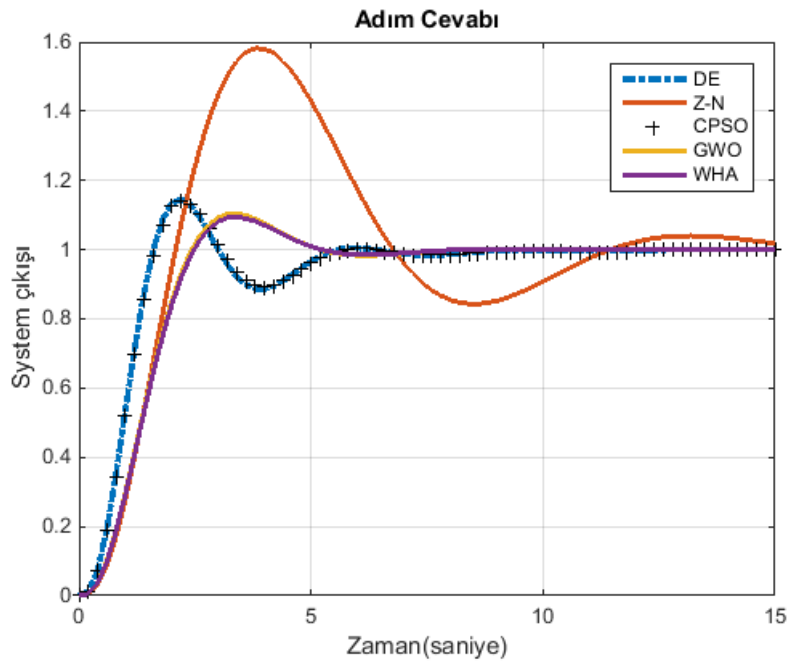
Algoritma	IAE		
	K_p	K_I	K_D
DE[13]	5.856	0.0043	11.835
SOMA[13]	5.856	0.0043	11.835
Z-N [14]	6	1.9078	4.7178
CPSO[14]	5.8653	0.0001	11.4188
GWO[15]	4.9900	0.0010	5.7056
WHA(Önerilen)	4.8625	0.0012	5.6524

DE: Differential Evolution algorithm
 SOMA: Self-Organizing Migrating Algorithm
 Z-N: Ziegler-Nichols
 CPSO: Chaotic particle swarm optimization
 GWO: Grey Wolf Optimization
 WHA: Wound Healing Algorithm

Çizelge 5. Farklı algoritmaların bilye ve çember sistemi için kapalı çevrim transfer fonksiyonu

Algoritma	Kapalı çevrim transfer fonksiyonu	Kullanılan amaç fonksiyon
DE[13]	$\frac{11.835s^2 + 5.856s + 0.0043}{s^5 + 6s^4 + 11s^3 + 17.835s^2 + 5.856s + 0.0043}$	IAE
Z-N[14]	$\frac{4.7178s^2 + 6s + 1.9078}{s^5 + 6s^4 + 11s^3 + 10.7178s^2 + 6s + 1.9078}$	IAE
CPSO[14]	$\frac{11.4188s^2 + 5.8653s + 0.0001}{s^5 + 6s^4 + 11s^3 + 17.4188s^2 + 5.8653s + 0.0001}$	IAE
GWO[15]	$\frac{5.7056s^2 + 4.9900s + 0.0010}{s^5 + 6s^4 + 11s^3 + 11.7056s^2 + 4.9900s + 0.0010}$	IAE
WHA (önerilen)	$\frac{5.6524s^2 + 4.8625s + 0.0012}{s^5 + 6s^4 + 11s^3 + 11.6524s^2 + 4.8625s + 0.0012}$	IAE

Çizelge 5'te verilen transfer fonksiyonlarının adım cevap eğrileri şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Transfer fonksiyonlarının adım cevapları

Çizelge 6’te algoritmalar sonucu elde edilen yerleşme zamanı, yüzde aşım değeri ve yükselme zamanı değerleri görülmektedir.

Çizelge 6. Algoritmalara göre hesaplanan değerlerin karşılaştırılması

Algoritma	Yerleşme zamanı (sn)	Yüzde aşım değeri (%)	Yükselme zamanı (sn)
DE[13]	5.19	14.5	0.985
SOMA[13]	5.19	14.5	0.985
Z-N[14]	10.6	58.4	1.3
CPSO[14]	4.88	14.6	1.01
Standart PSO [16]	7.2	25	1.12
GWO[15]	4.8	10.4	1.52
WHA(önerilen)	4.69	9.43	1.55

5. Sonuçlar

Analitik yollarla çözümü zor ve işlem karmaşası fazla olan fonksiyonların çözümü için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi optimizasyon algoritmalarıdır. Kontrol sistemleri için kontrolör tasarımı için birçok analitik yöntem bulunmasına karşın, bu yöntemler çok sayıda işlem basamağına sahiptir ve zaman zaman ileri derece matematiksel işlemler gerektirmektedirler. Bu durumda kontrolör tasarımı için optimizasyon algoritması kullanılması, tasarım aşamasında sürecin kısaltılması ve yapılabilecek işlem hatalarından kaçınılması açısından oldukça yararlı olmaktadır. Bununla birlikte istenen hassasiyetle parametreler belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada yara iyileşme algoritması yardımıyla PID kontrolör tasarımı için Matlab GUI ortamında program geliştirilmiştir. Bunun için Matlab programının yüksek matematiksel hesaplama kabiliyetinden yararlanılarak, GUI ortamında kullanımı kolay bir arayüz tasarlanmıştır. Böylece hızlı ve kolay bir tasarım süreci geçirilmiş, PID kontrolör katsayılarının yara iyileşme algoritması ile optimize edilebildiği ve sonuçların grafiksel olarak sunulabildiği bir uygulama geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar diğer optimizasyon algoritmaları ile kıyaslanmıştır. PID kontrolörü optimize etmek için amaç fonksiyon olarak integral absolute error kullanılmıştır. Maksimum aşma süresi ve yerleşme süresinde diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar Çizelge 6’da gösterilmiştir. Hesaplanan maksimum aşma süresi; değere en yakın olan GWO algoritmasına göre % 10.57 daha düşük bir aşma değerine sahiptir. Hesaplanan yerleşme süresi; değere en yakın GWO algoritmasına göre %2.29 daha düşüktür. Böylece bilye ve çember sistemi için yara iyileşme algoritması yardımıyla optimize edilen PID kontrolör, daha hızlı yerleşme zamanına sahip ve daha az bir aşma sahip olacak; sistem hızlı ve kararlı bir şekilde stabil olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Brogan WL. Modern Control Theory. Upper saddle river, NJ: Prentice Hall,1985.
- [2] Tan N. Computation of stabilizing PI and PID controllers for processes with time delay. ISA Transactions 2005; 44(2): 213–223.
- [3] Barbosa RS, Machado JAT, Ferreira IM. Tuning of PID controllers based on Bode’s ideal transfer function. Nonlinear Dynamics 2004; 38(1): 305–321.
- [4] Aström K, Höggund T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. New York, Instrument Society of America, 1995.
- [5] Cao M, Watkins JM, O’Brien RT. A graphical user interface for a unified approach for continuous time compensators design. Computers in Education 2009; 19(1): 49-59.
- [6] Alataş B, Akın E. Yapay Zekada Yeni Bir Alan: Yapay Bağışıklık Sistemleri, YA-EM’2004 Kongresi, 2004, Adana, Haziran, 464-466.
- [7] Kaymaz ED. Yapay Bağışıklık Sistemi Tabanlı K-NN Sınıflandırma Algoritması İle Protein Örüntülerinin Hücredeki Yerleşim Yerlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, Elazığ.

- [8] Souza SSF, Romero R, Franco JF. Artificial immune networks Copt-aiNet and Opt-aiNet applied to the reconfiguration problem of radial electrical distribution systems. *Electric Power Systems Research* 2015; 119: 304-312.
- [9] Farkh R, Laabidi K, Ksouri M. Stabilizing Sets of PI / PID Controllers for Unstable Second Order Delay System. *International Journal of Automation and Computing* 2014; 11(2): 210-222.
- [10] Xue D, Chen Y, Atherton DP. *Linear feedback control: analysis and design with MATLAB*, Siam, 2007.
- [11] Sreekanth P, Hari A. Genetic algorithm based self tuning regulator for ball and hoop system. *IEEE Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS)*, 2016, Namakkal, India, 4-5 March.
- [12] Kaliappan VK, Thatthan M. Enhanced ABC Based PID Controller for Nonlinear Control System. *Indian Journal of Science and Technology* 2015; 8(7): 48-56.
- [13] Davendra D, Zelinka I, Senkerik R. Chaos driven evolutionary algorithms for the task of PID Control. *Computers & Mathematics with Applications* 2010; 60(4): 1088–1104.
- [14] Mojallali H, Gholipour R, Khosravi A, Babae, H. Application of chaotic particle swarm optimization to PID parameter tuning in ball and hoop system. *International Journal of Computer and Electrical Engineering* 2012; 4(4): 452– 457.
- [15] Jain N, Parmar G, Gupta R, Khanam I. Performance evaluation of GWO/PID approach in control of ball hoop system with different objective functions and perturbation. *Cogent Engineering* 2018; 5(1): 1-18.
- [16] Morkos S, Kamal, H. Optimal tuning of PID controller using adaptive hybrid particle swarm optimization algorithm. *International Journal of Computers, Communications & Control* 2012; 7(1): 101–114.

ELEKTRİK TALEP-ÜRETİM SÜREKLİLİK EĞRİLERİ YARDIMI İLE TAHMİNİ ELEKTRİK ÜRETİM MALİYETİ HESABI - BİR ÖRNEK DURUM ÇALIŞMASI

Muhammed Akif Ülker^{1*}

¹Uppsala Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Uppsala, 75237, İsveç

Geliş Tarihi/Received Date: 27.09.2021 Kabul Tarihi/Accepted Date: 28.12.2021 DOI: 10.54365/adyumbd.1001274

ÖZET

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı her geçen gün artmaktadır. Doğaları gereği süreksiz olan bu kaynaklar, elektrik fiyatlarında dalgalanmalara neden olabilmektedir. Bu durum da elektrik güç sistemlerindeki teknik, ekonomik ve yasal kısıtlar altında, enerji kaynaklarının etkili bir şekilde planlandığı ve elektrik üretimi ve talebindeki değişkenliğin doğru bir şekilde ele alındığı yöntemlerin kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu çalışmada, elektrik üretim ve talep süreklilik eğrilerinin gelecek şebeke planlamalarında nasıl kullanılabilirliği üzerine bir araştırma yapılmıştır. Burada, olasılıksal bir yaklaşım benimsenmiş ve elektrik üretim ve talep değerlerinin var olma olasılıkları, yapılan çalışmayla, gelecek şebeke planlamaları için önemli olan bazı parametrelerin hesabında kullanılmıştır. Makalede, şebekeden bağımsız çalışan bir ada sistemi üzerinde yapılan benzetim çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Hesaplamaların sonucunda örnek durum çalışması yapılan sistemdeki tahmin edilen elektrik enerjisi üretim maliyeti 309 \$/saat, elektrik enerjisi açığı miktarı 100.4 kWh ve tahmin edilen elektrik enerjisi açığı riski %4.9 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Elektrik piyasası belirsizlikleri, Süreklilik eğrileri, Tahmini elektrik üretim maliyeti

PROBABILISTIC ELECTRICITY GENERATION COST CALCULATION VIA DEMAND-GENERATION DURATION CURVES - A CASE STUDY

ABSTRACT

Renewable energy share in electricity generation is expected to increase significantly with each passing day. Due to nature of renewables, electricity generation from renewables contains uncertainties which affect the energy prices in the electricity markets. New simulations are needed for efficient planning process for the resources in the power systems to address the uncertainties in demand and generation under the economical, technical and legal limitations. In this study, duration curves of the generation and demand sides are investigated as a tool to estimate forecasted values of the future grid planning key parameters with the approach of probabilistic meaning of the planning and probability of the availability of demand and generation sides. The method is applied to an island case study, the parameters are calculated under the stated assumptions and the results are presented. For the island case study system, the expected total operation cost, the expected energy not served and risk of power deficit grid planning parameters are calculated as 309 \$/hour, 100.4 kWh and 4.9% respectively.

Keywords: Renewable energy, Electricity market uncertainties, Duration curves, Probabilistic electricity generation cost calculation

1. Giriş

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı her geçen gün artmaktadır [1]. Ülkeler, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını arttırmak için resmi hedefler koymuş [2-3] ve bu hedefleri tutturabilmek için hızla ilave yenilenebilir enerji santralleri, özellikle rüzgâr santralleri

* e-posta: muhammed.ulker@angstrom.uu.se

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4523-3855>

kurulmuş ve kurulmaya devam edilmektedir. Yüklerden uzakta kurulan bu santraller bölgeler arası üretim-talep dengesizliklerine neden olabilmektedir. Bu dengesizlikler de elektrik şebekelerinde ani frekans değişimlerine, aşırı yüklenme problemlerine ve sonuç olarak da pahalıya mâl olabilecek elektrik kesintilerine sebep olabilmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının doğaları gereği süresiz bir yapıya sahip olması ve elektrik talebinin de saatlik, günlük, sezonluk değişmesi, aynı şekilde elektrik fiyatlarını da değişken bir yapıya sokmaktadır. Bu koşullar, hem pik elektrik talebini hem de yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrik talebindeki belirsiz yapıyı dengeleyebilecek bir elektrik üretimi planlamasını gerekli kılmaktadır [4]. Bunu başarabilmek için de eldeki kaynakların önceki kısımlarda ifade edilen kısıtlar ve belirsizlikler altında verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak güvenilir planlama yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konuda grafik temelli bir çalışma L. L. Garver tarafından yayınlanmıştır [5]. Bu alanda başka bir çalışma ABD PJM şebeke sistemi kapasite piyasası için talep eğrileri kullanılarak yapılmıştır [6]. Olasılıksal bir yaklaşımla süreklilik eğrileri kullanılarak garanti edilen kapasite konsepti hesabının yapıldığı üretime odaklı bir çalışma da Almanya'da rüzgâr santrallerinin şebeke entegrasyonu planlaması için uygulanmıştır [7]. Bunun dışında, yenilenebilir enerji santrallerinin kapasite hesaplarının farklı uygulamaları için yine bu alanda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur [8-11].

Bu çalışmada, bu planlama yöntemlerine katkıda bulunacak bazı temel parametrelerin olasılıksal bir yaklaşımla hesaplanması ele alınmıştır. Elektrik üretim-talep süreklilik eğrileri kullanılarak, şebeke gelecek planlamaları için önemli parametreler olan, tahmin edilen elektrik enerjisi üretimi miktarı (TEÜ), tahmin edilen elektrik enerjisi üretim maliyeti (TEÜM), tahmin edilen elektrik enerjisi açığı miktarı (TEÜA) ve tahmin edilen elektrik enerjisi açığı riski (TEÜAR) [12-13] parametrelerinin hesabı, şebekeden bağımsız çalışan bir ada sistemi için gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde süreklilik ve eşdeğer süreklilik eğrileri ilgili teorik bilgilerden bahsedilmiş, üçüncü bölümde çalışmada kullanılan ada sistemi ilgili bilgiler verilmiş ve son olarak dördüncü bölümde de çalışmanın sonuçları ve yorumlara yer verilmiştir.

2. Üretim-Talep Süreklilik ve Eşdeğer Süreklilik Eğrileri

Elektrik üretim-talep süreklilik ve eşdeğer süreklilik eğrileri, önceki kısımda da belirtildiği üzere şebeke planlamasındaki parametrelerin hesabında önemli bir rol oynamaktadır. Elektrik üretim-talep süreklilik eğrileri (TSE), elektrik üretim-talep eğrilerinden (TE) elde edilmekte olup, sonrasında eşdeğer talep süreklilik eğrilerinin (ETSE) oluşturulmasında kullanılmaktadır. Üretim-talep eğrileri, elektrik talep değerlerinin belirli zaman adımlarıyla gösterildiği histogramlar olarak ifade edilebilir. Üretim-talep süreklilik eğrileri ise elektrik talep verilerinin büyükten küçüğe doğru sıralandığı üretim-talep eğrilerinin farklı bir versiyonu olup, belirli bir zaman dilimi için hangi üretim-talep seviyesine ulaşıldığının gözlemlenebildiği eğrilerdir. Ayrıca, TSE eğrilerinin altındaki alan, toplam elektrik talep veya üretim miktarını da vermektedir. Her talep seviyesi için ihtiyaç duyulan kapasite ihtiyaçları TSE eğrileri üzerinden gözlemlenebilir. ETSE eğrileri ise, TSE eğrilerinin yeniden düzenlenip bir araya getirilerek, üretim birimlerinde arıza olması durumunda yerlerini alacak bir başka birimin bulunmaması halinde diğer üretim birimleri üzerine talep artışı olarak yansıtıldığı, eşdeğer üretim-talep değerlerinin ifade edildiği eğrilerdir. ETSE eğrileri,

$$E_n = D + \sum_{k=1}^n O_k \quad (1)$$

denklemleri ile ifade edilip, burada E_n [kWh], n ünitesinden sonraki üretim birimi için eşdeğer talep, D [kWh] gerçek talep ve O_k [kWh] k . üretim ünitesindeki kesinti olarak açıklanmaktadır.

Eğrilerin daha iyi anlaşılabilmesi için Çizelge 1 ve Çizelge 2'deki iki farklı duruma ait nümerik değerler kullanılarak, aşağıda belirtilen işlem adımlarının yardımıyla grafiksel olarak elde edilen TSE ve ETSE eğrileri Şekil 1 ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Birinci basit örneğe ait nümerik değerler.

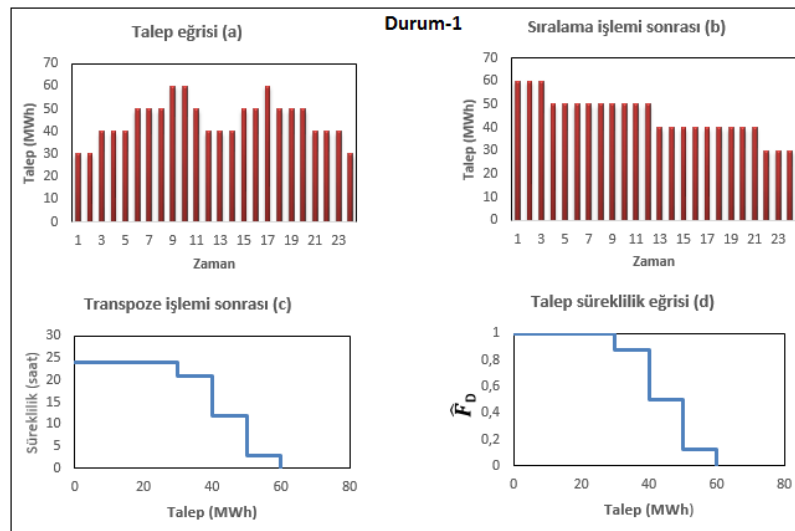
Durum-1					
Saat	Talep (MWh)	Saat	Talep (MWh)	Saat	Talep (MWh)
1	30	9	60	17	60
2	30	10	60	18	50
3	40	11	50	19	50
4	40	12	40	20	50
5	40	13	40	21	40
6	50	14	40	22	40
7	50	15	50	23	40
8	50	16	50	24	30

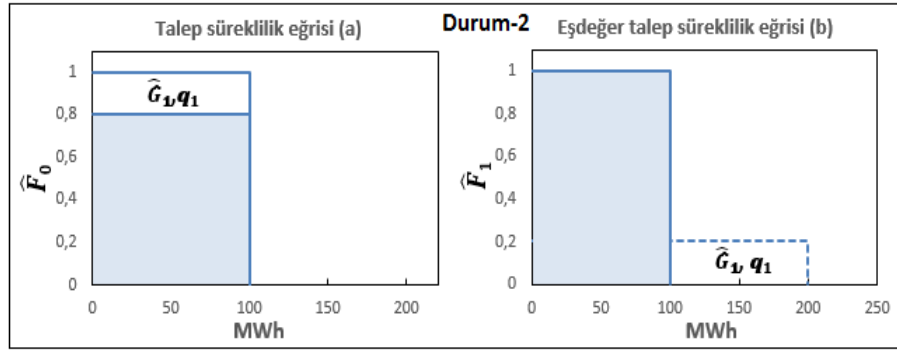
Çizelge 2. İkinci basit örneğe ait nümerik değerler.

Durum-2
100 MW sabit yük
100 MW üretim
%80 emreâmâdelikle

Kullanılan işlem adımları:

- Şekil 1.a'da zamana bağlı olarak gösterilen elektrik talep değerleri, önce Şekil 1.b'deki gibi büyükten küçüğe doğru sıralanır.
- Sonra, x ve y eksenlerinin yer değiştirilmesi suretiyle transpoze işlemi uygulanarak Şekil 1.c'deki format elde edilir.
- Zaman değerleri sürekliliklerine bağlı olarak normalize edilerek Şekil 1.d'de gösterilen TSE eğrisine ulaşılır.
- Son olarak, Denklem 1 yardımıyla eşdeğer talepler hesaplanarak, ETSE eğrisi oluşturulur.

**Şekil 1.** Birinci basit örnek için TSE eğrisi elde edilmesindeki adımlara ait gösterimler



Şekil 2. İkinci basit örnek için ETSE eğrisi elde edilmesindeki adımlara ait gösterimler

Yukarıdaki gibi basit örnekler için eşdeğer süreklilik eğrilerini basit cebirsel işlemlerle elde etmek mümkündür fakat daha kompleks sistemler için eğriler aşağıda gösterilen Denklem 2 ve Denklem 3 aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$P(E > x) = p_1 P(D > x) + q_1 P(D > x - \hat{G}_1) \quad (2)$$

$$\hat{F}_1(x) = p_1 \hat{F}_0(x) + q_1 \hat{F}_0(x - \hat{G}_1) \quad (3)$$

Burada, $\hat{F}_0(x)$ ve $\hat{F}_1(x)$ sırasıyla TSE ile ETSE eğrilerini temsil etmektedir [12]. \hat{G}_1 santral kurulu gücünü, p_1 ve $q_1 = 1 - p_1$ santralin emreâmâdelik durumlarını ifade etmektedir. Denklem 2'de de görüleceği üzere, eşdeğer yükün (E) belirli bir x seviyesini aşma olasılığı, iki ihtimalden oluşmaktadır. Birinci ihtimal, santralin emreâmâde olduğu ve yükün x seviyesini aştığı durum, ikinci ihtimal ise santralin emreâmâde olmadığı ve yükün $x - \hat{G}_1$ seviyesini aştığı durumdur.

Süreklilik eğrilerinin elde edilmesinden sonra şebeke planlamasında önemli olan parametrelerin hesabına geçilebilir. İlk hesaplanacak parametre TEÜA olup, bu parametrenin yardımıyla diğer bir parametre olan TEÜ'nün hesaplanmasına yardımcı olacaktır. TEÜA parametresi eşdeğer süreklilik eğrisinin entegre edildiği aşağıdaki Denklem 4 ile hesaplanmaktadır [12].

$$TEÜA_n = T \int_{\hat{G}_n}^{\infty} \hat{F}_n(x) dx \quad (4)$$

Burada, n emreâmâde santral indeksi ve de n . santral kurulu gücü olarak ifade edilmiştir. TEÜ ise,

$$TEÜ_n = TEÜA_{n-1} - TEÜA_n \quad (5)$$

formülasyonu ile hesaplanabilir. TEÜ'nün hesaplanması ile elde edilen değerlerin aşağıdaki Denklem 6'da yerine konulmasıyla da TEÜAR miktarına ulaşılabilir.

$$TE\ddot{U}AR_n = \hat{F}_n(\hat{G}_n^{tot}) \quad (6)$$

Bu çalışmada iletim hattı parametreleri dikkate alınmamış olup, kullanılan rastgele değişkenlerin bağımsız olduğu düşünülmüştür.

3. Şebekeden Bağımsız Ada Sistemi Çalışması

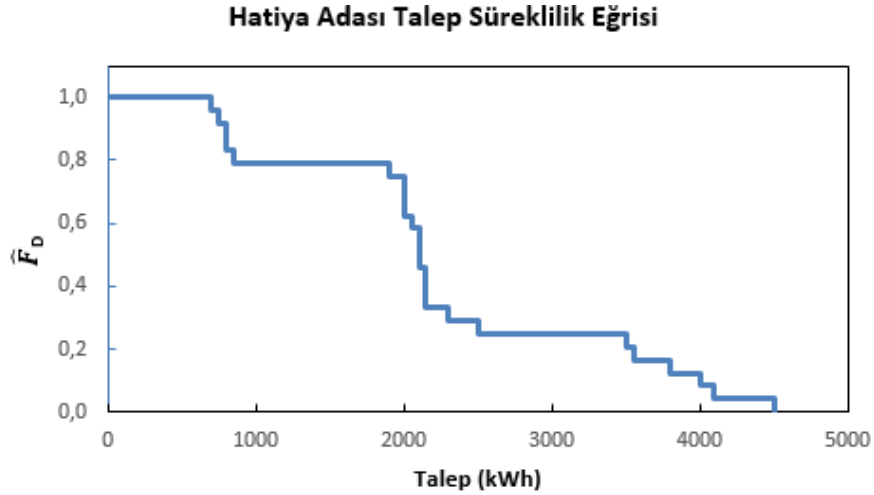
Bu çalışmada, uygulama için Bangladeş'in Hatiya Adası seçilmiştir. Ada, 371 km²'lik küçük bir ada olup, Bangladeş Şebeke Geliştirme Kurumu (BPDB-Bangladesh Power Development Board)'nun adada hibrit (dizel-rüzgâr-güneş), şebekeye bağlı olmayan bir güç sistemi projesi mevcuttur [14]. Projeye santral güçleri ve hesaplamalarda kullanılan bazı parametreler Çizelge 3'te belirtilmiştir. Adanın daha önce yapılan başka bir çalışmadan alınan haziran ayındaki tipik bir güne ait elektrik talep profili Şekil 3'te [17], daha önce bahsedilen prosedürlere göre hesaplanan süreklilik eğrisi ise Şekil 4'te gösterilmiştir. Dizel jeneratörün süreklilik eğrisi de, basitçe, dizel jeneratörün emreâmâdeliğine göre oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Bangladeş Hatiya Adası şebekeden bağımsız güç sistemi parametreleri.

Rüzgâr enerjisi gücü (MW)	1 [14]
Güneş enerjisi gücü (MW)	1 [14]
Dizel yakıtlı santral çıkış gücü [MW]	5.5 [14]
Dizel jeneratörün yakıt sarfiyatı [litre/kWh]	0.2 [14]
Dizel yakıt fiyatı [USD/litre]	0.81 [15]
Dizel jeneratörün emreâmâdeliği (%)	95 [16]



Şekil 3. Hatiya Adası'na ait haziran ayının tipik bir günündeki elektrik talep profilinin histogram şeklinde gösterimi [17]



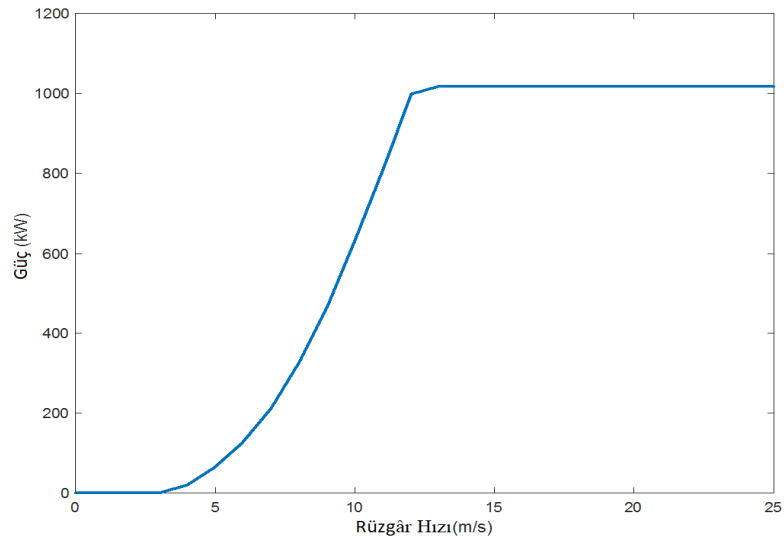
Şekil 4. Hatiya Adası için hesaplanan talep süreklilik eğrisi

3.1. Rüzgâr Enerjisi İçin Süreklilik Eğrisinin Hesaplanması

Rüzgâr türbinlerinden elde edilen güç, rüzgâr hızına (v) bağlı olarak oluşturulan aşağıdaki Denklem 7 ile hesaplanmaktadır.

$$P_w(v) = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \eta \quad (7)$$

Burada, ρ hava yoğunluğunu, C_p türbin rotor güç kat sayısını, η güç aktarma organları verimlilik katsayısını ve A ise rotor süpürme alanını temsil etmektedir. Bu çalışmada 1 MW'lık WinWind marka rüzgâr türbini baz alınmış olup, WindPRO rüzgâr enerjisi hesaplama yazılımından alınan türbin güç eğrisi Şekil 5'te gösterilmiştir [18]. Hava yoğunluğu ρ , 1.225 g/m^3 olarak hesaplarda kullanılmıştır.



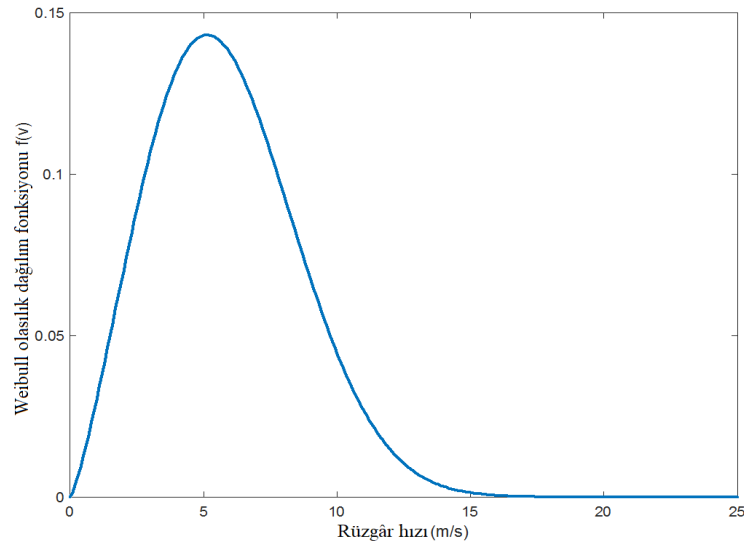
Şekil 5. WinWind 1 MW rüzgâr türbini güç eğrisi

Rüzgâr enerjisinin tahmini süreklilik eğrisini bulmak için istatistiksel yaklaşım benimsenerek, rüzgâr hızı olasılık dağılımı için Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Weibull

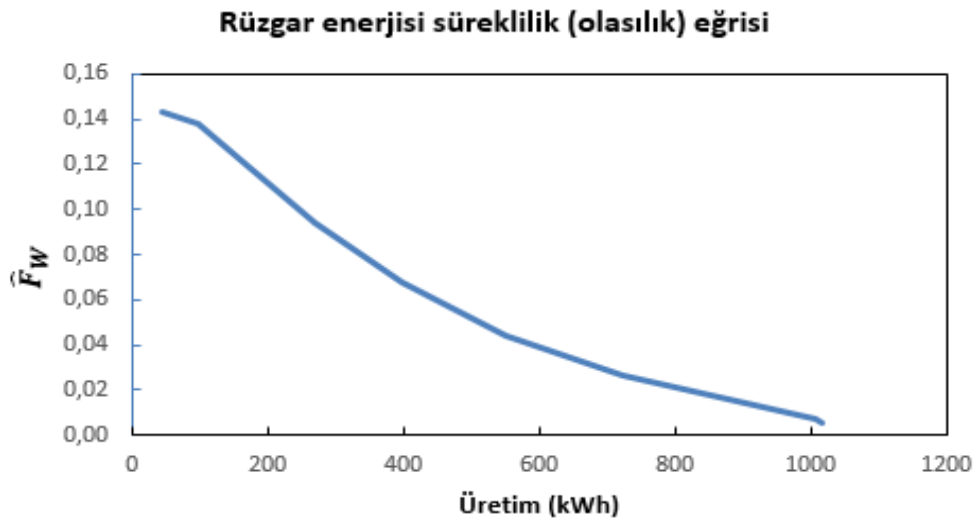
fonksiyonu, rüzgâr hızı data analizinde en yaygın olarak kullanılan ve en iyi uyuşma gösteren fonksiyon olarak bilinmektedir [19-20]. Rüzgâr hızı v 'ye bağlı olarak, Weibull olasılık dağılımı fonksiyonu $f(v)$,

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (8)$$

denklemini ile ifade edilmektedir [21]. Burada k şekil parametresini ifade ederken, c ölçek parametresi olarak adlandırılmaktadır [21]. Bu çalışmada, k parametresi 2.29, c parametresi 6.59 olarak belirlenmiş olup, bu değerler daha önce Hatiya Adası için yapılan rüzgâr enerjisi değerlendirme çalışmalarından alınmıştır [22]. Bu parametre değerleriyle oluşan Weibull dağılım fonksiyonu Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6 ve ada için yapılan rüzgâr enerjisi çalışmasında [22] verilen bilgiler analiz edildiğinde, adadaki rüzgâr hızlarının, yılın yarısında hatta biraz daha fazla süresinde, 6 m/s ve üzerinde seyrettiği görülebilmektedir. Buradan da, adanın, küçük çaplı bir rüzgâr türbininden güç elde etmek için yeterli potansiyele sahip olduğu sonucu çıkarılabilmektedir.



Şekil 6. Hatiya rüzgâr hızı Weibull olasılık dağılım fonksiyonu



Şekil 7. Hatiya rüzgâr enerjisi süreklilik (olasılık) eğrisi

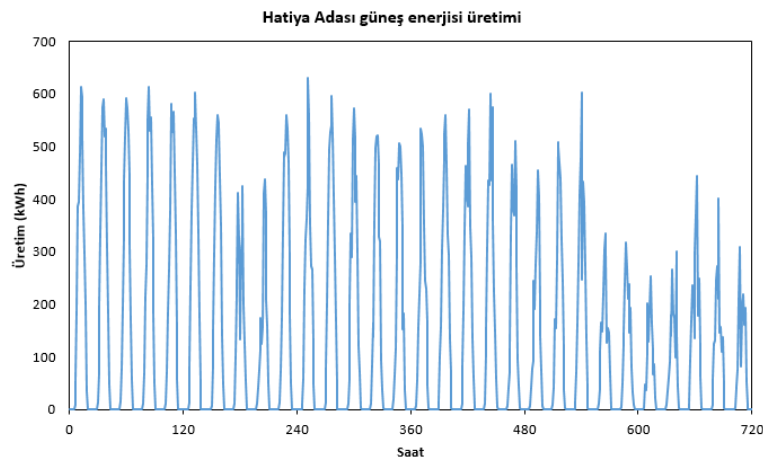
Bir yerde belli bir rüzgâr hızının bulunması aynı zamanda o hıza ilişkin rüzgâr gücünün de oluşması farz edilerek, Weibull dağılım fonksiyonunu rüzgâr türbininin güç eğrisine, rüzgâr hızı aralıklarına türbin güç eğrisinde karşılık gelen değerleri kullanmak suretiyle entegre ettiğimizde, rüzgâr enerjisi için süreklilik (olasılık) eğrisine ulaşılmış oluruz. Elde edilen rüzgâr enerjisi süreklilik (olasılık) eğrisi Şekil 7'de gösterilmiştir.

3.2. Güneş Enerjisi İçin Süreklilik Eğrisinin Hesaplanması

Güneş enerjisi santralının güç (P_s) hesaplamaları için, bu çalışmada, yüzey boyunca ışılan solar radyasyona bağlı olarak ifade edilen aşağıdaki Denklem 9'dan faydalanılmıştır.

$$P_s(I_{tr}) = \frac{I_{tr}}{1000} P_{dc0} (1 + \gamma(T_{cell} - T_{ref})) \eta \quad (9)$$

Burada, P_{dc0} DC etiket nominal güç değerini, T_{cell} solar hücre sıcaklığını, T_{ref} referans hücre sıcaklığını, γ sıcaklık katsayısını ve η DC'den AC'ye dönüşüm verim parametresini temsil etmektedir. Bu formülasyona ait daha detaylı bilgiler referans [23]'te bulunabilir. Hatiya adasına ait solar radyasyon değerleri için, adadan 74 km uzaklıktaki Chittagong şehri istasyonu Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL-National Renewable Energy Laboratory) 1982-2002 yılları arasındaki açık erişim verilerinden faydalanılmıştır [24]. Güç hesaplamalarında, yılın aynı zaman dilimleri için bu verilerin ortalamaları alınmıştır. Solar enerji hesaplamaları, Denklem 9'a dayalı olarak çalışan NREL'e ait PVWatts yazılımı ile gerçekleştirilmiştir [25]. Hesaplamalarda, sistem kapasitesi 1 MW, modül tipi standart, yerleşim tipi sabit ve sistem kayıpları %20 olarak seçilmiştir [14]. Ayrıca, yüzey boyunca ışılan solar radyasyonun elde edilmesinde kullanılan geliş açısı parametresinin hesabı için azimut açısı 180° ve santral eğim açısı 23° (adanın enlem değeri [23]) olarak alınmıştır. Verim parametresinin hesaplanmasında, inverter verimi %96 ve DC'den AC'ye oranı 1.1 olarak belirlenmiştir [23]. T_{cell} , T_{ref} ve γ parametreleri 45°C , 25°C ve $-0.45\%/\text{C}$ olarak seçilmiştir [10]. Adaya ilişkin haziran ayı için ortalama radyasyon değerlerine dayalı hesaplanan saatlik güneş enerjisi üretim eğrisi Şekil 8'de gösterilmiştir. Üretim eğrisi, histogramik bir yaklaşımla 40 kWh genlik değeri uygulanarak, Şekil 9'da gösterilen güneş enerjisi süreklilik (olasılık) eğrisine dönüştürülmüştür.



Şekil 8. Hatiya Adası için hesaplanan saatlik haziran ayı güneş enerjisi üretim eğrisi



Şekil 9. Hatiya Adası için hesaplanan saatlik haziran ayı güneş enerjisi üretim eğrisi

4. Sonuçlar

Süreklilik eğrilerinin elde edilmesinden sonra, bir sonraki adım eşdeğer süreklilik eğrilerinin, (2) ve (3) no'lu denklemlere dayalı, bilgisayarda MATLAB® yazılımında oluşturulan algoritma yardımıyla hesaplanması olmuştur. Daha sonra bu adımı TEÜA, TEÜ, TEÜM ve TEÜAR parametrelerinin tipik bir güne ait talep profili için hesaplanması izlemiştir. Hesaplamalarda, servis önceliği herhangi bir yakıt masrafı olmayan rüzgâr ve güneş enerji santrallerine verilmiştir. Hesaplama sonuçları Çizelge 4'te gösterilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, planlanan ada sisteminin elektrik üretim birimlerinin, adadaki elektrik talebini karşılayamayacağı ve bu durumun elektrik kesintilerine neden olacağı tahmin edilmektedir. Bu elektrik kesintilerinin neden olabileceği ekonomik ve sosyal sorunların önlenmesi için, şebekedeki elektrik tedarik alternatiflerinin kesintiye mahal vermeyecek şekilde planlanması gerekmektedir. Elektrik tedarik alternatiflerinde, ada kaynaklarının potansiyelleri de göz önünde bulundurularak, yenilenebilir enerjinin payı artırılarak elektrik üretim maliyetinin düşürülmesi değerlendirilebilir. Bunun dışında sistemin halihazırda planlandığı şekliyle kurulması durumunda, eğer adada hastane gibi insan hayatını doğrudan etkileyen tesisler var ise, bu tesislerin olabilecek elektrik kesintilerine karşı hazırlıklı olması gerekmektedir.

Çizelge 4. Planlama parametrelerinin hesaplama sonuçları.

TEÜA üretim olmaması durumu (kWh)	2285.2
TEÜA rüzgâr santrali üretimi sonrası (kWh)	2143.2
TEÜA güneş enerji santrali üretimi sonrası (kWh)	2007.1
TEÜA dizel jeneratör üretimi sonrası (Nihâi TEÜA) (kWh)	100.4
TEÜ rüzgar santrali (kWh)	142.3
TEÜ güneş enerji santrali (kWh)	136.1
TEÜ dizel jeneratör (kWh)	1906.7
TEÜM (\$/h)	309
TEÜAR (%)	4.9

Elektrik talebindeki değişken yapıya ilaveten süresiz üretim karakteristiğine sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının her geçen gün artması şebekelerdeki belirsizliklerin artmasına neden olabilmektedir. Bu belirsizlikler ve şebeke tekno-ekonomik kısıtları, şebeke

güvenliğini sağlamak için verimli planlama prosesleri ihtiyacı doğurmaktadır. Bu çalışmada, planlama proseslerinin ihtiyaç duyabileceği bazı önemli parametrelerin üretim-talep süreklilik eğrileri ile olasılıksal bir biçimde hesaplanması işlenmiştir. Çalışmada, şebekeden bağımsız çalışan bir ada sistemi örneği ele alınarak, bu sistem için parametreler hesaplanmış ve hesaplama sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Çalışma sonuçları, yapılan yatırımların fizibilite çalışmaları ve karar verme mekanizmalarında faydalı olacaktır. Gelecek çalışmalarda, hesaplamalar daha geniş sistemler için yapılabilecek ve göz ardı edilen bazı unsurların dikkate alınmasıyla, farklı üretim-talep tahmin yöntemleriyle hesaplamaların doğruluğu arttırılabilecektir.

Kaynaklar

- [1] Kieffer G, Couture TD. Renewable energy target setting. International Renewable Energy Agency, Tech. Rep; June 2015.
- [2] The European Parliament and of the Council. EU directive on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing directives 2001/77/EC and 2003/30/EC; 2009.
- [3] US DOE Tech. Rep. U. D. of Energy Office of Scientific Technical Information, 20 percentage wind energy by 2030, increasing wind energy contribution to us electricity supply; 2008.
- [4] Strbac G. Demand side management: Benefits and challenges. Energy Policy 2008; 36(12): 4419–4426.
- [5] Garver LL. Effective load carrying capability of generating units. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 1966, PAS-85(8):910–919.
- [6] Hobbs BF, Hu MC, Iñón JG, Stoft SE, Bhavaraju MP. A dynamic analysis of a demand curve-based capacity market proposal: The PJM reliability pricing model. IEEE Transactions on Power Systems 2007, 22(1): 3–14.
- [7] Deutsche Energie-Agentur GmbH. Planning of the grid integration of wind energy in Germany onshore and offshore up to the year 2020 (dena-Grid study I) (in German). <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/studie-dena-netzstudie-i/>, 2005.
- [8] Söder L, Bubenko J. Capacity credit and energy value of wind power in hydro-thermal power system. In: 9th Power System Computation Conference, Lisbon, Portugal; 1987.
- [9] Wijk AV. Wind energy and electricity production. Doctoral thesis, Utrecht University, Netherlands, 1990.
- [10] Castro RMG, Ferreira LAFM. A comparison between chronological and probabilistic methods to estimate wind power capacity credit. IEEE Transactions on Power Systems 2001, 16(4):904–909.
- [11] Milligan MR. Modeling Utility-Scale Wind Power Plants, Part 2: Capacity Credit. Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, USA, 2002.
- [12] Söder L, Amelin M. Efficient Operation and Planning of Power Systems. 11th ed. Stockholm, Sweden: KTH Royal Institute of Technology, 2011.
- [13] Ülker MA. Balancing of wind power: Optimization of power systems which include wind power systems. MSc, Uppsala University, Visby, Sweden, 2011.
- [14] Bangladesh: Power System Efficiency Improvement Project (PSEIP). Asian Development Bank, 2011.
- [15] BPC (Bangladesh Petroleum Corporation) internet sayfası. <http://www.bpc.gov.bd/contactus.php?id=39> Erişim tarihi: Aralık 2016.
- [16] Bachmann R, Nielsen H, Warner J, Kehlhofer R. Combined – Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants. 2nd ed. Tulsa, OK, USA: Pennwell Books, 1999.
- [17] Sarkar ZI, Biswas PR, Mazumder GC. Optimal design of a hybrid power generation system: a case study in an island. Academia.edu, 2014.
- [18] WindPRO yazılımı versiyon 3.0.639. <https://www.emd.dk/windpro/> Erişim tarihi: Ekim-Aralık 2016.
- [19] Xiao YQ, Li QS, Li ZN, Chow YW, Li GQ. Probability distribution of extreme wind speed and its occurrence interval. Engineering Structures 2006, 28(8): 1173-1181.

- [20] Akpınar EK, Akpınar S. Statistical analysis of wind energy potential on the basis of the Weibull and Rayleigh distributions for Agin-Elazığ, Turkey. *Journal of Power and Energy* 2004, 218: 557-565.
- [21] Weibull W. A statistical distribution of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics* 1957, 18: 293–297.
- [22] Azad A, Rasul M, Alam M, Uddin SA, Mondal SK. Analysis of wind energy conversion system using Weibull distribution. *Procedia Engineering* 2014, 90: 725 – 732.
- [23] Dobos AP. PVWatts Version 5 Manual. Technical Report, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, 2014.
- [24] NREL açık erişim güneş enerjisi verileri internet sayfası. <http://en.openei.org/wiki/SWERA/Data> Erişim tarihi: Ekim-Aralık 2016.
- [25] NREL PVWatts yazılımı internet sayfası. <http://pvwatts.nrel.gov/> Erişim tarihi: Ekim-Aralık 2016.