

ISSN: 1308-9072

Cilt: 32 / Sayı: 1 / Yıl: 2020

FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ



F ı r a t Ü n i v e r s i t e s i
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
Cilt:32, Sayı:1, Yıl: 2020
ISSN: 1308 - 9072

İ l e t i Ő i m

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
23119, ELAZIĞ

Tel: 0 424 212 27 07
Faks: 0 424 236 99 55
e-posta: fenbilimdergi@firat.edu.tr

Baskı: Fırat Üniversitesi Matbaası

Bu dergi yılda 2 kez ve hakemli olarak yayımlanır.

Derginin Eski adı: Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Derginin Eski ISSN numarası: 1300-2708

<http://dergipark.gov.tr/fumbd>

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)

Sahibi

Prof Dr. Kutbeddin DEMİRDAĞ
Fırat Üniversitesi Rektörü

Genel Yayın Yönetmeni

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Baş Editör

Doç. Dr. Erkan TANYILDIZI
Fırat Üniversitesi Enstitüsü Müdür Yrd.

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Sencer ÜNAL
Fırat Üniversitesi Enstitüsü Müdür Yrd.

DANIŞMA KURULU

Umran S. İNAN	Stanford Ü. Elekt-Elktr. Müh.	Cumali KINACI	İ.T.Ü. Çevre Müh.
Serdar SALMAN	Marmara Ü. Metal. Müh.	Ülkü YETİŞ	O.D.T.Ü. Çevre Müh.
Z. Hakan AKPOLAT	F.S.M.Ü. Elekt-Elktr. Müh.	Eres SÖYLEMEZ	O.D.T.Ü. Makine Müh.
Serkan DAĞ	O.D.T.Ü. Makine Müh.	Ayşe DALOĞLU	K.T.Ü. İnşaat Müh.
Erkan ŞAHİNKAYA	İ.M.Ü. Biyomühendislik	Ali KARCI	İnönü Ü. Bil. Müh.
Temel SAVAŞKAN	K.T.Ü. Makine Müh.	Coskun BAYRAK	Little Rock Ü Bilg. Bil.
İlker B. TOPÇU	Osmangazi Ü. İnş. Müh.	Hükmü ORHAN	Selçuk Ü. Jeoloji. Müh.
Yetkin TATAR	F.Ü. Bil. Müh.	Mehmet CEBECİ	F.Ü. Elekt-Elktr. Müh.
Mehmet ÖZKUL	Pamukkale Ü. Jeoloji. Müh.	Ertan GOKALP	K.T.Ü. Harita. Müh.
Hasan EFEUGLU	A.Ü. Elekt-Elktr. Müh.	Erhan AKIN	F.Ü. Bil. Müh.
Ercan AKSOY	F.Ü. Jeoloji Müh.	Sezgin BAKIRDERE	Y.T.Ü Kimya
Mehmet YILMAZ	F.Ü. İnşaat Müh.	Yusuf CELAYİR	F.Ü. İnşaat Müh.
Nurhan ARSLAN	F.Ü. Kimya Müh.	Cafer BAL	F.Ü. Mekatronik Müh.
Hanifi GULDEMİR	F.Ü.Tek. Elekt-Elktr. Müh.	Nilgün GULEC	O.D.T.Ü. Jeoloji Müh.

Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (MBD)
32-1, 2020

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

1. **Farklı Test Parametreleri için Agregata Tipinin Los Angeles Aşınma Kaybı Üzerine Etkisi**
The Effect of Aggregate Type on Los Angeles Abrasion Loss for Different Test Parameters
Esra TUĞRUL TUNÇ, Kürşat Esat ALYAMAÇ..... 1-10
2. **Karma Taşımacılık Türleri Esas Alınarak Rota Karşılaştırılması: Vaka Analizi**
Comparison of Routes Based on Combined Transportation Types: Case Analysis
Ömer Faruk CANSIZ, Kevser ÜNSALAN..... 11-21
3. **Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracının Kayan Kipli Denetleyici ve Geri Adımlamalı Denetleyici ile Yönelim ve Yükseklik Denetimi**
Orientation and Altitude Control of A Four-Rotor Unmanned Aerial Vehicle with Sliding Mode Control and Back-Stepping Control
Ebubekir BOZKURT, Beşir DANDIL, Fikret ATA..... 23-36
4. **Farklı Tasarlanmış İki Sismik Yalıtımlı Binanın Karşılaştırılması**
Comparison of Two Differently Designed Seismically Isolated Buildings
Necmettin GÜNEŞ, Zülfü Çınar ULUCAN..... 37-46
5. **Evrimsel Sinir Ağı Modellerinde Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Çiçek Görüntülerinin Sınıflandırılması**
Classification of Flower Images by Using Feature Selection Methods in Convolutional Neural Network Models
Mesut TOĞAÇAR, Burhan ERGEN, Fatih ÖZYURT..... 47-56
6. **Uyarlanabilir Onaylaşım Algoritması Tabanlı Senkronize Duffing Osilatörünün Donanımsal Gerçeklemesi**
Hardware Implementation of Synchronized Duffing's Oscillator Based on Adaptive Consensus Algorithm
Gürkan KAVURAN..... 57-67
7. **Derslik Aydınlatma Performansının ve Led Armatür Uygulaması Enerji Tasarrufu Potansiyelinin Belirlenmesi Ön Çalışması**
Preliminary Study of Determination of Classroom Lighting Performance and Led Luminaire Application Energy Saving Potential
Selçuk SELİMLİ, Gözde BAKAR, Erdoğan AYDEMİR..... 69-73
8. **AISI 1050 Çelik Malzemenin Delinmesinde Tepki Kuvvetini Etkileyen Parametrelerin Yüze Yanıt Yöntemi ile Analizi**
Analysis of the Parameters Effecting Thrust Force in Drilling Process with Response Surface Method
Zülküf DEMİR, Şehmus BADAY, Fikret SÖNMEZ..... 75-85
9. **Fotovoltaik Panel ile Beslenebilen SynRM Tasarımı ve Kontrolü**
Design and Control of SynRM Fed by Photovoltaic Panel
Güllü BOZTAŞ, Ömür AYDOĞMUŞ, Hanifi GÜLDEMİR..... 87-94
10. **Irak ve Batman Bitümleri Kullanılan SEBS Modifiyeli Bağlayıcıların Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi**
Investigation of Rheological Properties of SEBS Modified Binders Using Iraq and Batman Bitumens
Erkut YALÇIN, Anıl BAYKARA, Mehmet YILMAZ, Baha Vural KÖK..... 95-104

11. Yeşil Çatı Sistemlerinin Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı Bina Formları ve Derece Gün Bölgeleri İçin Analizi <i>Analysis of the Effect of Green Roofs on the Heating and Cooling Load of Buildings for Different Building Forms and Degree Day Regions</i> Büşra KILIÇ TURAN, Ayça GÜLTEN.....	105-118
12. Elazığ'da Üretilen Balların Bazı Toksik Ağır Metal Düzeyleri <i>Some Toxic Heavy Metal Levels of Honeys Produced in Elazığ</i> Osman AYGÜN.....	119-125
13. Çevresel Atıklarla Modifiye Edilmiş Sathi Kaplamaların Performansının Agregat-Bitüm İlişkisi Bağlamında Değerlendirilmesi <i>Evaluation of the Performance of Modified Chip Seal with Environmental Waste in the Context of Aggregate-Bitumen Relationship</i> Murat KARACASU, Kadir Berkhan AKALIN.....	127-136
14. Şeftali ve Ayva Yapraklarında Nem Miktarının Dielektrik Parametreleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi <i>Investigation of the Moisture Content Effect on Dielectric Parameters in Peach and Quince Leaves</i> İbrahim Bahadır BAŞYİĞİT.....	137-145
15. Android Cihazların Adli Bilişim Analizlerinde Parola Tespitine Bağlı Yeni Süreç Tanımlama Modelinin Geliştirilmesi <i>Developing a New Process Recognition Model Based on Password Detection in Forensic Analysis of Android Devices</i> Ömer Faruk YAKUT, Fatih ERTAM.....	147-156
16. Atık Polietilen Tereftalat (PET) ile Modifiye Edilmiş Saf Bitümün Fiziksel, Morfolojik ve Isıl Özellikleri <i>Physical, Morphological and Thermal Properties of Pure Bitumen Modified with Waste Polyethylene Terephthalate (PET)</i> Tacettin GEÇKİL, Yunus ÖNAL, Ceren Beyza İNCE.....	157-166
17. Dış Ortam Sıcaklıkları ve Güneş Işınımı Şiddeti Dikkate Alınarak Adana İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı Tespiti <i>Determination of Optimum Insulation Thickness for Adana City by Considering Outdoor Temperature and Solar Radiation Intensity</i> Meral ÖZEL, Sefa KUNT.....	167-177
18. GSAP: Güç Sistem Analizi Uygulaması için Matlab Tabanlı Grafik Paketi <i>GSAP: A Matlab-based Graphical Package for Implementing Power System Analysis</i> Hakan ÇAKAR, Muhsin Tunay GENÇOĞLU.....	179-188
19. Dersliklerin Sesin Nesnel Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi: KTÜ Örneği <i>Evaluation of Classrooms in terms of Objective Parameters of Sound: KTÜ Case</i> Mustafa KAVRAZ, Öznur KABİL.....	189-201
20. Kapsül Ağları Kullanılarak EEG Sinyallerinin Sınıflandırılması <i>Classification of EEG Signals Using Capsule Networks</i> Suat TORAMAN.....	203-209
21. Kısımlı Sulama Uygulamalarının Ayçiçeği Bitkisinin (<i>Helianthus annuus L.</i>) Tane Verimi ve Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) Üzerine Etkileri <i>The Effects on Crop Water Stress Index(CWSI) and Grain Yields of Sunflower Plant (<i>Helianthus annuus L.</i>) of Deficit Irrigation Applications</i> Ali Beyhan Uçak, M. Cüneyt Bağdatlı, Hasan Değirmenci.....	211-217

22. Trakeal Tüp ve Laringeal Maske için Kaf Basıncı Ölçer Cihaz Tasarımı <i>Cuff Pressure Gauge Device Design for Tracheal Tube and Laryngeal Mask</i> Hakan ESER, Kübra EVREN ŞAHİN, Savaş ŞAHİN.....	219-224
23. Hava Trafik Yönetimi Araştırma Alanlarının Sınıflandırılması <i>Classification of Air Traffic Management Research Areas</i> Kübra ÇELİK, Haluk EREN.....	225-234
24. Hidrolojik Parametrelerin Pik Debi Üzerindeki Duyarlılıklarının İncelenmesi <i>Investigation of Sensitivity of Hydrologic Parameters on Peak Discharge</i> Hüseyin AKAY.....	235-242
25. Grafik Tablet Kullanılarak Makine Öğrenmesi Yardımı ile El Yazısından Cinsiyet Tespiti <i>Gender Detection from Handwriting with the Help of Machine Learning Using a Graphic Tablet</i> Berna Arı, Ali Arı, İlknur Ucuz, Filiz Çiledağ Özdemir, Abdulkadir Şengür.....	243-252
26. Biyomalzeme Olarak Kullanılan Titanyum Alaşımının Elektrokimyasal Sentezi <i>Electrochemical Sythesis of Titanium Alloys Used as Biomaterials</i> Hülya DEMİRÖREN, Yeşim YILMAZ.....	253-258
27. HDPE/ZnO ve HDPE/Hidroksiapatit Nanokompozitlerin Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi <i>Thermal and Morphological Properties of HDPE/ZnO and HDPE/HAp Nanocomposites</i> Betül ÇİÇEK ÖZKAN, Melek GÜNER, Tarık Selçuk ŞEKER.....	259-266
28. Terör Saldırılarına İçeren Büyük Verinin Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Analizi <i>Analysis of Big Data Including Terrorist Attacks by Machine Learning Techniques</i> Mustafa ULAŞ, Barış KARABAY.....	267-277
29. Yabani-Ekşi Elmanın (<i>Malus sylvestris</i> Miller) Antioksidan Aktivite ve Fenolik Madde İçeriği Üzerine Farklı Kurutma Yöntemlerinin Etkisi <i>Effect of Different Drying Methods on The Antioxidant and Phenolic Compounds of Malus sylvestris Miller</i> Kübra GÜLDEMİR, Özlem ÇAKIR, Kübra ÇAKIROĞLU.....	279-285
30. Görüntü Şifreleme için Trivium-Doğrusal Eşlenik Üretici Tabanlı Bit Üretimi <i>Trivium-Linear Congruential Generator Based Bit Generation For Image Encryption</i> Taha ETEM, Turgay KAYA.....	287-294
31. İki Bileşenli Metal Oksit Yarı iletkenlerin Üretilmesi ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi <i>Fabrication Two Component Metal Oxide Semiconductors and Determination of Optic Properties</i> Burhan Coşkun.....	295-301

Farklı Test Parametreleri için Agregat Tipinin Los Angeles Aşınma Kaybı Üzerine Etkisi

Esra TUĞRUL TUNÇ^{1*}, Kürşat Esat ALYAMAÇ²

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ esratugrul@firat.edu.tr, ² kealyamac@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 23/05/2019);

Kabul/Accepted: 18/01/2020)

Öz: Betonda hacim olarak en fazla agregat bulunduğundan, agreganın özellikleri beton kalitesini ve dayanımını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada Elazığ ili çevresinde kolay ve düşük maliyetle elde edilebilen, farklı tip agregalar test edilmiştir. Agregaların aşınma özelliği Los Angeles aşınma testi kullanılarak belirlenmiştir. Bu testin en önemli parametreleri devir sayısı, bilye sayısı ve toplam bilye ağırlığıdır. Bu çalışmanın amacı, bu test parametreleri ile agregaların aşınma kaybı üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla 3 farklı agregat tipi için toplam bilye ağırlıkları aynı olmak üzere 12, 48 ve 96 adet bilye ve 500, 1000, 1500 ve 2000 devir/dakika farklı devir sayıları kullanılarak, Los Angeles aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda; bilye sayısı ve devir sayısı arttıkça agregat aşınma kaybının arttığı ancak toplam bilye ağırlığı sabit kalıp, bilye sayısı artırıldığında agregaların aşınma kayıplarının azaldığı gözlemlenmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra aşınma testi parametreleri ve agregaların fiziksel özellikleri Tepki Yüzey Metodu kullanılarak istatistik olarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, Los Angeles aşınma kaybı değeri ile bilye sayısı, devir sayısı, agreganın yoğunluğu ve su emme oranı arasında önemli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişkiyi ifade eden bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem ile farklı test parametreleri için aşınma değerlerinin; yaklaşık, pratik ve hızlı bir şekilde tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Los Angeles aşınma testi, demir bilye sayısı, tamburun devir sayısı, beton agregaları, Yüzey Tepki Metodu.

The Effect of Aggregate Type on Los Angeles Abrasion Loss for Different Test Parameters

Abstract: As concrete has the highest aggregate volume, the properties of the aggregate directly affect the concrete quality and strength. In this study, different types of aggregates in Elazığ province have been tested. The abrasion properties of the aggregates were determined using the Los Angeles abrasion test. The most important parameters of this test are number of revolutions, number of balls and total ball weight. The aim of this study is to determine the effect of these test parameters on the abrasion loss of aggregates. For this purpose, Los Angeles abrasion tests were carried out using 12, 48 and 96 balls and 500, 1000, 1500 and 2000 rpm respectively for 3 different aggregate types. As a result of the experiments; it was observed that aggregate abrasion loss increased as the number of balls and the number of revolutions increased, but the total ball weight was fixed and the abrasion loss of the aggregates decreased when the number of balls was increased. After the tests were completed, the abrasion test parameters and the physical properties of the aggregates were analyzed statistically using the Response Surface Method. As a result of the analysis, it was found that there was a significant relationship between Los Angeles abrasion loss value and number of balls, number of revolutions, density of aggregate and water absorption rate. A method for expressing this relationship has been developed. With this method developed for different test parameters, abrasion values; it is concluded that it can be estimated approximately, practical and fast.

Key words: Los Angeles abrasion test, number of iron balls, number of revolutions of the drum, concrete aggregates, Surface Response Method.

1. Giriş

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Hacimsel olarak betonun büyük bir çoğunluğunu oluşturan agregat, betonun iskeletini oluşturmakla birlikte betonun kalitesini de doğrudan etkilemektedir. Agreganın dayanımı ve sertliğinin yanı sıra, özellikle beton yüzeyin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda (yol ve yüzey betonları gibi), dayanıklı olması gerekmektedir. Agregaların aşınma dayanımları; özgül ağırlık, sertlik, boşluk oranı vb. özelliklerine bağlıdır. İlgili Türk Standartları'na [1] göre agreganın basınç dayanımının 100 MPa'dan az olduğu durumda, agreganın aşınma dayanıklılığı test edilmelidir. Cam yapılu agregalar, şistler, marnlı kalkerler, kaba mineralli taşlar aşınmaya karşı

* Sorumlu yazar: esratugrul@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-9071-774X, ² 0000-0002-3226-4073

direnç gösteremediklerinden dolayı, beton üretiminde aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması tercih edilmektedir.

Agregası aşınma dayanımından şüphe duyuluyorsa ya da beton yapımında yapay agregası kullanılıyorsa ilgili standarda [1] göre agregası aşınma dayanımı deneyinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Agregası aşınma dayanımını belirlemek için Los Angeles aşınma deneyi [2], micro-Deval aşınma deneyi [3], Nordik Bilye Değirmeni deneyi [4] ve Darbe dayanımı deneyi [2] yapılmaktadır. Bu aşınma testlerinden en yaygın Los Angeles aşınma testidir. Literatürde micro-Deval aşınma testi ile ilgili çalışmalar da mevcuttur [5]. Ancak diğer testlerin uygulamaları oldukça azdır. Los Angeles deneyi uygulaması kolay olduğu için diğer deneylere göre daha avantajlıdır [6].

Literatürde farklı tip agregaların aşınma kayıplarının araştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Geri dönüşüm agregaları ve granit agregalarının aşınma kayıpları karşılaştırıldığında, granit agregalarının aşınma kayıplarının daha düşük olduğu görülmüştür [7]. Ancak, granit agregalarının çok farklı aşınma kayıplarına sahip agregası tipleri olduğu belirlenmiştir [8, 9]. Kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, granit ve hafif kaya agregaları içerisinde en düşük LA aşınma kaybına sahip agreganın granit agregası, en yüksek LA aşınma kaybına sahip agreganın ise kireçtaşı agregası olduğu belirlenmiştir [10]. Ancak, aynı agregası tipi farklı özelliklere sahip olabilmektedir. Örneğin literatürde test edilen bazı kireçtaşı agregalarının düşük aşınma kaybına sahip olduğu görülmektedir [11]. Kireçtaşı agregalarının da kalker kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve kuvarsitik kireçtaşı gibi türleri mevcuttur. Bunların aşınma kayıpları da birbirinden farklı olarak belirlenmiştir. Kuvarsitik kireçtaşı agregasının aşınma kaybı, kalker kireçtaşı agregasının aşınma kaybından yaklaşık % 80 daha az olduğu gözlenmiştir [12]. Agregası tiplerine göre, LA aşınma kaybı değerinin çok farklı olduğu söylenebilir. Traverten, andezit, bazalt ve granit agregaları için LA aşınma testleri uygulanarak % 10 ile % 76 arasında değişen LA aşınma kaybı değerleri elde edilmiştir. Traverten agregalarının LA aşınma kayıplarının; andezit, bazalt ve granit agregalarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir [13]. Farklı agregası tipleri için yapılan LA aşınma testleri sonucunda; LA aşınma kayıpları küçükten büyüğe sırasıyla gabro, bazalt, kuvarsit, kireçtaşı ve kumtaşı olarak belirlenmiştir [14]. Geri dönüşüm agregalarının LA aşınma kaybı değerlerinin standart değerlerin altında olduğu ve bu nedenle ilgili agregaların, aşınmaya karşı dirençli olması bakımından, beton üretiminde kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır [15, 16]. Atık agregaların beton üretiminde kullanılarak geri dönüşümünün sağlanması, ekonomik ve çevre dostu beton üretmek için oldukça önemlidir [17].

Farklı tip agregaları Los Angeles aşınma testine tabi tutulduktan sonra Los Angeles aşınma kaybının, eksenel basınç dayanımı ile arasındaki ilişkiyi belirlemek için regresyon analizleri yapılmıştır [18]. Aşınma dayanımı ile basınç dayanımı arasında güçlü bir ilişki vardır [19]. LA aşınma kaybı değeri ile aşınma dayanımı arasında da ters orantı vardır. Yani, aşınma dayanımı yüksek agregaların LA değeri düşük, aşınma dayanımı düşük agregaların LA değeri yüksektir [20, 21].

Devir sayısı değiştirilerek gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, devir sayısının artmasıyla aşınma kaybının attığı gözlenmiştir [22, 23, 24, 25]. TS 706 EN 12620+A1'e göre aşınma sınır değerleri 100 devir için % 10 ve 500 devir için ise % 50 olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışma sonuçları, bu bakımdan literatür ve ilgili şartname ile uyumludur.

Türkiye'de, jeolojik yapısından dolayı, farklı özelliklerde, kolay ve ekonomik bir şekilde elde edilebilen çok fazla miktarlarda agregası çeşitleri bulunmaktadır. Yüksek kalite ve performansta beton elde etmek için kullanılan agreganın LA aşınma kaybının küçük olması gerekmektedir. Bu nedenle ülkemizdeki agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar; agregası aşınma kaybının araştırıldığını göstermekte, ancak aşınma deneyi parametrelerinin (bilye sayısı ve devir sayısı) agregası aşınma kaybı değeri üzerindeki etkisini analiz etmede yetersiz kaldığını göstermektedir [26]. Ayrıca, atık agregası kullanımının literatürdeki çalışmalarda oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu agregaların geri dönüşüm ile değerlendirilebilmesi için dayanım özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda yapılacak deneylerin başında aşınma dayanımı deneyi gelmektedir. Aşınma deneyleri içerisinde en yaygın olanı Los Angeles deneyi olmasına rağmen, bu deneyin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu deney sırasında; harcanan zaman, aletten çıkan gürültü ve fazla iş gücü gerektirmesi gibi problemler dikkate alındığında deneysel çalışmayı kolaylaştırmak için bir formüle ihtiyaç duyulmaktadır.

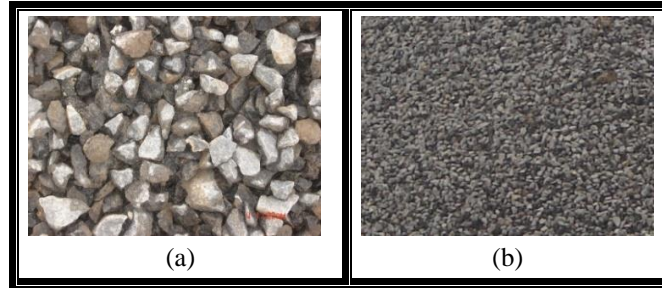
Mevcut çalışmanın amacı, Los Angeles test parametreleri olan bilye sayısı ve devir sayısının agregaların aşınma kaybı üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Bu parametrelerin Los Angeles aşınma kaybına olan etkisini değerlendirebilmek için, deneyde kullanılan bazalt, atık mermer ve kalker agregaları ile aşınma deneyleri ayrı ayrı yapılmıştır. Bu kapsamda artan bilye sayısının ve artan devir sayısının kullanılan agregası tipi ile LA aşınma kaybı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Daha sonra Los Angeles test parametreleri ve agregaların fiziksel özellikleri kullanılarak, Los Angeles aşınma kaybının tespit edilebileceği formül geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bilye sayısı, devir sayısı, agregaların doygun yüzey-kuru agregası yoğunluğu ve su emme değerleri gibi sayısal

değerler Tepki Yüzey Metodu kullanılarak istatistik bir analiz yapılmıştır. Geliştirilen bu denklem ile farklı test parametreleri için Los Angeles aşınma kaybı değerinin yüksek bir doğruluk ile tahmin edildiği görülmektedir. Ayrıca, bu çalışmada aşınma kaybının ön tahmin metoduyla belirlenmesi sağlanarak zaman, iş gücü ve ekonomik kazanç elde edilmesi amaçlanmaktadır.

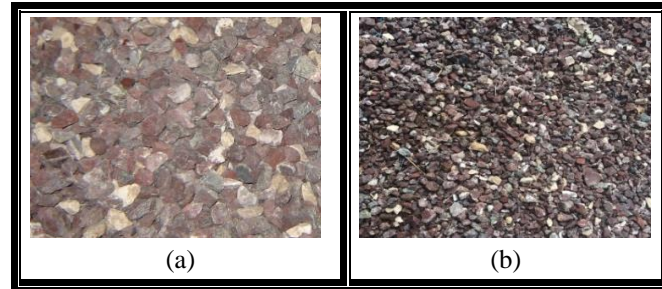
2. Malzemeler ve Yöntemler

2.1. Agregalar

Mevcut deneysel çalışmada; Elazığ ili yöresinden çıkarılan bazalt, atık mermer ve kalker agregası tipleri kullanılmıştır (Şekil 1-3). Bu agregası tiplerinin bir kısmı atık agregalardır. Bu agregası tiplerinin temin edilmesi oldukça kolay ve ucuzdur. Ayrıca, betonda kullanılması uygun görülen agregaların granülometri eğrilerinin TS 802'ye göre A₁₆-B₁₆ standart eğrileri arasında kalması gerekmektedir. Bu agregaların bu bakımdan uygun olduğu da belirlenmiştir. Söz konusu agregalar iki ayrı boyutta sınıflandırılmıştır. Kullanılan agregası sınıflarında orta agregası için 10-12.5 mm ve iri agregası için 12.5-14 mm arasında elenerek agregalar kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1. Mevcut çalışmada kullanılan bazalt agregası: a) iri, b) orta.



Şekil 2. Mevcut çalışmada kullanılan atık mermer agregası: a) iri, b) orta.



Şekil 3. Mevcut çalışmada kullanılan kalker agregası: a) iri, b) orta.

Mevcut agregaların ilgili standartlara [1] göre; doygun yüzey kuru agregası yoğunlukları ve su emme değerleri belirlenmiştir (Tablo 1). Böylece, bu agregaların fiziksel özellikleri hakkında gerekli bilgi sağlanmıştır. Bu

çalışmada agrega doygun yüzey kuru agrega yoğunlukları ve agrega su emme oranları ile agrega LA aşınma kaybı arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Böylece, agrega aşınma kaybının tespitinde kolaylık sağlanacağı düşünülmektedir.

Tablo 1. Agregaların fiziksel özellikleri

	Agrega tipleri		
	Bazalt	Atık Mermer	Kalker
ρ_b^{iri}	2.79	2.63	2.60
ρ_b^{orta}	2.78	2.62	2.59
W_a^{iri}	0.75	1.0	1.2
W_a^{orta}	0.8	1.1	1.25

burada; ρ_b^{iri} =iri agrega için doygun yüzey kuru agrega yoğunluğu (g/cm³), ρ_b^{orta} =orta agrega için doygun yüzey kuru agrega yoğunluğu (g/cm³), W_a^{iri} =iri agrega için su emme (%), W_a^{orta} =orta agrega için su emme (%).

2.2. Los Angeles aşınma deneyi

Agregaların aşınma kaybını belirlemek için Şekil 4'te gösterilen Fırat Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan Los Angeles aşınma deney aleti (bilyeli tambur) kullanılmıştır. Bu deneysel çalışmada bilye sayısının ve sabit ağırlıklı farklı çaplardaki bilyelerin aşınma kaybı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir dizi aşınma deneyi yapılmıştır. Deney için iri malzemeden 2500 g ve orta malzemeden 2500 g olmak üzere toplam 5000 g numune yıkanarak 110 ± 5 °C sıcaklıkta etüvde kurutulup tartılmıştır [1]. Bu işlem numune sabit ağırlığa ulaşana kadar sürdürülmüştür. Sabit bir hız ile dakikada 31-33 devir yapan tambura, bilyeler ve etüvde kurutulmuş agregalar bırakılıp kapak kapatılmış ve 500 devir yaptırılmıştır. Deney sonunda aletin içindeki bilyeler agrega parçacıklarından titizlikle temizlenerek, deneysel hata olmamasına özen gösterilmiştir. Deney sonunda elde edilen agrega parçacıkları 1.6 mm göz açıklıklı elekte elenerek elek üstünde kalan parçacıklar tartılmıştır. Bu işlemlerden sonra LA aşınma kaybını (%) hesaplamak için, Eşitlik (1) kullanılmıştır [2].

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (1)$$

burada; LA=Los Angeles katsayısını (%); m=1.6 mm'lik elek üzerinde kalan malzemeyi (g) ifade etmektedir.



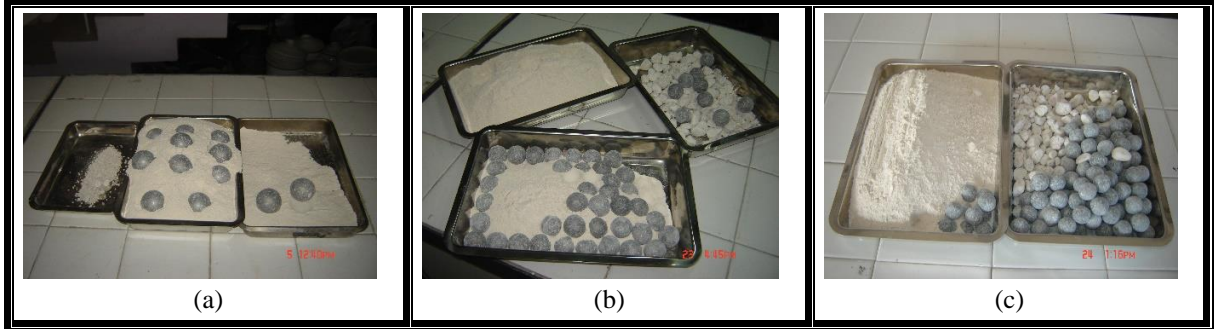
Şekil 4. Los Angeles aşınma deneyi: a) deney aleti; b) aşınan malzeme.

3. Deneysel Çalışmalar

3.1. Deneysel Bulgular

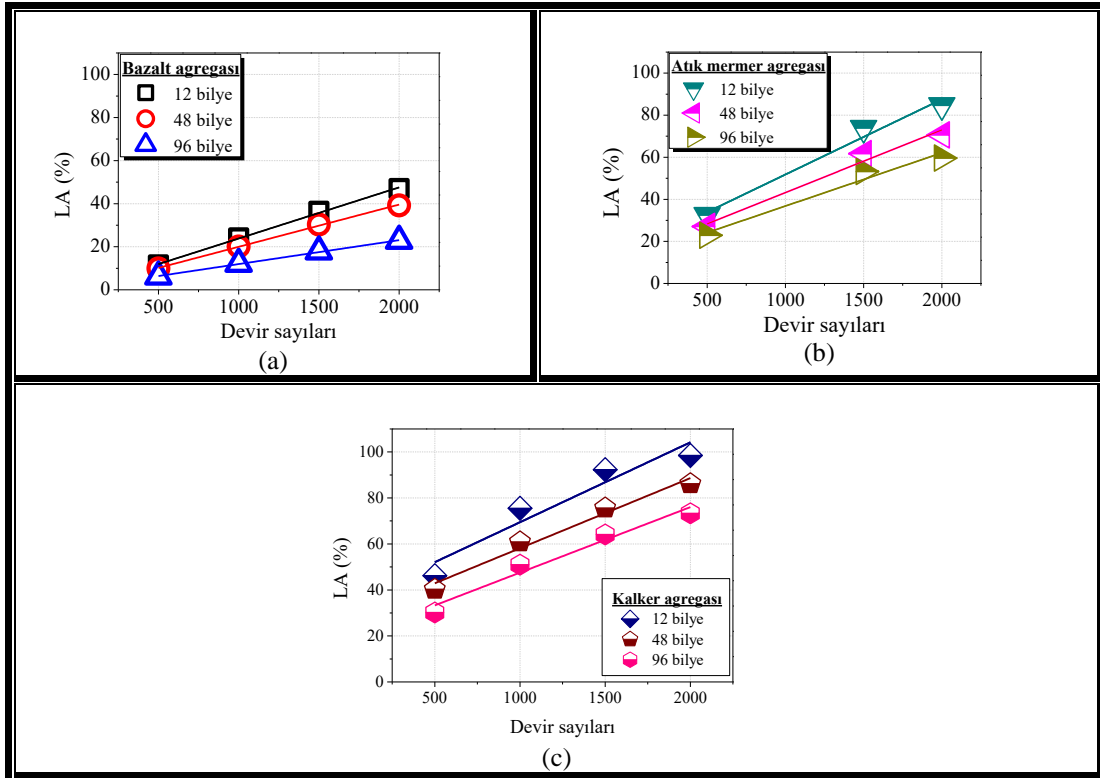
Bu çalışmada toplam bilye ağırlığı sabit tutularak; 12, 48 ve 96 adet bilye için deneyler gerçekleştirilmiştir. Böylece, toplam bilye ağırlığı değişmeden sadece bilye sayısı değişiminin ve devir sayısı değişiminin aşınma

kaybına etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen deneylerde; 12 bilye için her bir bilye çapı 47 ± 1 mm, 48 bilye için her bir bilye çapı 29 ± 1 mm ve 96 bilye için her bir bilye çapı 23 ± 1 mm olarak ölçülmüştür. Bazı deneylerden sonra aşınan agregalar ve deneyde kullanılan bilyeler Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Aşınan agregaların görünümü: a) 12 bilye, b) 48 bilye, c) 96 bilye.

Şekil 6(a-c)'de toplam bilye ağırlığı (5000 g) sabit olan faklı bilye sayıları (12, 48 ve 96) için Los Angeles aşınma kaybı (LA %) değerleri ile farklı devir sayıları (500, 1000, 1500 ve 2000) arasındaki ilişki incelenmiştir. Devir sayısı 500'den 2000'e yükseltildikçe LA (%) değerinin; 12 bilye için % 11 ile % 93 arasında, 48 bilye için % 9 ile % 82 arasında, 96 bilye için ise % 6 ile % 65 arasında değiştiği görülmektedir. LA (%) değerinin devir sayısı arttıkça arttığı gözlenirken, aynı devir sayısı için bilye sayısındaki artışla LA (%) değerinin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, toplam bilye ağırlığı sabit tutulduğundan bilye sayısının artmasıyla bilye çaplarının azalmasıdır. Böylece, bilyelerin agregayı aşındırma etkisi azalmaktadır. En düşük bilye sayısı (12 adet) için yapılan deneylerde en yüksek LA (%) değerleri gözlenirken en yüksek bilye sayısı (96 adet) için yapılan deneylerde en düşük LA (%) değerleri bulunmuştur. Özellikle kalker agregası için bu parametreler ile yapılan deneyde % 95'e yakın bir LA (%) değeri hesaplanmıştır.

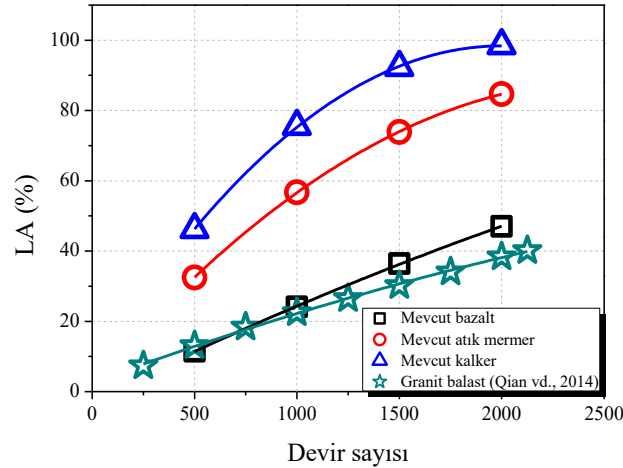


Şekil 6. Artan bilye sayısı ve artan devir sayısı için LA kaybının değişimi: a) bazalt, b) atık mermer, c) kalker.

Devir sayısındaki artışla LA (%) değerinde lineer bir artış gözlenmiştir. 12 bilye sayısı ile 96 bilye sayısı için LA (%) değeri karşılaştırıldığında; bazalt agregasında yaklaşık %50 azalma, atık mermer agregası ve kalker agregasında ise yaklaşık %30 azalma gözlenmiştir. 500 devir sayısı ile 1500 devir sayısı için LA (%) değeri karşılaştırıldığında; bazalt agregasında yaklaşık 3.1 kat artış, atık mermer agregasında yaklaşık 2.3 kat artış, kalker agregasında ise yaklaşık 1.9 kat artış gözlenmiştir. Böylece bilye sayısındaki artış ile LA (%) değerinde ki maksimum azalma, %50 oranında bir azalma ile bazalt için gözlenmiştir. Bununla birlikte devir sayısındaki artış ile LA (%) değerinde ki maksimum artış ise, 3.1 kat artış ile yine bazalt agregasında görülmektedir. Böylece toplam bilye ağırlığının sabit tutulup bilye sayısının artırılması ile aynı devir sayısı için, LA (%) aşınma kaybı değerinin azaldığı ve dolayısıyla agregat aşınma direncinin arttığı gözlenmektedir. Devir sayısının artırılması ile aynı bilye sayısı için LA (%) aşınma kaybı değerinin arttığı ve dolayısıyla agregat aşınma direncinin azaldığı gözlenmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde, aşınmaya karşı en dayanıklı agreganın bazalt agregası olduğu gözlenirken, kalker agregasının Los Angeles aşınma kaybı çok fazla olmuş ve dolayısıyla aşınmaya karşı direncinin çok az olduğu belirlenmiştir. 12 bilye ve 500 devir için deney sonuçları incelendiğinde, TS EN 1097-2'ye [2] göre bu çalışmada test edilen agregat tipleri aşınma dayanımı açısından sınır değer altındadır. Böylece, bu üç agreganın da kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

3.2. Mevcut çalışma bulgularının önceki çalışma bulgularıyla karşılaştırılması

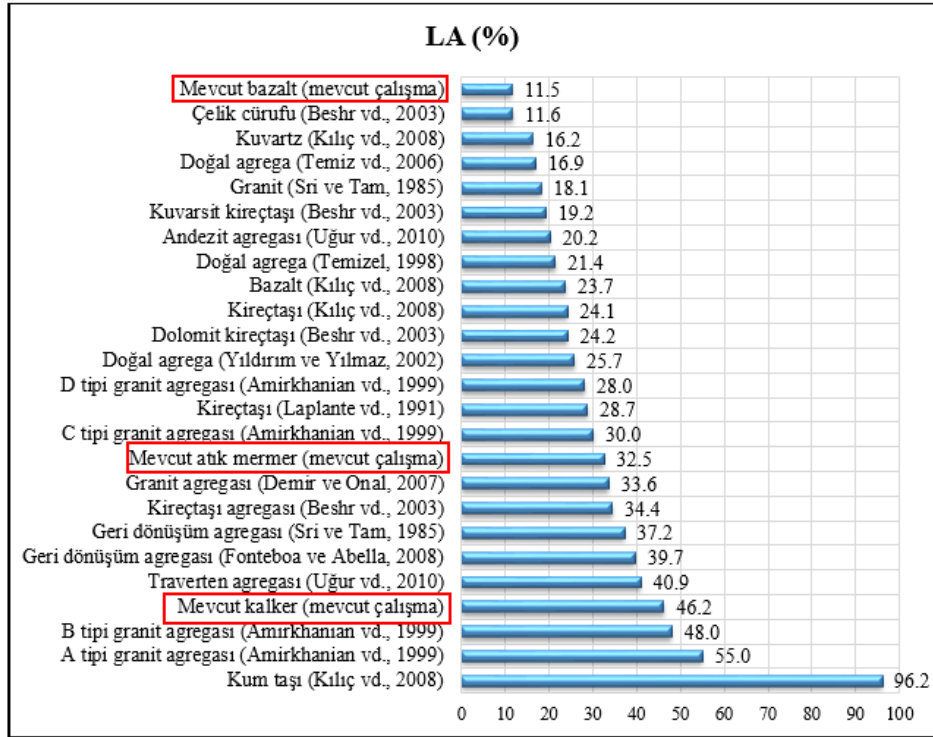
Qian vd. (2014) çalışmalarında; bazalt, granit, siyenit, diyorit, diyabaz, kuvarsit, melafir veya sert kalker gibi agregalardan oluşan bir kırmataş tabakası olan balastın aşınma kaybını araştırmışlardır. Bu kapsamda, 250 ile 2125 devir sayıları arasındaki LA (%) değerlerini gözlemlemişlerdir. Şekil 7'de mevcut çalışmada kullanılan agregalar ve Qian vd. (2014) çalışmasında kullanılan balasta ait devir sayıları ile LA (%) değişimleri sunulmaktadır [27]. Aşınma direnci en yüksek agregaların, bazalt ve balast olduğu görülmektedir. Bazaltın LA (%) kaybı değerlerinin granit balastın LA (%) kaybı değerlerine oldukça yakın olduğu ve aynı eğilimi gösterdiği görülmektedir. Hatta 12 bilye ve 500 devir sayısı (standart) için yapılan deneyde bazalta ait LA kaybı değerinin granit balasttan %12 daha düşük çıktığı, dolayısıyla aşınma direncinin daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Aşınmaya oldukça dirençli olması gereken yol, demiryolu, hava meydanları gibi yerlerde kullanılan balast; mevcut çalışmada kullanılan bazalt ile karşılaştırıldığında bazaltın hem dayanıklılık ve hem de ekonomik açıdan kullanılabilirliğinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 7. Qian vd. (2014) [27] ve mevcut çalışma için LA (%) değerlerinin devir sayısı ile değişimi.

Geniş kapsamlı bir literatür taramasından sonra incelenen çalışmalara ait agregat türleri ve mevcut çalışmaya konu olan agregat türleri için elde edilen LA (%) kaybı değerleri Şekil 8'de sunulmaktadır. Şekil 8'deki LA (%) kaybı değerleri, 12 bilye ve 500 devir sayısı (standart) için elde edilmiştir. Buna göre en düşük LA % değeri 11.5 % ile bazalt için gözlenirken, en yüksek LA % değeri ise %96.2 ile kumtaşı için gözlenmiştir. Bu durum literatür ile karşılaştırıldığında, Los Angeles aşınma kaybı en küçük dolayısıyla aşınmaya en dirençli agreganın bazalt olduğu görülmektedir. Aşınmaya karşı dayanıklı agregaların genel olarak sırasıyla; bazalt, doğal agregat, kalker,

granit, atık mermer, geri dönüşüm agregası ve kumtaşı olduğu sonucuna varılmıştır. Böylece literatürde çalışılmış agregalarla karşılaştırıldığında, bazaltın kullanılabilirliğinin çok uygun olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 8. Farklı agrega tipleri için Los Angeles aşınma kayıpları [7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 22, 23, 24, 25].

4. Analiz ve Tartışmalar

Deneyler sonucunda demir bilye sayısının ve tambur devir sayısının Los Angeles aşınma kaybı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bunlarla beraber agreganın fiziksel özelliklerinin de aşınma kaybı özelliği üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Dolayısıyla agregaların aşınma kayıpları üzerinde bilye sayısı, devir sayısı, agreganın yoğunluğu ve su emme miktarı parametrelerinin etkisi oldukça önemlidir. Aşınma kaybı üzerindeki bu çoklu etkinin araştırılması için bu çalışmada, tepki yüzey metodu kullanılmıştır.

Tepki Yüzey Metodu (TYM) kullanımının nedeni; bu metodolojinin faktörler ve cevaplar arasındaki ilişkiyi belirlemek için etkili bir araç olmasıdır. TYM'nin avantajlarından bazıları şunlardır: a) az sayıda test verisine sahip güvenilir bir model oluşturmak, b) her bir cevap için modeli tahmin etmedeki etkinliği c) faktörler arasındaki birleşik etkiyi değerlendirmek için etkili olmasıdır. Bu çalışmada, deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş veriler yardımıyla ve TYM kullanılarak bir analiz yapılmıştır. TYM modelini oluşturmak için 30 set noktadaki aşınma testi sonuçları kullanılmıştır. TYM kullanılarak aşınma kaybını elde edebilecek bir yöntem geliştirilmesi için paket bir bilgisayar programından faydalanılmıştır. Değişkenler ve kontrol seviyeleri Tablo 2 de verilmiştir. Değişkenler; demir bilye sayısı (BS), tambur için devir sayısı (DS), ortalama doymuş yüzey-kuru agrega yoğunluğu (DYK) ve ortalama su emme (SE) değerleridir. Bu değişkenlerin seçilme nedenleri, demir bilye sayısının (BS), tambur için devir sayısının (DS), doymuş yüzey kuru agrega yoğunluğu (DYK) ve su emme (SE) değerlerinin Los Angeles aşınma testi üzerinde en etkili parametreler olmasıdır.

Tablo 2. Değişkenler ve değişim miktarları.

Semboller		Değişim aralığı		
Adı	Kodu	-1	0	+1
Bilye sayısı (BS)	A	12	54	96
Devir sayısı (DS)	B	500	1250	2000
Yoğunluk (DYK)	C	2.60	2.695	2.79
Su emme (SE)	D	0.75	1.00	1.25

Bu çalışmada, agregaların Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin, nümerik bir model yardımıyla tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, tepki yüzey metodu kullanılarak, birçok farklı model denenmiştir. Analizlerde, Bölüm 3 de verilen deney sonuçları kullanılmıştır. Detaylı analizlerden sonra en uygun modelin doğrusal model olduğuna karar verilmiştir. Daha sonra önemsiz terimler model üzerinde bir t-testi yapılarak kaldırılmıştır.

Son olarak, kalan terimler kullanılarak, Eşitlik (2)'de verilen model oluşturuldu. Modelin yeterliliğini doğrulamak amacıyla p ve F değerini belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapıldı. Geliştirilen model için R^2 değeri 0.97 olarak hesaplanmıştır. Modelin ANOVA sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. 294.21 olan F değeri, modelin önemli olduğunu göstermektedir. Bu kadar büyük bir f değerinin ortaya çıkması, modelin sapma ihtimalinin % 0.01'in altında olduğunu göstermektedir. Modelin p-değerlerinin, A ve B terimleri için 0.0001'den, C ve D terimleri için ise 0.05'den küçük olduğu için modelin her teriminin anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Verilerin sayısal değerlerine göre her modelin F-değerleri kendine özgüdür. Ancak p-değerlerinin anlamı her model için aynıdır. P-değeri, 0.0001'den küçük ise model veya terimin (denklemin her terimi için ayrı hesaplanır) mükemmel olduğunu, eğer 0.05'den küçük ise model veya terimin anlamlı ve kullanılabilir olduğunu ifade eder.

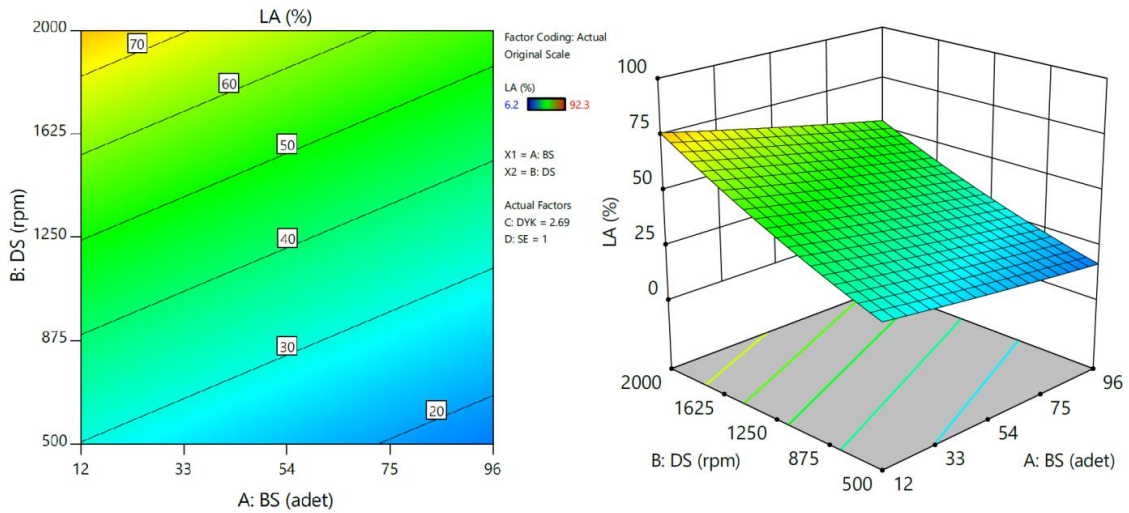
Tablo 3. Model ve terimlerinin varyasyon analizi sonuçları.

Girdi	Anlamlılık	F-değeri	p-değeri
Model	110.03	294.21	< 0.0001
A – BS	9.53	101.91	< 0.0001
B – DS	41.62	445.15	< 0.0001
C – DYK	0.3972	4.25	0.0498
D – SE	1.87	19.96	0.0001

Geliştirilen modele ait denklem, Eşitlik (2)'de verilmiştir. Bu denklem, model terimlerini kapsayan her faktör için verilen yanıtlara ilişkin tahminler yapmak için kullanılabilir. Burada, değerler her faktör için orijinal birimlerde belirtilmelidir. Bu denklem, her bir faktörün göreceli etkisini tanımlamak için kullanılmamalıdır, çünkü katsayılar, her bir faktörün birimlerini barındıracak şekilde ölçeklendirilir ve kesişme, tasarım alanının merkezinde değildir. Bu durum tepki yüzey metodunun bir özelliğidir.

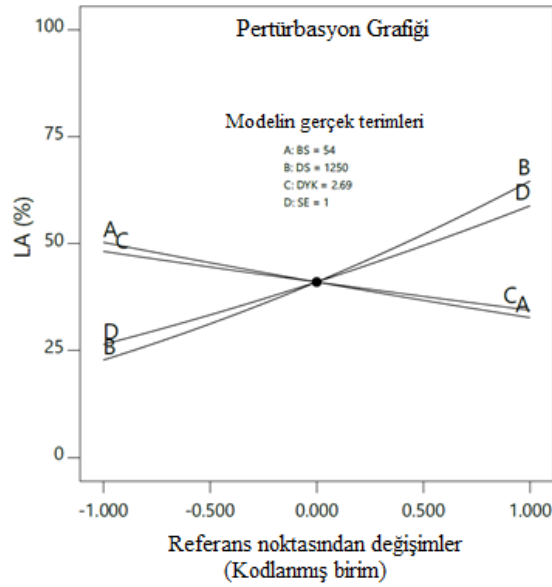
$$LA = (14.71546 - 0.016378 \times BS + 0.002181 \times DS - 5.66014 \times DYK + 5.06998 \times SE)^2 \quad (2)$$

Şekil 9'da belirtildiği gibi, hem demir bilye sayısı hem de devir sayısı, Los Angeles aşınma değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Değişkenler değiştikçe, aşınma kaybının değerleri kolayca 2B çizimden belirlenir (Şekil 9a). Ayrıca, her iki değişkenin de yanıt üzerindeki birleşik etkisi 3B çizimden açıkça anlaşılmaktadır (Şekil 9b). Doygun yüzey kuru agrega yoğunluğu ve su emme miktarı değişkenlerinin etkisi ise sadece pertübrasyon eğrileri incelendiğinde görülebilir.



Şekil 9. Tepki Yüzey Metodu çizimleri a) 2 boyutlu, b) 3 boyutlu.

Tüm değişkenlerin etkisi, Şekil 10'da pertürbasyon grafiği olarak verilmiştir. Modelde kullanılan tüm değişkenlerin, beton agregalarının aşınmasında önemli bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir. Her değişkene ait eğrinin eğimi, yanıt üzerindeki (aşınma kaybı) etki derecesini gösterir (Şekil 10). Bu özellikler göz önüne alındığında, A (demir bilye sayısı), B (tambur için devir sayısı), C (doğgun yüzey-kuru agrega yoğunluğu) ve D (su emme) değişkenleri Los Angeles aşınma kaybı üzerinde önemli ve birbirlerine yakın etkilere sahiptirler. Beklendiği gibi, A ve C değişkenleri arttıkça Los Angeles aşınma kaybı azalmış ancak B ve D değişkenleri arttıkça Los Angeles aşınma kaybı artmıştır. Toplan bilye ağırlığı değişmeyip, bilye sayısı arttıkça bilyelerin aşındırma özelliği azalmaktadır. Ancak devir sayısı arttıkça etki süresi arttığından aşınma kaybı artmaktadır. Agreganın yoğunluğu arttıkça boşluk oranı azalmakta ve dayanımı artmaktadır. Dolayısıyla yoğunluğu artan agreganın aşınma kaybının azalması bekleneni desteklemektedir. Benzer olarak, su emme miktarının artması boşluk artışı ile ilgilidir. Dolayısıyla su emme miktarı yüksek olan agreganın aşınma kaybı artmaktadır. Sonuç olarak, Los Angeles aşınma testinin en etkili parametrelerinin bir ön tahmin yöntemi geliştirmek için kullanıldığı görülmektedir ve bunlarla etkili ve pratik bir yöntem geliştirilmiştir.



Şekil 10. Pertürbasyon eğriler.

5. Sonuçlar

Mevcut çalışmada gerçekleştirilen deneyler ile Los Angeles test parametrelerinin (bilye sayısı ve devir sayısı) Los Angeles aşınma kaybı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, agreganın fiziksel özellikleri de aşınma kaybı açısından büyük önem taşımaktadır. Aşınma kaybı üzerindeki bu faktörlerin etkisinin araştırılması için tepki yüzey metodu kullanılmıştır. Söz konusu agregaların Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin, deney sonuçları yardımıyla geliştirilen en uygun sayısal bir model ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Literatürde agregaların aşınma kaybı değerleri ancak deneysel bir yöntem ve çalışmalar sonucunda elde edilebilmektedir. Bu çalışma da ise aşınma deneyi yapılmadan, agregaların aşınma kaybı değerlerinin yaklaşık tahmin edilebilmesi için bir denklem geliştirilmiş ve böylece aşınma deneyi yapmadan sayısal bir yöntem kullanılarak, agregaların aşınma kaybı değerlerinin tahmin edilmesine imkân sağlanmıştır. Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Los Angeles aşınma deneyinde, demir bilye sayısının ve tamburun devir sayısının deney sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip oldukları belirlenmiştir.
- Agregaların aşınma dayanımını sayısal bir metotla tahmin etmek için, aşınma dayanımı üzerinde etkili demir bilye sayısı, tamburun devir sayısı, agreganın özgül ağırlığı ve su emme değerleri, Tepki Yüzey Metodu kullanılarak değerlendirilmiş, yeni ve etkin bir sayısal yöntem geliştirilmiştir.
- Geliştirilen sayısal yöntem ile agregaların Los Angeles aşınma kaybı değerlerinin yüksek doğrulukla, pratik ve kolay bir şekilde hesaplanabileceği ortaya konulmuştur. Ancak geliştirilen yöntem yaklaşık bir yöntemdir.

Yöntemin daha fazla sayıda agregası çeşidini kapsamı için çok sayıda farklı agregası kullanarak deneyler yapılmalı ve kapsamlı verilerin tekrar sayısal bir yöntem haline getirilmesi gerekir.

Kaynaklar

- [1] TS 706 EN 12620+A1. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [2] TS EN 1097-2. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [3] TS EN 1097-1. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Aşınma direncinin tayini (micro-Deval), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [4] TS EN 1097-9. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 9: Çivili lastiklerden kaynaklanan aşınmaya karşı direncin tayini - Nordik deney, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [5] Rangaraju PR, Edlinski J. Comparative evaluation of micro-deval abrasion test with other toughness/abrasion resistance and soundness tests. *Journal of Materials in Civil Engineering* 2008; 20(5): 343-351.
- [6] Jamil MZ, Khan MS. Establishment of correlation between Los Angeles abrasion loss and strength determined through point load index and Schmidt rebound hammer. *Science International (Lahore)* 2014; 26(2): 767-70.
- [7] Sri Ravindrarajah R, Tam CT. Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. *Magazine of concrete research* 1985; 37(130): 29-38.
- [8] Amirkhani SN, Kaczmarek D, Burati Jr JL. Effects of los angeles abrasion test values on the strengths of laboratory-prepared marshall specimens. *Transportation Research Record* 1991; 1301(77).
- [9] Demir İ, Önal MM. Kırşehir-Kaman Yöresi Granit Agregalarının Mühendislik Özellikleri. *Politeknik Dergisi* 2007; 10(3): 277-285.
- [10] Laplante P, Aitcin PC, Vezina D. Abrasion resistance of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering* 1991; 3(1): 19-28.
- [11] Poitevin P. Limestone aggregate concrete, usefulness and durability. *Cement and Concrete Composites* 1999; 21(2): 89-97.
- [12] Beshr H, Almusallam AA, Maslehuddin M. Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete. *Construction and Building Materials* 2003; 17(2): 97-103.
- [13] Kahraman S, Fener M. Predicting the Los Angeles abrasion loss of rock aggregates from the uniaxial compressive strength. *Materials Letters* 2007; 61(26): 4861-4865.
- [14] Kılıç A, Teymen A. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 2008; 67(2): 237.
- [15] González-Fonteboa B, Martínez-Abella F. Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. *Materials and mechanical properties. Building and Environment* 2008; 43(4): 429-437.
- [16] Gaedicke C, Marines A, Miankodila F. Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete. *Construction and Building Materials* 2014; 68: 701-708.
- [17] Tunc ET. Recycling of marble waste: A review based on strength of concrete containing marble waste. *Journal of Environmental Management* 2019; 231: 86-97.
- [18] Shakoor A, Brown CL. Development of a quantitative relationship between unconfined compressive strength and Los Angeles abrasion loss for carbonate rocks. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 1996; 53(1): 97-103.
- [19] Li B, Ke G, Zhou M. Influence of manufactured sand characteristics on strength and abrasion resistance of pavement cement concrete. *Construction and Building Materials* 2011; 25(10): 3849-3853.
- [20] Kumar GR, Sharma UK. Abrasion resistance of concrete containing marginal aggregates. *Construction and Building Materials* 2014; 66: 712-722.
- [21] Tunç ET. An Experimental Investigation on the Abrasion Strength of Aggregate: Elazığ Province Calcareous Aggregate. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology* 2018; 8(2): 75-80.
- [22] Temizel KE. Samsun ili Bafra ilçesi Kızılırmak havzasındaki doğal agregası ocaklarından alınan agregaların ve bu agregalardan üretilen betonun bazı özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, 1998.
- [23] Yıldırım M, Yılmaz I. Yıldız ırmağı çökellerinin beton agregası olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 2002; 19(2): 181-192.
- [24] Temiz H, Binici H, Bodur MN, Kara O. Kahramanmaraş doğal agregalarının mühendislik özellikleri. *Kahramanmaraş Sürçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2006; 9(2).
- [25] Uğur I, Demirdağ S, Yavuz H. Effect of rock properties on the Los Angeles abrasion and impact test characteristics of the aggregate. *Materials Characterization* 2010; 61: 90-96.
- [26] Tuğrul E. Agregaların aşınma dayanımlarının farklı şartlar altında incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2015.
- [27] Qian Y, Boler H, Moaveni M, Tutumluer E, Hashash Y, Ghaboussi J. Characterizing ballast degradation through Los Angeles abrasion test and image analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2014; (2448): 142-151.

Karma Taşımacılık Türleri Esas Alınarak Rota Karşılaştırılması: Vaka Analizi

Ömer Faruk CANSIZ¹, Kevser ÜNSALAN^{2*}

^{1,2} İnşaat Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye
^{*1} ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, ¹ kevser.keskin@iste.edu.tr

(Geliş/Received: 28/10/2019);

Kabul/Accepted: 28/10/2019)

Öz: Bu çalışmada, yük taşımacılığında rota optimizasyonu için taşımacılık türlerinin birleşimi esas alınarak performans analizleri yapılmaktadır. Ayrıca yük tonajının rota seçimine etkisi de incelenmektedir. Rota seçiminde, yakıt tüketimi, taşımacılık maliyeti, taşıma süresi ve ulaşım türüne bağlı olarak taşıtlardan salınan karbondioksit miktarı dikkate alınmaktadır. Analizler için Hatay'dan Ankara'ya yük taşımacılığı yapılmaktadır. Yük türü, Hatay'da üretim sanayisi güçlü olan filtre malzemesi seçilmektedir. Yükün taşınmasına uygun olan konteyner taşımacılığı yapılmaktadır. Belirlenen iki nokta arasında karayolu ve demiryolu olmak üzere iki tek türlü taşımacılık, demiryolu ve karayolu kombinasyonları ile üç çok türlü taşımacılık rotası geliştirilmektedir. Rotalar performans indeksi esas alınarak değerlendirildiğinde 5, 10, 14 ton yük taşımacılığı için sırasıyla % 76,1, % 66,7 ve % 59,3 performans indeksleri ile optimum rota çok türlü 3 rotası çıkmaktadır. Tek türlü taşımacılığın olumsuz yönleri, çok türlü taşımacılığın yerinde kullanılması ile giderilebilmektedir. Böylece hızlı, ekonomik ve çevreci bir taşımacılık rotasına ulaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çok türlü taşımacılık, Tek türlü taşımacılık, Yük taşımacılığı, Rota optimizasyonu

Comparison of Routes Based on Combined Transportation Types: Case Analysis

Abstract: In this study, performance analyzes are performed on the basis of combination of transportation types for route optimization in freight transportation. In addition, the effect of load tonnage on route selection is also examined. The choice of route is based on the amount of carbon dioxide emitted, the fuel consumption, transportation cost and transportation time. From Hatay to Ankara for freight transportation analysis is made. Filter material which is strong in the production industry in Hatay is selected as load type. Container transportation is suitable for filter material. Two unimodal transportation routes, namely road and rail, and three multimodal transportation routes with rail and road combinations are being developed. When the routes are evaluated on the basis of the performance index, the route of multimodal 3 is optimum route with the performance indexes of 76,1%, 66,7% and 59,3% for the 5, 10, 14 tons of freight transportation respectively. The negative aspects of unimodal transportation can be solved with the use of multimodal transportation properly. Thus, fast, economic and environmental transportation route is developed by simultaneously.

Key words: Multimodal transport, Unimodal transport; Freight transport, Route optimization

1. Giriş

Geleneksel taşımacılık türü olan tek türlü taşımacılık bir ulaşım türünün kullanılması ile yapılan taşımacılıktır. Demiryolları, karayolları, denizyolları, havayolları, iç su yolu ve boru hattı ulaşım türlerinden biri ile yapılmaktadır. Ülkemizde taşımacılık en çok karayolları olmak üzere genel de tek türlü ulaşım modu ile yapılmaktadır [1, 2]. Ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesi, uluslararası ticari rekabetin artması ile yaygın kullanım alanı olan tek türlü taşımacılıktan çok türlü taşımacılığa geçiş yapılmaktadır [3]. Birden fazla taşımacılık türünün kullanılması ile yapılan çok türlü taşımacılık üzerine literatürde birçok çalışma mevcuttur [4]. Çok türlü taşımacılığın piyasa şartlarında gelen talebe göre şekillenen birçok alt tanımı bulunmaktadır. Bunlardan yükün, yük aktarma bölgelerinde elleçlenmeden yapılan türüne intermodal taşımacılık olarak tanımlanmaktadır [5]. Elleçleme yapılmı imkanı da olan, ilk ve son ayağının karayolları ile yapıldığı çok türlü taşımacılık türü ise kombine taşımacılıktır [6].

Literatürdeki tanımlara uygun olarak çok türlü taşımacılığın karakteristik özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. AHP yöntemini kullanarak model geliştiren Gürsoy (2010), çok türlü taşımacılık birleşimlerinin parametrelerini araştırmaktadır [7].

Türkiye'de demiryolu ve deniz yolunu birleşimlerinin altyapı eksikliklerini tespit eden Saatçi ve Kolbaşı (2012), demiryolu ve deniz yolu türlerinden oluşan çok türlü taşımacılık avantajlarını ortaya koymaktadırlar [8]. Çok türlü taşımacılık ile tek türlü taşımacılığa kıyasla daha hızlı, daha ekonomik ve daha verimli taşımacılık

^{2*} Sorumlu yazar: kevser.keskin@iste.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-6857-2513, ² 0000-0002-9163-4855

yapılabilmektedir. Çok türlü taşımacılığın tek türlü taşımacılığa göre avantajlı çıkmasının sebepleri arasında denizyolu ve demiryollarının yük taşımacılığında verimliliği sağlayan özelliklerin çok türlü taşımacılıkta yerinde kullanılmasından kaynaklanmaktadır [9, 10, 11].

Çok türlü taşımacılık için en önemli konulardan birisi de en uygun aktarma istasyonlarının belirlenerek en kısa yolu belirlemesidir. Rota optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalardan, Cansız ve Göçmen parçacık sürü algoritmasını kullanarak çok türlü taşımacılık için en kısa yol algoritması geliştirmektedir [12]. Yine Hanssen vd. intermodal taşımacılığın seçimi için gerekli minimum karayolu uzaklığı üzerine çalışmaktadır. Taze balık nakliyesi için vaka analizi çalışması yapmaktadır. Çalışmasında minimum intermodal taşımacılık mesafesini belirlemekte ve intermodal taşımacılık ile karayolu taşımacılığının olumsuz yönlerinin bertaraf edildiğini ortaya koymaktadır [13]. Çok türlü taşımacılıkta bir başka rota optimizasyon çalışmasında, Cho vd. uluslararası konteyner taşımacılığında maliyet ve zaman tabanlı kısıtlanmış en kısa yol problemi için vaka analizi çalışması yaparak algoritma geliştirmektedir [14].

Çok türlü taşımacılık ile ilgili yapılan çalışmalarda il bazında üretilen ürüne göre optimizasyon çalışması yapılması doğru sonuçlara ulaşılması açısından önemlidir. Çünkü her ürünün taşımacılık karakteristikleri farklıdır. Bu çalışmada Hatay ilinde üretimi yaygın olan filtre yükü dikkate alınmaktadır. Türkiye'nin Akdeniz ile İç Anadolu Bölgesi arasındaki taşımacılık rota karakteristiği belirlenmeye çalışılmaktadır. Değerlendirme kriteri olarak beş farklı kıstas göz önünde bulundurulmaktadır. Bu kıstaslar yakıt tüketimi, maliyet, taşımacılık süresi, emisyon ve performans indeksi olarak gruplandırılmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Ulaşım modları karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu, iç su yolu ve boru hattı taşımacılığı olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde %89 gibi bir oran ile karayolu taşımacılığı, yük taşımacılığında en çok tercih edilen ulaşım modudur. Karayolu taşımacılığını sırasıyla demiryolu, denizyolu ve havayolu taşımacılığı takip etmektedir. Yük taşımacılığında Türkiye'de havayolu taşımacılığı yok denilecek kadar azdır. Havayolu taşımacılığı, hacmi ve ağırlığı düşük, değeri yüksek kargo yüklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yine de Türkiye'de kargo uçak filosu istenilen düzeylerde değildir. Kargo taşımacılıklarının büyük çoğunluğu yolcu uçakları ile yapılmaktadır. Bu çalışmada en yaygın kullanılan karayolu, demiryolu ve denizyolu taşımacılığı dikkate alınmaktadır. Hatay-Ankara vaka analizinde ulaşım coğrafyasından dolayı denizyolu taşımacılığı yapılamamaktadır. Bu nedenle çalışma karayolu, demiryolu taşımacılıklarının incelemesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada Hatay ilinde ihraç potansiyeli yüksek ve yurtiçi pazarda payı yüksek olan filtre yükü seçilmiştir. Hatay ilinde filtre fabrikaları ile görüşmeler sonucu filtre yükünün bir tır dorsesinde maksimum hacimde, minimum ve maksimum tonaj değerleri 5 ve 14 ton olarak belirlenmektedir. Ayrıca minimum ve maksimum değerler arasında ise ortalama bir değer olan 10 ton yük birimi dikkate alınmaktadır. Ayrıca üreticiden alınan bilgiler dâhilinde yük tonaj değerlerine karşılık yüklerin mali değerleri 40000 TL, 145000 TL ve 250000 TL olarak belirlenmektedir.

2.1 Yakıt tüketimi

Yük taşımacılığında genel olarak petrol ve petrol yan ürünü yakıtlar kullanılmaktadır. Özellikle karayolları yük taşımacılığında petrol türevi akaryakıtların tüketimi çok fazla olmaktadır. Demiryolları ve denizyollarını düşündüğümüzde bu yakıt tüketimleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bu sebeple çok türlü taşımacılık tek türlü taşımacılığa göre daha uygun yakıt tüketim değerlerine sahip olabilmektedir. Bu konuda, belirlenen rotaların yakıt tüketim değerlerinin belirlenmesi için kullanılan değişkenler ve denklemler incelenmektedir.

Türkiye'de en çok kullanılan yük taşımacılığı türü olan karayollarında yakıt tüketimini etkileyen çok sayıda değişken vardır. Bu değişkenlerin bir kısmının sayısal değerlere dönüştürülmesi olanaksızdır. Denklemi yerleştirebilecek değişkenlerden aracın tam kapasite dolu olması durumu için 100 km'de 40 litre yakıt tükettiği, boş olması durumu için 30 litre yakıt tükettiği kabul edilmektedir [15]. Tam kapasiteden kasıt 26 ton yük yüklenmesidir. Günümüzde Türkiye yük taşımacılığında, yük tonaj sınırlarına göre en fazla 26 ton yük taşınabilmektedir. Karayolu yük taşımacılığında yakıt tüketimi Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY)) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + 2 \times YT_{\text{min}} \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} \quad (1)$$

Burada, YT_{karayolu} karayolundaki yakıt tüketim miktarını, YM taşınan yükün ağırlığını, MY taşınabilecek maksimum yük kapasitesini, M karayolu mesafesini, YT_{max} 100 km'de maksimum yükün taşınmasında tüketilen yakıt miktarını, YT_{min} 100 km'de tüketilen minimum yakıt miktarını göstermektedir. Demiryolu yük

taşımacılığında yakıt tüketimini etkileyen birçok değişken vardır. Bir lokomotifin kaç adet vagon taşıdığı, her vagona kaç adet konteyner bulunduğu, lokomotifin 100 km’de kaç litre yakıt tükettiği önemlidir.

Bu çalışmada lokomotifin 85-100 litre mazotu 100 km’de yaktığı kabul edilmektedir. Aynı zamanda bir lokomotifte bir adet konteynerin taşındığı 80 adet vagon takılmaktadır [16]. Demiryolu yakıt tüketimi Denklem 2 referans alınarak hesaplanmaktadır.

$$YT_{\text{demiryolu}} = ((M/100) \times OYT) / KS \quad (2)$$

Yakıt tüketiminin belirlenmesi amacıyla yazılan bu denklemde notasyonların ne anlama geldiğine baktığımızda, $YT_{\text{demiryolu}}$ bir konteyner için birim yakıt tüketimini, M konteynerin aldığı mesafeyi, OYT lokomotifin 100 km’deki ortalama yakıt tüketimini, KS ise lokomotifte taşınan konteyner sayısını vermektedir.

2.2 Maliyet hesabı

Yük taşımacılığı ile uğraşan şirketlerin taşımacılık türlerinin ve rotalarının belirlenmesinde en çok dikkate aldıkları parametre taşımacılık maliyetleridir. Bazen taşımacılık maliyetleri ürünün kendi değeri üzerinden bile yüksek çıkabilmektedir. Yük taşımacılığı maliyetlerini türlere göre incelemek istediğimizde her bir türde çok değişik parametreler ile karşılaşmaktadır. Karayolu yük taşımacılığını maliyet açısından incelediğimizde sürücüyü ait masraflar ve diğer giderler, yakıt tüketimi masrafları hesapların içerisine girmektedir. Bu masraflardan sürücü ve diğer giderleri ton başına 5 TL olarak, Atar (2013) tarafından yapılan çalışmadan alınmaktadır [15]. Dolaylı giderler başlığı altında, karayolu taşımacılığı yapan firmanın muhasebe, yönetici, idareye bağlı giderlerinin yanı sıra aracın kademe giderleri de yer almaktadır. Yakıt tüketimi maliyetinde kullanılan mazotun litre fiyatı, 2018 yılı baz alınarak 5,1 TL kabul edilmektedir. Denklem 3 ile karayolları yük taşımacılığının maliyet hesabı yapılmaktadır.

$$M_{\text{karayolu}} = YT_{\text{karayolu}} \times YF_{\text{dizel}} + SDG \times YM \quad (3)$$

Denkleme göre M_{karayolu} , karayolunda bir konteyner için hesaplanan taşıma maliyetini, YT_{karayolu} karayolunda tüketilen yakıt miktarı, YF_{dizel} mazot litre fiyatı, SDG değeri ise ton başı sürücü ve diğer giderleri, YM ise taşınan yükün ağırlığını göstermektedir. Demiryolu taşımacılığında konteyner taşımacılık maliyeti, TCDD’nin yayınladığı rapordan, belirlenen istasyonlar dikkate alınarak ton başı birim maliyetler alınmaktadır [17]. Rapordan alınan birim fiyatlara ek olarak maliyete, yükün mali değerinin belli oranı kadar alınan kıymet primi dâhil edilmektedir. Demiryolu yük taşımacılığında bir konteyner için maliyet hesabı Denklem 4 dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$M_{\text{demiryolu}} = TBF \times YM + KP \quad (4)$$

Verilen denklemde, $M_{\text{demiryolu}}$, demiryolu konteyner taşımacılığında taşımacılık maliyetini, TBF rapordan alınan ton başı birim maliyeti, YM değeri ise konteynerdeki yükün ağırlığını, KP değeri kıymet primini göstermektedir. Kıymet primi yükün değerine göre, 1000 km’ye kadar olan demiryolu mesafesinde yükün mali değerinin 1/1000’i, 1000 km’den fazla mesafeler için ise 2/1000’sine denk gelmektedir.

2.3 Taşımacılık süresi hesabı

Taşımacılığı etkileyen en önemli parametrelerden birisi taşımacılık süresidir. Zaman, tercih edilebilirliği artıran önemli bir değişkendir. Bu sebeple taşımacılık rotalarının karşılaştırılmasında süre parametresi de dikkate alınmaktadır. Taşımacılık süresi yükün çıkış yerinden varış yerine kadar geçen süreye denmektedir. Yükün yükleme-boşaltma süresi, yolda geçen süre, dinlenme süreleri, limanlarda ve istasyonlarda geçen bekleme süreleri taşımacılık süresini oluşturmaktadır.

Karayollarında taşımacılık değişkenleri incelendiğinde bazı kabuller yapılmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü’nün yayınladığı uygulama esasları dikkate alındığında, sürücünün 24 saat süreçte en fazla 9 saat araç kullanabileceği görülmektedir. Bununla birlikte, aralıksız en fazla 4,5 saat taşıt kullanabileceği anlaşılmaktadır. 4,5 saat sürekli sürüşten sonra en az 45 dakika zorunlu mola vermesi gerekmektedir [18]. Taşıtın ortalama hızı şehirlerarası çift yönlü karayollarında hız sınırlarına göre 80 km/sa alınmaktadır [19]. Karayolu yük taşımacılığı için taşımacılık süresi Denklem 5 dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$TS_{\text{karayolu}} = M/H + SDS + YBS \quad (5)$$

Verilen denklemde, TS_{karayolu} karayolu taşımacılığında taşımacılık süresini, M parametresi karayolu taşıma mesafesini, H değeri yönetmeliğe göre alınan taşıtın ortalama hızını, SDS sürücü dinlenme sürelerini, YBS ise yükleme boşaltma süresini göstermektedir.

Demiryolu yük taşımacılığında diğer türlere benzer olarak kabuller yapılmaktadır. Türkiye'deki yük trenlerinin hızı saatte 70 km'ye çıkarken, Avrupa ülkelerinde saatte 100 km'ye ulaşmaktadır [20]. Bu nedenle demiryollarında taşımacılık süresini hesapladığımız Denklem 6'da, tren hızı 70 km/sa alınmaktadır. Denklemde kullanılan yükleme-boşaltma süresi 45 dakika kabulü yapılmaktadır.

$$TS_{\text{demiryolu}}=M/H+YBS \quad (6)$$

Demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık süresinin hesabı Denklem 6'a göre yapılmaktadır. Bu eşitlikte $TS_{\text{demiryolu}}$ demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık süresinin notasyonudur. Denklemde yer alan M harfi demiryolu yük taşımacılığında gidilen mesafeyi ifade etmektedir. H harfi trenin ortalama hızını gösteren değişkeni vermektedir. YBS ile yükleme boşaltma süresi denkleme girmektedir.

2.4 Emisyon hesabı

Son yıllarda iklim değişikliklerinin gündeme gelmesi ile sera gazı etkisi yapan atıkların takip edilmesi önemli hale gelmektedir. Petrol ürünü yakıt kullanan yük taşımacılığının sera etkisi yapan gazların salımında önemli bir yere sahip olduğu düşünüldüğünde, yük taşımacılığının performans hesabı yapılırken yük taşımacılığındaki emisyon hesaplarının yapılması çevre için çok önemlidir. Bu çalışmada tek türlü taşımacılıktan çok türlü taşımacılığa geçişte emisyonunda sağlanan kazanımlar taşımacılık rotaları üzerinden değerlendirilmektedir. Böylece ekonomik, hızlı rota anlayışının yanı sıra çevreci rotalar da ön planda yerini almaktadır. Denklem 7 ile taşımacılık rotalarının emisyon hesapları yapılmaktadır [21].

$$E=YM \times D \times EF \quad (7)$$

Rotaların emisyon hesabının bulunduğu Denklem 10'da E , gram cinsinden CO_2 salınım miktarını, YM taşınan yük ağırlığı, D nakliye mesafesini, EF ise ton başına düşen emisyon faktörünü vermektedir. Emisyon faktörünün denklemi ise Denklem 8'de görülmektedir.

$$EF=T \times M \times e / (1000000) \quad (8)$$

Denklem 11'de T yükün ağırlığını, M karayolu veya demiryolu mesafesini, e ise ton-km başı gram cinsinden emisyon miktarını vermektedir.

2.5 Performans indeksi hesabı

Ulaştırma modunun seçimi, büyük oranda yük türüne bağlıdır. Örneğin zaman, değer/ton oranı yüksek ve raf ömrü kısa olan ürünler için önemli bir kriterdir. Bu çalışmada, rotaların birbirleri ile karşılaştırılması için bütün rota seçim parametrelerinin etkisinin incelenmesinde performans indeksi hesabı yapılmaktadır. Performans indeksi hesaplaması için öncelikle bütün parametreler normalize edilmektedir (Denklem 9). Normalize edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak performans indeksine ulaşılmaktadır (Denklem 10).

$$X_N=(X_{\text{max}}-X)/(X_{\text{max}}-X_{\text{min}}) \quad (9)$$

Denklem 9'da X_N normalizasyon değerini, X_{max} maksimum değeri, X_{min} minimum değeri ve X değeri normalize edilmek istenen veriyi göstermektedir.

$$PI=(YT_N+M_N+TS_N+E_N)/4 \quad (10)$$

Denklem 10'da PI değeri performans indeksine karşılık gelirken, YT_N normalize edilmiş yakıt tüketimini, M_N normalize edilmiş maliyeti, TS_N normalize edilmiş taşımacılık süresini ve E_N normalize edilmiş emisyon değerini temsil etmektedir.

3. Bulgular

Yük taşımacılığında rota belirlenmesi başlangıç yeri ile varış yeri arasındaki her bir özelliğin değerlendirilmesi ile en iyi şekilde yapılabilir. Bu nedenle her farklı başlangıç ve varış yeri ayrı bir analiz sebebidir. Bu çalışmada Hatay ili ile Ankara ili arasında vaka analizi çalışması yapılmaktadır. Tablo 1’de seçilen vaka analizi çalışması için hazırlanan rotalar ve rotaların mod değişim noktaları verilmektedir. Tablo 2’de verilen bu rotalar için ulaşım türlerine göre mesafe dağılımları görülmektedir. Çalışmada coğrafik nedenlerden kaynaklı olarak denizyolu taşımacılığı kullanılamamaktadır. Çok türlü taşımacılık rota kombinasyonları demiryolu ağırlıklı olmak üzere karayolu-demiryolu birleşiminden meydana gelmektedir.

Tablo 1. Hatay-Ankara arasındaki tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotaları ve tür değişim noktaları

Ulaşım Rotası	Başlangıç Noktası	1. Ulaşım Modu	1. Mod Değişim Noktası	2. Ulaşım Modu	Variş Noktası
Tek türlü karayolu	Hatay	Karayolu	-	-	Ankara
Tek türlü demiryolu		Demiryolu	-	-	
Çok türlü 1		Demiryolu	Konya	Karayolu	
Çok türlü 2		Demiryolu	Eskişehir	Karayolu	
Çok türlü 3		Karayolu	Konya	Demiryolu	

Tablo 2. Rotalar içerisindeki ulaşım türü mesafeleri

Ulaşım Rotası	Mesafe	
	Karayolu(km)	Demiryolu (km)
Tek türlü karayolu	633	-
Tek türlü demiryolu	17.90	1170
Çok türlü 1	363	318
Çok türlü 2	235	945
Çok türlü 3	331,9	318

3.1. Yakıt tüketimi hesabı

3.1.1 Hatay-Ankara arası tek türlü karayolu

Karayolu taşımacılığında yakıt tüketimini yükün ağırlığı etkilediği için hesaplar üç farklı yük tonajı için yapılmaktadır. Denklem 1’e göre Hatay-Ankara arasında karayolu taşımacılığında yakıt tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

5 ton yük taşınmasında;

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + YT_{\text{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} = (633/100) \times ((5/26) \times (40-30) + 30) + (633/100) \times 30 = 391,97 \text{ lt dizel}$$

10 ton yük taşınmasında;

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + YT_{\text{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} = (633/100) \times ((10/26) \times (40-30) + 30) + (633/100) \times 30 = 404,15 \text{ lt dizel}$$

14 ton yük taşınmasında;

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + YT_{\text{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} = (633/100) \times ((14/26) \times (40-30) + 30) + (633/100) \times 30 = 413,89 \text{ lt dizel}$$

5 ton yük taşınırken taşıt 391,97 lt, 10 ton yük taşınırken 404,15 lt, 14 ton yük taşınırken 413,89 lt dizel yakıt tüketmektedir. Yük ağırlığının 5 tondan 10 tona çıkması ile yakıt tüketiminde %3,1 artış gözlenmektedir. 14 ton taşınması ile ise taşıtın yakıt tüketimi 5 tona kıyasla %5,6 artmaktadır.

3.1.2 Hatay-Ankara arası tek türlü demiryolu

Hatay-Ankara arasındaki demiryolu taşımacılığı için yakıt tüketimi Denklem 2'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Konteyner başı yakıt tüketimi;

$$YT_{\text{demiryolu}} = ((M/100) \times OYT) / KS = [(1170/100) \times 100] / 80 = 14,63 \text{ lt/konteyner dizel}$$

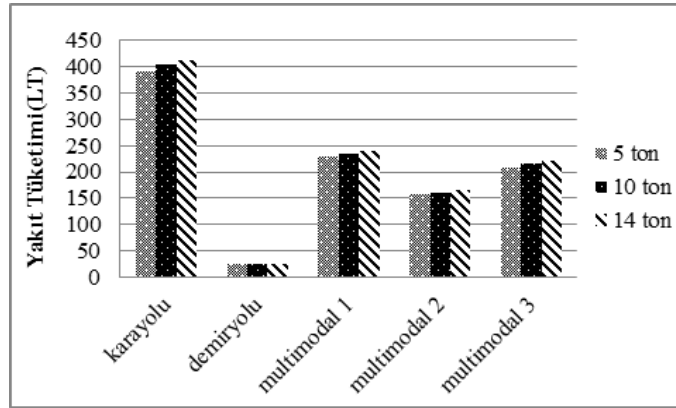
Demiryolu taşımacılığında 14,63 lt/konteyner dizel yakıt yaktığı hesaplanmaktadır. Yakıt tüketimi bakımından karayolu taşımacılığına kıyasla daha avantajlı çıkmaktadır.

3.1.3 Hatay-Ankara arası çok türlü 1

Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için yakıt tüketim hesabı aşağıda verilmektedir. Rota incelendiğinde yük filtre fabrikasından, tren istasyonuna 5 km'lik mesafeyi karayolu ile almaktadır. İskenderun'dan Konya'ya demiryolu mesafesi 318 km olarak belirlenmektedir. Konya Ereğli garından Ankara Organize Sanayi Bölgesine yük karayolu ile taşınmakta ve mesafe 358 km'dir. Çok türlü taşımacılık hesabı 5 ve 358 km'lik karayolu mesafesine ve 318 km demiryolu mesafesine göre yapılmaktadır.

Tablo 3. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine yakıt tüketim dağılımları

Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Yakıt Tüketimi (lt)		
			5 ton	10 ton	14 ton
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Karayolu	5 km	3,10	3,19	3,27
	Demiryolu	318 km	3,975	3,975	3,975
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB Çok türlü 1	Karayolu	358 km	221,68	228,57	234,08
	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	228,76	235,74	241,32



Şekil 1. Hatay-Ankara arası ulaşım türlerine göre yakıt tüketim miktarları

Hatay ve Ankara arasında yapılan taşımacılık türlerine göre yakıt tüketim grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Grafikte karayolu taşımacılığı ile diğer ulaşım türlerine kıyasla açık ara fazla yakıt tüketildiği görülmektedir. Yük tonajının artışı ulaşım türleri içerisinde çok fark yaratmamaktadır.

3.2 Maliyet hesabı

3.2.1 Hatay-Ankara arası tek türlü karayolu

Hatay'dan Ankara'ya yapılacak olan konteyner yük taşımacılığı için karayolu maliyet hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Karayolu taşımacılığında, yükün ağırlığı maliyeti belirleyen önemli parametrelerden birisidir. Bundan dolayı yük arttıkça maliyette de artış gözlenmektedir.

5 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = YT_{\text{karayolu}} \times YF_{\text{dizel}} + SDG \times YM = 391,97 \times 5,1 \text{ TL} + 5 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} = 2024,05 \text{ TL}$$

10 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = Y_{\text{T}_{\text{karayolu}}} \times Y_{\text{F}_{\text{dizel}}} + \text{SDG} \times Y_{\text{M}} = 404,15 \times 5,1 \text{ TL/l} + 10 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} = 2111,17 \text{ TL}$$

14 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = Y_{\text{T}_{\text{karayolu}}} \times Y_{\text{F}_{\text{dizel}}} + \text{SDG} \times Y_{\text{M}} = 413,89 \times 5,1 \text{ TL/l} + 14 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} = 2180,84 \text{ TL}$$

Yük tonajının 5 tondan 10 tona çıkartılması ile birlikte maliyette %4,3, yükün 14 tona çıkması ile ise %7,8 artış görülmektedir. Yükün ağırlığı 3 kat artmasına rağmen maliyet artışı %10'un altında olmaktadır.

3.2.2 Hatay-Ankara arası tek türlü demiryolu

Aşağıda Hatay ve Ankara arasında yapılacak demiryolu konteyner yük taşımacılığının farklı yük tonajı ve yük değerlerine bağlı olarak maliyet hesabı verilmektedir. TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan alınan ton başı birim fiyat tarifesine göre bu iki nokta arası maliyet 104,06 TL/t hesaplanmaktadır. Bu iki nokta arası 1170 km olarak bulunmakta ve bu nedenle kıymet primi yükün değerinin 2/1000'si alınmaktadır.

5 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times Y_{\text{M}} + \text{KP} = 104,06 \times 5 + 40000 \times 2/1000 = 600,30 \text{ TL}$$

10 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times Y_{\text{M}} + \text{KP} = 104,06 \times 10 + 145000 \times 2/1000 = 1330,60 \text{ TL}$$

14 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times Y_{\text{M}} + \text{KP} = 104,06 \times 14 + 250000 \times 2/1000 = 1956,84 \text{ TL}$$

Yükün 5 tondan 10 tona çıkması ve mali değeri 40000 TL'den 145000 TL'ye çıkması ile taşıma maliyeti %122 artmaktadır. Yük tonajı 14 ton ve mali değeri 250000 TL olması ile maliyet %226 artmaktadır. Burada görüldüğü gibi demiryollarında yükün kıymet değeri, maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir.

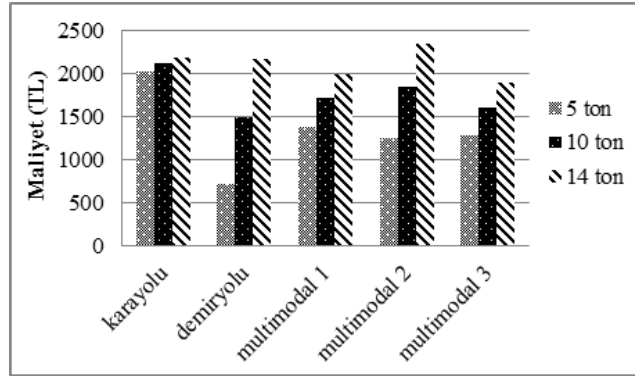
3.2.3 Hatay-Ankara arası çok türlü 1

Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için taşımacılık maliyeti hesabı aşağıda verilmektedir. Çok türlü 1 rotasının içerisindeki ulaşım türleri dağılımlarına göre taşımacılık maliyeti hesabı 5, 10 ve 14 ton yük için Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine taşımacılık maliyeti dağılımları

Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Maliyet (TL)		
			5 ton	10 ton	14 ton
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı	Karayolu	5 km	40,79	66,28	86,67
İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Demiryolu	318 km	178,00	421,00	636,40
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB	Karayolu	358 km	1155,59	1215,70	1263,79
Çok türlü 1	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	1374,38	1702,98	1986,87

Şekil 2'de ulaşım modlarına ve yük tonajına göre maliyet analizi verileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde demiryolu ulaşım türünün diğer türlere göre en ucuz taşımacılık olduğu açıkça görülmektedir. En maliyetli taşımacılık ise üç yük birimi içinde karayolu taşımacılığıdır. Demiryolu taşımacılığı yük tonajı ve değeri arttıkça taşımacılık maliyetleri ciddi oranda etkilenmektedir. Çok türlü taşımacılığın karayoluna kıyasla daha ucuz taşımacılık türü olduğu göze çarpmaktadır. Güzergâh kombinasyonları içerisinde bulunan demiryolu ve denizyolu taşımacılığı oranına göre yük birimi arttıkça maliyetlerdeki artışta buna göre artış göstermektedir.



Şekil 2. Hatay-Ankara arası ulaşım modlarına göre maliyet değerleri

3.3. Taşımacılık süresi hesabı

Her güzergâh için Materyal ve Metot bölümünde verilen taşımacılık süresi formülleri kullanılarak zaman hesapları aşağıda yapılmaktadır.

Hatay-Ankara arası Tek türlü Karayolu için;

$$TS_{karayolu} = M/H + SDS + YBS = (633 \text{ km}) / (80 \text{ km/sa}) + 45 \text{ dk} + 30 \text{ dk} = 9,16 \text{ sa}$$

Hatay-Ankara arası Tek türlü Demiryolu için;

$$TS_{demiryolu} = M/H + YBS = (1170) / (70 \text{ km/sa}) + 45 \text{ dk} = 17,46 \text{ sa}$$

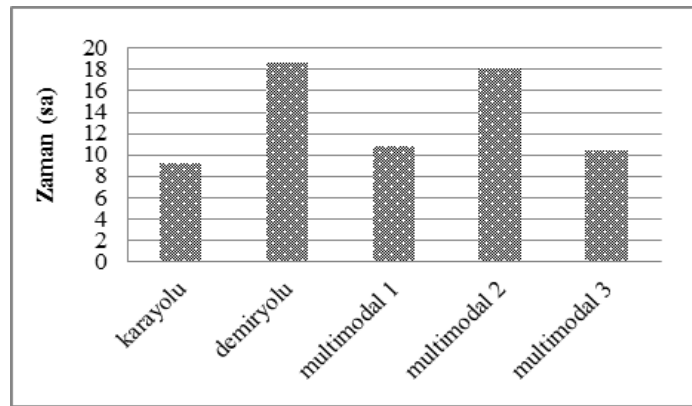
Hatay-Ankara arası çok türlü 1 için;

Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için taşımacılık süresi hesabı Tablo 5'te verilmektedir. Üç taşımacılık safhasında gerçekleştirilen çok türlü 1 rotası için her bölümde taşımacılık süresi hesabı yapılmaktadır.

Tablo 5. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine taşımacılık süresi dağılımları

Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Taşımacılık süresi (sa)
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı	Karayolu	5 km	0,56
İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Demiryolu	318 km	5,29
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB	Karayolu	358 km	4,98
Çok türlü 1	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	10,83

Hatay-Ankara arasında tasarlanan güzergâh senaryolarının seyahat süreleri değerleri Şekil 3'te karşılaştırılmaktadır. En yavaş taşımacılık güzergâhı 19,12 sa ile demiryoludur.



Şekil 3. Hatay-Ankara arası ulaşım modlarına göre taşımacılık süresi dağılımları

3.4. Emisyon hesabı

Hatay ve Ankara arasında gerçekleştirilen güzergahlardan tek türlü taşımacılıklara ait emisyon hesapları aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Emisyon hesabında karayolu ve demiryolu taşımacılığında yükün tonajı dikkate alınmaktadır.

Hatay-Ankara arası tek türlü karayolu taşımacılığı için emisyon hesabı;
5 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 5 \times 633 \times 151,1 / 1000000 = 0,478 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 5 \times 633 \times 0,478 = 1512,87 \text{ gr}$$

10 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 10 \times 633 \times 151,1 / 1000000 = 0,957 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 10 \times 633 \times 0,957 = 6057,81 \text{ gr}$$

14 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 14 \times 633 \times 111,8 / 1000000 = 0,991 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 14 \times 633 \times 0,991 = 8782,24 \text{ gr}$$

Hatay-Ankara arası tek türlü demiryolu taşımacılığı için emisyon hesabı;
5 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 5 \times 1170 \times 22 / 1000000 = 0,129 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 5 \times 1170 \times 0,129 = 754,65 \text{ gr}$$

10 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 10 \times 1170 \times 22 / 1000000 = 0,257 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 10 \times 1170 \times 0,257 = 3006,9 \text{ gr}$$

14 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 14 \times 1170 \times 22 / 1000000 = 0,360 \text{ gr/t-km}$$

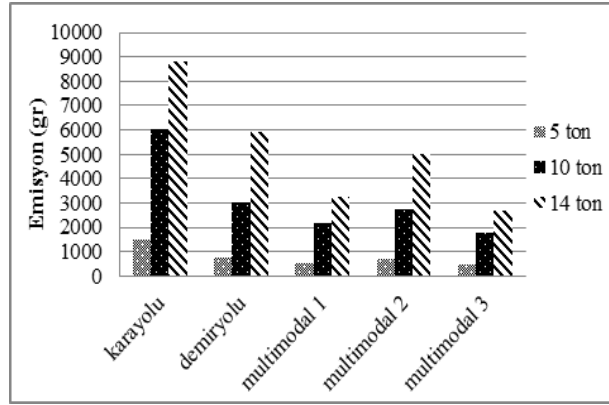
$$E=YM \times D \times EF = 14 \times 1170 \times 0,360 = 5896,8 \text{ gr}$$

Hatay-Ankara arası çok türlü 1 taşımacılığı için emisyon hesabı;
Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için emisyon hesabı Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine göre emisyon dağılımları

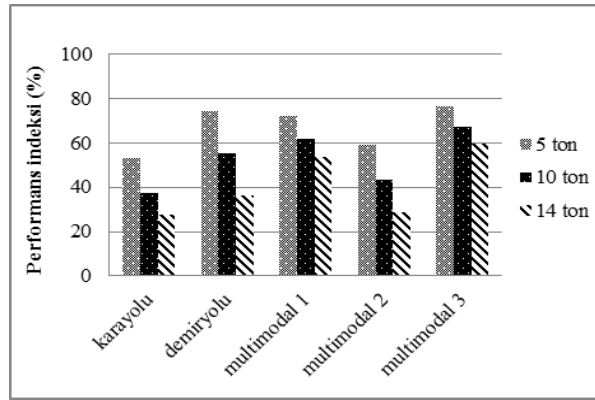
Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Emisyon (gr)		
			5 ton	10 ton	14 ton
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı	Karayolu	5 km	0,09	0,38	0,55
İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Demiryolu	318 km	55,62	222,47	436,05
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB	Karayolu	358 km	484,14	1936,56	2808,43
Çok türlü 1	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	539,85	2159,41	3245,03

Şekil 4'te ulaşım modları ve taşınan yükün ağırlığına bağlı olarak hesaplanan emisyon miktarları verilmektedir. Grafik incelendiğinde minimum emisyon miktarı çok türlü 3 taşımacılığında görülmektedir. En fazla CO₂ salımı ise 8782,24 gr ile 14 ton yükün karayolu ile taşınmasında gerçekleşmektedir. Ülkemizde yurtiçi yük taşımacılığında ağırlıklı karayolunun tercih edilmesinden dolayı, taşımacılıktan kaynaklanan emisyon değerleri oldukça yüksektir. Taşımacılığın demiryolu ve deniz yoluna kaydırılması CO₂ salımının indirgenmesinde oldukça etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. Hatay-Ankara arası ulaşım modlarına göre emisyon miktarları

İskenderun ve Ankara arasında geliştirilen güzergâh senaryolarının performans indeksi değerleri Şekil 5'deki grafikte görülmektedir. Grafığe göre performansı en yüksek güzergâh 5, 10, 14 ton için sırasıyla %76,1, %66,7 ve %59,3 performans ile çok türlü 3 taşımacılık güzergâhı en verimli çıkmaktadır. En verimsiz güzergâh ise grafikte görüldüğü gibi tüm yük birimleri içinde karayolu taşımacılık güzergâhıdır.



Şekil 5. Hatay-Ankara arası rotaların performans indeksi

4. Sonuç

Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde rota seçiminde ihtiyaca göre seçimin yapılması gerektiği görülmektedir. Farklı güzergâh karar değişkenlerine bağlı olarak rota seçimi değişiklik göstermektedir. Çalışmada Türkiye'nin İç Anadolu bölgesi için Ankara iline geliştirilen taşımacılık senaryoları incelenmektedir. Bunun için karayolu, demiryolu ve çok türlü taşımacılık türleri ele alınmaktadır. Rotalar performans kriterlerine göre değerlendirilmektedir.

Yakıt tüketimi incelendiğinde diğer ulaşım rotalarına kıyasla minimum yakıt tüketimi 25,71 lt/konteyner dizel ile demiryolu güzergâhında görülmektedir. En fazla yakıt tüketimi ise 448,54 lt/konteyner dizel ile 14 ton karayolu yük taşımacılığında gözlenmektedir.

Rota seçiminde dikkat edilen en önemli parametre olan maliyete göre rotalar analiz edildiğinde 5 ve 10 ton yük için minimum maliyet demiryolu taşımacılığında görülmektedir. 14 ton filtre yükü için yükün maliyetindeki artış kıymet primini önemli ölçüde etkileyerek nakliye maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. 14 ton yük için minimum maliyet 1883,16 TL ile çok türlü 3 rotasında hesaplanmaktadır.

Taşıma süresinin önemli olduğu yükler için dikkate alınan nakliye süresi için güzergâhlar incelendiğinde en hızlı taşımacılık 9,16 sa karayolu ile yapılmaktadır. Nakliye süresi bakımından en elverişsiz rota ise 18,69 sa ile demiryolu taşımacılığı çıkmaktadır. Ülkemizde yük taşımacılığı için demiryolu taşımacılığının süre bakımından daha elverişli hale gelmesi için mevcut altyapısının daha çok geliştirilmesi ve yük trenlerindeki hızın artırılmasına

yönelik çalışmalar yapılması önerilmektedir. Bu şekilde sürücü dinlenmesine gerek duyulmayan demiryolu taşımacılığının karayolu taşımacılığına göre tercih edilebilirliği arttırılabilmektedir.

Araç tipine bağlı olarak hesaplanan CO₂ emisyon miktarlarına göre rotalar incelendiğinde 440,65 gr ile 5 ton yükün taşınmasında çok türlü 3 güzergahında görülmektedir. Yük tonajı arttıkça 14 ton için minimum emisyon miktarı 2669,56 gr hesaplanmakta fakat rota seçiminde değişiklik görülmemektedir. En fazla emisyon ülkemizde en çok tercih edilen karayolu taşımacılığında meydana gelmektedir. Karayolu taşımacılığı tercihinin azaltılması için bu da farklı bir etken olarak belirlenmektedir.

Dört karar değişkeni için ortak bir rota seçimi yapmak için performans indeksleri incelendiğinde üç yük birimi içinde en yüksek performans çok türlü 3 güzergâhında görülmektedir. Bu da taşımacılığın tek türlü taşımacılıklardan özellikle karayolundan çok türlü taşımacılığa aktarılmasının birçok avantajı beraberinde getireceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Cansız OF. Enerji politikalarının ulaştırma sistemlerinin optimizasyonu ile geliştirilmesi ve uygulamadan elde edilen getirilerin ortaya konması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [2] Cansız OF, Çubuk MK, Çalışıcı M. An energy analysis of road transportation in Turkey. Proceedings of The 3rd International Conference on Energy and Development - Environment – Biomedicine; 29 Aralık 2009; Ankara. 91-95.
- [3] Cansız OF, Ünsalan K. Cost analysis of multimodal freight transportation: a case of Iskenderun. IJAERS 2018; 5(5): 315-319.
- [4] Steadieseifi M, Dellaert NP, Nuijten W, Van Woensel T, Raoufi R. Multimodal freight transportation planning: A literature review. EJOR 2014; 233: 1-15.
- [5] Crainic T, Kim K. Intermodal transportation. Handbooks in Operations Research and Management Science 2007; 14: 467-537.
- [6] Deveci DA, Çavuşoğlu D. İntermodal demiryolu taşımacılığı: Türkiye için fırsatlar ve tehditler. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi 2013; 5(1): 93-120.
- [7] Gursoy M. A method for transportation mode choice. Scientific Research and Essays 2010; 5: 613-624.
- [8] Saatçioğlu C, Kolbaşı N. Türkiye lojistik sektöründe denizyolu-demiryolu entegrasyon sürecinin incelenmesi. Sakarya İktisat Dergisi 2012; 2:1-33.
- [9] Cansız OF, Ünsalan K, Çalışıcı M, Göçmen S. Çok türlü taşımacılık güzergâhlarının gezgin satıcı problemleri baz alınarak tasarlanması: güzergâhların optimizasyonu ve akıllı ulaşım sistemlerine entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi; 19-21 Nisan 2018; Balıkesir. 58-59.
- [10] Cansız OF, Ünsalan K, Çalışıcı M, Göçmen S. Şehirlerarası güzergâh performans indeksinin çok türlü taşımacılık baz alınarak analiz edilmesi: analiz parametrelerinin oluşturulması ve AUS entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi; 19-21 Nisan 2018; Balıkesir. 58-59.
- [11] Cansız OF, Ünsalan K, Çalışıcı M, Göçmen S. Şehirlerarası taşımacılık performansı indeksinin çok türlü taşımacılık baz alınarak analiz edilmesi: çok türlü güzergâhların tasarımı ve AUS entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi; 19-21 Nisan 2018; Balıkesir. 58-59.
- [12] Cansız OF, Göçmen S. Distance analysis of multimodal transportation based on traveling salesman problem with particle swarm optimization method. IJAERS 2018; 5(6): 1-6.
- [13] Hanssen TES, Mathisen TA, Jorgensen F. Generalized transport costs in intermodal freight transport, Procedia—Social and Behavioral Sciences 2012; 54: 189-200.
- [14] Cho JH, Kim HS, Choi HR. An intermodal transport network planning algorithm using dynamic programming—a case study: from Busan to Rotterdam in intermodal freight routing. Applied Intelligence 2010; 36: 529-541.
- [15] Atar F. Kısa mesafe deniz taşımacılığının avantajları ve kombine taşımacılıktaki önemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [16] <http://www.ustaokan.com/?Syf=26&Syz=530815>, (22.05.2018)
- [17] [https://portal1.tcddtasimacilik.gov.tr/tcdd\(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==\)/zy02/yuk_tasima_fiyatlari](https://portal1.tcddtasimacilik.gov.tr/tcdd(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==)/zy02/yuk_tasima_fiyatlari), (10.02.2018)
- [18] <https://www.tugem.com.tr/mevzuat?mlid=2528>, (10.04.2018)
- [19] <http://www.kgm.gov.tr>, (15.04.2018)
- [20] <http://railturkeyakademi.wordpress.com>, (02.05.2018)
- [21] <http://www.cefic.org>, (05.04.2018)

Dört Rotorlu İnsansız Hava Aracının Kayan Kipli Denetleyici ve Geri Adımlamalı Denetleyici ile Yönelim ve Yükseklik Denetimi

Ebubekir BOZKURT^{1*}, Beşir DANDIL², Fikret ATA³

¹Makine Programı, Teknik Bilimler MYO, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

²Mekatronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye

¹ebozkurt@bingol.edu.tr, ²bdandil@firat.edu.tr, ³fata@bingol.edu.tr

(Geliş/Received: 20/11/2019;

Kabul/Accepted: 08/02/2020)

Öz: Bu çalışmada dört rotorlu insansız hava aracının(quadrotor) dinamik denklemleri yardımı ile Matlab/Simulink ortamında benzetim modeli oluşturularak, hava aracının yönelim ve yükseklik denetimleri gerçekleştirilmiştir. Quadrotorlar yapısal olarak dört rotordan oluşan doğrusal olmayan dinamik yapısı ve her bir rotoru harekete geçiren motorların hız denetiminin gerekliliğinden dolayı denetimi zor sistemlerdir. Doğrusal olmayan bir matematiksel modele sahip olan quadrotorun yükseklik ve yönelim değişkenlerinin denetimi için, doğrusal olmayan yapıya sahip Kayan Kipli Denetleyici ve Geri Adımlamalı Denetleyici tasarlanmıştır. Tasarlanan Kayan Kipli Denetleyici ve Geri Adımlamalı Denetleyici benzetim modeli üzerinde test edilmiştir. Benzetim çalışmalarından elde edilen denetim sonuçları quadrotorun doğrusal olmayan sistem yapısına sahip olmasına rağmen her iki denetim yöntemi için denetim başarımı elde edildiğini göstermiştir. Ancak Kayan Kipli Denetleyici ile yapılan denetimden elde edilen denetim başarımı yerleşme zamanının, Geri Adımlamalı Denetleyici ile yapılan denetimden elde edilen denetim başarımı yerleşme zamanına göre daha kısa sürede elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dört rotorlu insansız hava aracı, Quadrotor, Kayan kipli denetleyici, Geri adımlamalı denetleyici.

Orientation and Altitude Control of A Four-Rotor Unmanned Aerial Vehicle with Sliding Mode Control and Back-Stepping Control

Abstract: In this study, a simulation model was created in the Matlab-Simulink environment with the help of dynamic equations of the four-rotor unmanned aerial vehicle, the orientation and altitude controls of the four-rotor unmanned aerial vehicle were performed. The quadrotor is a system that is difficult to control due to the non-linear dynamic structure consisting of four-rotor and the necessity of speed control of the motors driving each rotor. For the control of the altitude and orientation variables of the quadrotor which has a non-linear mathematical model, a non-linear Sliding Mode Controller and non-linear Back-stepping Controller are designed. The designed Sliding Mode Controller and Back-stepping Controller were tested on the simulation model. The control results obtained from the simulation studies showed that although the quadrotor has a nonlinear system structure, control performance was achieved for both control methods. However, it has been observed that the time to settle the control performance obtained from the control made with Sliding Mode Controller is less than the time to settle the control performance obtained from the control conducted with Back-stepping Controller.

Key words: A four-rotor unmanned aerial vehicle, Quadcopter, Sliding mode controller, Back-stepping controller.

1. Giriş

Dört rotorlu insansız hava araçları; tehlikeli, hassas pilotaj gerektiren güvenlik, gözetim, hedef tespiti ve takibi gibi insanların can güvenliğini tehlikeye atabilecek uygulamalarda, trafik denetimi, doğal afet sonrası hasar tespiti, suç mahalli araştırması, sınır güvenliği sağlama, arama kurtarma, zirai işler gibi geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Bu hava araçları, dinamik yapısı gereği dört adet rotordan ve pervanelerin dönmesi sonucu oluşan itki kuvveti ile uçabilen, yörünge takibi yapabilen araçlardır. Sistemin dinamik yapısı sisteme yüksek itki kuvveti sağlamak ve yapılması zor olan hareketlerin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak aracın dört rotordan oluşan doğrusal olmayan dinamik yapısı ve her bir rotoru harekete geçiren motorların hız denetiminin gerekliliği sistem denetimini zorlaştırmaktadır. Bu denetimin zorluğu ve geliştirilmeye ihtiyaç duyulması nedeniyle literatürde pek çok araştırma yapılmış ve günümüzde bu konu üzerinde akademik çalışmalar devam etmektedir.

* Sorumlu yazar: ebozkurt@bingol.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-9335-7188, ²0000-0002-3625-5027, ³0000-0003-1100-6179.

Bu çalışmaların önemli bir bölümü dört rotorlu hava araçlarının güvenli uçuşu ve yüksek performanslı izleme yeteneği üzerine yapılmıştır [1-5].

Quadrotorlar üzerine literatürde yapılmış çalışmaların bazılarında bahsedilecek olunursa; Remeo F. ve arkadaşları; quadrotorun ölçülebilir açı ve pozisyonları vasıtasıyla dış bozucu ve belirsizliklerin etkisi altında takip problemiyle başa çıkabilme durumunu incelemişlerdir. Quadrotor denetimi için dört farklı sürekli kayan kipli denetim algoritması ve sağlamaştırılmış PID denetleyici ile ilgili karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır[6]. Bing X. ve arkadaşları; quadrotorun zamana bağlı olarak değişen yük durumunda quadrotor modelini ve denetimini incelemişlerdir. Quadrotor modelini zamanla değişen yük durumuna göre modellemişler ve denetim yöntemi olarak kayan kipli denetleyici(KKD) yapısını tasarlamışlardır[7]. Gan Y. ve arkadaşları; önceden tanımlanmış bir yörüngeye, asılı yükü götüren bir quadrotorun doğrusal olmayan geri adımlamalı denetleyici(GAD) ile denetimini incelemişlerdir. Önerilen denetim performansını ve geçerliliğini belirlemek için deneysel sonuçlara yer vermişlerdir[8]. Marcos A. ve arkadaşları; bir grup quadrotoru kendi haline bırakmışlar ve takip probleminin oluşumunu incelemişlerdir. Çalışmalarında Parrot AR.Drone 2.0 isimli quadrotor tipi dronları kullanmışlardır. Önerilen denetim stratejisi, lider dronun önceden belirlenmiş bir uçuş yörüngesine asimptotik olarak yaklaşmasına izin verirken, takipçi dronların asimptotik olarak lider konumuna ve sabit bir oluşum vektörü tarafından tanımlanan kendi yörüngelerine asimptotik olarak yaklaşmasına izin vermektedir[9]. Liang Y. ve arkadaşları; insansız hava araçları(İHA) filolarının oluşumu için parametrik olarak belirsiz adaptif KKD metodunu önermişlerdir. Her bir quadrotorun atalet matrisi parametrelerini online olarak tahmin etmek için adaptif bir yasa tanımlamışlar ve tahmin edilen değerler takip hatasını düzgün bir şekilde asimptotik olarak sıfıra yaklaştırmayı garantileyen yasayı KKD'de kullanmışlardır. Belirsiz koşullar ve sistemdeki dış rahatsızlıklar altında yapılan benzetim ile önerilen yöntemin İHA filolarının oluşumunu kararlı bir tutum ve hız senkronizasyonu ile gerçekleştirebileceğini göstermişlerdir[10]. Xuerui W. ve arkadaşları; quadrotorun hata toleranslı denetim problemi için yapılan uygulama ile kayan kipli hata gözlemleyicisi (INDI-SMC/SMDO) tarafından yapılan artımlı kayan kipli denetim sürüşünü önermişlerdir. Literatürde yer alan modele dayalı, doğrusal olmayan ters çevrim(NDI) yerine sensöre dayalı artımlı doğrusal olmayan ters çevrim(INDI) yapısına dayanan kayan kipli hata gözlemcisi tasarlanarak kapalı döngü sistemindeki belirsizlikleri ve denetimin model bağımlılığını azaltmışlardır. Bu yöntemi quadrotora uyguladıkları zaman gerçek uçuş testleri ve benzetim çalışmaları, eyleyici hataları, rüzgar etkisi ve model belirsizliklerinin varlığı durumunda SMC/SMDO'ya dayalı INDI performans ve denetim sağlamlığı bakımından SMC/SMDO'ya dayalı NDI yapısına göre daha iyi olduğunu göstermiştir[11]. Ling Z. ve arkadaşları çalışmalarında; çift kapalı döngü stratejisine dayanan rüzgar bozucularına maruz kalmış quadrotorun durum denetimini incelemişlerdir. Çift kapalı döngü denetimi ile aktif bozucu reddetme denetimi ve integral kayan kipli denetimi birleştirerek önerdikleri denetim stratejisi ile quadrotorun rüzgar bozucu ile başa çıkabildiğini göstermişlerdir[12]. Hadi R. ve Sima A. çalışmalarında; quadrotor tipi insansız hava aracının tutum ve pozisyon denetimi için sinirsel ağ tabanlı kayan kipli denetim tasarımını gerçekleştirmişler ve quadrotorun dış bozuculara ve parametrik belirsizliklere maruz kaldığı durumda tutum ve pozisyon denetimi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem sinirsel ağ tabanlı adaptif şema ile kayan kipli denetimin avantajlarını koruyan bir birleşimden meydana gelmektedir[13]. Fakui W. ve arkadaşları; bir insansız hava aracı türü olan mikro quadrotorun örnekleme geri bildirim vasıtasıyla ayrık denetim algoritması üzerinde çalışmışlardır. Benzetim çalışmaları sonucunda tasarlanan ayrık denetim ile endüstriyel uygulamalarda mikro quadrotorun ideal uçuş denetimi durumuna ulaşabileceğini göstermişlerdir[14]. Xiaobo L. ve arkadaşları çalışmalarında, dinamik yüzey denetimi ve ikinci dereceden kayan kipli bozucu gözlemcisi kullanarak quadrotorlar için ayrıştırıcı izleme denetleyicisini önermişlerdir. Makalede kullanılan dinamik yüzey denetimi orjinal alçak geçiren filtre yerine kayan kipli farklılaştırıcı kullanılarak iyileştirilmiş ve sistem belirsizlikleri ile dış bozucuların etkisini azaltmak için ikinci dereceden kayan kipli bozucu gözlemleyicisi kullanılmıştır. Ayrıca kararlılık analizi için bazı denetim değişkenlerinde basitleştirme yapmışlardır[15].

Bu çalışmada quadrotorun matematiksel modeli elde edilerek Matlab-Simulink ortamında benzetim modeli oluşturulmuş ve iki farklı denetim yöntemi model üzerinde test edilmiştir. Quadrotorun açısal durum ve yükseklik denetimine yönelik olarak KKD, GAD yöntemleri uygulanmış ve denetim performansları doğrultusunda kıyaslanmıştır. Denetleyicilerin denetim performansları quadrotorun denetimi yapılan yuvarlanma, yunuslama ve yönelme açıları ile yükseklik denetimi için ayrı ayrı incelenerek yerleşme zamanları hesaplanmış ve denetim yönteminden elde edilen sonuçların istenilen ölçütleri sağladığı, quadrotorun doğrusal olmayan bir yapıda olmasına rağmen denetim başarımının yeterli olduğu görülmüştür.

Çalışmanın takip eden bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci bölümde quadrotorun matematiksel olarak incelemesi yapılmış, üçüncü bölümde denetim yöntemlerinin matematiksel ifadesi ve Matlab-Simulink modeline nasıl uygulanacağı anlatılmış, dördüncü bölümde benzetim çalışması ve test sonuçları üzerinde durulmuş, beşinci bölümde elde edilen sonuçların karşılaştırması yapılarak denetim yöntemlerinin performansları sunulmuştur.

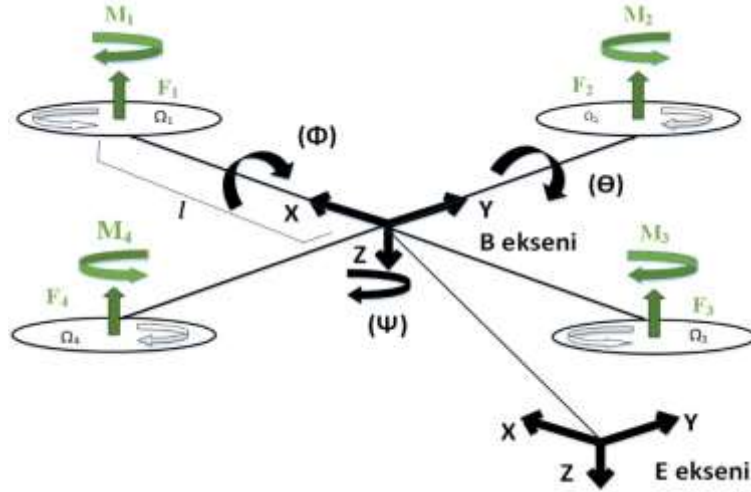
2. Quadrotorun Matematiksel Modellenmesi

Quadrotorun matematiksel modelinin elde edilmesinde araç üç boyutlu ortamda hareket eden katı bir cisim olarak kabul edilir. Cismin gövdesine uygulanan tork ve kuvvetler bu kabule göre elde edilmektedir. Dinamik ve kinematik modellerin oluşturulmasıyla elde edilen matematiksel model sistem davranışının zamanla değişimini açıklayabilmek için kullanılır. Matematiksel modelin elde edilmesinde kullanılan bazı sembol ve açıklamaları semboller listesinde verilmiştir.

2.1. Kinematik model

Quadrotorun kinematik modelinin elde edilmesinde, öncelikle kullanılacak koordinat noktaları belirlenir. Bu koordinatlar Şekil 1’de yer koordinat referansı E_x, E_y, E_z eksenleri, gövde koordinat referansı B_x, B_y, B_z eksenleri olarak gösterilmektedir. Yer koordinat eksenleri ile gövde koordinat eksenleri arasındaki mesafe kesin olarak $r = [x \ y \ z]^T$ ile tanımlanır.

Euler dönüşümü kullanılarak elde edilen R dönüşüm matrisi ile quadrotorun yer eksenine göre yönelimi elde edilmiştir. Quadrotorun yönelimi sırasıyla B_x, B_y, B_z eksenlerini temsil eden yuvarlanma, yunuslama ve yönelme açıları kullanılarak açıklanmaktadır[16].



Şekil 1. Quadrotor koordinat eksenleri

B_x, B_y, B_z eksenlerindeki dönüşüm matrisleri matris çarpımı yapılarak transpozunu alınır ve denklem (1)’de görüldüğü gibi dönüşüm matrisi elde edilir[17].

$$R_i^b = R(\Phi, x) * R(\theta, y) * R(\Psi, z)$$

$$R_i^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Phi & -\sin\Phi \\ 0 & \sin\Phi & \cos\Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\Psi & -\sin\Psi & 0 \\ \sin\Psi & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R = (R_i^b)^T = R_b^i$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\Psi\cos\theta & \cos\Psi\sin\theta\sin\Phi - \sin\Psi\cos\Phi & \cos\Psi\sin\theta\cos\Phi + \sin\Psi\sin\Phi \\ \sin\Psi\cos\theta & \sin\Psi\sin\theta\sin\Phi + \cos\Psi\cos\Phi & \sin\Psi\sin\theta\cos\Phi - \sin\Phi\cos\Psi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\Phi & \cos\theta\cos\Phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2. Dinamik model

Quadrotorun dinamik modelinin elde edilmesi, dönme hareket denklemleri ve dönüşüm hareket denklemleri olmak üzere iki ana bölüm altında incelenir.

Dönme hareket denklemleri Newton-Euler yöntemi kullanılarak B eksen takımından türetilen hareket denklemleridir ve B eksen takımına etki eden moment ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$J\dot{\omega} + \omega \times J\omega + \omega \times [0 \quad 0 \quad J_r \Omega_r]^T = M_B \quad (2)$$

M_B B eksen takımına etki eden moment, J quadrotorun diyagonal atalet matrisi, ω quadrotorun açısal hız vektörü, $\dot{\omega}$ quadrotorun açısal ivme vektörü, J_r rotor ataleti, Ω_r quadrotorun z eksenindeki dönüsel dengesizliği olarak ifade edilmektedir. Denklem (2) ile verilen quadrotor momenti, rotorlar tarafından üretilen moment ve aerodinamik kuvvetler olmak üzere iki fiziksel etkiyle tanımlanır. Rotorlar tarafından üretilen itki kuvveti döndürme etkisini gerçekleştirir ve böylece kuvvet ile kuvvet kolu çarpımı sonucunda moment etkisi ortaya çıkar. Rotorlar tarafından üretilen kuvvet ve moment denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} F_i &= b\Omega_i^2 \\ M_i &= bl\Omega_i^2 \end{aligned} \quad (3)$$

F_i i'inci rotorun itki kuvveti, b aerodinamik kuvvet sabiti, Ω_i i'inci rotorun açısal hızı, M_i i'inci rotorun momenti, l quadrotorun merkezinden rotora olan uzaklığı ifade etmektedir. Rotorlar tarafından üretilen moment ve kuvvetlerin etkisi quadrotor üzerinde incelenirse x , y , z eksenleri üzerindeki momentler aşağıdaki gibi yazılır.

$$M_B = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} lb(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\ lb(\Omega_1^2 - \Omega_2^2) \\ d(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 - \Omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

M_x x eksenine etki eden moment, M_y y eksenine etki eden moment, M_z z eksenine etki eden moment, d dönüsel dengesizlik moment sabiti olarak ifade edilir. Dönüşüm hareket denklemi, Newton'un ikinci yasasına dayanarak sabit eksen takımına göre aşağıdaki gibi yazılır.

$$m\ddot{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} + RF_B \quad (5)$$

Burada F_B yerçekiminden bağımsız olarak quadrotor rotorlarının toplam itki kuvveti, m quadrotorun kütlesi, \ddot{r} Newton'un ikinci yasasında yer alan ivme, R dönüşüm matrisini ifade etmektedir. Toplam itki kuvveti aşağıdaki gibi yazılır.

$$F_B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.3. Quadrotor denetim girişleri

Denetim giriş vektörü T , quadrotorun x , y , z eksenlerinde meydana gelen itki kuvveti değişimlerini ifade eder. Quadrotorun yükselme, alçalma ve askıda kalması için gerekli olan itki kuvvetini denetim girişi T_z , x eksenini için denetim girişi T_ϕ , y eksenini için denetim girişi T_θ , z eksenini için denetim girişi T_ψ ile aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T = [T_z \quad T_\phi \quad T_\theta \quad T_\psi] \quad (7)$$

$$T_z = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (8)$$

$$T_\phi = b(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \quad (9)$$

$$T_\theta = b(\Omega_1^2 - \Omega_3^2) \quad (10)$$

$$T_\psi = d(-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (11)$$

Quadrotorun dönme hareket denklemleri; quadrotorun açı değişimlerinden sorumlu olan ve denklem (9), (10), (11)'de açıkça yazılan momentleri aşağıdaki gibi matris formunda yazılarak denklem (12) elde edilir.

$$M_B = \begin{bmatrix} lT_\phi \\ lT_\theta \\ T_\psi \end{bmatrix} \quad (12)$$

Denklem (12) denklem (2)'de verilen B eksen takımına etki eden moment eşitliğinde yerine konur ve genişletilerek yeniden yazılırsa quadrotorun açısal ivmeleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}\ddot{\phi} &= \dot{\psi} \dot{\theta} \left(\frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} \right) - \frac{J_r}{I_{xx}} \dot{\theta} \Omega_r + \frac{l}{I_{xx}} T_\phi \\ \ddot{\theta} &= \dot{\psi} \dot{\phi} \left(\frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} \right) + \frac{J_r}{I_{yy}} \dot{\phi} \Omega_r + \frac{l}{I_{yy}} T_\theta \\ \ddot{\psi} &= \dot{\theta} \dot{\phi} \left(\frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}} \right) + \frac{l}{I_{zz}} T_\psi\end{aligned}\quad (13)$$

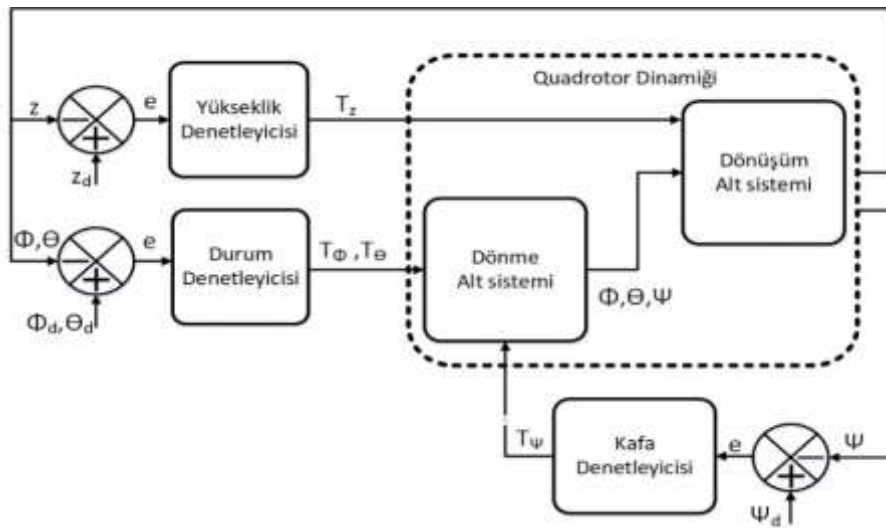
$\ddot{\phi}$ yuvarlanma açısı ivmesi, $\ddot{\theta}$ yunuslama açısı ivmesi, $\ddot{\psi}$ yönelme açısı ivmesi, $\dot{\phi}$ yuvarlanma açısı açısal hızı, $\dot{\theta}$ yunuslama açısı açısal hızı, $\dot{\psi}$ yönelme açısı açısal hızı, I_{xx} x eksenindeki atalet momenti, I_{yy} y eksenindeki atalet momenti, I_{zz} z eksenindeki atalet momenti olarak ifade edilir. Denklem (8) ile verilen itki kuvveti denetim girişi, denklem (6)'da yerine yazılarak elde edilen yeni ifadeyi, Newton'un ikinci kanunu ile yazılan dönüşüm hareket denklemi denklem (5)'te yerine konularak yazılır ve gerekli işlemler yapılırsa quadrotorun x , y , z eksenlerindeki ivmeler aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= \frac{-T_z}{m} (\cos\Psi \sin\theta \cos\Phi + \sin\Psi \sin\Phi) \\ \ddot{y} &= \frac{-T_z}{m} (\sin\Psi \sin\theta \cos\Phi - \sin\Phi \cos\Psi) \\ \ddot{z} &= g - \frac{T_z}{m} (\cos\theta \cos\Phi)\end{aligned}\quad (14)$$

Burada \ddot{x} \ddot{y} ve \ddot{z} sırasıyla x , y ve z eksenlerindeki ivme, Φ yuvarlanma açısı, θ yunuslama açısı, Ψ yönelme açısı olarak ifade edilir. Bir quadrotorun matematiksel modelinin oluşturulmasında dönme ve dönüşüm denklemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dönme denklemleri kullanılarak quadrotorun açısal hızları elde edilirken dönüşüm denklemleri ile quadrotorun x , y , z eksenlerinde oluşan ivme denklemleri elde edilmiştir. Böylece quadrotorun yön, hız ve ivme verilerine ulaşılabilir.

3. Denetim Yapısı

Bu bölümde quadrotorun x , y , z eksenlerindeki yuvarlanma, yunuslama, yönelme açıları ve yüksekliğinin denetimi için uygulanan denetim yöntemleri ele alınmıştır. Bu denetim yöntemleri aşağıda belirtildiği gibi GAD ve KKD olmak üzere quadrotor üzerinde uygulanması Şekil 2'de gösterilen quadrotor blok diyagramı ile ifade edilmiştir.

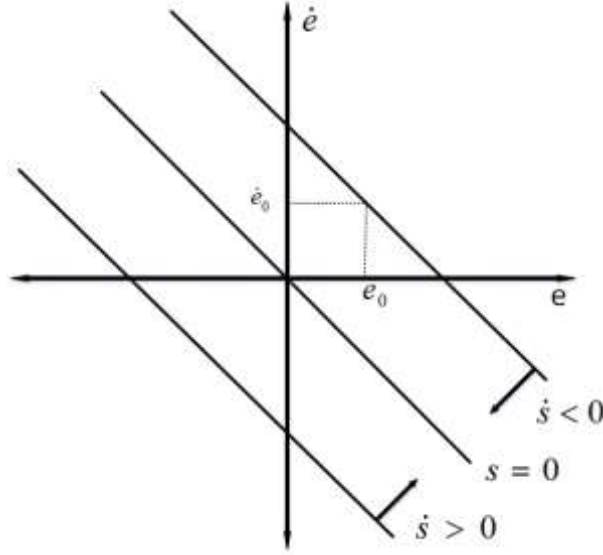


Şekil 2. Quadrotor blok diyagramı

3.1. Kayan kipli denetleyici

KKD'de Lyapunov kararlılık metodu kullanılarak doğrusal olmayan sistemin denetimi daha yüksek mertebedeki bir sistemin birinci mertebede bir sisteme dönüştürülmesiyle sağlanır. Bu sayede kolay ve dayanıklı olan denetim yöntemi uygulanır[18].

KKD süreksiz yapıda olan bir denetim yöntemi olmasından dolayı denetim yüzeyi üzerinde süreklilik denetimi elde edilemez. Bu nedenle denetleyici tarafından sistem durumu kayma yüzeyinin dışına çıktığında ani bir denetim işareti üretilir ve denetim durumunu tekrar yüzey üzerine getirmeye çalışır. Denetim sistemi kayan yüzey üzerinde denetimi sağlamak için çok kısa sürede çok sayıda anahtarlama yaparak yön değiştirir. Bu yön değiştirme işaretleriyle sistem denetimi sağlanır. KKD'nin kayma yüzeyinde oluşan yön değiştirme hareketleri Şekil 3'te gösterilen ok yönlerinde olmaktadır[19].

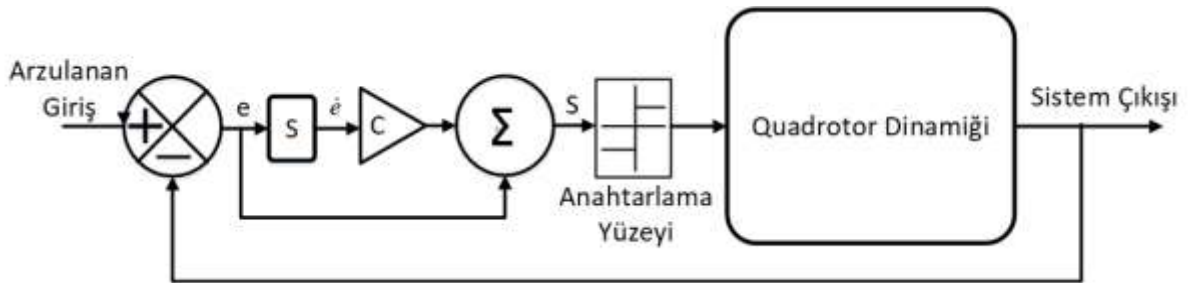


Şekil 3. KKD kayma yüzeyi(s=0)

KKD yapısı düzeltici denetim ve eşdeğer denetim olmak üzere denklem (15)'te ifade edildiği gibi iki parçadan oluşur. Düzeltici denetim kayma yüzeyine ulaşmak için kayma yüzeyinde meydana gelen sapmaları telafi eder. Eşdeğer denetim ise kayma yüzeyinde tutunmak için kayan yüzeyin türevini sıfıra eşit hale getirir. Şekil 4'te KKD'nin quadrotor üzerine uygulandığının blok diyagramı görülmektedir[20].

$$U(t) = U_c(t) + U_e(t) \quad (15)$$

Burada; $U(t)$ denetim yasasını, $U_c(t)$ düzeltici denetimi, $U_e(t)$ eşdeğer denetimi ifade etmektedir.



Şekil 4. KKD blok diyagramı

Quadrotorun KKD ile denetim girişinin elde edilmesi için ilk olarak arzulanan yuvarlanma açısından (ϕ_d) gerçek yuvarlanma açısı (ϕ) çıkartılarak hata hesaplanır,

$$e = \Phi_d - \Phi \quad (16)$$

KKD referans yüzeyi tanımlanır,

$$\begin{aligned} s &= c_1 e + \dot{e} \\ \dot{s} &= c_1 \dot{e} + \ddot{e} \\ \dot{s} &= c_1(\dot{\Phi}_d - \dot{\Phi}) + (\ddot{\Phi}_d - \ddot{\Phi}) \end{aligned} \quad (17)$$

Lyapunov fonksiyonu denklem (18) seçilir ve Lyapunov fonksiyonuna dayanan KKD için üstel erişim yasası denklem (19) tanımlanır,

$$V(e, s) = \frac{1}{2}(e^2 + s^2) \quad (18)$$

$$\dot{s} = -k_1 sgn(s) - k_2 s \quad (19)$$

Burada k_1 ve k_2 pozitif denetim sabitleridir ve $sgn(s)$ fonksiyonu kararlılığı sağlamak için denklem (20)'deki gibi tanımlanır.

$$sgn(s) = \begin{cases} -1 & \text{için } s < 0; \\ 1 & \text{için } s > 0. \end{cases} \quad (20)$$

Yuvarlanma açısı denetim girişini oluşturmak için elde edilen denklem (17)'de $\ddot{\Phi}$ yerine eşiti olan denklem (13) yazılır ve T_ϕ ifadesi çekilerek denklem (21) elde edilir.

$$T_\phi = \frac{1}{b_1} [c_1(\dot{\Phi}_d - \dot{\Phi}) + \ddot{\Phi}_d + a_2 \dot{\theta} \Omega_r - a_1 \dot{\theta} \dot{\Psi} - \ddot{\Phi}] \quad (21)$$

Bu denklemde c_1 pozitif denetim sabitidir ve $b_1 = \frac{l}{I_{xx}}$, $a_1 = \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}}$, $a_2 = \frac{J_r}{I_{xx}}$

Yunuslama, yönelme açıları denetim girişleri ve yükseklik denetim girişi benzer işlemler uygulanarak elde edilebilir. Yunuslama açısı denetim girişi;

$$T_\theta = \frac{1}{b_2} [c_2(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) + \ddot{\theta}_d - a_4 \dot{\phi} \Omega_r - a_3 \dot{\phi} \dot{\Psi} + k_3 sgn(s) + k_4 s] \quad (22)$$

$b_2 = \frac{l}{I_{yy}}$, $a_3 = \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}}$, $a_4 = \frac{J_r}{I_{yy}}$, c_2 , k_3 , ve k_4 pozitif denetim sabitleri.

Yönelme açısı denetim girişi;

$$T_\psi = \frac{1}{b_3} [c_3(\dot{\Psi}_d - \dot{\Psi}) + \ddot{\Psi}_d - a_5 \dot{\phi} \dot{\theta} + k_5 sgn(s) + k_6 s] \quad (23)$$

Burada c_3 , k_5 ve k_6 yönelme açısı için pozitif denetim sabitleridir ve $b_3 = \frac{l}{I_{zz}}$, $a_5 = \frac{I_{xx} - I_{yy}}{I_{zz}}$.

Yükseklik denetim girişi;

$$T_z = \frac{m}{\cos \phi \cos \theta} [c_4(\dot{z}_d - \dot{z}) + g - \ddot{z}_d + k_7 sgn(s) + k_8 s] \quad (29)$$

Burada c_4 , k_7 ve k_8 KKD yükseklik denetimi pozitif denetim sabitleri.

3.2. Geri adımlamalı denetleyici

GAD'de amaç, durum denklemlerinin her adımda birbirini daha kararlı hale getirerek, denetimi yapılan sistemin ihtiyacı olan denetim işaretini üretmeye dayanmaktadır. Bu sayede her adımda kararlılığı daha iyi seviyeye getiren durum değişkenleri, sistemi kararlı hale getirmektedir[21].

GAD tasarımında quadrotorun matematiksel denklemlerinden elde edilen durum uzay modelinden yararlanılır[17]. Birinci adımda hata hesaplanır,

$$e_1 = u_{1d} - u_1 \quad (25)$$

Burada u ifadesi quadrotorun durum uzay modelinden gelmektedir. Lyapunov teorisi kullanılarak türevi negatif yarı tanımlı, kendisi pozitif tanımlı Lyapunov fonksiyonu denklem (26) seçilir ve türevi alınarak denklem (27) yazılır.

$$V(e_1) = \frac{1}{2}e_1^2 \quad (26)$$

$$\dot{V}(e_1) = e_1\dot{e}_1$$

$$\dot{V}(e_1) = e_1(\dot{u}_{1d} - \dot{u}_1)$$

$$\dot{V}(e_1) = e_1(\dot{u}_{1d} - u_2) \quad (27)$$

Kararlılığı sağlamak için sınırlama fonksiyonu $W_1(e) = -c_1e_1^2$ seçilir ve denklem (28) eşitliği yazılır,

$$\dot{V}(e_1) = e_1(\dot{u}_{1d} - u_2) \leq -c_1e_1^2 \quad (28)$$

Denklem (28)'de verilen u_2 değeri arzu edilen $(u_2)^*$ değerine hızlıca yakınsamasını sağlamak amacıyla arzu edilen sanal bir işaret denklem (29) seçilir ve ikinci bir döngü sağlanır. İkinci döngüde sanal denetim izleme hatası e_2 denklem (30) yazılır.

$$(u_2)^* = \dot{u}_{1d} + c_1e_1 \quad (29)$$

$$e_2 = u_2 - (u_2)^*$$

$$e_2 = u_2 - \dot{u}_{1d} - c_1e_1 \quad (30)$$

Denklem (30) ile verilen ifade Lyapunov fonksiyonunda yerine konur ve yeniden yazılır,

$$\dot{V}(e_1) = e_1\dot{e}_1$$

$$\dot{V}(e_1) = e_1(\dot{u}_{1d} - u_2)$$

$$\dot{V}(e_1) = e_1(\dot{u}_{1d} - (e_2 + \dot{u}_{1d} + c_1e_1))$$

$$\dot{V}(e_1) = -e_1e_2 - c_1e_1^2 \quad (31)$$

İkinci döngü için yeni Lyapunov aday fonksiyonu seçilir ve Lyapunov fonksiyonunun zamana göre türevi alınarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V(e_1, e_2) = \frac{1}{2}(e_1^2 + e_2^2)$$

$$V(e_1, e_2) = V(e_1) + \frac{1}{2}e_2^2 \quad (32)$$

$$\dot{V}(e_1, e_2) = -e_1e_2 - c_1e_1^2 + e_2(\dot{u}_2 - \dot{u}_{1d} - c_1\dot{e}_1) \quad (33)$$

Pozitif tanımlı ikinci sınırlama fonksiyonu $W_2(e) = -e_1e_1^2 - c_2e_2^2$ seçilerek denklem (34) eşitliği yazılır.

$$\dot{V}(e_1, e_2) = -e_1e_2 - c_1e_1^2 + e_2(u_6u_4a_1 - a_2u_4\Omega_r + b_1T_\phi - \dot{u}_{1d} - c_1\dot{e}_1) \leq -c_1e_1^2 - c_2e_2^2 \quad (34)$$

Eşitsizlik çözülerek quadrotorun yuvarlanma açısı denetim girişi denklem (35) ile elde edilir.

$$T_\phi = \frac{1}{b_1}(-c_2e_2 + e_1 - u_6u_4a_1 + a_2u_4\Omega_r + \dot{u}_{1d} + c_1\dot{u}_{1d} - c_1u_2) \quad (35)$$

Diğer denetim girişleri içinde benzer işlemler uygulanır ve aşağıdaki gibi yazılır.

Yunuslama açısı denetim girişi;

$$T_\theta = \frac{1}{b_2}(-c_4e_4 + e_3 - u_6u_2a_3 - a_4u_2\Omega_r + \dot{u}_{3d} + c_3\dot{u}_{3d} - c_3u_4) \quad (36)$$

Yönelme açısı denetim girişi;

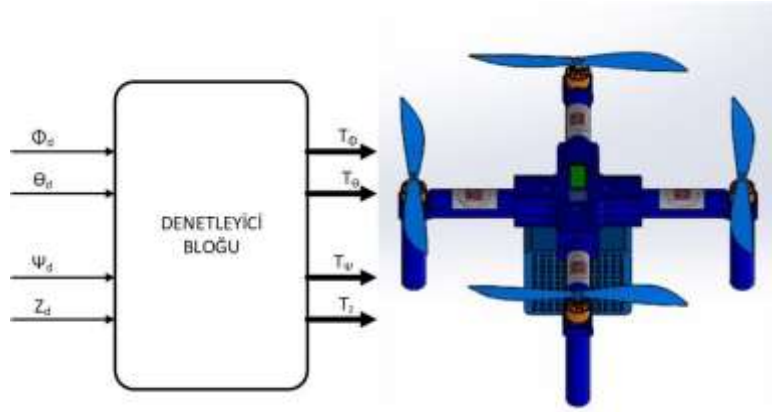
$$T_\psi = \frac{1}{b_3} (-c_6 e_6 + e_5 - u_4 u_2 a_5 + \ddot{u}_{5d} + c_5 \dot{u}_{5d} - c_5 u_6) \quad (37)$$

Yükseklik denetim girişi:

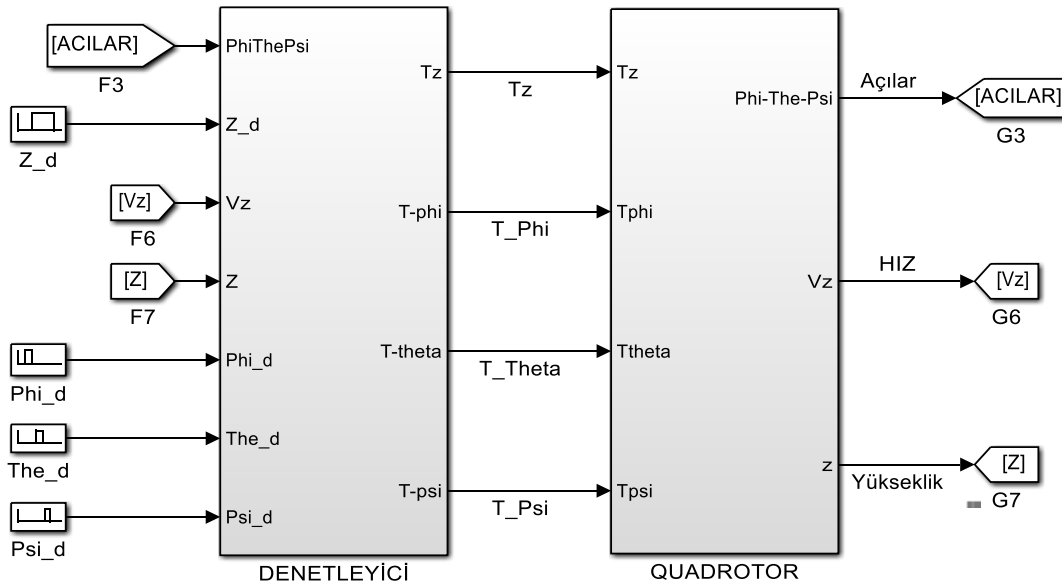
$$T_z = \frac{m}{\cos u_1 \cos u_3} (-e_7 + g - \ddot{u}_{7d} - c_7 \dot{u}_{7d} + c_7 u_8 + c_8 e_8) \quad (38)$$

4. Benzetim Çalışması

Quadrotorun benzetim çalışması Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Sistem; denetleyici ve quadrotor bloğu olarak Şekil 5'te verildiği gibi düşünülmüş, bölüm 2 ve 3'te elde edilen matematiksel denklemlerden yararlanılarak Matlab/Simulink ortamında denetleyici ve quadrotor olmak üzere iki ayrı blok şeklinde Şekil 6'da görüldüğü gibi tasarlanmıştır. İki farklı denetleyici için ayrı ayrı denetleyici bloğu tasarlanarak, istenen açı ve yükseklik denetimleri Tablo 1'de verilen parametre değerlerine sahip quadrotor bloğu üzerinde test edilmiştir.



Şekil 5. Denetleyici bloğu ve quadrotor



Şekil 6. Simulink modeli

Tablo 1. Quadrotor parametreleri

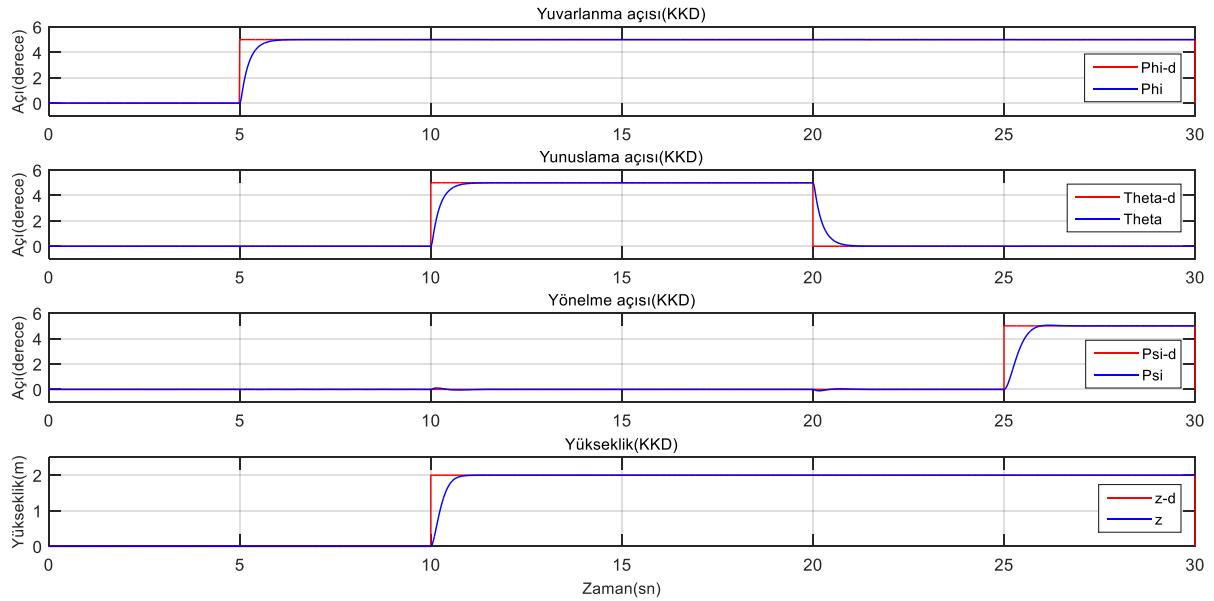
Parametre	Değer	Birim
I_{xx}	$7.5 \cdot 10^{-3}$	Kg.m^2
I_{yy}	$7.5 \cdot 10^{-3}$	Kg.m^2
I_{zz}	$1.3 \cdot 10^{-2}$	Kg.m^2
J_r	$6.5 \cdot 10^{-5}$	Kg.m^2
b	$3.13 \cdot 10^{-5}$	N.s^2
d	$7.5 \cdot 10^{-7}$	N.m.s^2
l	0.23	m
m	1.35	kg
g	9.81	m/sn^2

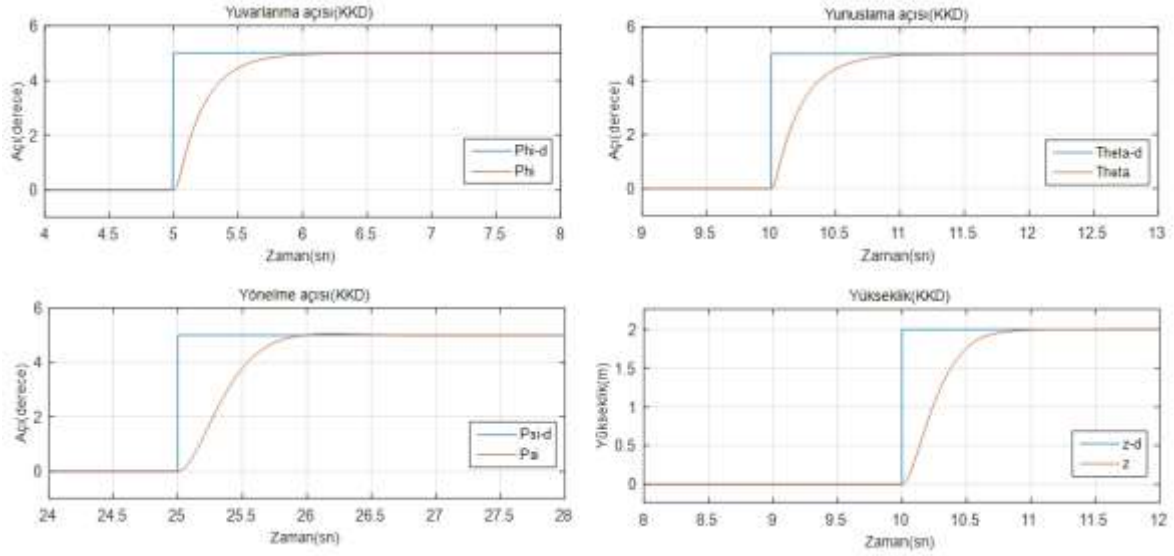
4.1. Kayan kipli denetleyici

KKD ile quadrotorun yuvarlanma açısı, yunuslama açısı, yönelme açısı ve yükseklik denetimlerinde kullanılan denetim parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu parametre değerleriyle benzetim modelinde quadrotor bloğuna KKD denetimi uygulanmış, denetimi yapılan yuvarlanma, yunuslama ve yönelme açılarına farklı zamanlarda değerler girilmiş ve bu açı değerlerinde kendisini sabitlemesi istenmiştir. Aynı şekilde yükseklik denetimi içinde 2 m yükseklikte durması istenmiştir. Benzetim çalışmasından elde edilen sonuç grafikleri Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 8’de ise, Şekil 7 ile verilen sonuçların geçici durum davranışları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 2. KKD denetim parametreleri

	c_1	k_1	k_2
Φ	4.68	1.99	1.80
θ	20	0.8	0
Ψ	20	1.2	0
z	6.68	2.66	6.64

**Şekil 7.** KKD denetim sonuçları



Şekil 8. KKD denetim sonuçlarının detaylandırılmış hali

Şekil 7’de verilen grafikte görüldüğü gibi sistem denetimi başarılı bir şekilde kararlılığı sağlamıştır. Basamak giriş işareti için yerleşme zamanları (%2’lik bant aralığı için) Tablo 3’te verildiği gibi elde edilmiştir. Yuvarlanma açısı denetimi için 5’inci saniyeden itibaren yuvarlanma açısını 5 dereceye, yunuslama açısı denetimi için 10 ve 20’inci saniye aralığında yunuslama açısını 5 dereceye, yönelme açısı denetimi için 25’inci saniyeden itibaren yönelme açısını 5 dereceye sabitlenmesi girdi olarak verilmiştir. Yükseklik denetimi için ise 10’uncu saniyeden itibaren 2 metre yükseklikte askıda kalması istenmiş, Şekil 7 ile verilen grafik incelendiğinde belirtilen zamanlarda sistemin denetim kararlılığını sağladığı görülmüştür.

Tablo 3. KKD yerleşme zamanları

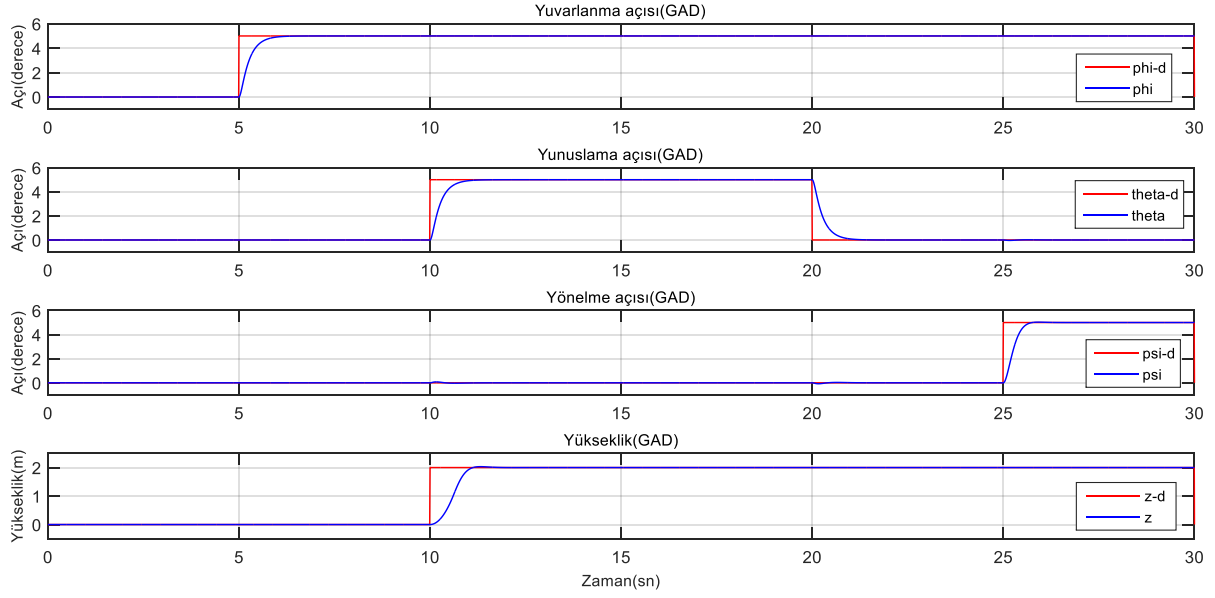
	ϕ	θ	ψ	z
Yerleşme Zamanı(sn)	0.86	0.87	0.85	0.91

4.2. Geri adımlamalı denetleyici

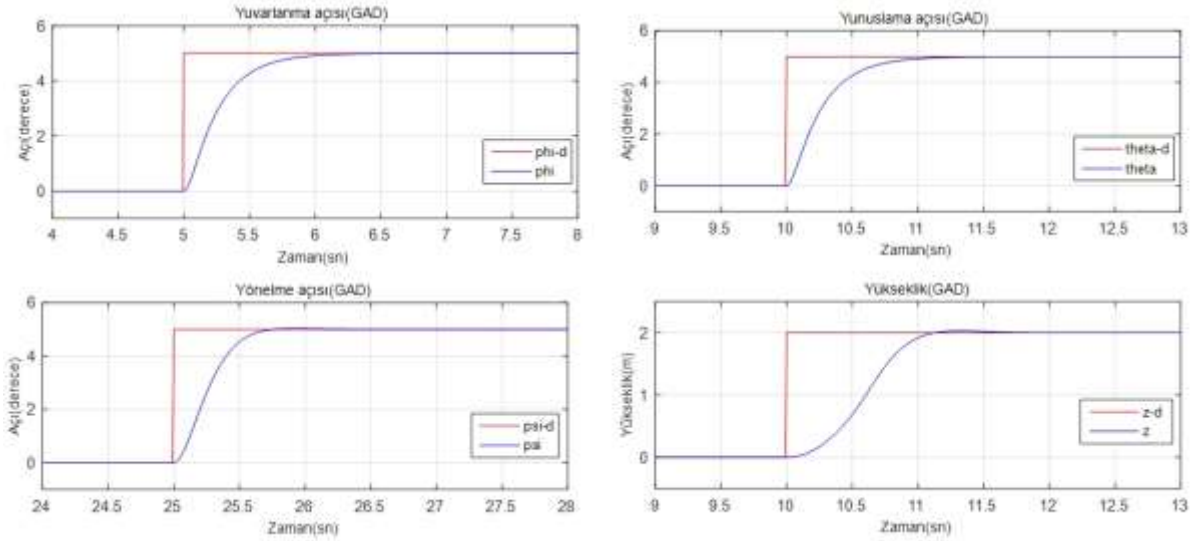
GAD ile quadrotorun yuvarlanma açısı, yunuslama açısı, yönelme açısı ve yükseklik denetimlerinde kullanılan denetim parametreleri Tablo 4’te verilmiştir. Simulink modeli üzerinde GAD için tasarlanan bu parametreler kullanılarak quadrotor denetimini gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuç grafikleri Şekil 9 ile verilmiştir. Şekil 9’da verilen grafik Şekil 10 ile detaylı olarak gösterilmiştir.

Tablo 4. GAD denetim parametreleri

	c_1	c_2
ϕ	5.52	3.40
θ	5.52	3.40
ψ	10.57	3.71
z	2.80	11.40



Şekil 9. GAD denetim sonuçları



Şekil 10. GAD denetim sonuçlarının detaylandırılmış hali

Şekil 9 ile verilen sonuçlar incelendiğinde GAD ile quadrotorun yuvarlanma, yunuslama, yönelme açılarının ve yükseklik denetimlerinin basamak referanslarını başarılı bir şekilde izlediği görülmektedir. Basamak giriş referansına ilişkin yerleşme süreleri de Tablo 5 ile sunulmuştur. Ancak yerleşme zamanları incelendiğinde yuvarlanma açısı, yunuslama açısı ve yükseklik denetimlerinde GAD denetiminin KKD denetim başarısına göre cevap verme süresinin daha uzun olduğu görülmüştür.

Tablo 5. GAD yerleşme zamanları

	Φ	θ	Ψ	z
Yerleşme Zamanı(sn)	0.95	0.96	0.64	1.05

5. Sonuç

KKD ve GAD yöntemleri kullanılarak doğrusal olmayan sistemler için kullanılan doğrusal olmayan bu iki denetleyiciden quadrotor denetimi için en iyi denetim başarısını verecek denetleyici elde edilmeye çalışılmış ve yapılan benzetim çalışması sonucunda %2'lik bant için, yerleşme zamanları Tablo 6 ile sunulmuştur.

Tablo 6. Quadrotor denetimi yerleşme zamanları karşılaştırması

	KKD	GAD	En başarılı denetim yöntemi
ϕ	0.86	0.95	KKD
θ	0.87	0.96	KKD
ψ	0.85	0.64	GAD
z	0.91	1.05	KKD

Tablo 6 ile verilen denetim sonuçları incelendiğinde quadrotor modeli üzerinde test edilen KKD, GAD yöntemlerinin denetim başarısı yerleşme zamanları birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak KKD denetim başarısı GAD denetim başarısından yuvarlanma açısı, yunuslama açısı ve yükseklik denetimlerinde yaklaşık 0.1 sn aralığında daha iyi sonuç verdiği, yönelme açısında ise GAD'nin KKD'den 0.21 sn daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Quadrotor yapısal olarak incelendiğinde, denetimi yapılan yuvarlanma, yunuslama açılarının ve yüksekliğin değişimi quadrotorun rotor itki kuvvetlerinin değişimleri sonucu meydana gelirken, yönelme açısı değişimi rotorlarda oluşan eksenel kuvvetlerin değişimi ile meydana geldiği görülmektedir. Sonuç olarak quadrotorun itki kuvveti değişimlerinden doğrudan etkilenen yuvarlanma, yunuslama açıları ve yükseklik denetimlerinde KKD denetimi daha iyi denetim performansı gösterirken, eksenel kuvvetlerin değişimlerinden etkilenen yönelme açısı denetiminde GAD denetimi daha iyi denetim performansı göstermiştir.

Semboller Listesi;

E : Yer koordinat eksenleri	Ω_i : i 'inci rotorun açısal hızı
B : Quadrotor gövde koordinat eksenleri	m : Quadrotorun kütlesi
r : İki eksen arasındaki mesafe	$\ddot{\phi}$: Yuvarlanma açısı ivmesi
R : Dönüşüm matrisi	$\ddot{\theta}$: Yunuslama açısı ivmesi
ϕ : Yuvarlanma açısı	$\ddot{\psi}$: Yönelme açısı ivmesi
θ : Yunuslama açısı	\ddot{x} : Quadrotorun x eksenindeki ivmesi
ψ : Yönelme açısı	\ddot{y} : Quadrotorun y eksenindeki ivmesi
J : Quadrotorun diyagonal atalet matrisi	\ddot{z} : Quadrotorun z eksenindeki ivmesi
ω : Quadrotorun açısal hız vektörü	M_B : B eksen takımına etki eden moment
$\dot{\omega}$: Quadrotorun açısal ivme vektörü	M_x : X eksenine etki eden moment
J_r : Rotor ataleti	M_y : Y eksenine etki eden moment
Ω_r : Quadrotorun z eksenindeki dönüsel dengesizliği	M_z : Z eksenine etki eden moment
F_i : i 'inci rotorun itki kuvveti	g : Yerçekimi ivmesi
M_i : i 'inci rotorun momenti	I_{xx} : X eksenine atalet momenti
b : Aerodinamik kuvvet sabiti	I_{yy} : Y eksenine atalet momenti
l : Quadrotorun merkezinden rotora olan uzaklık	I_{zz} : Z eksenine atalet momenti

Kaynaklar

- [1] Suiçmez EC, Kutay AT. Dört rotorlu bir insansız hava aracının geri adımlamalı yöntemi ile yol takibi kontrolü, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi. 2014; 7(2): 1-13.
- [2] Liang X, Hu Y. Tracking Control and Differential Flatness of Quadrotor with Cable-suspended Load, 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), 15-17 Mart 2019, Chengdu-China. 88-92.
- [3] Özçelik AE, Beşdok E. Model helikopter ile yapılan küçük ölçekli fotogrametrik alımların çevre ve arazi gözlemlerinde kullanılabilirliği üzerine bir ön çalışma, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım 2009, İzmir. 12-17.
- [4] Aksal A, Arıkan KB. Dengelenmemiş dört rotorlu hava taşıtının yönelim dinamiğinin uyarlamalı gürbüz denetimi, Savunma Teknolojileri Kongresi, SAVTEK, Ankara, 2014.

- [5] Selim E, Uyar E, Alcı M. Quadcopterin matematiksel modeli ve kontrolü. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı; 26-28 Eylül 2013, Malatya. 548-553.
- [6] Romeo F, Héctor R, Alejandro D. Comparative Analysis of Continuous Sliding-Modes Control Strategies for Quad-Rotor Robust Tracking, Control Engineering Practice, ELSEVIER, 18 June 2019, 241-256.
- [7] Xiwei W, Bing X, Yaohong Q. Modeling and Sliding Mode-Base Attitude Tracking Control of a Quadrotor UVA with Time-Varying Mass, ISA Transactions, ELSEVIER, 6 August 2019, 1-8.
- [8] Gan Y, David C, Rita C, Carlos S. Nonlinear Backstepping Control of a Quadrotor Slung Load System, ASME Transactions on Mechatronics, IEEE, 2019, 1-11.
- [9] Marcos R, Jesus S, Eduardo A. Observer-Based Time-Varying Backstepping Control for a Quadrotor Multi-Agent System, Journal of Intelligent & Robotic Systems, Springer, 22 May 2018, 135-150.
- [10] Liang Y, Yongchun L, Da L, Qiang H. Adaptive Sliding Mode Control for Multi-UAV Systems with Parametric Uncertainties, Materials Science and Engineering 569, IOP Conference, 2019, 1-7.
- [11] Xuerui W, Sihao S, Erik K, Qiping C. Quadrotor Fault Tolerant Incremental Sliding Mode Control Driven by Sliding Mode Disturbance Observers, Aerospace Science and Technology, ELSEVIER, 6 March 2019, 417-430.
- [12] Ling Z, Liuwei, Yuanqing X, Peng L. Attitude Control of for Quadrotors Subjected to Wind Disturbances Via Active Disturbance Rejection Control and Integral Sliding Mode Control, Mechanical Systems and Signal Processing, ELSEVIER, 17 April 2019, 531-545.
- [13] Hadi R, Sima A. Neural Network-Based Adaptive Sliding Mode Control Design for Position and Altitude Control of a Quadrotor UAV, Aerospace Science and Technology, ELSEVIER, 30 April 2019, 12-27.
- [14] Fakuı W, Weisheng C. Discrete Control of Micro Quadrotor Aircraft via Sampling Feedback, 7th Data Driven and Learning Systems Conference, IEEE, 2019, 914-917.
- [15] Xiaobo L, Yao Y, Chang-yin S. A Decoupling Control for Quadrotor UAV Using Dynamic Surface Control and Sliding Mode Disturbance Observer, Spring Nature B. V., 22 June 2019, 781-795.
- [16] Ermeydan A, Bir quadrotor'a arıza toleranslı uçuş kontrol sistemi tasarımı. Master, Anadolu Üniversitesi, Ankara, 2015.
- [17] Bozkurt E, Dört rotorlu bir insansız hava aracının modellenmesi, tasarımı ve yükseklik denetimi. Master, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2018.
- [18] Dikmen İ C, Arısoy A., Temeltaş A. Dikey iniş-kalkış yapabilen dört rotorlu hava aracının (quadrotor) uçuş kontrolü, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi. 2010; 4(3): 33-40.
- [19] Köse E, Abacı K, Aksoy S. Mekanik sistemlerin pid ve kayma kipli kontrol ile modellenmesi ve analizi. National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering; 2-5 Aralık 2010; Bursa. 179-183.
- [20] ElKholy H, Dynamic modeling and control of a quadrotor using linear and nonlinear approaches. Master, The American University In Cairo, Cairo, 2014.
- [21] Sekban H, Can K, Başçı A. İkili tank sıvı-seviye sisteminin pı ve geri adımlamalı kontrol yöntemleri ile kontrolü ve performans analizi. ELECO International Conference on Electrical and Electronic Engineers; 01-03 Aralık 2016, Erzurum. 272-277.

Farklı Tasarlanmış İki Sismik Yalıtımlı Binanın Karşılaştırılması

Necmettin GÜNEŞ^{1*}, Zülfü Çınar ULUCAN²

¹Mimarlık Bölümü, Cumhuriyet Üniversitesi, 58140, Sivas, Türkiye
²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, 23000, Elazığ, Türkiye
*ngunes@cumhuriyet.edu.tr, zculucan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 24/05/2019;

Kabul/Accepted: 18/09/2019)

Öz: Sismik yalıtım binalarda yüksek sismik performans elde etmek amacıyla uygulanmaktadır. Son yıllarda yalıtım üstyapı davranışının tabana ankastre binalardan daha fazla deprem yükü azaltma faktörüne karşı hassas olduğu gösterilmektedir. Bu nedenle, ASCE 7-16 üstyapıların, tasarım deprem (DBE) düzeyi spektral ivme taleplerinden 1.5 kat daha büyük olan, maksimum deprem (MCE) düzeyi spektral ivme talepleri ile tasarlanmasını öngörmektedir. Ancak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) sismik tehlike haritasına göre, bir çok aktif sismik bölgede, MCE düzeyi spektral ivme talepleri DBE düzeyi taleplerin 1.5 katından daha büyüktür. Bu durumda üstyapının tasarımı önem kazanmaktadır. Bu çalışmada sismik taban yalıtımlı iki model DBE ve MCE düzeylerinde tasarlanmakta ve yönetmeliklerin öngördüğü performans seviyelerine bağlı görel kat ötelenmeleri statik-itme analizi ile karşılaştırılmaktadır. Ayrıca FEMA P695 uzak mesafe yer hareketleri kullanılarak artımsal dinamik analizler yapılmaktadır. MCE düzeyini aşan olağandışı deprem düzeylerinde, iki modelin görel kat ötelenmeleri, giriş ve kolon plastik mafsallarda önemli farklılıklar elde edilmektedir. Yüksek üstyapı dayanımının yalıtım elemanları deplasman talebini artırdığı görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sismik yalıtım, statik-itme analizi, artımsal dinamik analiz.

Comparison of Two Differently Designed Seismically Isolated Buildings

Abstract: Seismic isolation has been used to achieve high seismic performance for buildings. In last years, it has been shown that the behavior of superstructures is more sensitive to response modification factor than fixed base structures. Therefore, ASCE 7-16 states that the superstructures must be designed with acceleration spectral demands of the Maximum Credible Earthquake (MCE) level which are 1.5 times larger than the Design Base Earthquake (DBE) level ones. On the other hand, with respect to the Turkish Seismic Hazard Map (TSHM), MCE level spectral demands are larger than DBE level ones over 1.5 times for many active seismic regions. In this case, the design of superstructures comes into prominence. In the present paper, two seismically isolated models are designed at the DBE and MCE level, and the code-based drift ratio limits of performance levels are compared by pushover curves. Furthermore, incremental dynamic analyses are carried out using FEMA P695 far-field ground motions dataset. Significant differences are obtained between the drift demands, plastic hinge rotations of beams and columns of two models at the extreme events that exceed the MCE level. It is observed that high superstructure strength increases the displacement demand of isolation members.

Key words: Seismic isolation, pushover analysis, incremental dynamic analysis.

1. Giriş

Sismik taban yalıtımı, hakim periyodu büyüterek deprem kuvvetlerini azaltmakta ve yapıların performansını artırmak için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda bazı binalarda, yönetmeliklerin yalıtım üstyapısının yeterli sismik performansını ve güvenli yalıtım birimi deplasman kapasitesini sağlamadığı tartışılmaktadır [1, 2, 3, 4].

York ve Ryan [5] zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının regresyonlarını yapmış ve ASCE 7-10 [6]'den farklı olarak üstyapı kuvvetlerini sönüm oranı yanısıra üstyapı kütlelerinin toplam kütle oranına bağlı olarak elde etmiştir. ASCE 7-16 [7] üstyapı tasarım kuvvetleri York ve Ryan [5] çalışmasına dayanmaktadır. Becker ve diğ. [8] 1/3 ölçekli iki açıklıklı ve iki katlı bir sismik yalıtım binanın deneyleri, Ryan ve diğ. [9] 3 katlı diyagonal çelik bir çerçevenin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları, ile ASCE 7-16 [7]'nin üstyapı tasarım kuvvetlerini yeteri hassasiyetle öngörebildiğini göstermiştir.

Sismik yalıtımlı bir binada üstyapının doğrusal olmayan davranışı, düşük deprem yükü azaltma faktörleri için yüksek süneklik talebi nedeniyle, ankastre tabanlı binalardan daha kritiktir [10, 11, 12]. Kikuchi ve diğ. [12] 15

* Sorumlu yazar: ngunes@cumhuriyet.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1246-9423, ² 0000-0003-3605-9728

katlı betonarme bir binada yer hareketi en büyük ivmesinin (PGA) yüksek değerlerinde sismik yalıtımlı modelin görece kat ötelenmelerinin tabana ankatre olan binaya göre daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Sismik yalıtımlı binaların düşük enerji yutabilme kapasiteleri [12] nedeniyle üstyapı tasarım kuvvetleri yüksek tutulur. Bu nedenle ASCE 7-16 [7] üstyapıların tasarımını tasarım deprem düzeyi (DBE) yerine maximum deprem düzeyinde (MCE) tasarlanmasını önermektedir. Bu durumda ASCE 7-10 [6] kriterlerine göre tasarlanan sismik yalıtımlı binaların üstyapı performanslarının yeterliliği ön plana çıkmaktadır. Ayrıca ASCE 7-16 [7]'nin kullandığı deprem tehlike haritalarına göre 475 yıl geri dönüşüm periyotlu DBE düzeyi spektral ivme talepleri, 2475 yıl geri dönüşüm periyotlu MCE düzeyi spektral ivme taleplerinin 2/3'ü oranındadır. Ancak mevcut Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (TDTH) [13]'e göre MCE seviyesi spektral ivme talepleri DBE seviyesi taleplerinin 1.5 katından daha büyük olabilmektedir. Bu durumda, DBE düzeyinde kesintisiz performans seviyesini sağlayan bir binanın MCE düzeyinde sınırlı hasar performans kriterlerini sağlayıp sağlamayacağı önem kazanmaktadır.

Sismik yalıtımlı binalarda yüksek üstyapı dayanımı nedeniyle doğrusal olmayan davranışı azaltmakta ve bu durum yalıtım elemanları deplasmanını artırmaktadır [3]. Kitayama ve Constantinou [4] çalışması, statik itme analizi ile çelik yapılarda, MCE düzeyinde deprem yükü azaltma faktörü (R) 1 alınarak yapılan tasarımda üstyapıdan önce yalıtım elemanlarının kapasiteye ulaştığını göstermiştir. Cardone ve diğ. [14] artımsal dinamik analiz ile, betonarme üstyapıdan önce sürtünmeli sarkaç yalıtım elemanlarının deplasman kapasitesine ulaştığını göstermiştir.

Bu çalışmada, betonarme 5 katlı bir bina ASCE 7-10 [6] ve ASCE 7-16 [7] kriterlerine göre ayrı tasarlanarak iki sismik yalıtımlı model oluşturulmuştur. İlk modelin üstyapı tasarım kuvvetleri ASCE 7-10 [6]'a göre DBE deprem düzeyinde, kesintisiz kullanım performans seviyesini sağlaması amacıyla, R değeri 1.2 alınarak belirlenmiştir. İlk modelin betonarme tasarımı, ASCE 7-16 [7] kriterlerine uygun olarak MCE deprem düzeyinde sınırlı kullanım performans seviyesini sağlaması amacıyla R değeri 1.5 alınarak, tekrarlanmış ve ikinci model elde edilmiştir.

Modellerin kuvvet-deformasyon kapasite eğrileri itme analizi ile elde edilmiş ve her iki model için FEMA P695 [15] uzak mesafe yer hareketi seti kullanılarak farklı şiddet seviyelerinde artımsal dinamik analizler yapılmıştır. Elde edilen üstyapı görece kat ötelenmeleri, çerçeve elemanları (kiriş ve kolon) plastik mafsallı dönmeleri ve yalıtım elemanı deplasmanları karşılaştırılmıştır. ASCE 7-10 [6] ve ASCE 7-10 [7] esas alınarak yapılan üstyapı tasarımının MCE düzeyini aşan büyük deprem etkilerinde önemli farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Ayrıca ASCE 7-16 [7], yüksek üstyapı tasarım kuvveti nedeniyle, daha büyük yalıtım elemanı deplasmanlarına neden olmuştur.

2. Modellerin Tasarım ve Yalıtım Elemanı Deplasman Kapasitesinin Belirlenmesi

Modellerin üç boyutlu görünüşü ve tipik kat planı Şekil 1'de verilmektedir. Bütün kat yükseklikleri 3.5 m olarak alınmış ve yalıtım elemanları bodrum kat kolonlarının üst kısmında modellenmiştir. Elastik analizlerde beton ve donatının karakteristik dayanımları kullanılmış ve betonun elastisite modülleri ACI 363R-92 [16] esas alınarak belirlenmiştir. Ayrıca kolon, kiriş ve döşeme kesit rijitlikleri sırasıyla 0.7, 0.35 ve 0.25 ile azaltılarak kullanılmış ve modellerin diğer özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Genel model özellikleri.

	Tasarım Seviyesi/Model	
	DBE/Model I	MCE/Model II
Kolon (üstyapı)	45x45 cm	45x45 cm
Kolon (alt yapı)	180x180 cm	180x180 cm
Kiriş	40x60 cm	40x60 cm
Kiriş (diyafram)	45x80 cm	45x80 cm
Döşeme	15 cm	15 cm
Döşeme (diyafram)	25 cm	25 cm
Beton karakteristik dayanımı	25 Mpa	40 Mpa

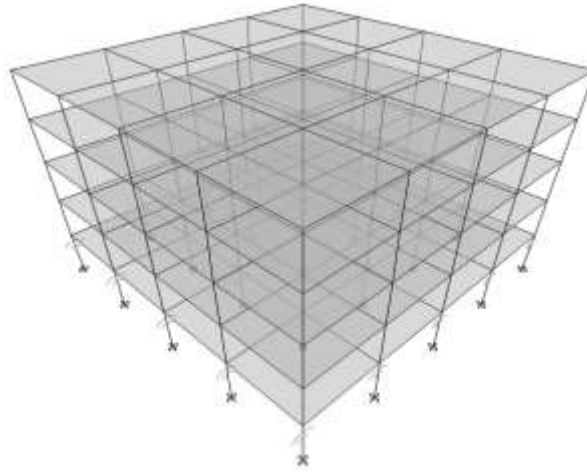
Binanın 38.673791 (enlem) ve 38.187337 (boylam) koordinatında bulunduğu varsayılmış ve zemin sınıfı TBDY [17]'e göre ZC olarak kabul edilmiştir. TDTH [13] kısa (S_s) ve uzun (S_1) periyod geometrik ortalama

spektral ivmeler DBE seviyesi için 1.0885 g ve 0.382 g, MCE seviyesi için ise 2.065 g ve 0.737 g olarak belirlenmiş ve spektrumlar Şekil 2’de verildiği gibi elde edilmiştir.

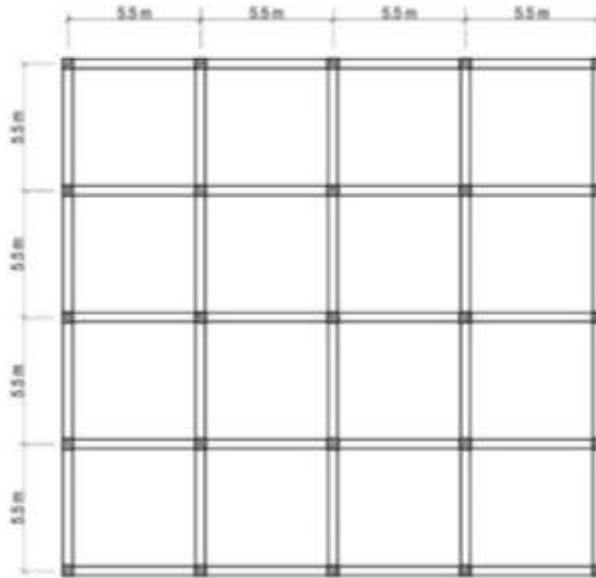
Yalıtım elemanı olarak, 4.5 m tek eğrilik yarıçaplı sürtünmeli sarkaç kullanılmıştır. Alt, nominal ve üst sürtünme oranları sırasıyla 0.045, 0.055 ve 0.078 olarak alınmış ve deplasman kapasitesi (D_M) alt sınır sürtünme oranı kullanılarak, geometrik ortalama spektral ivme değerleri ile uyumlu olması için TBDY [17]’de verildiği gibi, Denklem 1 ile elde edilmiştir.

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(MCE)}(T_M) \quad (1)$$

Burada g yer çekimi ivmesi, T_M MCE düzeyi etkin periyod, η_M sönüm ölçeklendirme katsayısı ve $S_{ae}^{(MCE)}(T_M)$ MCE düzeyi spektral ivme talebidir. Sistemde ilave eksantrisite düşünülmediği için toplam deplasman kapasitesi (D_{TM}) deplasman kapasitesi (D_M) olarak alınmış ve Denklem 1 kullanılarak 0.607 m olarak elde edilmiştir.



a) ETABS [18] üç boyutlu model.



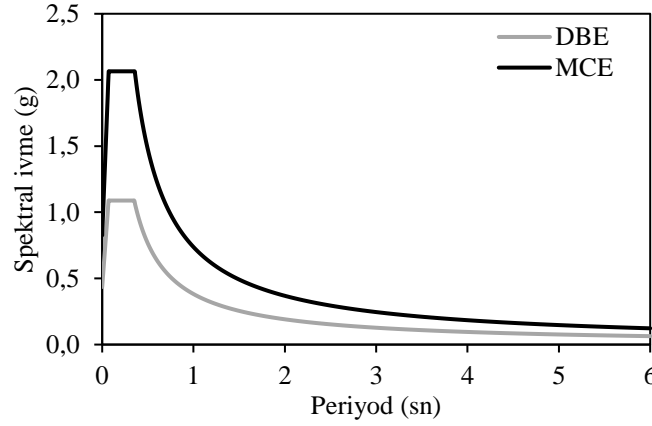
b) Kat planı.

Şekil 1. a) Üç boyutlu ETABS [18] modeli b) Kalıp planı.

Birinci modelin üstyapı tasarımı yalıtım üst sürtünme oranı kullanılarak, ASCE 7-10 [6]'da verildiği gibi Denklem 2 kullanılarak 2808.2 kN olarak elde edilmiştir.

$$V_S = k_{Dmax} D_D / R_1 \quad (2)$$

Burada; k_{Dmax} ve D_D DBE düzeyinde maksimum etkin rijitlik ve yalıtım birimi deplasmanı, R_1 deprem yükü azaltma faktörüdür.



Şekil 2. DBE ve MCE deprem düzeyleri için geometrik ortalama ivme spektrumları.

İkinci modelin üstyapı tasarım kuvveti ASCE 7-16 [7]'da verildiği gibi Denklem 3 ile 3483.4 kN olarak elde edilmiştir.

$$V_S = k_M D_M \left(\frac{W_S}{W} \right)^{(1-2.5\beta_m)} / R_1 \quad (3)$$

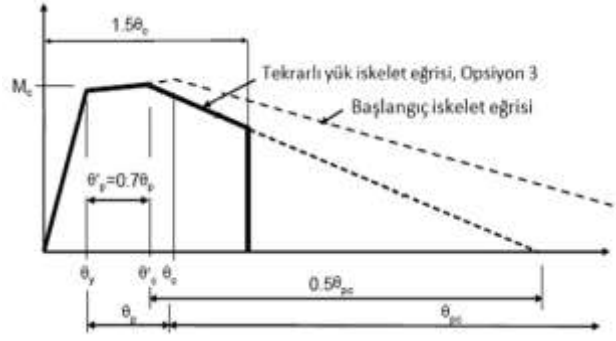
Burada; k_M ve D_M MCE düzeyi etkin rijitlik ve yalıtım birimi maksimum deplasmanı, W etkin sismik ağırlık, W_S yalıtım arayüzü üstü etkin sismik ağırlık, β_m sönüm oranıdır.

Elastik analizler mod birleştirme yöntemi kullanılarak ve betonarme tasarımlar TBDY [17] esas alınarak ETABS [18] yazılımı ile yapılmıştır.

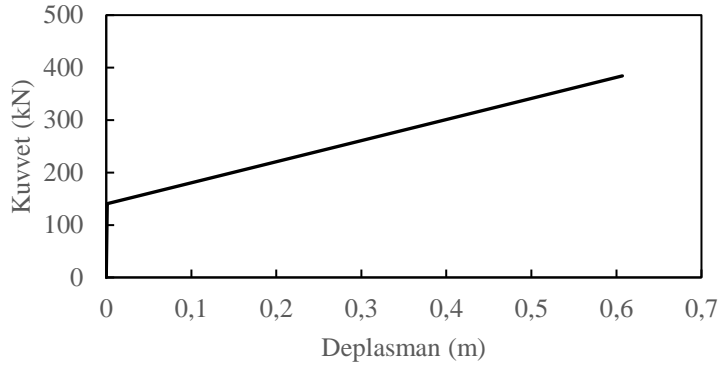
Doğrusal olmayan analizlerde kolon ve kiriş uçlarında yığılı plastik mafsallar tanımlanmış ve elemanların diğer kısımları etkin rijitlikleri kullanılarak elastik modellenmiştir. Yalıtım seviyesi hemen üstünde döşemeler kendi azaltılmış rijitlikleri ile modele dahil edilmiş, diğer katlarda rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Yalıtım elemanlarında kalkma miktarının gerçekçi elde edilebilmesi amacıyla üstyapı kütleleri düğüm noktalarında ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Betonarme kiriş iskelet eğrileri Haselton ve diğ. [19] bağıntıları kullanılarak elde edilmiş ve tekrarlı yükler altında meydana gelen azalmanın gözönüne alınması için monoton yüklemeye karşılık gelen iskelet eğrileri ATC/PEER-72 [20]'da önerildiği gibi azaltılmıştır (Şekil 3). Kolonların elasto-plastik davrandığı varsayılmış ve doğrusal olmayan davranışları Perform-3D [21] yazılımında, eleman uçlarında yığılı plastik mafsallar olarak modellenmiştir. Perform-3D [21] yazılımı ile betonarme elemanların tekrarlı yükler altındaki davranışları enerji azalım parametreleri kullanılarak modellenmektedir [20, 22, 23, 24]. Mamun ve Saatcioğlu [22] Perform-3D [21] yazılımı ile kolon modellenmesinde enerji azalım faktörünü elastik kapasiteye kadar 0.62 ve elastik kapasite aşıldığında ise 0.52 olarak alınması ile yapılan kolon test sonuçlarına [25] yeterince yakın davranış elde edildiğini göstermiştir. Bu çalışmada kolonların tekrarlı yükler altındaki davranışlarının modellenmesi için Mamun ve Saatcioğlu [22] enerji azalım faktörleri kullanılmıştır.

Normal kuvvetlerin farklılığı nedeniyle köşe, kenar ve iç kolonlar için üç farklı yalıtım elemanı tasarlanmış ve düşey rijitlikleri 1.4g+1.6q yüklemesi altında 0.001 m düşey deplasman yaptığı varsayılarak ayrı ayrı elde edilmiştir. Sürtünmeli sarkaç yalıtım elemanlarının çekme rijitlikleri mevcut değildir. Ancak analizlerde yakınsama probleminin aşılabilmesi için çekme rijitliği basınç rijitliğinin 1/100.000'i olarak modellere dahil edilmiştir. İç kolon altlarında kullanılan yalıtım elemanı kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 3. Tekrarlı yük etkisi altında iskelet eğrisi [20].



Şekil 4. Sürtünme üst değeri için yalıtım elemanı kuvvet-deplasman ilişkisi.

3. Yer Hareketlerinin Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Bu çalışmada FEMA P695 [15] uzak mesafe yer hareketleri kullanılmış (Tablo 2) ve bütün yer hareketleri kayıt numaraları (RSN) kullanılarak PEER veri tabanından [26] alınmıştır. RSN 829 numaralı deprem yer hareketi güncel PEER veritabanında [26] bulunmadığı için analizler 21 yer hareketi ile yapılmıştır. Şiddet parametresi olarak iki kayıt yönünün bileşke spektral ivme değerleri kullanılmış, yer hareketlerinin bileşke spektrumu hakim mode spektral ivme değerleri 0.01g, 0.05g, 0.1g, 0.15g, 0.2g, 0.25g, 0.3g, 0.35g, 0.4g ve 0.45g değerlerine ölçeklendirilmiş ve düşey bileşenler ihmal edilmiştir.

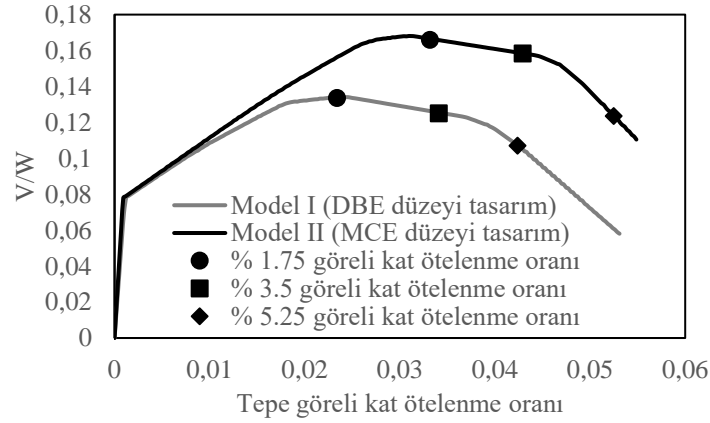
4. Statik-İtme Analizleri

TBDY [17] eşdeğer deprem yükleri modellere uygulanarak statik-itme analizleri yapılmış ve sismik ağırlık ile normalleştirilmiş itme eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. DBE seviyesi tasarım modelinde üstyapı, TBDY [17]'ye göre kesintisiz kullanım performans seviyesinin üst limiti olan 0.0175 görel kat ötelenmesine, tepe görel kat ötelenmesinin 0.0234 değerinde ulaşmıştır. Bununla birlikte MCE seviyesi tasarım modeli tepe görel kat ötelenmesinin 0.033 değerinde aynı performans sınırına erişmiştir. Model I ve Model II sınırlı hasar performans seviyesi üst limiti olan % 3.5 görel kat ötelenmesi oranına sırasıyla 0.0341 ve 0.043 tepe görel kat ötelenmesi oranlarında ulaşmıştır.

Kitayama ve Constantinou [4] üstyapı dayanımı yüksek çelik binalarda öncelikle yalıtım elemanlarının kapasiteye ulaştığını göstermiştir. Şekil 5'de normalleştirilmiş taban kesme kuvveti-tepe görel kat ötelenmesi verilen her iki modelde de üstyapılar, yalıtım elemanlarından önce göçme seviyesine ulaşmıştır. Model I için maksimum taban kesme kuvveti oranı 0.134 ve yalıtım elemanı maksimum yer değiştirmesi 0.26 m, Model II için taban kesme kuvveti oranı 0.168 ve yalıtım elemanı maksimum yer değiştirmesi 0.41 m dir. İkinci modelin taban kesme kuvveti oranı Model I'e göre % 25 fazla olmasına rağmen, yalıtım elemanı maksimum yer değiştirmesi % 58 daha büyük elde edilmiştir. Bu durum üstyapıların yalıtım birimi üzerinde oluşturdukları farklı kuvvetlerin, üstyapının sismik ağırlığının içbükey yüzeyin eğrilik yarıçapına oranı olarak bilinen sürtünmeli sarkaç yalıtım tipinin yanal rijitliği üzerinde, oluşturduğu farklı deplasman talebinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2. FEMA P695 [15] yer hareketi seti.

No	RSN	Deprem	Yıl	M	Kayıt istasyonu	Rrup (km)
1	68	San Fernando	1971	6.61	LA - Hollywood Stor FF	22.77
2	125	Friuli_ Italy-01	1976	6.5	Tolmezzo	15.82
3	169	Imperial Valley-06	1979	6.53	Delta	22.03
4	174	Imperial Valley-06	1979	6.53	El Centro Array #11	12.56
5	721	Superstition Hills-02	1987	6.54	El Centro Imp. Co. Cent	18.2
6	725	Superstition Hills-02	1987	6.54	Poe Road (temp)	11.16
7	752	Loma Prieta	1989	6.93	Capitola	15.23
8	767	Loma Prieta	1989	6.93	Gilroy Array #3	12.82
9	848	Landers	1992	7.28	Coolwater	19.74
10	900	Landers	1992	7.28	Yermo Fire Station	23.62
11	953	Northridge-01	1994	6.69	B. Hills - 14145 Mulhol	17.15
12	960	Northridge-01	1994	6.69	C.C - W Lost Cany	12.44
13	1111	Kobe_ Japan	1995	6.9	Nishi-Akashi	7.08
14	1116	Kobe_ Japan	1995	6.9	Shin-Osaka	19.15
15	1148	Kocaeli_ Turkey	1999	7.51	Arcelik	13.49
16	1158	Kocaeli_ Turkey	1999	7.51	Duzce	15.37
17	1244	Chi-Chi_ Taiwan	1999	7.62	CHY101	9.94
18	1485	Chi-Chi_ Taiwan	1999	7.62	TCU045	26
19	1602	Duzce_ Turkey	1999	7.14	Bolu	12.04
20	1633	Manjil_ Iran	1990	7.37	Abbar	12.55
21	1787	Hector Mine	1999	7.13	Hector	11.66

**Şekil 5.** Normalleştirilmiş statik-itme eğrileri.

5. Artımsal Dinamik Analizler

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler Bölüm 2'de verilen eleman rijitlik azalım katsayıları ve % 2.5 modal sönüm oranı kullanılarak yapılmıştır. Powell [27] doğrusal olmayan dinamik analizlerde modal sönümün yanısıra küçük oranda Rayleigh sönümü kullanılmasını önermektedir. Bu nedenle % 2.5 modal sönüm oranının yanısıra $0.5T_M$ ve $1.25T_M$ periyodlarında % 0.1 ilave Rayleigh sönüm oranı kullanılmıştır.

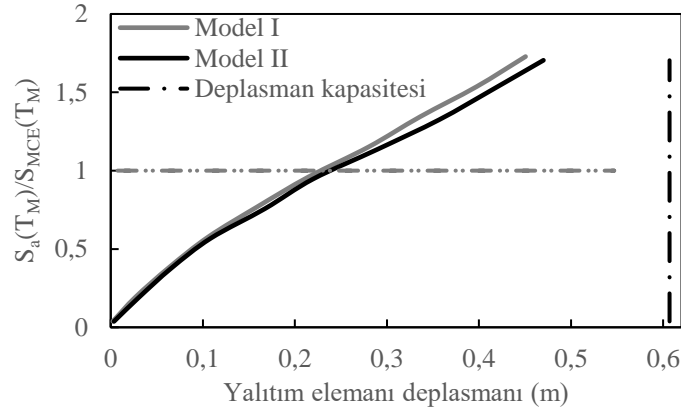
İki model ölçeklendirilmiş iki bileşenli yer hareketlerine maruz bırakılmış ve toplam 420 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz Perform-3D [21] yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde üstyapıda Perform-3D [21] yazılımı görel kat ötelenmesi üst limiti olan %10 değeri dışında herhangi bir sınır değeri kullanılmamış ve yalıtım elemanları deplasman kapasitesi olan 0.607 m ye ulaşınca analizler durdurulmuştur. Üstyapının davranışı incelendiği için bütün doğrusal olmayan analizlerde yalıtım elemanlarının üst sürtünme değeri kullanılmıştır.

Şekil 6'da ortalama yalıtım elemanı deplasmanları ile normalleştirilmiş hakim mod spektral ivme değerleri verilmektedir. Her iki modelde de bu ilişki lineere yakın olarak artmaktadır. MCE düzeyi tasarım modeli üstyapısı sınırlı doğrusal olmayan davranışa sahip olduğu için daha fazla deplasman talebi oluşturmaktadır.

Üstyapı ortalama görel kat ötelenmeleri ile normalleştirilmiş spektral ivme talepleri arasındaki ilişki Şekil 7'de verilmektedir. Heriki model içinde ortalama+standart sapma (ssapma) değerleri TBDY [17] kesintisiz kullanım performans üst limiti olan 0.00175 değerinin altındadır.

Vamvatsikos ve Cornell [28] aynı görel kat ötelenmesi oranına karşılık statik-itme ve artımsal dinamik analiz sonuçlarında elde edilen ilk mod spektral ivme talepleri arasında önemli farklılık olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, Şekil 5 ve Şekil 7'de verildiği gibi statik-itme analizi ile artımsal dinamik analiz sonuçları arasında farklı görel kat ötelenmeleri elde edilmiştir. Statik-itme analizlerinde önce üstyapı göçme kapasitesine ulaşıırken, artımsal dinamik analizlerde önce yalıtım elemanları deplasman kapasitesine ulaşmıştır.

Yalıtım seviyesinin hemen üstünde rijit diyafram etkisi oluşturulması amacıyla kiriş ve döşeme kalınlıkları büyük tutulmuştur. Bu nedenle kirişlerin doğrusal olmayan davranışları ikinci ve üçüncü katlarda yoğunlaşmıştır. Şekil 8'de ikinci kat kiriş plastik mafsalsal dönmeleri verilmektedir. Model I ve Model II'de ortalama+ssapma kiriş dönmeleri ASCE 41-13 [29] hemen kullanım performans seviyesi (IO) olan 0.01radyan değerinin altındadır. Ancak Model I'de normalleştirilmiş spektral ivme talebinin ($S_a(T_M)/S_{MCE}(T_M)$) 1.52 değerinde ikinci katta 9 adet kirişin ortalama plastik mafsalsal dönmeleri hemen kullanım performans seviyesini (0.01) aşmakta iken aynı seviyede Model II'de hiçbir kiriş ortalama plastik mafsalsal dönmeleri 0.01değerini aşmamaktadır.

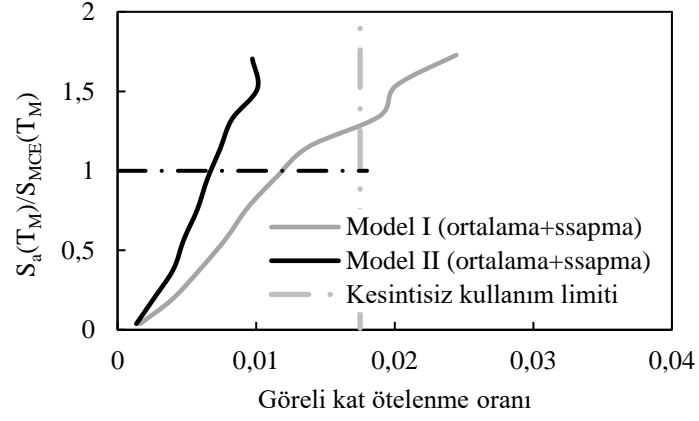


Şekil 6. Normalleştirilmiş spektral ivme talepleri ile yalıtım elemanı ortalama deplasman ilişkisi.

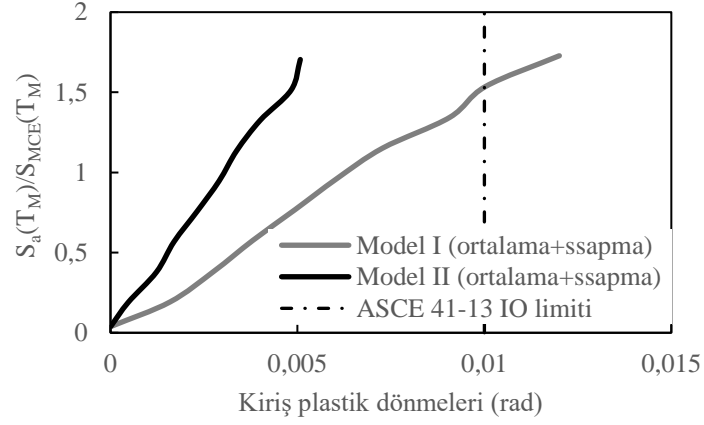
Şekil 9'da ikinci kat kolon plastik mafsalsal dönmeleri verilmektedir. İkinci modelde ortalama +ssapma değerleri ASCE 41-13 [29] hemen kullanım sınırı olan 0.005 radyan değerini aşmamaktadır. Ancak birinci modelde MCE düzeyi spektral ivme değerinin %20 aşılması durumunda kolon ortalama+ssapma değerleri ASCE 41-13 [29] hemen kullanım sınırını aşmaktadır.

Şekil 5'de modellerin farklı dayanımında olduğu gösterilmektedir. Yalıtım elemanlarının kuvvet-deplasman grafiklerine bağlı olarak farklı kuvvetlerin farklı deplasman talebi oluşturacağı bilinmektedir. Bu nedenle modellerin yalıtım elemanı maksimum deplasmanlarının karşılaştırılması önemlidir. Şekil 10'da iki modelin yalıtım elemanı deplasman ilişkileri verilmektedir. Bu ilişkinin gerçekçi elde edilebilmesi için deplasman kapasitesine ulaşan ve yalıtım elemanı sürtünme kuvvetinin aşılmadığı analiz sonuçları kullanılmamıştır.

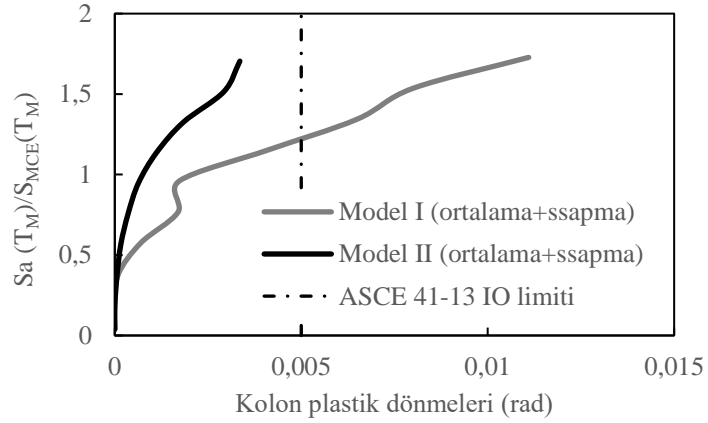
Cardone ve diğ. [14] üstyapının doğrusal olmayan davranışının yalıtım elemanı deplasmanı üzerinde sınırlı etki oluşturduğunu belirtmektedir. Üstyapı dayanımları ve kullanılan yer hareketi sayısı bu etkiyi farklılaştırabilmektedir. Bu çalışmada farklı üstyapı tasarımlarının yalıtım elemanı deplasman talebini % 4.03 oranında arttırdığı görülmüştür.



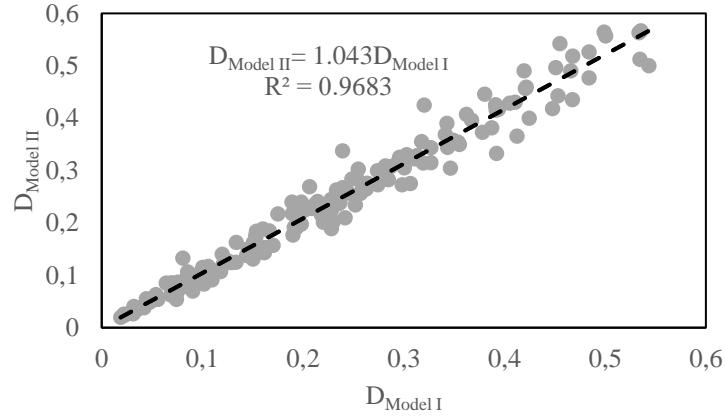
Şekil 7. Normalleştirilmiş ilk mod spektral ivme talepleri ile üstyapı görel kat ötelenmeleri ilişkisi.



Şekil 8. İkinci kat kiriş plastik mafsal dönmeleri.



Şekil 9. İkinci kat kolon plastik mafsal dönmeleri.



Şekil 10. İki modelin yalıtım elemanı maksimum deplasman ilişkisi.

6. Sonuçlar

ASCE 7-16 [7] sismik yalıtımlı binalarda üstyapı tasarım kuvvetlerini DBE deprem düzeyi yerine MCE düzeyinden elde edilmesini öngörmektedir. Bu çalışmada üstyapı tasarım kuvvetleri ASCE 7-10 [6] ve ASCE 7-16 [7] esas alınarak belirlenmiş iki sismik taban yalıtımlı modelin statik-itme ve artımsal dinamik analizleri yapılmıştır. İki modelin karşılaştırılması esas alındığından artımsal dinamik analizler için spektral şekil ve üç boyut etkisi gözönüne alınmamıştır.

Statik-itme analizinde her iki model de deplasman kapasitesine ulaşmadan üstyapı göçme kapasitesine ulaşmıştır. Ancak 10 farklı spektral ivme talebi düzeyinde yapılan artımsal dinamik analizlerin tamamında üstyapıdan önce yalıtım elemanları deplasman kapasitesine ulaşmıştır.

İki modelin görece kat ötelenmeleri önemli ölçüde farklı olmakla birlikte her iki modelin ortalama değerleri TBDY [17] kesintisiz kullanım üst limit değerinin (0.0175) altındadır. Ancak betonarme binalarda büyük kolon kesitleri nedeniyle görece kat ötelenmelerinin genellikle yüksek elde edilmediği bilinmektedir.

İkinci modelde elde edilen ikinci kat kirişleri ortalama+ssapma plastik mafsallı dönmeleri ASCE 41-13 [26] hemen kullanım performans seviyesinin altındadır. Ancak birinci modelde bu dönme değerleri, MCE düzeyi spektral ivme değerinin %50 aşılması durumunda, ASCE 41-13 [29] hemen kullanım performans seviyesini aşmaktadır.

Birinci modelde kolon ortalama+ssapma plastik dönme değerleri, MCE düzeyi spektral ivme talebinin %20 aşılması durumunda, ASCE 41-13 [29] hemen kullanım performans seviyesini aşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan farklı üstyapı modelleri, kullanılan yer hareketi sayısına bağlı olarak, yalıtım elemanı maksimum deplasmanını % 4.03 oranında değiştirdiği görülmüştür.

ASCE 7-16 [7] ve ASCE 7-10 [6] üstyapı tasarımları MCE deprem düzeyini aşan olağandışı deprem etkileri altında önemli ölçüde farklı doğrusal olmayan davranış göstermiştir. DBE deprem düzeyinde maksimum yön etkisi gözönüne alınarak yapılan üstyapı tasarımlarında deprem yükü azaltma faktörünün 1.2 değerinden daha yüksek alındığı binalarda bu farklılık artabilecektir. Mevcut sismik yalıtımlı binaların üstyapı performanslarının artırılması amacıyla yapılacak iyileştirmelerin üstyapı dayanımını artıracığı için yalıtım elemanı deplasman talebinde artıracığı [3] gözönünde bulundurulmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Sayani PJ, Erduran E, Ryan KL. Comparative response assessment of minimally compliant low-rise base-isolated and conventional steel moment-resisting frame buildings. *J Struct Eng* 2011;137(10):1118–31.
- [2] Erduran E, Dao ND, Ryan KL. Comparative response assessment of minimally compliant low-rise conventional and base isolated steel frames. *Earthquake Eng Struct Dyn* 2011;40(10):1123–41.
- [3] Kitayama S, Constantinou MC. Collapse performance of seismically isolated buildings designed by the procedures of ASCE/SEI 7. *Eng Struct* 2018; 164:243–258.
- [4] Kitayama S, Constantinou MC. Effect of displacement restraint on the collapse performance of seismically isolated buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2019; 17:2767–2786.
- [5] York K, Ryan K. Distribution of lateral forces in base-isolated buildings considering isolation system nonlinearity. *Journal of Structural Engineering* 2008;12:1185–1204

- [6] ASCE/SEI 7. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers; VA, U.S.A 2010.
- [7] ASCE/SEI 7-16. Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers, VA, USA, 2016
- [8] Becker TC, Bao Y, Stephen AM. Extreme behavior in a triple friction pendulum isolated frame. *Earthquake Eng Struct Dyn* 2017;46:2683-2698.
- [9] Ryan K, Button MR, Mayes RL. ASCE 7-16 lateral force distribution equations for static design of seismically isolated buildings. *Journal of Structural Engineering* 2019;145(2):04018258.
- [10] Kitayama S, Ishii K, Kikuchi M. Response Modification Factor for the Design of Seismically Isolated Buildings. 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012; Lisbon, Portugal, September 24-28.
- [11] Sayani PJ, Ryan KL. Comparative evaluation of base-isolated and fixed-base buildings using a comprehensive response index. *ASCE Journal of Structural Engineering* 2009; 135(6):2952–2968.
- [12] Kikuchi M, Black CJ, Aiken D. On the response of yielding seismically isolated structures. *Earthquake Engng Struct Dyn*. 2008;37:659-679.
- [13] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH), Ankara. 2018, <https://tdth.afad.gov.tr> (Erişim tarihi: 24.04.2019).
- [14] Cardone D, Perrone G, Piesco V. Developing collapse fragility curves for base-isolated buildings. *Earthquake Engng Struct Dyn* . 2019;48:78–102.
- [15] FEMA P695. Quantification of building seismic performance factors. Washington DC, USA: Federal Emergency Management Agency; 2009.
- [16] ACI Committee 363. ACI 363R-92: Report on High-Strength Concrete, ACI, USA, 1992.
- [17] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [18] ETABS, Extended 3D Analysis of Building Systems Software, Version 16.0. Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA,2016
- [19] Haselton C.B, Liel A.B, Taylor-Lange S.C, Deierlein G.G. Calibration of Model to Simulate Response of Reinforced Concrete Beam-Columns to Collapse. *ACI Structural Journal* 2016;113, No.6, 1141-1152.
- [20] PEER/ATC. Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings (PEER/ATC 72-1). Applied Technology Council, Redwood City- Pacific Earthquake Engineering Center, Berkeley. 2010
- [21] PERFORM-3D, Nonlinear analysis and performance assessment for 3D Structures, Version 6. Computers and Structures Inc, Berkeley, CA. 2016.
- [22] Mamun A.A., Saatcioglu M. Seismic performance evaluation of moderately ductile rc frame structures using Perform-3d, 2017, 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile.
- [23] Güneş N, Ulucan Z.Ç. Nonlinear dynamic response of a tall building to near-fault pulse-like ground motions. *Bull Earthquake Eng* (2019) 17: 2989. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00570-y>
- [24] Görgülü O, Taskin B. Numerical simulation of RC infill walls under cyclic loading and calibration with widely used hysteretic models and experiments. *Bull Earthq Eng* 2015;13:2591–2610.
- [25] Saatcioglu, M., Ozcebe, G. Response of Reinforced Concrete Columns to Simulated Seismic Loading. *ACI Structural Journal* 1986; 86 (1) 3-12.
- [26] Pacific Earthquake Engineering Research Center. PEER Ground Motion Database. University of California, California, 2019.
- [27] Powell, G. Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Shear wall example. Computers and Structures Inc, 2007.
- [28] Vamvatsikos D, Cornell CA. Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2002; 31(3): 491–514.
- [29] ASCE/SEI 41-13. Seismic Rehabilitation Standards Committee. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers, Reston, 2014.

Evrişimsel Sinir Ağı Modellerinde Özellik Seçim Yöntemlerini Kullanarak Çiçek Görüntülerinin Sınıflandırılması

Mesut TOĞAÇAR^{1*}, Burhan ERGEN², Fatih ÖZYURT³

¹ Bilgisayar Teknolojileri Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

³ Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ mtogacar@firat.edu.tr, ² bergem@firat.edu.tr, ³ fatihozyurt@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 03/06/2019;

Kabul/Accepted: 28/10/2019)

Öz: Görüntü işleme yöntem ve tekniklerinin gün geçtikçe daha iyi sonuç vermesi, ekolojik dengenin duyarlılığı açısından önem arz etmektedir. Bu makale ekolojik dengenin temel unsuru olan çiçek görüntülerinin sınıflandırılmasını ele almaktadır. Son zamanlarda çiçek görüntüleri üzerinde derin öğrenme yöntemlerinin kullanımı artmıştır. Bu çalışmada, çiçek görüntülerinin sınıflandırılması için internete erişime açık olan veri seti kullanılmıştır. Veri seti 4326 görüntüden oluşmaktadır. Elde edilen veri kümesinde özellik çıkarımı için derin öğrenme modellerinden evrişimsel sinir ağı (ESA) kullanılmıştır. ESA mimarilerinden AlexNet, VGG-16 ve VGG-19 modelleri kullanılmıştır. Üç modelinde ortak özelliği 1000 özellik veren tam bağlantılı katmana sahip olmalarıdır. Çiçek görüntülerinden elde edilen özellikler destek vektör makineleri (DVM) ile sınıflandırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda en iyi sınıflandırma performansını VGG-16 mimarisi ile sağlamıştır. Elde edilen sınıflandırma doğruluk oranı %86,56'dır. Sonraki aşamada ESA mimarilerinin son tam bağlantılı katmanından elde edilen 1000 özellik birleştirilerek 3000 özellik seti oluşturuldu. Ardından, özellik seçim yöntemlerinden; Maksimum Bilgi Katsayısı (MBK), Ridge regresyonu ve Özyinelemeli Özellik Eleme (ÖÖE) yöntemleri kullanılarak özellik sayısı 300'e düşürülmüştür. Özellik seçim yöntemleri ile çıkartılan en verimli özellikler DVM yöntemi ile yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma başarı oranı yaklaşık %4,54 artarak %91,10 olmuştur. Bu çalışma ile çiçek görüntülerinin sınıflandırılmasında ESA mimarileri ile birlikte özellik seçim yöntemlerinin kullanımının etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: ESA, derin öğrenme, görüntü işleme, özellik seçimi, çiçek görüntüleri.

Classification of Flower Images by Using Feature Selection Methods in Convolutional Neural Network Models

Abstract: It is important for the sensitivity of ecological balance that image processing methods and techniques give better results day by day. This article deals with the classification of flower images which are the basic elements of ecological balance. Recently the use of deep learning methods on flower images has increased. In this study, the dataset available on the internet was used for the classification of flower images. The dataset consists of 4326 images. In the obtained dataset, convolutional neural network (CNN), one of the deep learning models, was used for feature extraction. The CNN architectures AlexNet, VGG-16 and VGG-19 are used in this study. The common feature of the three models is that they have a fully connected layer that give 1000 features. The features obtained from flower images were classified with support vector machines (SVM) and the results were compared. As a result of the comparison, the best classification performance was achieved with VGG-16 architecture. Obtained classification accuracy rate is 86.56%. In the next phase, 1000 features obtained from the last fully connected layer of CNN architectures were combined and 3000 feature set were created. Then, the most efficient 300 features were selected from the 3000 set of features using the Maximum Information Coefficient (MIC), Ridge regression, and Recursive Feature Elimination (RFE) feature selection methods. The most efficient features extracted by feature selection methods were reclassified by SVM method. The classification success rate increased by approximately 4.54% to 91.10%. In this study, it has been observed that using CNN architectures and feature selection methods are effective in the classification of flower images.

Key words: CNN, deep learning, image processing, feature selection, flower images.

1. Giriş

Bitki organlarından biri olan çiçekler, ekolojik düzenin vazgeçilmez bir unsurudur. Çiçekler, insanlara faydalı olacak alanlarda da kullanılmıştır [1]. İlaç sanayisi, gıda ve kozmetik sektörü, peyzaj alanları, özel ve anlamlı günlerde vs. süreklilik arz edip, talep görmektedir. Çiçeklerin şekil ve renk benzerliğinden dolayı ayırt etmek zor

* Sorumlu yazar: mtogacar@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8264-3899, ² 0000-0003-3244-2615, ³ 0000-0002-8154-6691

bir iştir [1,2]. Günümüzde yaklaşık 390 bin çiçek çeşidi bulunmaktadır [3]. İnsan gözüyle belli bir mesafeden sonra birbirine renk ve şekil olarak benzeyen çiçekleri ayırt etmek daha da zorlaşmaktadır. Derin öğrenme ise insan gözünün yaptığı işlevleri daha hızlı ve doğru sonuçlar vermeye yarayan bir yazılım teknolojisidir [4,5]. Bu teknolojiye çeşitli modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller içerisinde son zamanlarda popülerliğini artırmış olan ESA modelleridir. ESA modelleri, uzman bilgisine ihtiyaç duymaksızın özellikleri otomatik olarak çıkarır. Ayrıca ESA modelleri girdi olarak vektör (özellik vektörü) değil, matris (ham görüntü) kullanır [6,7]. Sonuç olarak, çiçeklerin sınıflandırılması ve segmentasyonu gibi işlemlerde derin öğrenme mimarileri gün geçtikçe daha da ilgi görmeye başlamıştır [8].

Çiçek görüntülerinin sınıflandırılması işleminde birçok teknik ve yöntem önerilmiştir. Hazem Hiary ve ark. [8], çalışmalarında çiçek görüntülerinin sınıflandırılması için iki aşamalı derin öğrenme modeli önermişlerdir. Birinci aşamada çiçek bölgesini otomatik olarak yerelleştirmek için segmentasyonu işlemini gerçekleştirmişlerdir. İkinci aşamada ise çoklu sınıflandırıcı Softmax'ı kullanarak %97,1 oranında bir başarı elde etmişlerdir. Musa Çibuk ve ark.[9], çalışmalarında minimum artıklık maksimum alaka düzeyi (MAMAD) yöntemini kullanarak özellik seçimi yapmışlardır. Çıkarıdıkları verimli özellikleri DVM sınıflandırıcısını kullanarak %96,39 oranında bir başarı elde etmişlerdir. Philippe A.Dias ve ark. [10], yeni ESA tabanlı bir algılama algoritması geliştirmişlerdir. %90 oranında bir sınıflandırma başarısı elde etmişlerdir. MostafaMehdipour Ghazi ve ark. [11], çalışmalarında çiçek görüntülerinin sınıflandırılması için önceden eğitilmiş (transfer öğrenme) ESA modellerini kullandılar. Veri setine görüntü çoğaltma tekniği kullanıp yeni görüntü kümesi elde ederek sınıflandırma işlemini gerçekleştirdiler. Çalışmalarında elde ettikleri başarı oranı %80'dir. Marco Seeland ve ark. [12], çiçeklerin sınıflandırılması işleminde geleneksel yöntemleri kullandılar. Yerel şekil ve renk tanımlayıcıları yöntemleri ile özellik seçim detektörlerini birlikte kullandılar. Sınıflandırıcı olarak kullandıkları DVM yöntemi ile %94 oranında bir başarı elde ettiler. Son olarak D.S.Guru ve ark. [13], geleneksel yöntem olan renk dokusu momentlerini, gri-seviye eş-oluşum matrisi yöntemini ve Gabor tekniğini birleştirerek bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirdiler. Üç yöntemin birleşiminde yaklaşık %79 oranında bir başarı elde ettiler.

Bu çalışmada yazarlar, çiçek görüntülerinin ayırt edilebilmesi için ESA modelleri ile özellik çıkarma yöntemlerinin birlikte kullanılmasını önermektedirler. Çiçek görüntülerinin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan sınıflandırıcı DVM [14,15], bu çalışmada da kullanılmıştır.

Bu makale kısaca şöyle düzenlenmiştir: 2. bölümde, veri kümesi ve ESA modelleri hakkında kısa bilgiler verilmektedir. Bölüm 3'te özellik seçimi yöntemleri, sınıflandırıcı ve önerilen yöntem hakkında bilgi sunulmuştur. Bu çalışmada elde edilen analiz sonuçları Bölüm 4'te verilmiştir. Tartışma bölümü bölüm 5'de verilmiştir. Tartışma bölümünde aynı veri setini kullanan diğer çalışmalara değinilmiştir. Son bölüm ise sonuç bölümünden oluşmuştur.

2. Veri Kümesi ve ESA Modelleri

2.1 Veri kümesi

Bu çalışmada, beş bitki türüne ait 4326 çiçek görüntüsünden oluşan erişime açık veri kümesi [16] kullanılmıştır. Veri kümesini oluşturan papatya, karahindiba, gül, ayçiçeği ve lale bitki türlerine ait örnek görüntüler Şekil 1'de gösterilmiştir. Veri görüntüleri Google, Flickr ve Yandex tarayıcıları üzerinden toplanmış ve erişime sunulmuştur. Çiçek sınıflarına ait görüntü sayısı Tablo 1'de gösterilmiştir. Veri kümesindeki görüntüler yüksek çözünürlükte değildir. Görüntülerin çözünürlüğü 134×240 piksel ile 1024×198 piksel arasında değişmektedir.



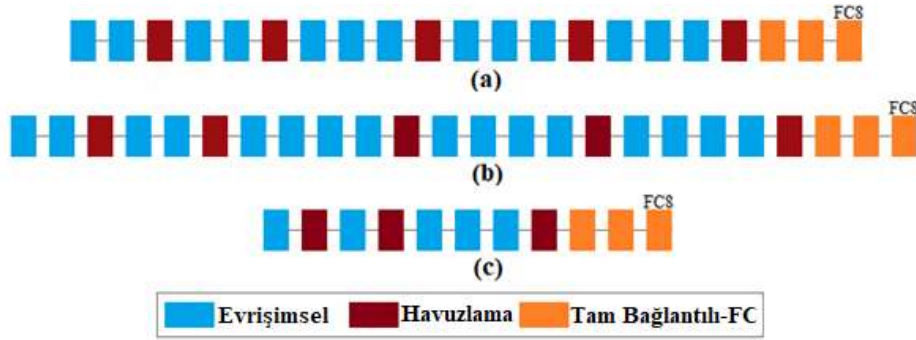
Şekil 1. Deneyde kullanılan çiçek görüntüleri: (a) papatya, (b) karahindiba, (c) gül (d) ayçiçeği ve (e) lale.

Tablo 1. Veri setinde bulunan görüntülerin sınıf bazında sayısal dağılımı.

Çiçek Adı	Papatya	Karahindiba	Gül	Ayçiçeği	Lale	Toplam
Görüntü Sayısı	769	1055	784	734	984	4326

2.2 ESA modelleri

Bu bölümde, AlexNet, VGG-16 ve VGG-19 modelleri hakkında bilgi verilmiştir. Üç modelin mimari yapısı birbirine benzer özellikler gösterdiği için seçilmiştir. ESA mimarilerinin şematik gösterimi Şekil 2’de gösterilmiştir. AlexNet mimarisi, 2012 yılında ImageNet yarışmasında adını duyuran, yaklaşık bir milyon görüntü ile eğitime özelliğine sahip, görüntüleri sınıflandırmada son derece başarılı bir ESA modelidir. AlexNet mimarisinin ana katmanları evrişim, havuzlama ve tam bağlı katmanlardan oluşur. Evrişim katmanı, seçilmiş filtre boyutu ile giriş yapan görüntü üzerinde dolaştırılması işlemine dayanır. Filtrenin boyutu 3×3 veya 5×5 piksel olabilir. Filtre ile elde edilen görüntü bir sonraki katmanın giriş görüntüsü olur. Kısaca evrişimsel katmanlardan geçen görüntünün aktivasyon haritaları oluşmaktadır. Aktivasyon haritalarının en önemli özelliği kendine has özelliklerden oluşmasıdır [17]. Son olarak havuzlama katmanı, görüntü özelliklerini korur, görüntü boyutunu ve maliyetlerini azaltır ve ayrıca görüntü bilgilerini bozulmadan tutar [18].

**Şekil 2.** ESA modellerinin şematik gösterimi: (a) VGG-16, (b) VGG-19 ve (c) AlexNet.

VGG-16 mimarisi, evrişimsel, havuz ve tamamen bağlı katmanlardan oluşur. Toplam 21 ana katmandan oluşur [19]. Bu mimari artan bir ağ yapısına sahiptir. Görüntü giriş çözünürlüğü 224×224 pikseldir. Evrişimsel katmanındaki filtre boyutu 3×3 pikseldir. Bu mimaride son katmanlar özellik çıkarımı için kullanılan tam bağlantılı katmanlardan oluşur.

VGG-19 mimarisinin ana katmanları 16 evrişimsel, beş adet havuzlama ve üç tam bağlantılı katmandan oluşur. Bu mimari toplam 24 ana katmana sahiptir. VGG-19 derinlemesine bir ağa sahip olduğundan evrişimsel katmanda kullanılan filtreler parametre sayısını azaltmak için kullanılır. Bu mimaride seçilen filtrenin boyutu 3×3 pikseldir. VGG-19 mimarisi yaklaşık 138 milyon parametre içermektedir [20].

Bu makalede kullanılan ESA mimarileri özellik çıkarımı için kullanılmıştır. Özellikler, üç modelde de FC-8 katmanından elde edilmiştir. FC-8 katmanı, 1000 tane özellik çıkarır [21]. Üç modelde filtre 3×3, adım sayısı iki ve havuzlama türü maksimum seçilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan veri seti tüm deneylerde %30’u test verisi, %70’i ise eğitim verisi olarak kullanıldı. Yani, çapraz doğrulama yerine geniş veri kümesi olduğu için veri kümesi test ve eğitim olarak ikiye ayrılıp sınıflandırma işlemi gerçekleştirildi. ESA mimarilerinde eğitim süreci transfer öğrenme ile gerçekleştirildi. Ek olarak, veri seti görüntülerinin ESA modellerinin giriş boyutlarına dönüştürülmesi işleminde “ImageDatastore” ve “augmentedImageDatastore” aktivasyon kodları kullanıldı.

3. Yöntemler

3.1 Özellik seçim yöntemleri

Özellik seçimi, görüntü işlemede sınıflandırma doğruluğunu artırmak ve daha hızlı sonuç vermek için kullanılır. Diğer bir ifadeyle, mevcut veri kümesinden bir veri alt kümesi oluşturma yöntemidir [22]. Bu çalışmada üç tip özellik seçim yöntemi kullanıldı.

3.1.1 MBK yöntemi

Kullanılan yöntemlerden ilki MBK yöntemidir. Bu yöntem, büyük veri kümelerindeki çift değişkenler arasında ilişki bağıntısını inceler ve MBK'nın doğruluğu, her çift için bağımlılık ölçüsü üzerinde etkilidir. Doğrusal veya doğrusal olmayan değişkenlerin eşleştirilmesi ile birlikte olabilme durumunu ölçen istatistik tabanlı bir yöntemdir [23]. Değişkenler arasındaki karşılıklı bilginin maksimum olacağı şekilde seçim yapar. Bu durum her zaman için mümkündür. Denklem 1'de X ve Y değişkenleri temsil etmektedir. Burada X ve Y değişkenlerinin boyutları kabaca aynı olmak zorundadır. $X=2$ ve $Y=2$ değerleri genel olarak kabul edilir ancak bu değerler $H(X)$ tarafından değişebilmektedir. Eğer veri kümesinde eşleştirilmiş değişkenlerin boyutları farklı ise, o kümede elde edilmiş en büyük değere bölünerek normalizasyonu gerçekleştirilir. Böylece değişkenler arasında oluşması muhtemel düzensizlik (entropi) en aza indirgenmiş olur [24]. Bu durum Denklem 2'de gösterilmiştir. Denklem 2'nin normalizasyonu ise Denklem 3'te gerçekleşmiştir.

$$H(X_b) = H(Y_b) = H(X_b, Y_b) \quad (1)$$

$$I(X; Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) \quad (2)$$

$$\log(\min(n_x, n_y)) \quad (3)$$

3.1.2 Ridge yöntemi

Ridge regresyonu, çok değişkenli neden-sonuç ilişkisine dayanan verilerin analizini gerçekleştiren istatistik tabanlı bir yöntemdir. Tercih edilmesinin sebebi en küçük kareler (EKK) yönteminin varyans değerlerinden daha düşük varyans değerleri verdiği için kullanılmaktadır. Ridge regresyon formülü Denklem 4'te gösterilmiştir. Bu denklemde k sabit bir değişken olup, $0 < k < 1$ arası değer alır. X ve Y veri kümesinde yer alan değişkenleri ifade eder. I ise birim matrisini temsil eder [25,26].

$$(XX' + kI)^{-1}X'Y \quad (4)$$

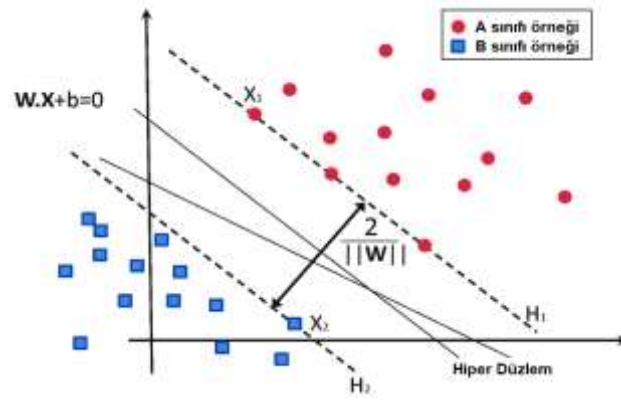
3.1.3 ÖÖE yöntemi

ÖÖE, özinelemeli özellik azaltma yöntemi olarak bilinir. Bu yöntem, veri setinde elde edilen tüm özellikleri ele alır ve önem sırasına göre sıralama yapar. S özellikler verisini içeren bir dizi olarak kabul edilirse, birden fazla özellik dizisini $S_1 > S_2 > S_3$ olacak şekilde önem derecesine göre sıralar. Bu yöntemde her yineleme işlemi gerçekleştirildiğinde, S_i dizisine ait üst sıralı özellikler (en verimli özellikler dizisi) korunur, iyileştirilme yapılır ve doğruluk değerlendirilir. Sonraki aşamada, en iyi doğruluk değerleri ile S_i dizisi kıyaslatılır ve en verimli S_i özelliklerinden daha iyi sonuç vermiş ise değerler modelde önem sırasına göre değiştirilir [27].

Bu makalenin çalışmasında, MBK, Ridge ve ÖÖE özellik seçim algoritmalarından elde edilen özelliklerin ağırlık katsayıları çıkartılmıştır. Sonraki adımda üç özellik seçiminden elde edilen ağırlık katsayıları toplanıp aritmetik ortalaması alınmıştır. Aritmetik ortalaması yüksek olan özellikler sırası ile sınıflandırma işleminde kullanılmıştır.

3.2 DVM sınıflandırıcısı

DVM yöntemi, regresyon ve sınıflandırma problemleri için kullanılacak kontrollü bir makine öğrenme yöntemidir. Bu yöntem, verilerden elde edilen özellikleri yeni bir koordinat düzlemine yerleştirir. Ardından, sınıflandırma işlemi sınıfları ayıran hiper düzlem bulmak suretiyle gerçekleştirilir. Başka bir ifadeyle DVM, pozitif veri alanını, negatif alan kümesinden maksimum alanı olan ayıran bir sınıflandırıcıdır [28]. Şekil 3'te DVM sınıflandırıcısının çalışma prensibi gösterilmiştir. Denklem 6'nın amacı oluşan sınıflandırma sürecinde oluşan problemlerin en aza indirgenmesini sağlar. Denklem 7'de X_i ve Y_i özellikleri temsil eder. Bu denklem özelliklerin hangi sınıfa ait olduğunu tahmin eder [28].



Şekil 3. DVM sınıflandırma süreci işlem diyagramı.

$$u = \vec{w} \cdot \vec{x} - b \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} \|\vec{w}\|^2 \quad (6)$$

$$y_i (\vec{w} \cdot \vec{x}_i - b) \geq 1, \forall i \quad (7)$$

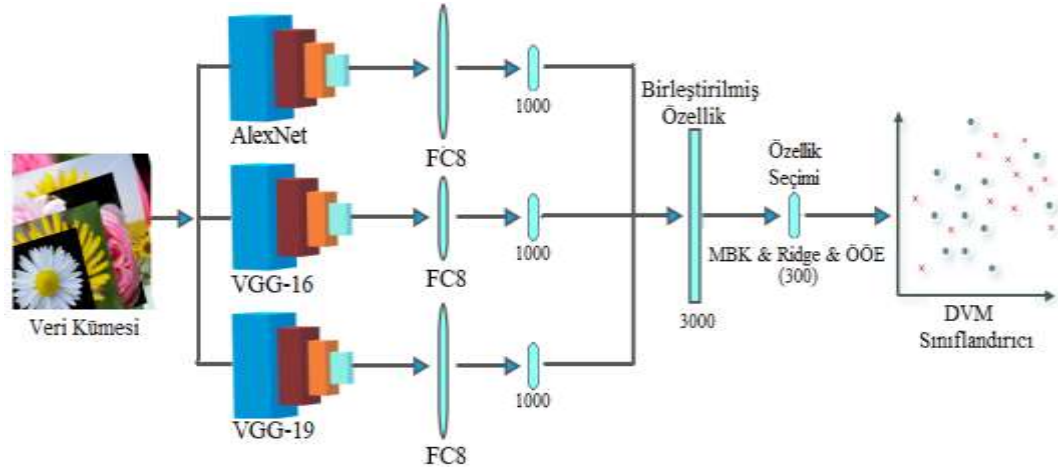
Bu çalışmada DVM sınıflandırıcısı kodları ESA modellerinin mimari yapısında kullanılmıştır. Ayrıca, özellik seçim yöntemleri ile oluşturulan özellik setleri içinde Matlab yazılımının “Sınıflandırma Öğrenmesi” araç kutusu kullanılarak DVM yöntemi ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. DVM parametre değerleri, makul değerler kabul edilmiş ve tercih edilen parametre bilgileri şunlardır; Kutu kısıtlama düzeyi bir tercih edilmiştir. Kernel fonksiyonu doğrusal ve kuadratik olarak seçilmiştir. Kernel skalası otomatik kabul edilmiştir. Çok sınıflı yöntem parametresi ise bire-bir seçilmiştir.

3.3 Önerilen yöntem

Önerilen yöntemde AlexNet, VGG-16 ve VGG-19 mimarileri özellik çıkarımı için kullanılmıştır. Üç modelinde FC8 katmanına sahip olması bu modellerin birlikte kullanımında etkili olmuştur. Her modelin FC8 katmanı 1000 adet özelliğe sahiptir [20]. Önerilen yöntemde özellik çıkarımları eğitim ve test aşamalarında gerçekleştirilmiştir. Toplamda (1000 + 1000 + 1000) 3000 adet özellik birleştirilmiş özellik seçim yöntemleriyle (MBK, Ridge, ÖÖE) 300 adet özelliğe düşürülmüştür. Bu yaklaşımda kullanılan özellik seçim yöntemleri için her bir özelliğe ait ağırlıklar hesaplanmıştır. Sonraki adımda tüm ağırlıkların aritmetik ortalaması alınarak yeni bir ağırlık özelliği çıkartılmıştır. Bir başka deyişle, üç özellik seçiminden çıkan ağırlık değerlerinin toplamının aritmetik ortalamaları alınarak özellik seçimi gerçekleştirilmiştir. En son adımda sınıflandırma işlemi DVM ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşımın tasarımı Şekil 4’te gösterilmiştir. Üç modelde Bölüm 2’de belirtilen parametre değerleri dışında Tablo 2’de belirtilen parametre değerleri kullanılmıştır. Mini-batch parametresi birden fazla girdinin model üzerinde aynı anda işlemesi durumudur [29]. Bu durum ise kullanılan bilgisayarın donanım özellikleri ile alakalı olduğu için maliyetli bir iştir. Bu çalışmada mini-batch değeri 32 seçildi.

Tablo 2. Önerilen yaklaşımda kullanılan ESA mimarilerinin parametre değerleri.

Kullanılan Yazılım	ESA Mimarisi	Resim Boyutu	Optimizasyon	Momentum	Decay	Beta	Mini Batch	Öğrenme Oranı
Matlab	AlexNet	227×227	Sigmoid Gradient Descent	0.9	1e-6	-	32	0.0001
	VGG-16	224×224						
	VGG-19	224×224						



Şekil 4. Önerilen yaklaşımın tasarımı.

4. Bulgular

Bu makaledeki deneyler, 64 bitlik Windows 10 işletimi üzerinde kurulan Matlab R2018b görüntü işleme yazılımı kullanılarak derlendi. Kullanılan bilgisayarın özellikleri; NVIDIA GeForce 2 GB grafik kartı, Intel® i5 - Core 2.5 GHz işlemci ve 8 GB RAM'e sahiptir.

Bu çalışmada kullanılan veri kümesi beş bitki türüne ait 4326 çiçek görüntüsünden oluşmaktadır. Veri kümesini oluşturan örneklerin 3225'i sınıflandırıcının eğitimi için, geriye kalan 1101 örnek test işlemleri için kullanılmıştır. Modellerin performanslarının değerlendirilmesi için doğruluk, duyarlılık, özgünlük ve f-skör metrikleri kullanılmıştır. Çalışmanın analizinin iyi performans göstermesi için, olumlu (pozitif) ve olumsuz (negatif) kararların doğrulukları önemlidir. Bu kararlar, doğru pozitif (DP), doğru negatif (DN), yanlış pozitif (YP), yanlış negatif (YN) olarak ifade edilmektedir [30-32]. Aşağıda belirtilen denklemlerde metrik değerleri bu kararlara göre değerlendirilmektedir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (8)$$

$$\text{Özgünlük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (9)$$

$$\text{F-skör} = \frac{2xDP}{2xDP+YP+YN} \quad (10)$$

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (11)$$

Her sınıf için hesaplanan doğruluk, duyarlılık, özgünlük ve f-skör performans metriklerine ek olarak, modelin genel başarımını ölçmek için genel doğruluk metriği hesaplanmıştır. Genel doğruluk, modelin doğru tahmin sayısının, toplam tahmin sayısına oranı olarak tanımlanır.

Bu çalışma iki deney analizinden oluşmuştur. Birinci deneyde ESA mimarileri özellik seçim yöntemleri kullanılmadan DVM ile sınıflandırılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir. Analiz sonuçlarında en iyi sınıflandırma doğruluğu VGG-16 mimarisine sağlanmıştır. Elde edilen sınıflandırma başarısı %86,56'dır. ESA mimarilerinin öğrenim grafikleri ise Şekil 5'te gösterilmiştir. İkinci deneyde ise ESA mimarilerine özellik seçim yöntemleri uygulanarak analiz gerçekleştirilmiştir. Üç özellik seçim yöntemi birleştirilip aritmetik ortalamaları alınarak en iyi özellikler seçilmiştir. Özellik seçim oranı orijinal özelliklerin %10'unu alacak şekilde belirlendi. Örneğin; üç modelin birleşiminden oluşan 3000 özelliğin %10 oranını alarak özellik seçimi gerçekleştirildi ve 300 özellik seçildi. Veya 1000 özellikli AlexNet mimarisinin %10 oranını alarak özellik seçimi ile 100 özellik seçildi. İkinci deneye ilişkin analiz sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde birleştirilmiş özellik seçim yöntemleri ESA mimarilerine ayrı ayrı ve üç mimarinin özelliklerinin birleşimine uygulanmıştır. Önerilen yöntem

ile üç modelin özellikleri birleştirilmiştir ve 3000 özellik elde edilmiştir. Özellik seçim yöntemlerinden elde edilen aritmetik ağırlık ortalamaları göz önünde alınarak bu özellikler 300'e düşürülmüştür. Neticede elde edilen sınıflandırma başarısında %4,54 oranında bir artış sağlanmıştır.

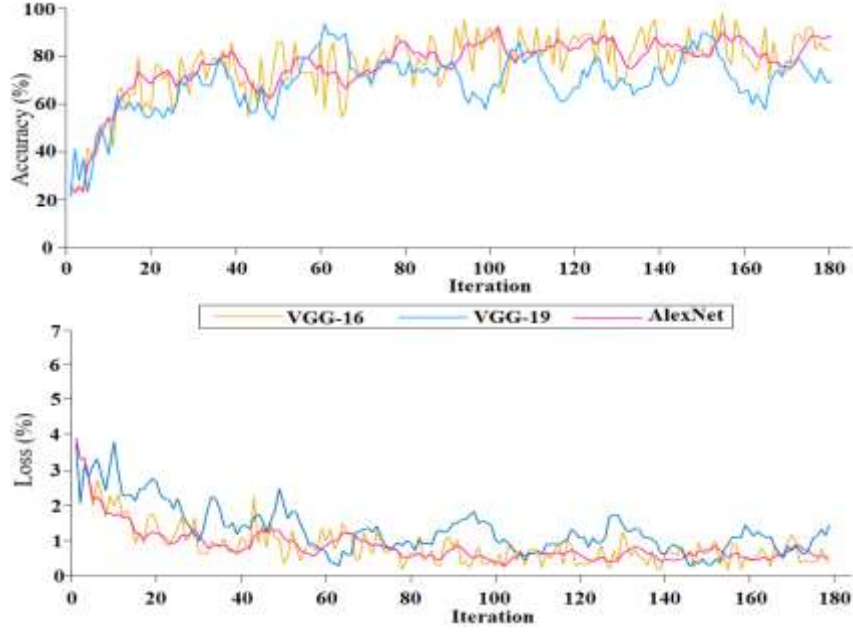
Sonuç olarak beş çiçek görüntü kümesinin sınıflandırılmasında önerilen yaklaşım ile %91,10 oranında bir genel başarı sağlanmıştır. Bu başarının karmaşıklık matrisi ve ROC eğrisi grafiği Şekil 6' ta gösterilmiştir. Ayrıca özellik seçim yönteminin CNN mimarilerinde zaman olarak kazanç sağladığı Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Özellik seçimi yöntemleri kullanılmadan ESA modellerinin DVM ile sınıflandırma sonuçları.

ESA Mimarisi	Sınıf Kümesi	# Özellik (FC8)	Doğruluk (%)	Duyarlılık	Özgünlük	F-skor	Genel Doğruluk (%)
AlexNet	Papatya	1000	93,87	0,87	0,96	0,86	86,29
	Karahindiba		95,19	0,85	0,98	0,89	
	Gül		93,13	0,86	0,95	0,84	
	Ayçiçeği		94,81	0,90	0,96	0,88	
	Lale		93,13	0,84	0,96	0,84	
VGG-16	Papatya	1000	94,83	0,85	0,98	0,88	86,56
	Karahindiba		94,92	0,90	0,96	0,89	
	Gül		93,24	0,88	0,95	0,85	
	Ayçiçeği		94,82	0,89	0,97	0,88	
	Lale		92,97	0,81	0,96	0,83	
VGG-19	Papatya	1000	92,58	0,79	0,97	0,82	83,92
	Karahindiba		93,05	0,84	0,96	0,84	
	Gül		91,94	0,85	0,94	0,82	
	Ayçiçeği		94,76	0,90	0,96	0,89	
	Lale		92,12	0,82	0,95	0,82	

Tablo 4. Özellik seçimi yöntemleri kullanılarak ESA modellerinin DVM ile sınıflandırma sonuçları.

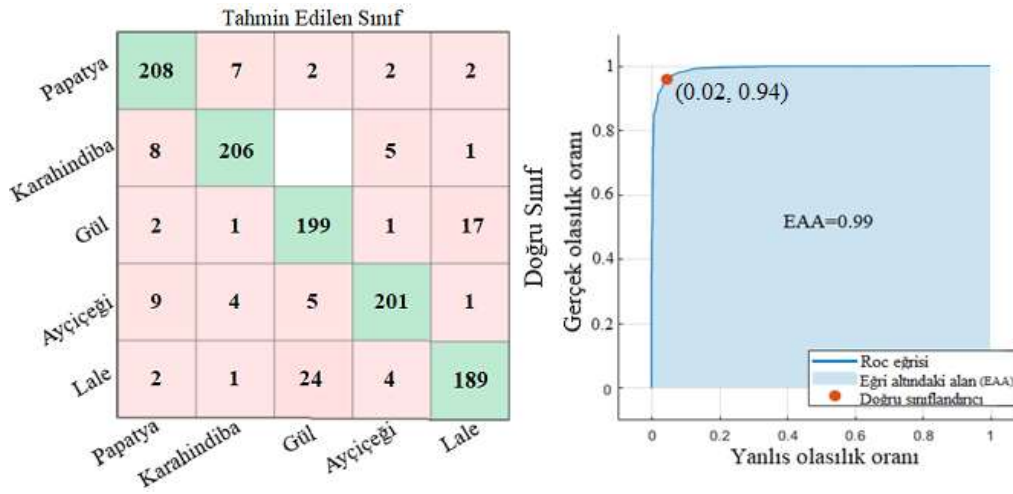
ESA Mimarisi	Sınıf Kümesi	# Özellik (FC8)	Doğruluk (%)	Duyarlılık	Özgünlük	F-skor	Genel Doğruluk (%)
AlexNet & (MBK + Ridge + ÖÖE)	Papatya	100	92,78	0,85	0,95	0,84	84,11
	Karahindiba		94,01	0,81	0,98	0,86	
	Gül		91,68	0,83	0,94	0,81	
	Ayçiçeği		93,72	0,89	0,95	0,86	
	Lale		92,69	0,84	0,95	0,83	
VGG-16 & (MBK + Ridge + ÖÖE)	Papatya	100	93,44	0,83	0,97	0,85	82,92
	Karahindiba		93,83	0,86	0,96	0,86	
	Gül		90,93	0,78	0,95	0,79	
	Ayçiçeği		92,59	0,85	0,95	0,84	
	Lale		91,20	0,82	0,94	0,81	
VGG-19 & (MBK + Ridge + ÖÖE)	Papatya	100	92,84	0,82	0,96	0,84	83,74
	Karahindiba		94,08	0,92	0,95	0,87	
	Gül		92,20	0,81	0,95	0,82	
	Ayçiçeği		93,41	0,85	0,96	0,85	
	Lale		91,46	0,80	0,95	0,80	
Önerilen Yaklaşım (AlexNet + VGG16 + VGG19) & (MBK + Ridge + ÖÖE)	Papatya	300	96,91	0,94	0,98	0,92	91,10
	Karahindiba		97,55	0,94	0,99	0,94	
	Gül		95,28	0,90	0,96	0,88	
	Ayçiçeği		97,18	0,91	0,99	0,93	
	Lale		95,28	0,86	0,98	0,88	



Şekil 5. CNN mimarilerinin öğrenme grafikleri.

Tablo 5. ESA modellerinin DVM sınıflandırıcını kullanarak performans karşılaştırılması (saniye olarak).

ESA Mimarisi	Özellik Seçim Yöntemlerinin Kullanımı	Özellik Sayısı	Eğitim Süresi (sn)	Test Süresi (sn)
AlexNet	Hayır	1000	75,443	11,758
VGG-16	Hayır	1000	509,62	24,436
VGG-19	Hayır	1000	604,19	24,538
AlexNet	Evet	100	-	5,147
VGG-16	Evet	100	-	5,407
VGG-19	Evet	100	-	5,972
AlexNet + VGG16 + VGG19	Evet	300	-	7,458



Şekil 6. Önerilen yaklaşımın analiz sonuçlarının karmaşıklık matrisi ve ROC eğrisi.

5. Tartışma

Çiçek görüntü kümesinin sınıflandırılması işlemi oldukça zor bir süreçtir. Özellikle çiçek görüntülerinin sahip olduğu yaprak, dal gibi unsurlar sınıflandırma sürecini daha da zorlaştırmaktadır. Öte yandan çiçeklerin renklerinin benzer veya aynı olması görüntü sınıflama başarısını düşürmüştür. Bu çalışmada sınıflandırma başarısını düşüren en büyük faktörün bu olduğu değerlendirilmektedir. Ancak bu alanda teknolojinin her geçen gün ilerlemesi bu zorlukları kolaylaştırmıştır. ESA mimarilerinin yetersiz kaldığı durumlarda geleneksel yöntemlerle birlikte kullanılması sınıflandırma performansına katkıda bulunabileceği nitekim bu makalenin çalışmasında gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Aynı veri kümesini kullanan çalışmaların sonuçları.

Yazar, Yıl	Yöntem	Başarı (%)
Baosu Guo ve ark. [33], 2019	ESA + Genetik algoritma	74,34
Francois Luus ve ark. [34], 2019	ESA + Boyut azaltma yöntemleri +Yarı denetimli öğrenme	79,33
Önerilen Yöntem	ESA + Özellik seçim yöntemi	91,10

Aynı veri setini kullanan diğer çalışmalar ile karşılaştırılması Tablo 6’da gösterilmiştir. Bu makalenin çalışmasında önerilen yöntemin başarı oranı Baosu Guo ve arkadaşlarının çalışmalarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Baosu Guo ve arkadaşları, genetik algoritma yöntemini kullanarak çiçek görüntülerini sınıflandırmışlardır. Elde ettikleri başarı oranı %74,34 idi. Bu çalışmalarında sınıflandırma başarısını artırabilmeleri için tek bir ESA mimarisine (LeNet) bağlı kalmamalıdır. Farklı mimarileri kullanarak sınıflama doğruluğunu artırabilirler. Ayrıca ESA mimarisinde kullandıkları parametre değerleri ve optimizasyon yöntemlerinin de sınıflandırma sonuçlarını olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Francois Luus ve arkadaşları yarı denetimli öğrenme yöntemi ile görüntü boyutlarını düşüren yöntemleri birlikte kullanarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çiçeklerin sınıflandırılmasında çeşitli ESA mimarilerini kullanmışlardır ve en iyi başarıyı Inception ve ResNet mimarilerinin birleştirilmesi ile yakalamışlardır. Sınıflandırma başarı oranı yaklaşık %79,33 elde etmişlerdir Francois Luus ve arkadaşlarının çalışmasında boyut düşürme yöntemleri zaman kullanımını olumlu etkilese de sınıflandırma işlemine katkı sağladığı söylenemez.

6. Sonuç

Son zamanlarda derin öğrenme modelleri ile bitki görüntülerinin sınıflandırılmasına ilgi artmıştır. Bu makalede, beş çeşitten oluşan çiçek görüntülerinin ESA mimarileri ile sınıflandırılması gerçekleştirildi. Önerilen yaklaşımda ESA mimarileri ile özellik çıkarım yöntemlerinin iç içe kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca özellik seçim yöntemlerinin ayrı ayrı performansını ele almaktansa kendi aralarında ağırlık derecelerinin birleştirilebileceği ve verimli olabileceği yapılan bu çalışmada doğrulanmıştır.

Sonuç olarak beş çeşit çiçek sınıfının, sınıflandırma doğruluğu özellik seçim yöntemleri ile %91,10 oranında elde edildi. Bu çalışmanın diğer kazanımı daha az ama verimli özelliklerle daha iyi performans sağlanacağını sınıflandırma işleminde göstermiştir. Gelecek çalışmalarda özellik seçim yöntemlerinin ayrı bir şekilde kullanılarak sınıflandırma başarısına olan performansları kıyaslanacaktır.

Kaynaklar

- [1] Roddy AB, Jiang G-F, Cao K, Simonin KA, Brodersen CR. Hydraulic traits are more diverse in flowers than in leaves. URL-1, <https://doi.org/10.1111/nph.15749>
- [2] Madoui S, Charef N, Arrar L, Baghianni A, Khennouf S. In vitro Antioxidant Activities of Various Extracts from Flowers-Leaves Mixture of Algerian Cytisus triflorus, Annu Res Rev Biol. 2018;26(3):1–13.
- [3] MJM C, W. BYNG J. The Number of known Plants Species in the Word and its Annual Increase. Phytotaxa. 2016;261(May):201–17.
- [4] Solak S, Altınışık U. Görüntü İşleme Teknikleri ve Kümeleme Yöntemleri Kullanılarak Fındık Meyvesinin Tespit ve Sınıflandırılması, SAÜ Fen Bilim Enstitüsü Derg. 2018;(February):1–1.
- [5] Toğaçar M, Ergen B. Biyomedikal Görüntülerde Derin Öğrenme ile Mevcut Yöntemlerin Kıyaslanması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Derg. 2019;31(1):109–21.
- [6] Reichstein M, Camps-Valls G, Stevens B, Jung M, Denzler J, Carvalhais N, et al. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. 2019;566(7743):195–204. URL-2 <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1>

- [7] Altuntaş Y, Cömert Z, Kocamaz AF. Identification of haploid and diploid maize seeds using convolutional neural networks and a transfer learning approach, *Comput Electron Agric.* 2019;163:104874.
- [8] Hiary H, Saadeh H, Saadeh M, Yaqub M. Flower classification using deep convolutional neural networks. *IET Comput Vis.* 2018;12(6):855–62.
- [9] Cıbuk M, Budak U, Guo Y, Ince MC, Sengur A. Efficient deep features selections and classification for flower species recognition, *Measurement.* 2019;137:7–13.
- [10] Dias PA, Tabb A, Medeiros H. Apple flower detection using deep convolutional networks. 2018;99:17–28. URL-3, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016636151730502X>
- [11] Mehdipour Ghazi M, Yanikoglu B, Aptoula E. Plant identification using deep neural networks via optimization of transfer learning parameters. 2017;235:228–35. URL-4, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231217300498>
- [12] Seeland M, Rzanny M, Alaqraa N, Wäldchen J, Mäder P. Plant species classification using flower images—A comparative study of local feature representations. 2017 Feb 24;12(2):e0170629. URL-5, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170629>
- [13] Guru DS, Sharath Kumar YH, Manjunath S. Textural features in flower classification. *Math Comput Model.* 2011;54(3):1030–6. URL-6, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717710005236>
- [14] Chai Y, Rahtu E, Lempitsky V, Van Gool L, Zisserman A. TriCoS: A Tri-level Class-Discriminative Co-segmentation Method for Image Classification BT - *Computer Vision – ECCV 2012*. In: Fitzgibbon A, Lazebnik S, Perona P, Sato Y, Schmid C, editors. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012. p. 794–807.
- [15] Chen Q, Song Z, Hua Y, Huang Z, Yan S. Hierarchical matching with side information for image classification. In: 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2012. p. 3426–33.
- [16] Alexander Mamaev. Flowers Recognition | Kaggle, 2 Haziran 2019. URL-7, <https://www.kaggle.com/axmamaev/flowers-recognition>
- [17] Togacar M, Ergen B, Sertkaya ME., Subclass Separation of White Blood Cell Images Using Convolutional Neural Network Models. *Elektron Ir Elektrotehnika*, 2019. p. 63–68. URL-8, <https://doi.org/10.5755/j01.eie.25.5.24358>.
- [18] O’Shea K, Nash R. An Introduction to Convolutional Neural Networks. 2015; URL-9, <http://arxiv.org/abs/1511.08458>
- [19] Simonyan K, Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv Prepr arXiv14091556*. 2014;
- [20] Huang Z, Nasrullah, Wen J, Song S, Mateen M. Fundus Image Classification Using VGG-19 Architecture with PCA and SVD. *Symmetry (Basel)*. 2018;11(1):1.
- [21] Zhong G, Yan S, Huang K, Cai Y, Dong J. Reducing and Stretching Deep Convolutional Activation Features for Accurate Image Classification, *Cognit Comput.* 2018;10(1):179–86. URL-10, <https://doi.org/10.1007/s12559-017-9515-z>
- [22] Toğaçar M, Ergen B, Cömert Z., A Deep Feature Learning Model for Pneumonia Detection Applying a Combination of mRMR Feature Selection and Machine Learning Models. *Irbm* 2019. URL-11, <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2019.10.006>.
- [23] Zhang Y, Jia S, Huang H, Qiu J, Zhou C. A novel algorithm for the precise calculation of the maximal information coefficient. *Sci Rep.* 2014;4(April).
- [24] Chen Z, Kiat Yeo C, Sung Lee Francis B, Tong Lau C. Combining MIC feature selection and feature-based MSPCA for network traffic anomaly detection, 2016. 176–181 p.
- [25] Topal M. Çoklu Doğrusal Bağlantı Durumunda Ridge ve Temel Bileşenler Regresyon Analiz Yöntemlerinin Kullanımı. 2010;41(1):53–7.
- [26] Kirpich A, Ainsworth EA, Wedow JM, Newman JRB, Michailidis G, McIntyre LM. Variable selection in omics data: A practical evaluation of small sample sizes, *PLoS One.* 2018 Jun 21;13(6):e0197910–e0197910. URL-12, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29927942>
- [27] Chen X, Jeong JC. Enhanced recursive feature elimination. In: *Sixth International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA 2007)*. 2007. p. 429–35.
- [28] Huang S, Cai N, Pacheco PP, Narrandes S, Wang Y, Xu W. Applications of Support Vector Machine (SVM) Learning in Cancer Genomics, *Cancer Genomics Proteomics.* 2017 Dec 26;15(1):41–51. URL-13, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29275361>
- [29] Reeskamp P. Is comparative advertising a trade mark issue? *Eur Intellect Prop Rev.* 2008;30(4):130–7.
- [30] Tharwat A, Gaber T, Ibrahim A, Hassanien AE. Linear discriminant analysis: A detailed tutorial. *AI Commun.* 2017;30(2):169–90.
- [31] Powers DMW, Ailab. Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure To Roc, Informedness, Markedness & Correlation. 2011;2(1):37–63. URL-14, <http://www.bioinfo.in/contents.php?id=51>
- [32] Togacar M, Ergen B, Sertkaya ME. Subclass Separation of White Blood Cell Images Using Convolutional Neural Network Models. *Elektron Ir Elektrotehnika* 2019;25:63–8. URL-15, <https://doi.org/10.5755/j01.eie.25.5.24358>.
- [33] Guo, Hu, Wu, Peng, Wu. The Tabu_Genetic Algorithm: A Novel Method for Hyper-Parameter Optimization of Learning Algorithms, *Electronics.* 2019;8(5):579. URL-16, <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/5/579>
- [34] Luus F, Khan N, Akhalwaya I. Active Learning with TensorBoard Projector. 2019;1–7. URL-17, <http://arxiv.org/abs/1901.00675>

Uyarlanabilir Onaylaşım Algoritması Tabanlı Senkronize Duffing Osilatörünün Donanımsal Gerçekleşmesi

Gürkan KAVURAN^{1*}

¹ Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ gurkan.kavuran@ozal.edu.tr

(Geliş/Received: 27/05/2019;

Kabul/Accepted: 29/09/2019)

Öz: Bu çalışmada iki etmeden oluşan kaos tabanlı ağ yapısının senkronizasyonu için uyarlanabilir onaylaşım algoritması önerilmiştir. Çok çekerli kaotik osilatörlerden biri olan Duffing Osilatörü ile oluşturulan ağ yapısındaki kaotik etmenlerin senkronizasyonu, çizge kuramı teorisinde gradyan düşüm algoritması kullanılarak sağlanmıştır. Sistemin sayısal gerçekleşmesi 32-bit ARM tabanlı mikrokontrolör kartı kullanılarak oluşturulmuştur. Önerilen yöntemin geçerliliği ve doğruluğu hem benzetim çalışmaları ile hem de deneysel olarak ispatlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kaos, Duffing Osilatörü, uyarlanabilir onaylaşım algoritması, çok etmenli sistem.

Hardware Implementation of Synchronized Duffing's Oscillator Based on Adaptive Consensus Algorithm

Abstract: In this study, an adaptive consensus algorithm is proposed for synchronizing the chaos-based network structure consist of two agent. Synchronization of the chaotic agents in the network structure created by Duffing Oscillator which is one of the multi-scroll chaotic oscillators is provided by using gradient descent algorithm in the graph theory. The digital implementation of the system was generated by using a 32-bit ARM based microcontroller card. The validity and accuracy of the proposed method has been proved by both simulation studies and experimentally.

Key words: Chaos, Duffing Oscillator, adaptive consensus algorithm, multi-agent system.

1. Giriş

Otonom sistemlerin gelişimiyle birlikte, gezgin robotların birbirleriyle olan iletişimini düzenleyen işbirlikçi kontrol algoritmaları günümüzde önem kazanmıştır. Özellikle sürü robot sistemlerinde, köle robotların efendi robotu takip kabiliyetlerinin artırılıp, koordineli hareketin sağlanması için literatürde birçok çalışmaya rastlanmıştır. Çok etmenli sistemlerde bulunan robot ekipleri, aynı anda birkaç alt görevi yürüterek tek bir robottan daha hızlı ve etkili şekilde görevi gerçekleştirebilmektedir [1]. Bu yapı bazı robotların belirli görevlerde uzman olarak hareket etmesine de olanak sağlamaktadır. Genellikle doğrusal olmayan yapı sergileyen bu sistemlerin senkron hareketleri, çizge kuramı temeline dayanan onaylaşım algoritmaları kullanılarak sağlanmaktadır. Onaylaşım algoritmaları ile ilgili literatürde gezgin robot ağları, otonom hava/deniz/kara araçları, uydu sistemleri gibi birçok çalışma alanına rastlanmıştır [2-7].

Sistemlerin mühendislikteki davranışını analiz etmek için matematiksel modellere duyulan ihtiyaç yadsınamaz bir gerçektir. Genel olarak, deneysel sonuçlar ile elde edilen doğrusal modeller, zengin matematiksel ifadelerden uzaktır. Bu modellerin çoğu yaklaşık değerlerdir ve sistem tanımlamasında kesin doğrulukla çalışmazlar. Süperpozisyon teoremi ve sebep-sonuç ilişkisi, doğrusal sistemlerden doğrusal olmayanlara geçişte kaybolmaya başlar. Literatürde, kaotik sistemler, bilimsel ve endüstriyel alanlarda çalışılmış doğrusal olmayan alanlardan biridir. Çalışmalar kaotik sistemlerin; biyomedikal, haberleşme, elektromanyetik, görüntü işleme, kriptoloji, güç elektroniği, kontrol, fizik, optimizasyon, mekatronik ve yapay sinir ağı gibi birçok uygulamada kullanılabileceğini göstermiştir [5-12]. Kaotik sistemlerin ana özellikleri; periyodik olmayan davranış sergilemeleri ve tam olarak başlangıç koşullarına bağlı olmalarıdır. Literatürde çalışılan kaotik sistemlerden biri de Duffing Osilatörüdür. Fiziksel olarak anlaşılması basit ve uygulaması kolay olan bu osilatörün, elektriksel ve mekaniksel olarak benzetimi yapılmıştır. Duffing Osilatörü, sinüsoidal olarak değişen harici bir giriş sinyali uygulanarak kaotik davranış sergilemektedir. İkinci dereceden dinamik bir sistem olan bu osilatörün durum

* Sorumlu yazar: gurkan.kavuran@ozal.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 000-0003-2651-5005

değişkenleri arasındaki ilişki, fiziksel olarak basit harmonik hareketten daha karmaşık bir potansiyele sahip olan sönümlü bir yayın hareketini açıklamaktadır.

Zamana bağlı olarak değişen sistemlerde, sisteme etki eden dinamiklerin sadece belirli giriş ve belirli çıkışlar için istenilen sonucu vermesi bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Örneğin kaymaya bağlı olarak değişen rotor direnci asenkron motorun hız ve tork denetleyicisinde soruna yol açmaktadır. Ya da uygunsuz hava şartlarında çalışan bir servo mekanizmada, başlangıç şartlarına bağlı olarak tasarlanan geleneksel denetleyici yapısı arzu edilen farklı çalışma şartlarına ayak uyduramaz. Bu durumda değişen harici çalışma şartlarına göre sürekli kendini güncelleyen yapılar, gerek akademik gerekse sanayii camiasında ilgi gören konular arasına girmiştir. Adaptif veya uyarlanabilir kontrol mekanizmaları da denilen bu sistemler, özellikle uçuş kontrol sistemlerinde ilk olarak kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Modele dayalı uyarlanabilir mekanizmaların yanı sıra, bulanık mantık, yapay sinir ağları veya doğrusal olmayan sistem tabanlı denetleyici yapıları bu sistemlere örnek gösterilebilir.

Bu çalışmada birbirine akuple olan iki Duffing Osilatörün durum değişkenlerinin senkronizasyonu için uyarlanabilir onaylaşım algoritması önerilmiştir. MATLAB ortamında hazırlanan kod rutinleri kullanılarak sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca donanımsal gerçekleştirme 32 bitlik Arduino DUE geliştirme kartı üzerinde sağlanmıştır. Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir; ikinci bölümde kaotik osilatörün matematiksel model, temel çizge kuramı yapısı ve önerilen uyarlanabilir onaylaşım algoritması hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde benzetim çalışmaları, dördüncü bölümde ise gerçek zamanlı donanımsal uygulama çalışmaları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise son bölümde anlatılmıştır.

2. Teorik Altyapı

2.1. Kaotik osilatörün matematiksel modeli

1918'de G. Duffing tarafından sunulan Duffing'in osilatörü, genellikle Denklem 1 ile verilen eşitlik ile ifade edilmektedir.

$$\ddot{x}(t) - x(t) + \alpha\dot{x}(t) + x^3(t) = \delta\cos(\omega t) \quad (1)$$

Denklem 1 ile ifade edilen eşitlik, endüstriyel makinelerin zorlanmış titreşimlerinin kaotik davranışlarını incelemek için kompleks domende şu şekilde yeniden yazılabilir [16].

$$\ddot{z}(t) - z(t) + \alpha\dot{z}(t) + \varepsilon z|z|^2(t) = \gamma\cos(\omega t) \quad (2)$$

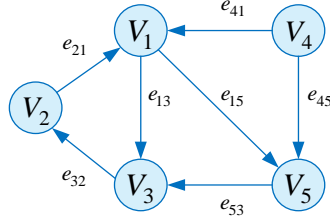
Burada $\dot{\gamma} = \sqrt{2\gamma}e^{j\pi/4}$, γ , α , ω pozitif tanımlı değişkenler ve $z = x + jy$ kompleks bir fonksiyondur. Denklem 2'de $z = x$, ($y = 0$) ve $\varepsilon = 1$ alınırsa, Duffing osilatörünün literatürde bilinen tanımı elde edilir. Denklem 2'yi birinci dereceden otonom diferansiyel denklem formunda ifade edersek,

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= y(t) \\ \dot{y}(t) &= x(t) - x^3(t) - \alpha y(t) + \delta \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

olur [17].

2.2. Çizge kuramı temeli

Birden fazla bağlantı yoluyla birbirleri arasında bilgi aktarımı yapan bir grup etmeden oluşan ağ yapısında, bilgi transferinin yönü de dâhil olmak üzere bağlantıların düzeni bilgi transfer topolojisi olarak bilinir. Bazı etmenler tarafından alınan bilgiler diğerlerinden daha önemli olabileceğinden, bilgi aktarım topolojisini ve bir etmen ağı için her bağlantının ağırlığını tarif etmek gerekmektedir. Ağın özelliklerini matematiksel olarak göstermemizi sağlayan çizge kuramı, düğüm olarak adlandırılan noktalar ve bu noktaları birleştiren hatlardan oluşan ve geometrik bir bilgi vermeyip, sadece düğümler arasındaki ilişkiyi gösteren çizgiler topluluğudur. Beş etmeden oluşan bir ağ yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 5 etmenli yönlendirilmiş çizge yapısı.

Tanım 1. $G(V, E)$ çizgesi n etmeden oluşan bir ağı temsil ediyor olsun. Ağda bulunan döğümler $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ kümesi ve döğümler arası haberleşmeyi tanımlayan kenarlar kümesi ise $E \subseteq V \times V$ ile gösterilir. Döğümleri arasındaki bilgi akışını ifade eden kenar $e_{ij} = (v_j, v_i)$ 'dir ve i döğümünden j döğümüne bir ok ile gösterilir. Her $v \in V$ döğümü için v 'nin derecesi $d(v)$, v döğümünü diğer döğümlerle birleştiren kenarların toplam sayısına eşittir. Bu döğümlerden derecesi en büyük olanı ise, aynı zamanda çizgenin derecesini belirler. Derece matrisi, $D(G) = \text{diag}(d_1, d_2, \dots, d_n)$ olarak ifade edilmektedir [18].

$$d(v) = |\{u \in V | (v, u) \in E \text{ veya } (u, v) \in E\}| \quad (4)$$

Tanım 2. Yönlendirilmiş $G(V, E)$ çizgesine ait $n \times m$ boyutundaki insidans matrisi $B(G) = [b_{ij}]$, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ve $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ için şu şekilde elde edilir.

$$b_{ij} = \begin{cases} +1 & s(e_j) = v_i \\ -1 & t(e_j) = v_i \\ 0 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (5)$$

Tanım 3. Yönlendirilmiş $G(V, E)$ çizgesine ait $n \times n$ boyutundaki bitişiklik matrisi $A(G) = [a_{ij}]$, $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ve $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ için şu şekilde elde edilir.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (v_i, v_j) \in E \\ 0 & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (6)$$

Önsav 1. Verilen herhangi bir yönlendirilmiş $G(V, E)$ çizgesinin insidans matrisi B ve bitişiklik matrisi A ise, derece matrisi D ile olan ilişki şu şekilde yazılabilir [18].

$$BB^T = D - A \quad (7)$$

Çizge kuramında kullanılan temel iki matristen biri bitişiklik matrisi diğeri ise Laplace matrisidir. Laplace matrisi $L = [l_{ij}]$ genel olarak şu şekilde ifade edilir.

$$l_{ij} = \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} & \text{eğer } i = j \\ -a_{ij} & \text{eğer } i \neq j \end{cases} \quad (8)$$

Ayrıca Laplace matrisi yönlendirilmiş bir çizge için Denklem 7 ile verilen eşitlik ile de ifade edilebilir. Verilen $G(V, E)$ ağında, etmenlere ait durum değışkenleri kendilerinden ve komşularından aldığı bilgilere göre güncellenir. Literatürde kullanılan sürekli zaman onaylaşım algoritması Denklem 9 ile verilmektedir.

$$\dot{x}(t) = \sum_{j \in N_i} a_{ij}(t) (x_j(t) - x_i(t)), \quad t \geq 0 \quad (9)$$

Burada $x_i(t)$ i . etmenin durum değışkeni, $a_{ij}(t)$ t anındaki bitişiklik matrisinin (i, j) . elemanıdır. Denklem 9 matris formunda yeniden düzenlenirse Denklem 10 elde edilir.

$$\dot{x}(t) = -Lx(t), \quad x(0) = x_0 \quad (10)$$

2.3. Önerilen uyarlanabilir onaylaşım algoritması

Denklem 3 ile ifade edilen Duffing osilatörü, iki etmeden oluşacak şekilde yeniden düzenlenirse Denklem 11 elde edilir. Sistemi temsil eden ağ yapısı Şekil 2’de verilmiştir. Burada $V_1 = \dot{x}_1(t)$ ve $V_2 = \dot{x}_3(t)$ olarak düşünülebilir.



Şekil 2. İki etmeden oluşan ağ yapısı

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1(t) &= x_2(t) \\
 \dot{x}_2(t) &= x_1(t) - x_1^3(t) - \alpha x_2(t) + \delta \cos(\omega t) \\
 \dot{x}_3(t) &= x_4(t) \\
 \dot{x}_4(t) &= x_3(t) - x_3^3(t) - \alpha x_4(t) + \delta \cos(\omega t)
 \end{aligned} \tag{11}$$

Sistemin durum-uzay formundaki gösterimi Denklem 12’de verilmiştir. Denklem 13’te ise, iki etmenli ağ yapısıyla uyumlu olacak şekilde, durum değişkenleri yeniden ifade edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ (1 - x_1^2(t)) & -\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & (1 - x_3^2(t)) & -\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \delta \\ 0 \\ \delta \end{bmatrix} \cos(\omega t) \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_1(t) &= \int x_1(t) - x_1^3(t) - \alpha x_2(t) + \delta \cos(\omega t) dt \\
 \dot{x}_3(t) &= \int x_3(t) - x_3^3(t) - \alpha x_4(t) + \delta \cos(\omega t) dt
 \end{aligned} \tag{13}$$

İki etmenli yönsüz ağ yapısı için Tanım 1, Tanım 3 ‘e göre derece ve bitişiklik matrisleri sırasıyla $D = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ olarak elde edilir. Önsav 1 ve Denklem 7’ye göre elde edilen Laplace matrisi ise Denklem 14’te verilmiştir.

$$L = D - A = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{14}$$

Burada L matrisi zaman bağılı olarak değişmeyen sabit bir matris olduğundan, sistemdeki ani değişimlere cevabı sağlıklı olmayacaktır. Bu problemin önüne geçmek için, Denklem 10 ile verilen sistem zaman bağılı olarak değişen $k(t)$ uyarılama katsayısı kullanılarak Denklem 15’deki gibi yeniden yazılabilir.

$$\dot{x}(t) = -Lk(t)x(t) \tag{15}$$

Gradyan düşüm tabanlı senkronizasyon için iki etmen arasındaki farkın karesine bağlı olarak değişen hata fonksiyonu Denklem 16’da verilmiştir [19, 20].

$$E(t) = \frac{1}{2} e(t)^2 \tag{16}$$

Burada $e(t) = \dot{x}_1(t) - \dot{x}_3(t)$ olarak ifade edilmektedir. Hata fonksiyonu $E(t)$ ’yi minimize etmek için $k(t)$ parametresini tahmin eden uyarılama iyileştiricisi ve zamana bağılı olarak değişen uyarılama katsayısı sırasıyla, Denklem 17 ve Denklem 18’deki gibi yazılabilir [21].

$$\frac{\partial k}{\partial t} = -\sigma \frac{\partial E}{\partial k} \quad (17)$$

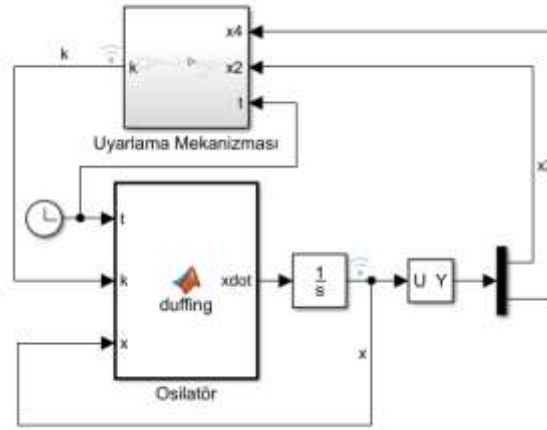
$$k(t) = -\sigma \int e(t) \quad (18)$$

Denklemler 14, 15 ve 18, Denklem 13 içerisinde kullanılarak yeniden yazılırsa, iki etmenli uyarlanabilir onaylaşım tabanlı senkronize Duffing Osilatörünün matematiksel ifadesi Denklem 19'daki gibi olur.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= -k(t)(x_1(t) - x_3(t)) + \int x_1(t) - x_1^3(t) - \alpha x_2(t) + \delta \cos(\omega t) dt \\ \dot{x}_3(t) &= -k(t)(x_3(t) - x_1(t)) + \int x_3(t) - x_3^3(t) - \alpha x_4(t) + \delta \cos(\omega t) dt \end{aligned} \quad (19)$$

3. Benzetim Çalışması

Bu bölümde önerilen sistemin MATLAB ortamında benzetim modeli oluşturularak, durum değişkenlerinin senkronizasyon problemi incelenmiştir. Kaotik osilatörün modeli, M-file dosyası üzerinden oluşturulan adi diferansiyel denklem takımının çözdürülmesiyle elde edilmiştir. Denklem 18 ile modellenen uyarlama mekanizmasının girişi hata fonksiyonunu oluşturacak durum değişkenleri ve $T_s = 0.01$ sn. olarak örneklennmiş zaman fonksiyonu iken çıkışı, uyarlama katsayısı $k(t)$ 'dir. Sistemin MATLAB/Simulink modeli Şekil 3'te verilmiştir.



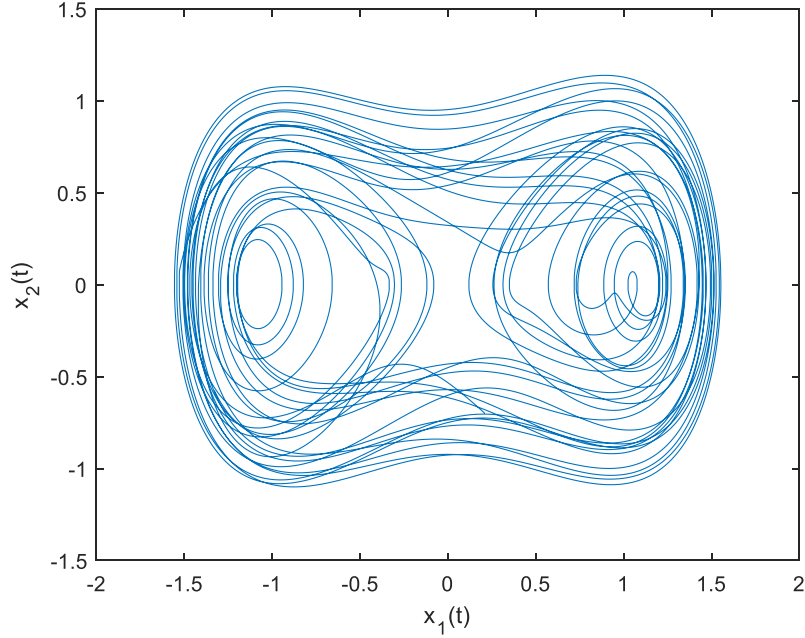
Şekil 3. Önerilen sistemin MATLAB/Simulink blok diyagramı.

Sistem parametreleri $\alpha = 0.15$, $\delta = 0.3$ ve $\omega = 1$ olan Duffing Osilatörünü ele alalım. Sistem $E_1 = (1.0728; 0)$, $E_2 = (-0.9061; 0)$ ve $E_3 = (-0.1667; 0)$ olmak üzere üç adet denge noktasına sahiptir. Elde edilen özdeğerler sırasıyla; E_1 için $\lambda_{1,2} = -0.0750 \pm 1.487624j$, E_2 için $\lambda_1 \approx 1.8547$, $\lambda_2 \approx -2.0047$ ve E_3 için $\lambda_1 \approx 1.1521$, $\lambda_2 \approx -1.3021$ olarak elde edilir [16]. E_2 ve E_3 denge noktalarının λ_2 ve λ_3 özdeğerleri, kaotik davranış için kararlılık koşulunu sağlayan eyer noktalarıdır. Şekil 4'te Denklem 11 ile verilen Duffing sisteminin $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ düzlemindeki faz yörünge değişimi, başlangıç koşulları $x_1(0) = 0.21$ ve $x_2(0) = -0.7$ için verilmiştir. Şekil 5'te ise $x_3(t)$ ve $x_4(t)$ düzlemindeki faz yörünge değişimi başlangıç koşulları $x_3(0) = 0.31$ ve $x_4(0) = 0.8$ için gösterilmiştir. Simülasyon süresi $T_{sim} = 250$ sn. ve örnekleme periyodu ise $h = 0.001$ sn.'dir.

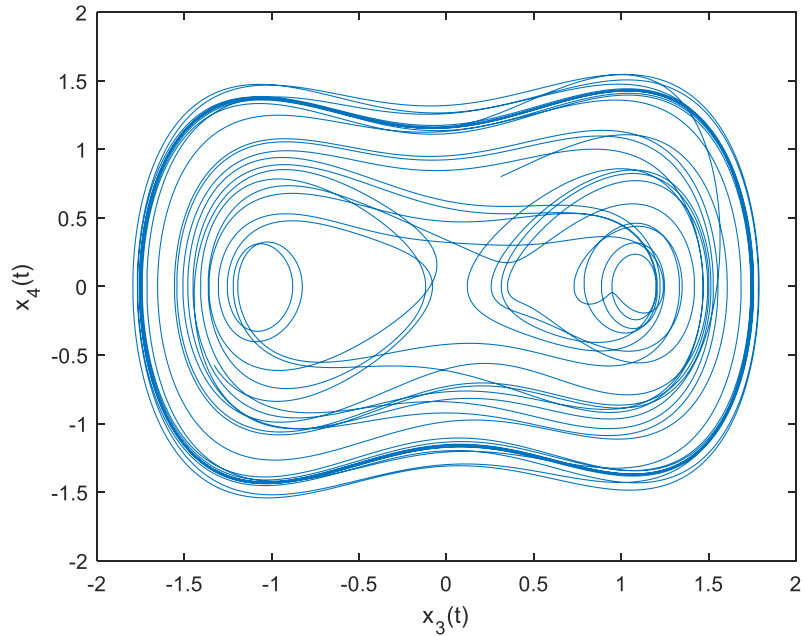
Denklem 19 ile verilen sistem için $x_1(t)$ ve $x_3(t)$ durum değişkenlerinin zamana bağlı olarak kaotik değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir. $T_{sim} = 100$ sn.'de devreye alınan uyarlama mekanizması sayesinde iki sistemin yaklaşık olarak 12 sn. sonra senkronizasyonu sağlanmıştır. Uyarlama katsayısı bu örnek için $\sigma = 0.2$ olarak seçilmiştir. Bu katsayısının büyük seçilmesi senkronizasyon hızını doğru orantılı olarak etkilemektedir. Ancak yüksek değerler, sistemi kararsızlığa sürüklemektedir. Senkronizasyonun ayrıntılı grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 8'de ise aynı sistem için $x_2(t)$ ve $x_4(t)$ durum değişkenlerinin zamana bağlı olarak kaotik değişimleri gösterilmiştir. Hata fonksiyonu $e(t)$ ve uyarlama katsayısı $k(t)$ 'nin zamana göre değişimleri Şekil 10'da verilmiştir. Önerilen yapı sisteme dahil edildikten sonra, hata fonksiyonun giderek azalarak sıfırlandığı, uyarlama

katsayısının ise sonlu bir süre sonunda yaklaşık olarak 0.5 değerinde sabit kaldığı görülmektedir. Bu değer sabit kalarak sistemin senkronizasyonunun devam etmesi, önerilen sistemin kararlı olduğunu göstermektedir.

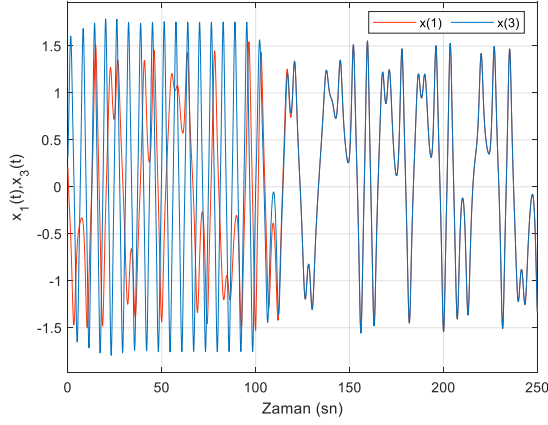
Bu bölümde tasarımı yapılan ve benzetim sonuçları verilen senkronize kaotik sistemin gerçek zamanlı uygulaması, Bölüm 4'te ayrıntılı şekilde anlatılacaktır.



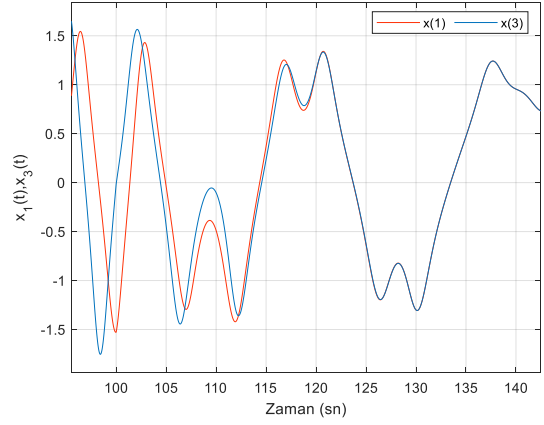
Şekil 4. Denklemler 11 ile verilen Duffing sisteminin $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ düzlemindeki faz yörünge değişimi (Sistem parametreleri $\alpha = 0.15$, $\delta = 0.3$, $\omega = 1$ ve başlangıç koşulları $x_1(0) = 0.21$ ve $x_2(0) = -0.7$)



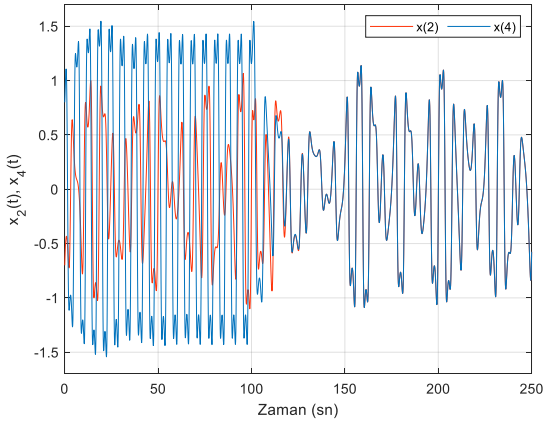
Şekil 5. Denklemler 11 ile verilen Duffing sisteminin $x_3(t)$ ve $x_4(t)$ düzlemindeki faz yörünge değişimi (Sistem parametreleri $\alpha = 0.15$, $\delta = 0.3$, $\omega = 1$ ve başlangıç koşulları $x_3(0) = 0.31$ ve $x_4(0) = 0.8$)



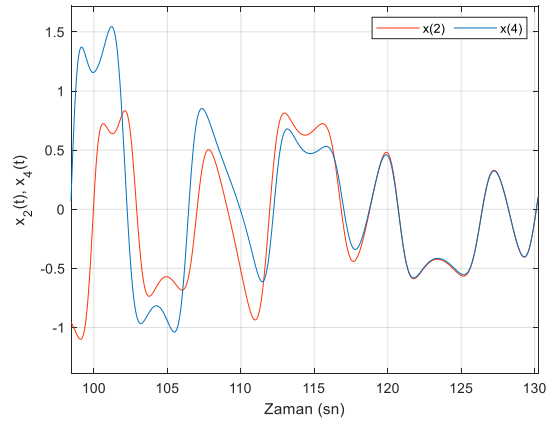
Şekil 6. Denklem 19 ile verilen sistem için $x_1(t)$ ve $x_3(t)$ durum değişkenlerinin zamana bağlı olarak kaotik değişimleri ($\sigma = 0.2$).



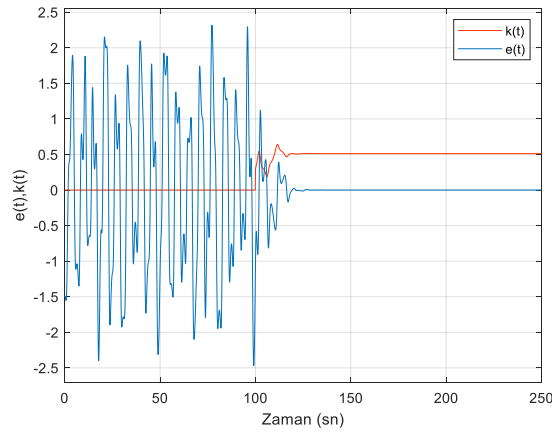
Şekil 7. Şekil 6 ile verilen değişimlerin ayrıntılı gösterimi.



Şekil 8. Denklem 19 ile verilen sistem için $x_2(t)$ ve $x_4(t)$ durum değişkenlerinin zamana bağlı olarak kaotik değişimleri ($\sigma = 0.2$).



Şekil 9. Şekil 8 ile verilen değişimlerin ayrıntılı gösterimi.



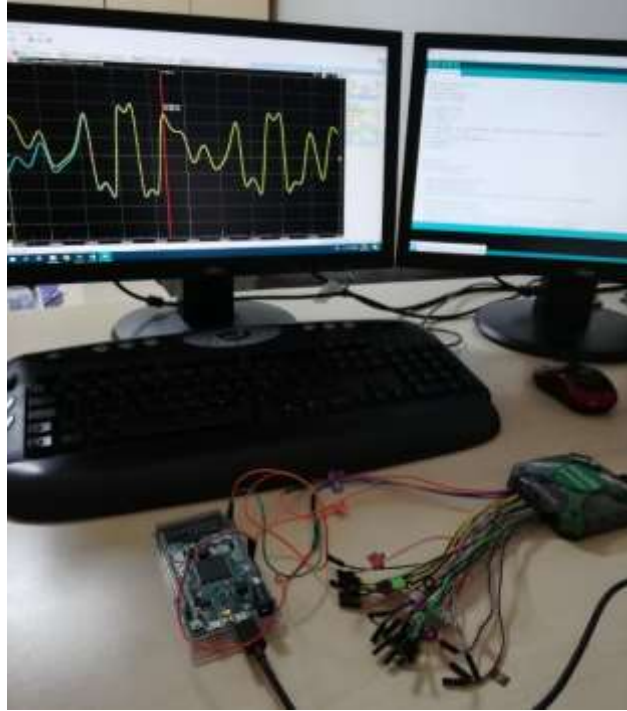
Şekil 10. Hata fonksiyonu $e(t)$ ve uyarılma katsayısı $k(t)$ 'nin zamana göre değişimleri ($\sigma = 0.2$).

4. Donanımsal Gerçekleme ve Deneysel Sonuçlar

Sistemin dijital olarak gerçekleştirilmesi için, sayısal yöntemlerden faydalanmak gerekir. Başlangıç değer probleminde sahip, adi diferansiyel denklemlerin çözümleri genel olarak Euler, Taylor ve Runge-Kutta metotları kullanılarak elde edilmektedir [22]. Bu çalışmada sistemin çözümü için kullanılan sayısal türev, ileri fark yaklaşım tabanlı Euler yöntemidir. Buna göre Denklem 11 ve 16 kullanılarak elde edilen sistem takımı aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 x_1(t_{i+1}) &= x_1(t_i) + h * (x_2(t_i) - k(t_i)(x_1(t_i) - x_3(t_i))) \\
 x_2(t_{i+1}) &= x_2(t_i) + h * (x_1(t_{i+1}) - \alpha x_2(t_i) - x_1^3(t_i) + \delta \cos(\omega * h * i)) \\
 x_3(t_{i+1}) &= x_3(t_i) + h * (x_4(t_i) - k(t_i)(x_3(t_i) - x_1(t_i))) \\
 x_4(t_{i+1}) &= x_4(t_i) + h * (x_3(t_{i+1}) - \alpha x_4(t_i) - x_3^3(t_i) + \delta \cos(\omega * h * i))
 \end{aligned} \tag{21}$$

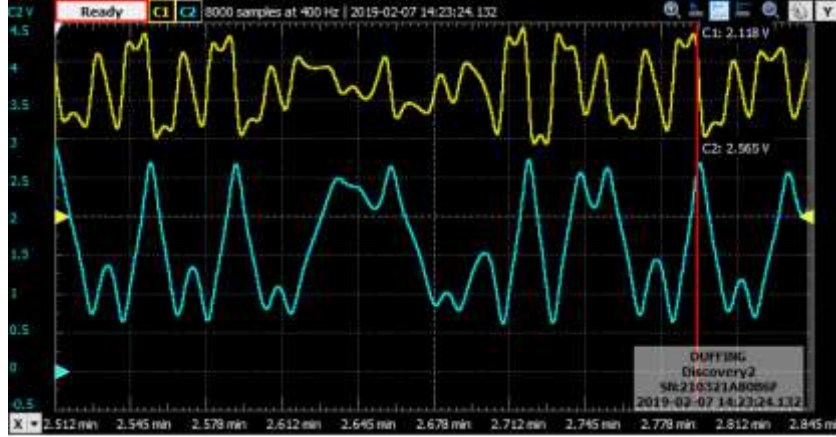
Denklem 21 ile verilen türevsel sistem takımının gerçek zamanlı çözümü, Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU'yu temel alan Arduino Due mikrodenetleyici kartı üzerinde sağlanmıştır. 32-bit ARM çekirdekli mikrodenetleyici yapısına dayanan bu kart, 54 dijital giriş / çıkış (12'si PWM çıkışı), 12 analog giriş, 4 UART, 84 MHz saat frekansı, USB OTG özellikli bağlantı, 2 DAC (dijital - analog) çıkış özelliğine sahiptir [23]. Tasarlanan sistemin çıkışları DAC arabirimi kullanılarak analog veriye çevrilmiştir. Ölçümler USB arabirimi ile çalışan Analog Discovery 2 Osiloskop kartı kullanılarak PC ortamına alınmıştır. Sistemin genel görüntüsü Şekil 11'de verilmiştir [24].



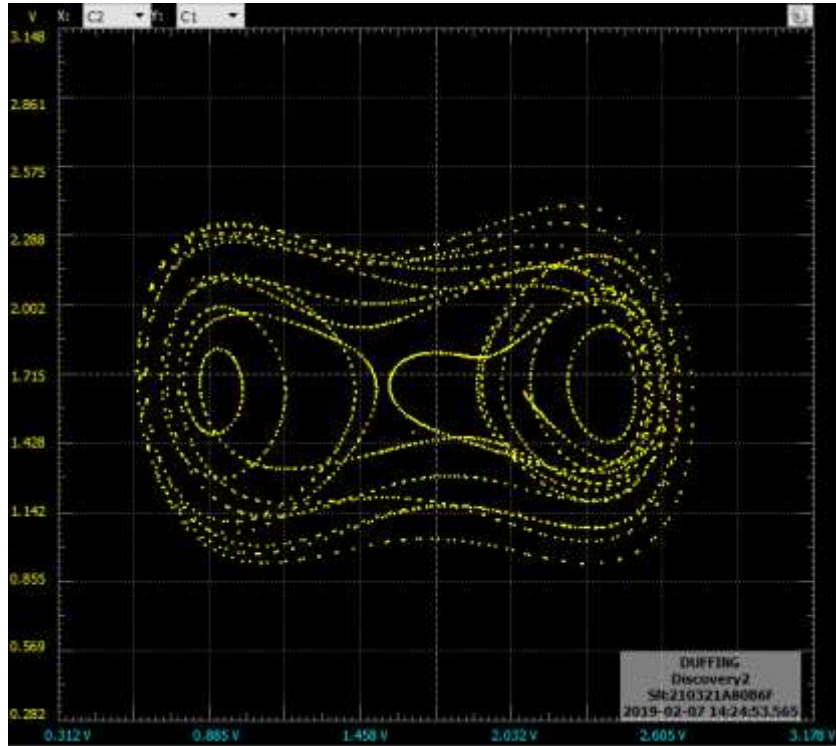
Şekil 11. Donanımsal gerçekleştirme ve test düzeneği.

Şekil 12'de Denklem 11 ile verilen sistem için $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ durum değişkenlerinin gerçek zamanlı kaotik değişimleri verilmiştir. Başlangıç koşulları $x_1(0) = 0.21$ ve $x_2(0) = -0.7$ ve örnekleme periyodu $h = 0.1$ sn.'dir. Sistemin $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ düzlemindeki gerçek zamanlı faz yörünge değişimi ise Şekil 13'te gösterilmiştir. Şekil 14'te Denklem 19 ile verilen sistem için $x_2(t)$ ve $x_4(t)$ durum değişkenlerinin gerçek zamanlı kaotik değişimleri verilmiştir. Önerilen uyarılma mekanizması sayesinde iki sistemin yaklaşık olarak 5.49 sn. sonra senkronizasyonu sağlanmıştır. Uyarılma katsayısı bu örnek için $\sigma = 1 \times 10^{-6}$ olarak seçilmiştir. Aynı σ değeri için hata fonksiyonu $e(t)$ ve uyarılma katsayısı $k(t)$ 'nin gerçek zamanlı değişimleri Şekil 15'te verilmiştir. Hata fonksiyonunun

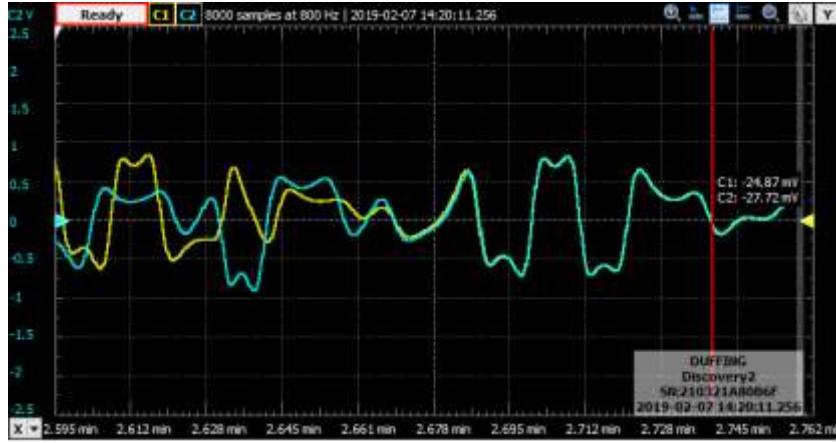
azalarak sıfırlandığı, uyarlama katsayısının ise yaklaşık olarak 0.2 değerinde sabit kaldığı görülmektedir. Farklı σ katsayısının senkronizasyon süresine olan etkisini incelemek amacıyla $\sigma = 1 \times 10^{-5}$ seçilip durum değişkenlerinin değişimleri tekrar incelenmiştir. Şekil 16'daki $x_2(t)$ ve $x_4(t)$ durum değişkenlerinin gerçek zamanlı kaotik değişimleri incelendiğinde, bu katsayının 1/10 oranda büyütülmesiyle senkronizasyon süresinin 5.49 sn.'den 1.98 sn.'ye düştüğü gözlemlenmiştir.



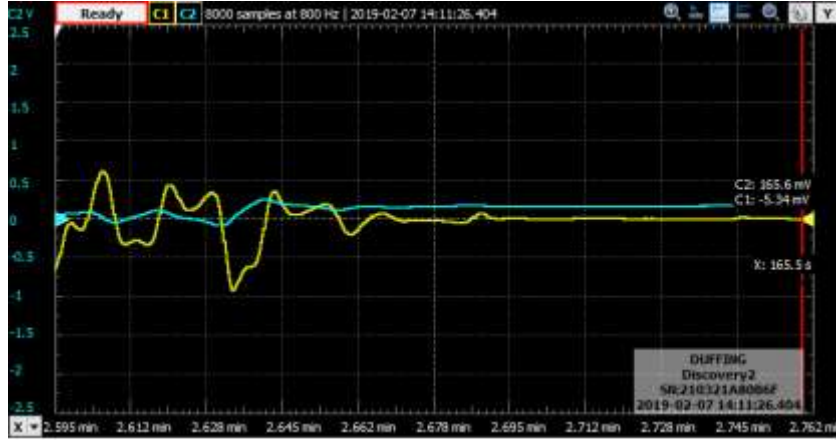
Şekil 12. Denklem 11 ile verilen sistem için $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ durum değişkenlerinin gerçek zamanlı kaotik değişimleri.



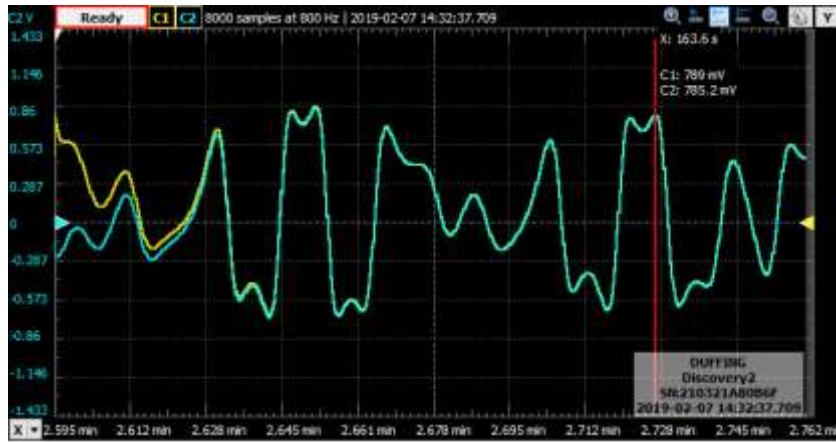
Şekil 13. Denklem 11 ile verilen Duffing sisteminin $x_1(t)$ ve $x_2(t)$ düzlemindeki gerçek zamanlı faz yörünge değişimi (Sistem parametreleri $\alpha = 0.15$, $\delta = 0.3$, $\omega = 1$ ve başlangıç koşulları $x_1(0) = 0.21$ ve $x_2(0) = -0.7$)



Şekil 14. Denklem 19 ile verilen sistem için $x_2(t)$ ve $x_4(t)$ durum değişkenlerinin gerçek zamanlı kaotik değişimleri ($\sigma = 1 \times 10^{-6}$).



Şekil 15. Hata fonksiyonu $e(t)$ ve uyarlama katsayısı $k(t)$ 'nin gerçek zamanlı değişimleri ($\sigma = 1 \times 10^{-6}$).



Şekil 16. Denklem 19 ile verilen sistem için $x_2(t)$ ve $x_4(t)$ durum değişkenlerinin gerçek zamanlı kaotik değişimleri ($\sigma = 1 \times 10^{-5}$).

5. Sonuçlar

Bu çalışmada birbirine akupule olan iki Duffing Osilatörün durum değişkenlerinin senkronizasyonu için uyarlanabilir onaylaşım algoritması önerilmiştir. MATLAB ortamında hazırlanan kod rutinleri kullanılarak sistemin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca donanımsal gerçekleştirme 32 bitlik Arduino DUE geliştirme kartı üzerinde sağlanmıştır. Önerilen algoritmanın gerek benzetim gerekse gerçek zamanlı çalışmada, iki kaotik sistemi senkronize ettiği gözlemlenmiştir. Onaylaşım algoritmalarının gezgin robot ağları, otonom hava/deniz/kara araçları, uydu sistemleri gibi uygulama alanına sahip olduğu göz önünde bulundurulursa, gelecek çalışmalarda sürü hareket kabiliyetine sahip gezgin robot ağlarında bu algoritmanın kullanılması hedeflenmektedir. Ayrıca şifreleme algoritmalarında kullanılan rastgele sayı üreteçlerindeki kaotik altyapıya da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Jadbabaie A, Lin J, Morse AS. Coordination of groups of mobile autonomous agents using nearest neighbor rules. *Proceedings of the 41st IEEE Conference on Decision and Control*; 2003; 2953–2958.
- [2] Zhang Y, Li S. Distributed Biased Min-Consensus with Applications to Shortest Path Planning. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 2017; 62(10): 5429–5436.
- [3] Schwager M, Rus D, Slotine J-J. Decentralized, Adaptive Coverage Control for Networked Robots. *Int. J. Rob. Res.* 2009; 28(3): 357–375.
- [4] Nguyen KD, Dankowicz H. Synchronization and consensus of a robot network on an underactuated dynamic platform. *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*; September 2014; 117–122.
- [5] Dong X, Yu B, Shi Z, Zhong Y. Time-Varying Formation Control for Unmanned Aerial Vehicles: Theories and Applications. *IEEE Trans. Control Syst. Technol.* 2015; 23(1): 340–348.
- [6] Zhongkui Li, Zhisheng Duan, Guanrong Chen, Lin Huang. Consensus of Multiagent Systems and Synchronization of Complex Networks: A Unified Viewpoint. *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.* 2010; 57(1): 213–224.
- [7] Erkan ÖF, Akar M. Continuous-time analysis of multi-agent systems with multiple consensus equilibria. *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.* 2016; 22(8): 666–670.
- [8] Hernán Díaz M, Maureira F, Flores E, Córdova F. Intra and inter-hemispheric correlations of the order/chaos fluctuation in the brain activity during a motor imagination task. *Procedia Computer Science*; Jan 1, 2018; 456–463.
- [9] Wang L, Long X, Aarts RM, van Dijk JP, Arends JBAM. A broadband method of quantifying phase synchronization for discriminating seizure EEG signals. *Biomed. Signal Process. Control* 2018; .
- [10] Pandey A, Singh B, Saini BS, Sood N. A novel fused coupled chaotic map based confidential data embedding-then-encryption of electrocardiogram signal. *Biocybern. Biomed. Eng.* 2019; 39(2): 282–300.
- [11] Sahin ME, Cam Taskiran ZG, Guler H, Hamamci SE. Simulation and implementation of memristive chaotic system and its application for communication systems. *Sensors Actuators, A Phys.* 2019; 290(1): 107–118.
- [12] Anbing Zhang, Yichun Xie. Chaos Theory-Based Data-Mining Technique for Image Endmember Extraction: Laypunov Index and Correlation Dimension (L and D). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2014; 52(4): 1935–1947.
- [13] Özkaynak F, Özer AB. Cryptanalysis of a new image encryption algorithm based on chaos. *Optik (Stuttg.)*. 2016; 127(13): 5190–5192.
- [14] Chen L, Ma B, Zhao X, Wang S. Differential cryptanalysis of a novel image encryption algorithm based on chaos and Line map. *Nonlinear Dyn.* 2017; 87(3): 1797–1807.
- [15] Alzahrani A, Shamsi P, Ferdowsi M, Dagli CH. Chaotic Behavior in High-Gain Interleaved DC-DC Converters. *Procedia Computer Science*; January 1, 2017; 408–416.
- [16] Petras I. *Fractional-Order Nonlinear Systems: Modeling, Analysis and Simulation*. Springer Press, 2011.
- [17] Gao X, Yu J. Chaos in the fractional order periodically forced complex Duffing's oscillators. *Chaos, Solitons and Fractals* 2005; 24(4): 1097–1104.
- [18] Gallier JH. *Spectral Theory of Unsigned and Signed Graphs Applications to Graph Clustering: a Survey.* , 2018.
- [19] Kavuran G, Ates A, Alagoz BB, Yeroglu C. An experimental study on model reference adaptive control of TRMS by error-modified fractional order MIT rule. *Control Eng. Appl. Informatics* 2017; 19(4): 101–111.
- [20] Alagoz BB, Kavuran G, Ates A, Yeroglu C. Reference-shaping adaptive control by using gradient descent optimizers. *PLoS One* 2017; 12(11): e0188527.
- [21] Alagoz BB, Tepljakov A, Kavuran G, Alisoy H. Adaptive Control of Nonlinear TRMS Model by Using Gradient Descent Optimizers. *2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*; 2018;1–6.
- [22] Kincaid D, Cheney W. *Numerical Analysis: Mathematics of Scientific Computing.*, 3rd Revise. American Mathematical Society, 2002.
- [23] Arduino. Arduino DUE Teknik Özellikler.[Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/duel>. [Accessed: 23-May-2019].
- [24] Digilent. Analog Discovery 2 Teknik Özellikler. . [Online]. Available: <https://store.digilentinc.com/analog-discovery-2-100msps-usb-oscilloscope-logic-analyzer-and-variable-power-supply/>. [Accessed: 23-May-2019].

Derslik Aydınlatma Performansının ve Led Armatür Uygulaması Enerji Tasarrufu Potansiyelinin Belirlenmesi Ön Çalışması

Selçuk SELİMLİ^{1*}, Gözde BAKAR², Erdoğan AYDEMİR²

¹ Enerji Sistemleri Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

² Enerji Verimliliği Danışmanlığı, Vat Enerji Hizmetleri San. Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye

*¹ selcukselimli@karabuk.edu.tr, ² gozde.gb.bakar@gmail.com, ² ay48demir@gmail.com

(Geliş/Received: 17/05/2019;

Kabul/Accepted: 10/02/2020)

Öz: Aydınlatma ihtiyacının konfor, sağlık, güvenlik ve yaşam kalitesi açısından değerlendirilmesi farklı ortam koşullarına özel aydınlatma sistem ve ihtiyacının varlığını ortaya koymaktadır. Eğitim alanlarının da aydınlatılması düzeyi uluslararası standartlar kapsamında belirlenmiştir. Aydınlanma yanında günümüz önemli konuları arasında yer alan enerji ve maliyetleri, minimum enerji ile optimum aydınlatma ihtiyacının giderilmesi konusunda birçok araştırma geliştirme ve uygulama çalışmasının konusu durumundadır. Bu çalışma kapsamında bir eğitim kurumundaki 10 adet derslikte mevcut tüp floresan armatür ile sağlanan aydınlatma düzeyi ölçümlenmiş ve aydınlanma düzeyinin standartlarda belirtilen 300 lux düzeyinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Aydınlatma düzeyinin yeterli olmasına karşın gerekli aydınlatma düzeyinin mevcut armatürlerin led armatürlerle değişimi ile enerji tasarrufu sağlanabileceği değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilecek değişim ile yıllık 8161,56 kWh enerji tasarrufu karşılığı 3388,68 TL olarak belirlenmiştir. 19500 TL tutarında yatırımla mevcut armatürlerin değişimi sağlanabilmesi ve geri ödeme süresinin 5,75 yıl olması değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Led armatür, enerji tasarrufu, aydınlatma.

Preliminary Study of Determination of Classroom Lighting Performance and Led Luminaire Application Energy Saving Potential

Abstract: Evaluation of the lighting need in terms of comfort, health, safety and quality of life reveals the existence of a lighting system and need specific to different ambient conditions. The level of illumination of the training areas is determined within the scope of international standards. In addition to enlightenment, energy and its costs, which are among the important issues of today, are the subject of many research, development and application studies in order to meet the need for optimum lighting with minimum energy. Within the scope of this study, the illumination level provided by the existing tube fluorescent luminaire was measured in 10 classrooms in an educational institution and the illumination level was determined to be above 300 lux level specified in the standards. Although the lighting level is enough, it is evaluated that the required lighting level can be saved by changing the existing luminaires with led luminaires. With the change to be realized, 8161.56 kWh energy saving provision is determined as 3388.68 TL. It is considered that the existing luminaires can be replaced with an investment of 19500TL and the payback period is 5.75 years.

Key words: Led luminaire, energy saving, lightning.

1. Giriş

Aydınlık düzeyi farklı yaşam alanlarında konfor, güvenlik ve performansı etkileyen önemli bir olgudur. Aydınlanma ihtiyacının yoğun olduğu alanlarda enerji tüketimi de yoğunluk kazanmaktadır. Maksimum aydınlanma ihtiyacının minimum enerji girdisi ile sağlanabilmesi optimizasyonu da bu bağlamda önemlidir. Eğitim kurumları aydınlanma ihtiyacının yoğun olduğu yaşam alanlarıdır. Eğitim ortamlarında sağlanan aydınlanma düzeyi enerji tüketimi ile doğrudan ilgilidir [1]. Eğitim kurumlarında sağlanacak yeterli aydınlanma ile görsel ve ruhsal konfor, dikkat unsurunun maksimum düzeyde tutulması ile anlama performansının artırılması, çalışma ve üretkenliğinin artırılması yanında, oluşabilecek çarpma, düşme gibi kazaların önüne geçilmesi sağlanabilmektedir. Öğrenmede görsel algılama oldukça önemlidir, derslikler ve diğer çalışma alanlarında görsel konfor koşullarının sağlanması, öğrenmenin zorlanmadan, yorulmadan ve verimli bir biçimde gerçekleştirilmesi için önemli bir konudur [2]. Dersliklerin yetersiz düzeyde aydınlatılması hem çalışanlar hem de öğrencilerde baş ağrısı ve halsizlik gibi sağlık sorunlarına neden olurken, öğrenme zorluğu ve motivasyon kaybına yol açabilmektedir [3]. Yaşam alanlarında konfor, sağlık, güvenlik ve motivasyon performansı açısından sağlanması

* Sorumlu yazar: selcukselimli@karabuk.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-2551-3860, ² 0000-0002-6619-9302, 0000-0003-0622-1106

gerekli optimum aydınlanma miktarı standartlar çerçevesinde belirlenmiş ve sunulmuştur. Standartlar tarafından tavsiye edilen aydınlık düzeyi değerlerinin sağlanmaması görsel performansta düşüşe ve göz sağlığında risklere yol açabilmektedir [4]. Eğitim yapılan ortamlarda aydınlanma miktarının standartlarda belirtilen düzeyleri sağlanması gerekirken, yapay aydınlatma kullanımında düzgün bir dağılımın sağlanması ve kamaşmanın önlenmesi önemlidir [5]. TS EN 12665 standardında görsel konfor çevre tarafından uyarılarak oluşan görsel hoşluğun öznel hali olarak tanımlanmaktadır [6]. Aydınlanma performansı yanı sıra enerji tasarrufu açısından aydınlanma değerlendirildiğinde floresan aydınlanma ekipmanları ile karşılaştırıldığında LED tipi aydınlatma ekipmanlarının enerji verimliliklerinin daha yüksek olduğu bilinmektedir. LED ve floresan aydınlatma düzenine sahip 3 farklı sınıfta uygulaması gerçekleştirilen karşılaştırma çalışmasında, led aydınlatma düzenine sahip sınıflarda floresan ile aydınlatılan sınıflara göre %58 daha az enerji sarfiyatı belirlenmiştir [7].

Bu çalışmanın amacı bir eğitim binasının aydınlanma performansının, enerji verimliliğinin belirlenmesi ve iyileştirme önerilerinin oluşturulmasıdır.

Dersliklerde gerekli aydınlanma ihtiyacının belirlenmesi sürecinde ışık akısı yöntemi ile gerçekleştirilen teorik inceleme EN 12464-1 standardına uygun şekilde yapılmıştır.

İç mekan oda endeksi k ortam boyutlarına bağlıdır ve denklem 1'deki gibi hesaplanabilir.

$$k = \frac{e \times b}{(e+b)h} \quad (1)$$

Denklem 1'de e iç mekan en ve b boy uzunluklarını ifade ederken h aydınlatma ekipmanının aydınlatılan yüzeye olan dik uzaklığını temsil etmektedir. İç mekânda sağlanması beklenen toplam ışık akısı miktarı denklem 2 ifadesi ile hesaplanabilir.

$$\Theta = \frac{E_0 \times e \times b}{\eta \times m} \quad (2)$$

Denklem 2'de yer alan E_0 aydınlatılması planlanan ortam için gerekli ortalama aydınlık düzeyini, η kullanma faktörünü, m bakım faktörünü ifade etmektedir. Aydınlatılması planlanan ortam için gerekli ortalama aydınlık düzeyi EN 12464-1 standardında Tablo 1'de verildiği gibi belirtilmektedir.

Tablo 1. EN 12464-1 standardına göre eğitim verilen binalar için gerekli aydınlık düzeyleri.

6.2 Educational buildings				
Ref. no.	Type of interior, task or activity	\dot{E}_m lx	UGR _L	R _a
6.2.1	Classrooms, tutorial rooms	300	19	80

Kullanma faktörünü belirlemek üzere gerekli olan yüzey yansıtma faktörü değerleri [8], [9] ve [10] numaralı kaynaklardan tespit edilmiş ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ortalama yüzey yansıtma faktörü.

Ortalama yansıtma faktörü (%)	Tavan (Beyaz)	Duvar (Beyaz)	Çalışma düzlemi (Koyu tonlu)
	70	70	20

Mevcut 4x18 W tüp floresan lambalı ve 33 W led panel armatür için kullanım faktörü değerleri Tablo 3'te verilmektedir. Değerler sektör tarafından sunulan armatür teknik verilerini içeren belgelerden oluşturulmuştur.

Tablo 3. Armatür kullanım faktörü.

	Yüzey yansıtma faktörü			Oda indeksi (k)						
	T	D	ÇD	0,75	1	1,25	1,5	2	2,5	3
4x18 W tüp floresan lambalı	70	70	20	0,43	0,51	0,54	0,57	0,61	0,62	0,63
33 W led panel	70	70	20	0,45	0,53	0,57	0,59	0,63	0,64	0,65

Aydınlatma ihtiyacı duyulan ortam için gerekli armatür sayısı n denklem 3'teki eşitlik ile belirlenir.

$$n = \frac{\theta}{\theta_0} \quad (3)$$

Denklem 3'te θ_0 her bir armatür için ışık akısı miktarını belirtmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında bir eğitim kurumu dersliklerinde mevcut aydınlatma düzeyi UNI-T UT 383 mini dijital lüksmetre ve enerji tüketimi değerleri Fluke 435 marka enerji analizörü ile DIN EN 12464-1 standardına uygun şekilde gerçekleştirilen ölçümlerle belirlenmiştir. Kurumda aktif olarak kullanılan 10 adet derslik standart ölçülere sahiptir. Derslik düzenini örnekleyen görsel Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Derslik düzeni ve boyutları.

Dersliklerde armatür ile öğrenci sıraları arası dik uzaklık 2,86 m'dir. Her bir sıra 5 öğrenci oturumu için düzenlenmiştir. 2 kolon şeklinde 9 sıra olmak üzere salonlar 90 kişiliktir. Sıra yüzeyleri 10 eş uzaklıktaki noktaya bölünerek her bir noktadan ölçümleme gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Her bir derslik ve sıra düzeni için ortalama aydınlatma miktarı hesaplanarak Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Derslik ortalama aydınlatma değerleri.

Derslik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sıra 1	306.7	327	495.1	317.8	338.5	407.6	311	509.7	506	308.9
Sıra 2	290	327	415.9	309	337.1	341.9	300	429.5	429.8	301.7
Sıra 3	317.4	283	378.4	336.7	295.5	277.6	325.4	398.8	392.3	328.7
Sıra 4	320	346.2	419.6	349.6	357.1	352.2	350.2	435.3	433.8	342.5
Sıra 5	315	311	330.8	333.1	321.7	394	345.3	350.5	340.4	316.2
Sıra 6	319.2	284.5	291	334.5	300.7	333.5	328.8	300.3	301.5	331
Sıra 7	292.9	322.8	355.4	309.1	334.7	285.5	309.1	367.1	365.9	314.3
Sıra 8	309.9	315.2	338	325.9	327	377.6	323.7	350.2	350.6	321
Sıra 9	315.7	237.5	364.2	337.9	248.2	400.8	329.6	387.2	392.5	328.2
Ortalama	309.6	306	376.4	328.1	317.8	352.3	324.7	392.0	390.3	321.3

Alınan ölçümler neticesinde DIN EN 12464-1 standardına göre sınıflarda gündüz saatleri için minimum 300 lux olması gereken aydınlatma düzeyinin mevcut 4x18 W tüp floresan lambalı armatürler ile sağlandığı

belirlenmiştir. Yeterli aydınlık düzeyini minimum enerji tüketimi ile sağlayabilmek adına LED armatür tavsiyesinde bulunmak üzere mevcut aydınlatma panelleri enerji tüketimi açısından da değerlendirilmiştir. Mevcut durumda salonlarda günlük ortalama 8 saat olmak üzere yılda 9 ay aktif ders yapıldığı değerlendirilirse yıllık yaklaşık olarak 2160 saat aydınlatmalar aktiftir. Her bir sınıfta 8 adet 4x18 W tüp floresan lambalı armatür yer almaktadır. Floresan tüplü manyetik balastlı armatürlerin mevcut güç tüketim değerleri her bir sınıf için 12 saat süreçte ölçümlenmiş ve ortalama güç tüketimi değerleri Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Derslikler için mevcut floresan tüplü manyetik balastlı armatür güç tüketim değerleri.

Derslik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W	581	583	579	581	585	581	583	585	578	583

Sınıflar için seçilecek LED panel armatürler piyasada yaygın olarak kullanılan bir firmanın kataloglarından 33 W LED panel armatür olarak lümen değeri ve aydınlatma teknik verilerinde denklik sağlamak adına ve maliyetler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Gerekli armatür sayılarını belirlemek için kullanılan veriler kataloglardan alınmıştır.

7,25 m x 9,65 m ölçülere sahip her bir sınıf için gerekli LED panel armatür sayısı Tablo 6'da verildiği şekliyle hesaplanmıştır.

Tablo 6. Led panel armatür sayısı

E_o , lux	k	η	m	θ , lm	θ_o , lm	n, adet
300	1,447	0,585	0,7	51254,5	3600	14,23

Tablo 6'da belirlendiği üzere her bir sınıf için 15 adet 33 W LED panel armatür montajı ile 300 lux değerinde gerekli aydınlatma ihtiyacı sağlanabilir. LED armatürlerin montaj dahil birim fiyatı 130 TL'dir. Tablo 7'de mevcut armatürler ve alımı planlanan armatürler için yıllık enerji tüketimi miktarı hesaplanmış ve sağlanabilecek enerji tasarrufu miktarı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen piyasa araştırması sonucu armatürlerin değişimi için gerekli yatırım miktarı belirlenmiş ve geri ödeme süresi hesaplanarak sunulmuştur.

Tablo 7. Yıllık enerji tüketimi, tasarruf miktarı, yatırım miktarı ve geri ödeme süresi.

	Yıllık enerji sarfiyatı (yıllık 2160 çalışma saati)	Yıllık enerji maliyeti*	Montaj dahil armatür değişim maliyeti
4x18 W tüp floresan lambalı armatür	18853,56 kWh	7827,99 TL	
33 W LED panel armatür (150 adet)	10692 kWh	4439,31 TL	19500 TL
Enerji tasarrufu miktarı	3388,68 TL		
Geri ödeme süresi (yıl)	5,75		

*Elektrik birim fiyatı 0,4152 TL/kWh

Optimum düzeyde aydınlatma uygulamalarının minimum düzeyde enerji maliyetiyle sağlanması günümüz elektrik ve enerji sektörünün çalışma alanları arasındadır. Gelişen aydınlatma sistemi teknolojileri konfor, güvenlik, sağlık ve enerji maliyetlerini göz önünde bulundurarak aydınlatma ekipmanları geliştirirken, uygulama alanlarının özel şartlarına uygun sistem tasarımları göz önünde bulundurulmaktadır. Bu özel şartlar gerektiren alanlar arasında eğitim yapılan yapılarda girmektedir. Çalışma kapsamında aydınlatma düzeyi ölçümlenen bir eğitim kurumuna ait derslikler için uluslararası standartlarda belirlenen 300 lux aydınlatma gereksiniminin tüp floresan armatürler ile sağlandığı ancak mevcut armatürlerin enerji tüketimlerinin minimize edilebilmesi adına led armatür panel önerimi değerlendirildi. Gerçekleştirilen enerji ve ekonomik analiz çalışması ile led armatür montajı sağlanabilecek yıllık tasarruf miktarı 8161,56 kWh olarak hesaplanmıştır. 19500 TL tutarında led armatür yatırımıyla sağlanacak yıllık 3388,68 TL karşılığındaki enerji tasarrufu sayesinde 5,75 yıl içerisinde yatırım maliyetinin karşılanması öngörülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Al-Khatatbeh BJ, Ma'bdeh SN. Improving visual comfort and energy efficiency in existing classrooms using passive daylighting techniques. *Energy Proced* 2017; 136: 102-108.
- [2] Yağmur ŞA, Sözen MŞ. Dersliklerde görsel konfor ve iç yüzeylerin etkisi. *Mageron* 2016; 11(1): 49-52.
- [3] Winterbottom M, Wilkins A. Lighting and discomfort in the classroom. *J Environ Psychol* 2009; 29: 63-75.
- [4] Erdem L, Enarun D. Kullanıcıların aydınlık düzeyi tercihlerinin değişkenliği üzerine bir çalışma. IV. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi Programı; 13-15 Aralık 2007; İzmir. 1-7.
- [5] Yener AK, Güvenkaya RK, Şener F. İlköğretim dersliklerinin görsel konfor açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi. *ITU Dergisi/a Mimarlık, Planlama, Tasarlama* 2009; 8(1): 105-116.
- [6] Yıldız Y. Dersliklerde günışığı performansının değerlendirilmesi: Balıkesir Üniversitesi örneği. 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı; 12-13 Nisan 2018; İstanbul. 1-8.
- [7] Davis RG, Wilkerson A. Tuning the light in classrooms: evaluating trial led lighting systems in three classrooms at the carrollton-farmers branch independent school district in carrollton, tx. U.S. Department of Energy; Washington: Pacific Northwest National Laboratory. 1-30.
- [8] Dahlan ND, Jones PJ, Alexander DK, Salleh E, Alias J. Evidence base prioritisation of indoor comfort perceptions in Malaysian typical multi-storey hostels. *Build Environ* 2009; 44: 2158-2165.
- [9] Pless S, McBride M, Ornektekin O, Nicklas M, Jefferson P, Murphy J, Ryles M, Seibert K, ve diğerleri. Advanced energy design guide for k-12 school buildings. *ASHRAE Design Guide*; Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1-234.
- [10] Ibarra DI, Reinhart CF. Daylight factor simulations – how close do simulation beginners ‘really’ get?. Eleventh International IBPSA Conference; 27-30 Haziran 2009; Glasgow. 196-203.

AISI 1050 Çelik Malzemenin Delinmesinde Tepki Kuvvetini Etkileyen Parametrelerin Yüzey Yanıt Yöntemi ile Analizi

Zülküf DEMİR^{1*}, Şehmus BADAY², Fikret SÖNMEZ³

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye

² Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye

³ Karşıyaka TÜPRAŞ Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Kocaeli, Türkiye

*¹ zulkuf.demir@batman.edu.tr ² sehmus.baday@batman.edu.tr, ³ sonmezfikret@gmail.com

(Geliş/Received: 28/07/2019;

Kabul/Accepted: 13/11/2019)

Öz: Delme işlemi, geleneksel imalat yöntemleri arasında talaşlı imalat işlemlerinin yaklaşık olarak %33'ünü oluşturmaktadır. Bu işlemin imalat alanındaki önemine rağmen matkapın uç açısı, fener mili devri, ilerleme miktarı ve delinen malzemenin özellikleri gibi birçok parametre delik delme işlemi etkilemektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen bu deneysel çalışmada, farklı uç açılara sahip matkaplar ile delme işlemi esnasında meydana gelen tepki kuvvetleri Yüzey Yanıt Yöntemi (YYY) ile analiz edilmiştir. İtme kuvvetlerini meydana getiren üç farklı fener mili devri sayısı, ilerleme miktarı ve matkap uç açıları seçilerek toplam 27 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deney parametrelerine bağlı olarak en iyi tepki kuvvetini tahmin etmek için oluşturulan YYY üç seviyeli ve üç faktörlü Box-Behnken tasarım yöntemi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Deney sonuçlarından elde edilen tepki kuvvetleri, birinci dereceden ve ikinci dereceden matematiksel modeller oluşturulmuştur. Elde edilen bu modellerin etkinliği ANOVA testi yapılarak parametrelerin etkinliği araştırılmıştır. Sonuç olarak parametrelerin tepki kuvvetleri üzerindeki etkinliği karşılaştırılmış ve en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca rastgele seçilen deney verileri ile YYY ile oluşturulan modeller karşılaştırılmış 0,964 R2 değeri elde edilmiştir. YYY ile delme işleminde meydana gelen tepki kuvvetlerinin değerleri çok küçük hata oranlarında tahmin edebildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Delme işlemi, itme kuvveti, yüzey yanıt yöntemi, ANOVA

Analysis of the Parameters Effecting Thrust Force in Drilling Process with Response Surface Method

Abstract: Drilling process accounts for approximately 33% of machining processes among conventional manufacturing methods. Despite the importance of this process in the manufacturing field, many parameters such as the point angle of the drill, spindle speed, feed rate and properties of the drilled material affect the drilling process. Accordingly, in this study which was employed experimentally, Response Surface Method (RSM) was used to analyse the thrust forces occurring during the drilling process with different point angles of drill. A total of 27 experiments were carried out using three different spindle speeds, feed rates and point angles with drill, which generated thrust forces. In order to estimate the best thrust force which was based on the experimental parameters, the surface response method was created by considering the three-level and three-factor Box-Behnken design method. The first and second order mathematical models were developed for the thrust forces which were obtained from the experimental results. ANOVA test was used to investigate the effectiveness of parameters on these models which were obtained by RSM. As a result, the effectiveness of the parameters on the thrust forces were compared and it was determined that the most effective parameter was feed rate. In addition, randomly selected experimental data were compared with the models generated by RSM, and a R2 value of 0.964 was obtained. It was determined that RSM can predict the values of thrust forces at a very high rate.

Key words: Drilling process, thrust force, response surface method, ANPOVA.

1. Giriş

Delik delme işlemi, geleneksel imalat yöntemleri arasında talaşlı imalat işlemlerinin yaklaşık olarak yüzde otuz üçünü oluşturmaktadır [1]. İmalat alanında oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan bu delik delme

* Sorumlu yazar: zulkuf.demir@batman.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0002-0685-3712, ²0000-0003-4208-8779, ³0000-0003-1718-892X

işlemi, yüksek hassasiyet ve yüksek kaliteli işlem gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Ancak bu işlemdeki birçok parametrenin delik kalitesi üzerindeki etkisi, araştırmacıların çoğunu bu alanda farklı çalışmalar yapmaya itmiştir [2]. Delme işlemini etkileyen bu parametreler; matkabın uç açısı, matkap ve delinen malzemenin özellikleri gibi birçok parametre bu operasyonu doğrudan etkilemektedir. Bununla birlikte, takım malzemesi, matkap aşınması, yüzey kalitesi, talaşın boyutları ve biçimi, boyutsal doğruluk gibi hassasiyeti belirleyen bu parametreler delik delme işlemi sonuçlarını değiştirmektedir [3]. İlerleme hızındaki artış ile talaş kalınlığı ve tepki kuvveti artarken kesme hızının artışı ile azalır. Matkap ya da delik çapının artışı ile takım-iş parçası temas alanı artacağından tepki kuvveti de artar [4, 5]. Delme işleminde meydana gelen tepki kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, delik çapının boyutsal değişimini ve talaş kalınlığı gibi sonuçları etkileyen en önemli bir parametredir [6]. Ayrıca, tepki kuvveti, matkap özünün ve boşluk açısının artması ile önemli oranda artarken uç açısı ve helis açısının artması ile azalır [7, 8]. Fakat hem tepki kuvveti hem de yüzey pürüzlülüğü ilerleme miktarı ve matkap uç açısının artması ile artarlar [9].

Talaşlı imalat işlemlerinde uygun seçilemeyen parametreler kesici takımın hızlı aşınmasına, kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğü gibi değerlerin artmasına sebep olmaktadır. Bu artışlar takım ömrünü ve işleme maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu doğrultuda deney tasarımı yöntemleri, maliyetleri düşürmek ve aynı zamanda en iyi ve en doğru ölçü tamlığında kalite ürünler elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte gerçekleştirilen deneyleri en verimli şekilde yapabilmek ve deney sonuçlarını doğru analiz edilebilmesi açısından son derece önemlidir. Deney tasarımı yöntemleri arasında YYY optimizasyon problemlerinin çözümünde hızlı ve etkili bir metod olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem ile delik delme işlemleri sonucunda oluşan tepki kuvvetleri etki eden işleme parametrelerinin optimizasyonunu gerçekleştirilmiştir. İtme kuvveti ile ilgili yapılan ve optimizasyon yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kyratsis ve ark., gerçekleştirmiş oldukları çalışmada Al-7075 malzemesinin işleme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı ve matkap çapı) bağlı olarak delinmesinde elde edilen tepki kuvvetleri ve kesme torkunu tahmin etmek için YYY'ni kullanmışlardır. YYY ile elde etmiş oldukları matematiksel modeller ve ANOVA bağlı olarak tepki kuvveti ve kesme torku üzerindeki işleme parametrelerinin etkisini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak tepki kuvveti ve kesme torku üzerinde matkap çapı ve ilerleme miktarı doğrudan etki ederken, kesme hızının önemli bir derecede etki etmediğini tespit etmişlerdir [10]. Raja ve ark., GFRP kompozit malzemesinin yüksek hızda delinmesi sonucunda meydana gelen tepki kuvveti ve delaminasyon (katman ayrılması) faktörünü YYY ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda tepki kuvveti ve delaminasyon faktörü üzerinde fener mil devri ve matkap çapına göre ilerleme miktarının daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir [11]. Efkolidis ve ark., Al-7075 malzemesinin delinmesi sonucunda oluşan tepki kuvveti ve kesme torkunu tahmin etmek ve modellemek için YYY ve yapay sinir ağları kullanmışlardır. Bu iki model tepki kuvveti ve kesme torku sonuçlarını doğru bir şekilde tahmin ettiğini fakat yapay sinir ağları tahminlerinin deney sonuçlarına daha yakın tahmin ettiği belirtmişlerdir [12]. Valarmathi ve ark., çalışmalarında deney sayısını belirlemek için Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanarak delik delme deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda elde etmiş oldukları tepki kuvvetlerini tahmin etmek için YYY ile matematiksel modeller oluşturmuşlardır. Ayrıca tepki kuvvetini etkileyen parametrelerin etkisini görmek için ANOVA testi de yapmışlardır. Sonuç olarak yüksek fener mili devri ile birlikte düşük ilerleme miktarının tepki kuvvetlerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir [13]. Palanikumar ve Muniaraj kompozit malzemenin delinmesinde giriş parametresi olarak fener mili devri, ilerleme miktarı ve matkap çaplarına seçerek tepki kuvvetlerini tahminini yapan bir YYY modeli oluşturmuşlardır. YYY ile elde etmiş oldukları matematiksel denklemler ile deney sonuçları karşılaştırmışlardır. Giriş parametrelerinin tepki kuvveti üzerinde etkileri bakımından karşılaştırıldığında en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğunu bildirmişlerdir [14]. Metal matrisli kompozit delinmesinde fener mili devri, ilerleme miktarı ve matkap uç açısının malzeme kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmak için YYY'ni kullanmışlardır. Her bir giriş parametresi için üç seviyeli belirleyerek YYY ile matematiksel modeller elde etmişlerdir. Giriş parametrelerinin çıkış parametreleri ile olan ilişkilerini tespit etmek için ANOVA testi yapmışlardır. Sonuç olarak bu modelleme yöntemiyle çıkış parametrelerini giriş parametrelerine bağlı olarak tahminini etkin bir şekilde elde etmişlerdir [15]. Anarghya ve ark., yapmış oldukları çalışmada, tepki ve tork kuvvetlerini tahmin etmek için YYY ve yapay sinir ağları genetik algoritma modellemelerini kullanmışlardır. Her iki modelleme sonuçlarını karşılaştırmış ve YSA-GA'nın YYY'den daha iyi tahmin elde ettiğini bulmuşlardır. Sonuç olarak tepki kuvveti üzerinde kesişim açısının önemli parametre olduğunu ve tork kuvvetini ise matkap çapında biraz etkilendiğini tespit etmişlerdir [16]. Shuang Yi ve ark., Ti-6Al-4V titanyum alaşımının kesme parametresine bağlı olarak delinmesi sonucunda takım aşınması, tepki kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisini incelemişlerdir. Gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda tepki kuvvetinin ilerleme miktarının artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir [17]. Shunmugesh ve ark. polimerce güçlendirilmiş karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin işlenmesinde elde edilen tepki, tork kuvvetlerini ve

yüze pürüzlülük değerlerini YYY ve ANN ile tahmin etmişlerdir. ANN çoklu YYY göre daha iyi tahmin sonuçlarını verdiğini bulmuşlardır [18].

Bu çalışmada, farklı uç açlarına sahip matkaplar, fener mili devri ve ilerleme miktarı parametrelerine bağlı olarak delik delme işlemleri esnasında oluşan tepki kuvvetleri YYY ile değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmanın amacı YYY ile delik delme işlemlerinde önemli bir çıktısı olan tepki kuvvetleri birinci dereceden ve ikinci dereceden tam etkileşimli matematiksel olarak modelleyerek, tepki kuvveti değerlerini optimum bir şekilde tahmin etmektir.

2. Materyal ve Metot

Delik delme deneylerinde, günümüz imalat sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahip olan 100x100x15 mm ebatlarında levha plaka kullanılmıştır. İşleme deneyleri Şekil 1(a)'deki MEXUS 510 C-II Model Mazak dik işleme CNC tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Delik delme işlemleri öncesinde 5 mm çaplı matkap ile ön delik delme işlemleri yapılmıştır. Delik delme işlemi sırasında oluşan tepki kuvvetleri Şekil 1(b)'deki Kistler 5233A dinamometre yardımı ile ölçülmüştür. AISI 1050 çeliği 5 mm çapındaki matkapla ile 13 mm derinlikte soğutma sıvı kullanarak 50,27 m/dak kesme hızı ve 0,1 mm/dak ilerleme miktarında ön delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ön delik işlemi yapılan bu noktalar Tablo 1'de verilen parametrelere bağlı olarak 10 mm çapındaki matkap ile delinmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği, a) CNC freze tezgâhı, b) 5233 A tip dinamometre, c) bilgisayar.

HSS matkap uç açıları oluşturmak için matkap taşlama tezgâhında (Şekil 2(a)) üç farklı açıda 100, 118 ve 136 derece olmak üzere bilenerik şekillendirilmiştir. Taşlama sonucunda oluşan kesici uçların uç açı formları Şekil 2 (b)'de verilmiştir.

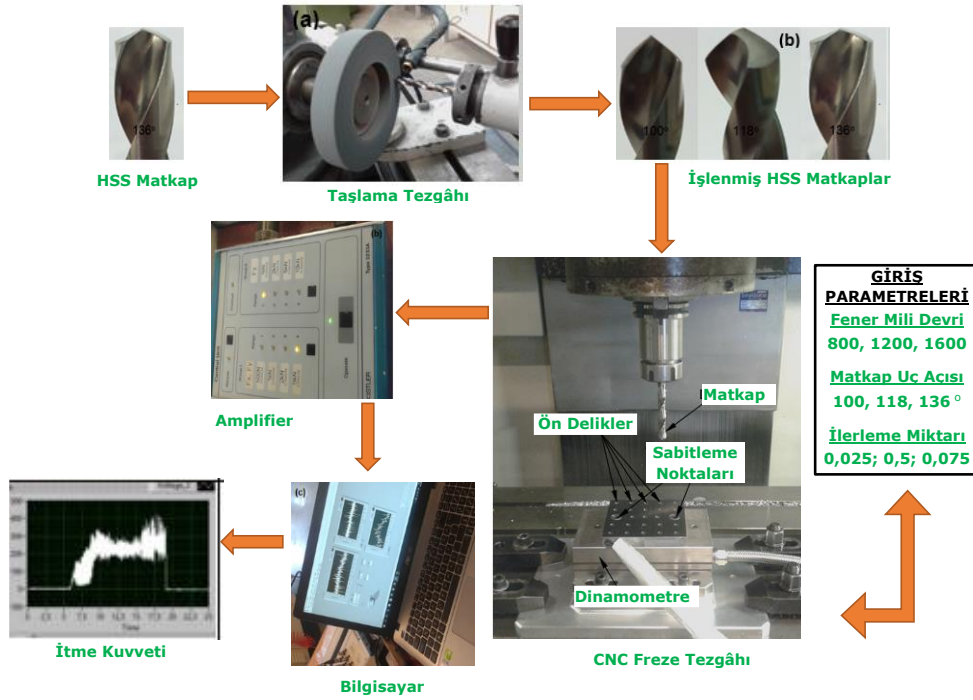


Şekil 2. a) Takım bileme makinesi, b) değişik uç açılı matkap uçları.

Delme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri ve matkap özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Deney düzeneğinin oluşturan parametreler ve deneylerin yapılma aşaması Şekil 3’de şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 1. Deney parametreleri ve matkap ucunun geometrik özellikleri.

Kesme hızı (m/dak.) sabit	V=50.27
İlerleme miktarı (mm/dev)	f1=0.025, f2=0.050, f1=0.075
Matkap çapı (mm)	10±0,01
Matkap türü	2 Ağızlı HSS
Matkap uç açısı (Derece)	100, 118, 136
Helis açısı (Derece)	30
Matkap sapının uzunluğu (mm)	46
Matkap sapının biçimi	Silindirik



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

3. Yüzey Yanıt Yöntemi

Yüzey yanıt yöntemi bir deney tasarım yöntemi olarak yanıtın (tepkinin) farklı deney parametrelerden etkilendiği durumlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemde matematik ve istatistik teknikler bir arada kullanılarak problemlere çözüm aranmaktadır. [19-21]. Mühendislik problemlerinin çözümünde farklı matematiksel modeller ile çözüm kümesinin elde edilmesi hedeflenmektedir. Yüzey yanıt yöntemin kullanılmasında da farklı denklem sistemleri tercih edilebilmektedir. Bununla birlikte bu yöntem ile genel olarak lineer denklem sistemi temel alınarak modeller geliştirilmektedir. Bu çalışmada, çözümü amaçlanan bu deney tasarım sistemi için iki farklı model ile iki farklı matematiksel eşitlik kullanılmıştır. İlk olarak birinci dereceden denkleme ait olan modelin genel formülünün gösterimi Eşitlik 1’de verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 \quad (1)$$

Kullanılan ikinci matematiksel eşitlikte ise birinci eşitlikten farklı olarak yeni terimler modele eklenmiştir. Parametrelerin kareleri ve parametrelerin birbirleri çarpımı da eşitliğe dâhil edilmiştir. Oluşturulan bu ikinci dereceden matematiksel denklemin temel yapısı Eşitlik 2’de görüldüğü gibidir.

$$F = \beta_0 + \beta_1xd + \beta_2xs + \beta_3xf_z + \beta_4xd^2 + \beta_5xs^2 + \beta_6xf_z^2 + \beta_7xdxs + \beta_8xdf_z + \beta_9xsx \quad (2)$$

F =Tepki Kuvveti; s =Fener Mili Devri; d =Uç Açısı; f_z = İlerleme Miktarı;

Farklı parametrelerin kullanıma bağlı olarak oluşan tepki kuvvetlerinin etkisinin incelendiği bu deney tasarımında Box-Behnken tasarım yaklaşımı tercih edilmiştir. YYY tasarımında girdi parametreleri belirlenirken, her değişken için alfa parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametre değeri 1,682 ve 1 olarak belirlenebilmektedir. Merkezi kompozit tasarım yöntemlerinden olan CCC ve CCI yöntemlerinde Alfa değeri 1,682 olmaktadır. Bu durum parametre değerlerini beş kademe oluşturarak (beş seviyeli) yapma zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır [19-21]. Gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan Box-Behnken yönteminde ise Alfa değeri 1 alınarak, her parametre için üç seviyeden oluşan bir model oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan parametreler ve parametrelerin seviyeleri gösteren değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan parametreler ve seviyeler.

Parametreler	Fener Mili Devri (s)			Uç Açısı (d)			İlerleme Miktarı (fz)		
Birimi	(dev/dak)			(derece)			(mm/dak)		
Seviyeler	Seviye -1	Seviye 0	Seviye 1	Seviye -1	Seviye 0	Seviye 1	Seviye -1	Seviye 0	Seviye 1
Seviyelerin Değerleri	800	1200	1600	100	118	136	0,025	0,05	0,075

Tablo 2.’de görülen üç parametrenin her biri için üç seviye belirlendiğinden dolayı toplam $3 \times 3 \times 3 = 27$ deney yapılması gerekmektedir. YYY kullanılan bu deney sisteminde ise modelleme için 15 veri girişi yapılmıştır. Her deneyden bir veri girişi yapılırken ortalama değerleri içeren (1200 dev/dak, 118° ve 0.05 mm/dak) deney verisi için deney üç kez tekrar edilerek veri girişi yapılmaktadır. Böylelikle toplam 13 farklı deney için 15 veri girişi ile sistem modellenmektedir. Deney sisteminde kullanılan veriler Tablo 3’de görülmektedir.

Tablo 3. Deney tasarımı ve testlerde kullanılan veriler.

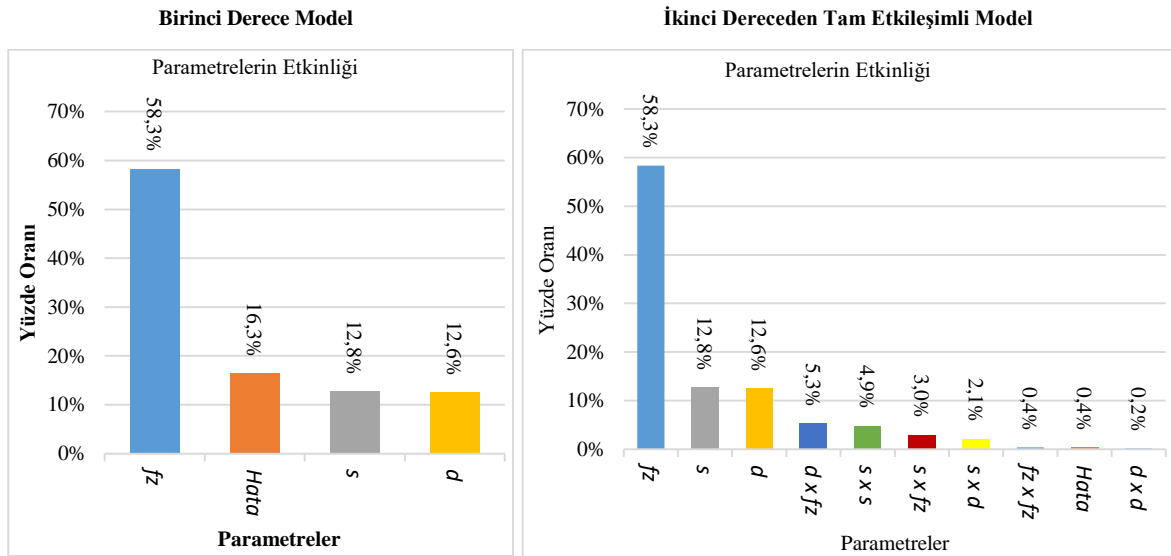
Fener Mili Devri (s) (dev/dak)	Uç Açısı (d) (derece)	İlerleme Miktarı (fz) (mm/dak)	Tepki Kuvveti (F) (N)	Yüzey Yanıt Yöntemi Model verileri (13 Deney -15 Veri) X=Yapılan Deney Sayısı
800	100	0,025	472,43	
1200	100	0,025	292,09	X
1600	100	0,025	274,7	
800	118	0,025	423,86	X
1200	118	0,025	407,12	
1600	118	0,025	388,95	X
800	136	0,025	420,25	
1200	136	0,025	288,54	X
1600	136	0,025	261,05	
800	100	0,05	784,3	X
1200	100	0,05	694,9	
1600	100	0,05	487,25	X
800	118	0,05	506,44	
1200	118	0,05	481,32	X X X
1600	118	0,05	414,92	
800	136	0,05	498,56	X
1200	136	0,05	435,84	
1600	136	0,05	403,97	X
800	100	0,075	985,04	
1200	100	0,075	844,71	X
1600	100	0,075	697,6	
800	118	0,075	897,79	X
1200	118	0,075	848,26	
1600	118	0,075	623,73	X
800	136	0,075	566,15	
1200	136	0,075	522,68	X
1600	136	0,075	490,27	

Modelleme çalışmalarında öncelikle birinci derece matematiksel denklem kullanılmıştır. Bu model ile çözümleme işlemi yapıldıktan sonra ise ikinci derece tam etkileşim model ile çözüm aranmıştır. Her iki denklem ile oluşturulan modellerin değerlendirilmesinde ANOVA analizi kullanılmıştır. Yapılan ANOVA analizi sonucu elde edilen değerler Tablo 4’de görülmektedir.

Tablo 4. Modellere ait ANOVA analizleri.

Birinci Derece Model						İkinci Dereceden Tam Etkileşimli Model					
Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri	Kaynak	DF	Adj SS	Adj MS	F Değeri	P Değeri
Model	3	401219	133740	18,79	0,000	Model	9	477677	53075	143,32	0,000
Lineer	3	401219	133740	18,79	0,000	Lineer	3	401219	133740	361,14	0,000
s	1	61357	61357	8,62	0,014	s	1	61357	61357	165,68	0,000
d	1	60309	60309	8,47	0,014	d	1	60309	60309	162,85	0,000
fz	1	279554	279554	39,27	0,000	fz	1	279554	279554	754,88	0,000
Hata	11	78310	7119			Kare	3	26555	8852	23,90	0,002
Uyumsuzluk	9	78310	8701			s x s	1	23271	23271	62,84	0,001
Saf Hata	2	0	0			d x d	1	1091	1091	2,95	0,147
Toplam	14	479529				fz x fz	1	1932	1932	5,22	0,071
						İlişkiler	3	49903	16634	44,92	0,000
						s x d	1	10248	10248	27,67	0,003
						s x fz	1	14298	14298	38,61	0,002
						d x fz	1	25357	25357	68,47	0,000
						Hata	5	1852	370		
						Uyumsuzluk	3	1852	617		
						Saf Hata	2	0	0		
						Toplam	14	479529			

Yapılan analizin daha iyi anlaşılması için parametrelerin etkinliği araştırılmıştır. Bunun için ANOVA analizi sonucunda elde edilen değerler kullanılarak parametrelerin etkinlikleri belirlenmiştir. Bu amaçla her parametreye ait kareler toplamları (Adj SS) toplam kareler toplamına bölünmüş ve sonuçlar yüzdesel olarak ifade edilmiştir. Hem birinci derece model hem de ikinci dereceden tam etkileşimli model için oluşturulan etkinlik grafikleri Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Birinci ve ikinci derece modellere ait etkinlik oranları.

Şekil 4'deki grafikler incelendiğinde, tepki kuvvetinin oluşumunda ana etkinin ilerleme miktarı parametresi olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Her iki modelde de ilerleme miktarı parametresi %58,3 etkinlik ile sonucu etkileyen birincil faktördür. Birinci derece modelde geriye kalan faktörlerden fener mili devri ve uç açısı değerleri sırasıyla %12,8 ve %12,6 ile hemen hemen aynı etkinliğe sahiptir. Bununla birlikte birinci derece model bu problemin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Çünkü %16,3 olarak şekillenen hata oranı bu modelin kullanımını sınırlamaktadır. Birinci derece modele benzer şekilde ikinci derece modelde de fener mili devri ve uç açısı sırasıyla %12,8 ve %12,6 değerleri ile aynı etkinliğe sahiptir. Bu iki model arasındaki fark hata oranının ikinci derece modelde oldukça düşük (%0,4) olmasıdır. İkinci derece modelin diğer parametresi olan uç açısı ile ilerleme miktarının etkileşimi %5,3 etkinliğe sahiptir. Fener mili devrinin kendisi ile olan etkileşimi, ilerleme miktarı ve uç açısı ile sırasıyla %4,9, %3 ve %2,1 etkinliğe sahiptir. İkinci dereceden tam etkileşimli modelin diğer parametreleri olan ilerleme miktarı ve uç açısı parametrelerini kendileri ile olan etkinliği sırası ile %0,4 ve %0,2 ile oldukça düşük etkinliğe sahiptir.

Bu çalışmada kullanılan birinci derece ve ikinci dereceden tam etkileşimli denklemler kullanılarak modellere ait hesaplama formülleri Eşitlik 3 ve 4'de görülmektedir. Modellerin birbirleri ile kıyaslanmasında kullanılacak diğer bir araç olan regresyon analizi her iki modele de uygulanmış ve bu analizlerin sonuçları Tablo 5'de sunulmuştur.

$$F = 985 - 0,2189 \times s - 4,82 \times d - 7477 \times fz \quad (3)$$

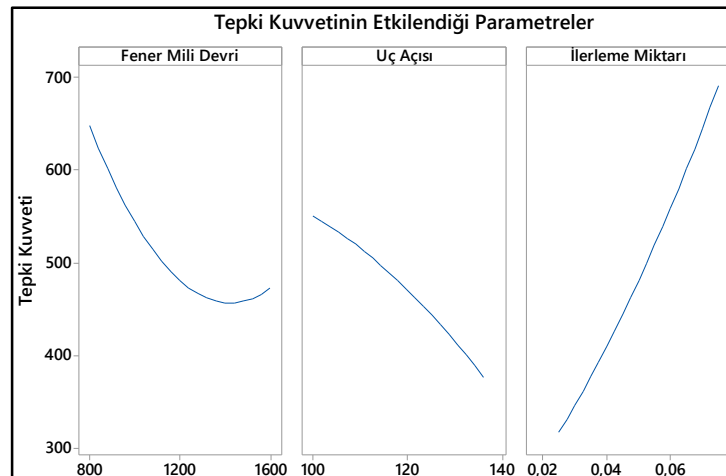
$$F = 599 - 1,940 \times s + 8,11 \times d + 31870 \times fz + 0,0005 \times s^2 - 0,0531 \times d^2 + 36598 \times fz^2 + 0,00703 \times s \times d - 5,979 \times s \times fz - 176,9 \times d \times fz \quad (4)$$

F = İtme Kuvveti; s =Fener Mili Devri; d =Uç Açısı; fz = İlerleme Miktarı;

Tablo 5. Modellere ait R² değerleri.

Model	R ²	R ² (adj)	R ² (tahmin)
Birinci Derecede Model	83,67%	79,22%	66,31%
Tam etkileşimli Model	99,61%	98,92%	93,82%

Tablo 5'den de anlaşılacağı gibi 1. dereceden modele ait R² değerleri kabul edilebilir değerlerin altındadır. Birinci derecede modele ait ANOVA analizde oluşan yüksek hata oranı ve düşük R² değeri ile bu modelin bu deney sistemi için kullanılmayacağı görülmektedir. İkinci derece model ise yüksek R² değerleri ile etkin olarak kullanılabilir. Bu nedenle deneylerde kullanılan parametrelerinin etkinliği ile ilgili inceleme yapılması ve deney sonuçlarının tahmin yeterliliğinin ölçülmesinde için ikinci derece model kullanılmıştır. Tam etkileşimli model ile parametrelerdeki değişimin analiz edilmesi için Şekil 5'de görülen grafikler kullanılmıştır.



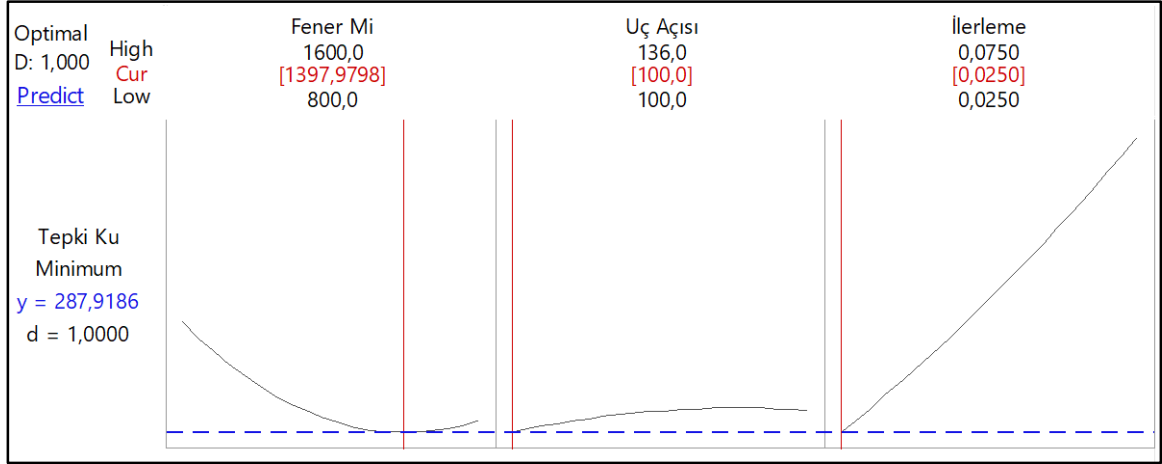
Şekil 5. Parametre değişiminin etkisi.

Şekil 5’de görüldüğü gibi her üç parametrenin de değişimi tepki kuvvetlerinin değişimine neden olmaktadır. Bununla birlikte fener mili devri ve uç açısı parametrenin değişimi Şekil 4’de verilen etkinlik oranları grafiğine benzer şekilde tepki kuvveti üzerinde sınırlı bir etki oluşturmaktadır. İlerleme miktarı parametresindeki değişim ise neredeyse lineer çizgi görünümüne bir eğri oluşturmaktadır ve artan ilerleme miktarı doğrudan tepki kuvvetini artırmaktadır. Bu durum literatürde gerçekleştirilen çalışmalar ile paralellik göstermektedir [9-10, 13]. Fener mili devri parametresinin artmasına bağlı olarak tepki kuvveti düşmektedir. Bununla birlikte fener mili devrinin en yüksek değerinde belirli bir tepki kuvveti artışı gözlenmektedir. Ancak bu durum genel eğilimi bozmamaktadır. Uç açısı parametresinde ise en düşük tepki kuvveti en büyük uç açısı ile sağlanmıştır. Parametrelerin birbiri ile ilişkilerinin anlaşılması için oluşturulan grafikler ve bu grafiklerin analizi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Parametrelerin birbiri ile ilişkileri.

	<p>Tepki kuvvetinin oluşturan faktörlerden fener mili devri ve uç açısı faktörlerinin birlikte yaptıkları etkide faktörlerin artışı tepki kuvvetini azaltmaktadır. Bununla birlikte düşük fener mili devri ile yüksek uç açısı kullanımı tepki kuvvetine etkisi daha belirgindir. tepki kuvvetinde ortaya çıkan bu etki yüksek fener mili devri ile yapılan deneylerde görülmektedir. Yüksek fener mili kullanımı halinde uç açılarındaki değişimin tepki kuvveti üzerindeki etkisi çok sınırlı kalmaktadır.</p>
	<p>İlerleme hızı ve uç açısı parametreleri birlikte değerlendirildiğinde ilerleme miktarı parametresi sonuç üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Genel olarak uç açısı değişimi tepki kuvvetinde değişikliğe neden olmamaktadır. Yüksek ilerleme miktarı ve küçük uç açısı birlikte uygulandığında tepki kuvveti hızla artmaktadır.</p>
	<p>İlerleme hızı ve fener mili devri birlikte analiz edildiğinde daha önceki grafiklere benzer şekilde ilerleme miktarı ana etkiyi oluşturmaktadır. İlerleme hızının artması tepki kuvvetini artırırken, fener mili devrinin değişimi ciddi bir etki oluşturmamaktadır. Fakat yüksek ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde düşük fener mili tepki kuvvetini artırmaktadır.</p>

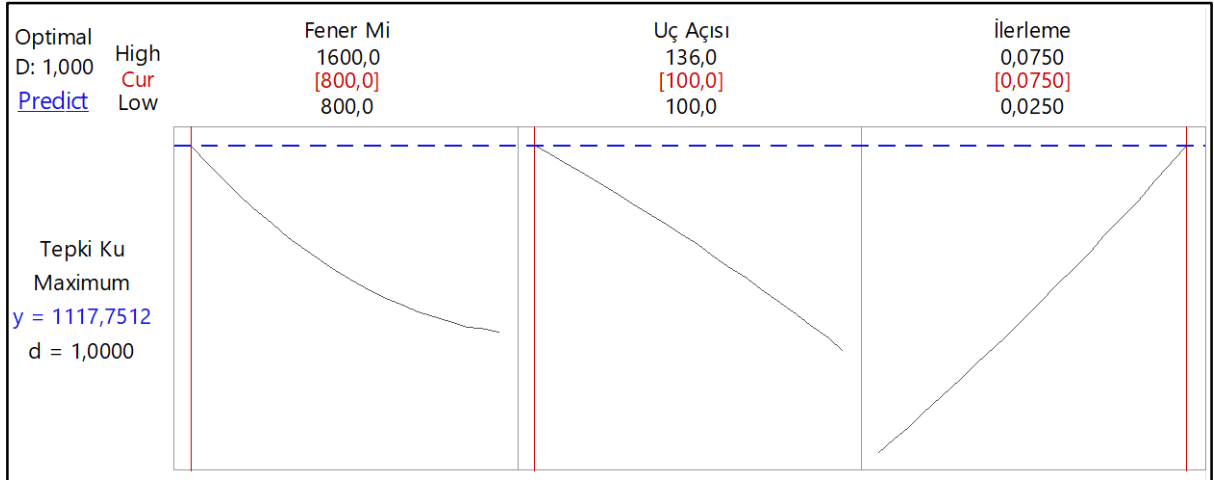
Genel olarak parametrelerin birbiri ile ilişkilerinde ilerleme miktarı ana faktör olarak göze çarpmaktadır. Ayrıca ilerleme miktarı parametresi dışındaki parametrelerin sonuca etkisi sınırlı olmaktadır. Ancak yüksek ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde ilgi çekici şekilde diğer parametrelerin etkinliği artmaktadır. Bu durumda düşük uç açısı ve düşük fener mili sonuç üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır. Deneylerde hedeflenen en düşük tepki kuvvetini elde etmek için bu parametrenin hangi değerlerde kullanılması gerektiğini gösteren değerler ve grafikler Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Düşük tepki kuvvetini oluşturan parametre değerleri.

Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde mevcut deney şartlarında oluşabilecek en düşük tepki kuvveti yaklaşık 288 N olarak görülmektedir. Bu kuvvetin elde edilmesi için fener mili devrinin yaklaşık 1400 dev/dak, uç açısının 100° ve ilerleme miktarı parametresinin ise 0,025 mm/dak olarak seçilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte kaçınılmazı gereken yüksek tepki kuvvetinin en yüksek olduğu durumda ayrıca Şekil 7'de görülmektedir.

Şekil 7'deki grafiklerde de görüldüğü gibi en yüksek tepki kuvveti yaklaşık olarak 1117 N dur. Yüksek tepki kuvvetleri talaşlı imalat işlemlerinde istenmeyen bir durumdur. Fener mili devrinin 800 dev/dak Uç açısının 100° ve ilerleme miktarının 0,075 mm/dak olması en yüksek tepki kuvvetinin oluşuma neden olmaktadır.



Şekil 7. Yüksek tepki kuvvetini oluşturan parametre değerleri.

Oluşturulan modelin tahmin yeteneği bu modelin uygulana bilirliliğinin analizinde oldukça önemlidir. Deney verileri içinden seçilen rasgele veriler kullanılarak modelin tahmin yeteneği incelenmiştir. Model ile hesaplanan sonuçlar ve bu sonuçların deney sonuçlarına yakınsama miktarı grafiksel olarak Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 7 incelendiğinde tahminlerin 0,964 R2 değeri ile yüksek tutarlılıkla gösterdiği görülmektedir. Tahminlerin yüzde yakınsaması ise %91 olarak şekillenmiştir. Grafik incelendiğinde ise deney sonuçları ile tahminler aynı grafik içerisinde benzer noktalarda oluşmaktadır. Daha yüksek R2 değerine ulaşılması için deney şartlarının iyileştirilmesi modele ait tahmin yeteneğini arttırabilecektir.

Tablo 7. Modelin Tahmin Yeteneği.

Rasgele Seçilen Deney Verilerine ait Tahminler			
Deney No	Deney Sonuçları	Tahminler	Yüzde Tahmin Yeteneği
1	472,43	465,069	%98
2	274,7	308,261	%88
3	420,25	349,429	%83
4	414,92	473,133	%86
5	435,84	377,306	%87
6	985,04	1117,751	%87
7	697,6	721,794	%97
8	490,27	490,134	%100
Ortalama Yüzde Tahmin Yeteneği			%91
R ² Değeri			0,964

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, tepki kuvveti üzerinde etkiye sahip fener mili devri, kesici uç açısı ve ilerleme miktarı parametrelerinin değişiminin analizi elde edilmiştir. Oluşturulan modellerden gerek lineer modelde gerekse ikinci derece modelde en etkin parametre ilerleme miktarı parametresidir. Bununla birlikte lineer modelin yüksek hata oranı ve düşük R² değerleri ile bu problemin çözülmesi amacıyla kullanılması uygun olmayacağı sonucuna varılmıştır. Parametrelerin etkinliği değerlendirildiğinde en etkin parametre olan ilerleme miktarı parametresinin artması tepki kuvvetini önemli oranda (ortalama %225) arttırmaktadır. Fener mili devri ve kesici uç açısındaki artışlar ise tepki kuvvetini düşürmekte fakat bu etki ilerleme miktarı parametresinin etkisi kadar belirgin olmamaktadır. Parametrelerin birlikte incelendiğinde ilerleme miktarı dışındaki parametrelerin sonuç üzerinde sınırlı etkiye sahip olduğu yüksek ilerleme miktarı düşük kesici uç açısının ve düşük fener mili devrinin tepki kuvvetini arttıracak gözlemlenmiştir. Talaşlı imalat için istenen düşük tepki kuvvetinin oluşmasında düşük uç açısı ve düşük ilerleme miktarı değerlerinin yanında yüksek fener mili devrinin tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Deney sonuçları ile tahmin sonuçları karşılaştırıldığında modelin oluşturulmasında uygulanan yüzey yanıt yönteminin bu problemin modellenmesinde başarılı bir şekilde kullanılacağı gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Chen WC, Tsao CC. Cutting performance of different coated twist drills. J Mater. Process Technol 1999; 88: 203 – 207.
- [2] Lazar MB, Xiraouchakis P. Mechanical load distribution along the main cutting-edges in drilling. J Mater Process Technol 2013; 213: 245 – 260.
- [3] Kalidas S, Devor RE, Kapoor SG. Experimental investigation of the effect of drilling coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions. Surf Coat Technol 2001; 148:117 – 128.
- [4] Palanikumar K, Muniaraj A. Experimental investigation and analysis of thrust force in drilling cast hybrid metal matrix (Al-15%SiC-4%graphite) composites. Measurement 2014; 53: 240 – 250.
- [5] Sui J, Kountanya R, Guo C. Development of a mechanistic force model for CNC drilling process Simulation. Procedia Manuf 2016; 5: 787 – 797.
- [6] Çelik YH, Yıldız H. Effect of cutting parameters on workpiece and tool properties during drilling of Ti-6Al-4V. Wear Test 2016; 58: 519 – 525.
- [7] Ema S. Effect of twist drill point geometry on torque and thrust. Sci Rep Edu Gifu Univ 2012; 36: 165 – 174.
- [8] Ghosh R, Sarkar R, Paul SS, Pal K. Biocompatibility and drilling performance of beta tricalcium phosphate: Yttrium phosphate bioceramic composite. Ceram Int 2016; 42: 8263 – 8273.
- [9] Çaydaş U Çelik M. Investigation of the effects of cutting parameters on the surface roughness, tool temperature and thrust force in drilling of AA-T6 alloy. J Polytech 2017; 20 (2): 419 – 425.
- [10] Kyrtasis P, Markopoulos AP, Efklidis N, Maliagkas V, Kakoulis K. Prediction of Thrust Force and Cutting Torque in Drilling Based on the Response Surface Methodology. Machines 2018; 6(24): 1-12.

- [11] Raja R, Krishnadraj V, Jannet S. Experimental Investigation of High Speed Drilling on GFRP/Aluminium Multi Material., *Indian J Sci Technol* 2017; 10(47): 1-9.
- [12] Efkolidis N, Hernández CG, Talón JLH, Kyratsis P. Modelling and Prediction of Thrust Force and Torque in Drilling Operations of Al7075 Using ANN and RSM Methodologies., *Strojniški vestnik - J Mech Engin* 2018; 64(6): 351-361.
- [13] Valarmathi TN, Palanikumar K, Sekar S. Modelling of thrust force in drilling of plain medium density fiberboard (MDF) composite panels using RSM. *Procedia Engin* 2012; 38: 1828 – 1835.
- [14] Palanikumar K, Muniaraj A. Experimental investigation and analysis of thrust force in drilling cast hybrid metal matrix (Al–15%SiC–4% graphite) composites. *Measurement* 2014; 53: 240–250.
- [15] Chaudhary G, Kumar M, Verma S, Srivastav A. Optimization of drilling parameters of hybrid metal matrix composites using response surface methodology. *Procedia Mater Sci* 2014; 6: 229 – 237.
- [16] Anarghya A, Harshith DN, Nitish RS, Nayak N, Gurumurthy BM, Abhishek VNS, Patil IG. Thrust and torque force analysis in the drilling of aramid fibre-reinforced composite laminates using RSM and MLPNN-GA. *Heliyon* 2018; 4(11), e00938.
- [17] Shuang Y, Guangxian L, Songlin D, John M. Performance and mechanisms of graphene oxide suspended cutting fluid in the drilling of titanium alloy Ti-6Al-4V. *J Manuf Process* 2017; 29: 182-193.

Fotovoltaik Panel ile Beslenebilen SynRM Tasarımı ve Kontrolü

Güllü BOZTAŞ^{1*}, Ömür AYDOĞMUŞ², Hanifi GÜLDEMİR³

^{1,3} Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Mekatronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ gboztas@firat.edu.tr, ² oaydogmus@firat.edu.tr, ³ hguldemir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 02/07/2019;

Kabul/Accepted: 29/09/2019)

Öz: Senkron Relüktans Motor (SynRM) sağlam ve basit yapı, düşük maliyetli üretim, birim hacim başına yüksek moment imkânı, kontrol basitliği, alan zayıflatma kabiliyeti ve rotor sargılarının bulunmaması nedeniyle azalan kayıplar gibi birçok avantaja sahiptir. Bu yüzden, bu motorlar çok sayıda endüstriyel ve otomotiv uygulamalar için ilgi çekici hale gelmeye başlamıştır. Düşük çap ve düşük gerilime sahip bir motor ile yüksek moment üretilmesi oldukça zordur. Bu makalede; fotovoltaik (PV) panellerin ürettiği düşük gerilim seviyesiyle çalışabilen bir SynRM tasarımı amaçlanmıştır. Bu motor iyi bir dinamiğe sahip, yüksek kalkış momentli ve yüksek verimli bir motor olarak tasarlanmıştır. Motor, akım başına düşen maksimum moment (MTPA) kontrol algoritması ile kontrol edilmiştir. Ayrıca panellerden maksimum güç elde edilebilmesi için Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma motorun hız-referans bilgisini otomatik olarak değiştirerek sistemin maksimum verimde çalışmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, geleneksel sistemlere göre daha verimli, daha kompakt ve kullanım kolaylığı sağlayan bir sistem elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynağı, AC Motor Sürücüsü, Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT), Senkron Relüktans Motor (SynRM).

Design and Control of SynRM Fed by Photovoltaic Panel

Abstract: Synchronous reluctance motors (SynRM) have many advantages such as robust and simple construction, low cost production, high torque capability, per unit volume, field weakening capability, reduced power losses due to lack the of the rotor windings. Therefore, these motors have become interesting for many industrial and automotive applications. It is so difficult to produce high torque using small dimension motor and low voltage. In this paper, it is aimed that design of the SynRM which can operate with low voltage level generated by photovoltaic (PV) panels. This motor has a good dynamic, high starting torque and high efficiency. The motor was controlled by using maximum torque per amper (MTPA) control algorithm. Additionally, Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm was used to obtain maximum power from the panels. This algorithm has automatically adjusted the speed-reference information of the motor and provided operating at the maximum efficiency of the system. In this study, a system having more efficient, more compact and ease of use was obtained than the traditional systems.

Key words: Renewable Energy, AC Motor Drive, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Synchronous Reluctance Motor (SynRM).

1. Giriş

Teknolojideki gelişmelerle birlikte enerji ihtiyacının her geçen gün artması, enerjinin daha verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir kısmını elektrik motorları oluşturmaktadır. Bu yüzden motorun ve kontrolünün verimliliği enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. İndüksiyon motorlar (IM) endüstriyel motorlar arasından en ucuz olanıdır. IM'lerin üretimi neredeyse bir yüzyıl boyunca devam etmektedir. Fakat IM'lerdeki kayma, motor verimliliğini azaltır ve hız/pozisyon geri bildirimini olmaksızın hızı kontrol etmek oldukça zordur. Ayrıca, hız-moment karakteristiği birçok motora göre kötü olduğu söylenebilir. IM'ler endüstriyel uygulamalar için son zamanlara kadar neredeyse rakipsizdi. Ancak son gelişmeler ile birlikte SynRM gibi daha iyi özelliklere sahip motorlar IM'lere rakip olmaya başlamıştır. SynRM'nin ilk teorik çalışmaları 1923'te Kostko tarafından yapılmıştır [1]. Fakat o dönemde elde edilen SynRM düşük verim ve zayıf moment karakteristiğinden dolayı endüstriyel amaç için uygun olmamıştır. Bu sebeplerden dolayı uzun bir süre boyunca bu motorun diğer elektrik motorlarına göre daha az önemli olduğu düşünülmüştür [1]. Bazı araştırmacılar çalışmalarında relüktans motorun potansiyelinin farkına varmışlardır [2]. Fakat alan yönlendirme kontrollerin (FOC, Field Oriented Control) bu çalışmaların yapıldığı zamanlarda henüz bilinmemesinden dolayı bu

* Sorumlu yazar: gboztas@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0002-1720-1285, ² 0001-8142-1146, ³ 0003-0491-8348

araştırmacılar pratikte relüktans motoru elde edememişlerdir. IM'lere benzer stator yapısına sahip SynRM'ler üzerine ilgi 1960'lara dayanmaktadır. Bu motorun kalkış yapabilmesi için kafes sargılarına ihtiyaç duyulmuştur. Güç elektroniği teknolojisinin gelişmesiyle birlikte tüm bu problemler giderilmiştir. Elektrik enerjisinin tasarrufu için artan ihtiyaçlar ile birlikte endüstriyel üreticilerin SynRM'lere olan ilgisi artmıştır [2–4]. Daha sonraki yıllarda değişken frekanslı sürücülerin kullanılmasıyla birlikte SynRM'lerin daha doğru analiz edilmesi ve daha doğru motor tasarımı yapılması sağlanmıştır. 1960 ve 1980 yılları arasında Enine Laminasyonlu Anizotropi (TLA) ve Eksenel Laminasyonlu Anizotropi (ALA) yapısı üzerine çalışmalar yapılmıştır [2, 4].

Son zamanlarda tasarımdaki gelişmeler sayesinde SynRM'nin moment kapasitesi ve enerji verimliliği artırılmıştır. Ancak SynRM'lerin ek rotor sargıları olmadan şebekeye doğrudan bağlantı yaparak kalkış yapması mümkün değildir. Enerji kayıplarını minimize etmek ve sistemin performansını artırmak için elektrik motorlarının frekans konverterleri tarafından beslenmesi son zamanlarda popüler olmuştur. Böylece, değişken hız uygulamalarında SynRM'lerin frekans konverterleriyle birlikte kullanılması geleneksel IM'lerin yerini almasını mümkün kılmıştır. SynRM'lerin rotor yapısı IM'lerin rotor yapısından daha basit ve üretimi oldukça kolaydır. SynRM'nin daha basit bir yapı sunması, onu birçok amaç için ideal hale getirmektedir. Ayrıca, enerji kayıplarının düşük olmasından dolayı bu motorların verimleri IM'lere göre daha yüksektir. SynRM'nin düşük enerji kayıplarından dolayı aynı boyuttaki IM'lerin momentinden % (15–20) daha fazla moment üretebilir [5].

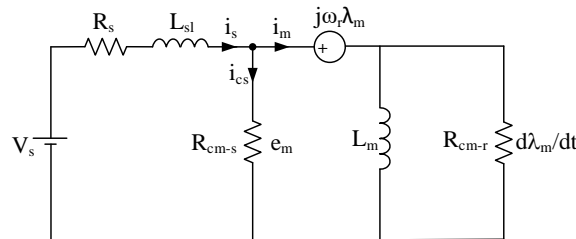
Güç elektroniği tabanlı sürücülerin gelişimiyle elde edilen yeni imkânlardan dolayı SynRM, kapalı çevrim kontrolü altında kolayca kontrol edilebilir ve çalıştırılabilir [6–9]. Alan yönlendirmeli kontrol (FOC-Field Oriented Control) [8] doğrudan moment kontrolü (DTC-Direct Torque Control) veya benzer yöntemler SynRM için literatürde sunulmuştur [6]. Kapalı çevrim kontrolü altında SynRM'nin, yüksek verimlilikle değişken hız çalışması istenildiğinde SynRM'nin güçlü endüstriyel rakibi olan IM ile karşılaştırıldığında bazı avantajları olduğu gösterilmiştir.

Lokal olarak çalışabilen düşük güçlü sistemlerin şebekeden bağımsız olarak güneş enerjisi yardımıyla üretilen elektrik enerjisinden beslenmesi büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bilindiği gibi güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için PV paneller kullanılmaktadır. Bu hücrelerin ürettikleri gerilim seviyesi çok düşük ve Doğru Akım (DA) gerilim olduğu için günlük yaşamımızda kullanılan 220 V, 50 Hz Alternatif Akım (AA) gerilime çıkarılması ve ayarlanması gerekmektedir. Bu yüzden PV hücrelerden elde edilen DA gerilim boost konverter yardımıyla yükseltilmekte ve bir inverter yardımıyla şebeke gerilimine dönüştürülmektedir. Bununla birlikte sistemden daha yüksek verim elde etmek için MPP'de çalışma sağlanmalıdır. MPPT, boost konverter veya akü şarj cihazı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Yüksek maliyetli ve karmaşık bir yapıya sahip olan bu sistemler, birçok firma tarafından üretilmektedir [10].

Bu çalışmada; akü, akü şarj yönetim sistemi ve boost konverter kullanılmadan sadece motor ve sürücü yapısı kullanılarak düşük gerilimle çalışabilen bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemde güneşten elde edilen düşük gerilim seviyesini artırmaya gerek kalmamaktadır. Böylece boost konverter ve karmaşık güç elektroniği yapısının bir kısmı ortadan kalkmaktadır. Elde edilen bu sistem, şebekeden bağımsız olarak düşük gerilimle çalışabilen bir elektrik motorundan ve inverterden oluşmaktadır. Böylece daha sağlam, daha ucuz ve daha kompakt bir yapı elde edilebilmiştir. Ayrıca panellerden maksimum güç elde edilebilmesi için MPPT algoritması motorun hız-referans bilgisini otomatik olarak değiştirerek sistemin maksimum verimde çalışmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, MotorSolve programı kullanılarak SynRM tasarlanmıştır.

2. SynRM'nin Matematiksel Modeli

SynRM rotorunda alan sargısı veya mıknatıs mevcut değildir. Şebeke ile doğrudan kalkış yapmayı sağlayan rotordaki kısa devre çubuklu kafes kullanılmadığı için motor uygun bir sürücü kontrolü ile sıfır hızda bile senkron olarak başlatılması sağlanabilir. Geleneksel bir SynRM'nin eşdeğer devresi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. SynRM'nin eşdeğer devresi.

SynRM denklemleri Denklem (1)-(3) arasında verilmiştir.

$$V_s = R_s i_s + j\omega L_{sl} i_s + e_m \quad (1)$$

$$e_m = \frac{d\lambda_m}{dt} + j\omega \lambda_m \quad (2)$$

$$i_s = i_{cs} + i_m \quad (3)$$

Burada V_s ve i_s stator gerilim ve akımıdır. R_s ve L_{sl} , stator direnci ve sızıntı indüktansdır. e_m , hava boşluğu elektromotor kuvvetidir. i_{cs} ve i_m , stator çekirdeği demir kaybı akımını ve stator mıknatıslanma akımını göstermektedir. Ayrıca λ_m , hava boşluğu akı bağlantısıdır.

SynRM'nin moment ifadesi Denklem (4)'de verilmiştir.

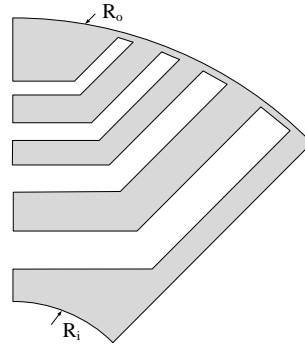
$$T = \frac{3P}{2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \quad (4)$$

Burada λ_{ds} ve λ_{qs} , d ve q -eksen akılarıdır. i_{ds} ve i_{qs} stator d ve q -eksen akımlarıdır. P kutup sayısı, L_{ds} ve L_{qs} stator indüktanslarıdır.

SynRM'de d ve q eksen indüktanslarının oranı (L_d/L_q) çıkıntı oranını (ξ) temsil eder. Motordan yüksek moment elde etmek için çıkıntı oranının artırılması gerekmektedir [8, 11–15]. Yüksek performans için hedeflenen tasarım, yüksek L_d elde etmek için d -eksendeki akıyı yönlendirmeyi sağlayarak ve L_q parametresini düşürmek için q -eksenine akı bariyeri koyularak yapılır.

3. SynRM Tasarımı ve Kontrolü

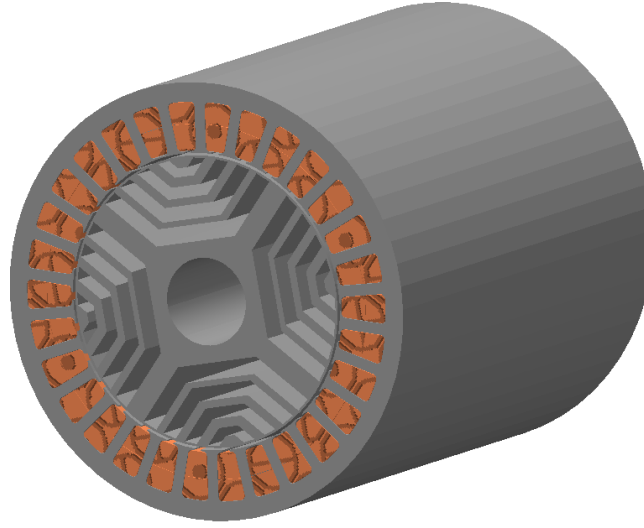
Motor tasarımında ilk olarak motorun mekanik kısıtlamaları belirlenmelidir. Motor gövdesi; sargıları, rulman yataklarını ve diğer mekanik parçaları dış ortamdaki nemden, kimyasallardan, mekanik hasarlardan ve aşınmaya karşı korumak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada; 4-inç ve 0,65 kW değerinde pompa motor tasarımı yapılmıştır. Stator dış çapı, motor gövdesinin iç çapı ile belirlenen tolerans değerinde uygunluğunun sağlanabilmesi için 90,35 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca stator 30 oluklu olarak kullanılmıştır. Motorun rotor yapısı Şekil 2'de verilmiştir. Rotorun hem d -eksen indüktansını arttırmak hem de q -eksen indüktansını azaltmak için rotor nüvesine q -ekseni boyunca akı bariyerleri yerleştirilmiştir. Tasarlanan motor Şekil 2'de görüldüğü gibi 4-bariyerlidir. Rotorun dış yarıçapı (R_o) 24,5 mm ve iç yarıçapı (R_i) 8 mm'dir.



Şekil 2. Tasarlanan motorun rotor yapısı.

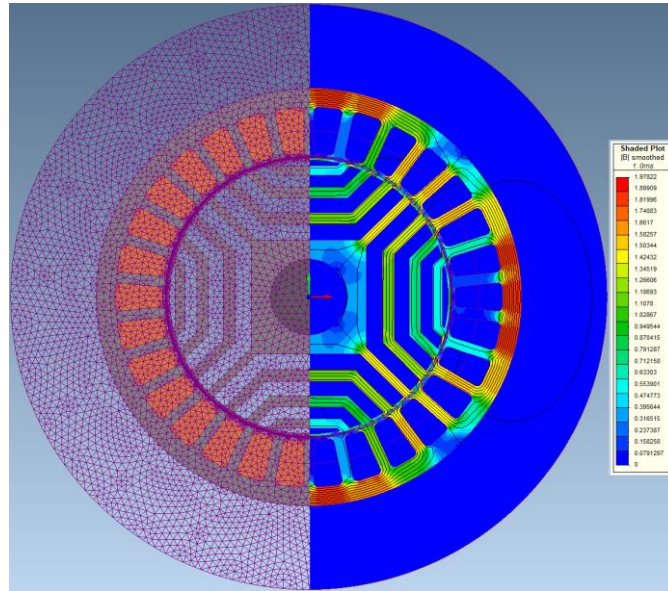
SynRM moment üretiminde en büyük etkiyi rotor geometrisi oluşturmaktadır. İlerleme açısının üretilen moment üzerinde etkisi oldukça önemli bir parametredir. Bu çalışmada; tasarlanan motor için en iyi ilerleme açısı 47° olarak belirlenmiştir. Elektriksel derece cinsinden rotorun d -ekseni ile a -fazı sargısının merkezi arasındaki açı ilerleme açısına eşit olduğu zaman a -fazının akımı maksimum olur.

Belirtilen değerlere göre tasarlanan motorun yapısı Şekil 3'te gösterilmiştir.



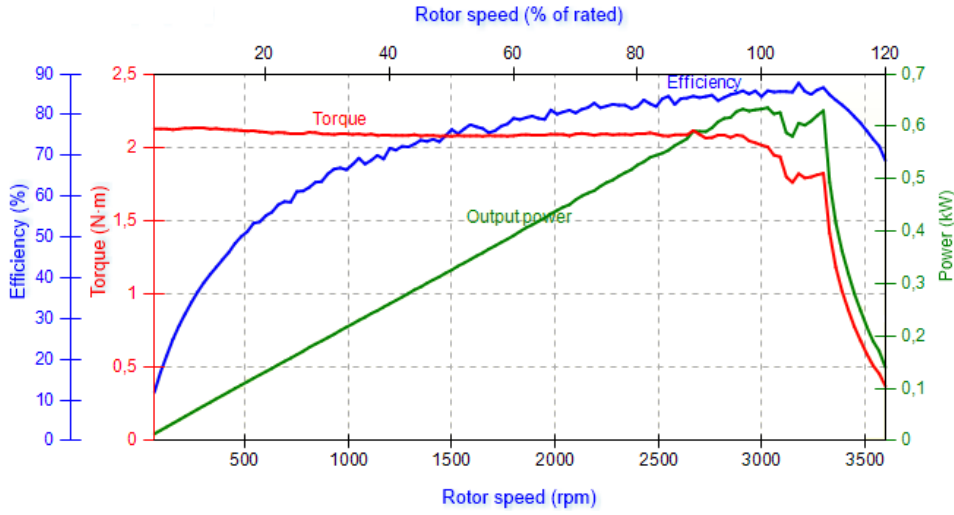
Şekil 3. Tasarlanan motorun rotor ve stator yapısı.

MotorSolve programıyla tasarlanan motorun hem MotorSolve programında hem de Magnet programında analiz sonuçları Şekil 4'te verilmiştir [16-17]. Motorun maksimum akı değeri yaklaşık 2 T'dir. Motorun akı dağılımı ve yönlendirmeleri arzu edildiği şekilde gerçekleşmiştir.



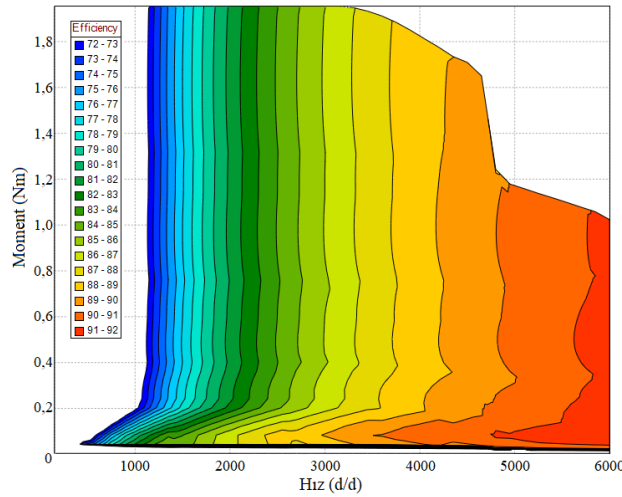
Şekil 4. Sol: Motor ızgara görünümü, Sağ: Motor akı çizgisi dağılımı.

Tasarlanan motorun 10 kHz anahtarlama frekansında Şekil 5'te görüldüğü gibi hıza göre verim, moment ve çıkış gücü eğrileri verilmiştir [16]. Motor sabit moment bölgesinde çalıştırılmıştır. Motor sürekli durumda nominal hıza kadar yaklaşık 2 Nm moment üretebilmiştir. Motorun çıkış gücü yaklaşık 633 W olarak ölçülmüştür. Motor verimi tam yük koşulları altında yaklaşık %85 civarındadır. Sargı kayıpları 88,2 W, demir kayıpları 19,8 W ve Darbe Genişlik Modülasyon sürücü kayıpları 18,4 W olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sürtünme ve ventilasyon kayıpları ihmal edilmiştir.



Şekil 5. Tasarlanan motorun moment, verim ve çıkış gücünün hıza göre değişim eğrileri.

Şekil 6'da tasarlanan motora ait verim haritası verilmiştir. Motor veriminin hız ile doğru orantılı olarak arttığı ve hız arttıkça üretilen maksimum momentin azaldığı görülmektedir. Motor nominal hızda çalışırken; %10 yük değerinde ve üstündeki değerlerde yaklaşık %85-87 arasında verime sahip olduğu görülmektedir.



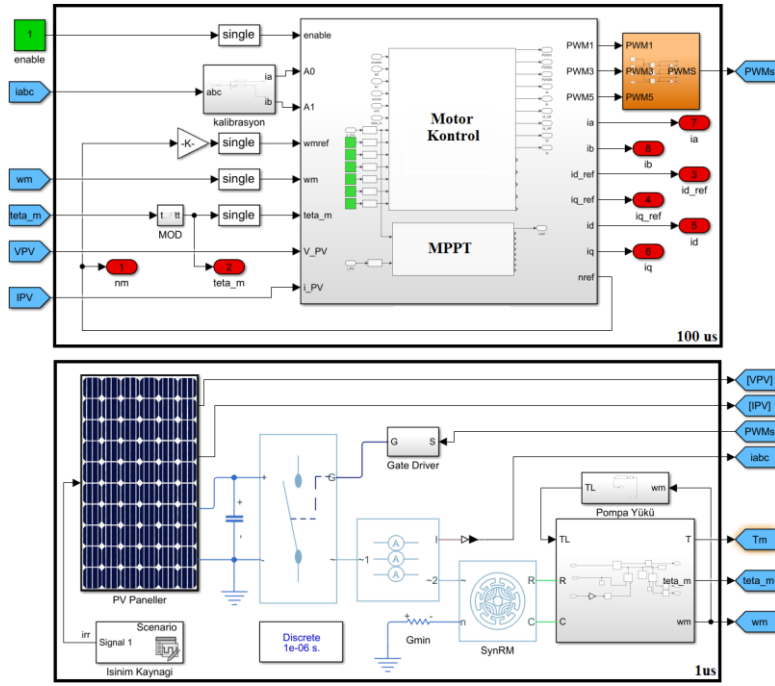
Şekil 6. Tasarlanan motorun verim haritası.

4. Benzetim Sonuçları

AA motor kontrolü; d ve q -eksen akımlarıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada; akım başına düşen momenti maksimum yapan MTPA kontrol algoritması kullanılmıştır. MTPA stratejisi, verimlilik açısından önemlidir. Bu kontrol algoritmasında; d ve q -eksen akımları eşit tutulmaktadır. Böylece moment/akım oranının maksimum olması sağlanmaktadır. Işınım ve sıcaklıkla birlikte güneş hücrelerinin değişken MPP'lerinden dolayı MPPT algoritmaları PV uygulamaları için gereklidir. Literatürde birçok farklı MPPT algoritmaları mevcuttur. Bu çalışmada; Değişir ve Gözetle-P&O (Perturb and Observe) algoritması sisteme uygun olarak modifiye edilerek kullanılmıştır.

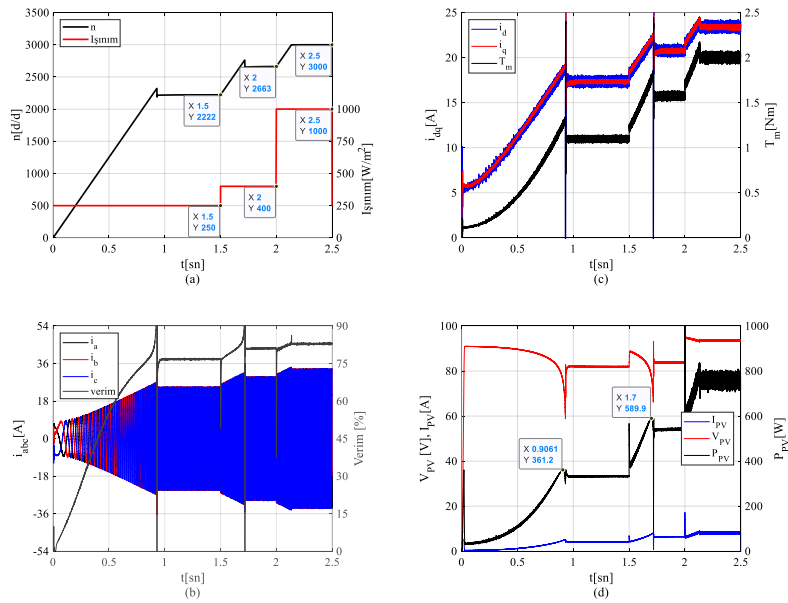
Tasarlanan motor ve kontrolü Şekil 7'de verilen MATLAB benzetim ortamında test edilmiştir.

Fotovoltaik Panel ile Beslenebilen SynRM Tasarımı ve Kontrolü



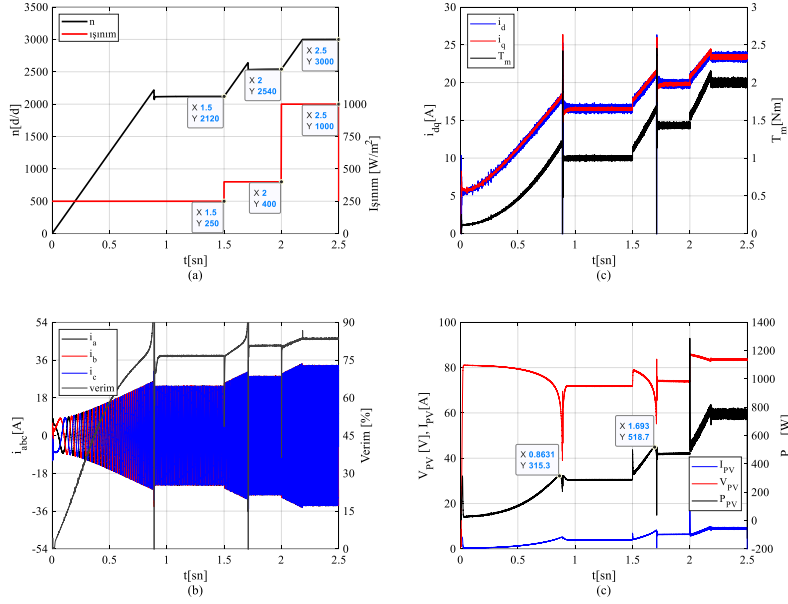
Şekil 7. PV panel için oluşturulan benzetim ortamı.

Sırasıyla 250 W/m^2 , 400 W/m^2 ve 1000 W/m^2 ışınım koşulları altında ve 25°C sabit sıcaklık için sisteme ait değişkenler incelenmiştir. Hız, akım, verim, PV panel akımı, gerilim ve güç eğrileri Şekil 8'de gösterilmiştir. Motor hızı, ışınım değişimine göre MPPT algoritması ile ayarlanmıştır. Sistemde 2 seri, 2 paralel olmak üzere toplamda 4 adet PV (LG395N2T-A5) panel kullanılmıştır. Şekil 8a'da görüldüğü gibi ışınım arttıkça motor hızının nominal hıza yaklaştığı görülmektedir. 1000 W/m^2 ışınım koşulları altında motor veriminin yaklaşık %83 olduğu Şekil 8b'de verilmiştir. Şekil 8c'de görüldüğü gibi MTPA kontrol algoritması sayesinde i_d ve i_q akımları eşitlenmiştir. Böylece daha yüksek moment elde edilmesi sağlanmıştır.



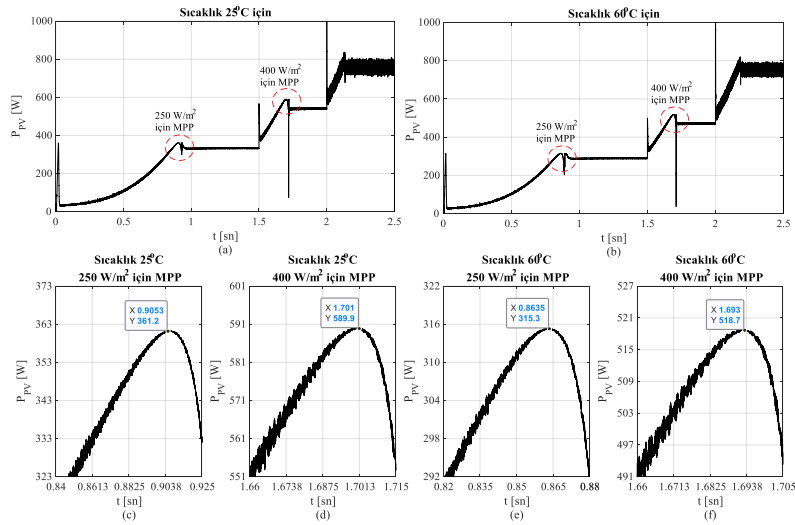
Şekil 8. 25°C sabit sıcaklık için; a) Hız ve Işınım, b) Stator akımları ve verim, c) i_d , i_q ve T_m momentleri, d) PV panele ait akım, gerilim ve güç eğrileri.

Şekil 8’de verilen aynı ışınım koşulları altında 60°C sıcaklık için benzer çalışma durumları Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 8a ve Şekil 9a karşılaştırıldığında sıcaklık arttıkça benzer ışınım koşullarında motor referans hızının azaldığı görülmektedir. Ayrıca motor 3-faz akımları, motor i_d , i_q akımları ve T_m momentine ait değişimler ile PV panel akım, gerilim ve güç eğrileri sırasıyla Şekil 9b, Şekil 9c ve Şekil 9d’de verilmiştir.



Şekil 9. 60°C sabit sıcaklık için; a) Hız ve Işınım, b) Stator akımları ve verim, c) i_d , i_q ve T_m momenti.

Aynı ışınım koşulları altında ortam sıcaklığı 25°C’den 60°C’ye çıktığında meydana gelen değişiklikler Şekil 10’da detaylı olarak verilmiştir. Sıcaklık farkından dolayı 250 W/m² ışınımında 45 W’lık bir güç farkı olduğu Şekil 10c ve Şekil 10e’de görülmektedir. Benzer şekilde 400 W/m² ışınımında ise güç farkının yaklaşık 71 W olduğu Şekil 10d ve Şekil 10f’de gösterilmiştir. Benzetim sonuçları hem MTPA hem de MPTT algoritmalarının doğru çalıştığını göstermektedir.



Şekil 10. Farklı ışınımlardaki P_{PV} gücü değişimi; a) 25°C için b) 60°C için, 25°C ‘de MPP noktası; c) 250 W/m² için, d) 400 W/m² için, 60°C ‘de MPP noktası; e) 250 W/m² için, f) 400 W/m² için MPP noktası.

5. Sonuç

Bu çalışmada, düşük gerilim seviyesinde çalışabilen yüksek verimli bir SynRM tasarlanmıştır. Motor çıkış gücü 650W civarında elde edilebilmiştir. Motor nominal hızına kadar sabit moment değerinde çalışabilmiştir. Ayrıca motor nominal hız ve yük koşulu altında maksimum verimini sağlayabilmiştir. Tasarlanan motor yaklaşık %85 verime sahip olduğu hesaplanmıştır. Motordan maksimum performans alabilmek için MTPA kontrolü kullanılmıştır. Bu kontrol algoritmasında, d ve q eksen akımları birbirine eşit tutularak aynı yük koşullarında statordan çekilen akım minimize edilmeye çalışılmıştır. Tasarlanan motor kontrolünde, güneş panellerinden elde edilen düşük gerilim seviyesi yükseltilmeden doğrudan inverter dc-hattı olarak kullanılmıştır. PV panelden maksimum verim elde edebilmek için geleneksel MPPT algoritması modifiye edilerek motor referans hızını belirlenmesi sağlanmıştır. MPP noktası değiştiğinde motor hız referansı değiştirilerek bu noktada çalışması sağlanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre; düşük maliyetli, yüksek verimli ve sağlam bir yapıya sahip olan SynRM'nin düşük gerilim ile çalışabileceği gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TUBİTAK)-116E116 nolu proje ile vermiş oldukları finansal destekten dolayı teşekkür ederiz. Bu makale Güllü BOZTAŞ'a ait doktora tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kostko JK. Polyphase reaction synchronous motors. J Am Inst Electr Eng. 1923; 42(11): 1162-1168.
- [2] Cruickshank AJO, Anderson AF, Menzies RW. Theory and performance of reluctance motors with axially laminated anisotropic rotors. Proc Inst Electr Eng. 1971;118(7): 887-894.
- [3] Douglas JFH. Pull-in criterion for reluctance motors. Trans Am Inst Electr Eng Part II Appl Ind. 1960; 79(3): 139-142.
- [4] Cruickshank AJO, Menzies RW, Anderson AF. Axially laminated anisotropic rotors for reluctance motors. Proc Inst Electr Eng. 1966; 113(12): 2058-2060.
- [5] Boglietti A, Pastorelli M. Induction and synchronous reluctance motors comparison. In: 2008 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics; 10-13 Nov. 2008; Orlando, FL, USA: IEEE. pp. 2041-2044.
- [6] Boldea I. Reluctance Synchronous Machines and Drives. Clarendon Press, 1996.
- [7] Fernandez-Bernal F, Garcia-Cerrada a., Faure R. Efficient control of reluctance synchronous machines. IECON '98 Proc 24th Annu Conf IEEE Ind Electron Soc; 1998; Aachen, Germany, pp. 923-928.
- [8] Betz RE. Theoretical aspects of control of synchronous reluctance machines. IEE Proc B Electr Power Appl. 1992; 139(4): 355-364.
- [9] Xu L, Xu X, Lipo TA, Novotny DW. Vector control of a synchronous reluctance motor including saturation and iron loss. IEEE Trans Ind Appl. 1991; 27(5): 977-985.
- [10] Aydogmus O. Design of a solar motor drive system fed by a direct-connected photovoltaic array. Adv Electr Comput Eng. 2012; 12(3): 53-58.
- [11] Lipo TA. Synchronous Reluctance Machines-A Viable Alternative for AC Drives? Electr Mach Power Syst. 1991; 19(6): 659-671.
- [12] Staton DA, Miller TJE, Wood SE. Maximising the saliency ratio of the synchronous reluctance motor. IEE Proc B Electr Power Appl. 1993; 140(4): 249-259.
- [13] Betz RE, Lagerquist R, Jovanovic M, Miller TJE, Middleton RH. Control of synchronous reluctance machines. IEEE Trans Ind Appl. 1993; 29(6): 1110-1122.
- [14] Chiba A, Fukao T. A closed-loop operation of super high-speed reluctance motor for quick torque response. IEEE Trans Ind Appl. 1992; 28(3): 600-606.
- [15] Tuovinen T. Model-based position estimation for synchronous reluctance motor drives. PhD, Aalto University, Finland, 2014.
- [16] Boztas G, Aydogmus O, Caner M, and Guldemir H. Design, optimisation and implementation of low-voltage synchronous reluctance motor for solar-powered systems. IET Power Electronics. 2019; 12(7): 1679-1685.
- [17] Boztas G. Düşük Gerilim ile Beslenen Senkron Relüktans Motor ve Sürücü Tasarımı, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2019.

Irak ve Batman Bitümleri Kullanılan SEBS Modifiyeli Bağlayıcıların Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Erkut YALÇIN^{1*}, Anıl BAYKARA¹, Mehmet YILMAZ¹, Baha Vural KÖK¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ erkutyalcin@firat.edu.tr, ¹ anilbykr@gmail.com, ¹ mehmetyilmaz@firat.edu.tr, ¹ bvural@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 08/07/2019;

Kabul/Accepted: 18/01/2020)

Öz: Çalışmada, Kuzey Irak'ta bulunan LANAZ rafinerisinden ve Batman TÜPRAŞ rafinerisinden 2 farklı B 160/220 sınıfı saf bitüm temin edilmiştir. Bu bitümlere 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) stiren-etilen-bütadien-stiren (SEBS) ilave edilerek modifiye bitümler hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bitümlere penetrasyon, yumuşama noktası, iki farklı sıcaklıkta (135 ve 165°C) dönel viskozite deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca dinamik kayma reometresi (DSR) deneyleri ile tekerlek izi oluşumuna karşı dayanım parametreleri ($G^*/\sin \delta$) belirlenmiştir. Farklı sıcaklık ve yükleme hızlarında DSR deneyi uygulanarak farklı koşullarda kompleks kayma modülü (G^*) değerleri ile faz açıları belirlenmiştir. SEBS katkısı kullanılması ile bağlayıcıların penetrasyon ve faz açısı değerlerinin azaldığı, yumuşama noktası, viskozite, tekerlek izi parametresi, kompleks kayma modülü değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yüksek sıcaklık dayanımı açısından Irak LANAZ rafinerisinden temin edilen bitümün Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen saf bitüme göre daha olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Modifiye bitümler değerlendirildiğinde Irak LANAZ bitümüne göre Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda daha etkili modifiye bitümler elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bitüm, Modifikasyon, Polimer, SEBS, Reoloji.

Investigation of Rheological Properties of SEBS Modified Binders Using Iraq and Batman Bitumens

Abstract: In the study, 2 different B 160/220 class pure bitumen were obtained from LANAZ refinery located in Northern Iraq and Batman TÜPRAŞ refinery. Modified bitumens were prepared by adding styrene-ethylene-butadiene-styrene (SEBS) in 3 different ratios (2%, 3% and 4%). Penetration, softening point and rotational viscosity tests at two different temperatures (135 and 165°C) were applied to pure and modified bitumens. In addition, resistance to rutting parameters ($G^*/\sin \delta$) were determined by dynamic shear rheometer (DSR) tests. The complex shear modulus (G^*) values and phase angles were determined in different conditions by applying DSR test at different temperature and loading rates. It was determined that the penetration and phase angle values of the binders were decreased and the softening point, viscosity, resistance to rutting parameter and complex shear modulus values increased with SEBS additive. As a result of the analyzes, it was determined that bitumen obtained from Iraq LANAZ refinery gave more positive results in terms of high temperature resistance than pure bitumen obtained from Batman TÜPRAŞ refinery. When modified bitumens were evaluated, it was found that more effective modified bitumens were obtained according to Iraq LANAZ bitumen in case Batman TÜPRAŞ bitumen was used.

Key words: Bitumen, Modification, Polymer, SEBS, Rheology.

1. Giriş

Avrupa şartnamesine (EN 12597) göre bitüm, ham petrolden üretilen veya doğal asfaltta bulunan, toluen içinde tamamı veya tamamına yakını çözünen, ortam sıcaklıklarında aşırı viskoz veya katıya yakın kıvamda olan, yapışkan ve su geçirmez bir malzeme olarak tanımlanmaktadır [1]. Bitüm özellikleri, üretildiği ham petrol özelliklerinin yanı sıra, üretim ve işleme prosedürüne büyük ölçüde bağlıdır [2]. Kaliteli ham petrol ve uygun damıtma işlemleri bitüm özelliklerini iyileştirebilmektedir [3]. Karayolu esnek üstyapıları tabakalı bir yapıya sahip olup en üst tabakada bağlayıcı olarak bitüm türevlerinin kullanıldığı kaplama tabakaları yer almaktadır. Bitümlü bağlayıcılar, adezyon ve kohezyon özelliği ile agregaları bağlayarak kaplamaya dayanım sağlamanın yanı sıra geçirimsiz bir yüzey oluşturmaktadır [4]. Böylece trafik yüklerine ve çevresel etkenlerden oluşan gerilmelere dayanıklı karayolu üstyapıları elde edilebilmektedir. Kaplama sınıfı bitümlü bağlayıcılar rafinerilerde petrolün rafinajından elde edilmekte olup kıvamına göre çeşitli alt gruplara ayrılmaktadır. Kıvamı yüksek olan (B 160/220 gibi) bitümler genellikle sathi kaplama ve yama işlerinde kullanılırken kıvamı düşük olan bitümler (B 50/70) gibi genellikle bitümlü sıcak karışım üretiminde tercih edilmektedir. Düşük kıvamlı bitümler yüksek kıvamlı bitümlere göre daha iyi yüksek sıcaklık performansı sergilemektedir.

* Sorumlu yazar: erkutyalcin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-6389-4211, ¹ 0000-0001-5532-1950, ¹ 0000-0002-2761-2598, ¹ 0000-0002-7496-6006

Rafinerilerde üretilen yüksek kıvamlı bitümler normal trafik hacimlerinde, ağır taşıt miktarının fazla olmadığı bölgelerde ve sıcaklığın aşırı yüksek olmadığı kesimlerde yeterli performans sergilemesine rağmen günümüzde artan ağır taşıt sayısı, bitüm kalitesindeki değişim ve iklimsel farklılıklar gibi nedenlerle üstyapıların servis ömrünü tamamlamadan erken bozulmalara neden olabilmektedir. Ayrıca agrega gibi bitümde yenilenemeyen bir kaynaktır. Bu nedenle sürdürülebilirlik açısından doğaya verilecek zararı en aza indirecek çözümler üretilmesi gerekmektedir. Bitüme özelliklerini iyileştirecek katkı maddeleri ilave ederek ekonomi, çevre ve performans açısından fayda elde etmek bu alanda son yıllarda üzerinde en fazla çalışılan konuların başında gelmektedir. Bitümlü bağlayıcılar kullanılan üstyapı tabakalarında tekerlek izi oluşumu, düşük ısı çatlakları, nem hasarı, yorulma çatlakları, yaşlanma gibi tasarım, malzeme veya yapım kaynaklı kusurlar meydana gelmektedir. Bu kusurları engellemek veya geciktirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddelerinin genel sınıflarını; polimerler, kimyasal modifiyerler, genleştiriciler, antioksidanlar, hidrokarbonlar ve soyulma önleyiciler oluşturmaktadır [5]. Bu katkılar içerisinde en fazla tercih edilenler başta stiren-bütadien-stiren (SBS) olmak üzere elastomer grubu polimerlerdir [6]. SBS, tüm doymamış kauçuklar gibi yaşlanmaya maruz kalır ve bu nedenle kaplamada kullanılan asfaltın geri dönüşüm olasılığını azaltmaktadır [7]. Bu nedenle, SBS'ye benzer yapıya sahip fakat yaşlanma direnci yüksek doymuş polimerlere ilgi artmaktadır [7]. Bu bağlamda, oldukça belirgin bir seçenek, SBS'nin basit hidrojenlenmesi ile elde edilen stiren-etilen-bütadien-stiren blok kopolimeridir (SEBS) [7]. SEBS elastomer polimer grubunda yer almakta olup bitüme ilave edildiğinde bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık dayanımlarını, yaşlanmaya ve ultraviyole ışınlar karşı dayanımını olumlu etkilemektedir [8-12].

Bitüm; yapı olarak asfaltten ve maltenlerden (doymuş yağlar, aromatikler ve reçineler) oluşmaktadır [13]. Asfaltten bitümün kıvamını sağlayan bileşenken maltenler bitümün elastik davranış sergilemesini sağlamaktadır. Elastomer grubu (SEBS gibi) polimerler bitüme ilave edildiklerinde bitümün yapısında bulunan maltenleri bünyesine almakta böylece bitümün polimer benzeri davranış sergilemesini sağlamaktadır. Bu nedenle etkili bir modifiye bitüm elde edilmesi katkı türüne, kullanılan katkı oranına, bitümün kimyasal yapısına ve karıştırma prosedürüne bağlıdır [14,15].

Çalışma kapsamında iki farklı kaynaktan (Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ rafinerileri) temin edilen bitümlü bağlayıcılara 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) SEBS polimeri ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcılar üzerinde geleneksel deneylerin (penetrasyon, yumuşama noktası, viskozite) yanı sıra dinamik kayma reometresi (DSR) deneyi uygulanarak bağlayıcıların reolojik özellikleri incelenmiştir. DSR deneyi, farklı sıcaklıklarda ve frekanslarda uygulanmış, modelleme yapılarak bağlayıcıların ana eğrileri elde edilmiştir. Uygulanan deneylerle, farklı kaynaklardan temin edilen bağlayıcıların SEBS ile modifiye edilmesi durumunda bağlayıcı özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenerek modifiye bitüm hazırlanmasında kullanılan saf bağlayıcıların etkisi değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, Irak'ın kuzeyinde bulunan LANAZ Rafinerisi'nden ve TÜPRAŞ Batman Rafinerisi'nden temin edilen B 160/220 sınıfı bitümler ana bağlayıcı olarak, Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen SEBS G 1650 polimer katkı maddesi kullanılmıştır. SEBS, saf bitüme %2, %3 ve %4 oranlarında ilave edilmiştir. Modifiye bitümler, 1000 rpm hıza sahip bir karıştırıcı ile 180°C sıcaklıkta saf bitüm ve katkı malzemesinin 60 dakika süreyle karıştırılması sonucu elde edilmiştir [16]. Çalışmada kullanılan modifiye bitüm mikseri ve SEBS polimeri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Modifiye bitüm mikseri ve SEBS'nin görünüşü

Çalışmada, kullanılan bağlayıcı türüne ve SEBS içeriğine göre modifiye bitümlerin kısa isimlendirmeleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan bitümlerin kısa isimlendirmeleri

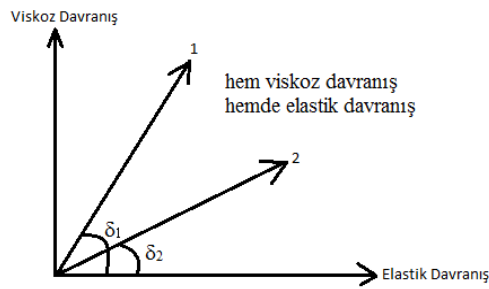
Bitüm Kaynağı	SEBS İçeriği (%)			
	0	2	3	4
Irak LANAZ	I-SAF	I-SEBS-2	I-SEBS-3	I-SEBS-4
Batman TÜPRAŞ	B-SAF	B-SEBS-2	B-SEBS-3	B-SEBS-4

Bağlayıcılar üzerinde EN 1426 standardına uygun olarak penetrasyon, EN 1427 standardına uygun olarak yumuşama noktası, ASTM D4402 standardına uygun olarak dönel viskozite ve AASHTO TP5 standardına uygun olarak dinamik kayma reometresi deneyi uygulanmıştır [17-20]. Çalışmada kullanılan bağlayıcı deney cihazları Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan bağlayıcı deney cihazları

Bitümün viskoelastik ve termoplastik davranışını dikkate alarak bitümün karakteristik reolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla farklı sıcaklık ve frekanslarda DSR deneyi yapılmıştır. Bu deneyde, karakteristik özellikler, bağlayıcıların kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısı (δ) ölçülerek belirlenmiştir. Bu özellikler yüklenme sıcaklığına ve yüklenme süresine bağlıdır. DSR deneyinde düşük frekans yavaş yüklenme hızını ifade ederken yüksek frekans hızlı yüklemeleri göstermektedir. Bitümlü bağlayıcılar yüksek sıcaklıklarda viskoz akışkanlar gibi ve düşük sıcaklıklarda ise elastik katılar gibi davranırlar [21].

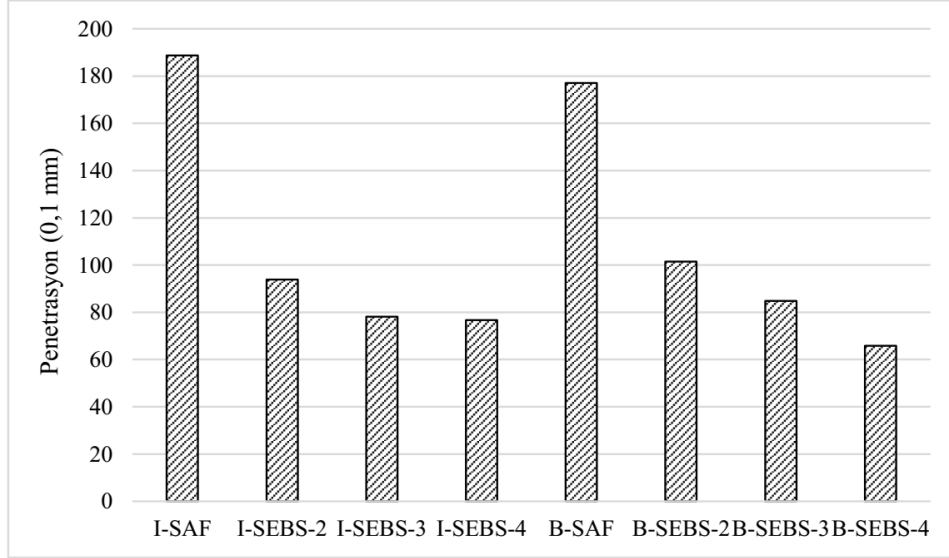


Şekil 3. Viskoz ve elastik davranış [19]

Asfaltlar normal ortam sıcaklıklarında hem viskoz sıvılar ve hem de elastik katılar gibi davranırlar. Kaplamaya yük uygulandığı zaman deformasyonun bir kısmı elastiktir yani geri alınabilir bir kısmı ise viskozdur yani geri alınamaz. Asfaltın visko-elastik malzeme olarak adlandırılmasının nedeni hem viskoz hem de elastik davranış göstermesi sebebiyledir. Şekil 3’te 1 ve 2 ile gösterilen her iki malzeme de viskoelastiktir. Ancak şekilde 2 ile gösterilen malzeme şekilde 1 ile gösterilen malzemedan daha esnektir [21, 22]. Çalışma kapsamında saf ve modifiye bağlayıcılara 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda 0,01 ile 10 Hz aralığında 10 farklı frekansta dinamik kayma reometresi deneyi uygulanarak bağlayıcıların farklı koşullardaki reolojik davranışları geniş bir aralıkta değerlendirilmiştir.

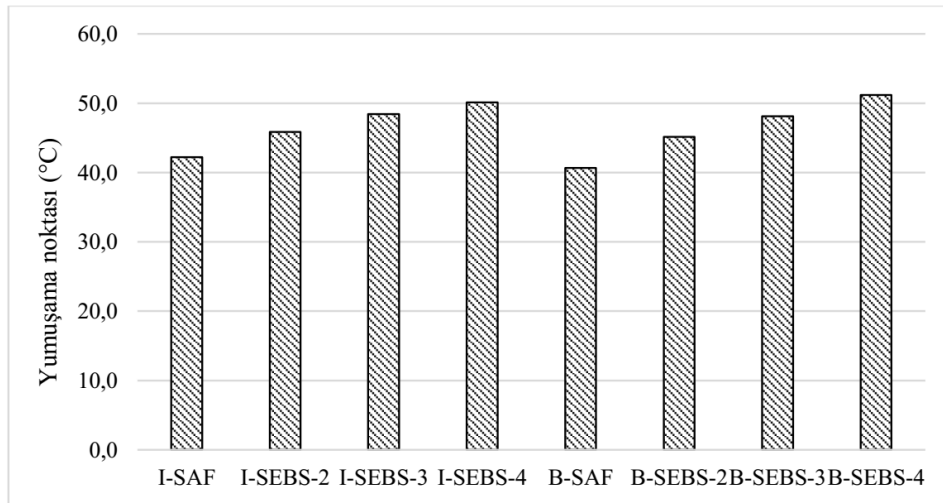
3. Deneysel Çalışma

Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ saf bitümleri ile bu bitümler kullanılarak 3 farklı oranda SEBS ilave edilerek hazırlanan modifiye bitümlere uygulanan penetrasyon deney sonuçları Şekil 4'te görülmektedir.



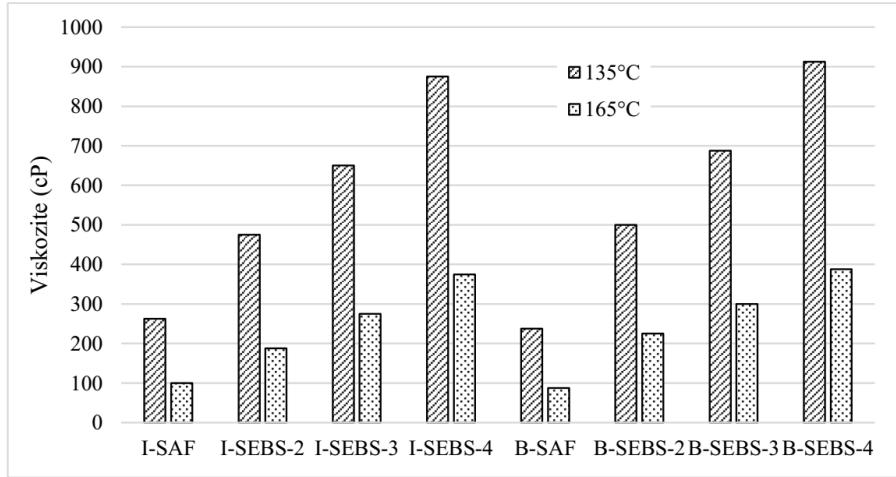
Şekil 4. Saf ve SEBS modifiyeli bitümlerin penetrasyon deney sonuçları

Şekil 4'te görüldüğü üzere hem SEBS kullanımı ile bağlayıcı kıvamları artmış, bu nedenle penetrasyon değerleri azalmıştır. Hem LANAZ hem de TÜPRAŞ'tan temin edilen bitümler B 160/220 sınıfı olmalarına rağmen LANAZ bitümünün penetrasyonunun daha yüksek, TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bitümün penetrasyon değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Irak LANAZ bitümüne %2, %3 ve %4 oranlarında SEBS ilave edildiğinde ise penetrasyon değerleri sırasıyla %50,3; %58,6 ve %59,4 oranlarında azalırken TÜPRAŞ bitümü kullanılması ile penetrasyon değerleri saf bitüme göre sırasıyla %42,7; %52,1 ve %62,8 oranlarında azalmıştır. SEBS modifiyeli bitümlerde, %2 ve %3 katkı içeriğinde LANAZ bitümünün %4 katkı içeriğinde ise TÜPRAŞ bitümünün daha etkili olduğu, farklı bitüm kullanımının modifiye bitümlerin penetrasyon değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bağlayıcıların yumuşama noktası değerleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Saf ve SEBS modifiyeli bitümlerin yumuşama noktası deney sonuçları

Şekil 5'te görüldüğü üzere katkı kullanımı ile yumuşama noktası değerleri artmıştır. Irak bitümünü ve Batman bitümünün yumuşama noktası değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Ana bağlayıcı olarak LANAZ bitümü kullanılması durumunda %2, %3 ve %4 SEBS modifiyeli bitümlerde yumuşama noktası değerleri saf bitüme göre sırasıyla %8,6; %14,8 ve %18,7 oranlarında artmıştır. TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda ise yumuşama noktası değerleri saf bitüme göre sırasıyla %11,1; %18,3 ve %26,0 oranlarında artmıştır. Yumuşama noktası değerlerinden bitüm menşei ve katkı içeriğinin modifiye bitümün etkinliği üzerinde büyük etkisi olduğu söylenebilmektedir. Penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinden SEBS katkısının bitümlü bağlayıcıların yüksek sıcaklık dayanımını arttırdığı belirlenmiştir. Saf ve modifiye bitümlere 135 ve 165°C sıcaklıkta uygulanan dönel viskozite deneylerinden elde edilen viskozite sonuçları Şekil 6'da görülmektedir.



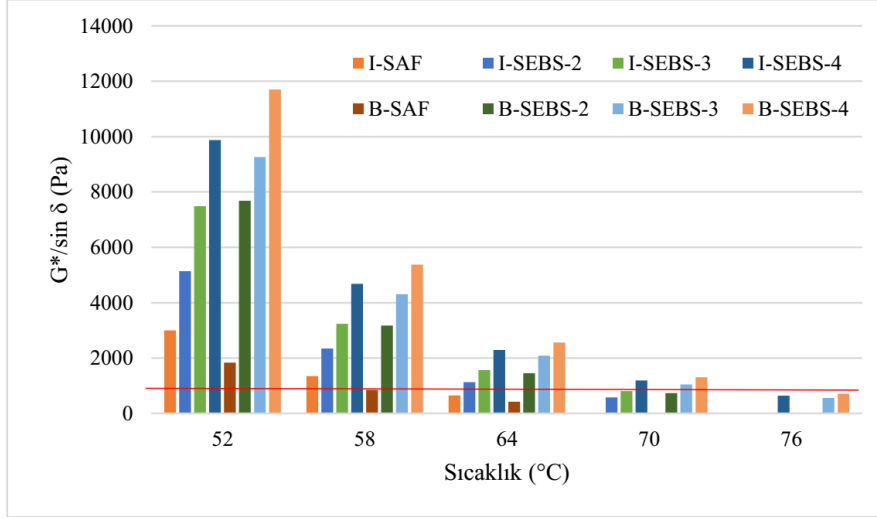
Şekil 6. Saf ve SEBS modifiyeli bitümlerin 135 ve 165°C sıcaklıktaki viskozite değerleri

Şekil 6'da görüldüğü üzere saf Irak bitümünün viskozite değerlerinin saf Batman bitümünün viskozite değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hem 135 hem de 165°C sıcaklıkta katkı kullanımı ile viskozite değerleri önemli oranda artmıştır. Bütün bağlayıcıların 135°C sıcaklıktaki viskozite değerlerinin 3000 cP değerinden düşük olması, bağlayıcıların işlenebilirlik ve pompalanabilirlik açısından uygun olduğunu göstermektedir.

135°C sıcaklıkta LANAZ bitümü kullanılması ile %2, %3 ve %4 SEBS modifikasyonu ile viskozite değerleri saf bitüme göre %81,0; %147,6 ve %233,3 oranlarında artarken TÜPRAŞ bitümü kullanılması ile %110,5; %189,5 ve %284,2 oranlarında artmıştır. 165°C sıcaklıkta ise %2, %3 ve %4 SEBS modifikasyonunda viskozite değerleri LANAZ bitümü kullanılması ile sırasıyla %87,5; %175,0 ve %275,0 oranlarında artarken TÜPRAŞ bitümü kullanılması ile %157,1; %242,9 ve %342,9 oranlarında artmıştır. Viskozite deney sonuçlarından modifikasyonda kullanılacak ana bağlayıcının modifikasyon üzerinde önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Bağlayıcılara farklı sıcaklıklarda uygulanan DSR deneylerinden elde edilen tekerlek izi parametresi ($G^*/\sin \delta$) değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

Katki kullanımı ile tekerlek izi parametresi değerleri artarken sıcaklığın artması ile bu değerler azalmıştır. Saf bitümler değerlendirildiğinde aynı penetrasyon sınıfına sahip olmalarına rağmen LANAZ bitümünün TÜPRAŞ bitümüne göre tekerlek izi oluşumuna karşı dayanım açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Superpave tasarım yöntemine göre orijinal (yaşlandırılmamış) bağlayıcılarda tekerlek izi oluşmaması için uygulanan deney sıcaklığında tekerlek izi parametresinin ($G^*/\sin \delta$) en az 1000 Pa olması gerekmektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere 52, 58 ve 64°C sıcaklıkta bütün modifiye bitümler tekerlek izi parametresi şartname gereksinimi olan 1000 Pa şartını sağlamıştır. 70°C sıcaklıkta Irak bitümü kullanılan %4 SEBS modifiyeli bitümün, Batman bitümü kullanılan %3 ve %4 SEBS modifiyeli bitümlerin tekerlek izi şartname gereksinimini sağladığı tespit edilmiştir. 76°C sıcaklıkta ise hiçbir bağlayıcı şartı sağlayamamıştır. Irak bitümü kullanılması durumunda %2 SEBS modifikasyonunda $G^*/\sin \delta$ değerinde ortalama %73,4; %3 SEBS modifikasyonunda %144,0 ve %4 SEBS modifikasyonunda ortalama %243,7 oranında artış meydana gelmiştir. Batman bitümü kullanılması durumunda ise modifikasyonda SEBS katkı maddesinden %2, %3 ve %4 kullanılması ile tekerlek izi parametresi değeri sırasıyla %278,1; %400,5 ve %525,0 oranlarında artmıştır. Her ne kadar Irak bitümünün tekerlek izi

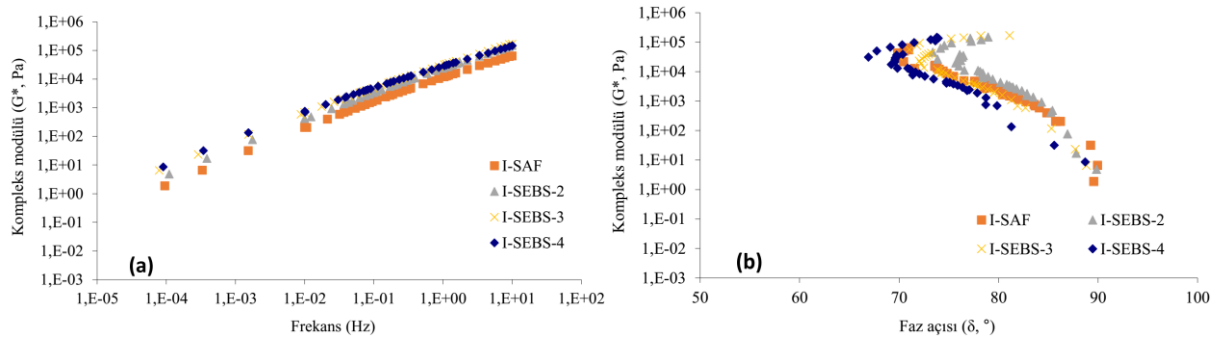
parametresi Batman bitümünden yüksek olsa da modifikasyon sonucunda Batman bitümü kullanılan bağlayıcılar tekerlek izi parametresini saf bağlayıcıya göre daha fazla arttırmıştır. Bu durum SEBS modifikasyonu için tekerlek izi dayanım parametresi açısından Batman bitümünün Irak bitümüne göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.



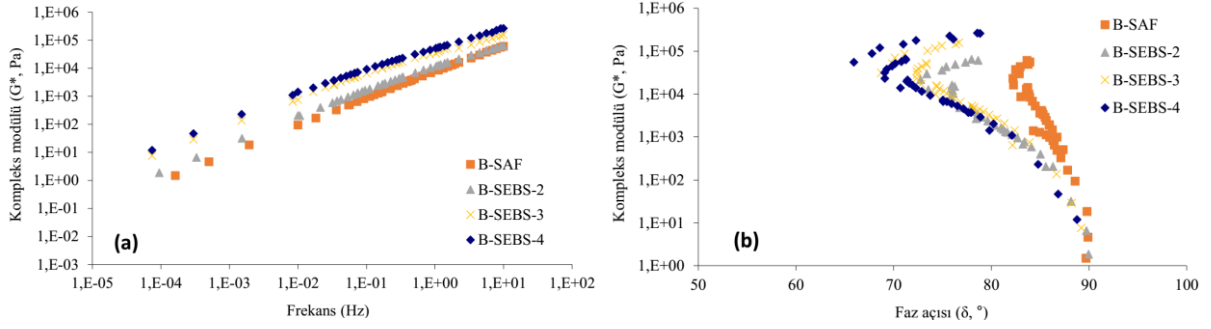
Şekil 7. Tekerlek izi parametrelerinin bitüm türü ve SEBS içeriği ile değişimi

DSR deney sonuçlarından SEBS kullanımı ile bağlayıcıların tekerlek izi dayanım parametrelerinin arttığı belirlenmiştir. Sıcaklığın artması ile bu değerler azalmıştır. Saf bağlayıcılar karşılaştırıldığında Irak LANAZ bitümünün Batman TÜPRAŞ bitümüne göre daha iyi sonuç verdiği, modifiye bitümler karşılaştırıldığında ise modifikasyonda Batman TÜPRAŞ bitümünün daha etkili sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir. Tekerlek izi parametrelerinden saf bitüm kullanılması durumunda Irak LANAZ bitümünün modifiye bitüm üretiminde ise Batman TÜPRAŞ bitümünün tercih edilmesinin daha uygun olacağı söylenebilmektedir.

Çalışmada ayrıca saf ve modifiye bitümlere 40, 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta 0,01-10 Hz frekans aralığında 10 farklı frekansta dinamik kayma reometresi deneyi uygulanarak bitümlü bağlayıcıların farklı şartlardaki reolojik davranışı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen deney sonuçları superpoze edilerek ana eğrileri (master curve) Malvern Bohlin DSR yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Irak LANAZ bitümü kullanılarak hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin kompleks modüllerinin ana eğrileri ve siyah diyagramları Şekil 8'de, Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılarak hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin kompleks modüllerinin ana eğrileri ve siyah diyagramları ise Şekil 9'da görülmektedir.



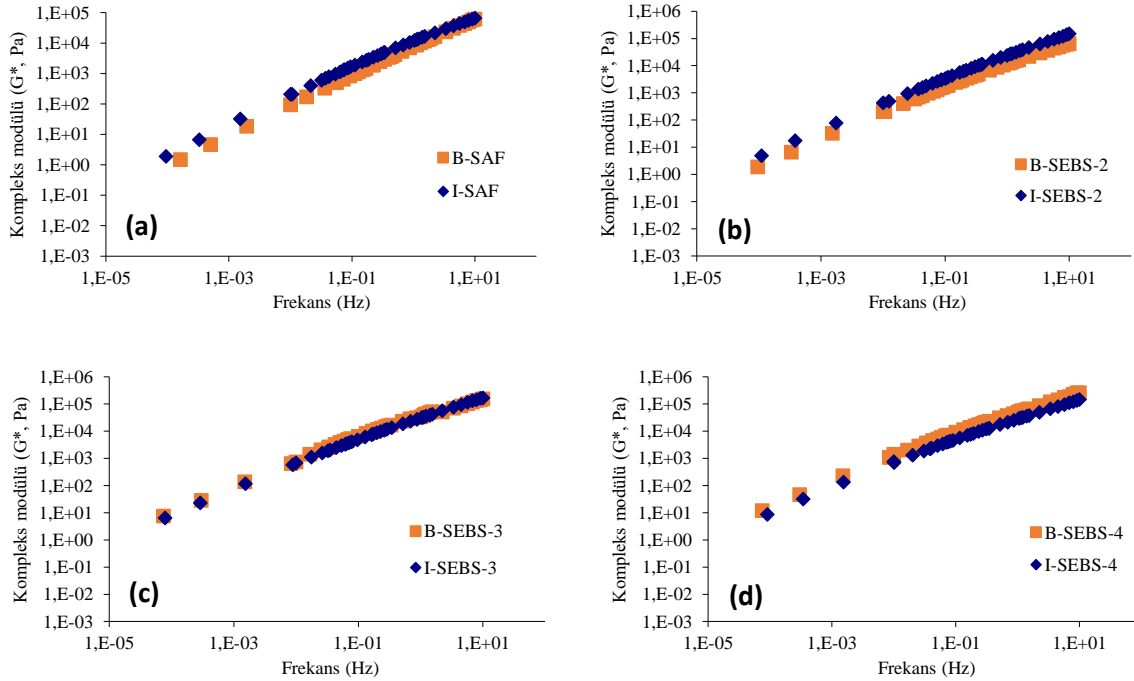
Şekil 8. Irak LANAZ bitümü ile hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin ana eğrileri (a) ve siyah diyagramları (b)



Şekil 9. Batman TÜPRAŞ bitümü ile hazırlanan SEBS modifiyeli bitümlerin ana eğrileri (a) ve siyah diyagramları (b)

Şekil 8 (a) ve Şekil 9 (a)'da görüldüğü üzere frekansın ve SEBS içeriğinin artması ile kompleks kayma modülü değerleri artmıştır. Şekil 8 (a)'da görüldüğü üzere Irak LANAZ bitümü kullanılması durumunda ana eğriler birbirine yakın çıkarken Şekil 9 (a)'da görüldüğü üzere özellikle %3 ve %4 SEBS içeriğinde kompleks kayma modülü değerlerinin saf bağlayıcıdan önemli oranda yüksek olduğu belirlenmiştir.

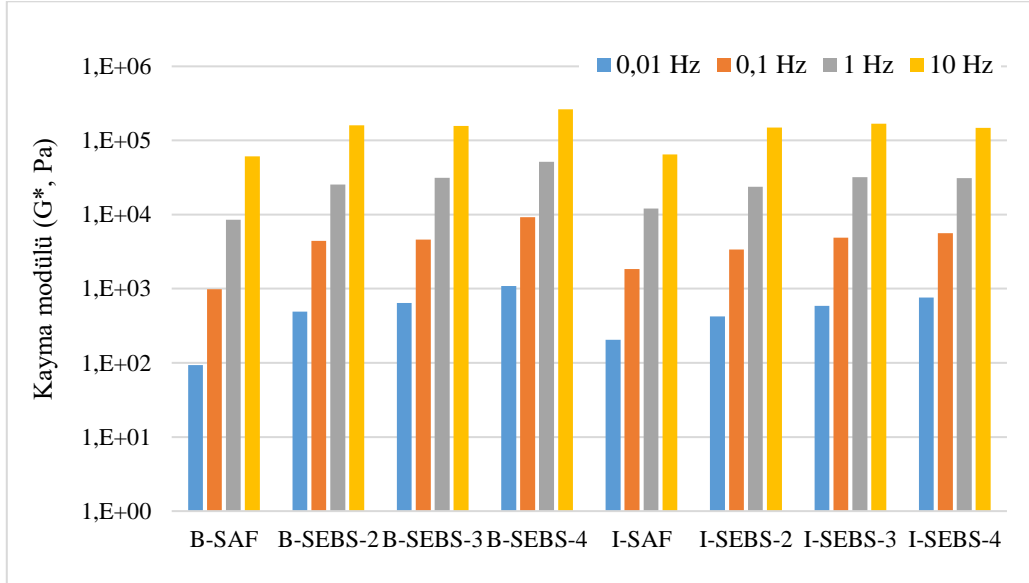
Kompleks modülü değerlerinin yüksek olması ile birlikte faz açısı değerlerinin düşük olması bağlayıcıların daha elastik özellik gösterdiğinin göstergesidir. Şekil 8 (b) ve Şekil 9 (b)'de görüldüğü üzere hem Irak LANAZ bitümü kullanılması hem de Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda G* değerlerinin artması ile birlikte faz açısı değerleri azalmıştır. Bu durum SEBS ilavesi ile bitümlerin daha elastik davranış sergileyeceğini göstermektedir. Şekil 8 (b)'de görüldüğü üzere bağlayıcıların siyah diyagramlarının birbirine yakın olduğu (kümelenme olduğu) gözlenirken Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda katkı içeriğinin artması ile hem kompleks modülünün önemli oranda arttığı hem de faz açısı değerlerinin önemli oranda azaldığı gözlenmiştir (Şekil 9 (b)). Aynı SEBS içeriğine sahip Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ rafinerilerinden temin edilen bitümler kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin kompleks kayma modülü ana eğrileri Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Aynı SEBS içeriğine sahip bitümlerin ana eğrilerinde G* değerlerinin frekansla değişimi

Şekil 10’da görüldüğü üzere saf bağlayıcı ve %2 SEBS içeren modifiye bitümlerde Irak LANAZ bitümü ve Irak LANAZ bitümü kullanılarak hazırlanan modifiye bitümlerin kompleks kayma modülü ana eğrilerinin Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen ve bu bitüm kullanılarak hazırlanan %2 modifiye bitümden elde edilen sonuçlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. %3 SEBS içeriğinde Irak LANAZ ve Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda benzer değerler elde edilirken %4 SEBS içeriğinde Batman TÜPRAŞ rafisinden temin edilen bitüm kullanılması durumunda Irak LANAZ bitümüne göre daha yüksek kompleks kayma modülü değerleri elde edildiği belirlenmiştir.

Ana eğrilerden elde edilen 0,01; 0,1; 1 ve 10 Hz frekanslarda bağlayıcıların kompleks kayma modülü değerleri Şekil 11’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere katkı kullanımı ve frekanstaki artış ile bağlayıcıların kompleks kayma modülü değerleri önemli oranda artmıştır. Düşük frekans yavaş yükleme hızını ifade ederken yüksek frekans hızlı yüklemeleri göstermektedir. Bu durum, yüksek frekanslarda bağlayıcıların daha elastik davranış sergileyeceğini göstermektedir. 0,01 Hz frekansta Irak LANAZ bitümü kullanılan %2, %3 ve %4 SEBS modifiye bitümlerde G^* değerleri saf bağlayıcıya göre sırasıyla 2,05; 2,86 ve 3,70 kat artarken Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda artışlar 5,24; 6,88 ve 11,65 kat olmuştur. 10 Hz frekansta ise Irak LANAZ bitümü ile modifiye bitümlerde kompleks kayma modülü değeri saf bağlayıcıya göre %2 SEBS içeriğinde 2,3 kat; %3 SEBS içeriğinde 2,6 kat ve %4 SEBS içeriğinde ise 2,27 kat artış göstermiştir. Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda 10 Hz frekansta %2 SEBS kullanılması durumunda 2,62 kat; %3 SEBS içeriğinde 2,67 kat ve %4 SEBS içeriğinde 4,32 kat daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlardan Batman TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda daha etkili modifiye bitümler elde edileceğini göstermektedir.



Şekil 11. Bağlayıcıların kompleks modülü değerlerinin frekansla değişimi

4. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmada Kuzey Irak’ta bulunan LANAZ rafinerisinden ve Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 160/220 sınıfı bitümlere 3 farklı oranda (%2, %3 ve %4) stiren-etilen-bütadien-stiren (SEBS) ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Bağlayıcılar üzerinde penetrasyon, yumuşama noktası, döneel viskozite ve dinamik kayma reometresi deneyleri uygulanarak farklı kaynaklardan temin edilen bağlayıcıların modifiye bitümlerin reolojik özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

Penetrasyon deneyleri sonucunda %2 ve %3 SEBS içeriğinde LANAZ bitümünün %4 katkı içeriğinde ise TÜPRAŞ bitümünün daha etkili olduğu, yumuşama noktası, viskozite ve dinamik kayma reometresi deneyleri sonucunda ise bütün SEBS içeriklerinde TÜPRAŞ bitümü kullanılması durumunda daha etkili modifiye bitümler elde edildiği tespit edilmiştir. Saf bağlayıcılar karşılaştırıldığında ise Irak LANAZ bitümünün daha yüksek yumuşama noktası, viskozite ve tekerlek izi parametresi, kompleks kayma modülü değerlerine sahip olduğu, dolayısıyla reolojik olarak daha üstün yüksek sıcaklık dayanım parametrelerine haiz olduğu belirlenmiştir. Farklı frekanslarda ve sıcaklıklarda uygulanan dinamik kayma reometresi deneyleri sonucunda ise Batman TÜPRAŞ

bitümü kullanılan modifiye bitümlerin daha elastik davranış sergilediği, katkı içeriğinin artması ile Batman TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen bitüm kullanılmasının daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Saf bitüme polimerik katkı ilave edilmesi durumunda bitümde bulunan asfalttenler katkı ile herhangi bir etkileşimde bulunmazken, polimerler malten yapı içerisinde bulunan yağsı fraksiyonlarla etkileşime geçerek polimerik ağ yapısını oluşturmaktadır [3]. Bitüm içerisindeki asfaltten miktarının fazla olması saf bitümün daha yüksek dayanım göstermesini sağlarken katkı maddeleri ile etkileşime geçmediğinden modifikasyonun başarısını azaltmaktadır. Türkiye’deki rafinerilerde üretilen bitümler içerisinde Batman bitümünün performans seviyesi yüksek sıcaklık değerinin diğer rafinerilerde üretilen bitümlerden daha yüksek olduğu önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Bu durum Batman bitümünün asfaltten içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada saf bitüm olarak değerlendirildiğinde Irak LANAZ bitümünün daha yüksek sonuç vermesi modifikasyonda Batman bitümünün daha olumlu sonuçlar vermesi LANAZ bitümünde asfaltten içeriğinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma sonucunda modifiye bitüm hazırlanmasında bitüm kaynağının ve kimyasal yapısının önemi tekrar vurgulanmıştır. Modifiye bitüm hazırlanmasında farklı kaynaklardan numuneler tedarik edilerek laboratuvar deneyleri ile performanslarının değerlendirilmesi, modifiye bitümlerle hazırlanan yolların servis kabiliyetleri ve ekonomik ömürlerinin artması açısından fayda sağlayacaktır.

Kaynaklar

- [1] European Committee for Standardization EN 12597 Bitumen and Bituminous Binders- Terminology; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2000.
- [2] Paliukait M, Vaitkusa A, Zofkab A. Evaluation of bitumen fractional composition depending on the crude oil type and production technology. In Proceedings of the 9th International Conference “Environmental Engineering” Selected Papers, Vilnius, Lithuania, 22–23 May 2014.
- [3] Read J. Witheoak, D. The Shell Bitumen Handbook, 5th ed; Thomas Telford Publishing: London, UK, 2003.
- [4] Lesueur D. The colloidal structure of bitumen: consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2009; 145: 42–82.
- [5] Porto M, Caputo P, Loise V, Eskandarsefat S, Teltayev B, Oliviero Rossi C. Bitumen and bitumen modification: A review on latest advances. *Applied Sciences*, 2019; 9(4): 742.
- [6] Dong F, Zhao W, Zhang Y, Wei J, Fan W, Yu Y, Wang Z. Influence of SBS and asphalt on SBS dispersion and the performance of modified asphalt. *Constr. Build. Mater.*, 2014; 62: 1-7.
- [7] Djaffar S B, Samy D, Khadidja A M. Rheological properties and storage stability of SEBS polymer modified bitumen. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2013; 5(5): 1031-1038.
- [8] Zapién-Castillo S, Rivera-Armenta J L, Chávez-Cinco M Y, Salazar-Cruz B A, Mendoza-Martínez A M. Physical and rheological properties of asphalt modified with SEBS/montmorillonite nanocomposite. *Constr. Build. Mater.*, 2016; 106: 349-356.
- [9] Bachir D S, Dekhli S, Mokhtar K A. Rheological evaluation of ageing properties of SEBS polymer modified bitumens. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 2016; 60(3): 397-404.
- [10] Lu X, Isacson U, Ekblad J. Rheological properties of SEBS, EVA and EBA polymer modified bitumens. *Materials and Structures*, 1999; 32(2): 131-139.
- [11] Polacco G, Muscente A, Biondi D, Santini S. Effect of composition on the properties of SEBS modified asphalts. *European polymer journal*, 2006; 42(5): 1113-1121.
- [12] Zhu J, Birgisson B, Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal*, 2014; 54: 18-38.
- [13].Ashoori S, Sharifi M, Masoumi M, Salehi M M. The relationship between SARA fractions and crude oil stability. *Egypt. J. Pet.* 2017; 26: 209–213.
- [14] King G N, King H W, Harders O, Arant W, Planche P P. Influence of asphalt grade and polymer concentration on the low temperature performance of polymer modified asphalt. *Asphalt Paving Technologists*1993; 62: 1-22.
- [15] Brulé B, Brion Y, Tanguy A. Paving asphalt polymer blends; relationships between composition, structure and properties. *Proc. Assoc. Asphalt Paving Technologists* 1988; 57: 41-64.
- [16] Yılmaz M, Kök B V, Kuloğlu N, Alataş T. Elastomer türü polimerler ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların depolama stabiliteilerinin ve reolojik özelliklerinin incelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* 2013; 15 (1): 67-77.
- [17] EN 1426. “Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Batma Derinliği Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2015.
- [18] EN 1427. “Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2015.
- [19] AASHTO TP 5. “Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)”, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington DC, 1998.

- [20] ASTM D4402/D4402M. “Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a rotational Viscometer”, ASTM International, West Conshohocken, PA., 2015.
- [21] McGennis R B, Shuler S, Bahia H U. Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHWA-SA-94-069, Asphalt Institute, Lexington, KY, 104 p., 1994.
- [22] Airey G D. Styrene butadiene styrene polymer modification of road bitumens. *Journal of Materials Science* 2004; 39(3): 951-959.

Yeşil Çatı Sistemlerinin Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı Bina Formları ve Derece Gün Bölgeleri İçin Analizi

Büşra KILIÇ TURAN¹, Ayça GÜLTEN²

¹Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Elazığ, Türkiye

²Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
email^{*12}:aycagulten@gmail.com

(Geliş/Received: 16/07/2019;

Kabul/Accepted: 06/02/2020)

Öz: Bu çalışmada konutlarda yeşil çatı sistemlerinin bina ısıtma ve soğutma yüküne farklı derece gün bölgelerinde, üç farklı biçimde (kare, dikdörtgen ve L formda) tasarlanan konut örnekleri için etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Isıtma yükü için TS 825 hesap yöntemi soğutma yükü için ise Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı Yöntemi (CLTD) kullanılmıştır. Ayrıca yeşil çatı bileşenlerinden yetiştirme ortamı derinliği 5 ile 50 cm arasında 5'er cm olacak biçimde artırılarak bu katmanın, ısıtma ve soğutma yükü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Böylelikle yeşil çatı sisteminin Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illerinde tasarlanan örnek konutlar üzerinde, bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisi belirlenen değişkenler doğrultusunda incelenerek ortaya çıkan farklılıklar analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, yeşil çatı sisteminin bina soğutma yüküne etkisinin, bina ısıtma yüküne etkisine göre daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşil çatı, bina ısıtma yüküne farklı derece gün bölgelerinde aynı oranda etki ederken, soğutma yükü üzerindeki etkisi, 1.derece gün bölgesinde, kare formu, 50 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en yüksek; 3. derece gün bölgesinde, L formu, 5 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada ise en düşük derecede olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil çatı, enerji etkinliği, sürdürülebilirlik, ısıtma yükü, soğutma yükü

Analysis of the Effect of Green Roofs on the Heating and Cooling Load of Buildings for Different Building Forms and Degree Day Regions

Abstract: In this study, it is aimed to investigate the effect of green roofs on the heating and cooling load of buildings in different degree day zones, for square rectangular and L formed houses. TS 825 code was used for heating load and Cooling Load Temperature Difference Method was used for cooling load computation. The plant carrier layer thickness was increased by 5 cm between 5 and 50 cm and its effect on heating and cooling load was also investigated. The effects of the green roofs on the sample houses designed in Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri and Erzurum provinces were analyzed in accordance with the determined variables. It has been found that the effect of green roof on cooling load is higher than the effect of building roof on building heating load. While the effect of green roof on the heating load has the same effect in different degree zones, the effect on the cooling load is higher in the 1st degree day zone, for square form, 50 cm plant carrier layer and the least effect is for the 3rd degree day zone and the L-shaped, 5 cm plant carrier layer.

Key Words: Green roof, energy efficiency, sustainability, heating load, cooling load

1.Giriş

Gelişen teknoloji beraberinde kentleşmeyi de getirmekte olup enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanılması, konvansiyonel enerji kaynaklarının azalması gibi sonuçların yanı sıra yeşil alanlara müdahale edilmesinden dolayı ekolojik dengenin bozulması da oldukça önem arz etmektedir. Kentleşme sonucunda ortaya çıkan yapay çevre ile mevcut doğal çevre arasındaki oran bozulmakta olup, gelecek yüzyıllar için sorun teşkil etmektedir. Dünya üzerindeki enerjinin %50'si, suyun ise %42'si bina yapımında ve bina kullanım süreçlerinde tüketilmektedir. Çağın küresel ölçekteki en önemli sorunu olan küresel ısınmanın nedeni olan sera gazlarının %50'si, hava kirliliğinin %24'u, Kloroflorokarbon (CFC) ve Hidrokloroflorokarbon (HCFC) salınımlarının %50'si de yapı ile ilişkili faaliyetlerden oluşmaktadır. Bu sebeplerden dolayı doğa işleyiş dengesi bozulmakta, insanla birlikte yeryüzünde yaşayan canlıların yaşamları da tehlikeye düşmektedir [1].

Doğal kaynakları savurganca kullanan yaklaşımın yerine doğaya saygılı yöntemlerle, gelecek nesillere temiz ve yaşanılabilir bir çevre bırakabilmek amacıyla enerji tüketimini en aza indirmek, yeni enerji kaynaklarını araştırmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir biçimde kullanmak gerekmektedir. Mimari

* Sorumlu Yazar: aycagulten@gmail.com ¹ORCID:0000-0002-2823-7611 ²ORCID: 0000-0001-9837-8674

tasarım sürecinin şekillendirdiği yapılarda uygulama aşamasının yanı sıra kullanım aşamasında da enerji ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Enerji kaynaklarının bilinçsiz tüketiminin önüne geçilmesi, çevresel atık oranının azaltılması, insan sağlığının gözetilmesi ve çevre duyarlılığının artırılması amacıyla yeşil mimarlık kavramı günümüzde ön plana çıkmaktadır [2]. 2015 yılı verilerine göre Türkiye'deki enerji tüketiminin yaklaşık %30'u konutlar tarafından yapılmaktadır [3]. Bu oran, enerji tüketiminin azaltılması hususunda konutların etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu bağlamda yapılarda enerji etkinliği, enerji tüketimini etkileyen parametreler ve yeşil çatının bina enerji performansına etkisi konularında birçok araştırma yapılmıştır. Erkmen [4], küresel ısınmayla birlikte ortaya çıkan ve enerji harcamalarına sebep olan bina soğutma ihtiyacını araştırmıştır. Antalya ve Diyarbakır illerinde yapılan araştırma sonucu bağıl nem faktörünün sıcaklık artışı ve ısı konfor üzerindeki etkisini gözlemlemiştir. Yıldırım [1], tükenebilir enerji kaynaklarının neden olduğu çevre tahribatının önlenmesi amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma olanaklarını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmasının tüketilen enerji miktarının azalmasına ve yaşam kalitesinin artmasına sebep olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca yerleşkelerin tasarımı yapılırken iklimsel ve çevresel faktörlerin göz önünde bulundurulmasına dikkat çekmektedir. Gazioglu vd. [5], tasarım aşamasında belirli değişkenleri değiştirerek bina ısıtma enerjisi ihtiyacını azaltmayı hedeflemiştir. Yönetmeliklere uygun bir bina seçerek simülasyon programı ile ısıtma istenen dönem için ısıtma enerjisi tüketim miktarı hesaplamıştır. Ayrıca tasarım aşamasında bina formu, bina kabuğu gibi değişkenlerin her iklim bölgesi için farklı şekilde ele alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Zoroğlu vd. [6], ısı konfor koşullarının sağlanmasının ve tüketilen enerjinin azaltılmasının, yönlendirme ve yapı kabuğu bileşenleri gibi tasarım kararlarıyla yakından ilişkili olduğunu savunmaktadır. Yapı kabuğu bileşenlerinin U değerinin iyileştirilmesi ve mekanik sistemin değiştirilmesi ile enerji tüketimini azaldığını tespit etmiştir. Dağdır ve Bolattürk [7], sıcak iklim bölgelerinde ısıtma ve soğutma yüklerini göz önünde bulundurarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. İzmir ilini ele alarak tüketilen enerjinin büyük çoğunluğu soğutma ihtiyacından kaynaklandığı için yalıtım hesabı yapılırken güneş radyasyonu faktörünün önemli olduğunu belirterek sıcak iklim bölgelerindeki binalarda yalıtım hesaplamalarının soğutma yüklerine göre yapılması gerektiğine varmıştır. Kınalı [8], çalışmada ofis binalarında teras çatı bileşenlerinde yapılacak olan bitkilendirmenin bina ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkisini analiz etmiştir. Yeşil çatının bina enerji performansına etkisi çatı yüzey alanı, yetiştirme ortamı kalınlığı, yaprak yüzey alanı ölçütleri açısından incelemiştir. Akpınar Külekçi [9], yeşil çatı sistemlerinin kentsel çevre üzerindeki etkilerini anlattığı çalışmada, enerji etkin bina tasarımına katkılarının yanı sıra, hava ve gürültü kirliliğinin azaltılması yönünde faydalarına değinmiştir. Yeşil bina sisteminin geleneksel uygulamalara göre daha verimli, fonksiyonel, dayanıklı ve kullanışlı olduğu ancak yeterince yaygınlaşmadığını tespit etmiştir. Tokaç [10], kullanıcı konforunu ve yapı sağlığını koruyan bitkilendirilmiş çatı sistemi tasarımları geliştirmek ve farklı bilimsel performans değerlendirme çalışmalarına girdi sağlamayı amaçlamaktadır. Çatı bileşenlerini performans kriterlerine bağlı olarak nitel yolla değerlendirmiş ve iki performans ihtiyacının tek bileşenle karşılandığı bitkilendirilmiş çatı sistemleri geliştirmiştir. Söğüt ve Şenol [11], yeşil çatı ve cephelerin kentsel çevre üzerindeki olumlu etkisini dünyadan örneklerle ele alarak incelemiştir. Küresel ısınma ve buna bağlı olarak sıcaklıkların artması, yağmur sularının azalması, beton yüzeylerin artarak çevresel ve sosyal sorunlar doğurmasına paralel olarak yeşil çatı ve duvar kullanımının yaygınlaştırılmasının önemini belirtmektedir. Ekşi ve Uzun [12], İstanbul Üniversitesi Yeşil Çatı Araştırma İstasyonu içerisinde oluşturdukları bir yeşil çatı prototipi üzerinden, su ve enerji dengesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak incelenen yeşil çatının referans alınan standart çatıya oranla %77 oranında daha iyi bir ısı performans gösterdiği tespit edilmiştir. Erkul [13], yeşil çatıları yapım sistemi açısından inceleyerek işletme ve genel bakım sorunlarını değerlendirmiştir. Ülkemizden ve yurt dışından seçilen projeleri belirli kriterler çerçevesinde karşılaştırmıştır. Enerji tasarrufu, yağmur suyu yönetimi, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan pek çok yararı dikkate alarak yeşil çatı sisteminin disiplinli bir ekip tarafından analizler yapılarak uygulanması gerektiğini savunmaktadır. Demir vd. [14], Eskişehir'de üç farklı yeşil duvarı inceleyerek yeşil çatıların yatay ve düşey kullanımını araştırmıştır. Sonuç olarak duvarların hissedilebilir derecede ısıyı tuttuğunu ve etkin bir ısı yalıtımı sağladığını ortaya koymuştur. Yao vd. [15] geleneksel bir çatı ile yeşil çatı uygulamasını eQuest yazılımı üzerinden kıyaslamıştır. Yeşil çatı uygulamasıyla ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf sağlanırken, yeşil çatının barındırdığı ek katmanlar nedeniyle yaşam döngüsü maliyetinin arttığı ve çevresel etkinin daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Ebadati ve Ehyaei [16], iki katlı bir ev için İran'ın farklı iklim bölgelerinde yer alan Bahdar Abbas, Tahran ve Tebriz şehirlerinde olduğu durumlar için enerji analizleri yapmıştır. Sonuç olarak yeşil çatı kullanımıyla, ısıtma ve soğutma yükleri için elektrik tüketiminin, Tahran, Tebriz ve Bahdar Abbas'da sırasıyla %16,3, %12,5 ve %23'e düşürüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca tropikal bölgelerde yeşil çatı kullanımının soğuk bölgelere göre daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada yeşil çatı sistemlerinin konutlardaki enerji tüketimini azalttığı hipotezi savunulmaktadır. Literatür taramasıyla yeşil çatının bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisinin konut ölçeğinde, yapı formu bazında ve farklı iklim bölgelerine göre değişen iklimsel veriler doğrultusunda yeterince ele alınmadığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda farklı derece gün bölgelerinde, eşit alana ve farklı formlara sahip konutlar üzerinde araştırma yapılarak teras çatılı konutların ısıtma yükleri TS 825 hesap yöntemi, soğutma yükleri ise soğutma yükü sıcaklık farkı (CLTD) hesap yöntemi ile hesaplanmıştır. Daha sonra aynı konut örnekleri farklı kalınlıklardaki yetiştirme ortamlarının ele alınmasıyla yeşil çatılı olacak şekilde hesaplamalar tekrarlanarak elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri ölçeğinde, dıştan yalıtımlı duvar tipinin kullanıldığı konut örnekleri çalışma kapsamına alınmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak, yeşil çatı sistemlerinin bina enerji tüketimine etkisinin yanı sıra yetiştirme ortamı kalınlığının ve farklı bina formlarının bina ısıtma ve soğutma yükü üzerindeki etkisi incelenerek, bu konudaki boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Isıtma yükü hesaplama yöntemi

Isıtma yükü hesabı yapılırken TS 825 hesap metodu kullanılmıştır [17]. Isıtma sisteminin iç ortama vermesi gereken ısı enerjisi miktarını yıllık bazda belirleyen hesap yöntemi, toplam bina ısı kaybından güneş enerjisi kazancı ve iç ısı kazancının çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanmasıyla elde edilmektedir. Güneş enerjisinden faydalanma miktarının da hesaplama dâhil edilmesiyle gerçeğe en yakın sonuçlara ulaşılmaktadır. Oldukça uzun hesaplama adımlarına sahip TS 825 hesap yöntemi için [17] numaralı kaynaktan yararlanılabilir.

2.2. Soğutma yükü hesaplama yöntemi

Bir ortamı değişmez sıcaklıkta tutmak için atılması gereken ısı miktarı olan soğutma yükü hesaplanırken American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers (ASHRAE) tarafından yayınlanan Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı Yöntemi (CLTD-Cooling Load Temperature Difference) kullanılmıştır [18]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen iklimsel verilere göre son on yılın en yüksek sıcaklık değerlerine bakılarak, sıcak dönemi temsil eden gün olarak 21 Temmuz seçilmiştir. Son on yılın 21 Temmuz günü için gösterilen en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalaması alınarak ve konutlar için ideal soğutma sıcaklığının 24 °C, bağıl nemin ise %50 olduğu bilgisine dayanılarak her il için soğutma yükü hesaplanmıştır (Tablo 1) [19-22].

Tablo 1. İllere göre son on yılın 21 Temmuz günü için ortalama sıcaklık ve nem değerleri [19-22]

Derece Gün Bölgesi	İller	Sıcaklık (°C)	Nem (%)
I	Antalya	34.4	60.5
II	Diyarbakır	39.0	24.6
III	Elazığ	36.7	27.8
IV	Kayseri	31.3	45.4
V	Erzurum	28.6	44.0

Soğutma yükü; iletim, taşınım ve ışınım yoluyla oluşan duyulur ısı kazancının gizli ısı kazancı için belirlenen katsayı ile çarpılmasıyla elde edilir. Yapı bileşenlerinden, kapı ve pencerelerden, sızma ve havalandırmadan, insan ve cihazlardan kaynaklanan ısı kazançları hesaplanır. Gizli ısı kazancı, nem faktörü dahil edilerek bulunan katsayı değeri ile duyulur ısı kazancının çarpılmasının sonucu olarak, 21 Temmuz günü için gerekli olan soğutma yükü enerjisi miktarı elde edilir. Duvar, döşeme, çatı ve kapı gibi dolu yüzeyler için soğutma yükü;

$$q_1 = U \cdot A \cdot (\text{CLTD}) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada q_1 (kW) soğutma yükü, U (W/m²K) ısı geçiş katsayısı, A (m²) yapı elemanlarının yüzey alanı ve CLTD (°C) ise soğutma yükü sıcaklık farkı değerlerini ifade etmektedir. Farklı hesap sıcaklıklarına göre belirlenen CLTD değerleri Tablo 2'den bulunur.

Tablo 2. Ayır tek evler için ortalama alma yöntemiyle bulunan CLTD (Cooling Load Temperature Difference-soğutma yükü sıcaklık farkı) değerleri [18].

Hesap Sıcaklığı, °C	29		32			35			38		41	42
Günlük Sıcaklık Aralığı °C	L	M	L	M	H	L	M	H	M	H	M	H
Tüm duvarlar ve kapılar												
Kuzey	4	2	7	4	2	10	7	4	10	7	10	13
Kuzeydoğu ve Kuzeybatı	8	5	11	8	5	13	11	8	13	11	13	16
Doğu ve Batı	10	7	13	10	7	16	13	10	16	13	16	18
Güneydoğu ve Güneybatı	9	6	12	9	6	14	12	9	14	12	14	17
Güney	6	3	9	6	3	12	9	6	12	9	12	14
Çatılar ve Tavanlar												
Tavan arası veya çatı katı	23	21	26	23	21	28	26	23	28	26	28	31
Döşeme ve Tavanlar												
İklimlendirilmiş bölge altında	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11
Bölmeler												
İç veya gölgelenmiş	5	2	7	5	2	8	7	5	8	7	8	11
Günlük değişim (tasarım için seçilen günde dış hava sıcaklığının değişimi) eş değer sıcaklık farkını önemli ölçüde etkiler. Günlük sıcaklık farkları H, M, L olarak sınıflandırılmıştır.												
H: Yüksek: 14°C değerinin üzerinde büyük sıcaklık değişimini												
M: Orta: 9°C ile 14°C arasındaki sıcaklık değişimini												
L: Düşük: 9°C değerinin altında küçük sıcaklık değişimini göstermektedir.												

Saydam alanlar için soğutma yükü ise;

$$q_2 = (GLF) \cdot A \quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanır. GLF (W/m²) cam yükü faktörüdür ve Tablo 3'ten bulunur. A (m²) pencere yüzey alanı değerlerini ifade etmektedir. Hava sızması için soğutma yükü Denklem 3 ile hesaplanabilir.

$$q_3 = 1,23 \cdot Q \cdot \Delta t \quad (3)$$

Δt (°C) iç ve dış tasarım sıcaklık farkı değerini verirken hacimsel hava debisi olan Q (L/s) ise;

$$Q = ACH \cdot (V) \cdot 1000/3600 \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, ACH (l/h) bir saatteki hava değişimidir ve Tablo 4'ten alınır. V (m³) ise odanın hacmini ifade etmektedir. Buna ek olarak insan ($q_4=67W$), cihaz ve aydınlatmadan ($q_5=470W$) kaynaklanan iç yükler de toplam soğutma yüküne etki eder. Buna göre tüm yapı bileşenleri, sızma ve iç yüklerin hesaplanmasıyla oluşan soğutma yükü Denklem 5 ile hesaplanır.

$$\Sigma q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (5)$$

Toplam soğutma yükü (Denklem 6) ise gizli ısı yükü çarpanı ve soğutma yükü değerinin çarpımı sonucu elde edilir.

$$q_{\text{toplam}} = (LF) \cdot \Sigma q \quad (6)$$

Tablo 3. Ayır tek evler için GLF (Glass Load Factor-pencere camı yük faktörü) değerleri [18].

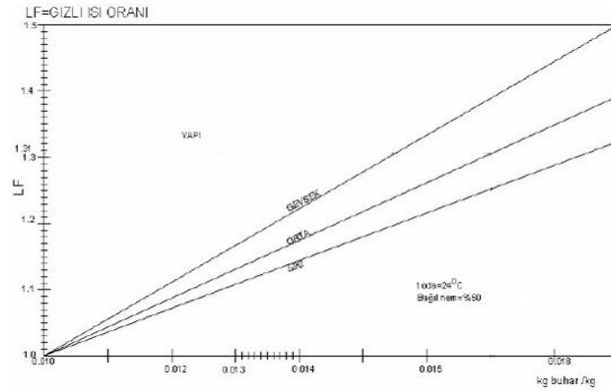
Cam Türü	Tek Cam						Çift Cam					
Hesap Sıcaklığı, °C	29	32	35	38	41	43	29	32	35	38	41	43
İç Gölgelene Olmadan												
Kuzey	107	114	129	148	151	158	95	95	107	117	120	129
Kuzeydoğu ve Kuzeybatı	199	205	221	237	243	262	173	177	186	196	199	208
Doğu ve Batı	278	284	300	315	322	337	243	246	255	265	268	278
Güneydoğu ve Güneybatı	249	255	271	287	290	309	218	221	230	240	243	252
Güney	167	173	189	205	211	227	145	148	158	167	170	180
Yatay Güneşli	492	492	508	524	527	539	432	435	442	451	454	464

Tablo 4. Sızma-Bir saatteki hava değişimleri (ACH) [18].

Sınıf	Dış Hesap Sıcaklığı °C					
	29	32	35	38	41	42
Sıkı	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
Orta	0,46	0,48	0,5	0,52	0,54	0,56
Gevşek	0,68	0,7	0,72	0,74	0,76	0,78

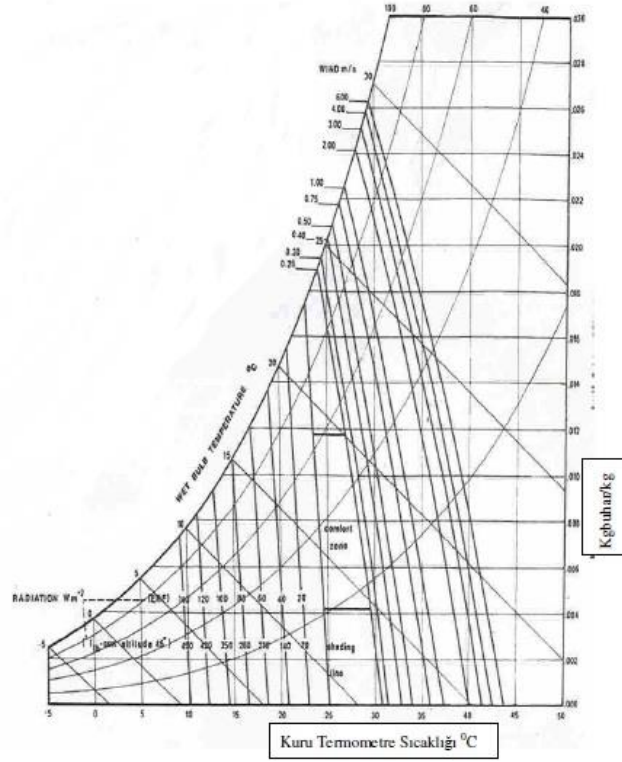
- Sıkı - Yerlerine iyi oturan kapılar, pencereler ve sızdırmaz duvarlardan oluşan ve 140 m² değerinin altında döşeme alanına sahip evler bu sınıfa girer.
- Orta - Yeni iki katlı evler veya on yaşını aşmış bakımı orta derecede yapılmış, 140 m² oturma alanından büyük evler orta sayılan yapı sınıfına girer.
- Gevşek - 20 yılı aşmış, bakımsız orta düzeyde evler bu sınıfa girer.

Gizli ısı yükü çarpanı (LF), tasarım dış nem oranı ve sızdırmazlık sınıfına göre Şekil 1 ve Şekil 2'den bulunur. Grafiğe bağlı olarak elde edilen LF değerleri Antalya için 1.25, Diyarbakır için 1.00, Elazığ için 1.00, Kayseri için 1.2, Erzurum için 1.10 şeklindedir.

**Şekil 1.** Sızmanın gizli ısı oranına etkisi [18].

Belirlenen yöntemlere dayanılarak ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler yeşil çatının bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisinin analiz edilebilmesi amacıyla Denklem 7 ile yüzde (%) bazında değerlendirilmiştir [22].

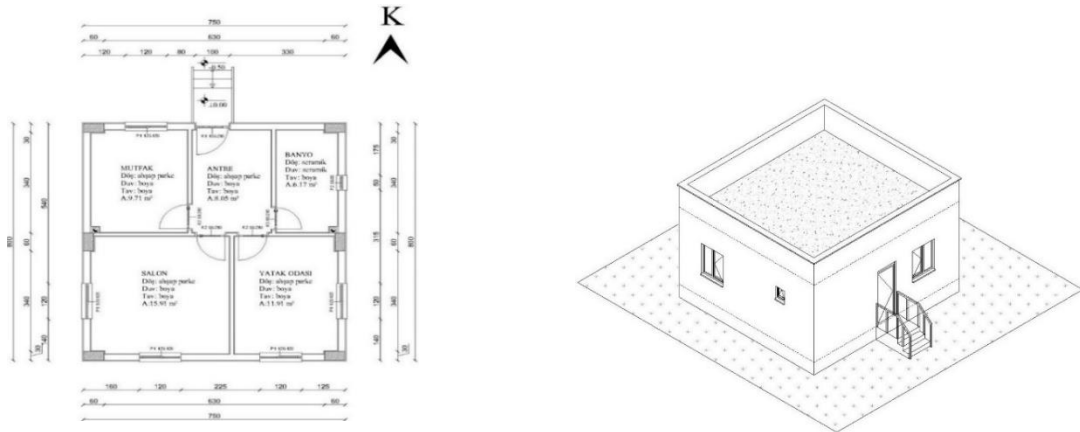
$$YÇBI/SYE=100 \cdot \frac{(\text{Standart Teras Çatı Isıtma/Soğutma Yükü}) - (\text{Yeşil Teras Çatı Isıtma/Soğutma Yükü})}{(\text{Standart Teras Çatı Isıtma/Soğutma Yükü})} \quad (7)$$



Şekil 2. Sıcaklık-bağıl nem-mutlak nem ilişkisi [23].

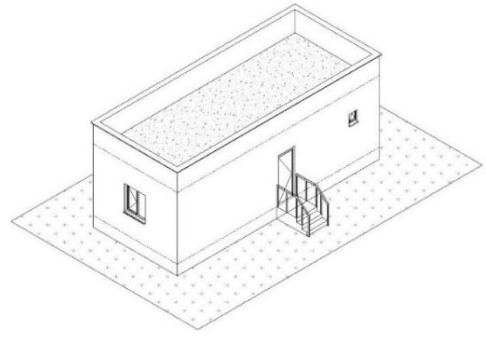
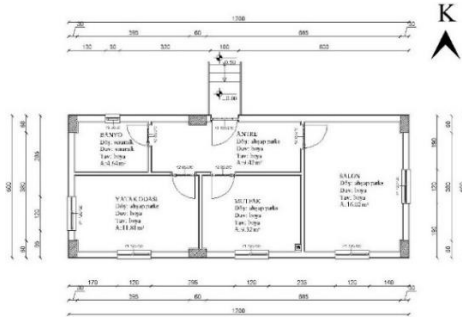
2.2. Bina biçimlerinin ve bina yapı bileşenlerinin belirlenmesi

Hesaplamaların eşit koşullarda değerlendirilebilmesi amacıyla farklı değişkenlerin kolaylıkla uygulanabileceği bir bina sistemi oluşturulmuştur. Farklı formlarda, aynı kullanım alanına ve kapı, pencere açıklığına sahip konutlar, yeşil çatı sistemine sahip ve standart teras çatılı (%5'ten düşük eğimli) olacak şekilde hesaplamalar yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca yeşil çatı sistemi kendi içinde yetiştirme ortamı kalınlığı değiştirilerek değerlendirilmiştir. Duvar tipi olarak ise dıştan yalıtımlı duvar sistemi kullanılmıştır.

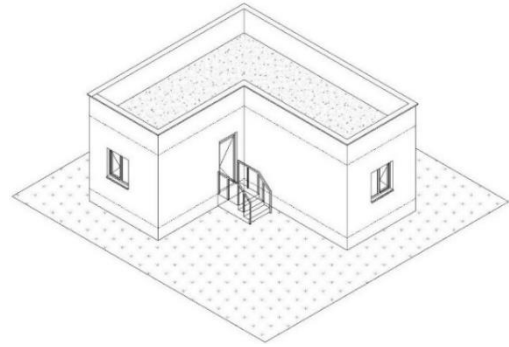
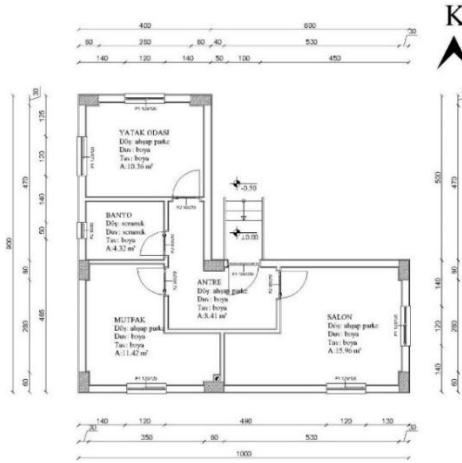


Kare Form

Şekil 3. Örnek yapıların plan ve perspektif (devam)



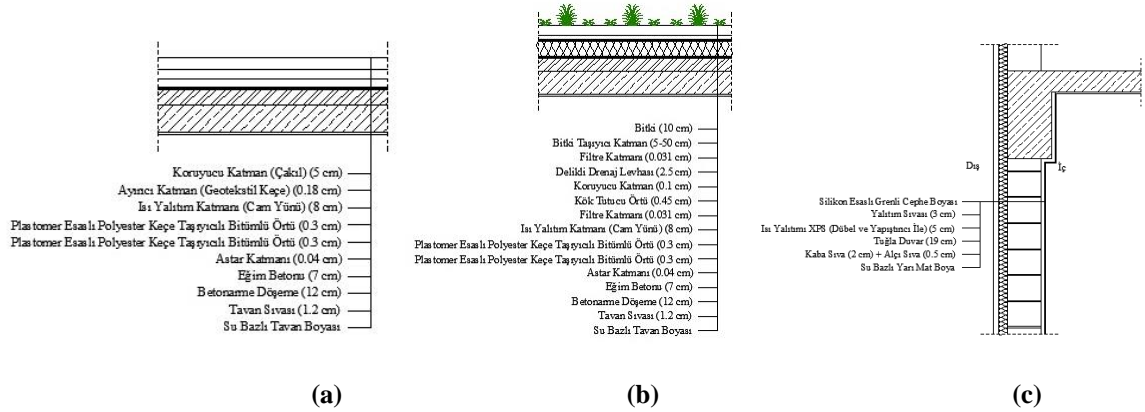
Dikdörtgen Form



L form

Şekil 3. Örnek yapıların plan ve perspektif

Tasarlanan konutlar üç kişilik çekirdek bir aile için uygun koşulları sağlayacak şekilde 60 m² kullanım alanına sahiptir. Salon, mutfak, yatak odası, banyo ve giriş bölümünden oluşan konutlar kare, dikdörtgen ve L form olarak üç farklı biçimde düzenlenmiştir (Şekil 3). Örnek yapılar için oluşturulan standart teras çatı ve yeşil teras çatı katmanları ile hesaplamalarda kullanılan dıştan yalıtımlı duvar detayı Şekil 4'te, malzemelere ait ısıl iletkenlik değerleri (k) ise Tablo 5'te sunulmuştur.



Şekil 4. Teras çatı katmanları ve dıştan yalıtımlı duvar detayı (a) Standart teras çatı (b) Yeşil çatı (c) Dıştan yalıtımlı duvar [22].

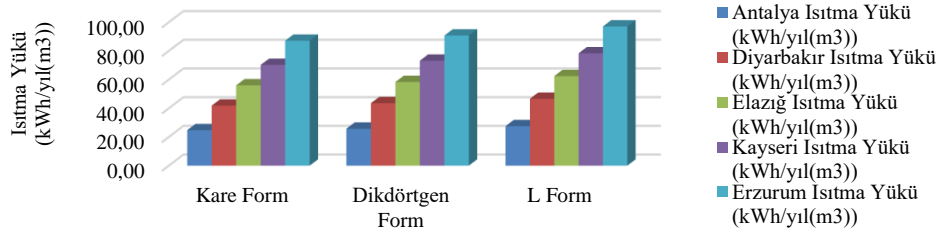
Tablo 5. Standart ve yeşil çatı sistemleri için yapı bileşen fiziksel özellikleri [17, 21, 23].

Malzeme	Kalınlık (cm)	Isıl İletkenlik (W/m.K)	Malzeme	Kalınlık (cm)	Isıl İletkenlik (W/m.K)
Tavan Sıvası	1.2	0.70	Bitümlü Su Yalıtımı	0.6	0.19
Betonarme Döşeme	12	2.50	Cam Yünü Isı Yalıtımı	8	0.035
Eğim Betonu	7	1.65	Filtre Katmanı	0.031	0.19
Astar Katmanı	0.04	0.19	Kök Tutucu Örtü	0.045	0.19
Bitümlü Su Yalıtımı	0.6	0.19	Koruyucu Katman	0.1	0.19
Cam Yünü Isı Yalıtımı	8	0.035	Delikli Drenaj Levhası	2.5	0.19
Geotekstil Keçe	0.18	0.19	Filtre Katmanı	0.031	0.19
Çakıl	5	0.70	Yetiştirme ortamı	5-50	0.25
			Bitki	10	0.3

3. Bulgular

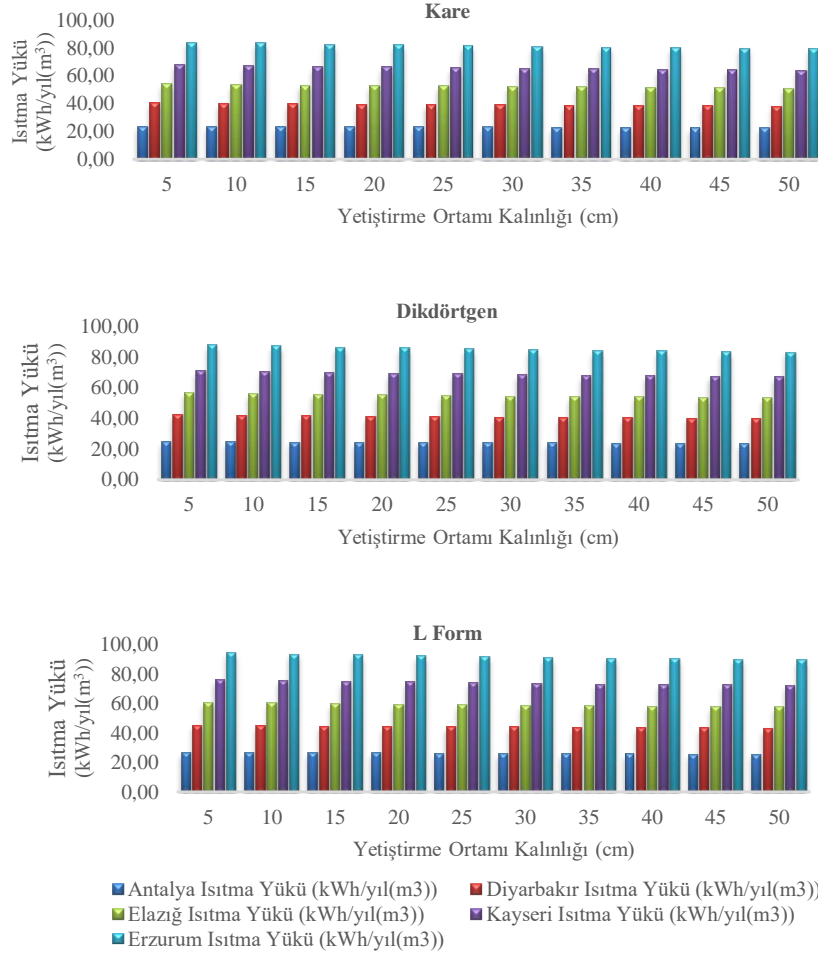
3.1. Yeşil çatı sistemlerinin bina ısıtma yüküne etkisinin TS 825'e göre değerlendirilmesi

Tasarlanan örnek binaların TS 825'e göre yıllık ısıtma yükleri beş farklı derece gün bölgesinin iklimsel verileri kullanılarak hesaplanmıştır [19]. Bu veriler doğrultusunda standart teras çatıya sahip binaların ısıtma yükleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Veriler incelendiğinde her iki duvar tipinde de 1. derece gün bölgesinden 5. derece gün bölgesine doğru gidildikçe yıllık ısıtma yükü miktarında artış gözlemlenmiştir. Örneğin kare form dıştan yalıtımlı standart teras çatıya sahip bina, Antalya'da 24.72 kWh/yıl(m³), Diyarbakır'da 41.82 kWh/yıl(m³), Elazığ'da 56.00 kWh/yıl(m³), Kayseri'de 70.24 kWh/yıl(m³) ve Erzurum'da 87.08 kWh/yıl(m³) ısıtma yüküne sahiptir. Ayrıca yüzey alanı arttıkça ısıtma yükü de artmıştır. Çatı tipinin değiştirilmesiyle yeşil çatı faktörü farklı kalınlıklarda yetiştirme ortamı kullanılarak hesaplamalara dâhil edilmiştir. Örnek bina formlarının illere göre yıllık ısıtma yükleri Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre en düşük ısıtma yükleri 23.92-79.46 kWh/yıl(m³) değerleri arasında kare form için elde edilmiştir. Ayrıca bitki yetiştirme ortamı kalınlığının artmasıyla bütün bina formları için ısıtma yükünde azalma meydana gelmiştir.



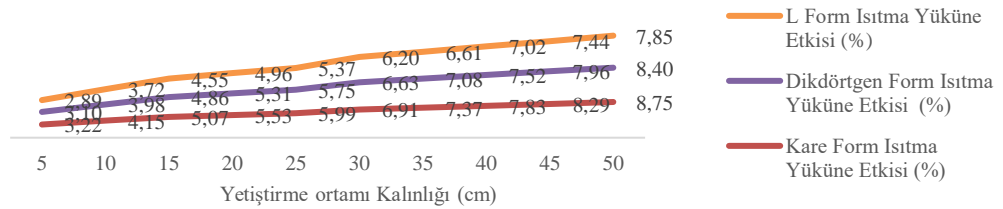
Şekil 5. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, standart teras çatılı, örnek bina formlarına ait bina ısıtma yükleri

Yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi ise standart teras çatı verileri referans alınarak yüzdelik oranlar bazında değerlendirilmiştir. Yetiştirme ortamı derinliğinin artışı ile orantılı bir şekilde, tüm bina formlarında ve derece gün bölgelerinde yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi artmaktadır (Şekil 7). Bu değer kare form için bitki yetiştirme ortamı 5 cm olduğunda %3.22, 25 cm olduğunda %5.99, 50 cm olduğunda %8.75 olarak belirlenmiştir. Dikdörtgen form için bitki yetiştirme ortamı kalınlığı 5 cm olduğunda %3.10, 25 cm olduğunda %5.75, 50 cm olduğunda %8.40 olarak hesaplanmıştır. L form için ise bitki yetiştirme ortamı kalınlığı 5 cm olduğunda %2.89, 25 cm olduğunda %5.37, 50 cm olduğunda %7.85 olarak elde edilmiştir.

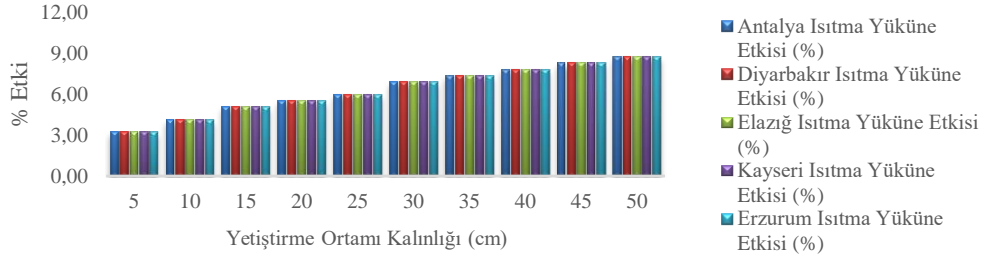


Şekil 6. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalara ait bina ısıtma yükleri

Tüm illerde standart teras çatılı ve yeşil çatılı örnek binaların yıllık ısıtma enerjisi miktarları birbirinden farklı olmasına rağmen yeşil çatı faktörünün ısıtma yüküne yüzde olarak etkisi açısından farklılık olmadığı, kare formlu binaların karşılaştırılması örneği üzerinden Şekil 8’de belirtilmiştir. Buna göre farklı iller için aynı bina formu üzerinden yapılan değerlendirmeler, Kazanç Kullanım Faktörünün sıfır çıkması nedeniyle, yeşil çatının ısıtma yüküne yüzde (%) olarak etkisini eşitlemiştir.



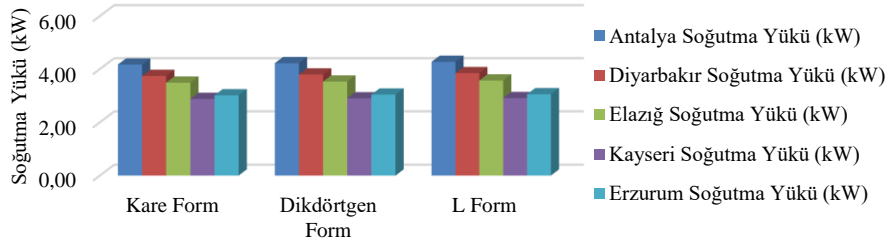
Şekil 7. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi



Şekil 8. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek kare formlu binalarda yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi

3.2. Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin soğutma yükü sıcaklık farkı yöntemi ile değerlendirilmesi

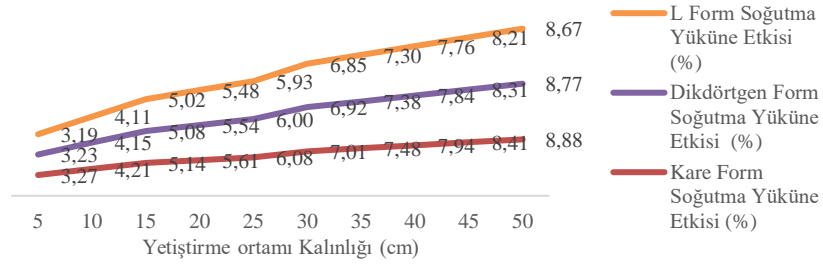
Farklı derece gün bölgelerinde bulunan Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illerine ait iklimsel veriler kullanılarak örnek binaların Soğutma Yükü Sıcaklık Farkı (CLTD) yöntemi ile son on yılın 21 Temmuz günlerinin en yüksek sıcaklık değerlerinin ortalamasına göre soğutma yükleri hesaplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda standart teras çatı ve farklı formdaki binaların soğutma yükleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Buna göre yüzey alanı arttıkça tüm illerde soğutma yükünün arttığı görülmektedir. Veriler incelendiğinde, 1. derece gün bölgesinden 5. derece gün bölgesine doğru gidildikçe 21 Temmuz günü için hesaplanan soğutma yükü miktarında azalış gözlemlenmiştir. Ancak 4. ve 5. derece gün bölgeleri arasında iklimsel verilerden dolayı bir farklılık tespit edilmiştir. Nem/sıcaklık oranı olarak ifade edilen LF değeri 5. derece gün bölgesinde, 4. derece gün bölgesine göre daha yüksek olduğu için bina soğutma yükü miktarını da değiştirmiştir. Buna göre Erzurum ilindeki örnek binaların 21 Temmuz günü için hesaplanan soğutma yükü miktarı, Kayseri ilindeki örnek binaların 21 Temmuz günü için hesaplanan soğutma yükü miktarından fazladır. Örneğin kare formlu dıştan yalıtımlı standart teras çatıya sahip bina 21 Temmuz günü için, Antalya ilinde 4.17 kW, Diyarbakır ilinde 3.74 kW, Elazığ ilinde 3.49 kW, Kayseri ilinde 2.88 kW ve Erzurum ilinde 3.01 kW soğutma yüküne sahiptir. Yapı yüzey alanı arttıkça soğutma enerjisi ihtiyacının arttığı görülmüştür.



Şekil 9. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, standart teras çatılı, örnek bina formlarına ait bina soğutma yükleri

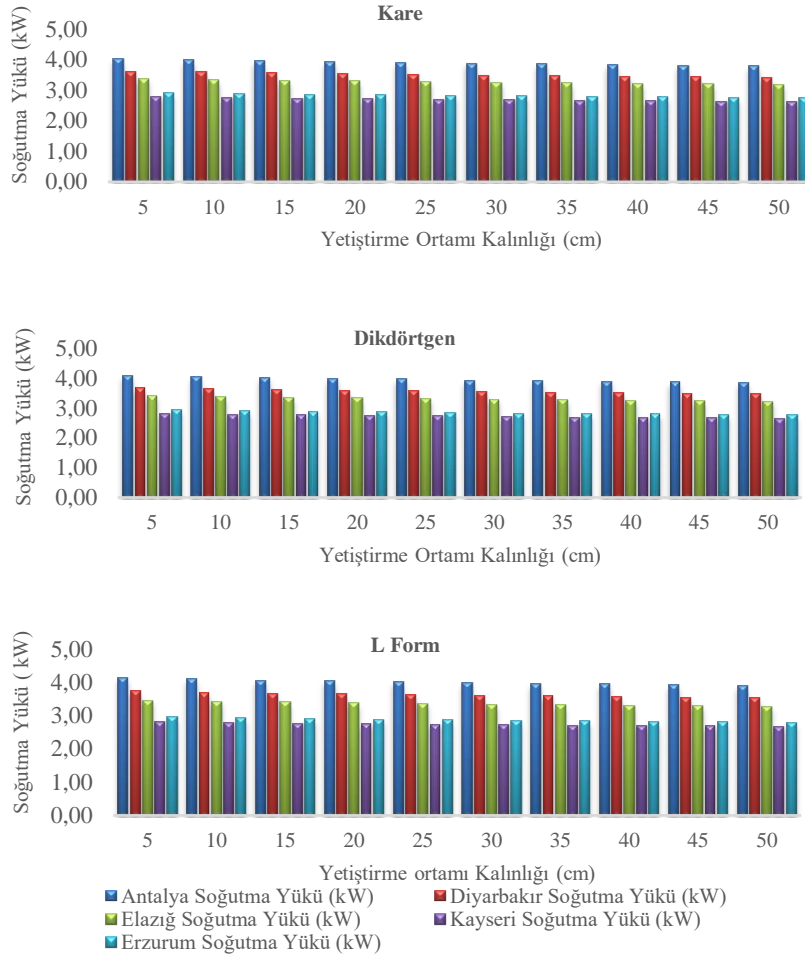
Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi ise standart teras çatı verileri referans alınarak % bazında değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler yetiştirme ortamı kalınlığının tüm illerde yeşil teras çatının bina soğutma yüküne etkisini artırdığını göstermektedir (Şekil 10). Ancak bu artış doğrusal değil, değişken bir artış olup 5-15 cm ve 25-30 cm aralıklarında ciddi oranda bir yükseliş göstermektedir. Bu nedenle yeşil çatının yetiştirme ortamı kalınlığı belirlenirken, maksimum verimin sağlanabilmesi amacıyla ilgili verilerin dikkate alınması önem teşkil etmektedir.

Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin incelenbilmesi amacıyla farklı kalınlıklarda yetiştirme ortamı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Böylelikle yeşil çatının farklı derece gün bölgelerine, yetiştirme ortamı kalınlığına ve bina formuna göre soğutma yükü performansı değerlendirilmiştir.



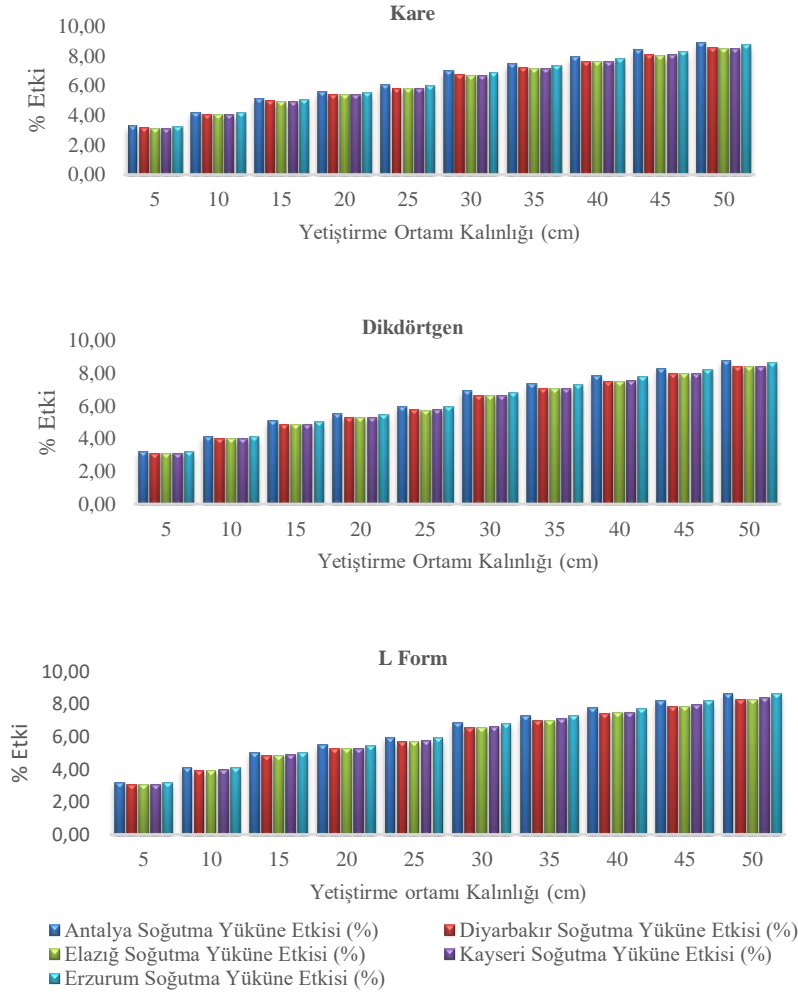
Şekil 10. Antalya ili, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi

Örnek bina formlarının farklı derece gün bölgesinde yer alan illere göre 21 Temmuz için hesaplanan soğutma yükleri Şekil 11'de verilmiştir. Veriler incelendiğinde tüm illerde yeşil çatılı kare formdaki örnek binaların soğutma yükünün en az, L formdaki örnek binaların soğutma yükünün en fazla olduğu görülmektedir. Yetiştirme ortamı kalınlığı arttıkça soğutma yükü ihtiyacı azalmaktadır. Soğutma enerjisi ihtiyacı 1. derece gün bölgesinden 5. derece gün bölgesine gidildikçe azalmaktadır ancak 5. derece gün bölgesinin soğutma yükü 4. derece gün bölgesinden fazla olduğu için soğutma enerjisi ihtiyacı en az 4. derece gün bölgesinde olmaktadır.



Şekil 11. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalara ait bina soğutma yükleri

Yeşil teras çatının bina soğutma yüküne etkisinin tüm iller kapsamında bina formlarına göre ayrı ayrı değerlendirilmesi Şekil 12’de görülmektedir. Veriler incelendiğinde yetiştirme ortamı kalınlığı arttıkça yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin arttığı görülmektedir. Genel olarak 5cm bitki yetiştirme ortamı kalınlığı için %3 civarlarında olan etki 50 cm yetiştirme ortamı kalınlığı söz konusu olunca %8.5 etki sağlamıştır. Tüm illerde yeşil çatılı kare formdaki örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin en fazla, L formdaki örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisinin ise en az olduğu görülmektedir. Ayrıca yeşil çatının bina soğutma yüküne olumlu etkisi açısından ilk sırada Antalya, ikinci sırada Erzurum, üçüncü sırada Diyarbakır, dördüncü sırada Kayseri ve son sırada Elazığ yer almaktadır.



Şekil 12. Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri, yeşil teras çatılı örnek binalarda yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi

4. Sonuç

Bu çalışmada, farklı derece gün bölgelerinde yer alan Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Kayseri ve Erzurum illeri için, yeşil çatının bina üzerindeki enerji performansına etkisi; üç farklı biçimde (kare, dikdörtgen, L) tasarlanan, aynı alana sahip örnek konutlar ile yetiştirme ortamı kalınlıklarına göre incelenmiştir.

Standart teras çatılı örnek binalarda ısıtma ve soğutma yükü ihtiyacı yapı yüzey alanıyla orantılıdır. Buna göre kare formdaki binanın ısıtma ve soğutma yükü en az, L formdaki binanın ısıtma ve soğutma yükü en fazladır. Seçilen iller soğutma yükü açısından karşılaştırıldığında çoktan aza doğru şu şekilde sıralanmaktadır; Antalya, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Kayseri. 4. ve 5. derece gün bölgelerinde yer alan Kayseri ve Erzurum illerinde

oluşan farklılığın sebebi ise hesaplamada kullanılan nem/sıcaklık değerinin Erzurum ilinde Kayseri iline göre daha yüksek olarak belirlenmesidir.

Tablo 5'te yeşil çatıların farklı derece gün bölgelerinde yer alan iller ve bina formları için ısıtma ve soğutma enerji yüküne yüzde olarak etkisi 30 cm bitki yetiştirme ortamı kalınlığı üzerinden ve aşağıda verilen sonuçları somut değerlerle desteklemek üzere kullanılmıştır.

Tablo 5. 30 cm bitki yetiştirme ortamı için yeşil çatı sistemlerinin ısıtma ve soğutma yüküne % olarak etkisi

Yapı biçimi	Soğutma yükü (% etki)					Isıtma Yükü (% etki)				
	Antalya	Diyarbakır	Elazığ	Kayseri	Erzurum	Antalya	Diyarbakır	Elazığ	Kayseri	Erzurum
Kare	7.01	6.73	6.71	6.71	6.90	6.91	6.91	6.91	6.91	6.91
Dikdörtgen	6.92	6.64	6.63	6.65	6.84	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63
L	6.85	6.55	6.63	6.63	6.81	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20

Buna göre;

- Yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi farklı derece gün bölgelerinde aynı oranda olmakta fakat bina formlarına göre değişmektedir. Kare formulu bina ile kullanılan yeşil çatı sistemi ısıtma yükü üzerinde en iyi etkiyi sağlarken, dikdörtgen ve L form binalarda bu etki düşmektedir.
- Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi hesaplamada kullanılan nem/sıcaklık değerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buna göre yeşil çatının bina soğutma yüküne olumlu etkisi açısından ilk sırada Antalya (%7.01), ikinci sırada Erzurum (%6.90), üçüncü sırada Diyarbakır (%6.73), dördüncü sırada Kayseri ve Elazığ gelmektedir.
- Bina formu değişken olarak ele alındığında yeşil çatının bina ısıtma yüküne etkisi kare formulu binalarda en fazla (%7.01-6.73), L formulu binalarda ise en az (%6.85-6.20) olmaktadır.
- Yeşil çatı bileşenlerinden olan yetiştirme ortamı kalınlığının artması ile bina ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı azalmaktadır.
- Yeşil çatının bina ısıtma ve soğutma yüküne etkisi yetiştirme ortamı kalınlığının artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Ancak bu artış doğrusal değil değişken bir artış olup 5-15 cm ile 25-30 cm aralıklarındaki artış oranının 15-25 cm ile 30-50 cm aralıklarına oranla daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Yetiştirme ortamı kalınlığının artmasıyla bakım, onarım ihtiyacının, yapıda oluşan yük miktarının, yapım maliyetinin artması öngörülerek 30 cm yetiştirme ortamı kullanılmasının daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Soğutma yükü yeşil çatı faktörüyle birlikte değerlendirildiğinde, 1. derece gün bölgesinde, L formulu, 5 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en fazla; 4. derece gün bölgesinde, kare formulu, 50 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en az hesaplanmaktadır.
- Yeşil çatının bina soğutma yüküne etkisi, 1. derece gün bölgesinde, kare formulu, 50 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada en fazla; 3. derece gün bölgesinde, L formulu, 5 cm yetiştirme ortamı kullanılan örnek binada ise en az olmaktadır.

Tüm veriler ele alındığında yeşil çatı sistemlerinin bina soğutma yüküne etkisinin, bina ısıtma yüküne etkisine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle nem oranının yüksek olduğu iklim bölgelerinde yeşil çatı sistemlerinin soğutma yükünü düşürme anlamında etkin bir çözüm olabileceği görülmüştür. Ayrıca kare ve kareye yakın forma sahip binaların, hem ısıtma hem de soğutma yükü için yeşil çatı sistemleri ile birlikte kullanımının enerji tasarrufuna katkısı daha fazla olmaktadır.

Çatıların binanın üzerini kapatan bir yapı elemanı olmasından öte, binanın ihtiyaç duyduğu enerji miktarını azaltan, binaya estetik değer katan, kullanıcılara sosyal etkinlik alanı sunan işlevleriyle birlikte düşünmek gerekmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir çevrelerin oluşabilmesi için yeşil çatı uygulamalarının artırılması ile hem çevresel hem ekonomik hem de toplumsal açıdan fayda sağlanacaktır.

Kaynaklar

- [1] Yıldırım A. Sürdürülebilir Kentsel Gelişme Çerçevesinde Kapalı Konut Yerleşkeleri; Antalya Örneği, Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2017; 2 (3):135-142.
- [2] Ayçam İ. Enerji Etkin Ofis Binalarında Gelişmiş Cephe Sistemlerinin İncelenmesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bina Fiziği Sempozyumu, 2011, 13-16 Nisan, İzmir. s:1593-1609
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Kasım, Ankara,2017.

- [4] Erkmen F İ. Sıcak İklim Bölgelerinde Yapıların Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması (Antalya, Diyarbakır Örneği), Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- [5] Gazioğlu A, Akşit Ş F, Manioğlu G. Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Tüketimini Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2013; 136:41-52.
- [6] Zoroğlu F, Atmaca A, Zorer B, Gedik G. Çevresel Sürdürülebilirlik Kapsamında Konutta Isıl Konforun Sağlanması ve Enerji Tüketiminin Azaltılması, İstanbul 1. Konut Kurultayı, 2018. ss:1702-1713.
- [7] Dağdır C, Bolattürk A. Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2011; 124:64-77.
- [8] Kınalı M. Farklı İklim Bölgelerindeki Ofis Binalarında Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüklerine Olan Etkilerinin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [9] Akpınar Külekçi E. Geçmişten Günümüze Yeşil Çatı Sistemleri ve Yeşil Çatılarda Kalite Standartlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. ATA Planlama ve Tasarım Dergisi 2017; 1(1):35-53.
- [10] Tokaç T. Bitkilendirilmiş Çatı Sistemleri İçin Tasarım Seçeneklerinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [11] Söğüt Z, Şenol D. Kentsel Çevre Kapsamında Yeşil Çatı ve Cephelelerin Değerlendirilmesi. Akademik Platform Dergisi ISEM 2014: 733-742.
- [12] Ekşi M, Uzun A. Yeşil çatı sistemlerinin su ve enerji dengesi açısından değerlendirilmesi. Journal of the Faculty of Forestry İstanbul University 2016, 66: 119-138
- [13] Erkul E. Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2012.
- [14] Demir R, Yiğit Avdan Z, Avdan U, Demircioğlu Yıldız N. (2016). Yaşayan Duvarların Kentin Isı Değişimine Etkisi, 6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2016), s:1089-1098, 5-7 Ekim, Adana.
- [15] Yao L, Chmi A, Zeng R. Integrating cost-benefits analysis and life cycle assessment of green roofs: a case study in Florida, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 2018; 26:2, 443-458.
- [16] Ebadati M, Ehyaei M A. Reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs in three different climates of Iran. Advances in Building Energy Research 2018; 10.1080/17512549.2018.1489894
- [17] Binalarda Isı Yalıtım Kuralları- TS 825. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Mayıs 2008.
- [18] ASHRAE Temel El Kitabı. Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınlar, Alaş Ofset, İstanbul, 1997.
- [19] Atmaca U. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 2016;154:21-35.
- [20] <https://www.mgm.gov.tr> Türkiye'deki İllere Ait Veri Değerlendirmesi (Erişim Tarihi:14.06.2019)
- [21] <https://www.havaturkiye.com> Türkiye'deki İllere Ait Sıcaklık ve Nem Değerleri (Erişim Tarihi:14.06.2019)
- [22] Kılıç Turan B. Yeşil Çatıların Bina Isıtma ve Soğutma Yüküne Etkisinin Farklı İklim Bölgeleri için Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2019.
- [23] Watson D, Labs K. Climatic Buildig Design. Mc Gram-Hill Book Company,1983.

Elazığ'da Üretilen Balların Bazı Toksik Ağır Metal Düzeyleri

Osman AYGÜN*

Gıda İşleme Bölümü, Keban Meslek Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Keban / Elazığ, Türkiye

* oaygun@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 17/07/2019;

Kabul/Accepted: 07/02/2020)

Öz: Bu çalışmada, Elazığ'da üretilen ballarda bazı toksik ağır metal düzeylerinin belirlenmesi amaçlandı. Bunun için Elazığ'daki çeşitli marketlerden ve şarküterilerden toplanan 30 adet doğal süzme bal örneğinde alüminyum (Al), arsenik (As), kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) düzeyleri analiz edildi. Bal örneklerinin metal içerikleri, mikrodalga ünitesinde yakma işlemi sonrasında ICP-MS cihazı ile belirlendi. Örneklerde bulunan Al, As, Cd ve Pb miktarları sırasıyla 435,9 µg/kg, 4,8 µg/kg, 337,9 µg/kg ve 409,9 µg/kg olarak tespit edildi. Analiz edilen bal örneklerinde miktar bakımından en çok bulunan toksik ağır metallerin Al, Pb, Cd ve As şeklinde sıralandığı görüldü. Sonuç olarak, bal örneklerindeki Al ve As düzeylerinin insan sağlığı açısından risk oluşturmayacak derecede düşük olduğu, buna karşılık Cd ve Pb düzeylerinin tüketici sağlığı açısından potansiyel bir risk oluşturabileceği kanaatine varıldı.

Anahtar kelimeler: Bal, ağır metal, Elazığ.

Some Toxic Heavy Metal Levels of Honeys Produced in Elazig

Abstract: In this study, it was aimed to determine some toxic heavy metal levels of honeys produced in Elazig. For this purpose, aluminum (Al), arsenic (As), cadmium (Cd) and lead (Pb) levels of 30 natural liquid honey samples collected from various markets and delicatessens in Elazig were analyzed. The metal contents of honey samples were determined by ICP-MS device after the microwave digestion process. The amounts of Al, As, Cd and Pb in the samples were 435,9 µg/kg, 4,8 µg/kg, 337,9 µg/kg and 409,9 µg/kg, respectively. The highest amount of toxic heavy metals in the honey samples were determined as Al, Pb, Cd and As, respectively. As a result, it was concluded that the levels of Al and As in honey samples were low enough not to pose a risk to human health, whereas Cd and Pb levels could pose a potential risk to consumer health.

Key words: Honey, heavy metal, Elazig.

1. Giriş

Bal, "Bal arılarının bitki nektarından, bitkilerin canlı kısımlarının salgılarından veya bitkilerin canlı parçaları üzerinde yaşayan bitki emici böceklerin salgılarından topladığı, kendine özgü maddelerle değişikliğe uğratarak su içeriğini azalttığı ve petekte depolayarak olgunlaştırdığı doğal bir hayvansal ürün" olarak tanımlanmaktadır [1]. Bal, ülkemizde yaygın olarak tüketilen, ihracatta tercih edilen ve ülke ekonomisine büyük katkı sağlayan önemli bir hayvansal gıda maddesidir. Türkiye'de, 2016 yılında yaklaşık 106 bin ton düzeyinde bal üretimi gerçekleştirilmiştir. Diğer bir ifade ile Türkiye, dünya bal üretim sıralamasında Çin'den sonra ikinci sırada yer almaktadır [2].

Bal, özellikle karbonhidratlar, amino asitler, vitaminler, fenoller, enzimler ve mineraller gibi birçok temel besin maddesini içermektedir; bu nedenle hem besleyici olması ve hem de antibakteriyel, antifungal ve antiviral etkilerinden dolayı insan beslenmesinde ve tıpta önemli bir yere sahiptir [3]. Balın, içerdiği flavonoidler ve fenolik asitlerin gösterdikleri yüksek antioksidan ve antiinflamatuvar etkilerden dolayı antikanser ve antidiyabetik aktivite gösterdiği, kalp-damar sisteminde, esas olarak düşük yoğunluklu lipoproteinlerin oksidasyonunu önlediği, sinir ve solunum sistemlerinde ve gastrointestinal sistemde, astım ve bakteriyel enfeksiyonlara karşı da koruyucu bir etkiye sahip olduğu bildirilmektedir [3, 4]. Balların bileşimi ve özellikleri, öncelikle nektarın veya bal özünün botanik kökenine, iklime, coğrafik bölgelere, bal arısı türlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bununla beraber, hasat işlemi, ambalajlama ve depolama da balın nitelikleri üzerinde etkili faktörler arasında yer almaktadır [5, 6]. Ballardaki metal konsantrasyonlarının ise, büyük ölçüde botanik ve coğrafi kökenleri bakımından çiçeklerin temel bileşimine bağlı olduğu rapor edilmektedir [7]. Balın içerdiği başlıca iz elementler arasında K, P, Mg, Al, Ca, Na, Fe, Mn, Cu ve Zn gibi mineraller sayılmaktadır [3].

* Sorumlu yazar: oaygun@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-4328-052X

Bal, insanların ihtiyaç duyduğu başlıca mineral ve iz elementlerin iyi bir kaynağı olarak görülmektedir. Ancak, gıda yoluyla alınan bazı elementlerin güvenlik seviyelerini aştıklarında toksik olabildiği de rapor edilmektedir [7]. Na, K, Ca, Zn, Fe ve Cu gibi metallerin, insan vücudunda bazı biyokimyasal ve fizyolojik fonksiyonlar için önemli ve yaşam boyunca sağlığı korumak için gerekli olduğu, ancak Pb, As, Cd ve Hg gibi ağır metallerin özellikle toksik olduğu, bu metallerin gıdalarda aşırı miktarlarda bulunmasının, bazı hastalıklara, özellikle de kalp - damar, böbrek, solunum, sinir ve kemik hastalıklarına neden oldukları [8], Al'un sinir, kemik ve hemopoitetik hücreler üzerinde zararlı etkileri bulunduğu ve Parkinson hastalığı gibi bazı nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili olduğu [9, 10] bildirilmektedir.

Çevrenin ağır metallerle kontaminasyonu, beslenme ve çevresel nedenlerden dolayı günümüzde önemli gittikçe artan bir sorun haline gelmiştir. Çevrenin ağır metallerle kontaminasyonuna yol açan kaynaklar arasında toprak erozyonu, yer kabuğunun doğal yıpranması, madencilik, endüstriyel atıklar, kentleşme, kanalizasyon suları, tarım ilaçları vb. sayılmaktadır [9]. İnsan beslenmesinde ve tıpta önemli bir yere sahip olan balların da, endüstriyel kirlilik, bala uygulanan hatalı işlemler ve zirai kimyasal maddeler gibi dış kaynaklar vasıtasıyla ağır metal kontaminasyonuna maruz kalabileceği rapor edilmiştir [5]. Sanayi alanları ve araç trafiğinden dolayı havada ve suda, arı ve arı ürünlerini de kontamine edebilen ağır metaller bulunabileceği gibi, özellikle yoğun araç trafiğinden dolayı Al, Ca, Cu, Fe, Pb, Mg, Si, Zn, Ba, Cd, Ni, Pd, Pt gibi ağır metaller de havaya ve çevreye yayılabilmektedir [8, 11]. Bu bağlamda, arı ve arı ürünlerinden, çevrenin kirliliğinin belirlenmesinde biyoindikatör olarak da faydalanılabileceği bildirilmiştir [11, 12].

Yapılan literatür taramasında, Elazığ'da üretilen balların ağır metal düzeyleri konusunda herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, Elazığ'da üretilen ballarda çevre kirliliğine neden olan önemli toksik ağır metaller arasında yer alan Al, As, Cd ve Pb düzeylerinin belirlenmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bal örnekleri, Elazığ'da çeşitli şarküteri ve marketlerden ve arıcılardan (~ 200 g) temin edildi. Çalışma kapsamında doğal süzme baldan oluşan toplam 30 adet bal örneği analize alınmaya kadar küçük cam kavanozlarda, oda sıcaklığında ve karanlıkta muhafaza edildi.

2.2. Metot

Toplam 30 adet bal örneği Al, As, Cd ve Pb içerikleri bakımından analiz edildi. Analizler Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda yapıldı. Analiz öncesinde bal örnekleri, organik bileşiklerin yok edilmesi ve inorganik bileşiklerin de çözünür faza geçirilmesi için çözünme işlemine tabi tutuldu. Bu amaçla 500 mg bal numunesi üzerine 1 ml H₂O₂ (%35) ve 9 ml suprapur HNO₃ (%65) ilave edildi. Örnekleri yakma işlemi, mikrodalga yakma ünitesi (Milestone Ethos UP, Italy) kullanılarak gerçekleştirildi. Örnekler, mikrodalga yakma ünitesinin çalışma koşullarına göre (Tablo 1) 15 dakikalık yakma ve 20 dakikalık soğutmadan sonra bidistile su ile 50 ml'ye tamamlanarak analize hazır hale getirildi. Örneklerin mineral madde düzeyleri ICP-MS (Inductively coupled plasma with mass spectrometry) cihazı (Agilent, 7800, USA) ile analiz edildi. ICP-MS cihazının çalışma koşulları ve analiz parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Mikrodalga yakma ünitesinin çalışma koşulları.

Basamak	Süre	Sıcaklık	Güç
1	20 dk	210 °C	1800 W
2	15 dk	210 °C	1800 W

Tablo 2. ICP-MS cihazının çalışma koşulları.

Parametre	Çalışma Koşulları
RF gücü (RF power)	1550 W
RF eşleştirme (RF matching)	1.4 V
H Torku (Torch H)	0,1 mm
V Torku (Torch V)	0,3 mm
Diskriminatör (Discriminator)	4,1 mV
Plazma gazı (Plasma gas)	15,02 L/dk
Plazma taşıyıcı gazı (Plasma carrier gas)	1.05 L/dk
Yardımcı gaz akışı (Auxiliary gas)	0,9 L/dk
He gazı (He gas)	0,0244 ml/dk
Entegrasyon süresi (Integration time)	0,1 sn
Kazanım süresi (Acquisition time)	23 sn
Nebülizatör tipi (Nebulizer type)	MicroMist
Nebülizatör pompası (Nebulizer pump)	0.1 rps
Örnek giriş tipi (Sample introduction type)	Peripump
Örnek derinliği (Sample depth)	8 mm
Örnekleme periyodu (Sampling period)	0,311 sn
İyon lens modeli (Ion lenses model)	X-lens
Omega bias (Omega bias)	-80 V
Omega lens (Omega Lens)	9,6 V
Hücre girişi (Cell entrance)	-30 V
Hücre çıkışı (Cell exit)	-50 V
Hücre sıcaklığı (Cell temperature)	64,98 °C
Hücre ısıtıcı voltajı (Cell heater voltage)	3,72 V

2.3. Verilerin değerlendirilmesi

Çalışma sonunda elde edilen sayısal sonuçların en düşük, en yüksek ve ortalama değerleriyle standart sapma değerleri Microsoft Office Excel 2016 paket programı kullanılarak elde edilmiştir.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada analiz edilen bal örneklerinde bulunan ağır metallerin en düşük, en yüksek ve ortalama miktarları Tablo 3’de verilmiştir. Analiz edilen toplam 30 adet bal örneğinde miktar bakımından en fazla bulunan ağır metallerin Al, Pb, Cd ve As şeklinde sıralandığı belirlendi.

4. Tartışma

Bal, içerdiği temel besin öğeleri ve gösterdiği çeşitli farmakolojik (antibakteriyel, antifungal, antiviral vb.) etkilerden dolayı insan beslenmesinde ve tıpta önemli bir yere sahiptir [3]. Bal, aynı zamanda çevre kirliliğinin bir göstergesi olarak kullanılabilir önemli bir gıda maddesidir. Arıların yaklaşık 3 km yarıçapındaki bir alanda yoğun şekilde uçtukları ve bu nedenle çevre kontaminasyonunun belirlenmesinde arı ve arı ürünlerinden biyoindikatör olarak faydalanılabileceği bildirilmektedir [11, 12]. Yapılan literatür taramasında, Elazığ’da üretilen ve tüketilen balların ağır metal düzeyleri konusunda bugüne kadar yapılmış herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Al, As, Cd ve Pb, endüstriyel faaliyetler sonucu meydana gelen çevre kirliliğine neden olan önemli toksik ağır metaller arasında sayılmaktadır [5, 10]. Bu çalışma ile Elazığ’da üretilen ve tüketime sunulan balların bazı toksik ağır metal düzeylerinin (Al, As, Cd ve Pb) belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, bal örneklerinde analizi yapılan ağır metallere en fazla Al’un bulunduğu, bunu sırasıyla Pb, Cd ve As’in takip ettiği belirlenmiştir. Bal örneklerinde analiz edilen ağır metal konsantrasyonlarının en düşük ve en yüksek değerlerinin, ortalama değerlerden oldukça farklı bulunması, ağır metal düzeylerinde standart sapmanın oldukça yüksek çıkmasına neden olmuştur. Bu durum, bal örneklerinin üretildiği yerlerin coğrafik koşulları, florası, otoyollara ve sanayi alanlarına olan uzaklığı, balın depolanması, işlenmesi ve nakliyesi sırasında metal kaplar veya ekipmanla temas gibi çeşitli faktörlerden [11] kaynaklanmış olabilir.

Analiz edilen bal örneklerindeki en düşük Al miktarı 0,0 µg/kg, en yüksek 1112,9 µg/kg, ortalama 435,9 µg/kg olarak tespit edilmiştir (Tablo 3). Tuzen ve ark. [13], yaptıkları araştırmada Türkiye’de üretilen bal örneklerinde en düşük Al konsantrasyonunu (83 µg/kg) Ankara, en yüksek konsantrasyonunu ise (325 µg/kg) Kayseri ballarında tespit etmişlerdir. Yarsan ve ark.’larının [11] çalışmalarında ise, Türkiye’nin farklı bölgelerinde üretilen ballardaki Al miktarı 7210–19120 µg/kg aralığında bulunmuştur. Altun ve ark. [14], Doğu ve Güneydoğu

Tablo 3. Analiz edilen 30 adet bal örneğinin ağır metal düzeyleri ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

Numune	Al	As	Cd	Pb
1	774,5	4,3	0,0	195,5
2	0,0	5,0	201,6	29,8
3	1001,9	6,2	49,6	56,9
4	0,0	4,3	145,2	0,0
5	791,2	3,1	3514,1	149,5
6	995,3	5,9	111,9	16,2
7	0,0	1,5	93,0	120,6
8	0,0	1,3	123,4	922,8
9	0,0	65,9	225,2	0,0
10	82,8	1,2	155,9	41,3
11	771,6	0,4	86,1	33,2
12	538,5	1,2	162,5	357,9
13	750,5	1,7	97,1	117,5
14	381,8	1,6	222,7	25,2
15	490,6	1,2	562,2	223,5
16	142,0	4,0	87,3	0,0
17	696,0	4,0	289,0	274,2
18	818,5	6,6	117,8	145,5
19	858,9	1,3	0,0	2911,4
20	1112,9	2,6	0,0	106,4
21	177,8	1,0	0,0	797,5
22	841,3	1,1	0,0	87,1
23	312,8	0,8	27,9	0,0
24	76,8	15,4	39,5	0,0
25	204,2	0,2	5,8	0,0
26	63,2	1,0	0,0	0,0
27	455,1	3,0	0,0	5051,7
28	0,0	0,0	1605,5	0,0
29	334,4	0,0	1114,6	609,2
30	407,1	0,0	1101,1	25,6
En Düşük	0,0	0,0	0,0	0,0
En Yüksek	1112,9	65,9	3514,1	5051,7
Ortalama ve standart sapma	435,9 \pm 365,9	4,8 \pm 11,9	337,9 \pm 710,6	409,9 \pm 1037,2

Bölgelerinde elde ettikleri bal örneklerinde ortalama 69,7 ($<1 - 960$) $\mu\text{g}/\text{kg}$ Al bulunduğunu saptamışlardır. Bir başka çalışmada [15] ise, ülkemizin farklı bölgelerinde üretilen ballarda bulunan Al miktarı 775 - 155585 $\mu\text{g}/\text{kg}$ aralığında, ortalama 15299 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak bulunmuştur. İran'ın çeşitli bölgelerinde üretilen ballarda bulunan Al konsantrasyonu ortalama 9620 (1850 - 17400) $\mu\text{g}/\text{kg}$ [16], Macaristan ballarında ise ortalama 1030 (4 - 4390) $\mu\text{g}/\text{kg}$ [5] düzeyinde tespit edilmiştir. Bu çalışmamızda bal örneklerinde saptanan Al miktarları Czipa ve ark. [5], Yarsan ve ark. [11], Altunatmaz ve ark. [15] ve Akbari ve ark.'nın [16] sonuçlarından düşük, Tuzen ve ark. [13] ve Altun ve ark.'nın [14] sonuçlarından ise nispeten yüksektir. Balda bulunabilecek maksimum Al miktarı Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde [17] ve AB mevzuatında [18] belirtilmemiştir. Balda bulunan, ancak maksimum limitleri belirlenmemiş ağır metal miktarlarının tüketici sağlığı üzerine etkileri, geçici tolere edilebilir maksimum haftalık alım miktarları (PTWI) göz önüne alınarak tartışılabilir [5, 16]. İnsanlar tarafından tüketilen gıdalardaki Al bileşikleri için PTWI değeri, Gıda ve Tarım Örgütü / Dünya Sağlık Örgütü Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi (JECFA) tarafından 1 mg/kg (günlük 0,142 mg/kg) canlı ağırlık olarak belirlenmiştir [19]. Yetişkin bir insanın (60 kg) bir günde tüketebileceği bal miktarının 15 g düzeyinde olduğu [20] dikkate alındığında, bu çalışmamızda bal örneklerinde tespit edilen en yüksek Al miktarının (1113 $\mu\text{g}/\text{kg}$) insan sağlığını etkilemeyecek düzeyde olduğu söylenebilir. Alüminyumun, inşaatlarda, otomobillerde ve uçak yapımında kullanılan yapısal malzemeler, ambalaj malzemeleri, çeşitli kaplar ve mutfak eşyaları ve eczacılık ürünleri de dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanım alanı bulunduğu ve kömür yanması, madencilik ve tarım gibi faaliyetlerden kaynaklanan toprak kaynaklı tozlarla çevreye yayılmaktadır [19]. Alüminyumun sinir, kemik ve hemopoietik hücreler üzerinde zararlı etkilere ve Parkinson hastalığı gibi bazı nörodejeneratif hastalıklara neden olduğu rapor edilmiştir [9, 10]. Bal örneklerinde tespit edilen Al'un, muhtemelen balların işlenmesi sırasında arıcılık ekipmanı (alüminyum bal çıkarıcı, alüminyum kaplar vb.) ile kontaminasyonundan kaynaklanmış olabilir [13].

Arsenik, volkanik aktivite ve minerallerin ayrışması gibi doğal kaynaklardan ve madenlerin eritilmesi, kömür yanması ve arsenik esaslı ahşap koruyucular, pestisitler ve tıp ve veteriner ilaçları gibi uygulamalarla çevreye yayılmaktadır [19]. Bu çalışmada incelenen bal örneklerindeki As miktarı 0,0 - 65,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ arasında, ortalama 4,8

$\mu\text{g/kg}$ düzeyinde tespit edilmiştir (Tablo 3). Döker ve ark. [21], Çankırı piyasasından topladıkları 7 adet bal örneğinde en düşük As konsantrasyonunu $10,40 \mu\text{g/kg}$, en yüksek konsantrasyonu ise $24,30 \mu\text{g/kg}$, ortalama $14,7 \mu\text{g/kg}$ olarak tespit etmişlerdir. Arsenik konsantrasyonu, İran'ın çeşitli bölgelerinde üretilen ballarda ortalama $160 (80 - 400) \mu\text{g/kg}$ [16] ve $110 (80 - 160) \mu\text{g/kg}$ [22], Macaristan'da üretilen ballarda ortalama $15,9 (3,19 - 30,4) \mu\text{g/kg}$ [5], Romanya'da üretilen ballarda ise ortalama $6,9 (2,3 - 14,9) \mu\text{g/kg}$ olarak tespit edilmiştir [23]. Bu çalışmamızda bal örneklerinde saptanan As miktarları, yukarıda bahsedilen araştırma sonuçlarından daha düşüktür. İnorganik arsenik, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından insanlar için kanserojen madde olarak tanımlanmaktadır [19]. Balda bulunabilecek As miktarı Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde [17] ve AB mevzuatında [18] belirtilmemiş olmasına rağmen, Tayland'da balda bulunabilecek en yüksek As $0,2 \text{ mg/kg}$ olarak belirlenmiştir [24]. Bu çalışmada bal örneklerinde tespit edilen As miktarının, adı geçen ülkedeki maksimum değerden oldukça düşük olduğu, dolayısıyla tüketicilerin sağlığı açısından potansiyel bir risk taşımadığı söylenebilir. Özellikle içme suyunun, diyetle alınan toplam inorganik As miktarında önemli bir kaynak olduğu, içme suyundan kaynaklanan büyük bir katkı olmadıkça, insanlarda tolere edilebilir As miktarının normal olarak aşılamayacağı bildirilmektedir [19].

Bu çalışmada analiz edilen bal örneklerindeki Cd miktarı $0,0 \mu\text{g/kg}$, en yüksek $3514,1 \mu\text{g/kg}$, ortalama $337,9 \mu\text{g/kg}$ olarak saptanmıştır (Tablo 3). Tuzen ve ark. [13], en düşük Cd konsantrasyonunu ($0,9 \mu\text{g/kg}$) Samsun ballarında, en yüksek Cd konsantrasyonunu ise ($17,9 \mu\text{g/kg}$) Adana ballarında tespit etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise, ülkemizin farklı bölgelerinde üretilen ballarda ortalama $380 (0,00 - 297) \mu\text{g/kg}$ [15], Kahramanmaraş ballarında ise ortalama $320 (310 - 340) \mu\text{g/kg}$ [25] Cd bulunmuştur. Altun ve ark. [14] tarafından yapılan çalışmada, Doğu ve Güneydoğu illerinde toplanan bal örneklerinde Cd tespit edilmemiştir ($<1 \mu\text{g/kg}$). İran'ın çeşitli bölgelerinde üretilen ballarda ortalama olarak $390 (330 - 530) \mu\text{g/kg}$ [16], Macaristan ballarında ortalama $0,746 (<0,003 - 3,31) \mu\text{g/kg}$ [5], Romanya'nın farklı bölgelerinde üretilen ballarda ise ortalama $2,10 (0,5 - 11,60) \mu\text{g/kg}$ [23] Cd bulunduğu saptanmıştır. Bu çalışmamızda bal örneklerinde saptanan Cd miktarları Czipa ve ark., [5], Tuzen ve ark. [13], Altun ve ark. [14], Altunatmaz ve ark. [15] ve Oroian ve ark.'nın [23] sonuçlarından yüksek olmasına rağmen, Akbari ve ark. [16] ve Erbilir ve Erdoğan'ın [25] sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde [17] balda bulunabilecek Cd miktarı belirtilmemiştir. Ancak balda bulunan Cd miktarı, gıda takviyelerinde bulunabilecek en yüksek Cd miktarıyla da değerlendirilmiştir [24]. Bahsedilen yönetmelikte [17] ve AB mevzuatında [18], gıda takviyelerinde bulunabilecek en yüksek Cd miktarı $1,0 \text{ mg/kg}$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, insanlar için geçici tolere edilebilir kadmiyum miktarı günlük (PTDI) $0,8 \mu\text{g/kg}$ canlı ağırlık, aylık (PTMI) $25 \mu\text{g/kg}$ canlı ağırlık olarak tespit edilmiştir [19]. Bal örneklerinde tespit edilen ortalama Cd düzeyi, söz konusu limit değerler dikkate alındığında düşük olsa da, bazı bal örneklerinde daha yüksek düzeyde ($3514,1 \mu\text{g/kg}$) Cd bulunmasının, tüketici sağlığı açısından potansiyel bir risk oluşturabileceği söylenebilir. Kadmiyum, insan faaliyetleriyle havaya, karaya ve suya yayılan elementlerden biridir. Genel olarak, çevrenin Cd ile kontaminasyonu, Cd'un üretilmesi ve kullanılmasıyla ve Cd içeren atıkların bertaraf edilmesiyle meydana geldiği [19] düşünülmektedir. Balın Cd ile kontaminasyonu metal kaplama, boyalar ve temas ettiği plastikler yoluyla da olabilmektedir [23]. Kadmiyumun, IARC tarafından kanserojen madde olarak tanımlandığı, böbreklerde birikerek böbrek fonksiyon bozukluklarına yol açtığı ve kronik obstrüktif solunum yolu hastalığının da, Cd'un uzun süre solunmasıyla ilişkili olduğu bildirilmektedir [19].

Analiz edilen bal örneklerinde en düşük $0,0 \mu\text{g/kg}$, en yüksek $5051,7 \mu\text{g/kg}$, ortalama $409,9 \mu\text{g/kg}$ Pb tespit edilmiştir (Tablo 3). Tuzen ve ark. [13], en düşük Pb konsantrasyonunu ($8,4 \mu\text{g/kg}$) Samsun ballarında, en yüksek Pb konsantrasyonunu ise ($106 \mu\text{g/kg}$) Erzurum ballarında tespit etmişlerdir. Başka bir çalışmada [15], ülkemizin farklı bölgelerinde üretilen ballarda ortalama $349 (0,0 - 3035) \mu\text{g/kg}$ Pb bulunmuş; Altun ve ark. [14] tarafından yapılan çalışmada ise Doğu ve Güneydoğu Bölgelerinde toplanan bal örneklerinde Pb tespit edilmemiştir ($<1 \mu\text{g/kg}$). Kurşun konsantrasyonu, İran'ın çeşitli bölgelerinde üretilen ballarda ortalama olarak $110 (40 - 340) \mu\text{g/kg}$ [16] ve $80 (60 - 120) \mu\text{g/kg}$ [22] düzeylerinde saptanırken, Macaristan'da üretilen ballarda ortalama $45,4 (11,2 - 133) \mu\text{g/kg}$ [5], Romanya'da üretilen ballarda ortalama $51,67 (20,11 - 142,28) \mu\text{g/kg}$ [23] olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmamızda bal örneklerinde saptanan Pb miktarı yukarıda bahsedilen çalışmaların sonuçlarından yüksektir. Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'nde [17] balda bulunabilecek Pb miktarı belirtilmemiştir. Ancak bu çalışmada, bal örneklerinin yaklaşık yarısında tespit edilen Pb düzeyinin, AB mevzuatında belirtilen maksimum düzeyden ($0,10 \text{ mg/kg}$) [18] yüksek olması, tüketici sağlığı açısından potansiyel bir risk oluşturabileceği anlamına gelmektedir. Kurşun, çevrede, kentsel ve kırsal alanlarda yaygın olarak yayılan ağır bir metaldir. Kurşun kontaminasyonunun, çoğunlukla endüstriyel faaliyetlerden olmak üzere birçok kaynaktan meydana geldiği, özellikle maden eritme, işleme, kullanma, geri dönüşüm veya imhası sırasında kurşunun çevreye yayıldığı rapor edilmektedir [19, 23]. Gıdaların Pb ile kontaminasyonunun önlenmesinde ve kontrolünde Pb lehimli konserve kutularının kullanılmaması, petrol ve boyada Pb kullanımının düzenlenmesi, sudaki Pb miktarlarının kontrol

edilmesi ve iyi tarım uygulamalarının önemli olduğu bildirilmektedir [20]. İnorganik Pb bileşikleri, IARC tarafından insanlar için muhtemel kanserojen madde olarak sınıflandırılmıştır [19].

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında incelenen ve Elazığ'da tüketime sunulan bal örneklerinde ağır metal miktarları farklılık göstermiştir. Balda bulunan mineral madde içerikleri üzerinde bal arılarının türü, coğrafik bölgeler, bitki türleri, endüstriyel kirlilik, bala uygulanan hatalı işlemler, metal kaplar veya ekipmanla temas ve zirai kimyasal maddeler [5, 7, 11, 13] gibi birçok faktör etkilidir. Balda tespit edilen Al ve As düzeylerinin insan sağlığı açısından risk oluşturmayacak derecede düşük olduğu, buna karşılık Cd ve Pb düzeylerinin tüketici sağlığı açısından potansiyel bir risk olabileceği söylenebilir. Toksik metallerle yüksek düzeyde kontamine gıdalar tüketiciler tarafından alındığında metal toksisitesi oluşabileceği gibi, az miktarda metallere uzun süre maruz kalmanın da, zaman içinde kümülatif etkilerden dolayı kronik toksisiteye neden olabileceği bilinmektedir [24]. Balların ağır metallerle kontaminasyonunun azaltılmasında, tarım ilaçlarının yoğun kullanıldığı çevrelerde ve şehir merkezlerine, otoyol ve sanayi tesislerine yakın bölgelerde bal üretiminin yapılmaması gerekmektedir [11, 13]. Ayrıca, ağır metal içermeyen arıcılık ilaçları kullanılmalıdır. Bu konularda, bal üreticilerinin bilinçlendirilmesi önem arz etmektedir. Diğer taraftan, balların ağır metal düzeylerinin belirlenmesi, hem çevrenin ağır metallerle kontaminasyonu nedeniyle oluşabilecek sorunların önlenmesine, hem de toksik metallerin balda bulunabilecek maksimum limitlerinin belirlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, Elazığ'da üretilen ve tüketilen balların içerdikleri mineral maddeler bakımından farklılıklarının nedenlerini belirlemek için arı kolonilerinin, coğrafi alanların ve çiçek türlerinin de dikkate alınarak kapsamlı bir araştırma yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Tarım ve Orman Bakanlığı. Türk Gıda Kodeksi Bal Tebliği Tebliğ No: 2012/58, Resmi Gazete, 27 Temmuz 2012, Sayı: 28366, Ankara, 2012.
- [2] Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. Tarım Ürünleri Piyasaları – Arıcılık. Tarım ve Orman Bakanlığı, Temmuz 2018, Ürün No: 26, Ankara, 2018.
- [3] Khan SU, Anjum S, Rahman K, Ansari MJ, Khan WU, Kamal S, Khattak B, Muhammad A, ve diğerleri. Honey: Single food stuff comprises many drugs. *Saudi J Biol Sci* 2018; 25: 320–325.
- [4] Cianciosi D, Forbes-Hernández TY, Afrin S, Gasparri M, Reboredo-Rodríguez P, Manna PP, Zhang J, Lamas LB ve diğerleri. Phenolic compounds in honey and their associated health benefits: A review. *Molecules* 2018; 23: 2322, doi:10.3390/molecules23092322.
- [5] Czipa N, Andrasi D, Kovacs B. Determination of essential and toxic elements in Hungarian honeys. *Food Chem* 2015; 175: 536–542.
- [6] Kadri SM, Zaluski R, de Oliveira Orsi R. Nutritional and mineral contents of honey extracted by centrifugation and pressed processes. *Food Chem* 2017; 218: 237–241.
- [7] Rashed MN, Soltan ME. Major and trace elements in different types of Egyptian mono-floral and non-floral bee honeys. *J Food Compos Anal* 2004; 17: 725–735.
- [8] Ernest E, Okeke Onyeka O, Ozuah A., Benard N. Comparative assessment of the heavy and trace metal levels in honey produced within Nsukka and Enugu Metropolis. *Food Public Health* 2018; 8(2): 42-46.
- [9] Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol* 2014; 7(2): 60–72.
- [10] Antoine JMR, Hoo Fung LA, Grant CN. Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicol Rep* 2017; 4: 181–187.
- [11] Yarsan E, Karacal F, Ibrahim IG, Dikmen B, Koksal A, Das YK. Contents of some metals in honeys from different regions in Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol* 2007; 79: 255-258.
- [12] Sitarz-Palczak E, Kalembkiewicz J, Dagmara Galas D. Evaluation of the content of selected heavy metals in samples of Polish honeys. *J Ecol Eng* 2015; 16(3): 130–138.
- [13] Tuzen M, Silici S, Mendil D, Soylak M. Trace element levels in honeys from different regions of Turkey. *Food Chem* 2007; 103: 325-330.
- [14] Altun SK, Dinç H, Paksoy N, Temamoğulları FK, Savrunlu M. Analyses of mineral content and heavy metal of honey samples from south and east region of Turkey by using ICP-MS. *Int J Anal Chem* 2017; Article ID: 6391454, p. 6, <https://doi.org/10.1155/2017/6391454>.
- [15] Altunatmaz SS, Tarhan D, Aksu F, Ozsoğacı NP, Or ME., Barutçu UB. Levels of chromium, copper, iron, magnesium, manganese, selenium, zinc, cadmium, lead and aluminium of honey varieties produced in Turkey. *Food Sci Technol Campinas* 2018; DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.19718>. Ahead of Print, 1-6.
- [16] Akbari B, Gharanfoli F, Khayyat MH, Khashyarmansh Z, Rezaee R Karimi G. Determination of heavy metals in different honey brands from Iranian markets. *Food Addit Contam B* 2012; 5(2): 105–111.
- [17] Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Resmi Gazete, 29.12.2011, Sayı: 28157 (3. Mükerrer), Ankara.
- [18] Commission Regulation (EC) No 1881/2006, Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (OJ L 364, 20.12.2006, p. 5). 2006R1881 – EN – 01.04.2016.

- [19] Food and Agriculture Organization. Working document for information and use in discussion related to contaminants and toxins in the GSCTFF. Joint FAO / WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods, CF/5 INF/1, Fifth Session, 21 - 25 March 2011, The Hague, The Netherlands, 2011.
- [20] World Health Organization. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series, no. 960, IV. Series, Geneva, Switzerland, 2011.
- [21] Döker S, Aydemir O, Uslu M. Evaluation of digestion procedures for trace element analysis of Cankırı, Turkey honey by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal Lett* 2014; 47: 2080–2094.
- [22] Mahmoudi R, Mardani K, Rahimi B. Analysis of heavy metals in honey from north-western regions of Iran. *J Chem Health Risks* 2015; 5(4): 251–256.
- [23] Oroian M, Prisacaru A, Hretcanu EC, Stroe S-G, Leahu A, Buculei A. Heavy metals profile in honey as a potential indicator of botanical and geographical origin. *Int J Food Prop* 2016; 19: 1825–1836.
- [24] Wetwitayaklung P, Wangwattana B, Narakornwit W. Determination of trace-elements and toxic heavy minerals in Thai longan, litchi and Siam weed honeys using ICP-MS. *IFRJ* 2018; 25(4): 1464-1473.
- [25] Erbilir F, Erdoğan Ö. Determination of heavy metals in honey in Kahramanmaraş city, Turkey. *Environ Monitoring Assesment* 2005; 109: 181–187.

Çevresel Atıklarla Modifiye Edilmiş Sathi Kaplamaların Performansının Agregat-Bitüm İlişkisi Bağlamında Değerlendirilmesi

Murat KARACASU^{1*}, Kadir Berkhan AKALIN²

^{1,2} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

*¹ muratk@ogu.edu.tr, ² kbakalin@ogu.edu.tr

(Geliş/Received: 31/07/2019;

Kabul/Accepted: 29/09/2019)

Öz: Karayolu üstyapı kaplamaları genel olarak Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) veya sathi kaplama şeklinde üretilmektedir. Bu çalışmada düşük maliyeti sebebiyle kullanım alanı fazla olan sathi kaplamaların agregat-bitüm ilişkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda, agregat, bitüm ve karışım deney sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Agregat olarak kireçtaşı ve bazalt cinsi agregatlar kullanılmıştır. Bitüm olarak; 50/70 ve 70/100 penetrasyonlu bitümler, katkı olarak ise; % 10 atık lastik ve %1 Polivinil Klorür (PVC) kullanılmıştır. Üretilen bütün bu farklı tipteki numuneler için sathi kaplamaların performansının ölçülmesinde kullanılan Soyulma ve Yapışma (Vialit) mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, 50/70 bitüm kireçtaşı agregatlarla daha iyi yapışma sağlarken, 70/100 bitüm bazalt agregatlarında daha güçlü yapışma sağlamaktadır. Atık lastik ve PVC talaşları agregat ve bitüm arasındaki adezyonu artırmaktadır. Ayrıca atıklar kireçtaşı agregatlarında daha iyi performans göstermektedir. Özellikle bazalt türü agregatlarında düşük olan adezyonu, kullanılan atık lastik ve PVC talaşları artırmaktadır. 70/100 penetrasyonlu bitümde, bitümün kıvamından dolayı katkı olarak kullanılan atıkların homojen dağılımları kolaylaşmakta ve bu sayede adezyon kuvvetindeki artış daha iyi gözlemlenmektedir. Soyulma mukavemeti kapsamında, atık lastik ile modifiye edilmiş olan bitüm ve kireçtaşı en iyi performansı sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: Sathi kaplama, geri dönüşüm, soyulma mukavemeti, yapışma mukavemeti, sürdürülebilir ulaşım.

Evaluation of the Performance of Modified Chip Seal with Environmental Waste in the Context of Aggregate-Bitumen Relationship

Abstract: Road pavements are produced in the form of Bituminous Hot Mix Asphalt (HMA) or chip seal in general. In this study, the aggregate-bitumen relationship of chip seal, which is preferred more due to its low cost, was investigated. In experimental studies, aggregate, bitumen and mixture test results were evaluated together. Limestone and basalt aggregates were used as the aggregates. As the bitumens; 50/70 and 70/100 penetration grade bitumens, as an additive; 10% waste rubber and 1% Poly Vinyl Chloride (PVC) are used in the experiments. Peeling resistance and adhesion (Vialit plate) tests were applied to measure the performance. According to the experimental results; in the adhesion (Vialit) tests, 50/70 penetration grade bitumen provides better adhesion with limestone aggregates, while 70/100 bitumen provides better adhesion in basalt aggregates. Waste rubber and PVC fibers increase adhesion strength between aggregate and bitumen. In addition, the wastes used as additives reveal a good performance when the limestone is used as an aggregate. Waste rubber and PVC fibers increase the adhesion strength which is low in basalt aggregates especially. In 70/100 penetration grade bitumen, the homogeneous dispersion of the wastes as the additives is facilitated due to the consistency of the bitumen, thus increasing the adhesion strength can be easily observed. In the context of peeling strength, limestone aggregates and the bitumen modified by the waste rubber provided the best performance.

Key words: Chip seal, recycling, peeling resistance, adhesion test, sustainable transport.

1. Giriş

Her geçen gün kaynakların tükendiği ve daha fazla kirlenen dünyamızda yapılan mühendislik çalışmalarında güvenlik, ekonomi ve çevreyi en az kirletme esastır. Karayolu kaplamalarında sathi kaplamaların maliyeti bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamalara göre daha düşüktür. Ancak imalat şekillerinden ve yapılarından dolayı bazı dezavantajlı durumları mevcuttur. Genel bir ifadeyle, sathi kaplamaları oluşturmak için, temel tabakası üzerine ince film halinde bitüm püskürtülür (Şekil 1). Daha sonrasında belli bir dane dağılımına sahip agregat, bitüm üzerine serilir. Silindirlerle ve daha sonra akan trafiğin de etkisiyle sıkıştırma yapılır. BSK kaplamalara göre kalınlıkları daha az olduğundan ve büyük gözenekli yapısından dolayı dayanımları düşüktür. Özellikle kış aylarındaki tuzlama çalışmalarından daha fazla etkilenirler. Su ile etkileşimleri daha fazladır. Bu yüzden, araç tekerleklerindeki vakumlama etkisiyle birlikte yüzeyden kopmalar meydana gelebilir. Mevsimsel sıcaklığın

* Sorumlu yazar: muratk@ogu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-9721-0984, ² 0000-0001-6720-5498

artması ile kumular oluşabilir ve bunun yanında yapısal bozulmalar meydana gelebilir. Kuloğlu, Kök ve Öndaş (2004) yaptığı çalışmada, sıcaklık, trafik yükü ve bitüm oranındaki artışın kuma miktarını da arttıracakını tespit etmişlerdir [1]. Ancak maliyetlerinin düşük olması nedeniyle ülkemizde kaplama olarak genellikle sathi kaplamaların kullanımı tercih edilmektedir. Özellikle ülkemizde kırsal alanlardaki ilçe ve köy yollarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tablo 1’de verildiği üzere ülkemizde sathi kaplama yol uzunluğu 40.183 km’dir ve tüm yol ağının yaklaşık %60’ını oluşturmaktadır.



Şekil 1. Sathi kaplama çalışmaları.

Tablo 1. Sath Cinsine Göre Türkiye Karayolu Ağı (01.01.2019 itibariyle) [2].

	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	TOPLAM
Otoyol	2 159	-	-	-	-	-	2 159
Devlet Yolları	17 520	13 115	58	27	-	301	31 021
İl Yolları	4 403	26 218	232	537	443	2 320	34 153
TOPLAM	24 082	39 333	290	564	443	2 621	67 333

Eğer yol imalatı hızlı bir şekilde yapılacak ise, BSK kaplama yolları önce sathi kaplama şeklinde imal edip, muhtemel oturmalar gerçekleşikten sonra asıl kaplamayı inşa etmek daha faydalı olacaktır. Sathi kaplamaların kullanımı bu kapsamda da önem arz etmektedir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, Türkyılmaz (2007) tarafından yapılan çalışmada sathi kaplamalar da dâhil olmak üzere, esnek üstyapılı karayolları için dünyada uygulanan koruyucu bakım yöntemleri incelenmiş ve uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda esnek üstyapılı karayollarında koruyucu bakım yönteminin seçimi hakkında bilgiler sunulmuş ve karayollarında oluşan bozulmalar ve nedenleri araştırılmıştır [3].

Gürer (2010) tarafından yapılan ve sathi kaplamaların performansına etki eden parametrelerin araştırıldığı çalışmada, agregat ve bitüm numuneleri üzerinde laboratuvar ortamında, Nicholson ve California soyulma deneyleri ile Vialit ve Modifiye yapışma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca iklimsel veriler ve laboratuvar ortamında tespit edilen malzeme özellikleri kullanılarak, sathi kaplama performansı üzerinde etkili olduğu düşünülen parametreler için model geliştirilmiştir [4].

Sağlık ve Öztürk tarafından 2014 yılında Türkiye’deki sathi kaplamalarda kullanılan bitümlerin performans sınıflarının (SPG -Surface Performance Grade) belirlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, maksimum ve minimum kaplama sıcaklıklarına göre uygulanacak sathi kaplamada, hangi bitümün kullanılacağı araştırılmıştır [5].

Gürer ve Kardeşin (2014) sathi kaplamada kullanılan agregaların adezyon özelliklerini incelediği araştırmasında, sathi kaplamaların performansına etkiden en önemli faktörün agregat-bitüm arasındaki adezyon olduğunu ifade etmektedir. Agregat-bitüm arasındaki yeterli yapışma kuvvetinin sağlanması ile agregaların kaplama yüzeyinden sökülmeleri azalacak ve bu sayede sathi kaplamaların performansı artarak, hizmet süresini sorunsuzca karşılaması sağlanacaktır [6].

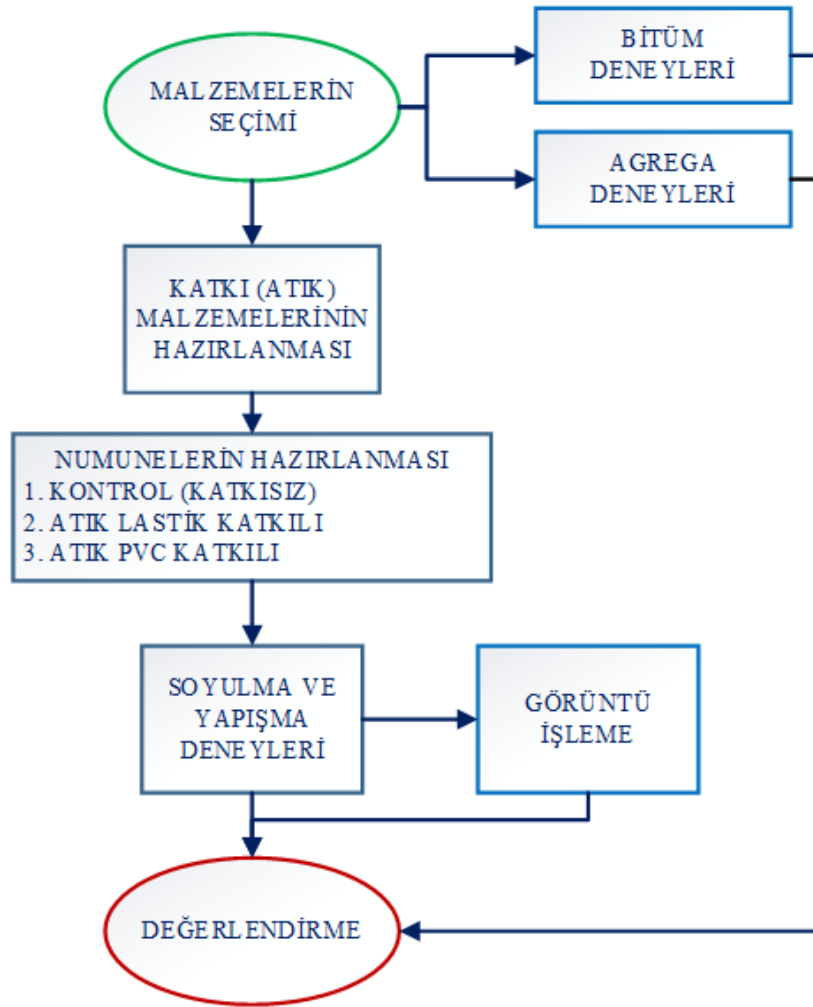
Literatürde yapılan çalışmalar daha çok BSK kaplamalar üzerine yoğunlaşmakta, sathi kaplamaların performanslarının araştırılmasına yönelik çalışmalar oldukça azdır. Bu kapsamda sathi kaplamalar üzerinde çalışmalar yapılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, agregat-bitüm adezyonu üzerine araştırmalar yapmak ve bu araştırma sonuçlarını ortaya koymak amaçlanmıştır. 50/70 ve 70/100 penetrasyonlu bitümler için

deneyler ayrı ayrı uygulanmıştır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan kireçtaşı ve maliyeti daha yüksek olan bazalt agregaları da deneylerde kullanılmıştır. Atık katkı malzemesi olarak; atık lastik ve Poli Vinil Klorür (PVC) talaşları ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sathi kaplamaların performans değerlerinin ölçülmesinde kullanılan Soyulma ve Vialit yapışma deneyleri, iki farklı tip bitüm, iki farklı türde agrega ve değişken katkı miktarı uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında agrega, bitüm ve karışım deney sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmanın akış şeması Şekil 2’de verilmiştir. Agrega olarak, kireçtaşı ve bazalt cinsi agregalar; Bitüm olarak, 50/70 ve 70/100 penetrasyonlu bitümler; katkı olarak ise % 10 oranında atık lastik ve %1 oranında PVC kullanılmıştır. Öncelikli olarak arasındaki ilişkinin değerlendirileceği, agrega ve bitüm numuneleri üzerinde ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilmiş ardından agrega-bitüm ilişkisi için deneyler yapılmıştır.

Agregalar için, elek analizi, Los Angeles aşınma kaybı, Mikro-Deval aşınma kaybı, yassılık indeksi, donma-çözülme, organik madde analizi, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme deneyleri; bitüm için, yumuşama noktası, penetrasyon, duktilite, ince film ısıtma kaybı (TFOT), parlama noktası ve özgül ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Atık katkılarla üretilen ve agrega-bitüm ilişkisi incelenen farklı tipteki numuneler için sathi kaplamaların performansının ölçülmesinde kullanılan Soyulma ve Yapışma (Vialit) mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın akış şeması.

Soyulma mukavemeti deneyi, agregaların soyulma dayanımını ölçmek için gerçekleştirilen deneydir. Su ve trafik etkisi agregat ile bitüm arasındaki adezyonu bozarak bitümün agregat üzerinden soyulmasına sebep olur. Soyulma dayanımı; agregat ile bitüm arasındaki yapışma özelliğinin bir ölçüsüdür. Soyulma deneyinde; 9,50-4,75 mm elek aralığında kalan agregatlardan 200 gram alınarak iyice yıkanır ve 110°C'lik etüvde kurutulur. 50±0,5 gram agregat beher içine konulur. 140-150°C sıcaklığa sahip etüvde 1 saat bekletilir. 2,5±0,5 gr bitüm 250 cm³'lük beher içerisine konulur. Beher kum banyosuna yerleştirilir. Agregatlar beher içerisine dökülür ve agregat yüzeyleri homojen bir şekilde kaplayıncaya kadar bağıt ile karıştırılır. İçinde bitüm ve agregat karışımı olan beher, 60°C'lik etüvde 24 saat bekletilir. Daha sonra üzerleri bitüm kaplı olan agregatlar 10 cm çapındaki petri kaplarına yerleştirilir. Gerekirse agregatların yüzeyleri cam bağıtler ile düzeltilebilir. Petri kaplarının içerisine saf su ilave edilir ve kapakları kapatılır. 60°C lik etüvde 24 saat bekletilir. Sonrasında petri kaplarının suyu boşaltılarak yeniden su ile doldurulur. Petri kaplarına yandan ışık verilerek agregat yüzeyleri görsel olarak incelenir. Agregatların soyulan ve soyulmayan kısımları belirlenir. Soyulmayan kısımların, tüm agregat yüzeyine oranı soyulma dayanımını verir.

Vialit yapışma mukavemeti deneyi, agregat-bitüm adezyonu hakkında bilgi veren bir deneydir. Özellikle sathi kaplamalarda agregat ile bitüm arasındaki adezyon kuvveti oldukça önemlidir. Mevsimsel değişikliklerin fazla yaşandığı bölgelerde agregat-bitüm ilişkisinin önemi daha da artacaktır. Vialit deneyinde; 19 mm (3/4")'lik elekten geçen, 9,5mm (3/8") elek üstünde kalan agregatlardan 100 adet yıkanır ve kurutulur. Agregatlar, agregat sericinin içerisindeki kafeslere yerleştirilir. Agregatların düşmemesi için altında düz yüzeyli çelik levha bulunmalıdır. Deneyde kullanılacak bitüm 150°C'de 2 saat ısıtılır. Çelik levhalar da aynı sıcaklıkta 30 dakika ısıtılır. 40 gram bitüm spatula yardımıyla çelik levhalar üzerine serilir. Agregat sericide yer alan, bölmelenmiş kafesin altında yer alan çelik levha hızla çekilir ve agregatların çelik levha üzerine serbest düşmesi sağlanır. Agregatların bitüme yapışması için 2-3 dakika beklenir. Lastik bandajlı silindir ile agregatların üzerinden birbirine dik yönde, her gidiş-geliş bir geçiş olmak üzere, üçer defa geçiş yapılır. Bu işlem sırasında agregatların yerinden oynamamasına dikkat edilir. Bu deney levhalarından 3 adet hazırlanır. Üzerinde bitüm ve agregat serili olan bu 3 levha oda sıcaklığında 1 saat bekletilir. Ardından levhalar 35°C'lik su banyosunda 24 saat bekletilir. Levhalar, yatay konumdaki düşme tablanın üç mesnedine agregatların olduğu yüzey altta kalacak şekilde yerleştirilir. Çelik bilye, 50 cm yükseklikten levha üzerine, 10 saniye içerisinde 3 defa düşürülür. Bu işlem her üç numune levhası için tekrarlanır ve levhalardan düşen agregat miktarları belirlenir.

Çalışma kapsamında katkı maddesi olarak atık lastik ve PVC kullanılmıştır. Atık lastikler, hizmet ömrünü tamamlayan atık lastiklerden elde edilmektedir (Şekil 3). Atık lastiklerde araç tekerleklerinin yüzeye değen yumuşak kısım ve çelik tel ile sağlamlaştırılmış sert kısım olmak üzere iki kısım bulunmaktadır. Çalışmada atık lastiklerin yumuşak kısmı kullanılmıştır. Bu yumuşak kısımlar; birbirine paralel, yüzeyleri pürüzlü, yüksek devirde dönen, çelik plakalar vasıtasıyla öğütülmektedir. Öğütülmüş toz halindeki atık lastikler bitüm ile yaklaşık 250 devir/dak. hızda modifikatör mikserde karıştırılmaktadır (Şekil 4). Modifikatör karıştırıcı ısı iletken bir hazneye sahiptir. Bu ısı iletkenlik özelliğine sahip yağ haznesi sayesinde istenilen yüksek sıcaklık değerleri kolaylıkla sağlanabilmektedir. Karışım sıcaklığı 163°C, karışım süresi 60 dakikadır.



Şekil 3. Atık lastik katkı.

PVC (Poli Vinil Klorür) talaşları petrol ve tuzdan oluşan, endüstriyel olarak genellikle kapı ve pencere yapımında kullanılan sentetik bir malzemedir. Çalışmada kullanılan PVC talaşları, üretim sırasında tezgâhların çevresinde atık olarak biriken malzemelerdir. Bu atık PVC talaşları 1x5 mm boyutlara sahip ve beyaz renktedir (Şekil 4).



Şekil 4. Atık PVC katkı ve bitüm katkı karışım cihazı (modifikatör).

3. Deneysel Çalışma Sonuçları

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen agrega deneyleri TS EN standartlarına göre yapılmıştır. Agregalar için elde edilen deney sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen soyulma ve yapışma deneyleri kaba agregalar ile yapıldığından dolayı, agrega deneyi kireçtaşı ve bazalt kaba agregaları için uygulanmıştır.

Tablo 2. Agrega özellikleri deney sonuçları.

	Kireçtaşı	Bazalt	Sınır Değer	Standart
Hacim özgül ağırlık (g/cm ³)	2,480	2,665		TS EN 1097/6
Zahiri özgül ağırlık (g/cm ³)	2,657	2,718		
Yüzey kuru suya doygun (YKSD) özgül ağırlık (g/cm ³)	2,547	2,685		
Su emme yüzdesi (%)	1,687	0,730		TS 3529
Sıkışık birim hacim ağırlık (g/cm ³)	1,911	2,456		
Gevşek birim hacim ağırlık (g/cm ³)	1,756	2,037		
Aşınma kaybı (%)	26,2	24,7	<30	TS 3694
Yassılık indeksi (%)	17	16	<35	TS 9582
Don kaybı (MgSO ₄) (%)	1,3	0,9	<10	TS 3655
Organik madde tayini	-	-	<0,5	TS 3673

Yapılan çalışmada kullanılan 50/70 ve 70/100 penetrasyonlu bitümler için TS EN standartlarına göre uygulanan deney sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

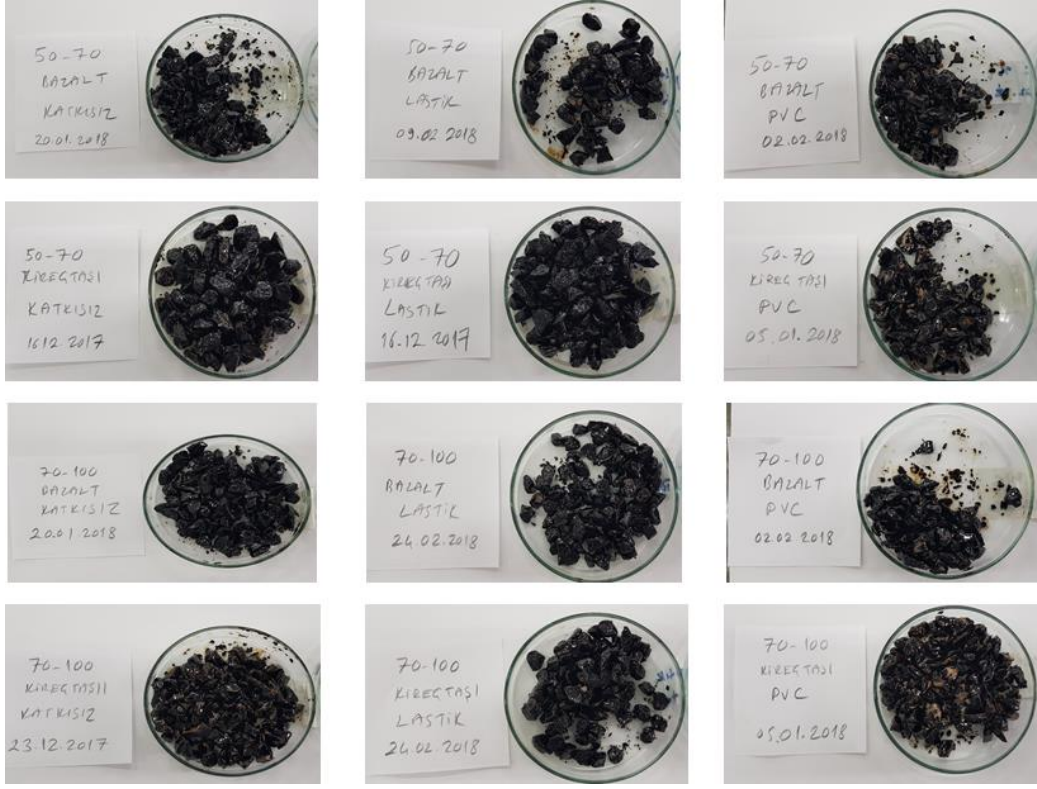
Tablo 3. Bitüm özellikleri deney sonuçları.

	50/70 Bitüm	70/100 Bitüm	Sınır Değer		Standart
			50/70	70/100	
Yumuşama noktası (°C)	48,5	47,0	46-54	43-51	TS 120 EN 1427
Penetrasyon (25°C, 1/10 mm)	58,5	76,1	50-70	70-100	TS 118 EN 1426
Parlama noktası (°C)	250	270	>230	>230	TS 123 EN 22592
Isıtma kaybı (TFOT kütle kaybı) (%)	0,13	0,18	<0,5	<0,8	TS 121 TS EN 12607/2
Özgül ağırlık (g/cm ³)	1,048	1,027	1,0-1,1	1,0-1,1	TS 1087

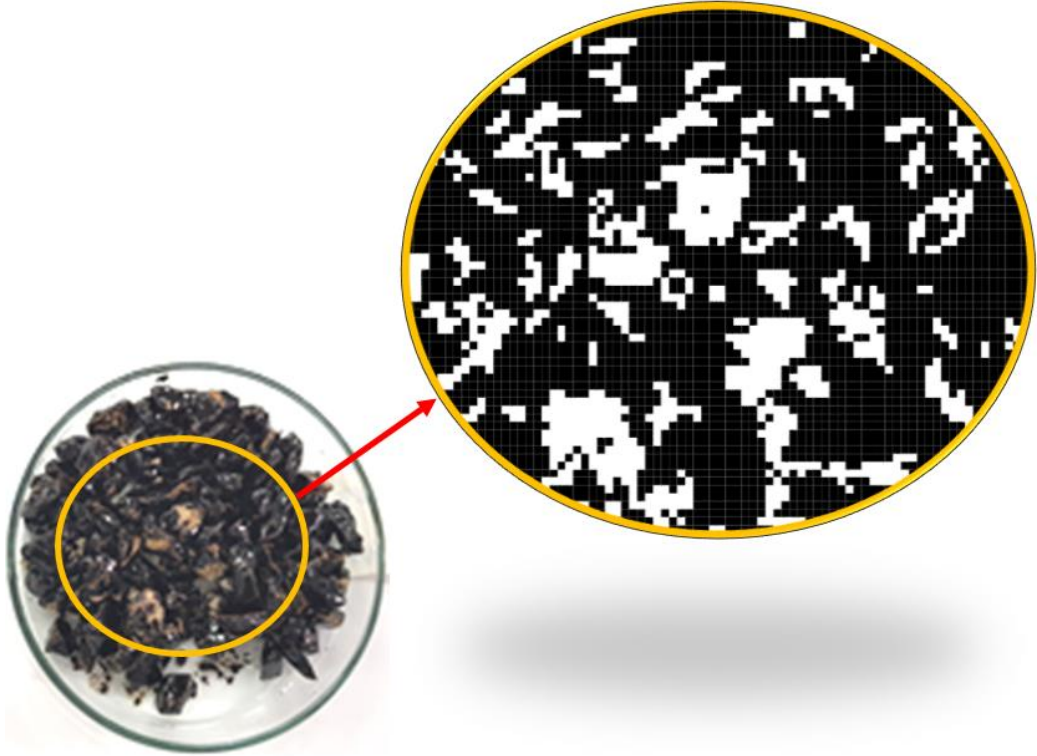
Soyulma mukavemeti deney çalışmaları için her bir numuneden ikişer adet üretilmiş ve sonuçlar değerlendirilirken aynı özelliğe sahip numunelere ait değerlerin ortalamaları alınmıştır. Numunelerin içeriklerine göre yapılan isimlendirme Tablo 4'te, deney çalışmasına ait görseller Şekil 5'te verilmiştir. Geleneksel olarak agreg-a-bitüm arasındaki soyulma mukavemeti TS EN 12697-11'e göre, deney sonundaki tüm agreg-a danelerinin soyulmamış yüzeylerinin, bütün yüzeye oranının en yakın %5'e yuvarlanması ile tespit edilir [7]. Ancak bu değer, günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan görüntü işleme yöntemleri ile tespit edilebilmektedir (Şekil 6). Buna uygun olarak soyulma mukavemeti değerleri Şekil 7'de, görüntü işleme yöntemleri kullanılarak daha hassas olarak tespit edilmiş ve bulunan değerler gözle de kontrol edilmiştir.

Tablo 4. Numune isimlendirmelerine göre numunelerin içerikleri.

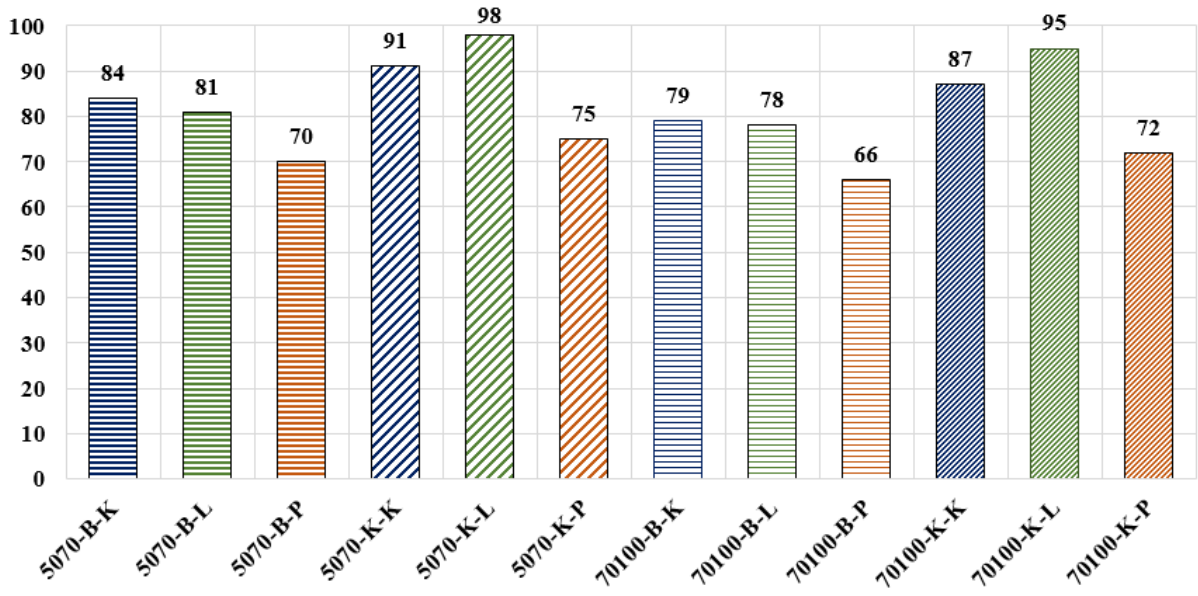
Numune Adı	Bitüm Sınıfı	Agreg-a Tipi	Katkı
5070-B-K	50/70	Bazalt	Katkısız
5070-B-L	50/70	Bazalt	Atık lastik
5070-B-P	50/70	Bazalt	PVC talaşları
5070-K-K	50/70	Kireçtaşı	Katkısız
5070-K-L	50/70	Kireçtaşı	Atık lastik
5070-K-P	50/70	Kireçtaşı	PVC talaşları
70100-B-K	70/100	Bazalt	Katkısız
70100-B-L	70/100	Bazalt	Atık lastik
70100-B-P	70/100	Bazalt	PVC talaşları
70100-K-K	70/100	Kireçtaşı	Katkısız
70100-K-L	70/100	Kireçtaşı	Atık lastik
70100-K-P	70/100	Kireçtaşı	PVC talaşları



Şekil 5. Soyulma deneyi görüntüleri.



Şekil 6. Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak soyulma mukavemeti değerinin tespiti.



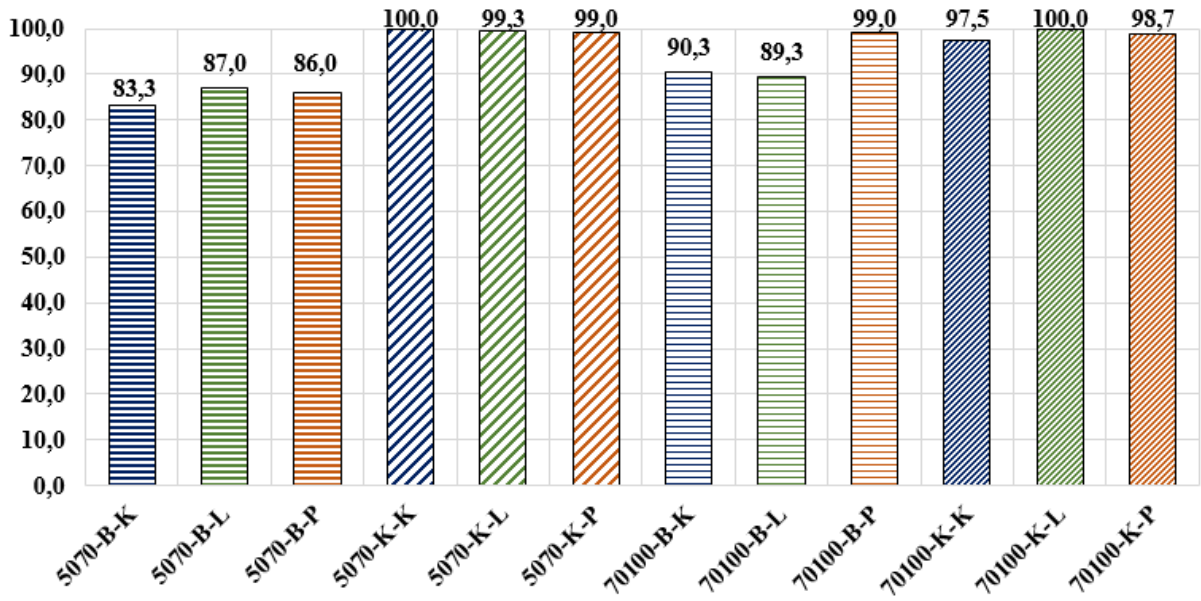
Şekil 7. Soyulma mukavemeti değerleri (%).

Deney sonuçlarına göre, atık lastik ile modifiye edilmiş olan bitüm ve kireçtaşı en iyi performansı sağlamıştır. PVC talaşı atıklarının soyulma performansına olumlu etkisi bulunmamaktadır. Soyulma mukavemeti bağımlı değişken, agrega, bitüm ve katkı türleri bağımsız değişken olarak düşünüldüğünde, ikili değerlendirmelerde farklı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Katkı maddesi, bitüm ile agreganın bağlanmasına olumlu etki gösteriyorsa kaplamanın soyulma mukavemetini de arttıracaktır. PVC talaşı katkının soyulma mukavemetini arttırmıyor olmasına, mevcut karıştırma sıcaklığında PVC'nin yeterli bağlayıcı özellik gösterememiş olması neden olarak gösterilebilir. Atık lastikler hem 50/70 hem de 70/100 bitüm ile kireçtaşı agrega arasında iyi bir bağlayıcı olarak çalışmakta ve soyulma mukavemetini arttırmaktadır. Kireçtaşı agrega yüzeyinin bazalt agrega yüzeyine göre daha fazla gözenekli yapıda olması, soyulma mukavemeti açısından kireçtaşının bazalta göre daha iyi sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Ayrıca literatürdeki bazı çalışmalarda kireçtaşının bazalta göre bitümle daha iyi uyum sağlamasının nedenlerinden birinin de pH (asidik-bazik) uyumu olduğu düşünülmektedir [8-10].

Vialit yapışma mukavemeti için yapılan deneysel çalışmalarda yine her bir numuneden üçer adet üretilmiş ve sonuçlar değerlendirilirken aynı özelliğe sahip numunelere ait değerlerin ortalamaları alınmıştır. Numunelerin isimlendirmeleri soyulma mukavemetindeki isimlendirmelerle aynıdır (Tablo 4). Deney çalışmasına ait görseller Şekil 8'de, adezyon yüzdeleri Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Vialit yapışma deneyi görüntüleri.



Şekil 9. Vialit yapışma (adezyon) mukavemeti değerleri (%).

Deney sonuçları incelendiğinde, kireç taşı ile üretilen numuneler yapışma performansı bağlamında daha iyi sonuçlar vermektedir. Kireçtaşı agregalar bazalt agregalara göre daha gözenekli bir yapıya sahip olduklarından dolayı, bitüm bu gözenekli yapıya daha iyi tutunabilmekte ve adezyon kuvvetinde artış sağlanabilmektedir. Katkılar, kireçtaşı agrega ile daha iyi bağlayıcı özellik göstermekte ve bu sayede adezyon kuvvetini arttırdığı gözlemlenmektedir. Kullanılan katkıların 70/100 bitümün kıvamı nedeniyle, bitüm içerisinde daha homojen dağıldığı ve bu sebeple etkileşiminin arttığı düşünülmektedir. Kireçtaşı bütün katkı ve bitüm türleri için şartname sınır değerlerini sağlamaktadır. Masif yapısı ve düzgün yüzeyinden dolayı bazalt agregalar adezyon açısından sorun yaratmakta, ancak 70/100 bitüm ile daha iyi sonuç verebilmektedir.

4. Sonuçlar ve Yorumlar

Çalışma kapsamında maliyeti bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamalara göre daha düşük olan ve ülkemizde özellikle il ve köy yollarında yaygın olarak uygulanan sathi kaplamalarda kullanılabilecek çevresel atıklarla modifiye edilmiş bitüm ile agregalar arasındaki ilişkisi kapsamında değerlendirmeler yapılmıştır. Sathi kaplamaların performanslarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan soyulma mukavemeti ve Vialit yapışma (adezyon) mukavemeti deneyleri esas alınmıştır.

Sathi kaplamalar yapısı itibarıyla çevresel şartlardan BSK'lara göre daha fazla etkilenirler. Ancak yapılacak yolun hızlıca hizmete açılması gerektiğinden, yolun sınıfına da uygun olarak, başlangıçta sathi kaplama uygulaması yapılarak gelecek yıllarda BSK'ya dönüştürülebilmektedir. Bu sayede meydana gelebilecek oturmalar ve ondülasyonlar gözlemlenerek BSK uygulaması sırasında var olan bozulmaların telafi edilmesi de sağlanabilmektedir. Literatürde, yapılan çalışmaların daha çok BSK kaplamalar üzerine yoğunlaştığı, sathi kaplamalar üzerine gerçekleştirilen araştırmaların oldukça az olması da göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışmanın literatüre etkin bir katkısının olacağı açıktır.

Çalışmada soyulma ve yapışma mukavemeti bağımlı değişken, agrega, bitüm ve katkı türleri bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Agrega olarak ülkemizde oldukça yaygın kullanılan kireçtaşı ve bazalt; bitüm olarak 50/70 ve 70/100 penetrasyonlu bitümler; katkı olarak ise %10 atık lastik ve %1 PVC bitüm ile modifiye edilerek kullanılmıştır.

Soyulma ve yapışma mukavemeti deneyleri, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS) esas alınarak, şartnamede belirtilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [11]. Her bir tür numuneden soyulma deneyi için ikişer tane, yapışma deneyi için üçer tane ve birer tane yedek hazırlanmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar görüntü işleme teknikleri ile desteklenmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Vialit yapışma mukavemeti deneylerinde, kireçtaşı numuneleri bazalt numunelere göre daha iyi performans göstermiştir. Kireçtaşı ile üretilen numunelerde agregat-bitüm adezyonu daha fazla çıkmaktadır. Bu durum agreganın yapısı ile açıklanabilir. Kireçtaşı agregalar gözenekli yapısı sayesinde bitümün agregat yüzeyine tutunmasını sağlamakta ve böylelikle adezyonu arttırmaktadır.

Penetrasyon değerlerine bağlı olarak, 50/70 ve 70/100 bitümün agregat ve bitüm adezyonuna etkileri farklılık göstermektedir. 50/70 bitüm kireçtaşı agregalarla daha fazla adezyon sağlarken, 70/100 bitümün bazalt agregalarla olan adezyonu daha fazladır. 70/100 penetrasyonlu bitümde, kıvamından dolayı ilave edilen atık katkıları bitüm içerisinde daha homojen dağılabilmekte ve bu sayede adezyon kuvvetinde 50/70 bitüme oranla daha fazla artış gözlemlenmektedir.

Katkı olarak kullanılan atık lastik ve PVC talaşları, agregat ve bitüm arasındaki adezyon kuvvetini arttırmaktadır. Ayrıca atıklar kireçtaşı agregalarda daha iyi performans göstermektedir. Özellikle bazalt türü agregalarda düşük olan adezyonu, kullanılan atık lastik ve PVC talaşları arttırmaktadır. Ancak atık lastiklerin olumlu etkisi, PVC talaşlarına oranla daha fazladır.

Soyulma mukavemeti açısından, atık lastik ile modifiye edilmiş olan bitüm ve kireçtaşı en iyi performansı sağlarken, PVC talaşlarının soyulma performansına olumlu etkisi gözlemlenmemiştir.

Çalışma sonucunda, atık lastik ile modifiye edilmiş bitüm ve kireçtaşı agregat kullanılarak üretilen sathi kaplamanın soyulma ve yapışma mukavemeti açısından performansının diğerlerine göre en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kaynakların etkin kullanımı ve sürdürülebilirlik kapsamında, atık lastik kullanımı ile çevresel bir atık değerlendirilirken, atık lastiğin bitüme karışmasının oldukça kolay olması sayesinde, asfalt karışım tesisinde yapılacak düşük maliyetli teknik değişiklikler ile üretim yapılması sağlanabilecektir. Böylelikle hem üretilen sathi kaplamaların performansının ve dolaylı olarak trafik güvenliğinin artması sağlanacak, hem de sürdürülebilir kalkınma çalışmalarına destek verilmiş olacaktır.

Teşekkür

Bu makale çalışması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2016-1116 proje numarası ile desteklenen projeden üretilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Kuloğlu N, Kök BV, Öndaş M. Sathi kaplamalarda kusma olayına etki eden faktörler. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 2004; Ankara, Türkiye. pp. 141-148.
- [2] Yol Ağı Bilgileri; <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>; Karayolları Genel Müdürlüğü, 2019.
- [3] Türkyılmaz A. Esnek Üstyapılı Karayollarında Koruyucu Bakım Yöntemlerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [4] Gürer C. Sathi kaplamaların performansına etki eden parametrelerin incelenmesi ve performans modeli geliştirilmesi. Yüksel Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2010.
- [5] Sağlık A, Arıkan Öztürk E. Türkiye’de sathi kaplamalarda kullanılan bitümlerin performans sınıflarının belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2014; 29(4): 689-698.
- [6] Gürer C, Kardeş M. Sathi kaplama agregalarının adezyon özelliklerinin araştırılması. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2014; 10(2): 1-11.
- [7] TS EN 12697-11; Bitümlü karışımlar-Deney metodları-Sıcak karışımli asfalt için-Bölüm 11: Agregat ve bitüm arasındaki bağlanmanın tayini. Türk Standardları Enstitüsü, 2012.
- [8] Radenberg M, Nytus N, Diedel R, Miehl M, Boetcher S. New findings in relation to adhesion. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress; 1-3 June 2016; Prague, Czech Republic. pp. 1-12.
- [9] Labib ME, Hefer A, Little D. Surface Chemistry at the Bitumen-Aggregate Interface. International Conference on Advanced Characterisation of Pavement and Soil Engineering Material, Athens, Greece, 2007.
- [10] Curtis CW. Investigation of asphalt-aggregate interactions in asphalt pavements. American Chemical Society, Fuel, 1992; 37: 1292-1297.
- [11] Karayolu Teknik Şartnamesi. Karayolları Genel Müdürlüğü, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2013.

Şeftali ve Ayva Yapraklarında Nem Miktarının Dielektrik Parametreleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

İbrahim Bahadır BAŞYİĞİT^{1*}

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye
^{*1} bahadirbasyigit@isparta.edu.tr

(Geliş/Received: 05/09/2019;

Kabul/Accepted: 03/02/2020)

Öz: Günümüzde tarım sektöründe, ürünün verim ve kalitesini artırmak için uzaktan algılama ve otomasyon sistemlerinin kullanımı artmaktadır. Mikrodalga ısıtma/kurutma ve uzaktan izleme/kontrol uygulamalarında kullanılan teknolojilerde temel belirleyici parametrelerden biri, bitkilerin dielektrik özellikleridir. Bu nedenle, bu uygulamalarda kullanılacak sistemlerin doğru çalışması için bitkisel malzemelerin dielektrik karakteristiklerinin belirlenmesi önem arz eder. Bu çalışmada Isparta bölgesinde yoğun olarak üretilen şeftali ve ayva ağaçlarının yapraklarına ait dielektrik parametreler Dalga Kılavuzu İletim Hattı yöntemiyle ölçülmüştür. Ölçümler 3,30-4,90 GHz arasında (WR229 dalga kılavuzu için) yapılmış ve yaprakların dielektrik karakteristikleri nem içeriği ve frekansa bağlı olarak incelenmiştir. Şeftali yapraklarının dielektrik ölçüm verileri kullanarak frekans ve nem içeriğine (Nİ) bağlı, eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model önerilmiştir. Bu model, şeftali türüyle aynı aileden olan ayva yaprağının dielektrik ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak önerilen modelin doğruluğu test edilmiştir. Modelin performansını görmek için regresyon katsayısı R^2 ve Hataların Ortalama Kare Kökü (RMSE) değerleri sırasıyla 0,995 ve 0,755 olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dielektrik ölçümü, uzaktan algılama, nem içeriği, şeftali yaprağı, ayva yaprağı.

Investigation of the Moisture Content Effect on Dielectric Parameters in Peach and Quince Leaves

Abstract: Today, in the agricultural sector, the use of remote sensing and automation systems is increased to increase the yield and quality of the product. One of the main determinant parameters in the technologies used in microwave heating/drying and remote monitoring/control an application is the dielectric properties of plants. Therefore, it is important to determine the dielectric characteristics of plant materials for proper operation of the systems to be used in these applications. In this study, dielectric parameters of the peach and quince leaves produced in Isparta region are measured by Waveguide Transmission Line Method. Measurements are conducted between 3.30-4.90 GHz (for WR229 waveguide) and the dielectric characteristics of the leaves are examined depending on the moisture content and frequency. A new model with a curve fitting method based on frequency and moisture content (MC) is proposed used dielectric measurement data of peach leaves. This model is compared with the dielectric measurement results of quince leaves which belong to the same family with peach type to see the accuracy of the proposed model is tested. To obtain the performance of the model, the coefficient of regression R^2 and Mean Square Root of Errors (RMSE) are obtained as 0.995 and 0.755, respectively.

Key words: Dielectric measurement, remote sensing, moisture content, peach leaf, quince leaf.

1. Giriş

Tarım sektöründe geleneksel tekniklerin yerine, ısıtma/kurutma ve uzaktan algılama (UA) gibi mikrodalga temelli yeni yöntemlerin kullanılmasıyla birlikte tarımsal ürünlerin verim ve kalitesi gün geçtikçe artmaktadır. Bu uygulamalardaki motivasyon, bitkilere zarar vermeden onların dielektrik parametrelerini belirlemek ve hem bitkilerin su ihtiyacını gidermek hem de meyvelerin kalitesini arttırmaktır [1, 2]. Çünkü bitkilerin yetersiz sulanması bitkinin ölümüne kadar gidebilecek problemlere yol açarken, aşırı sulanması da bitkilerde su azlığına karşı geliştirilen direncin kırılmasına, zararlı bitki böceklerinin çoğalmasına ve toprağın havasız kalmasına neden olabilmektedir [3, 4]. Bu amaçla bitkilerin su ihtiyacının tam olarak belirlenmesi ve sulama işlemlerinin otomasyon sistemleriyle gerçekleştirilmesi verim artışında önemli rol oynamaktadır. Dolayısıyla, bitkilerin yaprak, dal, meyve gibi kısımlarının içerdiği su miktarının bitkinin dielektrik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek önem arz eder. Ayrıca bitkilere zarar vermeden kısımlarındaki su miktarının belirlenmesi, meyvelerinin ne kadar olgunlaştığı ve meyvelerin kalitesi hakkında da fikir verebilir [5].

* Sorumlu yazar: bahadirbasyigit@isparta.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-4558-5068

Bitki kümesine gelen elektromanyetik (EM) dalgaları, bitkilerin yaprak, gövde, dal ve meyve yüzeylerine nüfuz eder ve yüzeyde yansıma, kırılma, soğurulma ve saçılma gibi EM davranışları gerçekleşir. Dielektrik parametreler, malzemelerin EM dalgalarla etkileşimini belirleyen en önemli parametrelerdendir. Genel olarak, homojen, yön bağımsız ve kayıplı bir ortam için kompleks dielektrik sabiti Denklem 1’de verilmiştir.

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

Burada ε' dielektrik geçirgenliğin reel kısmı olup, gelen EM dalganın malzeme içerisinde depo edilebilme kabiliyetini temsil ederken, ε'' ise dielektrik geçirgenliğin sanal kısmı olup, malzeme içindeki kayıpları temsil eder. Malzeme içindeki kayıpları ifade eden bir diğer tanım kayıp tanjantıdır ve Denklem 2’de ifade edilmiştir.

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_r\varepsilon_0} \quad (2)$$

Burada ε_0 boşluğun dielektrik sabiti olup, σ iletkenlik, ω açısal frekans ve ε_r bağıl dielektrik geçirgenlik sabitidir.

Bitkilerde dielektrik parametre ölçümlerinin 1910’lu yıllara başlamasına rağmen [6] son yıllarda bu konuda yapılan çalışmalar artmıştır. İlk çalışmalarda genelde kapasitif ölçme tekniği kullanılarak bitkilerin dielektrik özellikleri belirlenirken [7], sonraki çalışmalarda daha geniş frekans aralıklarında mikrodalga ölçüm yöntemleri kullanılarak birçok ürünün dielektrik parametreleri ortaya konulmuştur. Bu yöntemler sayesinde, özellikle meyvelerin depolanmasına yönelik ölçümler yapılmış olup [5, 8], bitkilerin ısıtma/kurutma süreçlerinde de bu yöntemlerin kullanılmıştır [9, 10]. Mikrodalga ısıtma/kurutma işlemleri ile yoncalardan zararlı böcekleri arındırmaya yönelik çalışmalar da yapılmıştır. Yonca bitkisinin yanı sıra tahıl ürünlerinden buğday ve mısır üzerine yoğun bir şekilde çalışmalar yapılmıştır [1, 3]. Bitkilerin sap ve yaprakları dielektrik parametreler açısından incelenerek çeşitli saçılma modelleri geliştirilmiştir [2]. Mısır ve domates yaprakları hem canlı [3, 11] hem de dalından koparılarak dielektrik parametreleri ölçülmüş, bu yaprakların su ihtiyaçlarının gerçek zamanlı tahmini de yapılmıştır. Ayrıca bazı lifli bitkilerin, yapılarından dolayı polimer tabanlı soğurucu malzeme olarak kullanımı araştırılmış [12, 13], özellikle muz ağacı yapraklarının değişik karışımlarla birlikte soğurucu malzeme olarak kullanılma çalışmaları yapılmıştır [14].

Şeftali ve ayva bitkilerinin her biri, Gülgiller (Rosacea) ailesi ve Rosales takımında bulunur. Türkiye, ayva üretiminde yıllık 135 bin tonluk kapasiteyle dünyada birinci, şeftali üretiminde ise yıllık 500 bin tonluk kapasiteyle dünyada altıncı sırada yer alır [15]. Bu ürünlerdeki verim ve kalitenin artırılmasına yönelik, hem UA ve ürün izleme otomasyonu hem de diğer mikrodalga uygulamaları için dielektrik parametrelerinin belirlenmesiyle ilgili çalışmalara ihtiyaç vardır ve bu çalışmadaki temel amaçtır.

Bu çalışmada, sabit sıcaklıkta nem içeriği (Nİ) ve frekansa bağlı olmak üzere birbiriyle aynı aileden olan şeftali ve ayva yapraklarının dielektrik karakteristikleri ölçüm sonuçlarıyla elde edilmiştir. Şeftali yapraklarının dielektrik ölçüm verileri kullanarak eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model önerilmiştir. Bu model şeftali türüne akraba olan ayva yaprağıyla ilgili dielektrik ölçümleriyle modelin doğruluğu test edilmiştir. Bu çalışmada şeftali yaprağından farklı olarak ayva yaprağının seçilmiştir. Çünkü aynı aile grubunda bulunan iki farklı bitki türüne ait yaprakların birbirleri arasındaki ilişkiyi tespit etmek amaçlanmıştır. Ölçümlerde dalga kılavuzu iletim hattı tekniği kullanılmıştır. Ölçümler WR229 dalga kılavuzuyla 3,30-4,90 GHz frekans bandında yapılmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde kullanılan dielektrik ölçüm yöntemi verilmiştir. 3. bölüm, elde edilen ölçüm sonuçları ve önerilen modelden oluşur ve 4. bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Dielektrik Ölçüm Yöntemi

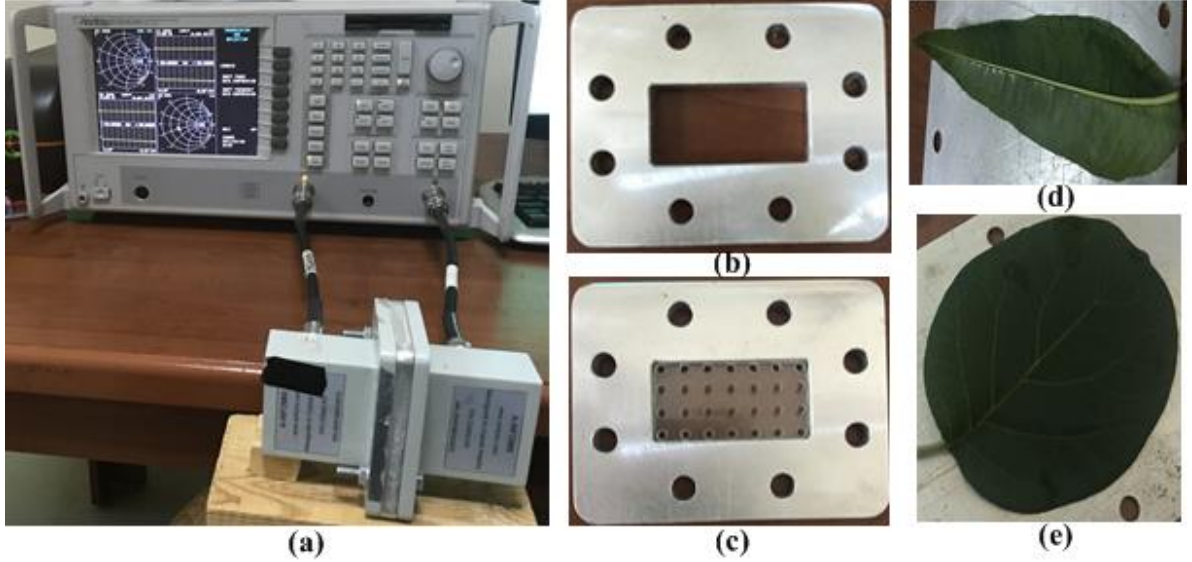
Bu çalışmada dielektrik parametrelerin belirlenmesi amacıyla dalga kılavuzu iletim hattı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, frekans bandına göre ilgili dalga kılavuzu seçilmelidir. Ölçümler için dalga kılavuzu, Vektör Network Analizör’e (VNA) RF koaksiyel kabloyla bağlanmıştır. Alıcı ve verici durumunda olan iki dalga kılavuzu ve buna uyumlu bir adet flanş kullanılmıştır. Ölçülecek numune, flanş arasına konularak ölçüme hazır hale getirilmiştir. Ölçümler 3.30-4.90 GHz aralığında yapılmıştır. Bunun için frekans bandıyla uyumlu WR229 dalga kılavuzu seçilmiştir. VNA olarak Anritsu MS4624B modeli (10 MHz – 9 GHz) kullanılmıştır.

Ölçümlerde kullanılan numunelerin (yapraklar) kurutma aşamasında oluşan kıvrılmaları ve kırılmaları engellemek, dielektrik ölçümün doğruluğu için önemlidir. Bundan dolayı bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için yaprakların her iki tarafında, flanş ebatlarına uygun şeffaf plastik camlar (plexi glass) kullanılmıştır. Kullanılan şeffaf plastik camların dielektrik ölçümünde az da olsa etkisinin olduğu gözlenmiştir ve bu çalışmada

plastik camın ölçüm üzerinde etkisi dikkate alınmıştır. Yaprakların homojen olarak kurutulmasını sağlamak amacıyla Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) yöntemiyle plastik cam üzerinde eşit mesafede 8×4 sayıda bir mm'lik delikler açılmıştır. Numuneler, ölçümden önce 48 saat boyunca saf suda bekletilerek suya doymuş hale getirilmiştir. Numunelerin suda bekletildiği bu süre içerisinde ağırlıkları her 12 saatte bir ölçülmüştür. 48. saat sonundaki ağırlık ölçümlerinde değişimin $\pm \%0,3$ olduğu saptanmıştır. Ölçümler suda bekletilen 48 saatlik sürenin hesaba katılmadığı durumda yaprak başına yaklaşık üçer gün sürmüştür.

Ölçüme başlamadan önce suya doymuş yapraklar WR229 dalga kılavuzu boyutları için neşterle kesilmiştir. Numunelerin S_{11} ve S_{21} değerleri ölçülmüştür ve her ölçüm sonrasında mg hassasiyetine sahip hassas teraziyle ağırlıkları ölçülmüştür. Suya doymuş yapraklar mikrodalga fırında adım adım kurutulmuştur. Kurutma ve ölçüm adımları, yapraklar tamamen kuruyana kadar devam etmiştir. Son kurutma aşamasından sonra, fırın içerisindeki sıcaklık 70°C iken numuneler bu ortamda 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra tamamen kuruyan numunelerin ağırlık ve S-parametreleri alınarak ölçüm süreci tamamlanmıştır. Numunelerin ölçüm yapıldığı ortamda oda sıcaklığının 24°C olduğu not edilmelidir.

Şekil 1'de ölçüm ortamı görülmektedir. Şekil 1a'da dalga kılavuzlarıyla beraber ölçüme hazır olan sistem verilmiştir. Şekil 1b ve Şekil 1c, sırasıyla içi boş ve içi plastik camla dolu flanşları göstermektedir. Şekil 1d şeftali yaprağını, Şekil 1e ise ayva yaprağını göstermektedir.



Şekil 1. Ölçüm ortamı

Daha önce belirtildiği gibi yaprakların kurutulma süreci adım adım gerçekleşmiştir. Tablo 1'de şeftali ve ayva yapraklarının WR229 için yapılan kurutma aşamalarında hesaplanan Nİ değerleri verilmiştir. Kurutma işlemine geçmeden önce suya doymuş şeftali yaprağının ağırlığının 368 mg olduğu belirlenmiştir. Kurutmanın her adımında şeftali yaprağının ağırlığı düşerek 126 mg 'da sabit kalmıştır. Bu ağırlık, yaprağın fırında 70°C 'de 24 saat bekletilerek ve tamamen kurutulmuş olan ağırlığıdır. Bu ağırlık düşüşüne bağlı olarak Nİ de düşmüştür. Suya doymuş ayva yaprağının ağırlığı 372 mg iken, tamamen kuru numune ağırlığı 147 mg 'dır. Nİ değerleri $\%100$ 'den başlayarak adım adım azalarak $\%0$ 'a kadar düşmüştür. Suya doymuş şeftali ve ayva yapraklarının kurutulmadan önceki yüzde nem değeri $\%100$ iken, tamamen kuru yapraklardaki Nİ ise $\%0$ olarak Denklem 3'e göre hesaplanmıştır [11].

$$Su \text{ miktarı} = m_{doymuş} - m_{kuru} \quad (3)$$

$$NO = \frac{m_{ölçülen} - m_{kuru}}{Su \text{ miktarı}} \quad (4)$$

Burada $m_{ölçülen}$ her bir kurutma adımında numunenin ölçülen ağırlığı, $m_{doymuş}$ numunenin suya doymuş ilk ağırlığı ve m_{kuru} numunenin tamamen kurumuş son ağırlığıdır. Nem içeriği (Nİ), Denklem 4 yardımıyla elde edilir.

Tablo 1. Ölçümü WR229 (3,30-4,90 GHz) için yapılan yaprakların nem içeriği değişimi

Zaman (sn)	Şeftali yaprağı				Ayva yaprağı			
	Toplam ağırlık (mg)	Kurumuş ağırlık (mg)	Nem miktarı (mg)	Yüzde nem değeri (%)	Toplam ağırlık (mg)	Kurumuş ağırlık (mg)	Nem miktarı (mg)	Yüzde nem değeri (%)
20	368	126	242	100	372	147	225	100
40	219	126	93	38.43	240	147	93	41.33
60	168	126	42	17.36	183	147	36	16
80	145	126	19	7.85	169	147	22	9.78
100	139	126	13	5.37	159	147	12	5.33
120	126	126	0	0	147	147	0	0

Nİ değerinin dielektrik sabiti üzerindeki etkisini görebilmek için ölçülen S-parametrelerinden bağıl dielektrik sabiti (ϵ') ve dielektrik kaybın (ϵ'') hesaplanması gerekir. Literatürde bu durumla ilgili farklı algoritmalar olsa da en çok bilinen ve kabul gören yöntem Nicolson-Ross-Weir (NRW) algoritmasıdır [16, 17]. Bu çalışmada NRW algoritması kullanılarak yaprakların dielektrik parametreleri hesaplanmıştır. Bu yöntemle elde edilen dielektrik parametrelerinin doğru hesaplanması için iki durum göz önünde bulundurulmalıdır. Bunların ilki, yaprakların belli kalınlığa sahip olmasıdır. Diğeri ise ölçüm hatalarının hassasiyeti frekans yükseldikçe arttığından dolayı hataları en aza indirmek için ölçüm ve test hazırlığının dikkatli yapılmasıdır. Denklemler 5-12 kullanılarak NRW algoritmasıyla dielektrik geçirgenlik sabiti hesaplanır. S_{11} değeri, giriş portundan yansıyan gerilim dalgasının, aynı porta giren gerilim dalgasının oranı olarak tanımlanır. S_{21} değeri ise, çıkış portundan çıkan gerilim dalgasının, giriş portuna giren gerilim dalgasının oranı olarak tanımlanır.

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1-T^2)}{(1-\Gamma^2T^2)} \quad (5)$$

$$S_{21} = \frac{T(1-\Gamma^2)}{(1-\Gamma^2T^2)} \quad (6)$$

Burada, Γ yansıma katsayısı iken, T iletim katsayısıdır.

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad (7)$$

$$\Gamma = X \pm \sqrt{X^2 - 1} \quad (8)$$

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (9)$$

L , numunenin kalınlığıdır. Manyetik olmayan malzemelerde $\mu_r \approx 1$ olarak alınır ve bu çalışmada ölçümü yapılan yapraklar manyetik malzeme olmadığı için NRW hesaplamalarında $\mu_r \approx 1$ alınmıştır [18]. Numune kalınlığının L olmak üzere numunenin bağıl manyetik geçirgenliğini (μ_r) hesaplamak için Denklem 11 kullanılır. Denklem 11 ise λ_0 ve λ_c sırasıyla serbest uzay ve kesim frekansındaki dalga boyu olmak üzere numunenin bağıl dielektrik geçirgenliği (ϵ_r) hesaplanır.

$$\frac{1}{L^2} = - \left[\frac{1}{2\pi L} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right]^2 \quad (10)$$

$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0}{\mu_r} \left(\frac{1}{\lambda_c^2} - \left[\frac{1}{2\pi L} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \right]^2 \right) \quad (11)$$

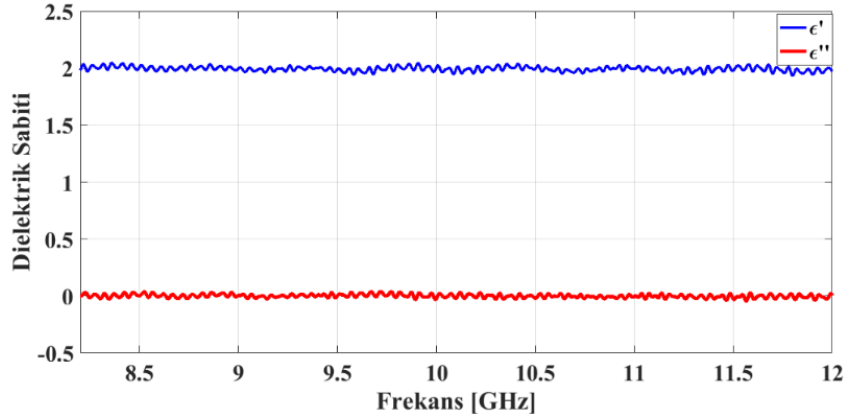
2.1. Sistematik Hataların Ortadan Kaldırılması

Ölçüm düzeneğindeki sistematik hataların giderilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemler, gömülü (embedding) ve Doğrudan Yansıma Hattı (Thru Reflect Line) yöntemleridir. Gömülü yöntem, testte kullanılan modelin hatalarını yok etmek için matematiksel ifadelerden yararlanır. Bu yöntem, modellerde kalibrasyon tekniklerinin kullanılmadığı koaksiyel olmayan cihazlarda tercih edilir [19] ve S-parametrelerinden yararlanır. Bundan dolayı bu yöntem, modeldeki hataların testi yapılmadan uygulanamaz. Dielektrik ölçümlerinde kullanılan plastik camlar, Test Altındaki Cihaz (Equipment Under Test) gibi davrandığı için ölçümlerde bu plastik camların S-parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Dolayısıyla hem flanş hem de bu plastik camların dielektrik ölçüm üzerindeki etkileri giderilmelidir. Bu durumun literatürdeki yöntemlerle [20] uyumlu olmasına dikkat edilmelidir.

Gömülü yöntemlerin yanı sıra, dielektrik ölçümlerde oluşabilecek hataları en aza indirmek için farklı türde kalibrasyon yöntemleri vardır. Bunların arasında Doğrudan Yansıma Hattı Yöntemi, yaygın olarak kullanılan ve doğru sonuçlar veren bir yöntemdir [21]. Bu teknik, ölçüm yöntemlerindeki doğruluğu gösterebilen bir referans yöntem olarak da bilinir. Bu yüzden, bu yöntemin doğruluğunu doğrudan etkileyebilecek hataların kaynakları dikkate alınmalıdır. Düşük frekanslarda ihmal edilen hata oranları, yüksek frekanslarda ölçüm doğruluğunu daha fazla etkiler.

2.2. Ölçüm ve kalibrasyon yöntemini doğrulama testi

Teflon, dielektrik ölçüm doğruluğunda kolay ulaşılabilirliği ve düşük maliyetinden dolayı yaygın olarak kullanılan bir malzeme türüdür. Bu malzemenin ϵ' ve ϵ'' değerleri frekans değişimiyle neredeyse sabit olup, sırasıyla 2 ve 0'dır. Bu çalışmada kalınlığı 2,5 mm olan teflon tabaka kullanılarak dielektrik parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. Şekil 2 incelendiğinde teflon malzemenin ölçülen ϵ' ve ϵ'' değerlerinin teorik sonuçlara yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, çalışmadaki test düzeneği ve kalibrasyon yönteminin doğruluğu tespit edilmiştir.

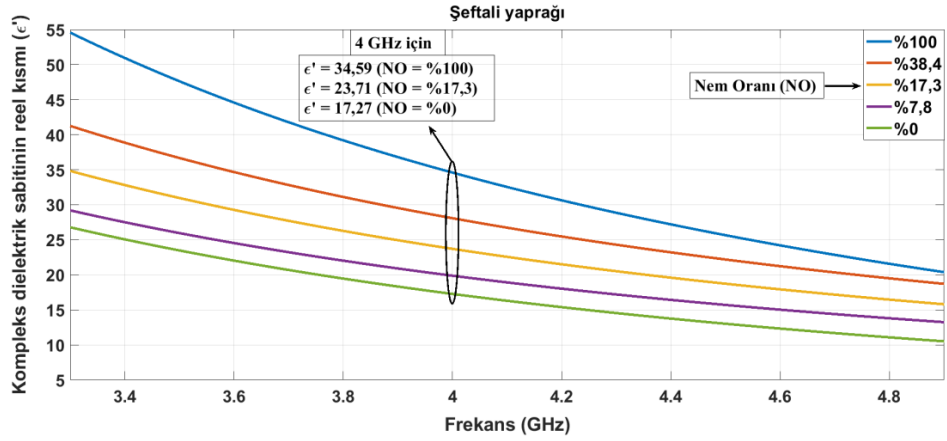


Şekil 2. 2,5 mm kalınlığındaki teflon için ölçülen dielektrik parametreler

3. Ölçüm Sonuçları ve Önerilen Model

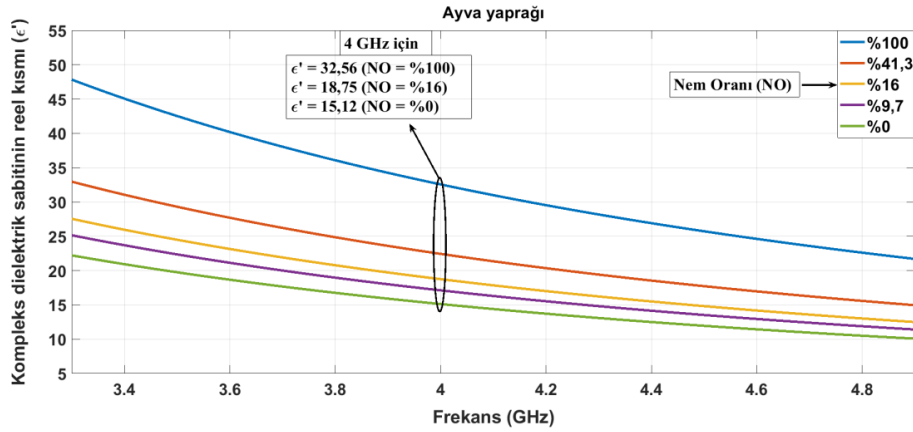
Giriş bölümünde belirtildiği gibi ölçümlerde şeftali ve ayva yaprakları numune olarak kullanılmıştır. Dalga kılavuzu olarak 3,30-4,90 GHz frekans bandına uyumlu WR229 dalga kılavuzu kullanılmıştır. Her bir numune için ϵ' ve ϵ'' değerleri 24°C oda sıcaklığında, frekans ve Nİ değerlerine bağlı olarak ölçülmüştür. VNA'dan elde edilen S_{11} ve S_{21} değerleri ve 2. Bölüm'de bahsedilen NRW algoritması kullanılarak ϵ' ve ϵ'' değerleri hesaplanmıştır. Bu frekans bandı için ölçüm adım sayısı 2 MHz olup 801 farklı frekans noktasında ölçüm yapılmıştır.

Şekil 3'te şeftali yaprakları için ölçülen ϵ' değerleri verilmiştir. ϵ' değerinin, frekans azalışı ve Nİ artışı ile arttığı gözlenmiştir. Bu benzer değişimlerin ϵ'' değerleri için de geçerli olduğu Şekil 4'te görülmektedir.

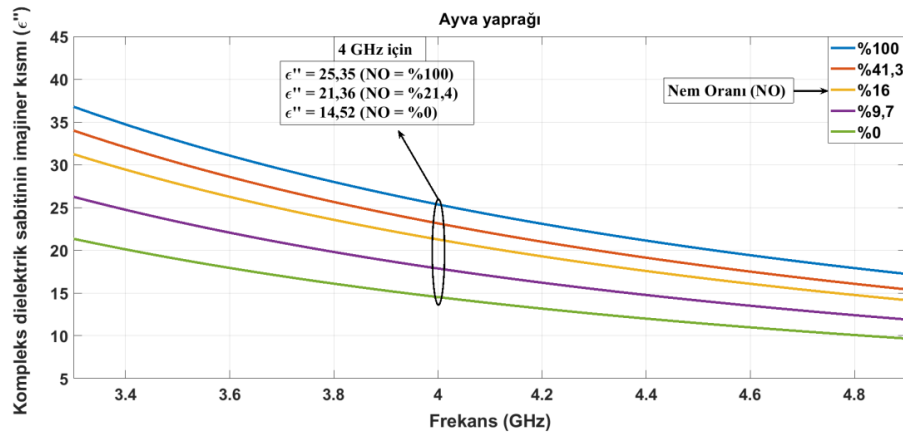


Şekil 3. Nem ve frekansa bağlı olarak şeftali yaprağının dielektrik özellikleri (ϵ')

Şekil 5 ve Şekil 6'da ayva yaprakları için elde edilen ϵ' ve ϵ'' değerleri verilmiştir. Frekansa bağlı olarak ϵ' ve ϵ'' değerleri, eksponansiyel olarak azalmaktadır. Nİ'ye bağlı olarak ise bu değerler dikey eksende azaldığı görülmüştür. Literatürde, saf suyun ϵ' değerleri, 3,30-4,90 GHz bandı için 78-74 aralığında değişmektedir [1]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar için suya doymuş yaprağın ϵ' ve ϵ'' değerleri, kuru yaprağınkine göre daha yüksektir ve bu durum Nİ'den dolayı beklenen durumdur.



Şekil 5. Nem ve frekansa bağlı olarak ayva yaprağının dielektrik özellikleri (ϵ')



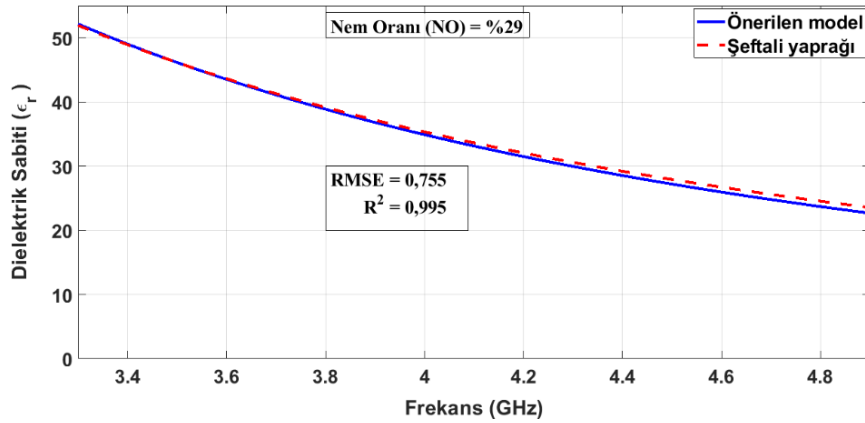
Şekil 6. Nem ve frekansa bağlı olarak ayva yaprağının dielektrik özellikleri (ϵ'')

Şeftali yapraklarının ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler kullanarak eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model elde edilmiştir. Bu modelle, sabit sıcaklıkta (24°C) frekans ve Nİ'ye bağlı dielektrik sabitini hesaplamak hedeflenmiştir. Denklem 15'te verilen bu model, iki değişkenli ikinci dereceden bir kuvvet fonksiyonundan oluşur.

$$\varepsilon_r(f, m) = a + b \cdot f^{-c} + d \cdot m^e + g \cdot f^{-c} * m^e \quad (12)$$

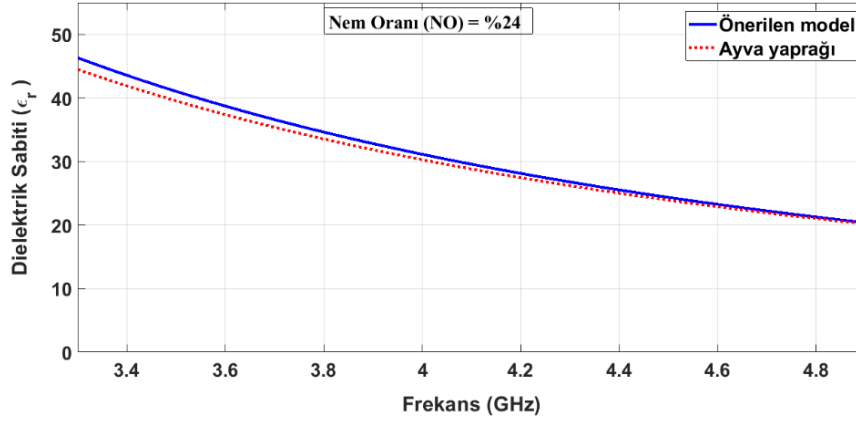
$$\varepsilon_r = \sqrt{\varepsilon'{}^2 + \varepsilon''{}^2} \quad (13)$$

Burada, ε_r dielektrik sabiti, f Hz cinsinden frekans, m 0-100 arasında değişen yüzde nem değeridir. Eşitlik 13'de verilen ε_r değeri, malzemenin dielektrik sabitinin hem reel hem de sanal kısmını içerdiği için modelde tercih edilmiştir. Şeftali yaprağı için WR229'da elde edilmiş modelin katsayıları $a=0,216$, $b=379,1$, $c=2,013$, $d=-0,369$, $e=0,4748$, $g=44,32$ şeklindedir. Bu modeli oluşturmak için, Tablo 1'de şeftali yaprağının WR229 için kurutma adımlarında hesaplanan 6 farklı MC veri olarak kullanılmıştır. Elde edilen modelin doğruluğunu test etmek için daha önce ölçümlerde kullanılan şeftali yapraklarından farklı ve %29 nem içeriğine sahip başka bir şeftali yaprağı test numunesi olarak seçilmiştir. Önerilen modelin de aynı MC değerine sahip olması için Eşitlik 12'de verilen m değeri 29 olarak girilmiştir. Şekil 7'de önerilen model ile test için seçilen şeftali yaprağının ölçülen değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbiri ile çok uyumlu olduğu görülmektedir. Modelin performansını görmek için R^2 ve Root Mean Square Error (RMSE) değerleri de hesaplanmıştır. Buna göre modelin R^2 ve RMSE değerleri, sırasıyla 0,995 ve 0,755'dir.



Şekil 7. Önerilen modelin şeftali yaprakları ile doğruluğunun test edilmesi

Şeftali yaprağına ait ölçüm verilerini kullanarak oluşturulan modelin ayva yaprağı için kullanılabilirliği test edilmiştir. Burada, Nİ değeri %40 olan bir ayva yaprağı ile aynı Nİ değerine sahip ($m=40$) önerilen modelin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sonuçların birbiriyle çok uyumlu olduğu Şekil 8'de görülmüştür. Bu karşılaştırma, aynı akraba ve aynı aile içinde olan bir bitkinin yapraklarından elde edilen bir modelin aynı ailedeki diğer bitki türleri için uyumlu olabileceği hususunda fikir vermektedir. Şeftali ve ayva bitkilerinin her biri, Gülgiller (Rosacea) ailesi ve Rosales takımında bulunur. Bundan dolayı şeftali yaprağı ölçüm verileriyle elde edilen model, ayva yaprağı ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 8. Önerilen modelin ayva yaprakları ile doğruluğunun test edilmesi

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, sabit sıcaklıkta Nİ ve frekansa bağlı olmak üzere birbiriyle aynı aileden olan şeftali ve ayva yapraklarının dielektrik karakteristikleri ölçüm sonuçlarıyla elde edilmiştir. Şeftali yapraklarının dielektrik ölçüm verileri kullanılarak eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model önerilmiştir. Şeftali türüne akraba olan ayva yaprağıyla ilgili dielektrik ölçümleriyle bu modelin doğruluğu test edilmiştir. Ölçümlerde dalga kılavuzu iletim hattı tekniği kullanılmıştır. Ölçümler WR229 dalga kılavuzuyla 3,30-4,90 GHz frekans bandında yapılmıştır. Bütün frekans bandında şeftali için ϵ' değerleri 11-55, ϵ'' değerleri ise 11-39 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Şeftali yapraklarının dielektrik ölçüm verileri kullanarak frekans ve nem içeriğine (Nİ) bağlı, eğri uydurma yöntemiyle yeni bir model önerilmiştir. Bu model, şeftali türüyle aynı aileden olan ayva yaprağının dielektrik ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak önerilen modelin doğruluğu test edilmiştir. Modelin performansını görmek için regresyon katsayısı R^2 ve Hataların Ortalama Kare Kökü (RMSE) değerleri sırasıyla 0,995 ve 0,755 olarak elde edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada ölçümlerin gerçekleştirildiği Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Araştırma Merkezi'nin verdiği ölçüm desteği için teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Ulaby FT, Jedlicka R. Microwave dielectric properties of plant materials. IEEE T Geosci Remote 1984; (4): 406-415.
- [2] Chuah H, Kam S, Chye Y. Microwave dielectric properties of rubber and oil palm leaf samples: measurement and modelling. Int J Remote Sens 1997; 18(12): 2623-2639.
- [3] Afzal A, Mousavi S.F. Estimation of moisture in maize leaf by measuring leaf dielectric constant. Int J Agric Biol, 2008; 10: 66-68.
- [4] Van Emmerik T, Steele-Dunne S, Judge J, van de Giesen N. A comparison between leaf dielectric properties of stressed and unstressed tomato plants. Int Geosci Remote Se 2015; 275-278.
- [5] Nelson SO. Agricultural applications of dielectric measurements. IEEE T Dielect El In 2006; 13(4): 688-702.
- [6] Nelson SO, Trabelsi S. Permittivity measurements and agricultural applications. Electromagnetic Aquametry 2005; 419-442.
- [7] Jha SN, Narsaiah K, Basediya A, Sharma R, Jaiswal P, Kumar R, Bhardwaj R. Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods—a review. J Food Sci 2011; 48(4): 387-411.
- [8] Nelson SO. Dielectric properties of agricultural products-measurements and applications. IEEE T Electr Insul 1991; 26(5): 845-869.
- [9] Kamaruddin MJ, Yusof M, Ngadi N, Zakaria Z, Arsad A, Kidam K. Dielectric Properties for Extraction of Orthosiphon Stamineus (Java Tea) Leaves. Chem Engineer Trans 2017; 56: 1771-177.

- [10] Trabelsi S, Mckeown MS, Nelson SO. Dielectric properties-based method for rapid and nondestructive moisture sensing in almonds. *J Microwave Power EE* 2016; 50(2): 94-105.
- [11] Van Emmerik TH. Diurnal differences in vegetation dielectric constant as a measure of water stress, 2013; MSc, Delft University.
- [12] Colak B. Moisture content effect of banana leaves to radio frequency absorbing. *Microw Opt Techn Let* 2019.
- [13] Jayamani E, Hamdan S, Ezhumalai P, Bakri MK. Investigation on dielectric and sound absorption properties of banana fibers reinforced epoxy composites. *Jurnal Teknologi*, 2016; 78: 6-10.
- [14] Kaur R, Aul GD, Chawla V. Improved reflection loss performance of dried banana leaves pyramidal microwave absorbers by coal for application in anechoic chambers. *Prog Electromagn Res* 2015, 43: 157-164.
- [15] Sait HH, Salema AA. Microwave dielectric characterization of Saudi Arabian date palm biomass during pyrolysis and at industrial frequencies. *Fuel* 2015; 161: 239-247.
- [16] Weir WB. Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies. *P IEEE* 1974; 62(1): 33-36.
- [17] Nicolson A, Ross G. Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques. *IEEE T Instrum Meas* 1970; 19(4): 377-382.
- [18] Yaw KC. Measurement of dielectric material properties: application note. Rhode & Schwarz, 2012.
- [19] De-embedding and Embedding S-Parameter Networks Using a Vector Network Analyzer, 2004; Application Notes.
- [20] Helhel S, Kurnaz O. Buried metal detection within the wooden block by X-band measurements. *Microw Opt Techn Let* 2016; 58(5): 1245-1253.
- [21] Ye L, Li C, Sun X, Jin S, Chen B, Ye X, Fan J. Thru-Reflect-Line Calibration technique: error analysis for characteristic impedance variations in the line standards. *IEEE T Electromagn C* 2016; 59(3): 779-788.
- [22] Kumar A, Sharma S, Singh G. Measurement of dielectric constant and loss factor of the dielectric material at microwave frequencies. *Prog Electromagn Res* 2007; 69: 47-54.

Android Cihazların Adli Bilişim Analizlerinde Parola Tespitine Bağlı Yeni Süreç Tanımlama Modelinin Geliştirilmesi

Ömer Faruk YAKUT¹, Fatih ERTAM^{2*}

¹ Adli Bilişim Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

² Adli Bilişim Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

¹172144104@firat.edu.tr, *²fatih.ertam@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01/09/2019;

Kabul/Accepted:06/02/2020)

Öz: Android işletim sisteminin mobil işletim sistemi pazarına hâkim olması ile Android cihazlardan veri toplama yöntemi, mobil adli bilişim teknolojisi üzerine yapılan araştırmaların odak noktası olmuştur. Bununla birlikte, Android işletim sistemi sürümlerinin sürekli güncellenmesi ve güvenlik teknolojilerinin devreye alınması nedeniyle, mevcut veri toplama yöntemleri yeni Android mobil cihazları desteklememektedir. Bu sorunu çözmek için Android akıllı telefonların donanım ve yazılım güncelleme protokollerinin analizi ile özel kurtarma görüntüleri yüklemeye dayanan yeni adli kopya alma yöntemleri geliştirilmelidir. Ancak bu yöntemlerin yeni riskleri de beraberinde getirdiği bilinmeli ve işlemler sırasında gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmada daha önce geliştirilen adli bilişim inceleme süreçlerine katkı yapabilmek için yeni bir süreç tanımlama modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla mobil cihazların üzerindeki ekran izlerinden desen ve pin tespitine yönelik çalışmalar ile ilişkili yeni bir süreç model önerisi sunulmuştur. Geliştirilen model ile adli bilişim analizlerinin elde etme aşamasında şifreli olduğu için adli kopyası alınamayan mobil cihazların şifre ve pin tespitini mevcut yöntemlerin dışında tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmanın analiz aşamasında ortaya çıkan şifrelenmiş verilerin şifrelerinin çözülmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Adli soruşturma modelleri, mobil adli bilişimi, Android cihazlar, mobil ekran izleri, şifre tespiti.

Developing a New Process Recognition Model Based on Password Detection in Forensic Analysis of Android Devices

Abstract: Android operating system dominates the mobile operating system market. The data collection method of Android devices is the focus of research on mobile forensic information technology. However, due to the constant updating of the Android system version and the introduction of security technologies, existing data collection methods do not support new Android mobile devices. To solve this problem, new forensic copying methods should be developed based on the analysis of the firmware update protocols of Android smartphones and uploading custom recovery images. However, it should be known that these methods bring new risks and necessary precautions should be taken during the transactions. In this study, a new process definition model has been developed in order to contribute to the forensic IT review processes developed previously. For this purpose, a new process model proposal related to the studies on pattern and PIN detection from screen traces on mobile devices is presented. With the developed model, it is aimed to determine the password and PIN detection of mobile devices that cannot be forensic copies since the forensic information analysis is encrypted at the stage of obtaining. In addition, it is thought that it will contribute to the decryption of the encrypted data generated during the analysis phase of the study.

Key words: Forensic investigation models, mobile forensics computing, android devices, mobile screen traces, password detection.

1. Giriş

Bilgisayar ve ağ teknolojilerinde yaşanan gelişmeler ile birlikte suçlular, adli bilişim yöntem ve tekniklerinin daha fazla farkına varmakta ve suçlarını işlemek için bilgisayar ve bilgisayar ağlarını daha karmaşık bir şekilde kullanmaktadır [1]. Bilgisayar aygıtları arasındaki farklı nitelikler nedeniyle adli bilişim kavramı “Bilgisayar Adli Bilişimi, Hafıza Adli Bilişimi, Multimedya Adli Bilişimi, Ağ Adli Bilişimi, Küçük Ölçekli Cihaz Adli Bilişimi veya Mobil Cihaz Adli Bilişimi” olarak farklı alt alanlara ayrılmıştır. Buna bağlı olarak her bir alt alanda dijital kanıt elde etmek için kullanılan yöntem, araçlar ve karşılaşılan zorluklarda farklılaşmaktadır.

Gelişen mobil cihaz teknolojisi getirdiği birçok kolaylık ve yenilik ile hayatın vazgeçilmez bir parçası olmayı başarmıştır. Dünya üzerinde cep telefonu kullanıcı sayısında meydana gelen artışa paralel olarak mobil cihaz teknolojisi büyük bir ivme kazanmıştır. “HootSuite” ve “We Are Social” in yayınladığı “Digital in 2019”

* Sorumlu yazar: fatih.ertam@firat.edu.tr, Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0001-7958-4499, ² 0000-0002-9736-8068

raporlarına göre 5,112 milyar mobil cihaz kullanıcısı olduğu ve bu sayının toplam dünya nüfusunun %67 sini oluşturduğu belirtilmektedir [2].

Mobil cihaz teknolojisindeki devrim niteliğindeki donanım ve yazılım tabanlı gelişmeler bu cihazları kullanıcısının özel, kurumsal ve kamusal işlerinin büyük kısmını yürüttüğü ve takip ettiği taşınabilir bilgisayar haline gelmesine sebep olmuştur. Bu özellikleri ile kişisel bir bilgi kümesi barındıran mobil cihazlar siber saldırıların hedefi haline gelmeleri ve suç soruşturmalarında suç ile ilgili veri barındırma ihtimalleri taşınmaları sebebiyle adli bilişimin konusu haline gelmiştir.

Cep telefonlarından veri toplanması son yıllarda daha önemli bir hale gelmiştir. Ancak bu kazanımı elde etmek akıllı cihaz teknolojisinin artmasıyla ve güvenlik açıklarının kapatılmasıyla gittikçe zor hale gelmektedir [3]. Bu durum adli kopya alma yöntemlerini ve adli kopya içerisindeki verilerin analiz süreçlerini olumsuz şekilde etkilemeye devam etmektedir.

Adli bilişim alanının dijital materyallerden adli kopya alma ve alınan adli kopyaları görüntüleme ve yorumlanması, pazarlanan yazılım uygulamaları ve adli araçlara tamamen bağımlıdır [4]. Adli araçların yeterlilikleri ile ilgili test işlemlerini gerçek ve tam anlamı ile gerçekleştirecek bir kurumun varlığı adli araç takımlarına duyulan güvene bir standart getirecektir. Bu konuda en dikkat çeken proje Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün (NIST) Bilgisayar Adli Tıp Aleti Testi (CFTT) Projesi'dir. CFTT projesi 2000 yılından bu yana faaliyettedir. Disk görüntüleme, medya hazırlığı, dosya oyma ve anahtar terim görevlerini kapsayan, adli bilişim araçları takım performansını potansiyel olarak doğrulamak ve değerlendirmek için sağlam test metodolojileri oluşturmaya çalışmaktadır [5]. Ancak bu çalışmalarda elde edilen test sonuçları açıklanma süreci boyunca araçların test edilen versiyonlarının kullanılmaya devam edileceği, hatta ticari aracın bu süre zarfında yeni versiyona geçmiş olma ihtimallerinin de olduğu düşünülürse CFTT testi tarafından herhangi bir olumsuzluk tespit edilse dahi bu araçların kullanımının önüne geçemediğinden tam işlevsellik gösteremeyecektir [4]. Bu nedenle adli bilişim alanında daha etkin bir işleyişin gerçekleştirilmesi için devletler, kanun uygulayıcılar, akademik personeller ve bu alanda hizmet veren ticari işletmelerin organik bir ilişki içinde çalışmalarını gerekmektedir [6].

Mobil cihaz teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte sınırlı işlem ve bellek kaynaklarına sahip, farklı CPU mimarisi ile çeşitli güvenli işletim sistemi (OS) sürümlerine sahip mobil cihazların üretilmesi bu cihazların adli kopya edinimi ve analizini zorlaştırmaktadır. Mobil cihaz pazarındaki büyümenin devam etmesi üretici ve model çeşitliliğine neden olduğundan, profesyonel bir araştırmacının, mobil cihazlardan dâhili verileri toplamak için en uygun adli araçları seçmesi gerekmektedir [7]. Örneğin Windows mobil akıllı telefon için adli kanıt kurtarma tekniklerinin karşılaştırıldığı çalışmada mobil cihazda tutulan bilgilerin eksiksiz bir şekilde alınmadığı gibi farklı araçlar ile elde edilen bilgilerin çelişkili olduğu gösterilmiştir [8]. Ayrıca tüm adli araçların avantajlarının yanında dezavantajlarının da olduğu ve tek bir aracın tüm amaçlar için yeterli olmadığı bilinmelidir.

Mobil cihazlar geliştirilen uygulamalar sayesinde basit bir bilgisayarın yapabileceği işleri yapabilen sınırlı hafıza ve işlem gücüne sahip, mobil altyapılarını kullanabilen küçültülmüş bilgisayarlardır. Mobil cihazların çoklu işlem becerilerini gerçekleştirebilmek için Symbian, iOS, Android OS ve Windows Mobile şeklinde farklı işletim sistemleri geliştirilmiştir [9].

Android, Google liderliğindeki Özgür Yazılım Topluluğu (Open Handset Alliance) OHA, olarak bilinen bir grup şirket tarafından açık kaynak kodları ile oluşturulan mobil platformdur. Her ne kadar açık kaynak kodları ile yazılmış olsa da kodların küçük ve önemli kısımları Google tarafından saklı tutulmaktadır [12]. Android 2010 yılından sonraki beş yıldan daha az bir sürede mobil cihaz pazarında baskın işletim sistemi olma başarısı elde etti [10]. IDC tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre 2018 yılı verilerine göre Android işletim sisteminin pazar payı %85,1 seviyesine ulaşmıştır [11].

Android İşletim sistemi, aygıt sürücülerini, ağ altyapısı ve güç yönetimi gibi temel işlevleri desteklemeye yarayan Linux 2.6 tabanlı bir çekirdek üzerinde çalışır. Linux çekirdeği, yerel kütüphaneler, dalvik sanal makinesi (VM) , uygulama çerçevesi ve uygulamalar gibi katmanlardan oluşur [12]. 2019 yılının ilk çeyreğinden itibaren önde gelen uygulama mağazalarında indirilebilecek uygulamaların sayısına ilişkin verilere göre Android uygulama sayısı 2.1 milyon civarındadır [13] . Bu kadar çok uygulamanın olması Android uygulama geliştiricileri topluluğunun bir sonucudur. Dünya çapında 12 milyondan fazla mobil uygulama geliştiricisinin olduğu ve bunların yarısından fazlasının dikkatini Android işletim sistemine odakladığı tahmin edilmektedir [14]. Dolayısıyla halen popüler olan ve pazar payının büyük bir kısmına sahip işletim sistemine sahip akıllı telefonların dijital suç soruşturmalarında karşılaşıma ihtimalide artacaktır. Bu sebeple Android cihazların adli bilişim incelemelerinde yaşanan sorunlar ve kısıtlılıklara karşı üretilen çözüm yöntemleri, etki edeceği dava sayısı göz önüne alındığında daha önemli bir hal almaktadır.

Mobil cihaz teknolojisi gelişmeye ve değişmeye devam ettikçe, farklı tür mobil cihaz türleri ve güvenlik önlemlerine paralel olarak yeni mevcut kılavuzlar ve işlemler periyodik olarak gözden geçirilmeli ve ihtiyaca göre yeni yöntem ve modeller geliştirilmelidir.

2. Literatür Taraması

Adli bilişim süreçleri bilgisayar suçu ile ilgili kanıtların mahkemeye esas olmak üzere bütünlüğünü ve gözetim zincirini koruyarak düzgün bir şekilde sunulmasını sağlamak için oluşturulan bilimsel süreçlerdir. Bu süreçlerin nihai amacı ise “neler oldu, kim dâhil oldu, ne zaman gerçekleşti, nerede gerçekleşti, neden oldu ve olay nasıl meydana geldi” sorularını cevaplayabilecek kanıtlar elde etmektir [15].

Literatürde, suç soruşturmasında olayların yeniden inşasını kolaylaştırmak veya iletirmek amacıyla dijital kaynaklardan elde edilen kanıtları bilimsel bir yol izleyerek gerçeğe uygun değerlendirilmesi için adli bilişim süreçleri ile ilgili birçok model geliştirilmiştir [16]. Ancak geliştirilen her model kendi alanı içerisindeki sorunlara çözüm üretmek için geliştirilmiştir. Suç soruşturmasında kanıtların mahkemeye sunulma aşaması genelde kanıtları elde etme, koruma, analiz ve raporlama aşamalarından oluşmaktadır. Adli bilişim soruşturmaları için geliştirilen süreç modelleri de bu temel üzerinde geliştirilmektedir.

2.1 Kruse ve Heiser modeli (2001)

Lucent modeli olarak da bilinen bu model adli bilişim süreçlerini “Elde Etme (Acquire), Belgeleme (Authenticate) ve Çözümleme (Analyse) olarak üç aşamada ele almıştır. Ayrıca ilk harflerinden dolayı literatürde 3A modeli olarak da bilinmektedir. Bu model adli bilişim süreçlerini basit ve genel bir çerçevede ele almıştır.

2.2 ABD adalet bakanlığı modeli (USDOJ, 2001)

Dijital kanıtlarla ilişkili suç mahallinin soruşturma sürecini içeren ve acemi katılımcılar için bir rehber haline gelen bu model, daha sonra kolluk kuvvetleri ve diğer kurumlar tarafından dijital kanıtları güvence altına almak ve tanımlamak için de kullanılmıştır.

Bu modelin ilk aşaması, suç mahallinde kapsamlı bir araştırma süreci gerçekleştirdikten sonra kanıtların toplanmasıyla ilgilidir. İkinci aşama, önceki aşamadan toplanan kanıtları şeffaf bir şekilde bir araya getirmek ve kaynağını tanımlamak olan inceleme sürecini içermiştir. Üçüncü aşama, kanıtların kullanılabilirliği ile ilgili analizinin yapıldığı süreçtir. Son aşama ise önceki tüm aşamaların sonuçlarının raporlanması ve tüm süreçte toplanan bilgileri içerir [17]. Bununla birlikte, bu modelin tek kısıtlaması, belirsiz kalması ve düzgün bir şekilde açıklanmamasıdır.

2.3 DFRWS modeli (2001)

Dijital Adli Araştırmalar Çalıştayı tarafından yönetilen ilk büyük ölçekli konsorsiyumda, adli bilişim uzmanları, uygulayıcılar, güvenlik kurumları ve siviller tarafından “Tanımlama, Sunma, Toplama, İnceleme, Analiz Etme ve Raporlama” aşamalarından oluşan altı (6) basamaklı süreç olarak geliştirilmiştir. Bu model adli bilişim süreçlerinin standart ve tutarlı bir iskeletini oluşturmanın yanında teknik ve teknik olmayan kullanıcılar tarafından kolayca anlaşılabilir bir yapıya sahiptir. DFRWS modelinin tanımlama aşaması, bir olaya müdahale etmeden önce adli süreçleri organize etmek için olay öncesi hazırlığı dışarıda bıraktığı için yeterince geliştirilememiştir [18].

2.4 Soyut dijital adli tıp modeli (ADFM, 2002)

2002 yılında dijital adli soruşturma modelini daha da netleştirmek ve sadeleştirmek için DFRWS modeline kanıtları biriktirme konusundaki geleneksel yaklaşımı dâhil ederek yeni bir model geliştirilmiştir. Bu model “Tanımlama, Hazırlık, Yaklaşım Stratejisi, Muhafaza, Toplama, İnceleme, Çözümleme, Sunum ve Delilin İadesi” aşamalarından oluşmaktadır.

Bu modelin ilk aşaması, meydana gelen olayın türünü tanımlamak ve bu modelin amacına ulaşması için tüm yardımı sağlamaktır. İkinci aşama, bu adli modelin kalan aşamalarında kullanılacak yöntem ve prosedürler hakkında hazırlık yapmaktır. Ayrıca, kanıtları toplamak için gerekirse farklı arama emirlerinin hazırlanmasına da rehberlik eder. Üçüncü aşama, kanıt toplama sürecinin beşinci aşamasındaki benimsenecek yaklaşım ve süreçler geliştirmektir. Modelin dördüncü aşaması, potansiyel olarak ilgili delilleri içeren tüm bileşenleri ve cihazları

korumaktır. Cihazları ve bileşenleri içeren kanıtları sağlamlaştırdıktan sonra, fiziksel sahneyi kaydetmek ve prosedürlerin birleştirilmesi için beşinci toplama aşaması kullanılır. Altıncı aşama, işlenen suçun ilgili şüphelisini bulunmasıyla ilgilenen analiz aşamasıdır. Yedinci aşama, denetimin yapıldığı maddelerin önemini analiz etmektir. Sekizinci aşama analiz aşaması ve daha sonraki aşamada gelen sonuçların sunumunu içerir. Son ve dokuzuncu aşama, görevlerin yerine getirilmesinden sonra cihazları ve dijital kaynaklarını gerçek sahibine iade etme sürecini içerir. Tanımlanan bu modeldeki kusur veya boşluk, üçüncü aşamanın bir dereceye kadar ikinci aşamaya oldukça benzer olmasıdır [17].

2.5 Entegre dijital araştırma süreci (IDIP, 2003)

Entegre Dijital Araştırma Süreci olarak adlandırılan bu model adli bilişim araştırması yapmak ve kanıtları toplamak için adli uzmanlar için başka bir rehber haline geldi. Bu model “Hazırlık Aşaması, Dağıtım Aşaması, Fiziksel Suç İnceleme Aşaması, Dijital Suç İnceleme Aşaması ve Gözden Geçirme Aşaması” olmak üzere beş aşamada ele alınmıştır.

Hazırlık aşamasının amacı soruşturma sürecinin geri kalan aşamalarını hazırlanmaktır. İkinci aşama, adli uzmanlara olayı tespit etme ve ardından sertifikalandırma becerisi kazanabilecekleri bir sistem sağlar. Üçüncü aşama, olay yerindeki fiziksel delilleri toplamak, incelemek ve olay sırasında ortaya çıkan eylemlerin keskin gözlemi yapmakla ilgilidir. Dördüncü aşama üçüncü aşamaya benzer olarak fiziksel suç mahalli araştırma aşamasında elde edilen dijital kanıtların incelenmesi ve toplanmasıyla ilgilidir. Beşinci ve son aşama, dijital adli soruşturma sürecinin önceki aşamalarında yapılan tüm analizleri gözden geçirmektedir. Bu modelin ikinci aşamasında meydana gelen olayın belgelendirilmesi ile ilgilenmesi, modelin yaygın olarak kullanılmamasına neden olmuştur. Çünkü dijital suçu daha önce onaylamak imkânsızdır [19].

2.6 Geliştirilmiş dijital araştırma süreç modeli (EDIP, 2004)

Adli bilişim sürecini, IDIP ‘dan farklı olarak yinelemeli olarak tasvir eder. Fiziksel ve dijital olay yeri inceleme aşamalarındaki aşamaları yeniden tanımlar. Dağıtım aşamasını yeniden tanımlar ve birincil (şüpheli) ve ikincil (mağdur) suç mahallindeki araştırmaları ayırt eder. Bu model “Hazırlık Aşaması, Dağıtım Aşaması, Geri İzleme Aşaması, Dinamit ve Gözden Geçirme Aşaması” olmak üzere beş (5) aşamada ele alınmıştır

EDIP modeli elektronik ve dijital olmayan teknolojiler için tutarlı ve standartlaştırılmış bir model oluşturmanın yanında gelecekteki dijital teknolojilere uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır. Bu avantajlarının yanında modelin ek alt aşamalarının bazı belirsizlikler içermesi ve bazı faaliyetlerinin birbirinin tekrarı durumunda olması, bu modelin dezavantajları arasında gösterilebilir [20].

2.7 Bilgisayar adli tıp saha triyaj süreç modeli (CFFTPM, 2006)

Bu model kısa bir sürede olay yerinde inceleme ve analiz yapabilmenin yanında araştırmacılara zamana duyarlı potansiyel psikolojik avantaj sağlamaktadır. Modelin odakları: “1. Hemen kullanılabilir kanıt bulun, 2. Akut risk altındaki mağdurları belirleyin, 3. Devam eden soruşturmayı yönlendirin, 4. Potansiyel masrafları belirleyin ve 5. Suçluların topluma yönelik tehlikelerini doğru bir şekilde değerlendirin” şeklindedir.

CFFTPM modeli “Planlama, Triage, Kullanıcı Kullanım Profilleri, Kronoloji Zaman Çizelgesi, İnternet Faaliyeti ve Vakaya Özgü Kanıtlar” aşamalarını içerir. Bu altı (6) aşama içerisinde yüksek bir sınıflandırma düzeyi ve her aşamada çeşitli alt görevleri vardır. Bu model hızlı bilgi edinme ve kritik durumlarda araştırma için avantaj sağlamanın yanında, Bu model sadece olay yerinde yapılan araştırma için uygundur. Soruşturma aşamasında sahne dışında ek çalışmalar yapılması gerektiğinde; kanıtlardan ödün verme olasılığı vardır [21].

2.8 Genel bilgisayar adli tıp soruşturma süreci modeli (GCFIPM, 2011)

GCFIPM modeli “Ön işlem, Edinme ve Koruma, Analiz, Sunum ve Son İşlem” aşamaları olmak üzere toplam beş (5) aşamadan oluşmaktadır. Ön işlem aşaması, soruşturmanın başlaması, gerçek zamanlı veri toplama, ilgili makamdan gerekli onayların alınması gibi yürütülen faaliyetleri ele alır.

Edinme ve Koruma aşamasında; tanımlama, toplama, taşıma, depolama ve koruma ile ilgili görevler yerine getirilir. Sonraki adım, adli soruşturmanın çekirdeği olarak kabul edilen analiz aşamasında; elde edilen veriler üzerinde suç kaynağı ve muhtemelen suçu işleyen kişinin tespiti ile ilgili analizler yapılır. Sunum aşamasında; analiz aşamasından elde edilen çeşitli sonuçların kolayca anlaşılabilir ve yeterli kabul edilebilir bir şekilde desteklenen bir formatta belgelenecek yetkililere raporlanmaktadır. Son olarak, soruşturmanın uygun şekilde

kapatıldığı son işlem aşaması sonrası hak sahiplerine gerekli dijital ve fiziksel kanıtlar verilerek soruşturma süreci gözden geçirilir.

Bu modelin çeşitli adli bilişim soruşturmalarına uygulanabilirliği ve yeni adli bilişim araştırma modelinin geliştirilmesi için iyi bir başlangıç noktası sağlayacak geniş bir çerçeve görevi görmesi avantajları arasında sayılabilir. Öte yandan bu modeldeki aşamalar, diğer modellerin aşamalarının gruplandırılması ile oluşturulmuştur. Sonuçta gruplandırılmış aşamalarda yinelenen faaliyetler ortaya çıkar. Genelleştirilmiş doğası nedeniyle bu modelin bir modelden ziyade bir yönerge çerçevesi olduğu düşünülmektedir [16].

2.9 Diğer modeller

2.9.1 Bulut bilişim için entegre kavramsal dijital adli model (2012)

Bulut ortamındaki adli soruşturma ile ilgili olarak, bu yeni teknoloji cezai faaliyetler için fırsatlar ve kolluk kuvvetlerine zorluklar getirmiştir. Bu çerçevenin diğer modellerden temel farkı, kanıt kaynağı tanımlama, koruma aşaması, inceleme ve analiz aşaması üzerinde uygulanan yinelenen özelliğidir. Verilerin bulutta nasıl işlendiğinin merkezi olmayan doğası, araştırmacılar için yeni yıkıcı zorluklar yaratmaktadır [22].

2.9.2 Veri azaltma ve veri madenciliği modeli (2014)

Dijital soruşturmalarda karşılaşılan yeni zorluklar göz önünde bulundurularak adli soruşturma ve adli analizin toplama, azaltılmış depolama alanı, zamanında inceleme, istihbarat, araştırma, bilgi yönetimi, arşiv ve erişim gibi yedi gereksinimini listeler. Bu model dijital adli tıptaki en büyük zorluklardan birinin sürekli artan veri hacmi olduğuna dikkat çekmiştir. Modelin ana fikri, veri indirgeme yöntemini kullanarak verilerin bir alt kümesini elde etmektir. Ana odak noktaları; Triyaj cihazları ve ortamları, daha hızlı indeksleme, veri madenciliği veya istihbarat analizini kullanma potansiyeli sağlama, çapraz vaka analizi, geçmiş vaka verilerinin ve istihbarat analizinin araştırılmasını sağlamak olarak listelenebilir [23].

2.9.3 Nesnelerin interneti tabanlı dijital adli model (2015)

Nesnelerin İnternetinin (IoT) artan yaygınlığı adli bilişim için yeni sorunlar getiriyor. Bu alandaki analiz, muayene ve depolama gibi çeşitli korunması gereken formatların analizini ele almayı amaçlayarak IoT tabanlı araştırmayla ilgili standart bir prosedürü tanımlamaktadır [24].

2.9.4 Saha işleme modeli (2016)

Önerilen son modellerden biri dijital adli alanı çevreliyor. Saha işleme modeli dijital olmayan kanıtları eğitmeye odaklanmıştır. Olay yerinde araştırmanın erken aşamasını yürüten uzmanlar önce ilgili bilgileri analiz ettikten daha sonra laboratuvarda ayrıntılı analizi gerçekleştirmektedir. Yani, geleneksel laboratuvar tabanlı muayenenin bir dizüstü bilgisayar aracılığıyla sahnede yapılabilirliği ve bulut sistemi ile birleştirilmesi ile ilgilenmiştir [25].

2.9.5 D4I - Siber saldırıları incelemek ve araştırmak için dijital adli bilişim modeli (2020)

Siber saldırıların incelenmesi ve araştırılması için önerilen D4I çerçevesi sunulmaktadır. D4I mevcut dijital adli tıp süreçlerinin yerini almak üzere tasarlanmıştır. D4I çerçevesi, saldırının niteliğine, türüne ve karmaşıklığına bakılmaksızın adım adım ve yarı otomatik bir siber saldırı araştırması yöntemi sağlamaktadır. D4I'yi diğer dijital adli tıp süreçleriyle birlikte uygulama yeteneğini sınırlamadan NIST'in 4 aşamalı dijital adli bilişim sürecini kabul ederek düzenlemiştir [15].

2.10 Mobil cihazlar ile ilgili süreç modelleri

Mobil cihazların adli bilişim analizlerinde delillerin sağlıklı bir şekilde analiz edilmesine imkân tanıyan delil elde etme süreci “Veri girişi, Tanımlama, Hazırlama, İzolasyon, İşleme, Doğrulama, Raporlama, Sunum ve Arşiv” olmak üzere dokuz (9) aşamaya ayrılmıştır [26].

Mobil cihazlarda adli inceleme süreci ise ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından hazırlanan Mobil Cihaz Adli İnceleme Kılavuzunda; Koruma, Elde Etme, İnceleme/Analiz ve Raporlama olarak Dört (4) aşamada ele alınmıştır [27].

Mobil cihaz inceleme süreçleri temel olarak birbirine benzerdir. Ancak kullanılan adli araç çeşitliliği ve farklı uygulamalar süreç aşamalarında bazı hatalara sebebiyet vermektedir. Bu nedenle bu hataları aza indireceği değerlendirilen temel iki süreç modeli ile bağlantılı farklı süreç model önerileri hazırlanmıştır [28].

Mobil cihaz analizlerinin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için mobil cihaz teknolojisindeki hızlı ilerleyiş karşısında temel süreç modellerinin de sürekli geliştirilmesi ve güncel tutulması gerekmektedir. Ayrıca farklı işletim sistemine sahip mobil cihazların farklılıkları göz önüne alınarak özel süreç modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmanın ana katkıları aşağıdaki gibi verilebilir:

- Literatürde adli bilişim süreç modelleri incelenerek avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir.
- Adli bilişim süreçlerinin uygulama alanındaki aksaklıkları tespit edilerek, mobil cihazların ekran izlerinden desen ve pin tespitine yönelik çalışmalar ile ilişkili yeni bir süreç model önerisi sunulmuştur.
- Mevcut güvenlik önlemleri ile bunlara karşılık geliştirilen yeni adli kopya alma yöntemlerine dikkat çekilmiş olup, bu güvenlik önlemlerini atlatmak için cihaz yonga setlerindeki benzerliklerden faydalanılarak ticari araçların desteklediği cihazlar ile desteklemediği cihazların adli kopyalarının alınabileceği süreçler ile ilgili yol haritası ve uygulama aşaması sunulmuştur.
- Mobil cihaz adli kopya formatlarındaki veri farklılıkları ve adli kopya formatları üzerinden yapılan analiz işlemlerindeki kelime aramalarının verdiği sonuçlar karşılaştırılarak, buna karşı alınacak önlemler temel süreçlere eklenmiştir.

3. Materyal ve Metot

Geleneksel olarak, mobil adli bilişimi hem adli kopya alma hem de analiz aşamasında cihaz üreticisine veya modeline göre farklı özel prosedürler uygulanmasını gerektirir. Cep telefonları çok çeşitli veri yolları, ara yüz ve form faktörleri kullanmanın yanında benzersiz yazılım, bellek düzeni ve depolama teknikleri kullanmaktadır. Bu şaşırtıcı çeşitlilik, adli bilişim analizcilerini birçok kablo ve veri toplama tekniği içeren karmaşık kitlelerle cihaz açıklarını sömürmek suretiyle adli kopya ve analiz aşamalarını gerçekleştirmeye mecbur bırakmıştır [12].

Mobil cihaz adli inceleme süreç modelleri NIST tarafından hazırlanan mobil cihaz adli inceleme rehberinde de belirtilen “Koruma, Elde Etme, İnceleme/Analiz ve Raporlama” aşamaları ile bu aşamaların kendi içinde genişletilmiş formları olan “Veri girişi, Tanımlama, Hazırlama, İzolasyon, İşleme, Doğrulama, Raporlama, Sunum ve Arşiv” şeklinde ele alınmıştır. Önerilen model de ekran izlerinden parola tespit edilmesi ile ilgili çalışmalar ile ilişkili olarak adli bilişim temel süreçlerine alt süreçler dâhil edilmiş ve yeniden düzenlenmiştir.

3.1 Koruma aşaması süreç modeli

Dijital delillere el koyma aşamaları göz önüne alınarak bu aşamada alınan önlemlerin, elde etme aşaması sürecini olumlu etkilemesi hedeflenmiştir. Gelişen mobil alt yapı, donanım ve yazılım teknoloji ile Android sürümlerindeki güvenlik açıklarının kapatılması, yeni koruma yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Bu nedenle mobil cihazların adli kopyasını almak giderek zorlaşmaktadır. Koruma aşamasında el koyma prosedürleri yerine getirilirken süreç şemasındaki hususlar yerine getirilmesi durumunda elde etme aşamasında bazı zorluklar kısmen de olsa aşılabacağı değerlendirilmektedir.

- El Koyma Aşamasında; cihaz açık ya da kapalı olarak karşımıza çıkmaktadır. Her iki durumda ilk olarak cihaz üzerindeki ekran izlerini bozmadan ağ bağlantıları kesilmelidir. Sim kart çıkarılmalı, mümkün değilse ekran izleri alındıktan sonra cihaz uçak moduna alınarak, faraday çantası gibi izole bir ortamda muhafaza edilmelidir. Böylece cihaz uzaktan müdahale yöntemlerine karşı korunmuş olacaktır.
- Cihazın şifreli olup olmadığı kontrol edilerek varsa cihaz parolası devre dışı bırakılmalıdır. Ekran izlerinden tespit edilen olası şifre ve pin 'in tespit edilmesi, elde etme aşamasında en az mantıksal edinim sağlamamızı kolaylaştıracaktır.
- Olası şifre, pin vb. tespiti analiz aşamasında karşılaşılan şifreli dosya, doküman ve veri tabanlarının analiz süreçlerinde de şifre kırma aşamalarında kullanılabilir.

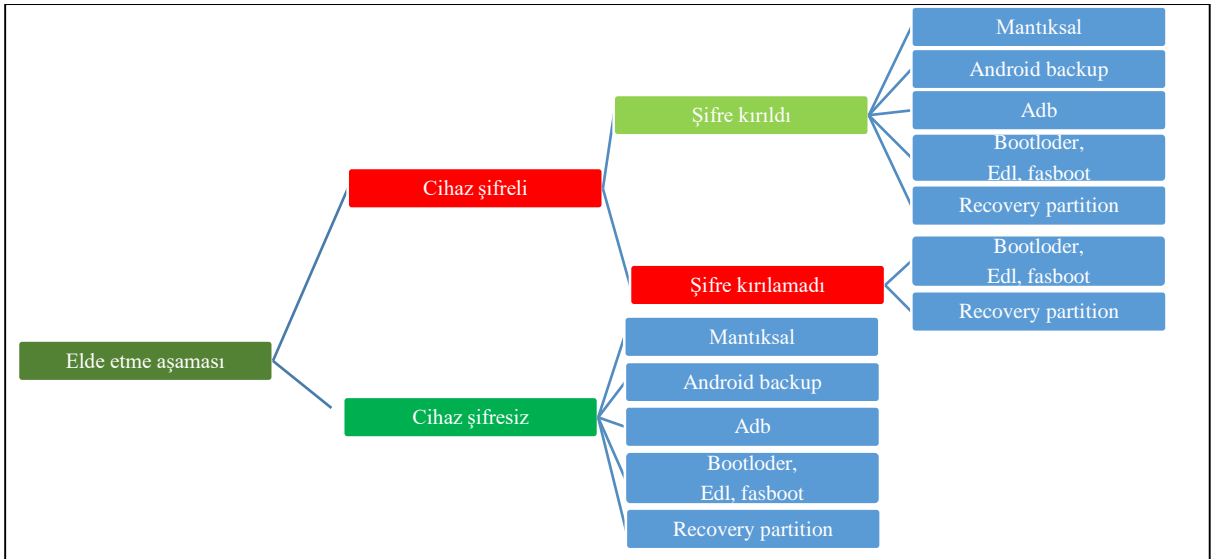


Şekil 1. Koruma aşaması süreç şeması

3.2 Elde Etme süreç modeli

Elde Etme aşaması süreç modelinde; temel alınan prensip cihazın fiziksel kopyasını almaktır. Ancak bazı soruşturmalarda bu yöntemle gerek kalmadan cihazın belirli bölümlerindeki verilerin alınması yeterli olabilir. Her iki durumda cihazın fiziksel adli kopyasının alınması silinmiş verileri kurtarma ihtimalini arttıracaktır. Bazı silinmiş verilerin soruşturmanın seyrini ve karar sürecini değiştirebileceği göz önüne alındığında fiziksel adli kopya alınması önemli bir hal almaktadır.

Yeni nesil Android sürümler, cihaz yonga setleri ve güvenlik uygulamaları fiziksel adli kopya alma sürecinde büyük sorunlara sebebiyet vermektedir. Fiziksel adli kopya alma süreci ile ilgili dikkat edilmesi gereken adımlar aşağıda sıralanmıştır. Adımlar anlatılırken ticari mobil adli araçları kullanılarak gerçekleştirilebilecek yöntemlerden ve araç yetenekleri baz alınmıştır. Elde etme aşamasında cihaz şifreli ve şifresiz olmak üzere iki türlü karşımıza çıkmaktadır. Cihazın şifresiz olduğu durumlarda yapılacak işlemler belli olduğundan şifreli cihazlara uygulanan aşağıdaki süreç, şifresiz cihazlar içinde uygulanabilmektedir.



Şekil 2. Elde etme aşaması süreç şeması.

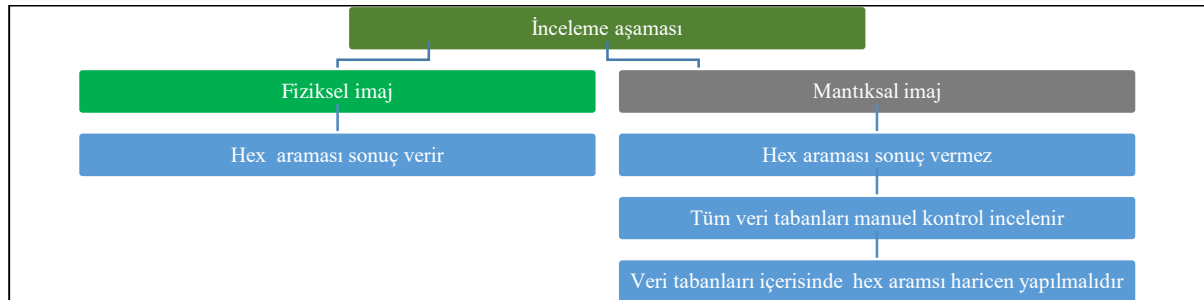
- Android cihazların hepsi veri alışverişini ADB (Android Debug Bridge) komut kütüphanesi komutları ile gerçekleştirmektedir. Bu komutun kullanılabilmesi için cihazın geliştirici seçeneklerinin açılarak USB hata ayıklama modülünün aktif edilmesi gerekir. Bu modül cihazlarda varsayılan olarak kapalı geldiğinden ve

açık olsa dahi cihaz ekranından bu modülün kullanılmasına onay verilmeden bu komutlar kullanılamayacaktır. Bu nedenle şifreli bir cihazın en düşük seviye mantıksal imajını almak mümkün değildir.

- Cihaz şifreli ise ticari mobil yazılımların kilit atlama ve devre dışı bırakma modülleri ile cihaz şifresi atlatılmaya çalışılır.
- Şifre atlatılmıyorsa yazılım güncelleme protokollerine dayanan fiziksel çıkarım yöntemleri olan Bootloader, EDL, Fastboot yöntemlerini destekleyen ticari mobil araç setleri kullanılabilir.
- Kullanılan adli araç elimizdeki şifreli cihazı Bootloader, EDL, Fastboot yöntemlerini desteklemiyorsa diğer yöntemlere geçmeden aynı yonga setini kullanan diğer cihaz modelleri tespit edilmelidir. Tespit edilen yeni modeller için mevcut adli aracın bu modeli destekleyip desteklemediği kontrol edilir. Desteklenen model varsa bu model üzerinden imaj alınmaya çalışılır. Aynı yonga setini kullanan cihaz listesini bulmak için, bu işi yapan web sitelerinden faydalanılabilir [29] . Yapılması gerek mevcut cihaz modelini web sitesinden aratarak yonga seti özelliğini seçmek, web sitesi aynı yonga setini kullanan cihazları bizim için sıralayacaktır.
- Bootloader, EDL, Fastboot yöntemlerini ile imaj alınmaması halinde özel kurtarma görüntüsü yükleme yöntemi ile fiziksel adli kopya alma yöntemi kullanılmalıdır. Ancak bu yöntem riskli bir yöntemdir. FRP kilidi gibi güvenlik yöntemleri risk oluşturmaktadır. Bazı modellerde bu yöntem uygulanırken cihazın fabrika ayarlarına dönmesi muhtemeldir. O yüzden ticari adli araçların bir kısmı bu yöntemi açık cihazlarda geliştirici seçeneklerden FRP kilidini kapatılarak uygulanmasını desteklemektedir.
- Cihaz Android sürümü Android 7 ve üst sürümlerden biri olması halinde yazılım güncelleme protokollerine dayanan fiziksel çıkarım yöntemleri ve özel kurtarma görüntüsü yükleme yöntemleri kullanılarak cihaz kapalı konumda alınan adli kopyalar şifreli geleceğinden veriler analiz aşamasında anlamlandırılmayacaktır.
- Android 7 ve üst versiyon telefonların fiziksel ve dosya sistemli imajları için UFED4PC tarafından Decryping Qualcomm, Decryping MTK, Decryping Bootloader gibi yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler daha düşük sürümlerde uygulanması durumunda cihaz yazılımının çökmesi ve bozulması muhtemeldir.
- Ayrıca koruma aşamasında cihaz üzerindeki parmak izleri alınması durumunda izlerden tespit edilecek olası şifre ve pin'ler bu tarz cihazların imajları alınırken ve verilerin şifresi çözülürken kullanılabilir.

3.3 İnceleme aşaması süreç modeli

İnceleme aşaması süreç modelinde; temel alınan ana prensip elde edilen adli kopya formatı ve yapılacak analizin konusudur. Elde edilen adli kopyanın fiziksel kopya olması halinde hafıza erimlerinde yapılacak Hex aramaları sağlıklı sonuçlar verirken, mantıksal kopya formatlarında Hex araması sonuçları kesin sonuçlar olmamaktadır. Bu yüzden mantıksal adli kopya ile çalışıldığında edinilen veri tabanları ile geri görüntüleme günlükleri içerisinde ayrıca inceleme ve Hex araması yapılması sağlıklı bir analiz için gereklidir.

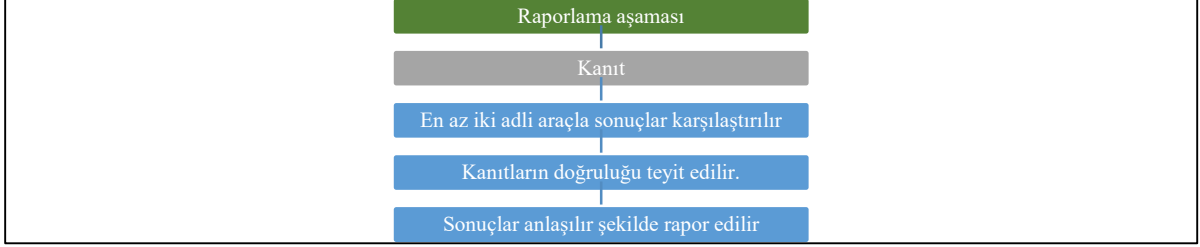


Şekil 3. İnceleme aşaması süreç şeması

3.4 Raporlama aşaması süreç modeli

Raporlama aşaması süreç modelinde; Temel alınan ana prensip analiz süreçlerinin insan ve adli araç faktörüne bağlı olduğu gerçeğidir. Adli araçlar temelde aynı prensiplerde çalışsa da kaynak kodları ve işleyiş farklılığı nedeniyle verileri anlamlandırma ve kurtarma işlemlerinde farklı performanslar sergileyebilmektedir. Bu nedenle

Raporlama sürecinde en az iki farklı adli araç ile kanıtlar ve veriler değerlendirilmelidir Raporlama sürecinde en az iki adli araç seti ile veriler teyit edildikten sonra, kanıtların doğruluğu teyit edilmeli ve sonuçlar anlaşılır bir şekilde raporlanmalıdır.



Şekil 4. Raporlama aşaması süreç şeması

4. Sonuç

Bu çalışmada, Android mobil cihazların adli bilişim analizlerinde karşılaşılan zorluklar ve bunlara karşı uygulanacak yöntem ve süreç modellerinden bahsedilmiştir.

Adli bilişim analizlerinin temel amacı suç soruşturmalarına konu olan dijital materyalleri gizlilik, bütünlük ve kabul edilebilirlik kriterlerine uygun olarak toplanması, analiz edilmesi, raporlanması ve arşivlenmesidir. Mobil adli bilişim bu disiplin içerisinde temelde aynı amaca odaklanmıştır. Ancak mevcut marka, model ve işletim sistemi çeşitliliği ile kullanıcı verilerini korumaya yönelik geliştirilen güvenlik önlemleri ve şifreleme yöntemleri mobil adli bilişim analiz süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle mobil adli bilişim analizlerinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi cihaza el konulma aşamasından raporlama aşamasına kadar geçen bütün süreçlerin takip edilmesi ile ilişkilidir. Bu temel prensipler ayrıca adli bilişim analizinde delil bütünlüğü ve kanıtların geçerliliklerinin sorgulanması ile ilgili geriye dönük eksiklikler ve ihmaller ilgili bilgilere ulaşmamıza imkân tanıyacağından süreç modellerinin takip edilmesi son derece önemlidir. Ancak temel süreç modellerinin mobil cihaz teknolojilerindeki gelişmeler karşısında genel bir çerçeve çizmenin ötesine geçemediğinden bu süreçlerin ayrıntılı olarak irdelenmesi ve yeni süreç modellerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Mobil cihaz kullanıcıların büyük bir kısmı mobil cihazlarını koruma önlemi olarak bir desen, pin, parmak izi, retina ve yüz tanıma gibi güvenlik önlemleri ile koruma altına almaktadır. Ancak yaygın olarak kullanılan yöntem desen ve pin ile oluşturulan şifreleme yöntemleridir. Mobil cihazların geniş ve dokunmatik ekranları kullanıcı parmak izlerini ve desenlerinin rahatlıkla alınabilmesine imkân tanımaktadır.

Bu izlerin başarılı bir şekilde alınarak analiz edilmesi ve şifre tespiti sayesinde mevcut yöntemler ile adli kopyası alınamayan mobil cihazların adli kopyalarını alınmasına imkân sağlayarak, durmuş olan mevcut temel süreçlerin kaldığı yerden devam etmesine imkân tanıyacaktır. Her ne kadar farklı cihaz üreticilerine ait mobil cihazlar farklı gibi gözükse de temelde aynı donanım üreticilerine ait donanımları ve yazılımları kullanmaktadırlar. Bu benzerlik adli kopya alma sürecinde herhangi bir model için desteklenen adli kopya alma yöntemi aynı yonga setini kullanan farklı bir mobil cihaz için desteklenebildiğinden mevcut ticari yazılımların desteklediği modellerden faydalanılarak desteklenmeyen cihazların adli kopyaları alınması mümkün olacaktır. Bu nedenle uygulamada sıkça kullanılan bu hususlarda temel süreçlere entegre edilmiştir.

Mobil cihaz üreticisi olan bazı markalar, belirli bir markanın altyapı ve donanım kaynaklarını kullanarak yeni bir marka oluşturmaktadır. Adli araç setleri asıl markaları desteklediği halde, kopya marka ile ilgili model desteği bulunmayabilir. Bu benzerlik sayesinde kopya markaya ait cihazın adli kopya alma sürecinde, adli aracın desteklediği markaların modellerinden faydalanılabilir. Pratik uygulamalarda bunun birçok kez faydası test edildiğinden bu yöntemlerde temel süreçlere entegre edilmiştir.

Adli bilişim analizlerinde geline nokta şifreleme yöntemleri ve güvenlik önlemleri şifre tespit yöntemleri ve bypass yöntemlerine olan ihtiyacı arttırmaktadır. Bu nedenle yukarıda koruma aşamasında bahsedilen ekran izlerinden şifre ve pin tespitine yönelik yapılan çalışmaların başarılı sonuçlar vermesi şifreli olduğu için mevcut araçlar ve yöntemlerle adli kopyası alınamayan mobil cihazlardan adli kopya alınmasına imkân sağlayacağı ve sürecin sorunsuz ilerlemesine imkân tanıyarak, adli makamların karar verme süreçlerini hızlandıracığı değerlendirilmektedir.

Yeni model önerisinde sunulan ve temel süreçlere entegre edilen tecrübeler tamamen durmuş olan yöntemleri yeniden devam ettirmesi bakımından benzersizdir. Bu nedenle önerilen modelin adli uzmanlara fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Casey E. Handbook of Digital Forensics and Investigation. Handbook of Digital Forensics and Investigation. 2010. 1–17 p.
- [2] Digital 2019: Global Internet Use Accelerates - We Are Social [Internet]. [cited 2019 Jul 28]. Available from: <https://wearesocial.com/blog/2019/01/digital-2019-global-internet-use-accelerates>
- [3] Alendal G, Dyrkolbotn GO, Axelsson S. Forensics acquisition — Analysis and circumvention of samsung secure boot enforced common criteria mode. DFRWS 2018 EU - Proceedings of the 5th Annual DFRWS Europe. 2018;S60–7.
- [4] Horsman G. Tool testing and reliability issues in the field of digital forensics. Digital Investigation. 2019;28:163–75.
- [5] Guttman B, Lyle JR, Ayers R. Ten years of computer forensic tool testing. Digital Evidence and Electronic Signature Law Review. 2014;8(0):2019.
- [6] Casey E. Editorial - A smörgåsbord of digital evidence. Digital Investigation. 2017;23:1–2.
- [7] Yates M. Practical investigations of digital forensics tools for mobile devices. In: Proceedings of the 2010 Information Security Curriculum Development Annual Conference, InfoSecCD'10. 2010. p. 156–62.
- [8] Grispos G, Storer T, Glisson WB. A comparison of forensic evidence recovery techniques for a windows mobile smart phone. Digital Investigation. 2011;8(1):23–36.
- [9] Karataş G, Akbulut A, Zaim AH. Mobil Cihazlarda Güvenlik – Tehditler Ve Temel Stratejiler. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.. 2016;15(30):55–75.
- [10] Barmapsalou K, Damopoulos D, Kambourakis G, Katos V. A critical review of 7 years of Mobile Device Forensics. Vol. 10, Digital Investigation. 2013. p. 323–49.
- [11] IDC - Akıllı Telefon Pazar Payı - İşletim Sistemi [Internet]. [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/os>
- [12] Vidas T, Zhang C, Christin N. Toward a general collection methodology for Android devices. In: DFRWS 2011 Annual Conference. 2011.
- [13] • App stores: number of apps in leading app stores 2019 | Statista [Internet]. [cited 2019 Jun 16]. Available from: <https://www.statista.com/statistics/276623/number-of-apps-available-in-leading-app-stores/>
- [14] Opasiak K, Mazurczyk W. (In)Secure Android Debugging: Security analysis and lessons learned. Computers and Security. 2019;82:80–98.
- [15] Dimitriadis A, Ivezic N, Kulvatunyou B, Mavridis I. D4I - Digital forensics framework for reviewing and investigating cyber attacks. Array [Internet]. 2020;5(October 2019):100015. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100015>
- [16] O. K, Quayson E, Agyei O, Danso E. Survey of Digital Forensic Models and Proposed Thematic Scheme. International Journal of Computer Applications. 2017;169(11):41–5.
- [17] Mushtaque K. Digital Forensic Investigation Models, an Evolution study. Journal of Information Systems and Technology Management. 2015;12(2).
- [18] Lutui R. A multidisciplinary digital forensic investigation process model. Business Horizons. 2016;59(6):593–604.
- [19] Bryant R, Bryant S. Policing digital crime. Policing Digital Crime. 2014. 1–258 p.
- [20] Du X, Le-Khac NA, Scanlon M. Evaluation of digital forensic process models with respect to digital forensics as a service. European Conference on Information Warfare and Security, ECCWS. 2017;573–81.
- [21] Rogers MK, Goldman J, Mislán R, Wedge T, Debrota S, Rogers MK, et al. Journal of Digital Forensics , Security and Law Computer Forensics Field Triage Process Model Computer Forensics Field Triage Process Model. 2006;1(2):1–21.
- [22] Martini B, Choo KKR. An integrated conceptual digital forensic framework for cloud computing. Vol. 9, Digital Investigation. 2012. p. 71–80.
- [23] Quick D, Choo KWR. Data reduction and data mining framework for digital forensic evidence: Storage, intelligence, review and archive. Trends and Issues in Crime and Criminal Justice. 2014. p. 1–11.
- [24] Perumal S, Md Norwawi N, Raman V. Internet of Things(IoT) digital forensic investigation model: Top-down forensic approach methodology. In: 2015 5th International Conference on Digital Information Processing and Communications, ICDIPC 2015. 2015. p. 19–23.
- [25] Hitchcock B, Le-Khac NA, Scanlon M. Tiered forensic methodology model for digital field triage by non-digital evidence specialists. In: DFRWS 2016 EU - Proceedings of the 3rd Annual DFRWS Europe. 2016. p. S75–85.
- [26] Murphy CA. Developing Process for Mobile Device Forensics. 2012;1–9. Available from: <http://www.mobileforensicscentral.com/mfc/documents/Mobile Device Forensic Process v3.0.pdf>
- [27] Ayers R, Brothers S, Jansen W. Guidelines on mobile device forensics. 2014; Available from: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-101r1.pdf>
- [28] Akalın U. Mobil Cihazlarda Adli Bilişim Çalışmalarına Yönelik Bir Model Önerisi. Gazi Üniversitesi; 2016.
- [29] Samsung Exynos 7 Octa 7870 Chipset Kullanan Telefonlar - Epey [Internet]. [cited 2019 Jun 18]. Available from:

Atık Polietilen Tereftalat (PET) ile Modifiye Edilmiş Saf Bitümün Fiziksel, Morfolojik ve Isıl Özellikleri

Tacettin GEÇKİL¹, Yunus ÖNAL², Ceren Beyza İNCE^{3*}

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

² Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

^{3*} İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

¹ tacettin.geckil@inonu.edu.tr, ² yunus.onal@inonu.edu.tr, ^{3*} c.beyzaince@gmail.com

(Geliş/Received: 10/09/2019;

Kabul/Accepted: 03/01/2020)

Öz: Bu çalışmada, atık PET ile modifiye edilmiş bir bitümün fiziksel, morfolojik ve ısıl özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışmada, bitüm ile PET arasında iyi bir etkileşim sağlamak amacıyla Trietanolamin (TEO) kimyasal katkısı kullanılmıştır. Bu amaçla, B 70/100 penetrasyon sınıfına sahip bitüme ilk olarak bitümün ağırlıkça %2,5 TEO ilave edilmiştir. Daha sonra, bitüm+TEO karışımına bitümün ağırlıkça %2, 4, 6, 8 ve 10 oranlarında PET ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiştir. Saf ve modifiye bitümlerin özellikleri, penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, kütle kaybı, Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) deneyleri ile belirlenmiştir. Ayrıca, bitümlerin penetrasyon indeksi (PI) değerleri de belirlenmiştir. Test sonuçlarına göre; katkı miktarının artışı ile modifiye bitümlerin, saf bağlayıcıya göre penetrasyon ve duktilite değerlerinde belirli bir yüzdeye kadar (%6 PET) düzenli bir azalma, daha sonra artış; yumuşama noktası değerlerinde ise bu yüzdeye kadar artış, daha sonra azalma meydana gelmiştir. SEM görüntüleri ve XRD grafikleri, PET ile bitümün kimyasal bir bağ oluşturarak iyi bir etkileşim içerisine girdiğini ve karışımın homojen tek fazlı bir yapı gibi davrandığını göstermiştir. Sonuç olarak, %6 PET oranında bitüm kıvamının daha sert hale geldiği ve sınıfının değiştiği (B 50/70), tekerlek izi direnci bakımından bu oranın uygun olduğu, ancak PI bakımından %4 PET oranının daha uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bitüm, atık PET, Trietanolamin, SEM, XRD.

Physical, Morphological and Thermal Properties of Pure Bitumen Modified with Waste Polyethylene Terephthalate (PET)

Abstract: In this study, the changes in the physical, morphological and thermal properties of a bitumen modified with waste PET were investigated. In the study, Triethanolamine (TEO) chemical contribution was used to provide a good interaction between bitumen and PET. For this purpose, 2.5% TEO by weight of bitumen was first added to bitumen having penetration class of B 70/100. Then, 2, 4, 6, 8 and 10% PET by weight of the bitumen was added to bitumen+TEO blend and modified bitumens were obtained. The properties of pure and modified bitumens were determined by penetration, softening point, ductility, mass loss, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) experiments. In addition, the penetration index (PI) values of bitumen were determined. According to the test results; with the increase in the amount of additive, there was a regular decrease in the penetration and ductility values (6% PET) of the modified bitumens compared to the pure binder, then an increase; however, in the softening point values increased up to this percentage and then decreased. SEM images and XRD graphs showed that PET and bitumen interact well by forming a chemical bond, and that the mixture acts as a homogeneous single-phase structure. As a result, it was found that the bitumen consistency became more solid and its class changed (B 50/70) at 6% PET, this ratio was suitable for permanent deformation resistance, but 4% PET was more suitable for PI

Key words: Bitumen, waste PET, Triethanolamine, SEM, XRD.

1. Giriş

Bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplamalar agrega ve bitüm olmak üzere başlıca iki ana malzemeden oluşur ve her iki malzemenin özellikleri de kaplamanın performansını doğrudan etkilemektedir. BSK'ların ağırlıkça %5-7'sini, hacimce %13-15'ini oluşturan bitümler, agrega daneleri ile birleştiğinde birbirine bağlanarak ve düzgün kaplama yüzeyi oluşturarak yük altındaki kaplamanın dağılmasını önler, sürtüş konforu sağlar ve karışımın boşluklarını doldurarak geçirimsizliği sağlarlar [1,2]. İlk inşa edildiklerinde yüksek performans

* Sorumlu yazar: c.beyzaince@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-8070-6836, ² 0000-0001-6342-6816, ^{3*} 0000-0002-6385-0964

gösteren BSK kaplamalarda, trafik, iklim ve çevre şartları etkisiyle zamanla kalıcı deformasyon, düşük sıcaklık çatlakları, soyulmalar ve yorulma çatlağı gibi bozulmalar meydana gelmektedir [3,4]. Kaplamayı olumsuz yönde etkileyen bu bozulmalara karşı bitüme ya da karışıma çeşitli katkı maddeleri eklenerek modifiye bitüm veya karışımlar elde edilmektedir. Modifikasyon işlemi ile daha uzun hizmet ömrüne sahip, stabilitesi yüksek, deformasyonlara karşı daha dirençli kaplamaların yapılması amaçlanmaktadır. Günümüzde modifikasyon için çoğunlukla polimerler olmak üzere kauçuk, siyah karbon, çeşitli yağlar, filler malzemeler, elyaflar ve çeşitli çözücüler gibi bazı katkıları kullanılmaktadır [1]. Polimer gruplarında en çok kullanılanlar ise düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), polietilen tereftalat (PET/PETE), polipropilen (PP), polivinil klorid (PVC), Stiren-Butadien-Stiren (SBS), polistiren (PS) ve etilen vinil asetat (EVA) sayılabilir [5,6]. Bu polimerler cinslerine göre bitüm veya bitümlü karışımların farklı bazı özelliklerini iyileştirmek için sıkça kullanılmaktadır [5-7].

Bu çalışmada bitümün ve dolayısıyla esnek kaplamanın performansını geliştirmek ve çevreye vermiş olduğu zararı en aza indirmek amacıyla bitüm modifikasyonunda atık PET kullanılmıştır.

Polietilen tereftalat (PET), dünya genelinde iplik, şişe, fotoğraf filmi, lastik kablo, emniyet kemeri, gıda ambalajları, saklama kapları vb. birçok alanda kullanılmaktadır. PET, doğada kendi kendine ayrışmayan, geri dönüşüm sayesinde tekrar kullanılabilen bir malzemedir [8]. PET kaynaklı atıklar, dünyadaki katı atık miktarının ağırlıkça %8 'ini ve hacimce %12 'sini oluşturmaktadır. Türkiye'de yıllık 165 bin ton pet şişe üretilmektedir ve bunun sadece 40 bin tonu geri dönüşüme uğramaktadır. Her yıl doğaya karışan 125 bin ton pet şişenin maliyeti ortalama 70 milyar dolardır. Atıkların değerlendirilmesi konusunda geri dönüşüme yeterince önem verilmesi hem maliyet açısından; hem de çevre kirliliğinin önüne geçilmesi açısından ülkemize önemli faydalar sağlayacaktır [9].

Asfalt karışımlarda PET kullanılarak yapılan birçok çalışmada, PET'in kalıcı deformasyon azalma, yorulmaya karşı direnç ve stabilite de artma, ayrıca yol maliyetinde önemli faydalar sağlayacağı görülmüştür [10-12]. Atık veya geri kazanılmış PET şişelerin uygun oranlarda agrega yerine kullanılarak yapılan bir çalışmada PET'in belirli bir noktada kalıcı deformasyonunun maksimuma ulaştığı ayrıca PET' in agrega yerine kullanılmasıyla yol maliyetinin önemli derecede düşeceği sonucuna varılmıştır [13]. Başka bir çalışmada atı19PET katkılı karışımların, karışım özelliklerini iyileştirdiği fakat bunun boyut ile alakalı olduğu sonucuna varılmıştır [14]. Atık PET elyaf kullanılarak yapılan bir çalışmada, kaplamanın yorulma ömrünün iyileştiği sonucuna varılmıştır [15]. PET' ten üretilen şişelerin çevreyi çok kirlettiği ve fazla alan kapladığı düşüncesinden çıkarak asfalt karışımlarda kaba agrega yerine PET kullanılan çalışmada ise PET kullanımının karışımdaki yüzdesinin ilk olarak stabiliteyi iyileştirdiği fakat belirli yüzdeden sonra düşürdüğü sonucuna varılmıştır [16]. Asfalt modifikasyonunda PET kullanılarak yapılan çalışmalarda, PET modifiyeli bağlayıcıların penetrasyon değerinde azalma, yumuşama noktası ve viskozite değerlerinde önemli artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca PET katkısının yüksek sıcaklık performansını artırdığı, kaplamayı daha sert bir kıvama getirdiği sonucuna varılmıştır [17,18]. Devulkanize PET kullanılarak yapılan bir çalışmada, katkılı bağlayıcıların saf bağlayıcılara göre penetrasyon değerinde azalma, yumuşama noktası ve viskozite değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Ancak, yüksek sıcaklıklardaki depolama stabilitesi testi sonucunda ise tüm PET katkılı bağlayıcıların modifiye bitüm şartname sınırlarına uymadığı ve depolamada kararlı bir karışım olmayacağı sonucuna varılmıştır [19]. Başka bir çalışmada ise asfalta PET ilavesinin penetrasyonu azalttığı, yumuşama noktası ve viskoziteyi artırdığı ayrıca yaşlanmaya karşı da dirençli olabileceği sonucuna varılmıştır [20]. Atık PET kullanılarak yapılan diğer bir çalışmada, PET malzeme oranının artmasıyla; penetrasyon değerinde bir azalış, yumuşama noktası değerinde ise bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca bu durumun karışımın sertlik ve kıvamını artırarak, karışımı kalıcı deformasyonlara karşı daha dayanıklı hale getirdiği ve sıcak iklimli bölgelerinde kaplama tabakalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [21].

Son yıllarda bitüm modifikasyonunda sıklıkla doğal ve atık polimerler yoğun bir şekilde kullanılmasına ve bunların modifiye bitümlerin birçok özelliklerini olumlu yönde etkilemelerine rağmen bazı olumsuzlar oluşturdukları da görülmüştür. Bunlardan en önemlisinin yüksek sıcaklıklardaki depolama stabilitesi olduğu bilinmektedir. Çalışmalarda bu durumun, bu tür polimerlerin bitüm içerisinde fiziksel olarak homojen dağılabildiğini ancak yüksek sıcaklıklardaki depolama esnasında polimerlerin özelliklerine göre ya dibe çöktüğü ya da yüzeye çıktığı dolayısıyla bu homojen yapının bozulduğu görülmüştür. Bu durum, araştırmacıları bitüm ile kimyasal reaksiyon oluşturabilen polimerlere (reaktif terpolimerler) veya polimer ile asfalt arasında kimyasal reaksiyon oluşturabilen çeşitli katkıları yönlendirmiştir [22,23].

Bu çalışmada, bitüm atık PET ile modifiye edilerek bitümün dolayısıyla BSK' nın özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, PET'in bitüm ile kimyasal reaksiyonunu sağlamak ve bitüm içerisinde homojen bir dağılım elde etmek amacıyla daha önce hiçbir çalışmada kullanılmamış olan TEO kullanılmıştır.

Çalışmada, bu şekilde kullanılan atık PET'in bitümün fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkileri penetrasyon, yumuşama noktası, düktülite, kütle kaybı, SEM ve XRD deneyleri ile belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Elazığ Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü asfalt şantiyesinden temin edilen B 70/100 penetrasyon sınıfı bitüm kullanılmıştır. B 70/100 bitümünün fiziksel özellikleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1. B 70/100 bitümünün fiziksel özellikleri

Deneyler	Deney Standardı	B 70/100	
		Şartname Limitleri	Ölçülen Değer
Penetrasyon (0,1mm)	TS EN 1426	70-100	88
Yumuşama Noktası (°C)	TS EN 1427	43-51	46,75
Düktülite (cm)	TS 119	min 100	>100
Parlama Noktası (°C)	EN 22719	min 230	238
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,0 – 1,1	1,038

Katkı malzemesi olarak kullanılan PET, Adana Meltem Kimya Ltd.Şti. tarafından temin edilmiştir. PET' in genel özellikleri Tablo 2 de belirtilmiştir.

Tablo 2. PET'in genel özellikleri [12]

ÖZELLİK	POLİETİLEN TEREFTALAT (PET)
Yoğunluk (gr/ml)	1,33-1,38 gr/ml
Kullanılabilir Max. Sıcaklık (°C)	60 °C
Sertlik Derecesi	Orta
Renk	Açık renkli
Erime Sıcaklığı (°C)	250 °C
Kalorifik Değeri (Kkal/kg)	11060 Kkal/kg
Tane Boyutu (max.)	0,3 mm

Bitüm ile PET arasında kimyasal bir bağ oluşturmak için kimya mühendisliği laboratuvarından temin edilmiş olan Trietanolamin (TEO) kullanılmıştır. TEO (C₆H₁₅NO₃)' nun kimyasal özellikleri Tablo 3 de belirtilmiştir.

Tablo 3. Trietanolamin (C₆H₁₅NO₃)'in kimyasal özellikleri [24]

ÖZELLİK	TRİETANOLAMİN (TEO)
Kimyasal formül	C ₆ H ₁₅ NO ₃
Molar kütle (g/mol)	149,19 g/mol
Kaynama noktası (°C)	335,4 °C
Yoğunluk (g/cm ³)	1,12 g/cm ³
Yapı	Bazik

Çalışmada, modifiye bitümler elde etmek amacıyla saf bitüm 160 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve bitüm ağırlığının %2,5'i kadar TEO ilave edilerek aynı sıcaklıkta 500 devirde 10 dakika boyunca karıştırma işlemi devam ettirilmiştir. Kullanılan bu oran, devir ve karıştırma süresi, literatürde benzer çalışmalar bulunmadığından laboratuvarında yapılan ön çalışmalar neticesinde belirlenmiştir. Daha sonra her bir yüzde için aynı işlem sırası

takip edilerek, ardından bitüm ağırlığının %2, 4, 6, 8 ve 10 oranlarında PET ilavesi edilmiş ve karıştırma işlemi 1000 devirde 30 dakika boyunca aynı sıcaklıkta devam ettirilmiştir. Çalışmada kullanılan karıştırma cihazı ve yapılan modifikasyon işlemi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Karıştırma cihazı (a) ve bitüme PET eklenmesi (b)

Çalışmada elde edilmiş olan saf ve modifiye bitümler sırasıyla B, B+%2PET, B+%4PET, B+%6PET, B+%8PET ve B+%10PET olarak kodlanmıştır. Saf ve modifiye bağlayıcılar fiziksel ve kimyasal deneylere tabi tutulmuş ve ısıl özellikleri tespit edilmiştir.

2.1 Bağlayıcıların fiziksel özelliklerinin tayini

Elde edilmiş olan saf ve modifiye bitümlerin fiziksel özellikleri TS EN 1426, TS EN 1427 ve TS EN 12589 standartlarına göre sırasıyla penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite deneyleri ile belirlenmiştir.

Bağlayıcılarda oluşan kütle kaybı ise, ASTM D 2872 standardına göre dönel ince film etüvü deneyi (RTFOT) ile tespit edilmiştir. RTFOT deneyinde, asfalt numunesi üzerinde kısa süreli yaşlandırma yapılarak numune üzerinde sıcaklık ve hava etkisiyle meydana gelen uçucu madde kaybının belirlenebilmesi için yapılmaktadır. Kütle kaybı, ilk kütle ile son kütle arasındaki farkın ilk kütleyle bölünmesi ile elde edilmektedir [25,26].

2.2. Bağlayıcıların kimyasal (morfolojik) özelliklerinin tayini

Saf ve modifiye bağlayıcıların kimyasal özellikleri X-Işını Kırınımı (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) deneyleri ile belirlenmiştir.

XRD, katı malzemelerdeki kristal fazları tanımlamak ve bu fazların yapısal özelliklerini analiz etmek için kullanılan çok yönlü bir analiz yöntemidir. Modifiye bitümlerin kristalit parametreleri yaygın olarak XRD ile belirlenir. Bitümlü bağlayıcının yapısal parametrelerinin pik yoğunluğuna ve konumuna göre niceliksel yoğunluk eğrileri elde edilir. SEM, malzemelerin mikro-morfolojik yapısının gözlemlenmesi ve analiz yapılmasını sağlayan karakterizasyon aracıdır. SEM, malzemenin yapısının ve homojenliğinin izlenmesine izin verdiği için polimer modifiyeli bitümün faz morfolojisini incelemeye önemli bir yöntemdir. SEM görüntüleri; bitüm-polimer uyumluluğunun anlaşılmasını sağlamada ve yaşlanma sürecinden kaynaklanan hasarı ortaya çıkarmada kullanılmaktadır. Bu görüntülerde bitüm bakımından zengin olan faz koyu veya siyah görülürken polimer faz açık renkte görülmektedir [27].

2.3. Bağlayıcıların sıcaklık hassasiyeti (PI)

Bitümlü bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılığının tespit edilmesinde çoğunlukla Penetrasyon İndeksi (PI) değeri kullanılmaktadır. PI değeri Denklem 1 ve Denklem 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$A = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{YN} - 25} \quad (1)$$

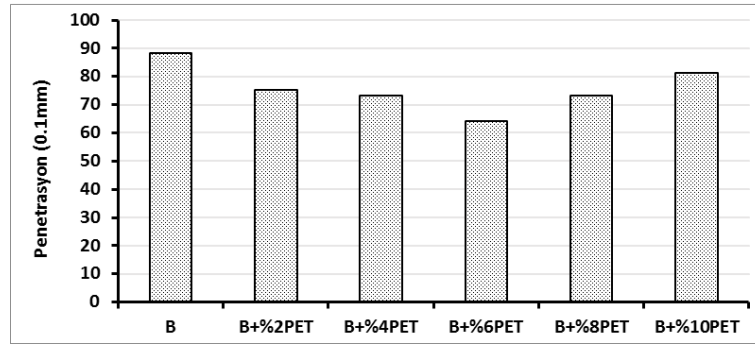
$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (2)$$

Formüldeki P_{25} , bitümün 25°C sıcaklıktaki penetrasyon değerini, T_{YN} ise yumuşama noktası değerini belirtmektedir. PI değerinin -2'den küçük olması bitümün ısıya çok duyarlı olduğunu, +2'den büyük olması ise ısıya karşı duyarlı olduğunu göstermektedir [28].

3. Bulgular ve Değerlendirme

3.1. Bitümlerin fiziksel özellik sonuçları

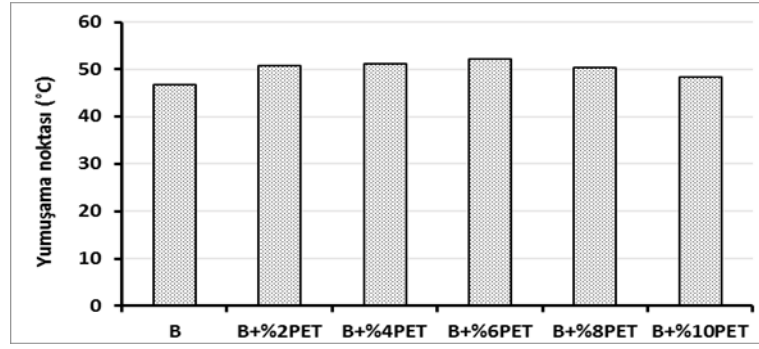
Bitümlerin TS EN 1426'ya göre yapılan penetrasyon deney sonuçları Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Saf ve modifiye bitümlerin penetrasyon değişimleri

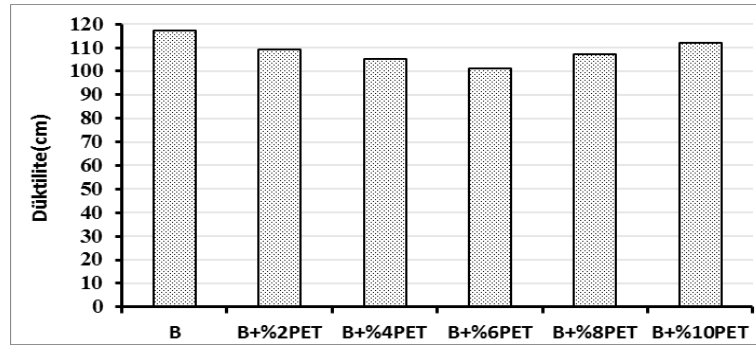
Şekil 2'de görüldüğü gibi B 70/100 saf bitümüne PET eklenmesiyle penetrasyon değerlerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Katkı ilavesi ile %6 PET oranına kadar penetrasyonda önce bir azalma, katkının artmaya devam etmesi ile daha sonra bir artış meydana gelmiştir. Bu değişimler saf bitüme göre sırasıyla %14,8; %17; 27,3; %17 ve % 8 azalış olarak tespit edilmiştir. Bu durum PET ilavesi ile modifiye bitümün önce sertleşmeye başladığını ancak daha sonra tekrar yumuşamaya başladığını göstermektedir. Bu sertleşme veya penetrasyon değerindeki azalma sonucunda %6 PET katkılı modifiye bitümün penetrasyon sınıfı B 50/70 olarak değişmiştir. Bunun sonucu olarak, nispeten daha ılıman bölgelerde kullanılabilen B 70/100 asfalt bağlayıcısının %6 PET ilave edilmesiyle çok daha sıcak bölgelerde kullanılabilceğini ve bunun bitümden kaynaklı kalıcı deformasyonlara karşı daha elverişli olduğunu ifade etmek mümkündür.

Bitümlerin TS EN 1427'ye göre yapılan yumuşama noktası deney sonuçları Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi B 70/100 saf bitümüne PET eklenmesiyle yumuşama noktası değerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Katkı miktarının artışına bağlı olarak bu değişim oranları saf bitüme göre sırasıyla %8,7; %9,3; %11,7; %7,5 ve %3,5 artış olarak tespit edilmiştir. PET modifiyeli bitümlerde katkı oranı arttıkça yumuşama noktası değeri %6'ya kadar artış gösterip, daha sonra azalma eğilimi göstermiştir. Bu karışımlarda en yüksek yumuşama noktası değerine ise %6 PET oranında ulaşılmıştır. Yumuşama noktası deney sonuçları penetrasyon sonuçları ile paralellik arz etmektedir. Yani bağlayıcılar önce sert bir kıvama gelmiş daha sonra tekrar yumuşama eğilimine girmiştir. Düşük penetrasyon ve yüksek yumuşama noktası değerleri, %6 PET ilavesinin bağlayıcının sıcaklık hassasiyetini azalttığını ve daha sıcak bölgelerde kullanılabilceğini göstermektedir.



Şekil 3. Saf ve modifiye bitümlerin yumuşama noktası değişimleri

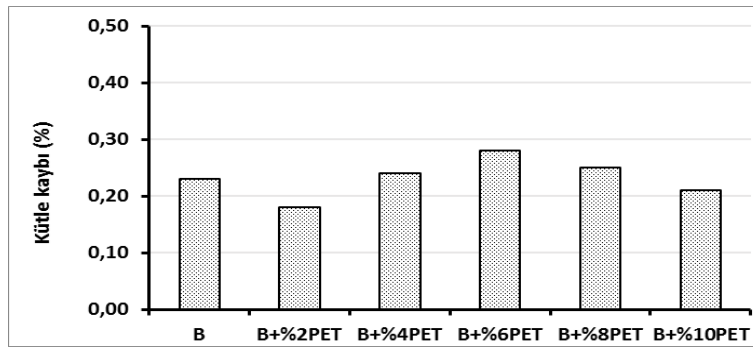
Bitümlerin TS EN 12589 standardına göre yapılan düktilite deney sonuçları Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Saf ve modifiye bitümlerin düktilite değişimleri

Şekil 4’de görüldüğü gibi B 70/100 saf bitümüne PET eklenmesiyle düktilite değerlerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Katkı ilavesine bağlı olarak, bu değişim oranları saf bitüme göre sırasıyla %6,8; %10,3; %13,7; %8,5 ve %4,3 azalma şeklinde gerçekleşmiştir. PET ilavesiyle modifiye bitümlerin düktilite değerlerinde %6’ya kadar bir azalma, daha sonra ise artış meydana gelmiştir. Bağlayıcı kıvamı bakımından, düktilite sonuçları penetrasyon ve yumuşama noktası sonuçları ile paralellik göstermiştir. Düktilite değerindeki azalma, bitümlü bağlayıcının uzama kabiliyetinin ve kohezyon mukavemetinin düşmesi, artması ise bu özelliklerde oluşan artış anlamına gelmektedir.

Saf ve PET ile modifiye edilmiş bitümler üzerinde yapılan RTFOT deneyi sonucu oluşan kütle kayıpları hesabı için, bağlayıcılar 160 °C ‘de ısıtılarak 8 adet şişeye, her birine 35 gr. bağlayıcı eklenerek 163 °C sıcaklıkta ve 75 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda saf ve PET ile modifiye edilmiş bitümlerin kütle kayıpları tespit edilmiş ve katkı oranı değişimi ile kütle kaybı arasındaki ilişki Şekil 5 de gösterilmiştir.



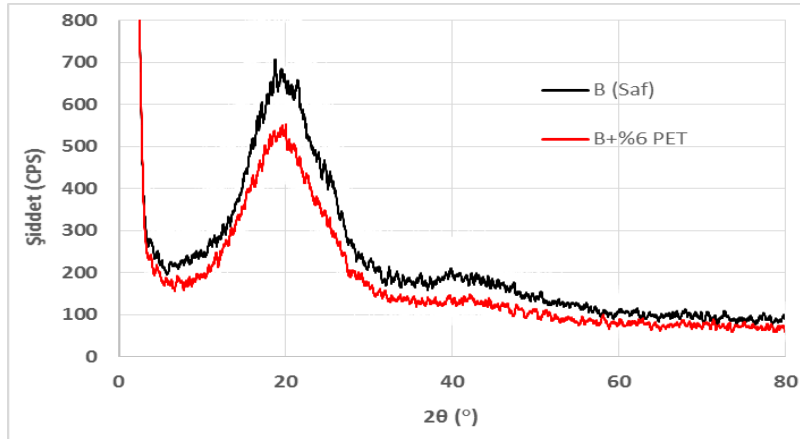
Şekil 5. Saf ve modifiye bitümlerin kütle kaybı değişimleri

Şekil 5’de görüldüğü gibi B 70/100 saf bitümüne PET eklenmesiyle kütle kayıplarında değişimler meydana gelmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcıların kütle kaybı değerleri sırasıyla %0,23; 0,18; 0,24; 0,28; 0,25 ve 0,21 olarak şartname limitlerinin oldukça altında elde edilmiştir. Bu değişim oranı saf bitüme göre sırasıyla %22 azalma; %4,3; %21,7 ve %8,7 artış ve %9 azalma şeklinde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlara göre, saf ve modifiye bağlayıcıların ısıtılma, taşınma, depolanma ve kaplama inşası esnasında ciddi sertleşme göstermeyeceğini ve elastikiyetini kaybetmeyeceğini ifade etmek mümkündür. Ayrıca, bağlayıcıların sıcaklık ve oksidasyona karşı yeterince dirençli oldukları da belirtilebilir.

3.2. Bağlayıcıların kimyasal özellik sonuçları

Saf ve PET ile modifiye edilmiş bitümlerin morfolojisi, XRD karakterizasyon teknikleri kullanılarak belirlendi. X ışını kırınım desenleri, $\text{CuK}\alpha$ radyasyonuna sahip bir Rigaku Giegerflex D-Max/B toz difraktometresi ile elde edilmiştir. Kırınım desenleri ($2\theta = 2-80^\circ$) oda sıcaklığında 0.02° 'lik bir adımla kaydedilmiştir. PET' in kristalografik yapısı, asfalt bağlayıcı harmanındaki varlığı ve dağılım seviyesi, desenler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada yapılmış olan fiziksel deney sonuçlarına göre en önemli sonuçlar %6 PET içeren modifiye karışımlardan elde edildiği için sadece bu karışımın XRD deseni verilmiştir. Saf ve %6 PET modifiyeli bitümlerden elde edilen XRD desenleri, Şekil 6’da verilmiştir.



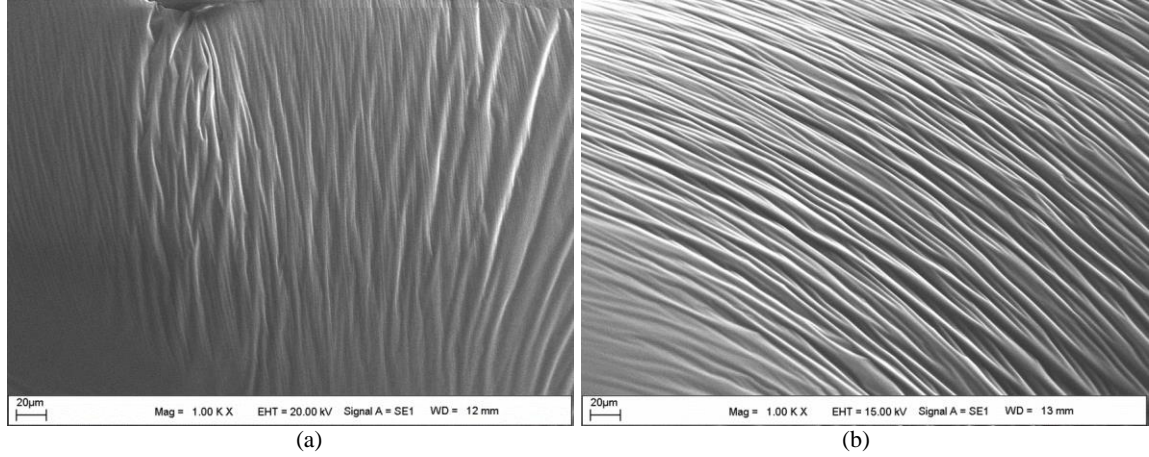
Şekil 6. Saf ve %6 PET modifiyeli bitümlerin XRD desenleri

Numunelere ait difraktogramlar incelendiğinde (Şekil 6) saf bitüme (B) ait difraktogramı asfalt bağlayıcılar için tipik olup pik maksimumu $20-2\theta$ geniş ve yayvan ve $43-2\theta$ değerinde ise geniş ve daha az alana sahip amorf pikler görülmektedir. $20-2\theta$ 'daki geniş pik incelendiğinde kısmen kristalin bölgeler mevcut iken ikinci pik tamamen amorf görülmektedir. B+%6 PET karışımına ait difraktoğram incelendiğinde $20-2\theta$ pik maksimumundaki pik önemli ölçüde azalmış ve kristalin bölgelere ait pikler kısmen kaybolarak amorflaşmanın arttığı görülmektedir. $43-2\theta$ 'daki ikinci amorf pik saf bitüme ait pik ile benzer boyutta çıkmıştır. Bu durum TEO' nun hem bitüm ile hem de PET ile etkileştiği, hatta kimyasal reaksiyona girdiği şeklinde yorumlanabilir. Özellikle TEO' nun bazık yapıda olduğu düşünülürse asidik yapıda olan PET ile önemli ölçüde etkileşebileceği sonucuna varılabilir.

SEM, PET modifiyeli bitümün mikro yapısını araştırmak, PET' in saf bitümdeki dağılım durumunu belirlemek ve sürekli ve süreksiz faz yapısını karakterize etmek için kullanılmıştır. Tüm bağlayıcı numunelerinin yüzey görüntülemesi, 1.0K büyütme ile Zeiss EVO 50 Model cihazı kullanılarak yapılmıştır. Saf ve %6 PET modifiyeli bitümlerden elde edilen SEM görüntüleri, Şekil 7’de gösterilmiştir.

Saf bitüme ait SEM sonucuna göre yapının oldukça homojen ve grafitik yapıda olduğu görülmektedir. Düzlemsel grafitik yapı nedeniyle kuruma esnasında yapısal gerilmeler sonucu büzülmeler meydana gelmiştir. Büzülmeler arasındaki düzensizlikler yapıda kristalin bölgelerin varlığı ile açıklanabilir. Nitekim XRD difraktogramında saf bitüm büyük oranda amorf karakterde iken kısmen kristalin bölgelerde mevcut idi. B+%6 PET karışımında TEO'nun PET ile reaksiyonu ve/veya etkileşimi sonucu grafitik yapı ortaya çıkmaktadır.

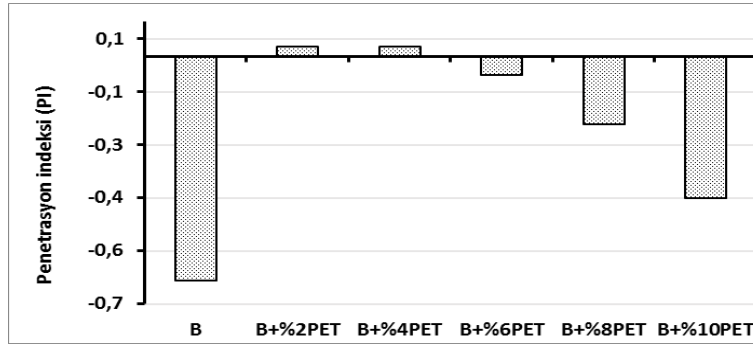
Kurumadan sonraki büzülmenin daha belirgin ortaya çıkması bu etkileşimin gerçekleştiğini doğrulamaktadır. Özellikle kristalin PET ile etkileşme sonucu grafitik yapının ortaya çıkması bitüm ile homojen bir karışım olması ve büzülmenin homojenliği, sonuç ürünün mekaniksel özelliklerini önemli ölçüde artıracak sonucunu çıkarmaktadır.



Şekil 7. Numunelerin SEM görüntüleri: (a) B; (b) B+%6 PET

3.3. Bitümlü bağlayıcıların sıcaklık hassasiyeti sonuçları (PI)

Saf ve modifiye bitümlerin PI değerleri ise formül 2 yardımıyla hesaplanmış olup, sonuçlar Şekil 8 de gösterilmiştir.



Şekil 8. Saf ve modifiye bitümlerin PI değişimi

Şekil 8'e görüldüğü gibi B 70/100 saf bitüme PET ilavesi ile PI değerlerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Saf ve modifiye bağlayıcıların PI değerleri sırasıyla -0,636; 0,026; 0,027; -0,054; -0,193 ve -0,401 olarak elde edilmiştir. PET ilavesiyle bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin önce düştüğü sonra tekrar yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir. Sıcaklık hassasiyeti bakımından en uygun katkı oranının %4 PET katkılı karışımlar olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Atık PET ve çözücü kimyasal Trietanolamin (TEO) katkısının birlikte kullanılmasının modifiye bitümlerin bazı özelliklerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Penetrasyon deneyi sonuçlarına göre, bitüme PET ilavesi, başlangıçta bitümü %6 oranına kadar sertleştirmiş, sonraki oranlarda ise yumuşattığı görülmüştür. %6 PET ilavesi ile saf bitüm sertleşerek çok daha sıcak bölgelerde kullanılabilir B 50/70 sınıfına dönüşmüştür.

Yumuşama noktası sonuçlarının penetrasyon sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. %6 PET ilavesine kadar yumuşama noktası değerleri %11,7 kadar artmış yani bağlayıcı sertleşmiş, sonra yumuşama noktası değerleri düşmeye başlamıştır. Bu %6 PET katkılı bağlayıcının yüksek sıcaklığa karşı direncinin artması sebebiyle daha sıcak bölgelerde kullanılabilceğini göstermektedir.

Düktilite deneyi sonuçlarına göre, %6 PET oranına kadar bağlayıcı bünyesinde oluşan sertleşmeden dolayı uzama yeteneğinde azalmalar görülmüş ancak bu orandan sonra artış meydana gelmiştir. En etkili değişim yine %6 PET katkılı bağlayıcıda meydana gelen %13,7'lik değişim olmuştur.

Bağlayıcılarda oluşan kütle kaybı en fazla %6 PET katkılı karışımlarda meydana gelmesine rağmen bütün sonuçlar şartname limitinin oldukça altında çıkmıştır. Bu, elde edilen bağlayıcıların yüksek sıcaklık ve oksidasyona karşı oldukça dirençli olduğunu göstermektedir.

XRD desenleri ve SEM görüntüleri birlikte incelendiğinde, literatürdeki sonuçların aksine PET'in TEO kimyasalının etkisi ile bitümle iyi bir etkileşim veya kimyasal bağ kurarak karışımın homojen tek fazlı bir yapı olmasını sağladığı görülmüştür. Bu durum PET ile modifiye edilen bitümlerin yüksek sıcaklıklarda depolanması esnasında bünyelerinde herhangi bir ayrışma olmayacağı anlamına gelir ki bu da polimer modifiyeli bitümlerde karşılaşılan en büyük sorunlardan birinin ortadan kalkabileceğini ortaya koymaktadır.

PI sonuçlarına göre; PET ilavesi ile bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerinin %4 PET oranına kadar düştüğü ancak tekrar yükselmeye başladığını göstermektedir.

Sonuç olarak, bağlayıcıların PET katkısı ile belirli bir orana kadar sertleştiği ancak daha sonra yumuşamaya başladığı, B 70/100 bitümü için bu kritik oranın %6 olduğu, bu oranda bağlayıcı sınıfının B 50/70 olarak değiştiği ve daha sıcak bölgelerde kullanılabilceği görülmüştür. Çalışmanın en önemli sonucu ise kullanılan kimyasal çözücü ile PET katkısının bitümle kimyasal bir bağ kurarak yüksek sıcaklıklarda depolama esnasında oluşabilecek ayrışma problemini ortadan kaldırdığını ve bu sayede atık PET kullanımının, hem kaplama performansını iyileştirme hem de çevreye vereceği zararı bertaraf etmesi bakımından faydalı olacağını ifade etmek mümkündür.

Kaynaklar

- [1] Tunç A. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 2007.
- [2] Lavin PG. Asphalt Pavements. Spon Pres: London and New York, 2003.
- [3] Carreau PJ, Bousmina M, Bonniot F. The Viscoelastic Properties of Polymer-Modified Asphalt. The Canadian Journal of Chemical Engineering 2000; 78 (3): 495-502.
- [4] Ahmedzade P, Alataş T, Geçkil T. The Effect of Carbon Black On The Mechanical Properties of Asphalt Mixtures. Journal of Engineering and Natural Sciences 2007; 25, 179-189.
- [5] Isacson U, Lu X. Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens-State of the Art, Materials and Structures 1995; 28, 139-159.
- [6] Iqbal MH. Influence of Polymer Type and Structure on Polymer Modification of Saudi Asphalt. Master of Science Degree, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 2004.
- [7] Airey GD. Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens, Fuel 2003; 82(14): 1709-1719.
- [8] Kalantar Z, Karim M, Mahre, A. A review of using waste and virgin polymer in pavement, Construction and Building Materials 2012; 33: 55-62.
- [9] Tayyar E, Üstün S. Geri Kazanılmış Pet'in Kullanımı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2009; 16(1): 53-62.
- [10] Modarres A, Hamed H. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes, Materials and Design 2014; 61: 8-15.
- [11] Moghaddam TB, Soltani M, Karim MR. Evaluation of permanent deformation characteristics of unmodified and Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixtures using dynamic creep test, Materials and Design 2014; 53: 317-324.
- [12] Yaşmun E. Pet Lifi Katkılı Bitüm Kaplamaların Bazı Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2009.
- [13] Abdul Rahman WMNW, Abdul Wahab AF. Green Pavement Using Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) as Partial Fine Aggregate Replacement in Modified Asphalt, Procedia Engineering 2013; 53: 124-128.
- [14] Ziari H, Kaliji A, Babagoli R. Laboratory evaluation of the effect of waste plastic bottle (PET) on rutting performance of hot mix asphalt mixtures, Petroleum Science and Technology 2016; 34(9): 819-823.
- [15] Denghan Z, Modarres A. Evaluating the fatigue properties of hot mix asphalt reinforced by recycled PET fibers using 4-point bending test, Construction and Building Materials 2017; 139: 384-393.
- [16] Hassani A, Ganjidoost H, Maghanaki A. Use of Plastic waste(Polyethylene terephthalate) in Asphalt Concrete Mixture as Aggregate Replacement, Waste Manage Res 2005; 23: 322-327.

- [17] Leng Z, Sreeram A, Padhan R, Tan Z. Value-added application of waste PET based additives in bituminous mixtures containing high percentage of reclaimed asphalt pavement (RAP), *Journal of Cleaner Production* 2018; 196: 615-625.
- [18] El-Naga I, Ragab M. Benefits of utilization the recycle polyethylene terephthalate waste plastic materials as a modifier to asphalt mixtures, *Construction and Building Materials* 2019; 219: 81–90.
- [19] Ameri M, Nasr D. Properties of asphalt modified with devulcanized polyethylene terephthalate, *Petroleum Science and Technology* 2016; 34(16): 1424-1430.
- [20] Silva J, Lucena L, Rodrigues J, Carvalho M, Costa D. Use of Micronized Polyethylene Terephthalate (Pet) Waste in Asphalt Binder, *Petroleum Science and Technology* 2015; 33(15-16):1508-1515.
- [21] Hoxha M. The Effects of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) on Asphalt Concrete, Master Thesis, Zirve University, Gaziantep, 2014.
- [22] Jasso M, Hampl R, Vacin O, Bakos D, Stastn J, Zanzotto L. Rheology of Conventional Asphalt Modified with SBS, Elvaloy and Polyphosphoric acid, *Fuel Processing Technology* 2015; 140: 172-179.
- [23] Polacco G, Filippi S, Merusi F, Stastna G. A Review of the Fundamentals of Polymer-Modified Asphalts: Asphalt/Polymer Interactions and Principles of Compatibility, *Advances in Colloid and Interface Science* 2015; 224: 72-112.
- [24] Bulak E. Atık Polietilen Tereftalat (PET) 'ın Aminolizi ve Aminoliz Ürünlerinin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [25] Pumphrey ME, Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, Graduate Theses, West Virginia University, Morgantown, 2004.
- [26] McGennis RB, Anderson RM, Kennedy TW, Solaimanian M. Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis, Publication No. FHWA-SA-95-003, 1995.
- [27] Geçkil T. Physical, Chemical, Microstructural and Rheological Properties of Reactive Terpolymer- Modified Bitumen, *Materials* 2019; 12(6): 921.
- [28] Koral AF. Aynı Performans Seviyesine Sahip Bağlayıcılarla Hazırlanan Bitümlü Sıcak Karışımların Kalıcı Deformasyona Karşı Dayanımlarının ve Yorulma Ömürlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2012.

Dış Ortam Sıcaklıkları ve Güneş Işınımı Şiddeti Dikkate Alınarak Adana İli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı Tespiti

Meral ÖZEL^{1*}, Sefa KUNT²

^{1,2} Makine Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

^{*1} mozel@firat.edu.tr, ² sefakunt1@gmail.com

(Geliş/Received: 17/09/2019;

Kabul/Accepted: 10/02/2020)

Öz: Bu çalışmada, Türkiye'nin en sıcak şehirlerinden biri olan Adana ili için ısıtma ve soğutma yükleri esas alınarak bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. İlk olarak Adana ilinin dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışınımı şiddeti dikkate alınarak ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra ise binanın 10 yıllık ömrü üzerinden enerji tüketim maliyetini içine alan bir maliyet analizine göre optimum yalıtım kalınlıkları iki farklı yalıtım malzemesi için belirlenmiştir. Sonuç olarak, sadece dış ortam sıcaklığı göz önünde bulundurulduğunda ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin sırasıyla 838 °C.gün ve 315 °C.gün olarak elde edildiği, güneş ışınımının da dikkate alınması durumunda bu değerlerin 753 °C.gün ve 410 °C.gün olarak elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, güneş ışınımının etkisiyle optimum yalıtım kalınlıklarının EPS ve XPS yalıtım malzemeleri için sırasıyla 8.0 ve 4.8 cm olarak elde edildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Dış ortam sıcaklığı, Güneş ışınımı, Isıtma ve Soğutma Derece-gün değerleri, Optimum yalıtım kalınlığı.

Determination of Optimum Insulation Thickness for Adana City by Considering Outdoor Temperature and Solar Radiation Intensity

Abstract: In this study, optimum insulation thickness of the building external walls for Adana city which is one of the hottest cities of Turkey is determined based on heating and cooling loads. Firstly, heating and cooling degree-day values are calculated by taking into consideration the outdoor temperatures and solar radiation intensity of Adana city. Then, the optimum insulation thicknesses are determined according to a cost analysis that included the energy consumption cost over the 10 years of the building for two different insulation materials. As result, it is seen that the heating and cooling degree day values are obtained as 753°C.day and 410 °C.day by considering both outdoor temperature and solar radiation while they are obtained as 838 °C.day and 315 °C.day by considering only outdoor temperature. Furthermore, it is seen that optimum insulation thicknesses with the effect of solar radiation are obtained to be 8.0 and 4.8 cm for EPS and XPS insulation materials, respectively.

Key words: Outdoor temperature, Solar radiation, Heating and cooling Degree-Day values, Optimum insulation thickness.

1. Giriş

Ülkemizdeki enerji üretimi, tüketilen enerjinin büyük bir çoğunluğunu karşılayamadığından çoğunlukla ithal edilmektedir. Nüfus artışı, kentleşme, büyük şehre göç ve yaşam standartlarının gelişmesi ile enerji tüketimi hızla artmaktadır [1]. Enerji tüketimi; sanayi, bina, ulaştırma ve tarım gibi dört ana sektör arasında dağılım göstermektedir. Sanayi sektöründen sonra en geniş enerji tüketimine sahip olan sektör bina sektörüdür. Ülkemizde konut ve yapı sektörünün, toplam enerjinin yaklaşık yüzde 30-35' ini tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır. Bu yüzden, kış aylarında ısı kayıplarını yaz aylarında da ısı kazançlarını azaltmak için en etkin yol bina dış kabuk elemanlarının yalıtılmasıdır [2].

Bina dış duvarlarına uygulanan yalıtım kalınlığı seçilirken, ısı geçiş yüklerindeki azalmanın yanı sıra yalıtımın maliyeti de dikkate alınmalıdır. Bu durumda yalıtım kalınlığının optimum değeri maliyet analizi yapılarak belirlenmelidir. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Yıldız vd., yapılarda ısı yalıtım kalınlığının ekonomik ve çevresel analizini derece-gün metodunu kullanarak yapmışlardır [3]. Kaynaklı, Bursa'daki binaların dış duvarları için 1992' den 2005' e kadar dış hava sıcaklık değerleri dikkate alınarak ısıtma mevsimi için derece-saat değerleri hesaplanmış ve optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir [4]. Özel ve Şengür, üç farklı yalıtım malzemesi ve üç farklı yakıt türü için Antalya ve Kars illerinin optimum yalıtım kalınlıklarını, enerji tasarruflarını ve geri ödeme sürelerini sadece ısıtma, sadece soğutma ve hem ısıtma hem de soğutma derece-gün sayıları göz önüne alınarak ayrı ayrı hesaplamışlardır [5]. Çomaklı ve Yüksel, Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını derece gün sayılarını esas alarak araştırmışlar [6].

* Sorumlu yazar: mozel@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 1 0000-0002-9516-4715

Gölcü vd., Denizli' deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını Derece-Gün sayısını esas alarak hesaplamışlar [7]. Hasan, duvarların optimum kalınlığını bulmak için ömür maliyet analizini ve derece gün fikrini kullanmıştır. Sonuç olarak duvar yapısının tiplerine bağlı olarak geri ödeme periyodunun polistiren yalıtımı için 1 ile 1.7 yılları arasında değiştiğini ve taş yünü yalıtımı için ise 1.3 ile 2.3 yılları arasında değiştiğini göstermiştir [8]. Bolattürk, Isparta bölgesindeki binaların duvar ve çatı döşemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları ve enerji tasarruflarını araştırmıştır. Bunun için yine Derece-Gün sayısı esas alınmıştır [9]. Bolattürk' ün başka bir çalışmasında, Türkiye'nin 4 iklim bölgesinden seçilen 16 şehir için ısıtma derece-gün fikrini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır [10]. Dombaycı vd., iki farklı yalıtım malzemesi ve beş farklı enerji kaynağı için derece-gün değerlerini kullanarak dış duvarların optimum yalıtım kalınlığını bulmuşlardır [11]. Bolattürk, yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine göre derece-saat metodunu kullanarak optimum yalıtım kalınlığı, enerji korunumu ve geri ödeme süresini belirlemiştir [12]. Yu vd., güneş ışınımının etkisini göz önünde bulundurarak ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerine göre optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir [13]. Al-Khawaja, sıcak ülkelerdeki binalara ısı akışını azaltmak için kullanılan bazı yalıtım malzemelerinin optimum kalınlığını araştırmıştır [14]. Daouas, Tunus ikliminde farklı duvar yönlendirmelerine göre optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için bir analitik metod kullanmıştır [15]. Al-Sanea vd., Riyad'ın iklim şartlarını kullanarak kararlı periyodik şartlarda boşluklu duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir [16]. Aynı yazarların bir diğer çalışmasında dinamik ısı transfer modeli kullanılarak bina duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığı üzerine elektrik tarifesinin etkisi araştırılmıştır [17]. Özel ve Pıhtılı, ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak beş farklı il için optimum yalıtım kalınlıklarını belirlemiştir [18]. Kaynaklı vd., güneş ışınımını dikkate alarak Farklı yönlere bakan bina dış duvarları için gerekli yalıtım kalınlıklarının değişimini incelemiştir [19]. Yamankaradeniz ve Kaynaklı, 4. bölge derece gün il grubunda yer alan örnek bir il için yıllık dış hava sıcaklık verilerinden yararlanarak derece-gün sayısını tespit ederek ısıtma sezonunun başlama ve bitiş tarihlerini belirlemiştir. Daha sonra ise optimum yalıtım kalınlıklarını farklı derece-gün sayıları, duvar tipleri ve yalıtım malzemeleri için tespit etmişlerdir [20]. Bolattürk, binaların dış duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığı yıllık ısıtma ve soğutma yüklerine dayandırılarak analiz edilmiştir. Bunun için yıllık ısıtma ve soğutma derece saatleri hesaplanarak, ekonomik model P1-P2 metoduna göre belirlenmiştir [21]. Dağdır ve Bolattürk, İzmir ili için güneş radyasyonlu ve radyasyonsuz ısıtma ve soğutma yüklerini kullanarak optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini belirlemiştir. Hesaplamalarda ısıtma derecesaat sayıları için 18 °C, soğutma derece-saat sayıları için ise 26 °C denge sıcaklığı kullanmışlardır [1]. Özel ve Tunç, Türkiye'nin en soğuk şehirlerinden biri olan Kars ilinin ilk önce ısıtma yükleri derece-gün ve derece-saat olarak ve güneş ışınımı değerleri de dikkate alınarak belirlenmiş daha sonra ise bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlığı belirlenmiştir [22].

Bu çalışmada ise, Türkiye'nin en sıcak şehirlerinden biri olan Adana ili için ısıtma ve soğutma yükleri dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışınımı şiddeti dikkate alınarak belirlenmiş daha sonra ise elde edilen ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri optimum yalıtım kalınlığı hesabı için kullanılmıştır.

2. Adana İli İçin Isıtma ve Soğutma Periyotlarının Tespiti

Bu çalışmada Adana ilinin Isıtma ve soğutma periyotları, dış ortam sıcaklıkları ve güneş ışınımı şiddeti dikkate alınarak aşağıdaki gibi iki yöntemle belirlenmiştir.

Yöntem 1: Bu yöntemde Isıtma ve Soğutma Derece-Gün değerleri sadece dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$IDG = \sum_1^N (T_i - T_o)^+ \quad (1)$$

$$SDG = \sum_1^N (T_o - T_i)^+ \quad (2)$$

Burada T_i denge sıcaklığı, T_o günlük ortalama dış ortam sıcaklığı ve N ısıtma yapılan toplam gün sayısıdır. Parantezin üzerindeki + işareti ise sadece pozitif değerlerin hesaba katılacağını göstermektedir.

Yöntem 2: Bu yöntemde ise Isıtma ve Soğutma Derece-Gün değerleri, dış ortam sıcaklığı ve güneş ışınım şiddeti birlikte göz önüne alınarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$IDG = \sum_1^N (T_i - T_e)^+ \quad (3)$$

$$SDG = \sum_1^N (T_e - T_i)^+ \quad (4)$$

T_e eşdeğer çevre sıcaklığı olarak adlandırılır ve dış ortam sıcaklığı ile güneş ışınımı şiddetini birlikte ifade edebilen ve gün boyunca periyodik bir değişim gösteren bir teorik sıcaklık olup dik duvar yüzeyleri için aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır [23]:

$$T_e(t) = T_o(t) + \frac{\alpha \cdot I(t)}{h_o} \quad (5)$$

Burada T_o dış ortam sıcaklığı ve α dış yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı olup 0.6 alınmıştır. h_o değeri dış ortamın taşınım katsayısı olup 22 W/m²K alınmıştır. I ise güneş ışınım şiddeti olup meteorolojiden temin edilmiştir.

3. Dış Duvarların Isı Kazanç ve Kaybı

Binalardaki ısı kazanç ve kayıpları genel olarak dış duvarlardan, pencerelerden, tavan ve döşemeler ile hava infiltrasyonu sonucu gerçekleşmektedir. Ancak bu çalışmada sadece dış duvarlarda oluşan ısı kazanç ve kayıpları göz önüne alınarak optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Bu durumda soğutma ve ısıtma derece-gün sayılarına bağlı olarak birim yüzeyden gerçekleşen yıllık ısı kazanç ve kaybı aşağıdaki gibidir:

$$q_{A,S} = 86400 \cdot U \cdot SDG \quad (6)$$

$$q_{A,I} = 86400 \cdot U \cdot IDG \quad (7)$$

Burada U duvarın toplam ısı transfer katsayısı olup aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$U = 1 / (R_{wt} + x_y / k_y) \quad (8)$$

$$R_{wt} = R_i + R_w + R_o \quad (9)$$

Burada R_i ve R_o iç ve dış ortamın ısı dirençleri, R_w yalıtımsız duvar tabakalarının ısı direncidir. Duvar dış ve iç yüzeyinde 2 cm lik sıva ($k=0.72$ W/mK), 20 cm kalınlığında tuğla ($k=0.62$ W/mK) ve yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Duvarın iç ve dış yüzeyindeki ısı transfer katsayısı sırasıyla 6 ve 22 W/m²K olarak alınmış ve $R_{wt}=0.5903$ m²K/W olarak elde edilmiştir. Yalıtım malzemesi olarak EPS ve XPS kullanılmıştır.

4. Optimum Yalıtım Kalınlığı İçin Maliyet Analizi

Binaların dış duvarlarına yalıtım uygulanarak ısı kazanç ve kaybı önemli ölçüde azaltılmış olur. Yalıtımın optimum kalınlığı, binanın ömrü üzerinden enerji tüketim maliyeti ve yalıtım maliyetini içine alan toplam maliyetin minimum olduğu değerdir. Bu durumda, ısıtma ve soğutma için yıllık enerji maliyeti aşağıdaki gibidir:

$$C_{A,I} = \frac{q_{A,I} \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} \quad (10)$$

$$C_{A,S} = \frac{q_{A,S} \cdot C_e}{3,6 \times 10^6 \cdot COP} \quad (11)$$

Burada, C_f , C_e , H_u ve η ise sırasıyla yakıt fiyatı (TL/kg), elektriğin fiyatı (TL/kWh), yakıtın alt ısı değeri (J/kg) ve ısıtma sisteminin verimidir. Bu durumda yalıtılmış bir binanın toplam maliyeti aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_t = (C_{A,I} + C_{A,S}) \cdot PWF + C_y \cdot x \quad (12)$$

Burada C_y ve x sırasıyla, yalıtımın fiyatı (TL/m³) ve kalınlığıdır. Optimum yalıtım kalınlığı belirlenirken, N yıllık ömür üzerinden toplam ısıtma maliyeti şimdiki değer faktörü (PWF) ile birlikte değerlendirilmelidir. PWF , faiz oranı (i) ve enflasyon oranı (g)'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}, \quad \begin{cases} i > g & r = \frac{i-g}{1+g} \\ i < g & r = \frac{g-i}{1+i} \end{cases} \quad (13)$$

Toplam maliyeti minimum yapacak yalıtım kalınlığı bize optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buna göre optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyeti veren (9) nolu denklemin yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınarak aşağıdaki gibi elde edilir

$$x_{op} = 293,94 \sqrt{\frac{k_y \cdot PWF}{C_y} \left(\frac{IDG \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} + \frac{SDG \cdot C_e}{3,6 \times 10^6 \cdot COP} \right) - k_y \cdot R_{wt}} \quad (14)$$

Maliyet hesaplamalarında kullanılan parametreler Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan parametreler [24, 25].

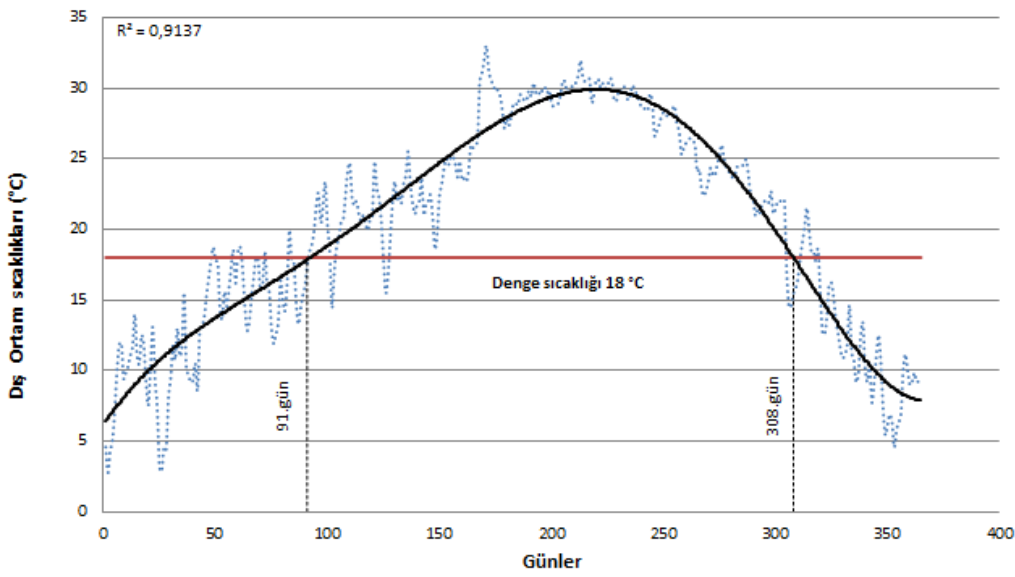
Parametre	Değeri
Isıtma: Doğal Gaz	
Fiyatı	1.174 TL/m ³
H_u	34.525*10 ⁶ J/m ³
η	% 93
Soğutma: Elektrik	
Fiyatı	0.434 TL/kWh
COP	2.5
Yalıtım: XPS	
k	0.029 W/mK
Fiyatı	252 TL/m ³
Yalıtım: EPS	
k	0.036 W/mK
Fiyatı	140 TL/m ³
R_{wt}	0.5903 m ² K/W
Faiz oranı, (i)	% 9.75
Enflasyon oranı, (g)	% 8.53
N	10 yıl

6. Sonuçlar ve Değerlendirme

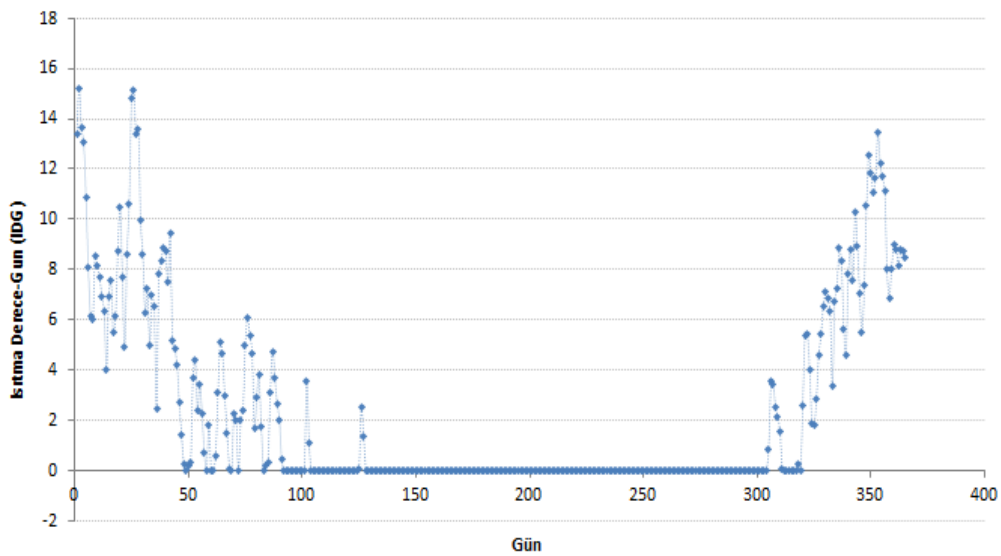
Bu çalışmada, Türkiye'nin en sıcak şehirlerinden biri olan Adana ilinin ısıtma ve soğutma yükleri esas alınarak bina dış duvarlarında kullanılan yalıtımın optimum kalınlığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, ilk önce Adana ilinin ısıtma ve soğutma periyotları, meteorolojiden alınan dış ortam sıcaklığı ve güneşlenme şiddeti verileri dikkate alınarak iki yöntemle belirlenmiştir. Birinci yöntemde sadece dış ortam sıcaklıkları ikinci yöntemde ise güneş ışınımı şiddetinin de dikkate alındığı eşdeğer çevre sıcaklıkları kullanılmak suretiyle ısıtma ve soğutma periyotları belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerine bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıkları iki farklı yalıtım malzemesi için (EPS ve XPS) hesaplanmıştır. Literatürdeki çoğu çalışmada güneş ışınımı şiddeti göz önünde bulundurulmadan sadece dış ortam sıcaklık verilerine göre ve sadece ısıtma derece gün değerleri dikkate alınarak optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Güneş ışınımının dikkate alındığı eşdeğer çevre sıcaklıklarına göre ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin hesaplanması ve buna

göre optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi daha gerçek sonuçlar elde etmemizi sağlar. Bu yüzden bu çalışmada bu durumlar dikkate alınarak gerekli çözümler yapılmıştır.

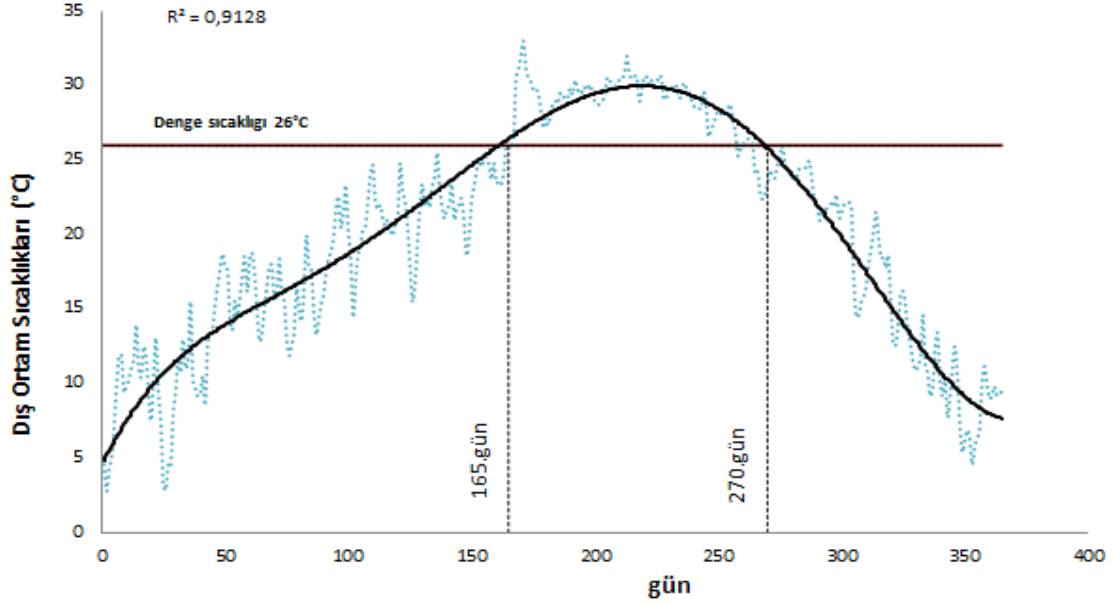
Adana ilinin dış hava sıcaklıklarının yıl boyunca değişimi 18 ve 26 °C denge sıcaklıkları için sırasıyla Şekil 1 ve 3' de görülmektedir. Şekil 2 ve 4 ise Adana ilinin sadece dış ortam sıcaklıklarına göre belirlenen sırasıyla ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin yıl boyunca değişimini göstermektedir. Şekil 1'den görüldüğü gibi 18 °C denge sıcaklığı için ısıtma sezonunun başlangıç ve bitiş noktaları eğrinin kesim noktaları olup, sırasıyla yılın 91. (1 Nisan) ve 308. (4 Kasım) günleridir. Yani Adana ili için ısıtma periyodu 4 Kasım'da başlar ve 1 Nisan tarihinde sona erer. 26 °C denge sıcaklığı için soğutma sezonunun başlangıç ve bitiş noktaları ise yine eğrinin kesim noktaları olup, sırasıyla yılın 165. (14 Haziran) ve 270. (27 Eylül) günlerine karşılık geldiği Şekil 3'de görülmektedir. Bu durumda soğutma periyodu ise 14 Haziranda başlayıp 27 Eylülde sona ermiştir. Isıtma ve soğutmanın yapılmadığı günlerde Isıtma derece gün ve soğutma derece gün değerlerinin sıfır olduğu Şekil 2 ve 4'de görülmektedir. Her gün için bulunan Isıtma ve Soğutma Derece Gün değerleri ayrı ayrı toplandığında $IDG=838$ °C.gün ve $SDG=315$ °C.gün olarak hesaplanmıştır.



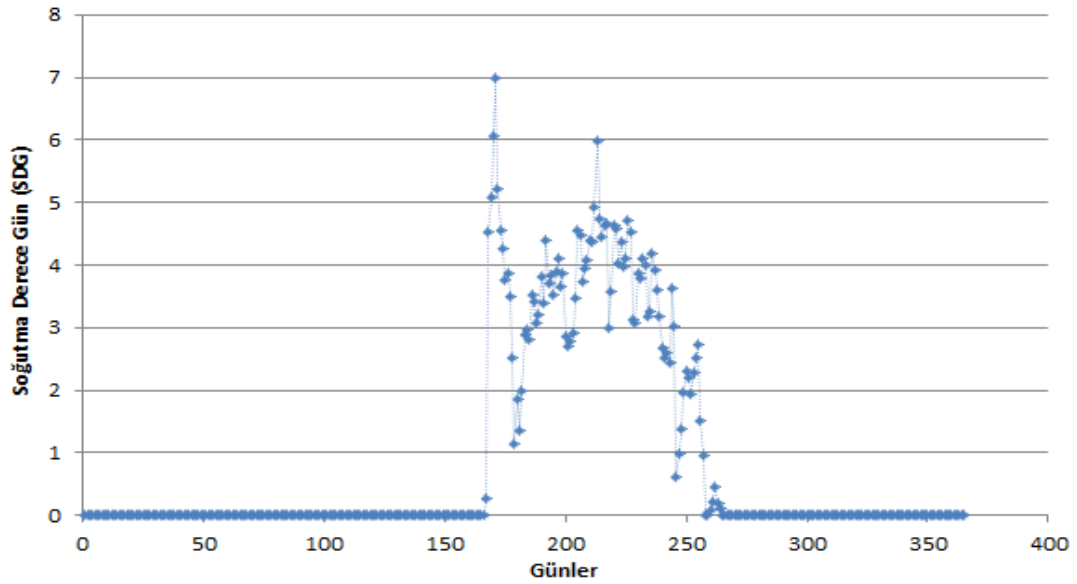
Şekil 1. Adana ili için dış hava sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=18^\circ\text{C}$)



Şekil 2. Dış ortam sıcaklıklarına göre Isıtma Derece-Gün (IDG) değerlerinin değişimi

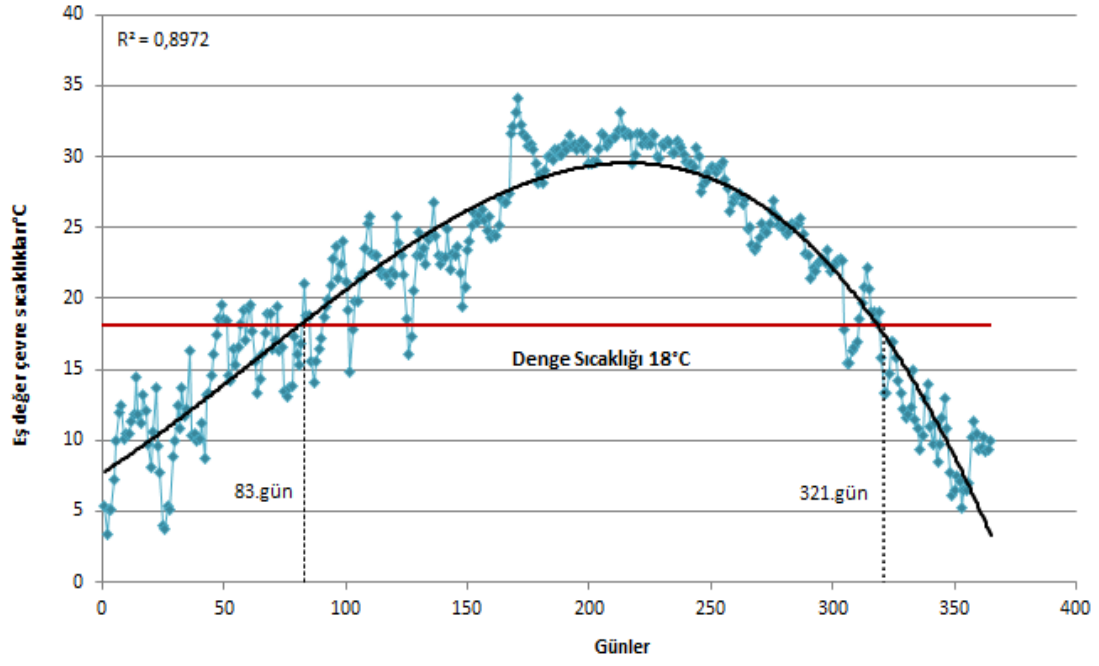


Şekil 3. Adana ili için dış hava sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=26^\circ\text{C}$)

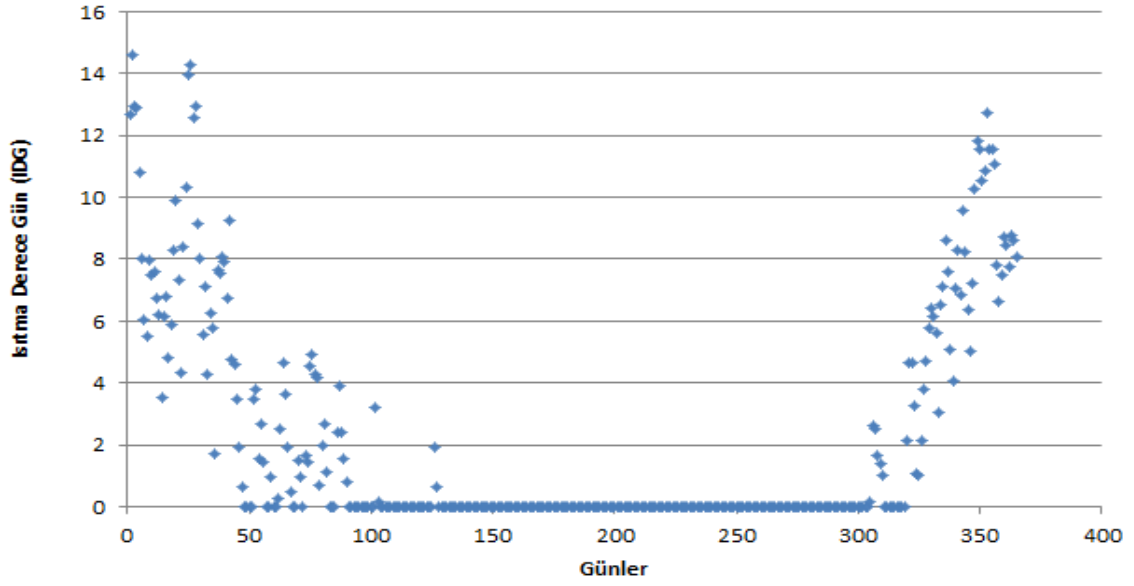


Şekil 4. Dış ortam sıcaklıklarına göre Soğutma Derece-Gün değerlerinin değişimi

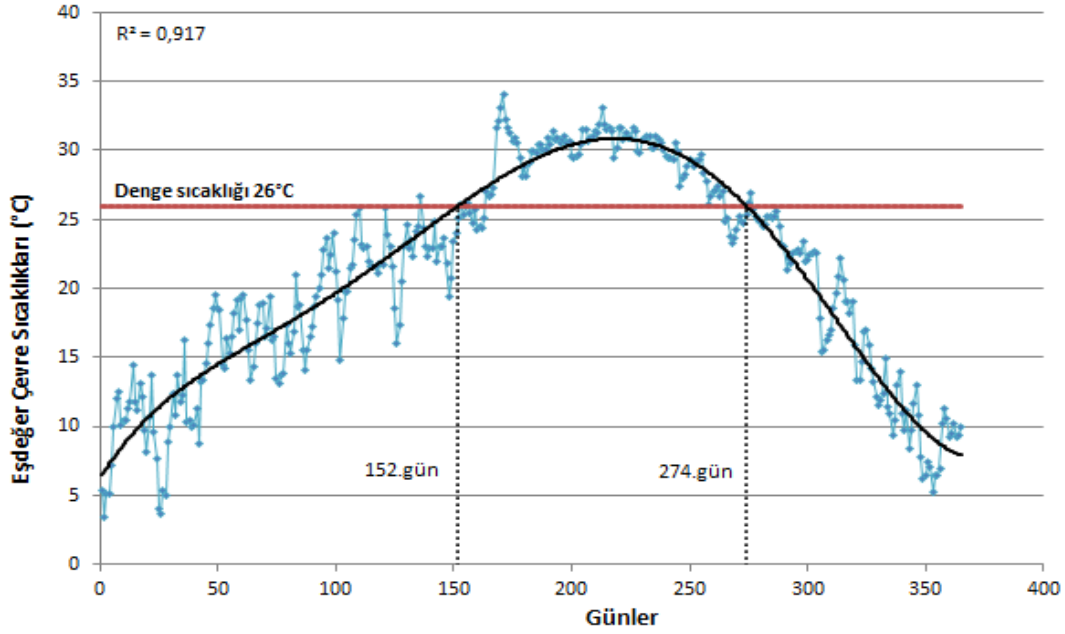
Şekil 5 ve 7 ise güneş ışınımının da dikkate alındığı Adana ili için eşdeğer çevre sıcaklığının yıl boyunca değişimini sırasıyla 18 ve 26 °C denge sıcaklıkları için göstermektedir. Bu şekiller eşdeğer çevre sıcaklığına bağlı olarak ısıtma ve soğutma yapılan günlerin belirlenmesi amacıyla çizilmiştir. Isıtma 17 Kasım'da başlayıp 24 Mart'a kadar yapılırken soğutma 1 Haziranda başlayıp 1 Ekimde sona ermiştir. Isıtmanın ve soğutmanın yapıldığı ısıtma ve soğutma derece-gün değerleri ise Şekil 6 ve 8'de verilmektedir. Güneş ışınımının da etkisiyle IDG=753 °C.gün ve SDG=410 °C.gün olarak belirlenmiştir.



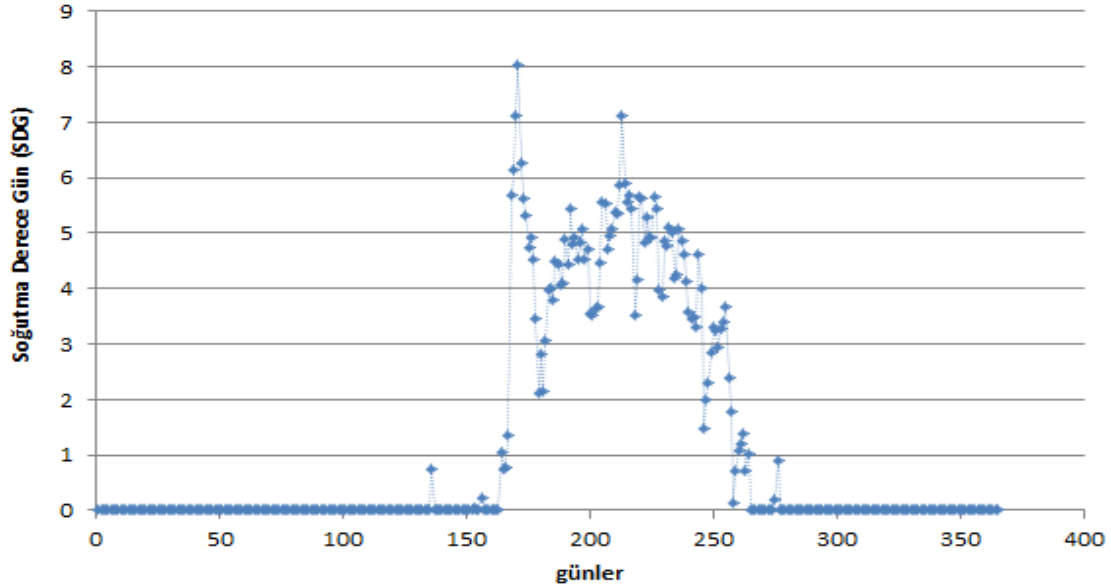
Şekil 5. Adana ili için eşdeğer çevre sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=18^{\circ}\text{C}$)



Şekil 6. Eşdeğer çevre sıcaklıklarına göre Isıtma Derece-Gün (IDG) değerlerinin değişimi



Şekil 7. Adana ili için eşdeğer çevre sıcaklığının yıl boyunca günlük değişimi ($T_i=26^{\circ}\text{C}$)



Şekil 8. Eşdeğer çevre sıcaklıklarına göre Soğutma Derece-Gün (SDG) değerlerinin değişimi

Adana ilinin ısıtma ve soğutma periyotları ile Isıtma ve Soğutma Derece Gün değerleri, sadece dış ortam sıcaklık verileri kullanılarak ve güneş ışınımı değerlerinin de dikkate alındığı eşdeğer çevre sıcaklığına göre Tablo 2 ve 3' de ayrıca gösterilmiştir. Güneş ışınımı dikkate alınmadığında 4 Kasım-1 Nisan arasında ısıtma yapılması gerekirken güneş ışınımı dikkate alındığında 17 Kasım-24 Mart arasında ısıtma yapılması gerektiği görülmektedir. Yine güneş ışınımı dikkate alınmadığında 14 Haziran-27 Eylül arasında soğutma yapılması gerekirken güneş ışınımı dikkate alındığında 1 Haziran-1 Ekim arasında soğutma yapılması gerektiği görülmektedir. Görüldüğü gibi güneş ışınımının dikkate alınmasıyla ısıtma yapılan gün sayısı ve dolayısıyla IDG değeri azalırken soğutma periyodu ve SDG değeri artmıştır. Bu değerler daha sonra optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için maliyet analizi hesaplamalarında kullanılmıştır.

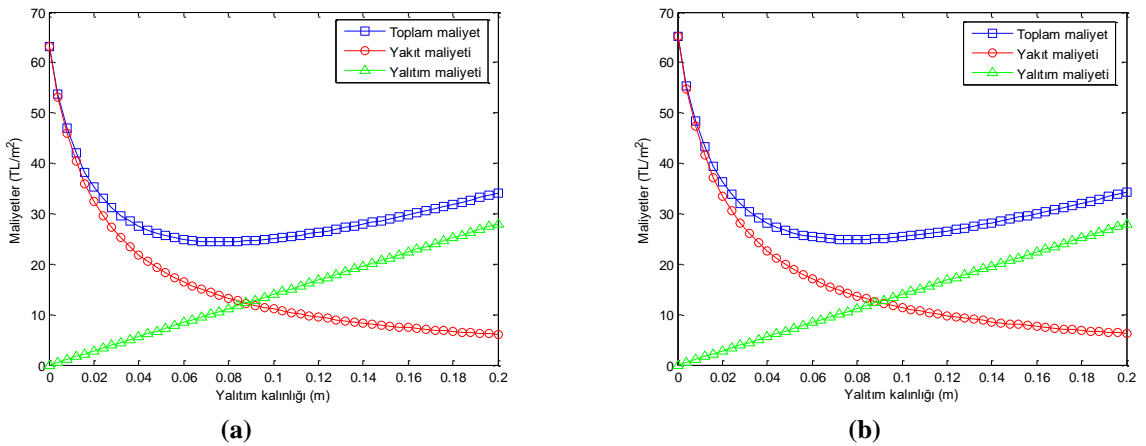
Tablo 2. Dış ortam sıcaklığına ve Eşdeğer çevre sıcaklığına göre ısıtma ve soğutma periyotlarının tespiti

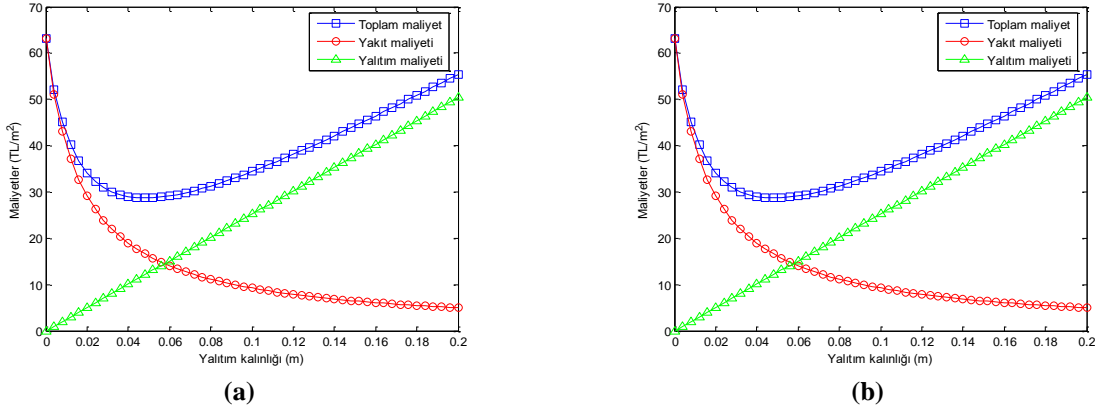
Durum	ISITMA PERİYODU			SOĞUTMA PERİYODU		
	Denge sıcaklığı	Başlangıç Günü	Bitiş Günü	Denge sıcaklığı	Başlangıç Günü	Bitiş Günü
Güneş ışınımı ihmal	18°C	308. gün (4 Kasım)	91. gün (1 Nisan)	26°C	165. gün (14 Haziran)	270. gün (27 Eylül)
Güneş ışınımı varken	18°C	321. gün (17 Kasım)	83. gün (24 Mart)	26°C	152. gün (1 Haziran)	274. gün (1 Ekim)

Tablo 3. Denge sıcaklıklarına göre belirlenen Derece-Gün Sayıları (°C.gün)

Derece Gün Değerleri	Güneş ışınımı ihmal	Güneş ışınımı varken
IDG	838	753
SDG	315	410

Adana ili için elde edilen IDG ve SDG değerleri daha sonra optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi için maliyet analizi hesaplamalarında kullanılmıştır. Şekil 9(a-b) ve 10(a-b) güneş ışınımı yokken ve dikkate alındığında sırasıyla EPS ve XPS yalıtım malzemeleri için yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi artan yalıtım kalınlığı ile yakıt maliyeti azalırken yalıtım maliyeti ise lineer olarak artmaktadır. Toplam maliyet ise belirli bir değere kadar azalmakta ve bu değerden sonra artmaktadır. Dolayısıyla toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Bu durumda EPS ve XPS yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları güneş ışınımı dikkate alınmadan sırasıyla 7.6 ve 4.7 cm olarak elde edilmiştir. Maliyet analizi güneş ışınımının dikkate alındığı durum içinde yapılmış ve güneş ışınımının etkisiyle optimum yalıtım kalınlıklarının EPS ve XPS yalıtım malzemeleri için sırasıyla 8.0 ve 4.8 cm olarak elde edildiği görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Adana ili için yalıtım kalınlığının seçiminde önemli olacaktır.

**Şekil 9.** EPS yalıtım malzemesi için yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimi a) Güneş ışınımı yokken b) Güneş ışınımı dikkate alındığında



Şekil 10. XPS yalıtım malzemesi için yalıtım kalınlığına göre maliyetlerin değişimi a) Güneş ışınımı yokken b) Güneş ışınımı dikkate alındığında

Kaynaklar

- [1] Dağdır C, Bolattürk A. Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması. Tesisat Mühendisliği Dergisi 2011; 17 (124): 64-77.
- [2] Özel M. Dört Farklı İl İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi ve Çevresel Analiz. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2013; 10(1): 1-17
- [3] Yıldız A, Gürlek G, Erkek M, Özbalta N. Economical and Environmental Analyses of Thermal Insulation Thickness in Buildings. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 2008; 28(2): 25-34.
- [4] Kaynaklı O. A Study on Residential Heating Energy Requirement and Optimum Insulation Thickness. Renewable Energy 2008; 33: 1164-1172.
- [5] Özel M, Şengür S. Farklı Yakıt Türü ve Yalıtım Malzemelerine Göre Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi 2013; 6-11.
- [6] Çomaklı K, Yüksel B. Optimum Insulation Thickness of External Walls for Energy Saving. Applied Thermal Engineering 2003; 23: 473-479.
- [7] Gölcü M, Dombaycı ÖA, Abalı S, Denizli için Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi 2006; 21(4): 639-644.
- [8] Hasan A. Optimizing Insulation Thickness for Buildings using Life Cycle Cost. Applied Energy 1999; 63: 115-124.
- [9] Bolattürk A. Binalarda Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Hesabı ve Enerji Tasarrufundaki Rolü. 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 2003; 41-47.
- [10] Bolattürk A. Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Climate Zones in Turkey. Applied Thermal Engineering 2006; 26: 1301-1309.
- [11] Dombaycı ÖA, Gölcü M, Pancar Y. Optimization of insulation thickness for external walls for different energy-sources, Applied Energy 2006; 83: 921-928.
- [12] Bolattürk A. Optimum insulation thicknesses for building walls with respect to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey, Building and Environment 43 (2008) 1055-1064.
- [13] Yu J, Yang C, Tian L, Liao D. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China, Applied Energy 2009; 86: 2520-2529.
- [14] Al-Khawaja MJ. Determination and selecting the optimum thickness of insulation for buildings in hot countries by accounting for solar radiation, Appl Therm Eng 2004;24:2601-10.
- [15] Daouas N. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads, Applied Energy 2011; 88: 156-164.
- [16] Al-Sanea SA, Zedan MF, Al-Ajlan SA. Heat transfer characteristics and optimum insulation thickness for cavity walls, J. Therm. Env. Bldg. Sci. 2003; 26: 285-307.
- [17] Al-Sanea SA, Zedan MF, Al-Ajlan SA. Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model, Applied Energy 2005; 82: 313-330.
- [18] Özel M, Pıhtılı K. Isıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 2008; 26(3): 191-198.

- [19] Kaynaklı O, Özdemir S, Karamangil Mİ. Güneş Işınımı ve Duvar Yönü Dikkate Alınarak Optimum Isıl Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 2012; 27(2): 367-374.
- [20] Yamankaradeniz R, Kaynaklı Ö. Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi 2007; İzmir, 187-195.
- [21] Bolattürk A. Optimum Insulation Thicknesses for Building Walls with Respect to Cooling and Heating Degree-Hours in the Warmest Zone of Turkey. Building and Environment 2008; 43: 1055-1064.
- [22] Özel M, Tunç D. Kars İlindeki Binalar İçin Isıtma Yüğü ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 30 (1): 251-257.
- [23] Threlkeld, JL. Thermal Environmental Engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1998.
- [24] İZOCAM fiyat listesi.
- [25] <http://www.dosider.org>.

GSAP: Güç Sistem Analizi Uygulaması için Matlab Tabanlı Grafik Paketi

Hakan ÇAKAR^{1*}, Muhsin Tunay GENÇOĞLU²

¹ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye
² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye
*¹hcakar@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 19/09/2019;

Kabul/Accepted: 01/12/2019)

Öz: Bu çalışmada, elektrik güç sistemlerinde kısa devre arızaları, iletim hatları hesaplamaları, kesici açma gücü hesabı ve yük akış analizi için kullanılacak, Matlab/Guide tabanlı GSAP (Güç Sistemleri Analiz Programı) isimli bir program geliştirilmiştir. Geliştirilen bu paket program, Matlab programının sunduğu nümerik ve görsel imkânlardan faydalanmaktadır. Matlab yazılımı; kolay erişilebilmesi ve sunduğu paket programların zenginliğinden dolayı güç sistemlerinin dinamik analizlerinde en çok tercih edilen araçlardan biridir. GSAP’da geliştirilen kullanıcı ara yüzleri; kısa devre arızaları, iletim hatları hesaplamaları, kesici açma gücü hesabı ve yük akış analizlerinin kolayca yapılabilmesini sağlamaktadır. GSAP’ın etkinliği, doğruluğu ve başlıca özellikleri bazı örnek güç sistemleri uygulamaları ile test edilmiştir. Geliştirilen simülasyon kullanıcı etkileşimli olup, lisans ve yüksek lisans seviyesindeki güç sistemleri analizi derslerini desteklemek için kullanılabilir. **Anahtar kelimeler:** Elektrik güç sistemleri, modelleme, analiz, eğitim, matlab.

GSAP: A Matlab-based Graphical Package for Implementing Power System Analysis

Abstract: In this study, a program called Matlab / Guide based GSAP (Power Systems Analysis Toolbox) has been developed which can be used for short circuit faults in electrical power systems, transmission line calculations, breaker opening power calculation and load flow analysis. This developed package program utilizes the numerical and visual possibilities offered by the Matlab program. Matlab software; it is one of the most preferred tools in the dynamic analysis of power systems due to its easy accessibility and richness of the package programs it offers. User interfaces developed in GSAP; short circuit faults, transmission line calculations, breaker opening power calculation and power flow analysis can be done easily. The effectiveness, accuracy and main features of GSAP have been tested with some sample power systems applications. The developed simulator is user interactive and can be used to support undergraduate and graduate level power systems analysis courses.

Key words: Electrical power systems, modeling, analysis, education, matlab.

1. Giriş

Güç sistemleri; enerji iletim ve dağıtım hatları, elektrik makineleri ve koruma elemanlarının oluşturduğu oldukça karmaşık sistemlerdir. Bu sistemler, elektrik enerjisinin üretimi, dağıtımı ve kullanımı aşamalarıyla birlikte bir bütün olarak ele alınmaktadır. Enterkonnekte yapıya sahip olan ve her geçen gün büyüyerek daha geniş coğrafi alanlara yayılan güç sistemlerinin planlama, işletme ve kontrol işlemlerinde bilgisayara dayalı çözüm tekniklerine başvurulması kaçınılmazdır [1]. Bu amaçla bilgisayar teknolojisinin kullanılmaya başlandığı ilk dönemlerden itibaren birçok çalışma yapılmıştır [2,3]. Günümüzde; güç sistemleri alanında pratik, teorik ve eğitim amaçlı kullanımlar için bilgisayar destekli programlara yönelik olan ihtiyacın her geçen gün arttığı bilinmektedir [4]. Güç sistemlerinin işletiminin gittikçe karmaşıklaşması, bu sektörde çalışan kişilerin eğitimi için yeni araçlar geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bilgisayar destekli programlama ve tasarımın sağladığı birçok avantaj, geliştirilen güç sistemleri analiz programlarının sayısını arttırmıştır. Bu analiz programları endüstrinin talebine göre gelişim göstermiş ve ticarileşmişlerdir [5,6]. Fakat bir yandan da ticarileşmeye bağlı olarak eğitim odaklı kullanım için karmaşık ve pahalı hale gelmişlerdir. Dolayısıyla özellikle elektrik mühendisliği eğitimi gören öğrencilerin, güç sistemlerine olan ilgilerinin artması için güç sistemi analizi yapan bilgisayar araçlarının eğitimde daha çok kullanılması gerekmektedir [7,8]. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme sayesinde kişisel bilgisayarlarda kullanıma hazır hale getirilen ve grafik ortamının daha etkin kullanılmasına olanak tanıyan programlar, güç sistemlerini birçok yönden analiz edebilecek şekilde tasarlanmıştır [9-11]. Örneğin: Mathcad, Mathematica, Matpower, Neplan, Pscad, Etap, PowerWorld, Uwpflow, Gyte, VST, ATP/EMTP ve PSpice gibi araçlarla, güç sistemlerinin farklı işletme ve çalışma tiplerine göre analizleri yapılabilmektedir. Sonuçların görsel olarak sunulması veya ara işlemlerin gösterilmeden doğrudan sayısal sonuçların kullanıcıya aktarılması, söz konusu programların büyük çoğunluğunda karşılaşılan bir durumdur. Karmaşık yapıdaki güç sistemleri hakkında mühendislere, operatörlere ve teknik elemanlara ön bilgiler verilmesi, elde edilen bu sonuçlar vasıtasıyla mümkün olmaktadır. Güç sistemleri üzerinde gerçekleştirilecek işlemlerin kontrollü ve bilinçli bir şekilde yapılmasına,

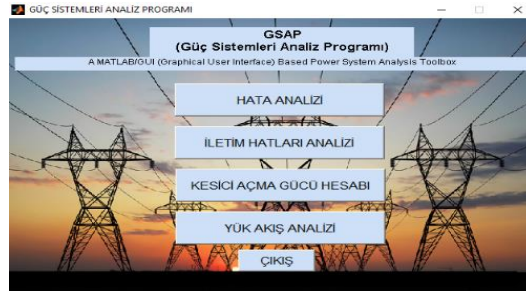
¹ Sorumlu yazar: hcakar@firat.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: 0000-0002-4918-9401, ² 0000 0002 1774 1986

kullanılan paket programlar imkân tanımaktadır [12-14]. Bilgisayar tabanlı eğitim aracı geliştirmekte kullanılan programlardan birisi de Matlab'dır. Matlab, teknik hesaplamalar ve matematiksel problemlerin çözümü ve analizi için tasarlanmış bir yazılımdır. Matlab özellikle üniversitelerin mühendislik bölümlerinin birçok lisans ve yüksek lisans dersinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok çeşitli yüksek seviyeli matematiksel fonksiyonları, etkileyici ve kolay çizim özellikleri; bu programın göze çarpan özellikleri arasındadır. Bazı ticari olmayan güç sistemi yazılım paketleri; Matlab dili kullanılarak tasarlanabilmektedir [15,16]. Matlab ayrıca Guide (Graphical User Interface Development Environment) adı verilen araç kutusu ile bilgilerin görselleştirilmesine imkân sağlayan, kullanımı kolay grafik kullanıcı ara yüzleri (Gui) hazırlanmasına imkân tanımaktadır. GUI ara yüzüne; tıkla ve sürükle-bırak tekniği ile nesnelere (örneğin butonlar, text kutuları, liste kutuları, grafikler vs.) kolaylıkla eklenebilir. Ayrıca, eklenen nesnelere hizalanması, tab sırasının değiştirilmesi, görsel ayarlar üzerinde manipülasyonlar yapılması da bu ortamın tasarımcılara sunduğu imkânlardan bazılarıdır [17-20].

Bu çalışmada, elektrik güç sistemleri analizi ve tasarımlarında kullanılması için Matlab yazılımını kullanarak çalışan ve grafiksel kullanıcı ara yüzüne (GUI) sahip, GSAP adında yeni bir eğitsel yazılım paketi geliştirilmiştir. Güç sistemleri alanında kod yazmayı öğrenmek isteyen birisi bu programın iç yapısını görebilmektedir, yani program açık kaynak kodludur. Araştırmacılar ve eğitimciler, çalışması kolay ve kod yapısı basit tutulan bu benzetim aracı sayesinde güç sistemleri analizi konusunda verimli ve etkili uygulamalar oluşturabilmektedir. GSAP; hata analizi, iletim hatları analizi, kesici açma gücü hesabı ve yük akışı analizi konularını içeren bir paket programdır.

2. GSAP Paket Programı

GSAP; eğitim alanında kullanılabilir, matematiksel temele dayalı, elektrik güç sistemleri analiz ve çalışmaları için sağlanmış bir ortamdır. Program; Windows 10 işletim sistemi altında Matlab kullanılarak yazılmıştır. GSAP'ın performansı; Matlab programının sınırlamalarına ve kapasitesine bağlıdır. Bilindiği gibi Matlab; Macintosh, IBM vb. birçok platformu desteklemektedir, dolayısıyla geliştirilen bu yazılım herhangi bir değişiklik yapılmadan söz konusu platformlarda da çalıştırılabilmektedir. GSAP paket programını çalıştırmadan önce, mevcut dosya konumu uygun bir şekilde ayarlanmalıdır ve ana program menüsünün açılması için Matlab komut satırına "*gsap*" yazılmalıdır (Şekil 1).



Şekil 1. GSAP ana programının kullanıcı ara yüzü

3. GSAP Uygulamaları

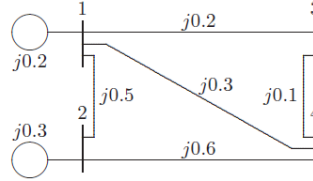
Bu bölümde, GSAP programının etkinliğini ve geçerliliğini göstermek için, her bir modül için ayrı ayrı örnek uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

3.1. Hata analizi için örnek uygulama

Şekil 2' de tek hat diyagramı verilen güç sistemi için per unit olarak bara empedans matrisi (Denklem 1) aşağıdaki gibidir.

$$Z_{bus} = j \begin{bmatrix} 0.150 & 0.075 & 0.140 & 0.135 \\ 0.075 & 0.1875 & 0.090 & 0.0975 \\ 0.140 & 0.090 & 0.2533 & 0.210 \\ 0.135 & 0.0975 & 0.210 & 0.2475 \end{bmatrix} \quad (1)$$

4 nolu barada üç fazlı kısa devre oluşmuş ve hata empedansı $Z_f = j0.0025$ (p.u.) 'dir. Bara empedans matrisi kullanılarak hata akımı, bara gerilimleri ve hata boyunca hat akımları, hata analizi programı çalıştırılarak bulunmuştur.



Şekil 2. Örnek güç sisteminin tek hat diyagramı

Yapılan hesaplamalar neticesinde verilen güç sistemi ağı için hat verisi aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

$$Z_{data} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0.2 \\ 0 & 2 & 0 & 0.3 \\ 1 & 2 & 0 & 0.5 \\ 1 & 3 & 0 & 0.2 \\ 1 & 4 & 0 & 0.3 \\ 2 & 4 & 0 & 0.6 \\ 3 & 4 & 0 & 0.1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Öncelikle Denklem 2'deki matrisin elemanları yani hat verisi programa girilmelidir. Matriste 7 satır olduğu için, programda bulunan "Hücre Ekle" düğmesine tıklayarak, 7 tane hücre oluşturulur. İstenirse "Hücre Sil" düğmesine tıklayarak, yanlış eklenen hücreler silinebilmektedir. "Veri Sil" düğmesi, o bölümdeki tüm hücreleri silmektedir. Empedans sütununa değerler girilirken, imajiner olarak girilmelidir. Örneğin 1. satırdaki empedans değeri 0.2i olarak girilmelidir. Empedans matrisinin elemanları sırasıyla girildikten sonra "Z-Y Dönüştür" düğmesi ile admitans matrisine dönüşüm sağlanmaktadır (Şekil 3). Bir sonraki aşamada programın sağ üst tarafında bulunan hatalı bara, hata empedansı, Baz MVA ve kVA oranı değerleri girilmeli, ardından hata tipi belirtilmelidir. Örnekte üç fazlı hata oluştuğu için programda hata tipi üç faz olarak seçilmiştir (Şekil 4).

	Baradan	Baraya	Empedans	Admitans
1	0	1	0.0000 + 0.2000i	0.0000 - 5.0000i
2	0	2	0.0000 + 0.3000i	0.0000 - 3.3333i
3	1	2	0.0000 + 0.5000i	0.0000 - 2.0000i
4	1	3	0.0000 + 0.2000i	0.0000 - 5.0000i
5	1	4	0.0000 + 0.3000i	0.0000 - 3.3333i
6	2	4	0.0000 + 0.6000i	0.0000 - 1.6667i
7	3	4	0.0000 + 0.1000i	0.0000 - 10.0000i

Hücre Ekle Z-Y Dönüştür Hücre Sil Veri Sil

Şekil 3. Bara empedans matrisinin programa girilmesi ve admitans dönüşümü

Hatalı Bara #	4	Hata Tipi:	
Hata Empedansı	0.0025i	Hata Tipi:	
BAZ MVA	100	Üç Faz	
KVA Oranı	13.8	Tek Faz-Toprak	
		Faz-Faz	
		İki Faz-Toprak	

Şekil 4. Hatalı bara, hata empedansı, baz MVA, KVA oranı ve hata tipinin seçilmesi

Örnekte üç faz hata söz konusu olduğu için sadece "Pozitif Bileşen" düğmesine basılarak, pozitif bileşen dizisinin empedans ve admittans değerleri görüntülenmiştir (Şekil 5).

Pozitif Bileşen		Sıl		
	1	2	3	4
1	0.0000 - 15.3333i	0.0000 + 2.0000i	0.0000 + 5.0000i	0.0000 + 3.3333i
2	0.0000 + 2.0000i	0.0000 - 7.0000i	0	0.0000 + 1.6667i
3	0.0000 + 5.0000i	0	0.0000 - 15.0000i	0.0000 + 10.0000i
4	0.0000 + 3.3333i	0.0000 + 1.6667i	0.0000 + 10.0000i	0.0000 - 15.0000i

Y(1)

	1	2	3	4
1	0.0000 + 0.1500i	0.0000 + 0.0750i	0.0000 + 0.1400i	0.0000 + 0.1350i
2	0.0000 + 0.0750i	0.0000 + 0.1875i	0.0000 + 0.0900i	0.0000 + 0.0975i
3	0.0000 + 0.1400i	0.0000 + 0.0900i	0.0000 + 0.2533i	0.0000 + 0.2100i
4	0.0000 + 0.1350i	0.0000 + 0.0975i	0.0000 + 0.2100i	0.0000 + 0.2475i

Z(1)

Şekil 5. Pozitif dizi bileşenin elde edilmesi

“HESAPLA” düğmesine basıldıktan sonra bara gerilimlerinin büyüklük ve açı değerleri Şekil 6’da; baradan baraya hat akımlarının büyüklük ve açıları ile hata akımlarının p.u. ve A cinsinden değerleri Şekil 7’de verilmiştir.

BARA GERİLİMLERİ			
	Bara #	V (Büyükük)	V (Açı)
1	1	0.4600	0.0000
2	2	0.6100	0.0000
3	3	0.1600	0.0000
4	4	0.0100	0.0000

Şekil 6. (4) nolu baradaki hata durumu için bara gerilimlerinin elde edilmesi

HATA AKIMLARI				
	Baradan	Baraya	I (Büyükük)	I (Açı)
1	G	1	2.7000	-90.0000
2	G	2	1.3000	-90.0000
3	2	1	0.3000	-90.0000
4	1	3	1.5000	-90.0000
5	1	4	1.5000	-90.0000
6	2	4	1.0000	-90.0000
7	3	4	1.5000	-90.0000
8	4	F	4.0000	-90.0000

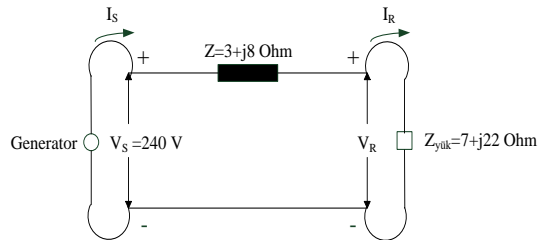
Hata Akımı (p.u.)
4

Toplam Hata Akımı (A)
16734.8

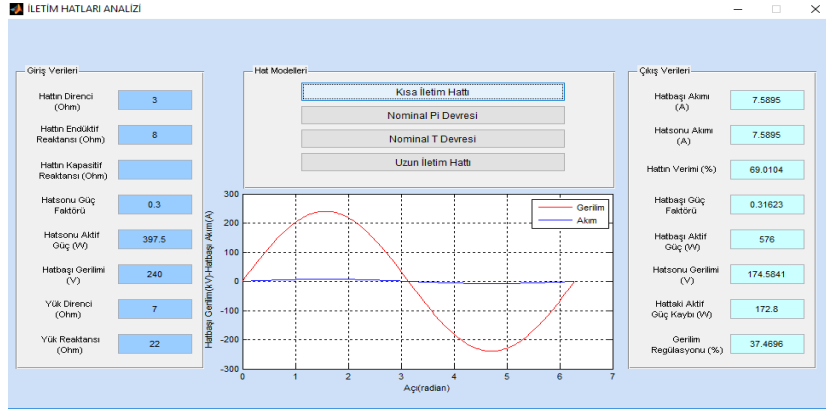
Şekil 7. (4) nolu baradaki hata durumu için hat akımlarının ve hata akımı değerinin elde edilmesi

3.2. İletim hatları analizi için örnek uygulama

Şekil 8’deki devrede; hat sonu akımı, hat başı akımı, hattın verimi, hat sonu gerilimi, hat başı güç faktörü, hat başı aktif gücü, hattaki aktif güç kaybı ve gerilim regülasyonu iletim hatları analiz modülü kullanılarak hesaplanmıştır. Giriş verileri bölümüne değerler girilip, “Kısa İletim Hattı” düğmesine basıldıktan sonra elde edilen grafik ve çıkış verileri Şekil 9’da verilmiştir.

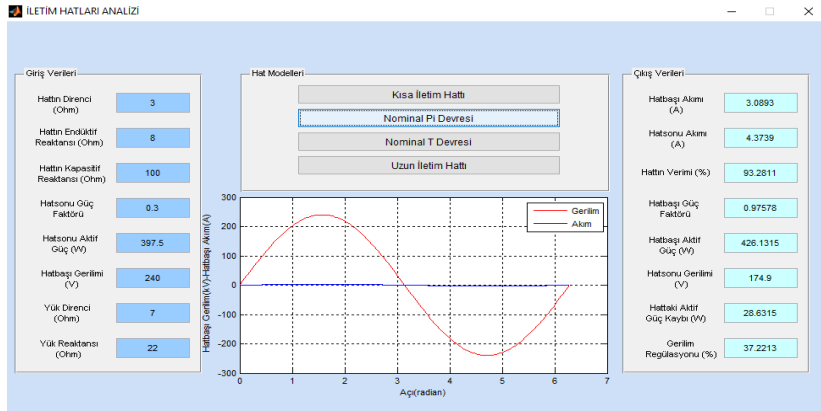


Şekil 8. İletim hatları analizi için örnek hat modeli

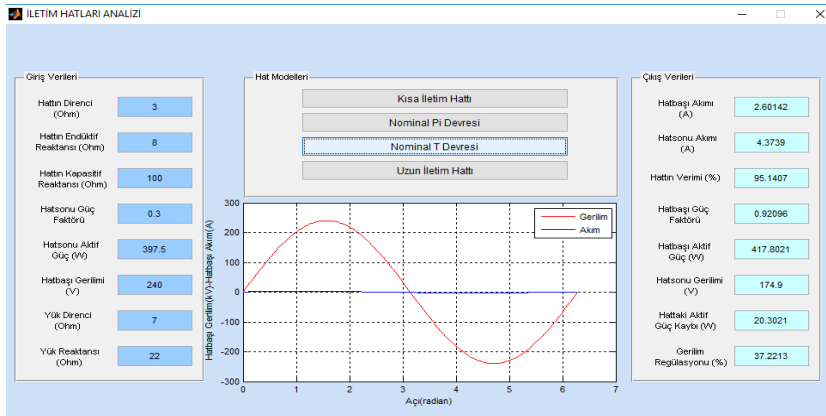


Şekil 9. Kısa iletim hattı için elde edilen grafik ve çıkış verileri

Giriş verileri bölümüne değerler girilip, “Nominal Π Devresi” düğmesine basıldıktan sonra elde edilen grafik ve çıkış verileri Şekil 10’da; “Nominal T Devresi” düğmesine basıldıktan sonra elde edilen grafik ve çıkış verileri ise Şekil 11’de verilmiştir. Nominal Π , nominal T ve uzun iletim hatları için hattın kapasitif reaktans değeri keyfi olarak 100 ohm seçilmiştir.

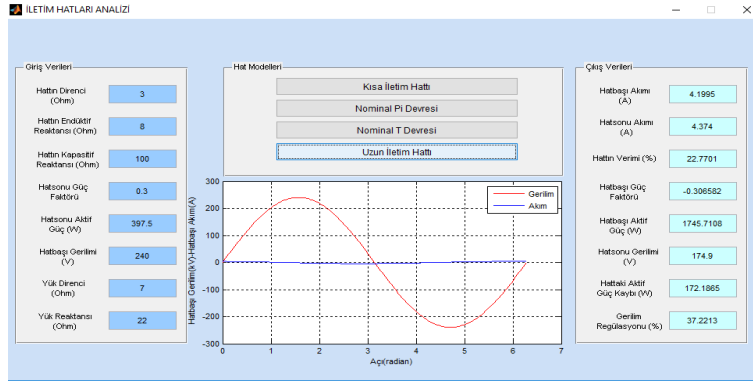


Şekil 10. Nominal pi devresi için elde edilen grafik ve çıkış verileri



Şekil 11. Nominal T devresi için elde edilen grafik ve çıkış verileri

Giriş verileri bölümüne değerler girilip, “Uzun İletim Hattı” düğmesine basıldıktan sonra elde edilen grafik ve çıkış verileri Şekil 12’de verilmiştir.

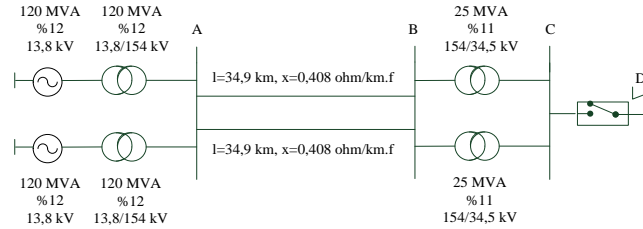


Şekil 12. Uzun iletim hattı için elde edilen grafik ve çıkış verileri

Nominal T ve Nominal Π devresi tamamen gerçek hattı göstermemektedir. Hat uzunluğunun şüpheli durumlarında hesaplarda tam doğruluk elde etmek için, gerçek hattı gösteren eşdeğer T ve eşdeğer Π devrelerinin kullanılması en iyi yoldur. Nominal Π ve nominal T devrelerinden elde edilen sonuçlar her ne kadar birbirine çok yakın görünse de tamamen aynı olmaları mümkün değildir.

3.3. Kesici açma gücü hesabı için örnek uygulama

Şekil 13'deki sistemde D noktasındaki üç fazlı kısa devrede, kısa devre akımlarının ve güçlerinin bulunması istenmektedir.



Şekil 13. Kesici açma gücü hesabı için örnek bir güç sistemi

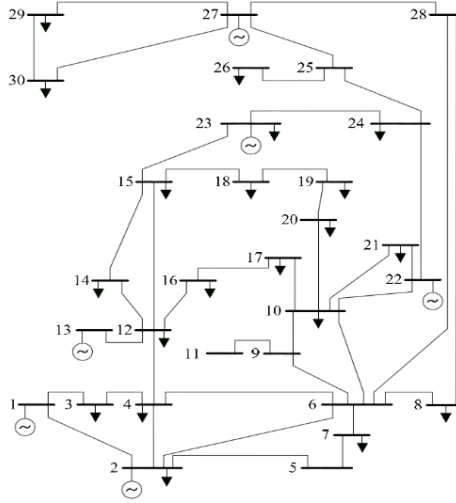
Şekil 13'de verilen örnek güç sistemindeki değerler uygun bir şekilde kesici açma gücü hesabı modülünde girilip, hesapla düğmesine basıldığında, program hassas ve doğru bir şekilde gerekli hesaplamaları yaparak, çıkış verileri olarak istenen sonuçları kullanıcının karşısına çıkarmaktadır. Başlangıç kısa devre alternatif akımının, kısa devreyi besleyen generatörlerin toplam gücüne karşılık olan ve kısa devre yerindeki anma gerilimine göre hesaplanan anma akımına oranı 2 değerinden küçük olduğu için, "generatöre uzak bir kısa devre" şeklinde bir uyarı mesajı alınmıştır (Şekil 14'de gösterildiği gibi).



Şekil 14. Kesici açma gücü hesabı modülünün elde ettiği çıkış verileri

3.4. Yük akışı analizi için örnek uygulama

Aşağıda tek hat şeması verilen 30 baralı test sistemi için sırasıyla Newton-Raphson, Gauss Seidel ve Fast Decoupled yöntemleri yük akış analiz programında uygulanarak yük akış çözümleri elde edilmiştir.



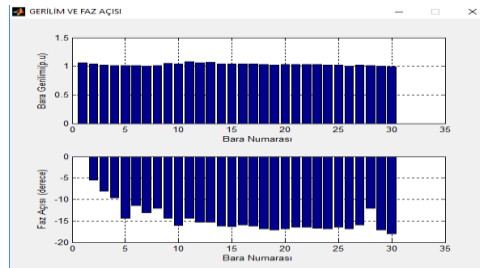
Şekil 15. IEEE 30 baralı test sisteminin tek hat şeması

3.4.1. Newton-Raphson yöntemi

Giriş bilgileri bölümünde; Baz Güç = 100 MVA; Tolerans Değeri = 0.001; Hızlandırma Faktörü = 1.8; Maksimum İterasyon Sayısı = 100 olarak girilmiştir (Şekil 16). Bara numaralarına karşılık, gerilim (p.u) ve faz açısı (derece) değerlerini gösteren grafik Şekil 17' de verilmiştir.

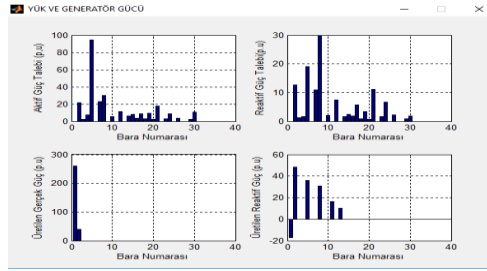


Şekil 16. Yük akış analizi programında Newton-Raphson yönteminin çalıştırılması



Şekil 17. Newton-Raphson yöntemi için bara gerilim ve faz açısının grafiksel çizimi

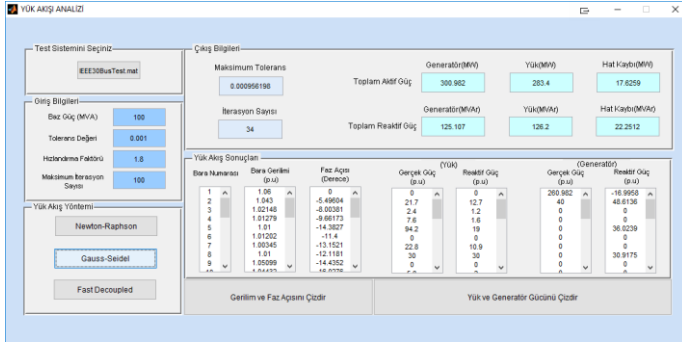
Bara numaralarına karşılık, yükün talep ettiği aktif ve reaktif güç değerlerini (p.u) ve generatör tarafından üretilen aktif ve reaktif güç (p.u) değerlerini gösteren grafik Şekil 18’ de verilmiştir.



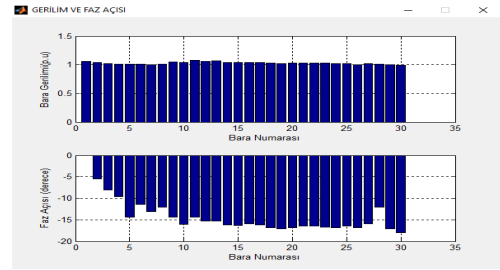
Şekil 18. Newton-Raphson yöntemi için yük ve generatör güçlerinin grafiksel çizimi

3.4.2. Gauss-Seidel yöntemi

Yük akış analizi programında Gauss-Seidel yönteminin çalıştırılması aşağıda verilmiştir (Şekil 19). Bara numaralarına göre, gerilim (p.u) ve faz açısı (derece) değerleri Şekil 20’ de gösterilmiştir.

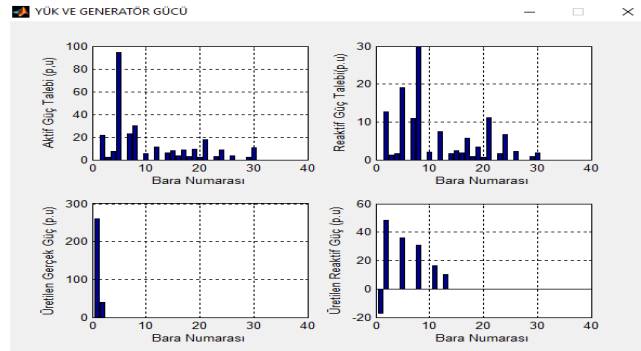


Şekil 19. Yük akış analizi programında Gauss-Seidel yönteminin çalıştırılması



Şekil 20. Gauss-Seidel yöntemi için bara gerilim ve faz açısının grafiksel çizimi

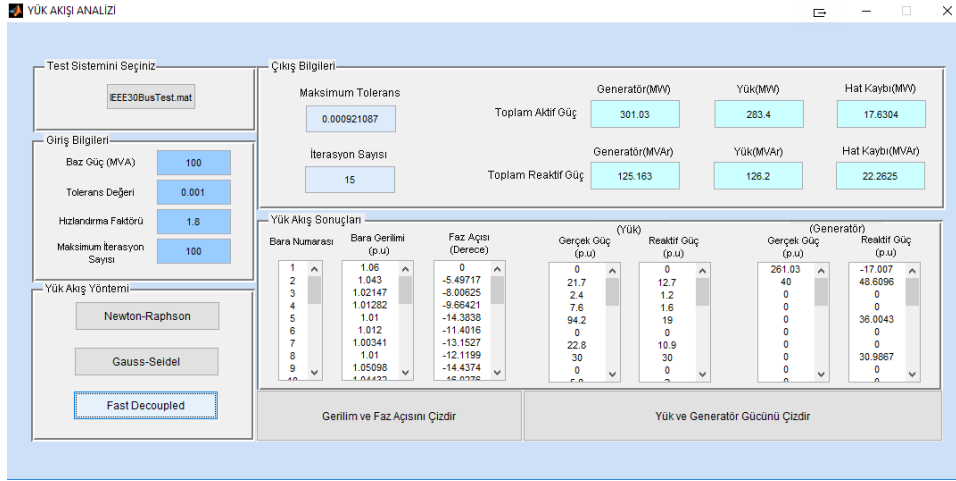
Bara numaralarına göre, yükün talep ettiği aktif ve reaktif güç değerleri (p.u) ve generatör tarafından üretilen aktif ve reaktif güç (p.u) değerleri Şekil 21’ de verilmiştir.



Şekil 21. Gauss-Seidel yöntemi için yük ve generatör güçlerinin grafiksel çizimi

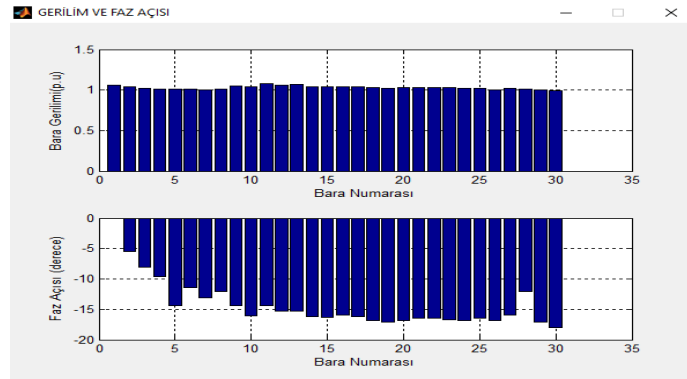
3.4.3. Fast-Decoupled yöntemi

Yük akış analizi programında Fast-Decoupled yönteminin çalıştırılması aşağıda verilmiştir (Şekil 22).



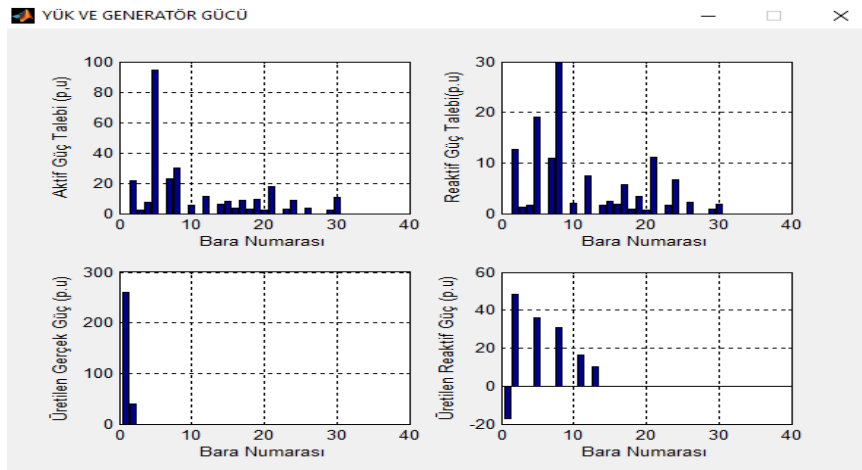
Şekil 22. Yük akış analizi programında Fast-Decoupled yönteminin çalıştırılması

Bara numaralarına karşılık, gerilim (p.u) ve faz açısı (derece) değerleri Şekil 23' de verilmiştir.



Şekil 23. Fast-Decoupled yöntemi için bara gerilim ve faz açısının grafiksel çizimi

Bara numaralarına göre, yükün talep ettiği aktif ve reaktif güç değerleri (p.u) ve generatör tarafından üretilen aktif ve reaktif güç (p.u) değerleri Şekil 24' de verilmiştir.



Şekil 24. Fast-Decoupled yöntemi için yük ve generator güçlerinin grafiksel çizimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada; Matlab'da geliştirilen bir yazılım paketi güç sistem analizi ve eğitimi için sunulmuştur. Geliştirilen program, dört uygulama modülü içermektedir. İstenilen analizlerin GUI alt programlarındaki menüler yardımıyla kolaylıkla yapılabilmesi için, sadece üzerinde çalışılacak sistemin verilerinin girilmesi yeterlidir. GSAP programındaki alt programların çalışma performansları, etkinlik ve geçerlilikleri bazı örnek güç sistem uygulamaları ele alınarak incelenmiş ve bu programın öğretici bir araştırma aracı olduğu analiz sonuçlarından görülmüştür. Matlab grafik kullanıcı arabirimi sayesinde güç sistem eleman parametrelerinin gereksiz ve hatalı girilmesi önlenmiştir. Program, kullanılabilirlik açısından en basit hale indirgenmeye çalışılmış ve kodlama aşamasında mümkün olduğunca sade bir kod yapısı tercih edilerek, ilerisi için geliştirmeye açık bırakılmıştır. Güç sistemlerinde kod yazmayı merak eden birisi programın içyapısını rahatlıkla görebilmektedir. Çünkü GSAP paket yazılımı açık kaynak kodludur. Üniversitelerde lisans ve yüksek lisans düzeyindeki güç sistem derslerini gören öğrenciler GSAP ile ödev hazırlayabilir veya isterlerse Matlab araç kutularını kullanarak yeni alt programlar yazabilirler. Sonraki çalışmalarda kullanıcıların grafik kullanıcı arabirimden beklentileri doğrultusunda programa daha fazla modül eklenerek işlevselliği artırılabilir ve internet temelli uzaktan güç sistem eğitiminde yer alması sağlanabilir.

Kaynaklar

- [1] Overbye Thomas J, et al. A user-friendly simulation program for teaching power system operations. IEEE Transactions on Power Systems 1995;10(4) : 1725-1733.
- [2] Ortmeyer Thomas H. Applications of microcomputers in power system protection education. IEEE transactions on power systems 1998; 3(4): 1847-1850.
- [3] Tamura Y, et al. Development of power system simulator for research and education. IEEE Transactions on Power Systems 1990; 5(2): 492-498.
- [4] Berry Frederick C, Philip S. DiPiazza, Susan L. Sauer. The future of electrical and computer engineering education. IEEE Transactions on Education 2003;46(4): 467-476.
- [5] Chu K K, H W Ngan. A Novel Approach for Implementing Power System Analysis and Simulation Tools. International journal of engineering education 2001; 17(3): 312-320.
- [6] Neyer Andreas, Felix F Wu, Karl Imhof. Object-oriented programming for flexible software: Example of a load flow. IEEE Transactions on Power Systems 1990; 5(3): 689-696.
- [7] Abur Ali, Fernando Magnago, Yunqiang Lu. Educational toolbox for power system analysis. IEEE Computer Applications in Power 2000;13(4): 31-35.
- [8] Ngundam J M, ER Ngalemo Ngalemo, F Kenfack. Virtual lab for power system simulation. I. Interactive design of power networks and load flow analysis. Power engineering journal 2001; 15(4): 211-215.
- [9] Levi Viktor A, Dusko P. Nedic. Application of the optimal power flow model in power system education. IEEE Transactions on power systems 2001; 16(4): 572-580.
- [10] Islam S, Nurul Chowdhury. A case-based windows graphic package for the education and training of power system restoration. IEEE Transactions on Power Systems 2001; 16(2): 181-187.
- [11] Shin Joong-Rin, Wook-Hwa Lee, Dong-Hae I. A windows-based interactive and graphic package for the education and training of power system analysis and operation. IEEE Transactions on Power Systems 1999; 14(4): 1193-1199.
- [12] Allen Eric, et al. Interactive object-oriented simulation of interconnected power systems using SIMULINK. IEEE Transactions on Education 2001; 44(1): 87-94.
- [13] Gözel T, Hocaoglu M H. Güç Sistem Analizi İçin Grafik Kullanıcı Arabirimi, Eleco'2004 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu; 2004. Bursa, s:301-305.
- [14] Ayasun Saffet, et al. Symbolic analysis and simulation for power system dynamic performance assessment. Power Engineering Society General Meeting; 2005.
- [15] Ekinci S, Demiroren A, Zeynelgil H L. PowSysGUI: A new educational software package for power system stability studies using MATLAB/Simulink. International Journal of Electrical Engineering Education 2017;54(4): 283-298.
- [16] Cole Stijn, Ronnie Belmans M. A new matlab-based toolbox for power system dynamic simulation. IEEE Transactions on Power systems 2011; 26(3): 1129-1136.
- [17] Yu David C, et al. A graphical user interface for design, simulation and analysis of power plant electrical auxiliary systems. IEEE transactions on energy conversion 1994; 9(2): 263-269.
- [18] Foley Mike, et al. An object based graphical user interface for power systems. IEEE Transactions on Power Systems 1993; 8(1): 97-104.
- [19] Yu David C, Dennis G. Flinn, Robert A Krieger. Facilitating engineering analysis via a graphical database. IEEE transactions on power systems 1995; 10(1): 370-375.
- [20] Yu D C, et al. A windows based graphical package for symmetrical components analysis. IEEE Transactions on Power Systems 1995; 10(4): 1742-1749.

Dersliklerin Sesin Nesnel Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi: KTÜ Örneği

Mustafa KAVRAZ^{1*}, Öznur KABİL²

¹Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

²Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
mkavraz@ktu.edu.tr

(Geliş/Received: 26/04/2019);

Kabul/Accepted: 28/10/2019)

Öz: Mekânların ergonomik tasarımlarında sıcaklık, nem, ışık, ses gibi fiziksel göstergelerin optimum koşullarda sağlanması gerekmektedir. Fiziksel göstergeler arasında önemli bir yere sahip olan sesin, gürültü olarak algılanmamasının yanı sıra mekânlarda fonksiyona da bağlı olarak işitsel sınırlar içinde algılanması gerekmektedir. Bu durumun belirlenebilmesi ise mekânlar için yapılacak akustik denetim ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında KTÜ İnşaat Mühendisliği 270 No'lu ve Orman Mühendisliği D-3 No'lu Dersliklerdeki akustik koşullar sesin nesnel parametrelerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler için Odeon Version 10 Software programı kullanılmış olup çalışmada; reverberasyon süresi (RT), erken düşme süresi (EDT), belirginlik (D₅₀), sesin anlaşılabilirlik indeksi (STI) nesnel parametreleri incelenmiştir. Öncelikle mevcut mekânlara ait nesnel parametre değerleri elde edilmiş olup optimum aralık dışında kalan parametrelerin optimum sınırlarda elde edilebilmesi için mekânların yüzeylerinde malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Malzeme değişiklikleri sonrasında akustik açıdan optimum koşullar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: akustik, derslik, sesin nesnel parametreleri, optimum koşul.

Evaluation of Classrooms in terms of Objective Parameters of Sound: KTÜ Case

Abstract: In the ergonomic design of places, physical indicators such as heat, temperature, humidity, light and sound should be provided in optimum conditions. Sound, which has an important place among the physical indicators, should not be perceived as noise but should be perceived in auditory boundaries depending on the function in places. The determination of this situation can be realized by acoustic control for the places. In this study, acoustical conditions in Classroom 270 in Civil Engineering and D-3 Classroom in Forest Engineering in KTU were evaluated according to the objective parameters of sound. Odeon Version 10 Software program were used for evaluations. In the study the objective parameters of sound which are reverberation time (RT), early fall time (EDT), clarity (D₅₀) and the intelligibility index (STI) were investigated. Firstly, the objective parameter values of the sound were obtained for the current spaces and material changes were made on the surfaces of the spaces in order to obtain at the optimum limits to the parameters at outside the optimum range. After the material changes, the optimum conditions were obtained in terms of acoustic.

Keywords: acoustic, classroom, objective parameters of sound, optimum condition.

1. Giriş

Eğitim yapılarında, amacına uygun şekilde ergonomik konfor koşullarının sağlanması, faaliyetlerin etkili şekilde yürütülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu koşullar arasında önemli yere sahip olan akustik koşullar mekânların fiziksel özellikleri tarafından etkilenmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen veya uygulaması tamamlanan mekânların akustik açıdan optimum koşulları sağlayıp sağlamadıklarının belirlenebilmesi için denetimlerinin yapılması gerekmektedir. Bilgisayar simülasyon, maket model ya da yerinde ölçme tekniğiyle yapılan denetimler arasında en esnek olan ve en çok tercih edilen bilgisayar simülasyon tekniğidir.

Bilimsel ya da uygulamaya yönelik çalışmalarda farklı yöntemler kullanılabilir. Atça vd., [1] yapmış oldukları çalışmada, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Matematik Bölümü Amfisinin işitsel problemlerini inceleyerek problemlerin tasarım aşamasında simülasyon yöntemi kullanılarak önlenilebileceğini belirtmişlerdir. Gürel [2] tarafından yapılan çalışmada, Oruç Gazi İlköğretim Okulu yerleşme, bina ve yapı ölçeğinde incelenmiş ardından derslikler öznel ve nesnel olarak akustik açıdan değerlendirilmiştir. Nesnel değerlendirme, okulun her iki bloğundaki 4'er sınıfta seçilen 5 alıcı nokta için elde edilen reverberasyon süresi (RT), erken düşme süresi (EDT), sesin netliği (C80), ayırtedilebilirlik (D₅₀), sinyal gürültü oranı (SNR) ve hızlandırılmış konuşma iletim göstergesi (RASTI) parametrelerinin 125-4000 Hz oktav band aralığında yerinde ölçüm metodu ile elde edilen sonuçlarına göre gerçekleştirilmiştir. Öznel değerlendirme ise okuldaki tüm öğretmen ve öğrencilere yapılan anket çalışması ile yapılmıştır. Yerli [3] tarafından yapılan çalışmada, Ankara İli Çankaya

* Sorumlu yazar: mkavraz@ktu.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-9556-1916, ²0000-0002-7197-2005

İlçesinde bulunan benzer hacim ve şekildeki farklı malzeme kullanımına sahip, biri özel diğeri tip proje devlet okuluna ait sınıflarda akustik konfor koşulları araştırılmıştır. Belirlenen sınıflarda 9 alıcı nokta için yerinde ölçüm metodu ile reverberasyon süresi (RT), erken düşme süresi (EDT), sesin netliği (C80), ayırtedilebilirlik (D50), ses iletim indeksi (STI), hızlandırılmış konuşma iletim göstergesi (RASTI) parametreleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Rabelo vd., [4] tarafından yapılan çalışmada, Brezilya Minas Gerais Belo Horizonte'deki 9 devlet okulunda yer alan 18 derslikte ölçülen akustik parametrelere göre öğrencilerin konuşmanın anlaşılabilirliği testindeki performansı analiz edilmiştir. Çalışmada eşdeğer ses basınç seviyesi (Leq), reverberasyon süresi (RT), ses iletim indeksi (STI) parametreleri yerinde ölçüm metodu ile ölçülmüş ve sınıfların çoğunda iyi akustik performans için önerilen standartlara uyulmadığı görülmüştür. Puglisi vd., [5] tarafından yapılan çalışmada, Yeşil Okul Proje'sinin bir parçası olarak iki farklı okuldaki sınıfların akustik kalitesinin belirlenmesi amacıyla oda akustiği göstergelerine ait alan ölçümleri ve simülasyon yöntemiyle ölçümler gerçekleştirilmiştir. Akustik kalitenin belirlenmesi amacıyla öğretmenlerin kendi raporları da çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Jose vd., [6] tarafından yapılan çalışmada, konuşmanın anlaşılabilirliğinin artırılması açısından sınıflarda ses yutucu malzeme kullanımının öneminden bahsedilmiş, bir örnek sınıfın ve yankılanma odasının değişik yüzeylerinde uygulanan ses yutucu malzemelerin reverberasyon süresi üzerine etkileri ölçme yöntemiyle incelenmiştir. Ses alanının az ya da çok dağıntık olduğu durumlarda, köşelere ya da duvarlar ve tavan arasındaki kenarlara monte edilen ses yutucu malzemelerin daha az verimli olduğu belirlenmiştir. Kahraman ve Üçkaya [7] tarafından yapılan çalışmada, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'ndeki bir stüdyo ile bir dersliğin hacim akustiği koşulları mevcut koşullar için incelenerek değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler öznel ve nesnel kriterlere göre yapılarak elde edilen veriler doğrultusunda çözüm önerileri yapılmıştır. Özçetin vd., [8] tarafından yapılan çalışmada, Bozok Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi'ndeki amfilerin akustik konfor koşullarını incelenmiştir. Mekanlarda ölçme yöntemiyle elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda tuğla üzeri sıva uygulamasına sahip duvarlar iyileştirme kapsamında ipek sıva olarak değiştirilmiştir. İyileştirme sonucunda reverberasyon süresinde düşüş elde edilmiş olsa da optimum koşul elde edilememiştir.

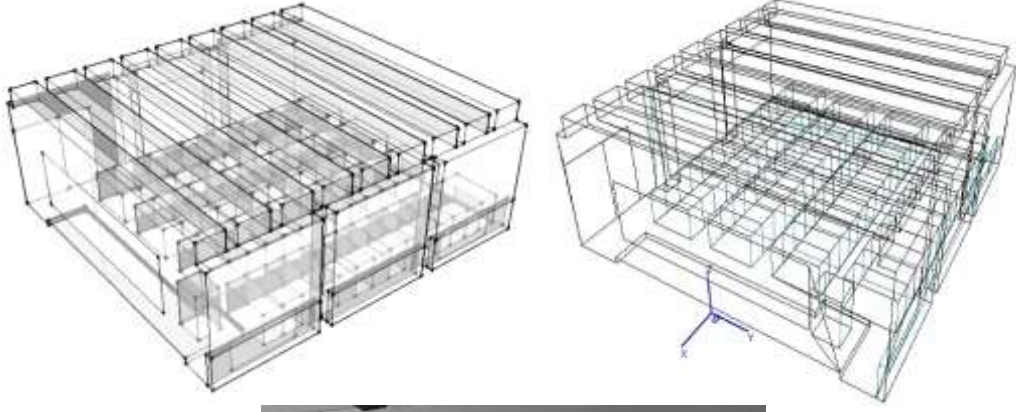
Bu çalışma kapsamında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde yer alan İnşaat Mühendisliği 270 No'lu ve Orman Mühendisliği D-3 No'lu Dersliklerin akustik özellikleri ODEON version 10 bilgisayar programında belirlenerek mevcut durum için sorunlar ortaya konulmuş ve sonraki süreçte akustik sorunlar çözülmüştür.

2. Yapılan Çalışmalar

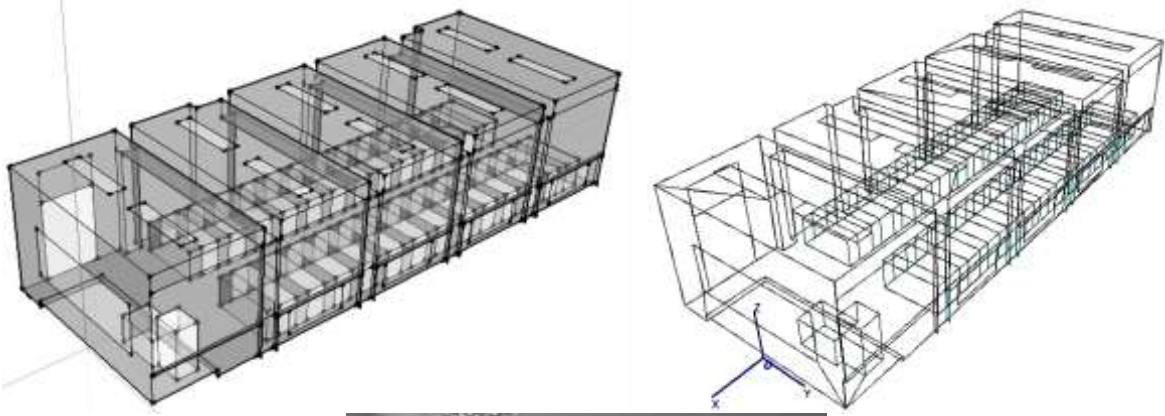
Sesin nesnel parametre değerlerinin elde edilmesi için kullanılan Odeon Version 10 programına aktarılmak üzere dersliklerin üç boyutlu modelleri SketchUp8'de hazırlanmıştır. Bunun için de öncelikle dersliklerin rölöveleri alınmış ve iç mekân yüzey kaplama malzemeleri belirlenmiştir.

Boyu 8,65 m, eni 8,20 m, yüksekliği 3,30 m, hacmi ise 220 m³ olan İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Derslik 56 kişi kapasitesinde olup derslikte kişi başına yaklaşık 3,92 m³ hacim düşmektedir. Formu kare prizmaya yakın olan dersliğin zemini dökmeye mozaik kaplı olup duvarların ve tavanın yüzeyleri ise sıva üzerine boya kaplıdır. Dersliğin boyu doğrultusunda; koridor duvarındaki kolonlar arasında bant pencere ve bir adet ahşap kapı, dış cephe duvarındaki kolonlar arasında ise pencere yer almaktadır. Eni doğrultusundaki duvarda yazı tahtası bulunmaktadır. Şekil 1'de İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Dersliğe ait fotoğraf ve üç boyutlu modeller yer almaktadır.

Boyu 14,80 m, eni 5,35 m, yüksekliği 3,30 m hacmi ise 250 m³ olan Orman Mühendisliği D-3 No'lu Derslik 78 kişi kapasitesinde olup, derslikte kişi başına yaklaşık 3,20 m³ hacim düşmektedir. Dikdörtgen prizma formundaki dersliğin zemini linolyum kaplıdır. Duvarların yüzeyleri ahşap, tavanın yüzeyi ise sıva üzerine boya kaplıdır. Dersliğin boyu doğrultusunda; dış cephe duvarındaki kolonlar arasında pencere, koridor duvarında ise bir adet ahşap kapı (bir bölümü cam yüzey) yer almaktadır. Eni doğrultusundaki duvarda ise, yazı tahtası bulunmaktadır. Aydınlatma elemanı olarak sıva üstü aydınlatma armatürü kullanılmaktadır. Şekil 1'de D-3 No'lu Dersliğe ait fotoğraf ve üç boyutlu modeller yer almaktadır.



İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Derslik



Orman Mühendisliği D-3 No'lu Derslik

Şekil 1. Desliklerin Odeon v.10 için hazırlanan modelleri ve fotoğrafları

Dersliklerin iç mekânlarında kullanılan yüzey kaplama malzemeleri Tablo 1 ve Tablo 3’de yer almaktadır. Sonuç değerleri optimum aralıkta elde edilemeyen sesin nesnel parametre değerlerinin optimum aralıkta elde edilebilmesi amacıyla dersliklerde yapılan iyileştirme çalışması için değiştirilen malzemeler ise Tablo 2 ve Tablo 4’de yer almaktadır.

Tablo 1. İnşaat Mühendisliği 270 No’lu Dersliğin iç mekân yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Tavan	102*	B.A.+Sıva+Boya	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
2	Duvar	1001*	Tuğla+Sıva+Boya	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07
3	Dinleyici	11007*	Öğrenci	0.72	0.72	0.80	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90
4	Pencere	10003*	Çift cam	0.10	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
5	Öğrenci Masası	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
6	Kapı (Ahşap)	10007*	Ahşap	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
7	Kapı (Cam)	10001*	Tek cam	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
8	Yazı Tahtası	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
9	Kalorifer Peteği	5000*	Metal	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15
10	Denizlik	2001*	Mermer	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
11	Zemin Döşemesi	14308**	Dökme mozaik	0.01	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02	0.02
12	Sahne	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07

Tablo 2. İnşaat Mühendisliği 270 No’lu Dersliğin iyileştirme çalışması için değiştirilen malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Tavan	4042*	Alçıpan levha	0.08	0.08	0.11	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03
11	Zemin Döşemesi	7004*	Halı	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65	0.65
13	Aydınlatma Elemanı	14306**	Sıva altı aydınlatma armatürü	0.20	0.12	0.10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02

Tablo 3. Orman Mühendisliği D-3 No'lu Dersliğin iç mekân yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Tavan	102*	B.A.+Sıva+Boya	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
2	Duvar	3021*	Ahşap levha	0.30	0.30	0.20	0.20	10	0.05	0.05	0.05
3	Dinleyici	11009*	Öğrenci	0.51	0.51	0.64	0.75	0.80	0.82	0.83	0.83
4	Kürsü	3062*	Sert kontrplak	0.30	0.30	0.20	0.15	0.13	0.10	0.08	0.08
5	Pencere	10003*	Çift cam	0.10	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
6	Öğrenci Masası	3062*	Sert kontrplak	0.30	0.30	0.20	0.15	0.13	0.10	0.08	0.08
7	Kapı	10007*	Ahşap	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
8	Yazı Tahtası	3063*	İnce kontrplak	0.42	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06	0.06
9	Sahne Döşemesi	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
10	Aydınlatma Elemanı	14306**	Sıva üstü aydınlatma armatürü	0.20	0.12	0.10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
11	Denizlik	2001*	Mermer	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
12	Petek Önü Izgara	40*	Ahşap	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
13	Zemin Döşemesi	6000*	Linolyum	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05

Tablo 4. Orman Mühendisliği D-3 No'lu Dersliğin iyileştirme çalışması için değiştirilen malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Tavan	4042*	Alçıpan levha	0.08	0.08	0.11	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03
10	Aydınlatma Elemanı	14306**	Sıva altı aydınlatma armatürü	0.20	0.12	0.10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
14	Yan ve Arka Duvarlar	8005*	Pamuklu kumaş	0.30	0.30	0.45	0.65	0.56	0.59	0.71	0.71

* : Odeon V10 program kütüphanesinden seçilen malzemedir [9].

** : [10]

Simülasyon süreci: SketchUp8'de hazırlanan üç boyutlu modeller Odeon Version 10 simülasyon programına aktararak denetim süreci başlatılmıştır. Programda öncelikle modellerin yüzeylerine genel malzeme ataması yapılmış ve yüzey birleşimlerinde hatlar denetlenmiş, ses kaçıışı kontrol edilmiş ve sorunlar giderilmiştir. Kapalı kutu biçimini alan modellerin yüzeylerine programdaki kütüphaneden ve kütüphane dışından kütüphaneye alınan malzemeler atanmıştır. Program kapsamında oda akustiği hesap parametrelerine ait değerlerin atamaları gerçekleştirildikten sonra program koşturulmuş ve sesin nesnel parametrelerine ait değerler elde edilmiştir [11]. Simülasyon programı kapsamında ses kaynağı ve alıcı konumları da belirlenmiştir. Ses kaynağı; aks eksenini üzerinde konumlandırılmış ve zemin düzleminde 1.50 m. yüksekliğe yerleştirilmiştir. Dersliklerde yer alan alıcı durumundaki öğrenciler ise plan düzleminde 0.50x0.50 m. gridler şeklinde tanımlanmış olup kesit düzleminde zeminden 1.20 m. üst kotta tanımlanmışlardır.

3. Sesin Nesnel Parametre Değerleri

Odeon Version 10 Simülasyon Programı ile elde edilen sesin nesnel parametre değerleri, öncelikle derslikler için belirlenen optimum değer aralıkları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda optimum değer aralıklarında elde edilemeyen nesnel parametre değerlerinin değer aralıklarında elde edilebilmesi için yüzey malzemelerinde değişiklikler yapılmıştır.

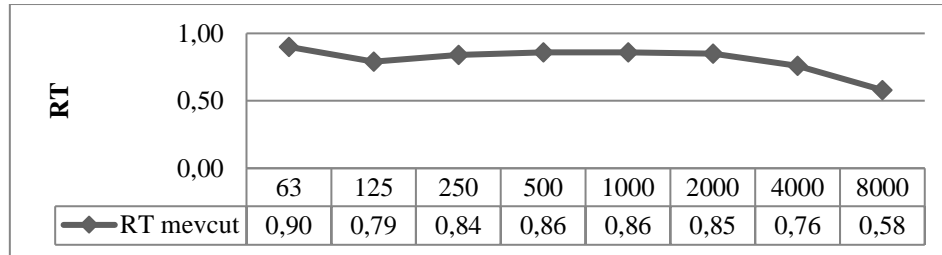
3.1. İnşaat Mühendisliği 270 no'lu dersliğin mevcut durumu için elde edilen sesin nesnel parametrelerinin değerlendirilmesi

İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Dersliğin akustik konfor koşullarının incelenmesi için kullanılan sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları, mekânın mevcut durumu ve iyileştirme çalışması doğrultusunda yapılan malzeme değişikliğinden sonraki durumu için Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Dersliğin mevcut ve malzeme değişikliğinden sonraki durumu için sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları, [12-16]

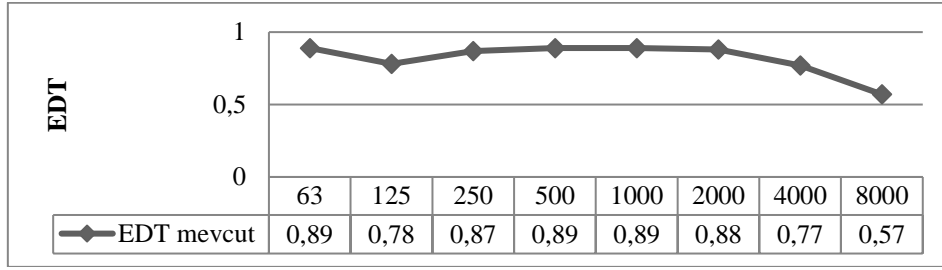
Hacim Akustiği Parametresi	İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Derslik	Optimum (minimum)			Optimum (maximum)	
RT	Mevcut	0,51			0,81	
	Malzeme değişikliği	0,50			0,80	
EDT _{mid}	Mevcut	0,361			0,691	
	Malzeme değişikliği	0,35			0,68	
D ₅₀	Her iki durum için	0,50 ≤				
STI	Her iki durum için	0-0.3 Kötü	0.3-0.45 Zayıf	0.45-0.6 Orta	0.6-0.75 İyi	0.75-1.0 Mükemmel

Reverberasyon Süresi (RT): Dersliğin mevcut durumu için RT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,86 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 2). Orta hacimli mekân kapsamında incelenen ve 220 m³ hacme sahip olan dersliğin, orta frekans bölgesinde optimum RT değeri 0,51 ile 0,81 sn. aralığındadır (Tablo 5). Belirtilen değer aralıklarına göre, RT değeri optimum düzey aralığının üzerinde elde edilmiştir.



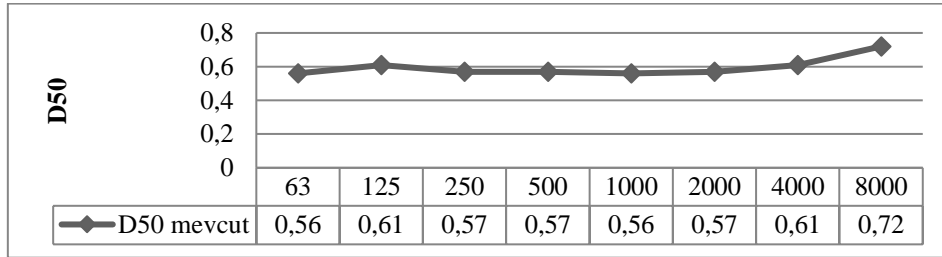
Şekil 2. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

Erken Düşme Süresi (EDT): Dersliğin mevcut durumu için EDT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,89 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 3). Optimum EDT değeri ise, orta frekans bölgesinde 0,361 ile 0,691 sn. aralığındadır (Tablo 5). Belirtilen değer aralığına göre, dersliğin mevcut durumu için EDT değeri, optimum düzeyin üzerinde elde edilmiştir.



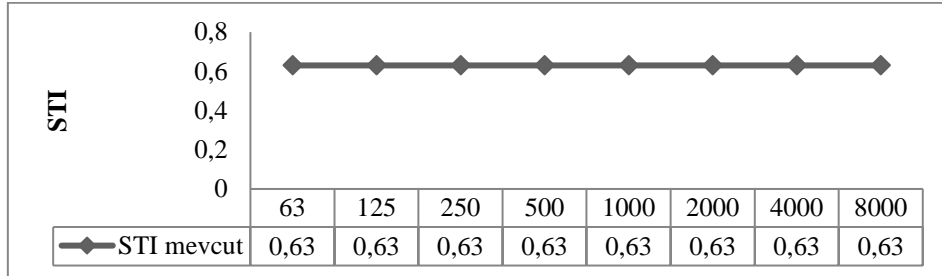
Şekil 3. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

Ayırt Edilebilirlik (D_{50}): Dersliğin mevcut durumu için D_{50} değeri 0,57 olarak elde edilmiştir (Şekil 4). Bu değer D_{50} optimum alt sınır değerinin üzerindedir. Dersliğin mevcut durumu için %50'nin üzerinde olan D_{50} parametresine göre, % 90 konuşmanın belirginliğinin yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Oktav band frekanslarda elde edilen D50 değerleri

Ses İletim İndeksi (STI): Dersliğin mevcut durumu için STI değeri 0,63 olarak elde edilmiştir (Şekil 5). Elde edilen STI değeri anlaşılabilirliğin iyi düzeyde olduğu 0,60 ile 0,75 aralığındadır (Tablo 5).

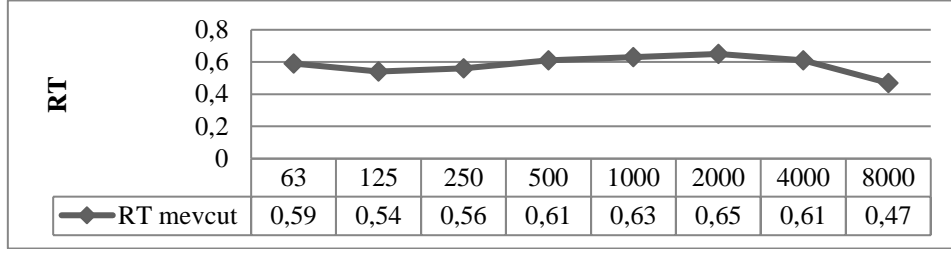


Şekil 5. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri

3.2. İnşaat Mühendisliği 270 no'lu dersliğin için iyileştirme çalışması

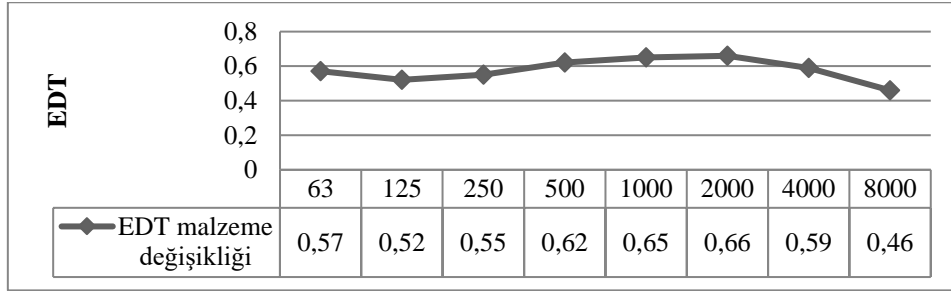
İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Derslik için elde edilen RT, EDT değerlerini optimum düzeylere, D_{50} ve STI değerlerini ise daha iyi düzeye getirmek amacıyla mekân yüzeylerinde bazı malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Malzeme değişikliğinde; döşemede: alçak frekanslardan yüksek frekanslara yutuculukları giderek artış gösteren halı, tavanda: alçak ve orta frekanslarda ses yutuculuğu yüksek frekanslara göre fazla olan alçıpan levhalar kullanılmıştır. Tavanda kullanılan alçıpan asma tavan uygulaması ile uyumlu şekilde, sıva altı aydınlatma armatürü kullanılmıştır. İyileştirme çalışması kapsamında 270 No'lu Dersliğin Sketchup 8 programı ile yeniden modellemesi yapılmış ve ODEON V10 programında simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sesin nesnel parametre değerlerine göre sonuçlar tekrar değerlendirilmiştir.

Reverberasyon Süresi (RT): Malzeme değişikliği ile meydana gelen tavan formundaki değişiklik sonucunda mekânın hacmi 173 m^3 'e düşmüştür. Belirtilen hacme sahip olan bir mekândaki optimum RT değerinin 0,50 ile 0,80 sn. aralığında olması gerekmektedir (Tablo 5). Bu değer aralığına göre malzeme değişikliği sonrasında RT değeri 0,61 sn. ile optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 6).



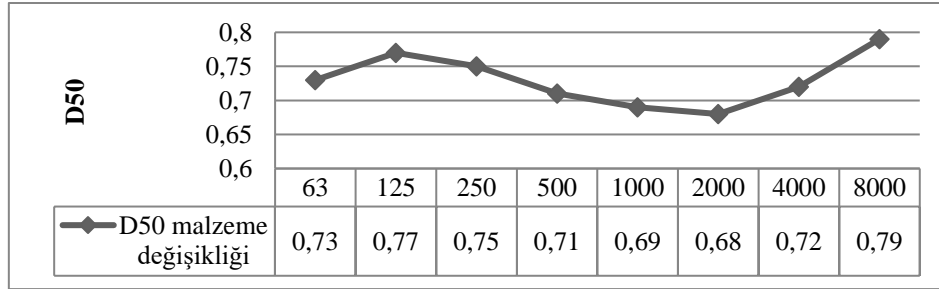
Şekil 6. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

Erken Düşme Süresi (EDT) : Derslik için malzeme değişikliğinden sonraki optimum EDT değeri 0,35 ile 0,68 sn. aralığındadır (Tablo 5). Dersliğin mevcut durumu için optimum değer aralıklarında olmayan EDT değeri (0,89 sn.), malzeme değişikliğinden sonra 0,62 sn. ile optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 7).



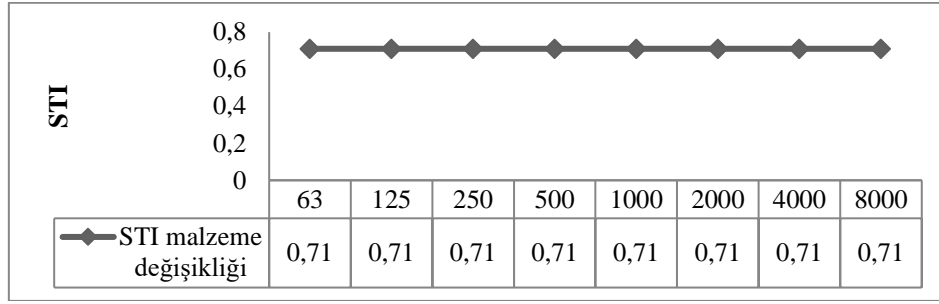
Şekil 7. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

Ayırt Edilebilirlik (D₅₀): Malzeme değişikliğinden sonra elde edilen D₅₀ değerinde (0,71) mevcut durumdaki D₅₀ değerine (0,57) göre artış meydana gelmiştir (Şekil 8). Değişiklik sonrasında, derslik için konuşmanın belirginliğinin mevcut duruma göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8. Oktav band frekanslarda elde edilen D50 değerleri

Ses İletim İndeksi (STI) : Derslikte yapılan malzeme değişikliğinden sonra STI değeri (0,71) anlaşılabilirliğin iyi düzeyde olduğu 0,60 ile 0,75 aralığında elde edilmiştir (Şekil 9). Bu değer mevcut durumdaki STI değerinden (0,63) daha yüksek düzeydedir.



Şekil 9. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri

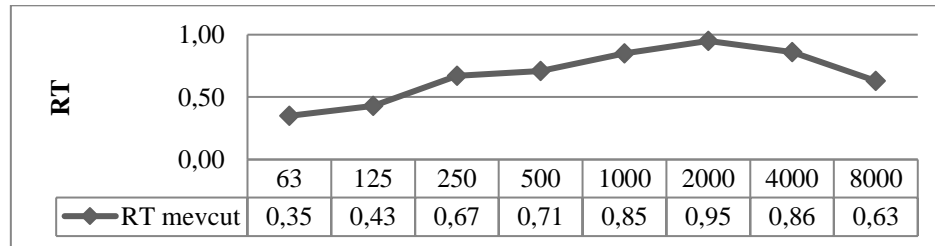
3.3 Orman Mühendisliği D-3 no'lu dersliğin mevcut durumu için elde edilen sesin nesnel parametrelerinin değerlendirilmesi

Orman Mühendisliği D-3 No'lu Dersliğin akustik konfor koşullarının incelenmesi için kullanılan sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları, mekânın mevcut durumu ve iyileştirme çalışması doğrultusunda yapılan malzeme değişikliğinden sonraki durumu için Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Orman Mühendisliği D-3 No'lu Dersliğin mevcut ve malzeme değişikliğinden sonraki durumu için sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları, [12-16]

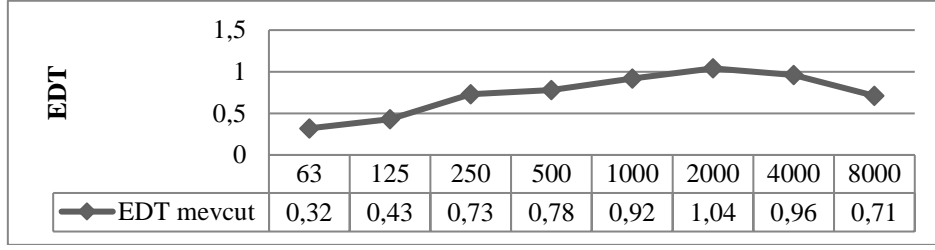
Hacim Akustiği Parametresi	Orman Mühendisliği D-3 No'lu Derslik	Optimum (minimum)			Optimum (maximum)	
RT	Mevcut	0,52			0,82	
	Malzeme değişikliği	0,52			0,82	
EDT _{mid}	Mevcut	0,372			0,702	
	Malzeme değişikliği	0,372			0,702	
D ₅₀	Her iki durum için	0,50 ≤				
STI	Her iki durum için	0-0.3 Kötü	0.3-0.45 Zayıf	0.45-0.6 Orta	0.6-0.75 İyi	0.75-1.0 Mükemmel

Reverberasyon Süresi (RT): Dersliğin mevcut durumu için RT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,71 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 10). Orta hacimli mekân kapsamında incelenen ve 250 m³ hacme sahip olan dersliğin, orta frekans bölgesinde optimum RT değeri 0,52 ile 0,82 sn. aralığındadır (Tablo 6). Belirtilen değer aralıklarına göre, RT değeri optimum düzeyde elde edilmiştir.



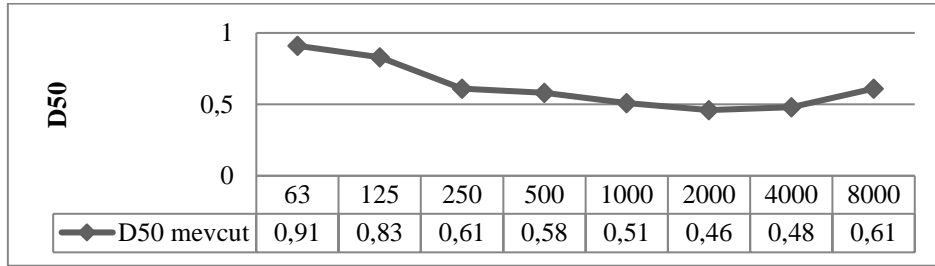
Şekil 10. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

Erken Düşme Süresi (EDT): Dersliğin mevcut durumu için EDT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,78 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 11). Optimum EDT değeri ise, orta frekans bölgesinde 0,372 ile 0,702 sn. aralığındadır (Tablo 6). Belirtilen değer aralığına göre, dersliğin mevcut durumu için EDT değeri, optimum düzeyin üzerinde elde edilmiştir.



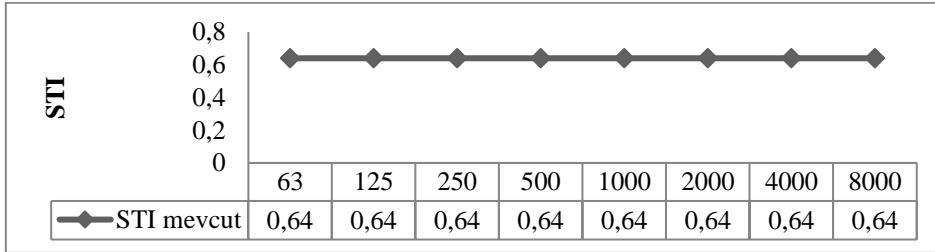
Şekil 11. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

Ayırt Edilebilirlik (D_{50}) : Dersliğin mevcut durumu için D_{50} değeri 0,58 olarak elde edilmiştir (Şekil 12). Bu değer D_{50} optimum alt sınır değerinin üzerindedir. Dersliğin mevcut durumu için %50'nin üzerinde olan D_{50} parametresine göre, %90 konuşmanın belirginliğinin yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 12. Oktav band frekanslarda elde edilen D50 değerleri

Ses İletim İndeksi (STI) : Dersliğin mevcut durumu için STI değeri 0,64 olarak elde edilmiştir (Şekil 13). Elde edilen STI değeri anlaşılabilirliğin iyi düzeyde olduğu 0,60 ile 0,75 aralığındadır (Tablo 6).

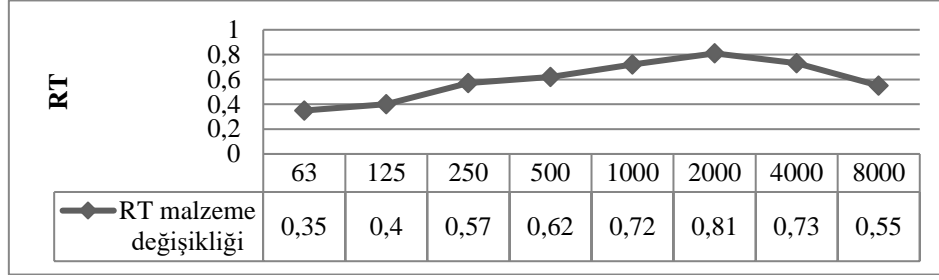


Şekil 13. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri

3.4. Orman Mühendisliği D-3 no'lu derslik için iyileştirme çalışması

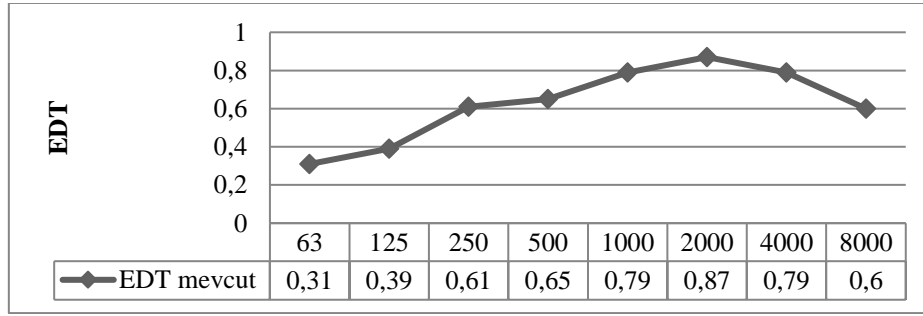
Orman Mühendisliği D-3 No'lu Derslik için elde edilen EDT değerini optimum düzeye, D_{50} ve STI değerlerini daha iyi düzeylere getirmek amacıyla mekân yüzeylerinde bazı malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Malzeme değişikliğinde; alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru ses yutuculukları giderek artış gösteren arka ve yan duvarlarda: yerden 90 cm yukarıdan başlayarak tavan yüzeyine kadar kumaş malzeme, alçak ve orta frekanslarda ses yutuculuğu yüksek frekanslara göre fazla olan tavanda: alçıpan levhalar seçilmiştir. Tavanda kullanılan alçıpan asma tavan uygulaması ile uyumlu şekilde, sıva altı aydınlatma armatürü kullanılmıştır. İyileştirme çalışması kapsamında D-3 No'lu Dersliğin Sketchup 8 programı ile yeniden modellenmesi yapılmış ve ODEON V10 programında simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sesin nesnel parametre değerlerine göre sonuçlar tekrar değerlendirilmiştir.

Reverberasyon Süresi (RT): İyileştirme çalışması kapsamında mekânın hacminde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiş ve bu nedenle optimum RT değerleri mevcut durumdaki gibi 0,52 ile 0,82 sn. aralığında kalmıştır (Tablo 6). Bu değer aralığına göre, malzeme değişikliği sonucunda da RT değeri (0,62 sn.) yine optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 14).



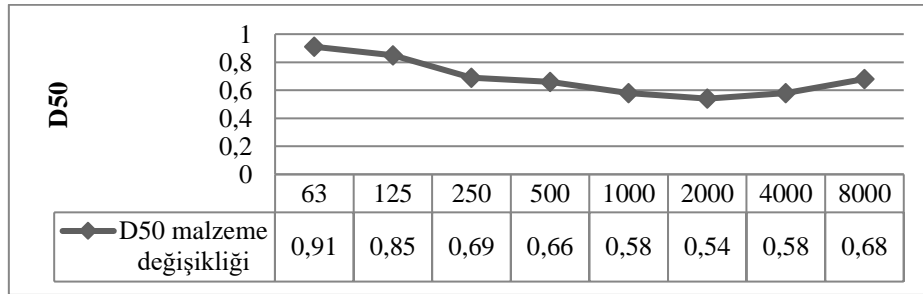
Şekil 14. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

Erken Düşme Süresi (EDT): Derslik için malzeme değişikliğinden sonraki optimum EDT değeri mevcut durumdaki gibi 0,372 ile 0,702 sn. aralığında kalmıştır (Tablo 6). Dersliğin mevcut durumu için optimum değer aralıklarında olmayan EDT değeri (0,78 sn.), malzeme değişikliğinden sonra 0,65 sn. ile optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 15).

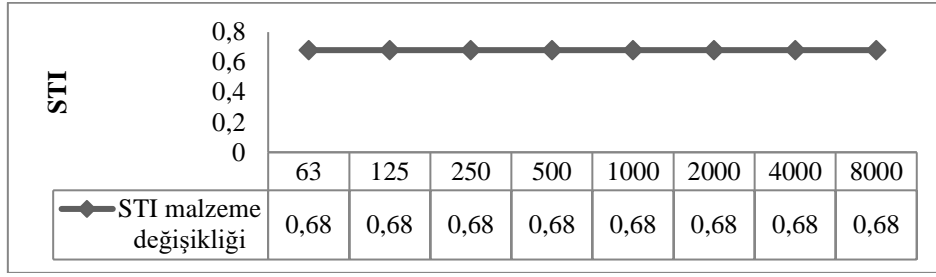


Şekil 15. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

Ayrırt Edilebilirlik (D_{50}): Malzeme değişikliğinden sonra elde edilen D_{50} değerinde (0,66), mevcut durumdaki D_{50} değerine (0,58) göre artış meydana gelmiştir (Şekil 16). Değişiklik sonrasında, derslik için konuşmanın belirginliğinin mevcut duruma göre daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Şekil 16. Oktav band frekanslarda elde edilen D_{50} değerleri

Ses İletim İndeksi (STI): Derslikte yapılan malzeme değişikliğinden sonra elde edilen STI değeri (0,68) anlaşılabilirliğin iyi düzeyde olduğu 0,60 ile 0,75 aralığında elde edilmiştir (Şekil 17). Bu değer mevcut durumdaki STI değerinden (0,64) biraz daha yüksektir.



Şekil 17. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri [17]

4. Sonuçlar

KTÜ İnşaat Mühendisliği 270 No'lu ve Orman Mühendisliği D-3 No'lu Dersliklerdeki akustik koşullar öncelikle mekanların mevcut durumları için ODEON version10 aracılığı ile sesin nesnel parametreleri açısından değerlendirilmiştir. İnşaat Mühendisliği 270 No'lu Derslik için yapılan değerlendirmede RT ve EDT değerleri optimum sınırlar dışında elde edilmiştir. Orman Mühendisliği D-3 No'lu Derslik için yapılan değerlendirmede ise EDT değerleri optimum sınırların üzerinde elde edilmiştir. Her iki derslikte de akustik açıdan optimum değerlerin elde edilebilmesi amacıyla bazı iç mekan yüzeylerinde malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Malzeme değişikliklerinde dersliklerdeki toplam ses yutuculuk etkisi dikkate alınmıştır. 270 No'lu Derslikte hem erken ve hem de geç yansımaların etkisinden dolayı, D-3 No'lu Derslikte ise erken yansımaların etkisinden dolayı belirtilen sesin nesnel parametrelerinde optimum değerler elde edilemediği için toplam ses yutuculuk etkisinin artırılması gereksinimi meydana gelmiştir. Bu doğrultuda, 270 No'lu Derslikte; tavan, zemin döşemesi ve aydınlatma elemanlarında malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Değişikliklerle birlikte RT ve EDT değerlerinde düşüş sağlanırken bununla ters orantılı olarak D50 ve STI değerlerinde artış olmuştur. D-3 No'lu Derslikte ise; tavan, aydınlatma armatürleri ile yan ve arka duvar yüzeylerinde malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Malzeme değişiklikleri sonucunda RT ile EDT değerlerinde düşüş D50 ile STI değerlerinde ise artış meydana gelmiştir. Her iki derslikte de D50 ile STI değerlerindeki artış sesin anlaşılabilirliğinin daha da etkili şekilde sağlanmasına katkıda bulunmuştur. Malzeme değişiklikleri ile tüm nesnel parametre değerleri optimum sınır aralılarında elde edilmiştir.

Not: Bu çalışma, 2009.120.001.1 No'lu Proje kapsamında KTÜ - BAP Birimi tarafından desteklenmiştir. Aynı zamanda, KTÜ Mimarlık Anabilim Dalında "Eğitim Yapılarındaki İç Mekânların Bilgisayar Simülasyon Yöntemi ile Akustik Açıdan İncelenmesi, Değerlendirilmesi ve Düzenlenmesi: KTÜ Örneği" isimli Yüksek Lisans Tezi kapsamında yapılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Atça E, İlal ME, Başaran T, Kazanmaz T, Arsan ZD. Başarım odaklı tasarım: Tasarımın erken evrelerinde benzetim araçlarının önemi. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi; 17-20 Nisan 2013; İzmir, Türkiye: Bildiriler Kitabı. ss. 1411-1422.
- [2] Gürel N. İlköğretim okullarının akustik açıdan incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [3] Yerli C. Farklı anlayışlarla tasarlanmış eğitim alanlarındaki sınıfların hacim akustiği yönünden değerlendirilmesi; Doğa Koleji Çukurambar ve İMKB Alparslan Ortaokulu örneği. Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2015.
- [4] Rabelo ATV, Santos JN, Oliveira RC, Magalhaes MC. Effect of classroom acoustic on the speech intelligibility of students. CoDAS 2014; 26(5): 360-366.
- [5] Puglisi GE, Cutiva LCC, Pavese L, Castellana A, Bona M, Fasolis S, Lorenzatti V, Carullo A, Burdorf A, Bronuzzi F, Astolfi A. Acoustic comfort in high-school classrooms for students and teachers. Energy Procedia 2015; 78: 3096-3101.
- [6] Cucharero J, Hänninen T, Lokki T. Influence of sound-absorbing material placement on room acoustical parameters. Acoustics 2019; 1: 644-660.
- [7] Karaman ÖY, Uçkaya NB. Eğitim mekanlarında akustik konfor: Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi örneği. Megaron 2015; 10(4): 503-521.
- [8] Özçetin Z, Demirel F, Eminel M. Eğitim yapıları özelinde akustik konfora yönelik uygulama örneği. Social Science Development Journal 2018; 3(12): 468-475.
- [9] Christensen, CL. Odeon Room Acoustics Program, Version 10. Denmark: 2001.

- [10] URL <http://www.ptb.de/en/org/1/16/163/datenbank.htm>, 2011
- [11] Kavraz M. The effect of sound diffusers on the objective parameters of sound: the multipurpose hall of Sultanbeyli cultural center. *American Journal of Scientific Research* 2012; 57: 37-46.
- [12] Sirel Ş. Hacim Akustiğinde Yansıma Süresi. İstanbul: Yapı Fiziği Bilim Dalı Yayınları, İDMMA Basımevi, 1981.
- [13] Gade AC. Acoustical survey of eleven european concert halls. Denmark: The Acoustics Laboratory, Technical University of Denmark, Report No.44.
- [14] Barron M. Auditorium Acoustics and Architectural Design. London: E & FN Spon, 1993.
- [15] Long M. Architectural Acoustics. New York: Elsevier Inc., 2006.
- [16] Kuttruff H. Room Acoustics, New York: Elsevier Science Publishing, 1991.
- [17] Kabil, Ö. Eğitim yapılarındaki iç mekânların bilgisayar simülasyon yöntemi ile akustik açıdan incelenmesi, değerlendirilmesi ve düzenlenmesi: KTÜ örneği. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 2018.

Kapsül Ağları Kullanılarak EEG Sinyallerinin Sınıflandırılması

Suat TORAMAN*

Enformatik Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*storaman@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 20/12/2019;

Kabul/Accepted: 02/02/2020)

Öz: Epilepsi dünyadaki her yüz kişiden birinin sıkıntı çektiği en yaygın nörolojik hastalıklardan biridir. Gerçekleşecek bir nöbetin önceden tahmin edilebilmesi, epilepsi hastalarının yaşam kalitesinin artırılmasında önemli bir rol oynayacaktır. Ayrıca, etkili bir nöbet tahmin sistemi, hastalığın daha kontrol edilebilir olmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, Elektroensefalogram (EEG) sinyallerindeki interiktal ve preiktal beyin aktivitelerini ayırt etmek için bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde, yeni bir sinir ağı modeli olan kapsül ağları kullanılmıştır. Preiktal aktivite, nöbet başlangıcından 30dk ileride seçilmiştir. Preiktal ve interiktal kısımlar kayan pencere ile segmentlere ayrılmış ve her segmentin spektrogram görüntüleri elde edilmiştir. Spektrogram görüntüleri, kapsül ağları kullanılarak C3-P3 için ortalama %94.05 doğruluk ile sınıflandırılmıştır. Bu çalışma ile kapsül ağlarının preiktal/interiktal sınıflandırma başarımı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kapsül ağlarının epilepsinin tahmini için umut verici bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: EEG, Epilepsi, Kapsül ağları, Preiktal/interiktal tanıma

Classification of EEG Signals Using Capsule Networks

Abstract: Epilepsy is one of the most common neurological diseases in which one in every hundred people in the world suffers. Predicting a seizure will play an important role in improving the quality of life of epilepsy patients. In addition, an effective seizure prediction system will ensure that the disease is more controllable. In this study, a new method was proposed to differentiate the interictal and preictal activities of electroencefalogram (EEG) signals. The proposed method uses capsule networks that a new model of neural network. Preictal activity was selected 30 min before seizure onset. The preictal and interictal sections were segmented with a sliding window and then each segment was transformed into spectrograms. Spectrogram images were classified with an average accuracy of 94.05% for C3-P3 using capsule networks. In this study, preictal/interictal classification performance of capsule networks was investigated. The results show that capsule networks are a promising method for the prediction of epilepsy.

Key words: EEG, Epilepsy, Capsule networks, Preictal/Interictal recognition

1. Giriş

Epilepsi, dünya genelinde milyonlarca insanın sıkıntı çektiği merkezi sinir sisteminde görülen nörolojik bir rahatsızlıktır [1]. Epileptik nöbetler, beyindeki nöronlar normal çalışırken aniden bu nöronların yanlış çalışması sonucunda oluşmaktadır [1, 2]. Elektroensefalogram (EEG), beyin aktivitesindeki değişikliklerin incelenmesi veya olabilecek bir nöbetin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Nöbet tahmininde önemli olan preiktal durumun belirlenebilmesidir. Preiktal, beyin aktivitelerinde değişikliğin oluşmaya başladığı durumdur. Bu nedenle etkili bir nöbet tahmin sistemi için önemli bilgiler içeren preiktal durumun belirlenebilmesi büyük öneme sahiptir. EEG sinyalleri kullanılarak beyin aktivitesindeki değişikliklerin tespit edilmesi için çeşitli geleneksel özellik çıkarım yöntemleri kullanılmıştır. Liu ve diğ. çok kanallı intrakranial EEG sinyalini dalgacık dönüşümü ile alt batlarına ayırmıştır ve daha sonra çeşitli özellikler çıkararak EEG sinyallerini sınıflandırmıştır [3]. Zhang ve diğ. preiktal ve interiktal ayrımı için EEG sinyallerinin spektral analizini kullanmıştır [4]. Cho ve diğ. interiktal ve preiktal sınıflandırma için faz kilitleme değerleri kullanmıştır [5]. Tsiouris ve diğ. Frekans domaini, zaman domain ve graf teorisini ile elde ettikleri özellikleri kullanarak preiktal ve interiktal durumları sınıflandırmıştır [2]. Bu yöntemler ile EEG sinyalleri farklı teknikler kullanılarak sınıflandırılmıştır [6,7]. GPU (Grafik işlem birimi) teknolojisinde gelişmelere paralel olarak son yıllarda derin öğrenme kullanılarak gerçekleştirilen sinyal / görüntü işleme ve sınıflandırma uygulamaları da oldukça artmıştır. Başarılı sonuçlar üretmesi nedeniyle derin öğrenme modelleri birçok alanda olduğu gibi tıp alanında da oldukça tercih edilmektedir [8–11]. Derin öğrenme modelleri sayesinde geleneksel yöntemlerde olduğu gibi elle tasarlanmış özellik çıkarımına ihtiyaç kalmamıştır [8,12]. Son zamanlarda, EEG sinyallerinin incelenmesinde derin öğrenme yöntemleri de sıkça kullanılmaya başlanmıştır

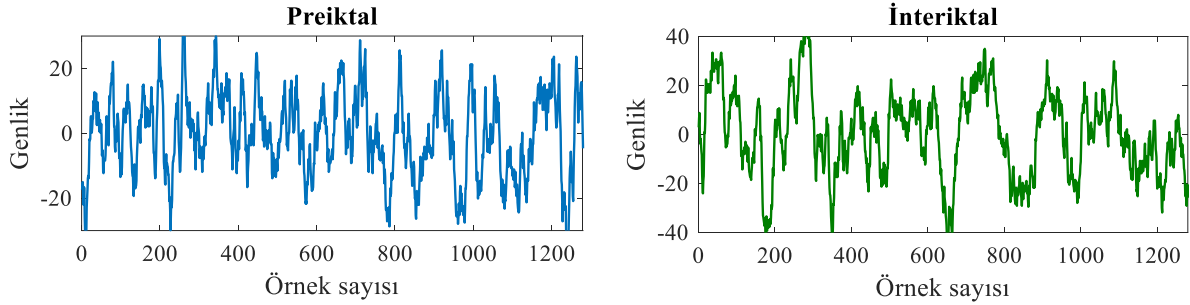
* Sorumlu yazar: storaman@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-7568-4131

[13,14]. EEG sinyallerinin 1 boyutlu sinyal veya 2 boyutlu resim formunda incelenmesine yönelik çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Özal ve diğ. bir boyutlu ESA modelini kullanarak EEG sinyallerini normal ve abnormal olarak sınıflandırmıştır [15]. Toraman ve diğ. konuşma lateralitesinin belirlenmesi için EEG sinyallerini iki boyutlu spektrogram görüntüsüne çevirip özellik çıkarma yaptıktan sonra sınıflandırmıştır [16]. İhsan Ullah ve diğ. EEG sinyallerini otomatik olarak normal, iktal ve interiktal sınıflandırmıştır [17]. Bu çalışmada ise, nöbet tahmini için önemli olan preiktal/interiktal aktivite belirlenmesine yönelik yeni bir sinir ağı modeli olan kapsül ağları kullanılmıştır. Kapsül ağlarının eğitilmesi için EEG sinyalleri spektrogram görüntülerine dönüştürülmüş ve kapsül ağlarına giriş olarak uygulanmıştır. Literatür araştırmasında, kapsül ağları EEG sinyallerinden duygu tahmini [18] ve motor imgeleme [19] gibi konularda çalışılmışsa da, preiktal ve interiktal EEG sinyallerin sınıflandırılmasında kullanılmamıştır. Çalışmanın diğer bir katkısı, geleneksel EEG sınıflandırma yöntemlerinde olduğu gibi özellik çıkarımına gereksinim duyulmamasıdır. Sinyalden özellik çıkarımında, ayırt edici yöntemin belirlenmesi, uzman tecrübesi başarıyı etkileyen önemli faktörlerdir. Bu çalışmada, elle özellik çıkarımına ihtiyaç duyulmadan kapsül ağları verilen giriş görüntülerini yüksek doğruluk ile sınıflandırmıştır. Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de, veri seti, preiktal-interiktal durum seçimi ve kapsül ağlarına ilişkin temel bilgiler verilmiştir. Bölüm 3’te, deneysel sonuçlar ve tartışma, Bölüm 4’te sonuçlar sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri seti

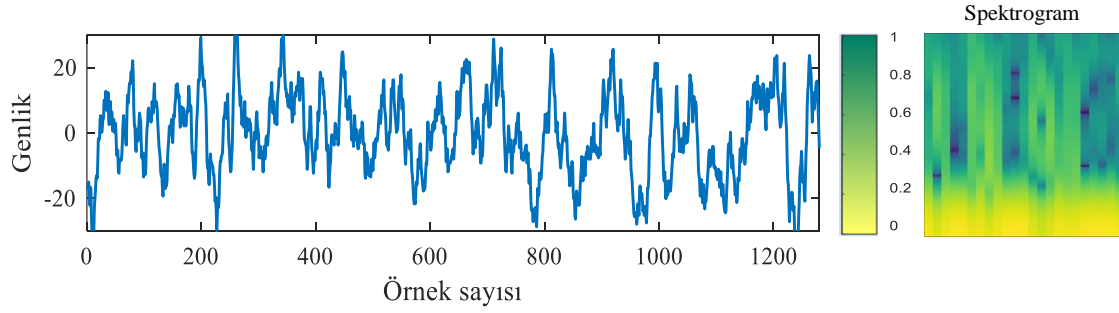
Çalışmada, Boston Çocuk Hastanesinde (CHB) nöbet geçiren beş çocuk denekten alınan EEG veri kümesi kullanılmıştır [20]. Veriler, 10-20 EEG elektrot pozisyon sistemi kullanılarak 18 ile 23 kanallı ve 256 örnekleme frekansı ile alınmıştır. CHB-MIT EEG kayıtların çoğu birer saatlik dönemlerden (epoch) oluşurken, bazıları iki ile dörder saatlik dönemlerden oluşmaktadır. Her hastanın nöbet başlangıcı klinik uzmanı tarafından işaretlenmiştir. Bu bilgiler veri tabanındaki ek açıklama dosyasında bulunmaktadır. Bu çalışma için chb01, chb02, chb03, chb04 ve chb05 vakaları kullanılmıştır. Seçilen vakaların üç farklı kanal (FP1-F7, F7-T7, C3-P3) bilgisi incelenmiştir. Epilepsi hastalarının beyin aktiviteleri interiktal, preiktal, iktal ve postiktal olmak üzere dört durum içerir. Preiktal, nöbet başlangıcından önce gerçekleşen aktiviteler ifade etmektedir. İktal, nöbetin başladığı ve bitti ana kadar olan durumu, postiktal, nöbet sonrası durumu ve interiktal ise diğer üç durum dışında kalan normal beyin aktivitelerini ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan preiktal ve interiktal sinyallerine ait temsili örnekler Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 5sn’lik preiktal ve interiktal sinyal örneği

2.2. Sinyal bölümeleme ve spektrogram

Çalışma için preiktal eğitim aralığı nöbet başlangıcından önceki 30dk da bitecek şekilde 30dk’lık aralık seçilmiştir. İnteriktal ise nöbetten en az 2 saat uzaklıkta olacak şekilde belirlenmiştir. Veri setinde birbirine yakın birçok nöbet olduğu için önce gerçekleşen nöbet kullanılmıştır. Yukarıdaki şartlara göz önüne alındığında chb01 için 5, chb02 ve chb03 için 2, chb04 için 3 ve chb05 için ise 4 nöbet bulunmaktadır. Her nöbet öncesi 30dk’lık preiktal ve interiktal aralıklar örtüşmesiz kayan pencere yöntemi ile 5sn’lik bölümlere ayrılmıştır. Chb01 için 1800 preiktal ve 1800 interiktal bölüm oluşurken, chb02 ve chb03 için 720, chb04 için 1080 ve chb05 için 1440 bölüm oluşmuştur. Her bir preiktal ve interiktal sinyal parçası 16ms pencere genişliği (hamming), 8ms binişme ve FFT sayısı 512 olacak şekilde spektrograma dönüştürülmüştür. Renk haritası olarak viridis kullanılmıştır. Spektrogram görüntüleri kapsül ağları için 64x64 piksel olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Şekil 2’de spektrograma dönüştürülmüş sinyal örneği verilmiştir.



Şekil 2. EEG sinyaline ait bir spektrogram örneği

2.3. Kapsül ağları

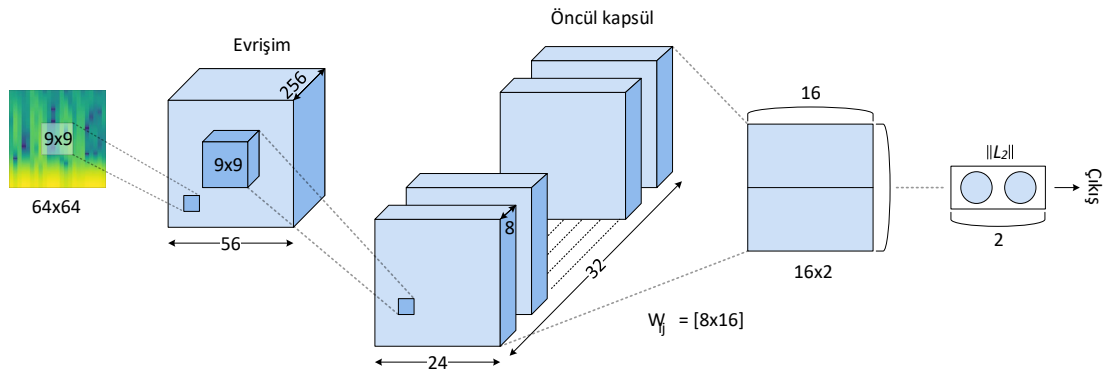
ESA'lar, ilk evrişim katmanında görüntüdeki basit özellikleri (kenar, köşe vb.) öğrenir. Daha karmaşık özellikleri öğrenmek için doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonu kullanılır. Verideki önemli bilgiyi ön plana çıkarmak için havuzlama uygulanır. Art arda eklenmiş bloklar sayesinde bir önceki bloktan gelen bilgiden özellik çıkarımı devam eder. Böylece ağ daha karmaşık özellikleri öğrenir. ESA'lar görüntüdeki nesnelere sınıflandırmada başarılıdır. Fakat ESA görüntüdeki nesnelere konumlarını veya nesnenin parçaları arasındaki ilişkiyi ortaya koyamaz. Bu eksiklikten yola çıkarak Hinton ve ark. görüntüdeki nesnelere konumlarını korumak, nesnedeki özelliklerinin hiyerarşik ilişkileri modellemek için kapsül ağları olarak adlandırılan yeni bir sinir ağı modeli geliştirmiştir [21,22]. Kapsül ağları, birçok nöronu bir arada tutan kapsül olarak adlandırılan yapılardan oluşmaktadır. Mevcut ESA'ların çıkışı skaler bir değer iken, kapsül ağlarının çıkışı vektördür. ESA'lar aktivasyon fonksiyonu olarak ReLu, Sigmoid, Tanjant gibi skaler girdi alan fonksiyonları kullanmaktadır. Kapsül ağlarında ise ezme (squashing) olarak adlandırılan vektörel bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır (Denklem 1) [21,23].

$$v_j = \frac{\|s_j\|^2 s_j}{1 + \|s_j\|^2 \|s_j\|} \quad (1)$$

Denklemde, s_j kapsül girişi ve v_j ise kapsülün çıkış vektörünü gösterir. Çıkış vektörü (v_j), görüntüde bir nesne varsa uzun vektörleri 1'e doğru daraltırken, görüntüde nesne bulunmuyorsa kısa vektörleri sıfıra doğru baskılar [21,23]. Kapsül ağlarında, belirli bir sınıftaki nesnelere mevcut olup olmadığını belirlemek için Denklem 2 'deki ayrı bir marj kaybı önerilmiştir.

$$L_k = T_k \max(0, m^+ - \|v_k\|)^2 + \lambda(1 - T_k) \max(0, \|v_k\| - m^-)^2 \quad (2)$$

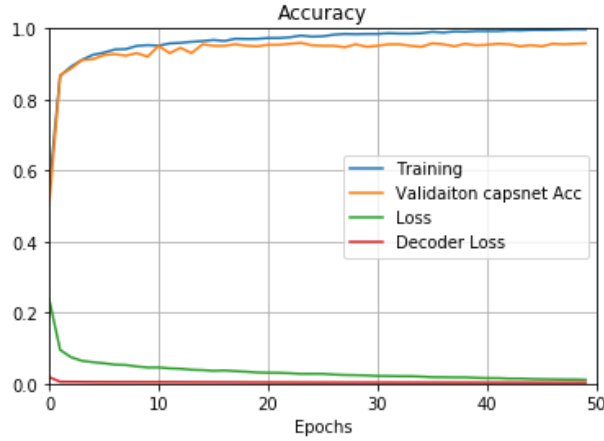
Burada eğer bir k sınıfı yoksa $T_k=0$, varsa, $T_k = 1$ ve $m^+ = 0.9$ ve $m^- = 0.1$ 'dir. Hesaplanan vektörlerin uzunluğu, görüntüdeki nesnenin, o k sınıfta bulunma olasılığını gösterir. Vektörün yönü, nesnenin doku, poz, renk, vb. bilgilerini içermektedir [22]. Çalışmada kullanılan kapsül ağ yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. EEG sinyallerinin spektrogram görüntülerinin sınıflandırılması için kapsül ağ yapısı

3. Deneysel Sonuç ve Tartışma

Çalışmada, EEG sinyallerinin preiktal ve interiktal aktivitelerini kapsül ağları ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. CHB-MIT veri setindeki beş vakanın (chb01, chb02, chb03, chb04, chb05) FP1-F7, F7-T7, C3-P3 kanal bilgileri incelenmiştir. Örneğin chb01 vakasında, herhangi bir nöbetten 30dk uzaklıkta bitecek şekilde, şartlara uygun beş nöbet bulunmaktadır. Beş nöbet için (5x30dk) 150dk preiktal bölge alınmıştır. Dengeli bir eğitim aşaması için aynı uzunlukta interiktal aktivite seçilmiştir. İteriktal bölge, nöbetlerden en az iki saat uzaklıkta olacak şekilde 150dk seçilmiştir. 150dk'lık preiktal ve interiktal bölgeler 5sn'lik örtüşmesiz kayan pencere yöntemi kullanılarak 1800 parçaya ayrılmıştır. Her bir parça spektrograma dönüştürülmüştür. Sonuç olarak chb01 vakası için 3600 spektrogram görüntüsü elde edilmiştir. Aynı işlemler diğer vakalar içinde gerçekleştirilmiştir. Chb01 vakasının eğitim sürecine ait bir katlama (fold) için performans grafiği Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Chb01 vakasının bir katlama için eğitim ve kayıp grafikleri

Beş vakanın her üç kanal için elde edilen doğruluk, duyarlılık ve özgüllük sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Önerilen yöntemin sonuçlarının daha nesnel olarak değerlendirilebilmesi için k -katlamalı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. k değeri 5 olarak belirlenmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi en yüksek sınıflama doğruluğuna chb02'nin FP1-F7 ve C3-P3 kanallarında ulaşılmıştır. En düşük doğruluk chb05 vakasında görülmektedir. Hangi kanalın vaka incelemesinde daha etkili olduğunu incelemek için Tablo 2'de beş vaka için her bir kanalın ortalama değeri hesaplanmıştır.

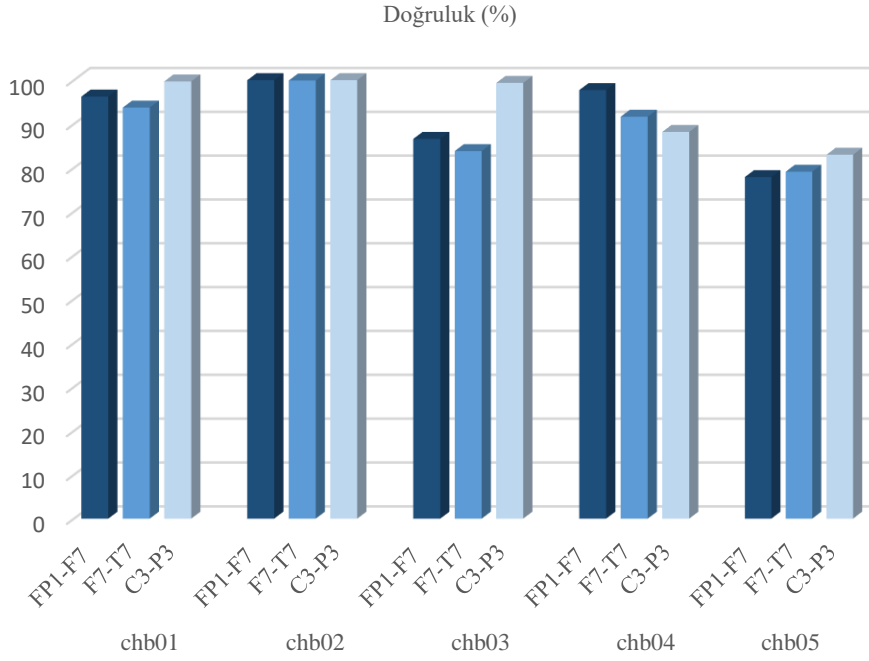
Tablo 1. Beş vakanın üç ayrı kanal için sınıflandırma performansları

Vaka	Kanal	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Doğruluk (%)
chb01	FP1-F7	97.38	95.10	96.25 ± 0.64
	F7-T7	92.50	94.99	93.75 ± 0.85
	C3-P3	99.66	99.77	99.72 ± 0.20
chb02	FP1-F7	100.0	100.0	100.0 ± 0.00
	F7-T7	100.0	99.86	99.93 ± 0.14
	C3-P3	100.0	100.0	100.0 ± 0.00
chb03	FP1-F7	86.66	86.52	86.60 ± 1.21
	F7-T7	86.24	81.38	83.82 ± 2.25
	C3-P3	100.0	98.75	99.38 ± 0.64
chb04	FP1-F7	95.37	99.81	97.73 ± 0.90
	F7-T7	87.22	96.11	91.67 ± 0.96
	C3-P3	94.81	81.57	88.19 ± 1.25
chb05	FP1-F7	85.76	70.00	77.88 ± 1.15
	F7-T7	84.79	73.40	79.10 ± 1.25
	C3-P3	93.75	72.22	82.99 ± 2.22

Tablo 2’de görüldüğü gibi, en yüksek ortalama doğruluk %94.05 ile C3-P3 kanalında elde edilmiştir. Diğer iki kanalında ortalama doğruluk değerlerine bakıldığında zaman bu kanallarında preiktal/interiktal ayırımında etkili bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Şekil 5’te vakaların doğruluk değerleri grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Her üç kanalın ortalama performans değerleri

Ölçütler	FP1-F7	F7-T7	C3-P3
Duyarlılık (%)	93.03 ± 6.45	90.15 ± 6.22	97.64 ± 3.10
Özgüllük (%)	90.28 ± 12.59	89.15 ± 11.24	90.46 ± 12.83
Doğruluk (%)	91.69 ± 9.26	89.65 ± 8.24	94.05 ± 7.95



Şekil 5. Beş vakanın her üç kanal için elde edilen doğruluk değerleri

Preiktal/interiktal aktivitelerin sınıflandırılması üzerine geleneksel makine öğrenme tekniklerinin veya yeni teknolojilerin kullanıldığı bazı çalışmalar vardır. Bu çalışmalarda, aşırı öğrenme makineleri (ELM) [24], destek vektör makineleri (DVM) [25], yapay sinir ağları [26] gibi çeşitli sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. Tablo 3’te, CHB-MIT veri seti kullanılarak gerçekleştirilen preiktal/interiktal sınıflandırması üzerine yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3. Preiktal ve interiktal aktivite sınıflandırılması üzerine yapılan önceki çalışmalar

Yazarlar	Metotlar	Veri seti	Sonuçlar
Cho et al. [5] (2017)	PLV (Faz kilitleme değeri), DVM	CHB-MIT	Doğruluk: 83.17 Duyarlılık: 82.44 Özgüllük: 82.76
Tsiouris vd. [2] (2017)	Yerel ve global özellikler, DVM	CHB-MIT	Doğruluk: --- Duyarlılık: 85.75 Özgüllük: 85.75
Mengie et al. [27] (2018)	ESA	CHB-MIT	Doğruluk: 95.60 Duyarlılık: 94.20 Özgüllük: 96.60
Önerilen Yöntem	Kapsül ağları	CHB-MIT	Doğruluk: 94.05 Duyarlılık: 97.64 Özgüllük: 90.46

Tablo 3’te görüldüğü gibi kapsül ağları ile iyi bir sınıflandırma başarımına ulaşılmıştır. Önceki çalışmalarda belirtildiği gibi [2] preiktal durum nöbet başlangıcından iki saat öncesine kadar uzanan geniş bir aralığı kapsamaktadır. Elde edilen sonuçlar bu görüşü desteklemektedir. Bu çalışmanın kısıtlarından biri, veri kümesinin yarım saatlik EEG sinyallerinden oluşmasıdır. Preiktal bölgenin nöbet başlangıcından iki saat öncesine kadar uzandığı düşünülürse, incelenen kısım daha geniş bir aralığa yayılabilir. Fakat, aralığın artırılmasının ciddi bir donanımsal kaynak ihtiyacı ve işlem yükü getireceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmanın diğer bir kısıtlaması ise, görüntülerin kapsül ağlarına 64x64 boyutunda verilmesidir. Resim boyutunun küçülmesi görüntüdeki birçok önemli bilginin kaybolmasına neden olabilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, EEG sinyal bileşenlerinden preiktal ve interiktal aktivitelerin kapsül ağları kullanılarak sınıflandırıldığı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu çalışma ile literatürde yeni bir sinir ağı olan kapsül ağlarının EEG sinyallerinden elde edilen spektrogram görüntülerini sınıflandırma yeteneği incelenmiştir. Sınıflandırma işleminin sonucu, yapılan ön çalışma için tatmin edicidir. Ayrıca, bu çalışmanın diğer bir sonucu, preiktal bölgenin nöbet başlangıcından önceki 30dk da bitecek şekilde seçilmesi ile bu bölgenin, oluşabilecek herhangi bir nöbet için önemli bilgiler içerdiğini göstermektedir. Meydana gelebilecek bir nöbetin önceden tahmin edilmesi hekimlerin hastaya daha etkili bir şekilde müdahale edebilmesi sağlayacaktır. Bu nedenle, kapsül ağlarının, spektrogram görüntülerini sınıflandırma başarımının daha net bir şekilde ortaya konulabilmesi için daha büyük veri setleri ile eğitilmesine ihtiyaç vardır. Büyük veri seti kullanılarak yapılacak bir eğitim, sistemin geçerliliği ve güvenilirliğini önemli ölçüde artıracaktır.

Kaynaklar

- [1] Hussain L. Detecting epileptic seizure with different feature extracting strategies using robust machine learning classification techniques by applying advance parameter optimization approach. *Cogn Neurodyn* 2018;12 (3):271–294.
- [2] Tsiouris KM, Pezoulas VC, Koutsouris DD, Zervakis M, Fotiadis DI. Discrimination of Preictal and Interictal Brain States from Long-Term EEG Data. 2017 IEEE 30th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). IEEE, pp 318–323
- [3] Yinxia L, Weidong Z, Qi Y, Shuangshuang C. Automatic Seizure Detection Using Wavelet Transform and SVM in Long-Term Intracranial EEG. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2012;20 (6):749–755.
- [4] Zhang Z, Parhi KK. Low-Complexity Seizure Prediction From iEEG/sEEG Using Spectral Power and Ratios of Spectral Power. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst* 2016;10 (3):693–706.
- [5] Cho D, Min B, Kim J, Lee B. EEG-Based Prediction of Epileptic Seizures Using Phase Synchronization Elicited from Noise-Assisted Multivariate Empirical Mode Decomposition. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2017;25 (8):1309–1318.
- [6] Ramgopal S, Thome-Souza S, Jackson M, Kadish NE, Sánchez Fernández I, Klehm J, Bosl W, Reinsberger C, Schachter S, Loddenkemper T. Seizure detection, seizure prediction, and closed-loop warning systems in epilepsy. *Epilepsy Behav* 2014;37 291–307.
- [7] Alotaiby TN, Alshebeili SA, Alshawi T, Ahmad I, Abd El-Samie FE. EEG seizure detection and prediction algorithms: a survey. *EURASIP J Adv Signal Process* 2014;2014 (1):183.
- [8] Tan JH, Hagiwara Y, Pang W, Lim I, Oh SL, Adam M, Tan RS, Chen M, Acharya UR. Application of stacked convolutional and long short-term memory network for accurate identification of CAD ECG signals. *Comput Biol Med* 2018;94 19–26.
- [9] Arslan Tuncer S, Akılotu B, Toraman S. A deep learning-based decision support system for diagnosis of OSAS using PTT signals. *Med Hypotheses*. doi: 10.1016/j.mehy.2019.03.026
- [10] Yıldırım O, Baloglu UB, Tan R-S, Ciaccio EJ, Acharya UR. A new approach for arrhythmia classification using deep coded features and LSTM networks. *Comput Methods Programs Biomed* 2019;176 121–133.
- [11] Acharya UR, Oh SL, Hagiwara Y, Tan JH, Adeli H, Subha DP. Automated EEG-based screening of depression using deep convolutional neural network. *Comput Methods Programs Biomed* 2018;161 103–113.
- [12] Giri EP, Fanany MI, Arymurthy AM, Wijaya SK. Ischemic stroke identification based on EEG and EOG using ID convolutional neural network and batch normalization. 2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS). IEEE, pp 484–491
- [13] Lotte F, Congedo M, Lécuyer A, Lamarche F, Arnaldi B. A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces. *J Neural Eng* 2007;4 (2):R1–R13.
- [14] Acharya UR, Hagiwara Y, Adeli H. Automated seizure prediction. *Epilepsy Behav* 2018;88 251–261.
- [15] Yıldırım Ö, Baloglu UB, Acharya UR. A deep convolutional neural network model for automated identification of abnormal EEG signals. *Neural Comput. Appl.*
- [16] Toraman S, Arslan Tuncer S, Balgetir F. Is it possible to detect cerebral dominance via EEG signals by using deeplearning? *Med Hypotheses* 2019;131

- [17] Ullah I, Hussain M, Qazi E-H, Aboalsamh H. An automated system for epilepsy detection using EEG brain signals based on deep learning approach. *Expert Syst Appl* 2018;107 61–71.
- [18] Chao H, Dong L, Liu Y, Lu B. Emotion recognition from multiband EEG signals using CapsNet. *Sensors* 2019;19,2212.
- [19] Ha KW, Jeong JW. Motor imagery EEG classification using capsule networks. *Sensors* 2019; 19(13).
- [20] CHB-mit scalp EEG database, Physionet.org, [Online]. Available:<https://www.physionet.org/pn6/chbmit>. (2010) (accessed 04 April 2019)
- [21] Mukhometzianov R, Carrillo J. CapsNet comparative performance evaluation for image classification. arXiv:1805.11195. arXiv.org
- [22] Beser F, Kizrak MA, Bolat B, Yildirim T. Recognition of sign language using capsule networks. 26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2018. pp 1–4
- [23] Sabour S, Frosst N, Hinton GE. Dynamic routing between capsules. *Advances in Neural Information Processing Systems*
- [24] Song Y, Zhang J. Discriminating preictal and interictal brain states in intracranial EEG by sample entropy and extreme learning machine. *J Neurosci Methods* 2016;257 45–54.
- [25] Lin L-C, Chen SC-J, Chiang C-T, Wu H-C, Yang R-C, Ouyang C-S. Classification Preictal and Interictal Stages via Integrating Interchannel and Time-Domain Analysis of EEG Features. *Clin EEG Neurosci* 2017;48 (2):139–145.
- [26] Bou Assi E, Gagliano L, Rihana S, Nguyen DK, Sawan M. Bispectrum Features and Multilayer Perceptron Classifier to Enhance Seizure Prediction. *Sci Rep* 2018;8 (1):15491.
- [27] Zhou M, Tian C, Cao R, Wang B, Niu Y, Hu T, Guo H, Xiang J. Epileptic Seizure Detection Based on EEG Signals and CNN. *Front Neuroinform* 2018;12

Kısıntılı Sulama Uygulamalarının Ayçiçeği Bitkisinin (*Helianthus annuus L.*) Tane Verimi ve Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) Üzerine Etkileri

Ali Beyhan Uçak^{1*}, M. Cüneyt Bağdatlı², Hasan Değirmenci³

¹Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye

²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye

³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Müh. Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*¹alibeyhanucak@gmail.com, ²cuneytbagdatli@gmail.com, ³degirmanci@ksu.edu.tr

(Geliş/Received: 24/09/2017;

Kabul/Accepted: 22/01/2020)

Öz: Bu araştırma Siirt iklim koşullarında damla sulama yöntemiyle kısıntılı sulama uygulamalarının ayçiçeği bitkisinde verim ve verim parametreleri ile bitki su stres indeksi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla bir tarla çalışması olarak yapılmıştır. Araştırmada sulama konuları; sulama suyu ihtiyacının tam olarak karşılandığı (%100) (I₁₀₀) kontrol konusu ve tam sulamadan %80 (I₂₀), %60 (I₄₀), %40 (I₆₀) ve %20 (I₈₀) oranında kısıntı yapılan dört sulama konusu ve hiç sulama suyu uygulanmayan I₀ sulama konularından oluşturulmuştur. Yapılan istatistik analiz sonucunda verim ve verim parametreleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde ilişkiler saptanmıştır. Sulama konularının verim ve verim bileşenleri üzerine etkisi %1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Uygulanan su kısıntısına ve iklim şartlarına bağlı olarak, ayçiçeği bitkisinin bitki su tüketimi, bitki su stres indeksi, klorofil ve verim değerleri önemli ölçüde etkilenmiştir. Vejetasyon süresi boyunca en yüksek CWSI (Bitki Su Stres İndeksi) değeri I₀ sulama konusunda 0.39 ve en düşük CWSI değeri tam sulanan I₁₀₀ sulama konusunda 0.19 olarak belirlenmiştir. Araştırmada ayçiçeği dane veriminin düşmeye başladığı, sulamadan önceki infrared termometre gözlemlerinden belirlenen eşik CWSI değeri 0.29 olarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre Siirt'te ayçiçeğinde kısıntılı sulama yapılması önerilmemekte veya kısıntı yapma zorunluluğu olduğu takdirde ise bunun vejetatif gelişme döneminde (çiçeklenme öncesinde) maksimum %20 oranında yapılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kısıntılı Sulama, Bitki su stres indeksi, Ayçiçeği

The Effects on Crop Water Stress Index(CWSI) and Grain Yields of Sunflower Plant (*Helianthus annuus L.*) of Deficit Irrigation Applications

Abstract: This research was conducted as a field study to determine effects on yield and yield parameters of sunflower plants and plant water stress index of deficit irrigation with drip irrigation applications of Siirt climate conditions. Irrigation issues in research; 1 full irrigation (I₁₀₀ control subject) and full irrigation 80% (I₂₀), 60% (I₄₀), 40% (I₆₀) and 20% (I₈₀) rate cuts made four irrigation and is formed from no irrigation water is not applied I₀. It made a statistically significant relationship between the yield and yield parameters were determined as a result of statistical analysis. Effect on yield and yield components of irrigation was significant at the 1% level and has been affected at different levels. Depending on the applied water shortages and climatic conditions, evapotranspiration of sunflower plants, plant water stress index, chlorophyll and yield is greatly affected. CWSI highest value during the vegetation period 0.39, I₀ the lowest value in the CWSI for irrigation is set at 0.19 in fully irrigated I₁₀₀. In the study of sunflower grain yield began to decline, the CWSI threshold value determined from the previous infrared thermometer observations from irrigation has been identified as 0.29. According to the study's results made it is not recommended to do or make cuts in Siirt deficit irrigation on sunflower must have if it is the vegetative stage (before flowering) is made up of 20% is recommended.

Key words: Deficit irrigation, Crop water stress index, Sunflower

1. Giriş

Ülkemizde toplam ayçiçeği ekim alanı 500-550 bin ha, üretim 725 bin ton ve ihtiyacımız 1 milyon ton civarındadır [1]. Ülkemizin toplam yağ gereksinimi 1.200-1.500 bin ton arasında görülmektedir [2]. Ancak Türkiye'nin yıllık ham yağ ithalatı ile yağlı tohum ithalatı her geçen yıl artmaktadır. 2003 yılı verilerine göre 853.540 ton bitkisel ham ve rafine yağ ve 1.401.623 ton yağlı tohum ithalatı yapılmıştır. 2001 yılında yağlı tohum işleyen fabrikaların birçoğunun kapanması sebebiyle ham yağ ithalatında önemli bir artış olmuştur [3].

* Sorumlu yazar: alibeyhanucak@gmail.com, Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0003-4344-2848, ²0000-0003-0276-443

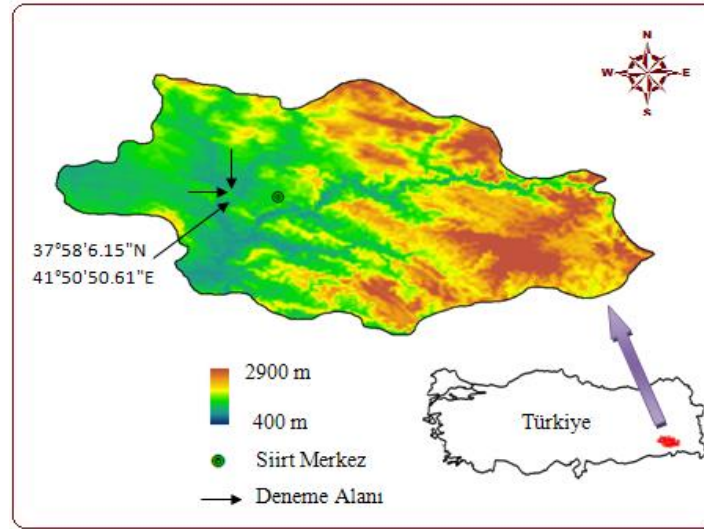
Ayçiçeği bitkisi genel olarak oluşturduğu güçlü kök sistemi nedeniyle kurağa dayanıklı olarak bilinmekte ve kuru koşullarda yetiştirilmektedir [4,5]. Ancak yağışlarla alınan su miktarı yeterli değilse, yüksek verim alınması için sulama yapmak gereklidir. Bitkinin büyüme dönemlerinde ortaya çıkan uzun süreli kuraklıklar tablanın küçülmesine, tabladaki tane sayısının azalmasına ve bunun sonucu olarak da tane veriminin düşmesine neden olmaktadır [6]. Güneydoğu bölgesinde genellikle yazlık olarak kuru koşullarda tarımı yapılan ayçiçeği bitkisinin son yıllarda üretimi artma yönünde bir eğilim göstermiştir. Ayçiçeği yağlı tohumlar içerisinde adaptasyonu en yüksek tür olup, çok farklı çevre şartlarına kolaylıkla uyum sağlamaktadır. Ancak Güneydoğu gibi yarı kurak iklim kuşağı içerisinde yer alan bölgelerimizde yağış rejiminin düzenli olmaması, düşen yağışında homojen bir dağılım göstermemesi diğer tarla bitkilerinde olduğu gibi ayçiçeği yetiştiriciliğinde bir risk oluşturmakta ve sulama verimi etkileyen en önemli parametrelerden birisi olmaktadır.

Bu çalışma orta oleik yağ asidi özelliklerine sahip ayçiçeği (P64LL62) genotipinin kısıntılı sulama uygulamaları altında, su kullanım randımanı ile su stresinin bitki su tüketimine ve verim üzerine etkilerini belirlemek ve yetiştirme sezonu boyunca kaç sulama uygulamasını yapılması gerektiğini tespit etmek amacıyla bir tarla çalışması olarak yürütülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Denemede bitki materyalini orta oleik yağ asidi özelliklerine sahip (P64LL62) ayçiçeği genotipi oluşturmuştur. Deneme, açık tarla koşullarında 2014 yılında Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme sahasında yürütülmüştür. Deneme alanının denizden ortalama yüksekliği 894 m olup, 37° 58' N enlemi ve 41° 50' E boylamlarında yer almaktadır. Araştırma alanının yeri ve konumu Şekil 1'de görülmektedir.



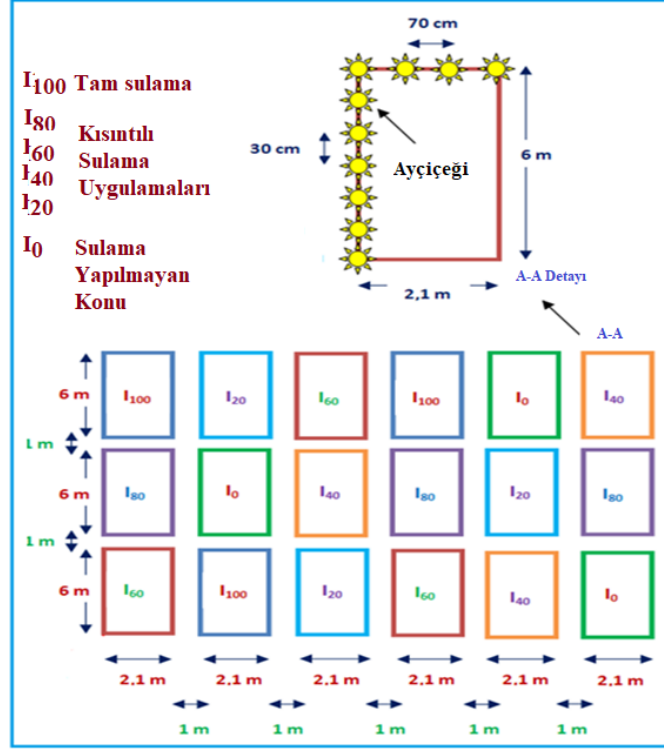
Şekil 1. Araştırma alanının yeri ve konumu

Siirt ilinde kara iklimi hüküm sürmekte olup, yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçmektedir. Yıllık yağış ortalaması 757 mm, sıcaklık ortalaması ise 16.1 °C'dir. Ancak yağış yıl boyunca düzenli bir dağılım göstermemekte ve ayçiçeği bitkisinin yetiştirme sezonu boyunca ise hemen hiç yağış düşmemektedir. Siirt lokasyonu deneme arazisi toprağının elektriksel iletkenliği düşük olup tuzluluk sorunu bulunmamaktadır, kireç oranının bitki yetiştiriciliği açısından sorun oluşturmadığı, fosfor içeriği düşük, potasyum içeriğinin yüksek ve organik madde oranının orta derecede bulunduğu killi bünyeli toprak yapısında olup, tarla kapasitesi (TK) derinlik cinsinden 397 mm, solma noktası (SN) 277 mm, hacim ağırlığı 1.43 gr cm⁻³ olarak hesaplanmıştır.

2.2 Yöntem

Deneme Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi arazisinde 11 Nisan 2014 tarihinde kurulmuştur. Parsel uzunluğu 6 m, parsel genişliği 2.1 m, sıra arası mesafe 70 cm ve sıra üzeri mesafe 30 cm olmak üzere, ekilen her bir parsel

alanı (0.7 m x 6 m x 4 sıra) 16.8 m² olarak planlanmıştır. Denemeler tesadüfi bloklarında bölünmüş parsel deneme desenine göre üç tekerrürlü olacak şekilde kurulmuş ve Şekil 2'de verilen plan doğrultusunda yürütülmüştür.



Şekil 2. Deneme uygulama planı

Çalışmada 45 kg da⁻¹ 20-20-0 kompoze gübre kullanılmıştır. Vejetasyon süresi boyunca, 4 sulama yapılmıştır. Sulama aralığı elverişli nemin %50'ye düştüğü 0-90 cm derinliğindeki toprak nem düzeyi olarak seçilmiştir. Deneme parsellerinin sulanması, damla sulama yöntemi ile yapılmıştır ve sulama suyu sayaçlardan geçirilerek uygulanmıştır. Sulama suyunun kalitesi C₂S₁ olarak saptanmıştır. Denemede kullanılan sulama suyu ayçiçeği bitkisinin sulanması açısından bir sorun oluşturmamaktadır.

Hasat, fizyolojik olumun tamamlandığı danedeki nem %10'a düştüğünde, her parsel kenarındaki ikişer sıra kenar tesiri olarak işlem dışı bırakılıp, orta iki sıradan el ile yapılmıştır. Deneme süresince, gerekli bakım işlemleri ve kültürel uygulamalar standart yöntemlere göre yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde, JUMP istatistik bilgisayar paket programı kullanılarak, varyans analizi ve F-kontrolü yapılmıştır. Ortalamalar LSD-Testi yapılarak karşılaştırılmıştır.

2.2.1. Bitki su stresi indeksi (CWSI) ve klorofil içeriği

Bitki su stresi indeksi (CWSI) araştırmacıların önerdiği ampirik yöntemle belirlenmiştir [7]. Anılan yöntemle göre CWSI şu eşitlikle tanımlanmıştır.

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - LL}{UL - LL} \quad (1)$$

Eşitlikte; Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI), T_c, taç sıcaklığı (°C); T_a, hava sıcaklığı (°C); LL, bitkide su stresinin olmadığı alt sınır (bitkilerin potansiyel hızda transpirasyon yaptığı sınır değeri); UL, bitkilerin tamamen stres altında olduğu üst sınırı (bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan sınır değeri) göstermektedir.

Söz konusu deneme konuları için her sulama konusunda meydana gelen bitki su tüketimi 90 cm toprak derinliği göz önüne alınarak su dengesi esasına göre hesaplanmıştır. Bu amaçla söz konusu periyodun başlangıcındaki toprak nemi miktarına o periyot içerisinde varsa uygulanan sulama suyu miktarı ve etkili yağış değerleri eklenmiş, toplamdan periyot sonundaki toprak nemi değeri çıkarılmıştır [8].

Klorofil içeriği, yapraktaki klorofil miktarını dolaylı olarak ölçen, taşınabilir klorofil metre cihazı (Minolta SPAD- 502, Osaka, Japan) ile yapılmıştır.

Klorofil ölçümleri tüm yetiştirme sezonu boyunca farklı dönemlerde olmak üzere her parselde rastgele seçilen 10 adet ayçiçeği bitkisinin çiçek tablasına yakın yaprağında öğle 12:00- 14:00 saatleri arasında açık havada, rüzgarsız günlerde yapılmış ve her parsel için ölçülen 10 bitkinin yaprağına ilişkin değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ve o parselin yaprak klorofil içeriği spad cinsinden (cihazdan okunan değerler spad değeri olarak) saptanmıştır.

Anılan konuların yaprak klorofil içeriklerinin (spad) ifade edilmesinde 0-1 skalası kullanılmış olup bu değer 1'e yaklaştıkça klorofil içeriği artmakta, sıfıra 0'a yaklaştıkça azalmaktadır. Sulama suyu kullanım etkinliği ve sulama suyu etkinliğinin belirlenmesinde ise verim değeri uygulanan sulama suyu ve bitki su tüketimine bölünerek bulunmuştur.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Toprak nemi 0-90 cm toprak profili boyunca gravimetrik yöntemle takip edilmiş olup sulama programı haftada bir olacak şekilde planlanmış ve tüm konular belirlenen oranlarda aynı gün sulanmıştır. Toplam 4 kez sulama suyu uygulanmış ve toplam uygulanan sulama suyu miktarı deneme yılında sırasıyla en düşük I₂₀ sulama konusuna 125 mm, en yüksek I₁₀₀ sulama konusuna 624 mm ve anılan konuların bitki su tüketimi sırasıyla en az I₂₀ sulama konusunda 201 mm ve en fazla I₁₀₀ sulama konusunda 703 mm olarak belirlenmiştir. I₀ sulama konusuna ise can suyu hariç sulama suyu uygulaması yapılmamıştır. Sulama konularında bitki su tüketiminin kısmen de olsa yüksek bulunması ise deneme yılında ortalama ve maksimum sıcaklık değerlerinin uzun yıllara kıyasla kısmen de olsa daha yüksek olmasına bağlanabilir. Bir başka ifade ile daha fazla sulama suyu uygulanması ve evapotranspirasyonun yüksek olması ile ilişkilendirilebilir.

Hava sıcaklığının önceki yıllara göre daha yüksek nemin ise biraz daha düşük olması bitki su tüketimini artırıcı yönde etkide bulunduğu düşünülmektedir. Buna karşın tüm yörede verim bir önceki yıla göre kısmen de olsa azalmıştır. Araştırmada ekim işlemini takiben ve aynı gün topraktaki nem düzeyi homojen bir çıkış için (63 mm) tarla kapasitesine (TK) getirilinceye kadar ıslatılmıştır. Bitki su stres indeks okumalarının ilki deneme alanının %80'i bitki örtüsü ile kaplı olduğu dönemde, ekimden sonra 47. gün ve sonuncusu ise ekimden sonra 87. gün yapılmıştır. Diğer okumalar ise bu iki tarih arasında sulama öncesi ve sonrası olmak kaydıyla toplam altı farklı zamanda yapılmıştır.

3.1 Bazı verim parametreleri

Uygulanan sulama konularına ilişkin ayçiçeğinde belirlenen bazı verim parametrelerine ilişkin ortalama değerleri (LSD) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uygulanan sulama konularına ilişkin ayçiçeğinde belirlenen bazı verim parametreleri

Sulama konusu	Dane verimi (kg da ⁻¹) **	%50 çiçeklenme gün sayısı (gün) **	Bitki Boyu (cm) **	Tabla çapı (cm) **
I ₀	139.0d	46.0d	103.0d	11.5d
I ₂₀	139.9d	46.5d	103d	11.6d
I ₄₀	178.3c	47.3c	129c	12.9c
I ₆₀	260.7b	54.3b	131c	15.8b
I ₈₀	306.5a	62.0a	159b	17.0a
I ₁₀₀	310.7a	62.3a	170a	17.9a
C.V. (%)	3.38	1.5	1.81	3.54
LSD (0.05)	152.3	1.52	4.73	1

(*) Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemli değildir. LSD sınıflaması Prop **:%1 düzey

Çiçeklenme Gün Sayısı: Çıkıştan itibaren her bir parseldeki bitkilerin % 50 çiçeklenme (R.5.5) devresine ulaştığı zamandır. Parseldeki tüm bitkilerin durumu gözlemlenerek bitkilerin tamamına yakın kısmı bu devreye ulaştığı gün sayısı tespit edilmiştir. Ayçiçeği sulama konularında Çiçeklenme Gün Sayısı verilerine ilişkin ortalama değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de görülebileceği gibi çiçeklenme gün sayısı bakımından sulama konuları arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Denemeye alınan ayçiçeğinde sulama konularına göre en erken çiçeklenme gün sayısı I_0 ve I_{20} sulama konusunda 46.5 gün ve en geç çiçeklenme gün sayısı değeri I_{100} sulama konusunda 62.3 gün olarak belirlenmiştir. Çiçeklenme diğer sulama konularında ise bu iki tarih arasında değişmiştir. İlk çiçek açan sulama konusu ile son çiçek açan arasında 15 gün fark olduğu belirlenmiştir. Bu farkın kısıntılı sulama uygulamaları ile ilgili olduğu söylenebilir.

Bitki Boyu (cm): Örnek olarak alınan gelişmiş 5 bitkinin boyu toprak seviyesinden merkezi dalın sonunda bulunan çiçek tablasının altına kadar olan yükseklik cm olarak ölçülmüştür. Araştırmada sulama konularında bitki boyları 103 - 170 cm arasında değiştiği en yüksek bitki boyunun I_{100} sulama konusunda 170 cm, en düşük bitki boyu ise I_0 ve I_{20} sulama konusunda 103 cm olarak elde edilmiştir. Diğer sulama konularındaki bitki boyları ise bu iki değer arasında değişmiştir.

Tabla Çapı (cm): Örnek olarak alınan, gelişmiş 10 bitkinin tablalarına ait çaplar "cm" olarak ölçülmüştür. Araştırmada uygulanan sulama konularında tabla çapları 11.5 - 17.9 cm arasında değiştiği, en yüksek tabla çapının I_{100} sulama konusunda 17.9 cm, en düşük tabla çapının ise I_0 ve I_{20} sulama konusunda 11.5-11.6 cm olduğu saptanmıştır.

Tane verimi ($kg da^{-1}$): Ekilen her tekrürdeki dört sıradan orta iki sıra, kenardaki iki bitki hariç hasat edilmiş olup, parsel hasat alanı ($0.7 m \times 6.9 m$) $4.83 m^2$ dir. Harman edilen taneler temizlenip tartılmıştır. Tartım anında tanedeki nem oranı John Dickey nem ölçüm cihazı ile belirlenmiş ve % 10 neme göre hesaplanarak parsel verimi ve dekara verim bulunmuştur. Ayçiçeği sulama konularında tohum verimi ($kg da^{-1}$) verilerine ilişkin ortalama değerler Çizelge 1'de sunulmuştur. Araştırmada, farklı sulama uygulamalarında tohum verimleri $310.7 kg da^{-1}$ - $139.9 kg da^{-1}$ arasında değiştiği en yüksek tohum veriminin I_{100} sulama konusunda $310.7 kg da^{-1}$, en düşük tohum veriminin ise I_0 sulama konusunda $139.0 kg da^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar ayçiçeği su-verim ilişkileri üzerine yaptıkları çalışmada tane verimini çalışmanın 1.yılında $80-233.20 kg da^{-1}$, ikinci yılında $85.35-273.38 kg da^{-1}$ olarak bulmuşlardır [6].

Bu çalışmadan elde edilen bulgular ile anılan araştırmacıların bulguları arasında kısmen de olsa farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkları iklim, toprak, çeşit ve uygulanan sulama programına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Bitkinin büyüme periyotlarında ortaya çıkan uzun süreli kuraklıklar tablaların küçülmesine, tabladaki dane sayısının azalmasına, bunun sonucu olarak da dane veriminin düşmesine neden olmaktadır [9,10]. Ayçiçeği özellikle çiçeklenme periyodunda topraktaki nem eksikliğine karşı oldukça duyarlıdır. Sadece bu periyotta uygulanan sulama suyu bile dane ve yağ verimini önemli düzeyde arttırmaktadır [11,12].

Çiçeklenme ya da toplam vejetatif gelişme periyodunda su kısıntısı yapılması, başka bir deyişle bitkinin topraktaki nem eksikliğinden kaynaklanan gerilime girmesi dane ve yağ veriminde önemli düzeyde azalmalara neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, tüm büyüme mevsimi boyunca % 25 düzeyinde yada yalnız başına erken vejetatif gelişme, geç vejetatif gelişme ve dane oluşumu periyotlarından birinde su kısıntısı uygulanması durumunda dane ve yağ verimindeki azalma daha az olmaktadır [6]. Araştırmacılar araştırmalarında yağ verimi ve diğer tüm verim öğeleri arasında, yapılan regresyon analizleri sonucunda istatistikî açıdan önemli ilişkilerin olduğunu ortaya koymuştur [13].

En yüksek regresyon katsayısı beklenildiği gibi, tane verimiyle olmuş ve bu öğeyi bitki boyu, 1000 dane ağırlığı ve tabla çapı takip etmiştir. Yağ oranıyla yağ verimi regresyon katsayısının, araştırmada en düşük değerlerinden biri olarak hesaplanması yağ veriminin oluşumunda tane veriminin daha belirleyici rol oynadığını belirlemiştir.

3.2. Sulama suyu kullanım etkinliği

Kısıntılı sulama konularına ilişkin hesaplanan bitki su stres indeksi, klorofil içeriği, sulama suyu miktarları ile evapotranspirasyon, WUE ve IWUE değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

I_0 'ı hariç tutulursa eğer, I_{20} sulama konusu sulama suyu randımanı ve sulama suyu kullanımı etkinliği açısından sırasıyla 0.70 ve $1.12 kg m^{-3}$ değeriyle, sulama konularının sulama suyu randımanı ve sulama suyu kullanımı etkinliği genel ortalaması olan 0.56 ve 0.73 değerlerinin yukarisındadır.

Buradan I_{20} sulama konusunun diğer konulara kıyasla sulama suyu kullanım etkinliğinin optimum düzeyde olduğu söylenebilir. Uygulanan sulama suyu arttıkça sulama suyu kullanım etkinlik değerinde azalma yönünde bir eğilim belirlenmiştir.

Tablo 2. Kısıntılı sulama konularına ilişkin hesaplanan bitki su stres indeksi, klorofil içeriği, sulama, evapotranspirasyon, WUE ve IWUE değerleri

Sulama Konusu	Bitki su stres indeksi (CWSI)	Klorofil içeriği (spad)	Sulama suyu (mm)	ET (mm)	WUE (kg m ⁻³)	IWUE (kg m ⁻³)
I ₀	0.39	36	66	91	2.10	1.52
I ₂₀	0.39	36	125	201	0.70	1.12
I ₄₀	0.36	39	250	331	0.54	0.71
I ₆₀	0.31	41	375	459	0.57	0.70
I ₈₀	0.24	44	499	588	0.52	0.62
I ₁₀₀	0.19	48	624	703	0.44	0.50

Araştırmacı Çukurova koşullarında PRD 50 konusunda deneme yıllarında en yüksek su kullanım (WUE: 1.0 kg m⁻³) ve sulama suyu kullanım randımanı (IWUE: 1.4 kg m⁻³) değerini elde etmiştir [14]. Başka bir çalışmada 0.75 ile 1.62 kg m⁻³ bulunmuş iken diğer bir araştırmada ise 1.07-1.43 kg m⁻³ bulunmuştur [15,16]. Farklı bölgelerde yürütülen çalışmalar sonucunda elde edilen değerler ile bu çalışmada belirlenen değerler arasında kısmen de olsa farklılık bulunmaktadır.

Aynı bitkinin farklı bölgelerdeki mevsimlik sulama suyu kullanım etkinliği ve su kullanım etkinliği değerleri arasında gözlenen farklılığın; ekim zamanı, iklim etmeni, toprak özellikleri, sulama programı ve kullanılan çeşide bağlı olarak değiştiğinin söylenmesi olasıdır.

Araştırmada, farklı sulama uygulamalarında bitki su stres indeksi (CWSI) değerlerinin 0.19-0.39 arasında değiştiği, en yüksek CWSI değerinin I₀ ve I₂₀ sulama konusunda 0.39 olduğu görülmüştür. En düşük CWSI değerinin ise I₁₀₀ sulama konusunda 0.19 olduğu saptanmıştır. Klorofil içeriği değerlerinin ise 36 spad ile 49 spad arasında değiştiği en yüksek klorofil içeriği değerinin I₁₀₀ sulama konusunda 49 spad ve en düşük klorofil içeriği değeri ise I₀ ve I₂₀ sulama konusunda 36 spad olarak bulunmuştur.

Klorofil içeriği değerlerinin sulama programına bağlı olarak değiştiği kısıntı uygulanan konularda düşük, tam sulanan konuda ise diğerlerine kıyasla daha yüksek olduğunu söylenebilir. CWSI ve klorofil içeriği değerlerinin iklime ve araştırmada kullanılan çeşide göre değişebileceği belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada Siirt koşullarında ayçiçeğinde kısıntılı sulama uygulamalarının tane verimi, bitki boyu, tabla çapı, çiçeklenme gün sayısı (gün), yaprak klorofil içeriği (spad), bitki su stres indeksi, bitki su tüketimi üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Kısıntılı sulama uygulamalarının, bitkilerde fenolojik olarak değişikliklere neden olduğu söylenebilir.

Tam sulanan konuya kıyasla kısıntı uygulanan sulama konularında bitki boyu, tabla çapı küçülmüş bunun bir sonucu olarak tabladaki tane sayısı azalmış ve tane verimi daha az gerçekleşmiştir. Tam sulama (I₁₀₀) yapılan konuya kıyasla kısıntı uygulanan I₂₀ sulama konusunda yaklaşık %19 oranında daha az bir verim elde edilmiştir.

Bu araştırma sonuçlarına göre Siirt koşullarındaki ayçiçeği yetiştiriciliğinde vejetatif gelişme, tabla bağlama, çiçeklenme dönemi ve dane dolum dönemi olmak üzere 4 sulama uygulaması yapılması önerilmektedir. Siirt koşullarında ayçiçeğinde kısıntılı sulama yapılması önerilmemektedir. Eğer kısıntı yapmak zorunluluğu var ise bunun vejetatif gelişme döneminde (çiçeklenme öncesinde) maksimum %20 oranında yapılması öngörülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 9-11 Haziran 2015 tarihleri arasında I. Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresinde sözlü olarak sunulmuş ve özet olarak bildiri kitabında basılmıştır.

Kaynaklar

- [1] TUIK. Statistics of crop production. Available at www.tuik.gov.tr (Accessed: 15 August 2014), 2013.
- [2] Kolsancı Ö, Gür A, Başalma D, Kaya MD, İşler, N, Yağlı tohumlu bitkiler üretimi. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 3-7 Ocak 2005 Ankara,409-429, 2005.
- [3] Kaya Y, Evcı G, Pekcan V, Gücer, T, ve Durak S. Farklı çevre koşullarında ayçiçeğinde (*Helianthus annuus L.*) tane verimi ve diğer verim öğeleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(1), 37-44. 2006.

- [4] Gürbüz B. Kaya MD. Demirtola A. Ayçiçeği Tarımı. Hasad Yayıncılık Ltd. Şti. ISBN-975-8377-23-X. Ege Basım, 2003.
- [5] İlbaş Aİ. Yıldırım B. Arslan B. Dede Ö. Günel E. Van Ekolojik Koşullarında Bazı Ayçiçeği (*Helianthus annuus L.*) Çeşitlerinin Verimi ve Önemli Tarımsal Özellikleri Üzerinde Bir Araştırma. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 6 (3),189-203, 1996.
- [6] Kadayıfçı A.Yıldırım O. Ayçiçeğinin Su-Verim İlişkileri. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi, C:24, No:2, Ankara, 2000.
- [7] Idso SB. Jackson RD. Pinter PJ. Jr. Reginato RJ. and Hatfield JL. Normalizing the stres – degree – day parameter for environmental variability. Agricultural Meteorology,24,45-55, 1982
- [8] Jensen ME. Burman RD. and Allen RG. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No: 70. New York. s. 332, 1990.
- [9] Er C. Ayçiçeği Tarımı. Markan Matbaacılık A.Y. İstanbul, 1983.
- [10] Erdem T. and Delibaş L. Yield Response of Sunflower to Water Stres Under Tekirdag Conditions. Helia, 26(38),149-158, 2003.
- [11] Browne CL. Effect of Date of Final Irrigation on Yield and Yield Components of Sunflower in a Semiarid Environment. Dep. Of Agric.. Leaton. N.S.W. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 17(86), 482-488, 1977.
- [12] Unger PW. Irrigation Effect on Sunflower Growth Development and Water Use. USDA Conservation and Production Research Laboratory. Bushland Field Crops Research,7:3,181-194, 1983.
- [13] Kaya Y, Evcı G. Pekcan V. Gücer T. Yılmaz İM. Ayçiçeğinde yağ verimi ve Bazı verim öğeleri arasında ilişkilerin Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 15 (4), 310-318, 2009.
- [14] Sezen SM. Yazar A. Tekin S. Kapur B. Konuşkan D. Çolak Y. Eker S. Akdeniz İklim Kuşağında Kısmi Kök Kuruluğu ve Kısıntılı Sulama Stratejilerinin Ayçiçeği Tane Verimi ve Yağ Kalitesine Etkileri. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24-25 Mayıs, İzmir,1-8, 2012.
- [15] Kuşçu H. Bursa Koşullarında Yetiştirilen Mısır Bitkisinde Kısıntılı Sulamanın Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Bursa, 2010.
- [16] Öktem A. Effect of different irrigation intervals to drip irrigated dent corn (*Zea mays L.*) water-yield relationship. Pakistan Journal of Biological Sciences, 9(8),1476-1481, 2006.

Trakeal Tüp ve Laringeal Maske için Kaf Basıncı Ölçer Cihaz Tasarımı

Hakan ESER¹, Kübra EVREN ŞAHİN², Savaş ŞAHİN^{3*},

¹ Biyomedikal Teknolojileri Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye

² İzmir Dr. Behçet Uz Çocuk Hastalıkları ve Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İzmir, Türkiye

³ Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye
¹hakaneser29@hotmail.com ²kubraevren@gmail.com ^{3*}sahin.savas@yahoo.com

(Geliş/Received: 12/03/2019;

Kabul/Accepted: 11/02/2020)

Öz: Bu çalışma trakeal tüp ve laringeal maske için kaf basıncı ölçmeyi sağlayan taşınabilir medikal cihaz tasarımı ve gerçekleştirmesini sunar. Geliştirilen cihaz, ameliyathane ve yoğun bakımlarda kullanılan pilot balon içindeki hava basıncının izlenmesini sağlayan taşınabilir bir medikal cihazdır. Trakeal tüp veya laringeal maske içinde ölçülen kaf basınç değerleri cihaz üzerinde bulunan ekrana ve hafıza kartına eş zamanlı aktarılabilir. Kaf pilot balonu içindeki hava basıncı izin verilen basınç değerleri aralığının dışına çıktığında sesli uyarı verir. Geliştirilen cihaz mikro denetleyici tabanlı bir gömülü sistem kartı ve baro-metrik basınç-ölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Basınç ölçümleri in-vitro olarak bebek ve çocuk fantomlar üzerinde test edilmiş, alınan gerçek verilerle istatistik analizi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Endotrakeal tüp, laringeal maske, kaf basıncı ölçme, elektronik cihaz.

Cuff Pressure Gauge Device Design for Tracheal Tube and Laryngeal Mask

Abstract: This study represents the design and implementation of a portable medical device that provides cuff pressure measurement for the tracheal tube and laryngeal mask. The developed device is a portable medical device for monitoring the air pressure in the pilot balloon used in operating rooms and intensive care units. The cuff pressure values measured in the tracheal tube or laryngeal mask can be transferred simultaneously to the display and memory card on the device. It gives an audible warning when the air pressure inside the cuff pilot balloon is outside the allowable range of pressure values. The device was developed using an embedded microcontroller based system board and barometric pressure-gauge. Pressure measurements were tested on infant and child phantoms in-vitro and statistical analysis was performed with the actual data obtained.

Key words: Endotracheal tube, laryngeal mask, cuff pressure measurement, electronics device.

1. Giriş

Laringeal maske, hipofarenksin şekline uygun olan ve larinksini kapatan minyatür bir silikon maske ile birleşmiş olan silikon bir tüpten oluşur. Trakeal tüp ile farkları sadece uç kısımlarında bulunmaktadır. Her ikisi içinde kanalın çevresinde şişirilebilir eliptik hava yastığı mevcuttur ve basınçlı bir balon olan kaf basıncı olarak adlandırılan hava yastığı kontrol ile edilirler. Yoğun bakım izlemleri ve genel anestezi uygulamaları süresince trakeal tüp ve laringeal maske kullanımı ile hava yolunun açık kalması sağlanırken, uygun kaf basıncı sağlanmadığında komplikasyonlara neden olduğu ilgili bilimsel yazında rapor edilmiştir [1-5]. Trakeal tüpte kaf basıncı ölçümü ve modifiyeli Mallinkrodt Hi-Lo jet havalandırma düzenleyici [1], kaf basıncı şırınga şişirme yöntemi ve kaf kontrolörü ile karşılaştırma [2], genel anestezi esnasında elle ve otomatik yapılan kaf basınç kontrolü karşılaştırma [3] çalışmalarında düzenli olarak sürekli ölçüm ve kaf kontrolünün önemi sunulmuştur. Kaf basıncı ile ilgili komplikasyonların değerlendirilmesi ve çözüm önerilerinde endotrakeal entübasyon deneme sayısının az olması ve kaf basıncının sürekli ölçülerek izlenmesi önerilmiştir [4, 5]. Trakeal tüp ve laringeal maske kullanımında yumuşak doku perfüzyonunu azaltmamak ve dokuda hasar oluşturmamak için kafın uygun olan en düşük basınçta olması sağlanır. Trakeal tüp ve laringeal maske kaf basıncı değeri 10-35mmHg olarak verilmiştir [6], ayrıca bazı çalışmalarda en yüksek değerin 80-100mmHg olabileceği belirtilmiştir [7].

Trakeal tüp pilot balonunun elle yapılan balon kontrol uygulamalarının kaf basıncını düşürdüğü belirtilmiştir [8]. Kaf basıncının elektronik cihazla ölçüldüğü randomize kontrollü çapraz bir çalışmada,

* Sorumlu yazar: sahin.savas@yahoo.com. Yazarların ORCID Numaraları: ¹ 0000-0002-4224-9643, ² 0000-0003-0284-0241, ³ 0000-0003-2065-6907

değerlendirilen kaf basınç ölçerin kritik yoğun bakım hastalarında 48 saat içinde sürekli kaf basıncının kontrolünde etkili olduğu rapor edilmiştir [9]. Anestezi altında elektronik cihazla izlenen kaf basınç ölçümlerinin operasyon esnasında daha uygun olacağı gösterilmiştir [10]. Kaf basıncı ölçümü için ticari olarak satılan elektronik cihazlar maliyet açısından gelişmekte olan ülkeler için nadir tercih edilen cihazlardır [11]. Bu nedenle, alternatif bir yöntem olan geleneksel invazif kan basınç monitör dönüştürücü ile endotrakeal tüp kaf basıncı ölçme tekniği kullanılabilir [12, 13]. Ancak hasta monitöründe kan basıncı ölçme özelliği kaf basıncı ölçmek için kullanıldığında, eş zamanlı olarak kan basıncı ölçme seçeneği kullanılamamaktadır.

Bu çalışmada, mikro-kontrolör tabanlı elektronik kart geliştirilerek, endotrakeal tüp ve laringeal maske için kaf basıncı ölçme cihazı düşük maliyetli olarak tasarlanmıştır. Cihaz üzerindeki mini-LCD ekran üzerinden ve veri iletişim seçenekleri ile bilgisayar veya bir mobil cihaza veri aktarılabilir. Oluşan fazla basıncı düşürmek amacıyla sesli uyarı sistemi ile tahliye vanası kullanılabilir. Ölçülen veriler in-vitro olarak alınmış ve cihaz test edilmiştir.

Çalışmanın geri kalan bölümleri sırasıyla dört bölüm olarak sunulmuştur. İkinci bölümde kaf basıncı tanımı ve ölçülmesi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde gerçek zamanlı veri ölçümü yapan mikro-kontrolör tabanlı elektronik cihaz tasarımı sunulmuştur. Dördüncü bölümde tasarlanan sistem in-vitro olarak test edilmiş, istatistiksel analizle sonuçlar anlatılmıştır. Son bölümde, cihazın tasarımında elde edilen sonuçlar ve olası gelecek çalışmalar değerlendirilmiştir.

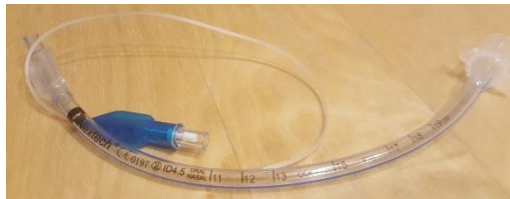
2. Kaf Basıncı ve Ölçümü

Trakeal tüp ve laringeal maske kullanımında kaf basıncı değerlerinin çocuk ve yetişkinler için uygun değerlerde ayarlanması ve düzenli olarak kontrol edilip hasta hava yolunun açık kalması önemlidir [14-16]. Yapısal olarak laringeal maske hipofarenksin yapısına uygun ve larinksini kapatan bir silikon maske ile belli bir açıda silikon tüple birleştirilmiş yapıdadır (Şekil 1). Maske çevresinde bulunan laringeal maske kafı basıncı pilot balonu ile kontrol edilir. Basınç değerinin 50-70 cmH_2O aralığında olması sağlanır [14-16]. Laringeal maske, tek kullanımlık olup, yetişkin ve çocuk için farklı boyutları bulunmaktadır.



Şekil 1. Tipik bir Laringeal maske

Benzer bir yapıda olan trakeal tüp kafı, trakeal tüp çevresinde bulunur ve pilot balonu ile bu kaf basıncı kontrol edilir (Şekil 2). Sırasıyla çocuk ve yetişkinlerde 20-30 cmH_2O basınç değerinin geçilmemesi istenir [13-16]. Trakeal tüpler tek kullanımlık olup, yetişkin ve çocuklar için farklı boyutlardadırlar.



Şekil 2. Tipik bir trakeal tüp

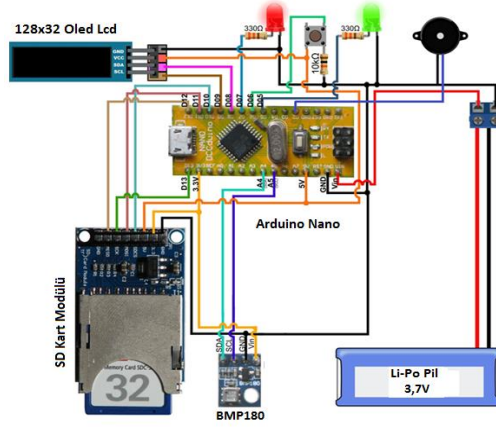
Trakeal tüp ve laringeal maske uygulamalarında olası kaf basıncının düşmesi ve buna bağlı olarak hastanın yeterli havalanmaması problemini ortadan kaldırmak için pilot basıncın sürekli takip edilmesi gerekmektedir. Elle veya elektronik cihazla kaf basıncı ölçme işlemi, istenen değerlerde yeşille boyanmış ekran üzerinde olması veya belirli değerin dışına çıkması durumunda ikaz vermesi sağlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Elektronik ve elle kaf kontrol cihazları [16]

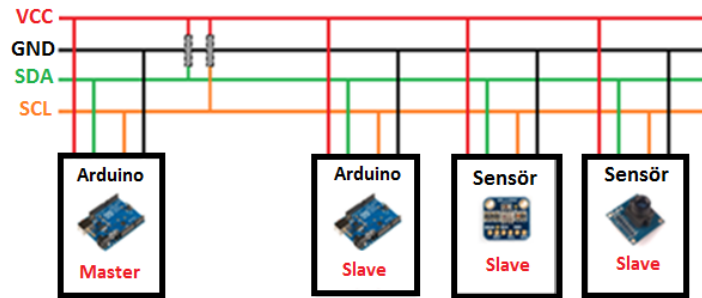
3. Kaf Basıncı Ölçme Cihazının Gerçekleşmesi

Bu çalışma kapsamında tasarlanan kaf basıncı ölçme cihazı, basınç algılayıcı ve gömülü sistem tabanlı elektronik bir cihaz olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Mikro-kontroller tabanlı bir Arduino gömülü sistem kartı [17] ve çevre birimlerine bağlı hafıza ara birimi, oled ekran, BMP180 basınç algılayıcı [18], butonlar, uyarı zili ve ledlerle tasarlanmıştır.



Şekil 4. Tasarlanan cihazın sadeleştirilmiş devre şeması

Cihaz birden fazla Arduino kart ve uç birimlerle haberleşmek için kullanılan seri haberleşme protokolü Inter Integrated Circuit (I2C) ile tasarlanmıştır. Kısa mesafe ve düşük veri aktarım hızı tercih edilen yerlerde kullanılan bir protokoldür. Haberleşme için kullanılan veri hatları Şekil 5’de verilmiştir. Veri aktarımı için Serial Data Line (SDA) ve Serial Clock (SCL) bağlantıları kullanılmıştır.



Şekil 5. I2C haberleşme protokolü bağlantısı

Tasarlanan sistemde ölçülen basınç değerleri gerekli dönüşümler yapılarak ekranda $mbar/mmHg/cmH_2O$ olarak okunabilmektedir. Kaf basıncını pilot balondan ölçme uygulamasında sürekli olarak basınç değerini ölçerek ekranda gösterir ve basınç değerinin istenilen sınırlar dışına çıkması durumunda sesli uyarı verir. Hava

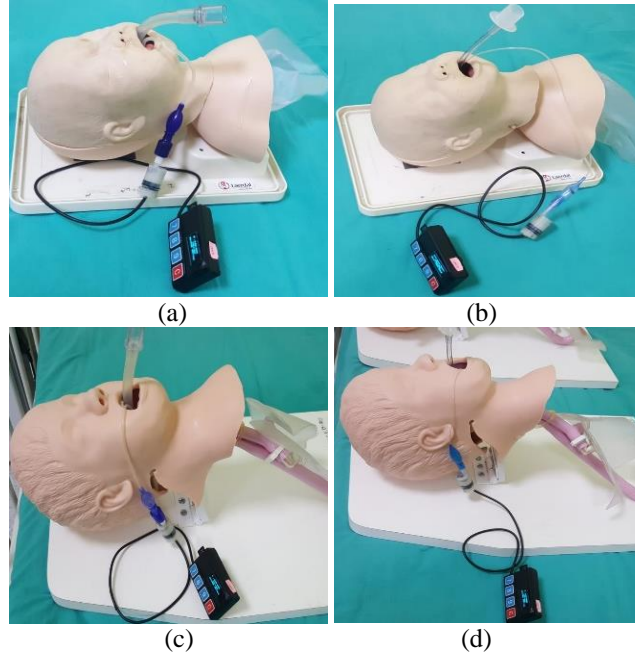
basıncı regülasyonu, enjektör aracılığıyla elle veya otomatik kontrol döngüsü kullanan mini pompa ile düzenlenebilir. Tasarlanan cihazın ilk örnek gerçekleştirilmesi Şekil 6’da verilmiştir. Cihaz beslemesi için USB üzerinden şarj edilebilen 3,7V Li-Po pil kullanılmıştır. Ayrıca ölçülen basınç değerleri hafıza kartına da kaydedilir.



Şekil 6. Tasarlanan cihazın ilk örnek gerçekleştirilmesi

4. Deneysel Uygulama ve Tanımlayıcı İstatistik Analizi

Bu çalışmada deneysel doğrulama için, tasarlanan cihazla in-vitro olarak yapılan laringeal maske ve trakeal tüp uygulamalarının bebek ve çocuk fantom maketlerinde sınanması ve gerçek basınç ölçme düzeneği görselleri Şekil 7’de verilmiştir. Kaf basınç ölçüm probu, laringeal maske veya trakeal tüpün kaf balonu şişirmek için kullanılan mavi renkle gösterilen “pilot balon” ucuna bağlanmaktadır. Ayrıca, mavi renkli pilot balon ucundan ölçüm alınabilmesi için basınç algılayıcısının içinde olduğu içi silikonla doldurulmuş enjektör ucu bağlantı aparatı yapılmıştır.

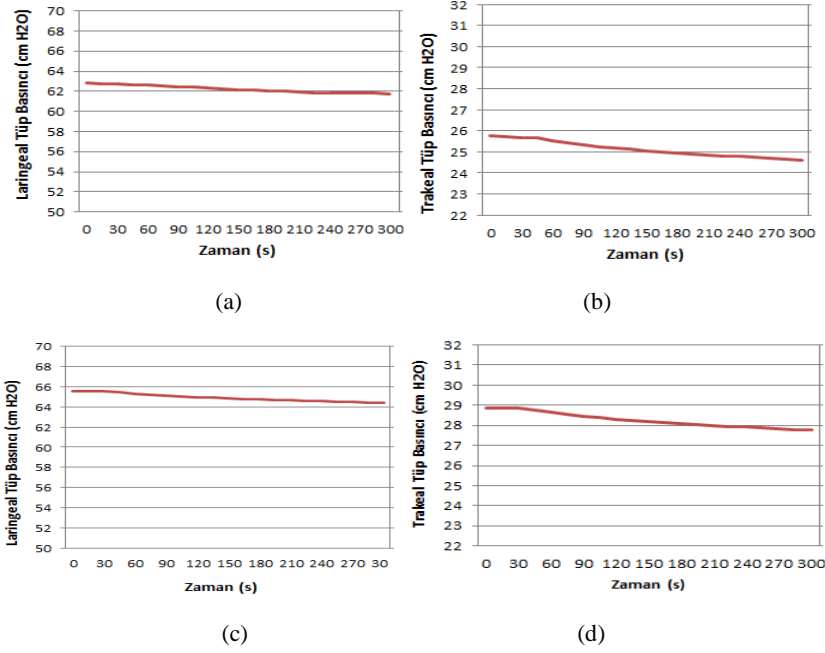


Şekil 7. Tasarlanan cihazla in-vitro olarak fantomlardan basınç ölçülmesi işlemi (a) bebek laringeal mask, (b) bebek trakeal tüp, (c) çocuk laringeal mask, (d) çocuk trakeal tüp

Fantomlardan alınan verilerin örnekleme zamanı 15s olarak yapılandırılmış, ölçüm sayısı ve basınç değerleri ile birlikte elde edilen veriler metin belgesi olarak Tablo 1’deki gibi bir biçimde hafıza kartına aktarılmaktadır. Fantomlardan alınan verilerin zamana göre değişimleri Şekil 8’de verilmiştir. Laringeal maske ve trakeal tüp için başlangıç basınç değerleri bebekler ve çocuklar için sırasıyla $63\text{cmH}_2\text{O} - 66\text{cmH}_2\text{O}$ ve $26\text{cmH}_2\text{O} - 29\text{cmH}_2\text{O}$ olarak uygulanmıştır.

Tablo 1. Hafıza kartına aktarılan örnek veri seti

Zaman (sa:dk:sn)	Ölçüm sayısı	Basınç değeri
0: 0': 0"	1.	25.9 cmH_2O
0: 0': 15"	2.	25.8 cmH_2O
...

**Şekil 8.** In-vitro olarak fantomlardan ölçülen basınçların zaman göre değişimleri (a) bebek laringeal maske, (b) bebek trakeal tüp, (c) çocuk laringeal maske, (d) çocuk trakeal tüp

Bebek ve çocuk fantomlarından ölçülen gerçek laringeal maske ve trakeal tüp basınç değerleri SPSS paket istatistik programı ile tanımlayıcı analiz açısından değerlendirmek için her bir deneye ait olan 21 verinin istatistik olarak en küçük, en büyük, aralık, ortalama, standart hata, standart sapma ve varyans değerleri hesaplanmıştır. Tablo 2'de her dört uygulama için sunulan sonuçlar; i) bebek laringeal maske için kaf basıncının ortalama değeri $62,2386 \text{ cmH}_2\text{O}$, ii) bebek trakeal tüp için kaf basıncının ortalama değeri $25,1262 \text{ cmH}_2\text{O}$, iii) çocuk laringeal maske için kaf basıncının ortalama değeri $64,9343 \text{ cmH}_2\text{O}$, ve iv) çocuk trakeal tüp için kaf basıncının ortalama değeri $28,2638 \text{ cmH}_2\text{O}$ değerleri olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Ölçüm sonuçlarına göre tanımlayıcı istatistik sonuçları

	Sayı	Aralık	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma	Varyans
Bebek laringeal maske	21	1,03	61,78	62,81	62,2386	,07841	,35931	,129
Bebek trakeal tüp	21	1,13	24,62	25,75	25,1262	,08309	,38076	,145
Cocuk laringeal maske	21	1,14	64,42	65,56	64,9343	,08494	,38925	,152
Cocuk trakeal tüp	21	1,11	27,76	28,87	28,2638	,08270	,37897	,144

5. Sonuç

Bu çalışmada trakeal tüp ve laringeal maske için gerçek zamanlı kaf basıncı ölçmeyi sağlayan medikal cihaz mikro denetleyici tabanlı bir gömülü sistem kartı ile gerçekleştirilmiştir. Kaf basıncı ölçümü için mevcut olan sürekli veri toplama özelliği olan elektronik cihazlar maliyet açısından mekanik olanlarına göre fiyatları yüksektir. Bu nedenle, bazı uygulamalarda alternatif yöntem olan geleneksel invazif kan basınç monitör dönüştürücü ile endotrakeal tüp kaf basıncı ölçme tekniği de kullanılmaktadır. Ancak monitörde bu özellik kullanıldığında kan basıncı ölçme seçeneği kullanılamamaktadır. Tasarlanan cihazla düşük maliyetli kaf basıncı ölçer cihazı yapılarak, pilot balon içindeki hava basıncının gerçek zamanlı ve sürekli izlenmesi sağlanmış ve bu verileri cihaz ekranı ve hafıza kartına aktarmak da mümkün olmaktadır. Ölçülen basınç ölçümleri in-vitro olarak bebek ve çocuk fantomlar üzerinden doğrulanmış, alınan gerçek verilerle tanımlayıcı istatistik analiz yapılmıştır. Tasarlanan cihazın ameliyatlarda ve yoğun bakımda güvenli havayolu sağlanmasına ve entübasyon esnasındaki olumsuzlukların en aza indirilmesine yardımcı olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Miller DM. A pressure regulator for the cuff of a tracheal tube. *Anaesthesia* 1992; 47(7): 594-596.
- [2] Cobley M, Kidd JF, Willis BA, Vaughan RS. Endobronchial cuff pressures. *BJA: British Journal of Anaesthesia* 1993; 70(5): 576-578.
- [3] Tandan M, Uttam RT, Usha KB. Endotracheal tube cuff pressure monitoring during general anesthesia – A comparison between manual vs. automatic method. *International Journal of Scientific Research* 2018; 7(6): 36-37.
- [4] Gündoğan K, Coşkun R, Güven M, Sungur M. Yoğun bakımda endotrakeal entübasyon komplikasyonları. *Dahili ve Cerrahi Bilimler Yoğun Bakım Dergisi*, 2011; 2(2): 39-43.
- [5] Ünsal Ö, Seyhun N, Türk B, Ekici M, Dobrucalı H, Turgut S. Entübasyona sekonder üst hava yolu komplikasyonlarının değerlendirilmesi: Balon basınç manometresine karşı konvansiyonel palpasyon metodu. *Şişli Etfal Tıp Bülteni* 2018; 52(4):289-295.
- [6] Uçgun İ. Mekanik ventilasyon komplikasyonları. *Yoğun Bakım Dergisi* 2008; 8(1): 44-59.
- [7] Willis BA, Latto IP, Dyson A. Tracheal tube cuff pressure: clinical use of the Cardiff Cuff Controller. *Anaesthesia* 1988; 43(4), 312-314.
- [8] Aepli N, Lindauer B, Steurer MP, Weiss M, Dullenkopf A. Endotracheal tube cuff pressure changes during manual cuff pressure control manoeuvres: An in-vitro assessment. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 2019; 63(1): 55-60.
- [9] Rouzé A, De Jonckheere J, Zerimech F, Labreuche J, Parmentier-Decrucq E, Voisin B, Jaillette E, Maboudou P, Balduyck M, Nseir S. Efficiency of an electronic device in controlling tracheal cuff pressure in critically ill patients: A randomized controlled crossover study. *Annals of intensive care* 2016; 6(93): 1-8.
- [10] Ashman RE, Appel SJ, Barba AJ. Effectiveness of interventions to increase provider monitoring of endotracheal tube and laryngeal mask airway cuff pressures. *AANA Journal* 2017; 85(2): 98-103.
- [11] 07 Ocak 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.hamilton-medical.com/en_US/Products/Accessories-and-Consumables/IntelliCuff.html
- [12] Ganigara A, Ramavakoda CY. Continuous real time endotracheal tube cuff pressure waveform. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* 2014; 28(4): 433-434.
- [13] Kim JB, Lee JM. A simple and widely available alternative method for endotracheal tube cuff pressure monitoring. *Canadian Journal of Anesthesia* 2018; 65(8): 956-957.
- [14] Abdelatti MO. A cuff pressure controller for tracheal tubes and laryngeal mask airways. *Anaesthesia* 1999; 54(10): 981-986.
- [15] Ong M, Chambers NA, Hullet B, Erb TO, Von Ungern-Sternberg BS. Laryngeal mask airway and tracheal tube cuff pressures in children: are clinical endpoints valuable for guiding inflation? *Anaesthesia* 2008; 63(7): 738-744.
- [16] 07 Ocak 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.vbm-medical.com/products/airway-management/>
- [17] 07 Ocak 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- [18] 07 Ocak 2020. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.adafruit.com/product/1603>

Hava Trafik Yönetimi Araştırma Alanlarının Sınıflandırılması

Kübra ÇELİK¹, Haluk EREN^{2*}

^{1,2}Hava Trafik Kontrol Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹k.celik@firat.edu.tr, ²heren@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 12/10/2019;

Kabul/Accepted: 07/02/2020)

Öz: Hava trafik yönetiminde son yıllarda öne çıkan araştırma alanları hem geleneksel uygulama konularını kapsamakta hem de bilim ve teknolojiye yeni gelişmelerle beslenmektedir. Bu hızlı değişimi takip edebilmek için güncel Hava Trafik Yönetimi (HTY) konularının önem derecesine göre bilinmesi ve sınıflandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada günümüzde dikkat çeken ve gelecekte önem kazanması muhtemel HTY araştırma konularının; hava trafik otoritelerindeki karşılıkları da dikkate alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır. Araştırma konuları 7 ana başlığa ve ilgili alt başlıklara ayrılarak sınıflandırılmıştır. Operasyonel Sistemler, Haberleşme ve Seyrüsefer Sistemleri, Performans ve Verimlilik, Veri Analizleri, Emniyet ve Güvenlik, Hukuk ve Politikalar ve Yeni Teknolojiler ana başlıkları incelenmiştir. Bu alanda daha hızlı gelişen konulardaki yeni araştırma alanları ile ilgili kısa örnekler verilmiştir. Bu sınıflandırmanın gelecekteki HTY problemlerine ışık tutabileceği düşünülmektedir. Sonuçta bu çalışmada dünyada hava trafik alanındaki mevcut araştırmalar hakkında değerlendirmeler verilerek bu alanda çalışmak isteyen araştırmacılara bir ufuk açılması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Hava trafik yönetimi, hava trafik kontrol, hava ulaşımı, HTY yeni teknolojiler

Classification of Air Traffic Management Research Areas

Abstract: In recent years, research areas in air traffic management cover both traditional application areas and new developments in science and technology. In order to follow this rapid change, current Air Traffic Management (ATM) areas need to be classified according to their significance. In this study, a classification is made considering the air traffic authorities. The research areas are classified into seven main topics. Operational Systems, Communication and Navigation Systems, Performance and Efficiency, Data Analysis, Safety and Security, Law and Policies, and New Technologies are examined. Some examples are given about the fast developing research areas. This classification could help to find solutions to future ATM problems. As a result, in this study, it is aimed to make a guideline for the researchers who want to work in air traffic management field.

Key words: Air traffic management, air traffic control, air transport, ATM new technologies

1. Giriş

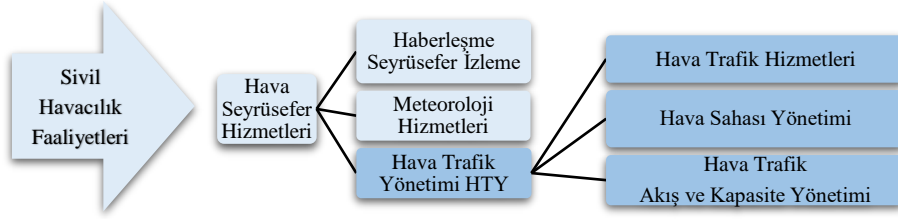
Hava Trafik Yönetimi (HTY) uçağın ilk kalkışından, hava sahasındaki intikali ve inişine kadar yardımcı olmak üzere kurulu tüm sistemlere verilen genel bir isimdir. Hava ulaştırma ve trafik sistemleri, içerisinde pek çok farklı iç dinamikler barındıran ve homojen olmayan karmaşık bir sistemdir. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO) [1], Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Örgütü (EUROCONTROL) [2], Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) [3] ve M. Cavcar'ın yaptığı Sivil Havacılık Faaliyetlerinin sınıflandırılmasına göre Hava Seyrüsefer Hizmetleri (Air Navigation Services) üç ana konu başlığı ile ilgilenmektedir. HTY ise bu başlıklardan biridir [4]. Şekil 1'de HTY'nin Sivil Havacılık faaliyetleri içerisindeki yeri ve HTY bileşenleri gösterilmiştir.

Bir uçağın emniyetli uçuşundan yalnızca o uçağın pilotu sorumlu iken hava sahalarında ve hava alanları üzerinde hareket eden tüm uçakların birbirine göre emniyetli uçuşundan HTY sistemi sorumludur. Uçuş emniyetini temin eden bu hizmet ülkelerin hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları tarafından verilir.

Türkiye'de bu görev Devlet Hava Meydanları İşletmesi tarafından sağlanmaktadır. Çok sayıda hava aracına en emniyetli, en verimli ve en ekonomik biçimde hizmet verilmesi hava trafik hizmetinin amacı olduğuna göre bu unsurlar arasındaki uzlaşıcı çözümü Hava Trafik Yönetimi (HTY) (Air Traffic Management-ATM) sağlar [4].

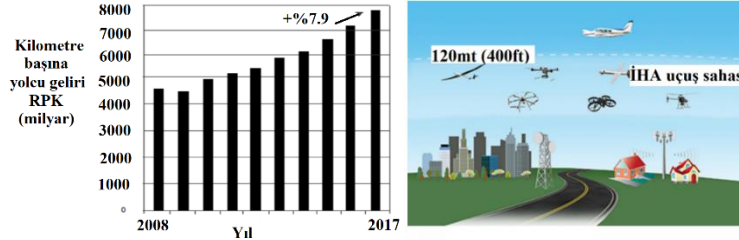
Gerçekte HTY ile a) Hava Trafik Hizmetleri, b) Hava Sahası Yönetimi, c) Hava Trafik Akış ve Kapasite Yönetimi'ni içeren geniş çapta bir yönetimden söz edilmektedir. Şekil 1'de HTY'nin alt bileşenleri şematize edilmiştir [4].

* Sorumlu yazar: heren@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-0878-7085, ² 0000-0002-4615-5783



Şekil 1. (a) Hava Trafik Yönetiminin (HTY)'nin Sivil Havacılık faaliyetleri içerisindeki yeri ve HTY bileşenleri [4]

Hava trafiği dünya çapında her geçen gün büyük bir hızla artmaktadır. Şekil 2 (a)'daki grafikte ICAO 2017 dünya hava taşımacılık verilerine göre 2008-2017 arası yıllık kilometre başına yolcu geliri (RPK) değişimi verilmiştir. Bu veriye göre RPK'da %7.9 bir artış görülmektedir [5]. RPK'daki bu artış hava trafiğindeki artış ile ilişkilidir. Bu da bize HTY uygulamalarının yıllar içinde artarak bir gelişim gösterdiğini söylemektedir. Bir diğer önemli durum hava trafiğindeki çeşitliliğin yıllara göre farklılaşmasıdır. Örneğin son yıllarda İnsansız Hava Araçlarının (İHA) yaygınlaşması ile İHA trafik yönetimi kavramı doğmuştur. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından 2015'te İHA trafik yönetimi sisteminin geliştirilmesine çalışılmış ve 2019'da saha testlerine başlanmıştır. Şekil 2 (b)'de İHA'lar için alçak irtifa, sivil uçuş sahası şematığı görülmektedir [6].



Şekil 2. (a) Hava trafiğindeki artış grafiği ve (b) İHA sivil uçuş sahası şematığı [5,6].

Hava taşımacılığındaki bu hızlı gelişim ve değişim hava trafik kontrolünün önemini arttırmıştır. Hava trafik kontrolörleri tarafından verilen hizmetler daha karmaşık bir hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak yeni hizmetler, yeni tanımlar ve yeni bir terminoloji yaratılmıştır. Ulusal olarak hangi aşamada durduğumuza bakarsak eğer; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi (BİLGEM) bünyesinde sivil havacılık uygulamalarına yönelik ulusal yazılımlar geliştirilmektedir. HTY alanı ile ilgili bu yazılımlardan bazıları; Hava Aracı Takip Sistemi, ATC Kule ve Radar Simülatörü, Hava Trafik Kontrolörü Seçme Yazılımıdır [7]. Ulusal havaalanlarında, dış taşıma, iç taşıma, ekolojik çevre, enerji vs. konularında dünya gündeminin takip edilmesi yerinde olacaktır. Bu sebeple HTY sistem gereksinimleri sürdürülebilir yaklaşımlar dikkate alınarak optimize edilmeye çalışılmaktadır.

1.1. Problem tanımı

Son yıllarda havacılığın gelişmesi ile HTY'de pek çok bilginin dikkate alınması gereksinimi doğmuş ve mevcut konular içerisinde bazıları daha fazla ön plana çıkmıştır. Dolayısıyla HTY alanında çalışacak araştırmacıların yeni gelişmeleri yakından takip etmeleri gerekmektedir. Böylece gelecekte çok daha büyük hacimlere ulaşabileceği tahmin edilen hava trafiğinde ortaya çıkacak problemler için erken çözüm önerileri ortaya çıkabilecektir. Bu çözümlere ulaşabilmek için güncel HTY konularının önem derecesine göre bilinmesi ve sınıflandırılması gerekmektedir.

1.2. Önerilen yaklaşım ve metodoloji

HTY'deki pek çok kural ve bunların uygulanması bağlı bulunulan uluslararası otoritelerin dışında düşünülemez. Dolayısıyla araştırma çalışmaları bu otoritelere öneri şeklinde sunulabilir ve uygulamalar içerisinde yer bulabilir. Gerek hava trafik kontrolörleri gerekse pilot ve diğer personelin uyumlu bir şekilde çalışarak maksimum verim ve güvenlik gibi konularda optimizasyona ulaşabilmeleri için araştırmacıların kesintisiz desteğine ihtiyaçları bulunmaktadır. Bu anlamda araştırmacıların tamamıyla havacılık kurallarından bağımsız

hareket edebilmeleri düşünülemez. Dolayısıyla bu çalışmada günümüzde ve gelecekte ön plana çıkan HTY konularının hava trafik otoritelerindeki karşılıkları da dikkate alınarak bir sınıflandırma yapılacaktır.

Dikkate alınmakta olan sorun, tek bir başlıkta açıklanamayacak kadar büyüktür. Bu nedenle yayında bu tür sistematik için en uygun metodoloji; mevcut HTY sistemindeki araştırma alanlarının sivil havacılık otoritelerindeki karşılıkları dikkate alınarak ana başlıklara ayrılması olarak seçilmiştir. Bu ana başlıklar Uygulama Alanları dikkate alınarak seçilmiştir. Sınıflandırma sistematığına bakıldığında bu yayında tercih edilen araştırma yöntemi “Bilimsel Araştırmaların Sınıflandırılmasına” göre “Araştırma Modeli Açısından Sınıflandırmaya” girer. Alt başlık olarak “Keşifsel Araştırmalar” ve “Betimsel Araştırmalar” sınıfına girmektedir.

1.3. Katkılar

Literatürde var olan çalışmaların çoğunda genellikle vaka ya da sistem esaslı sınıflandırmalar yapıldığı görülmektedir. Dolayısı ile HTY problemlerinin genel resminin anlaşılmasına yönelik katkı konusunda boşluk bulunduğu görülmüştür. Bizim çalışmamız HTY alanındaki sınıflandırmalar sayesinde gelecek dönem olası problemlere değinmektedir. Böylece HTY alanındaki geleneksel çalışmalardan yola çıkarak güncel problem tanımlarına ulaşılmaktadır. Bu çalışma ile hava trafiği alanındaki gelişmelere bilimsel bir bakış kazandırılacaktır. Artık tamamıyla uygulamadan ibaret gibi görünen rutin konuların teorik karşılığının aranması konusunda araştırmacılara kolaylık sağlanmaktadır. Bu amaçla yapılan sınıflandırmalar sayesinde araştırmacılar kuramsal modeller geliştirerek problemlere çözüm arayacaktır. Çalışmamızda verilen perspektif sayesinde gelecekteki HTY problemlerine bütünsel bir bakış getirilerek her bir parçanın diğer bileşenler ile ilişkisinin anlaşılması sağlanacaktır.

1.4. İlgili çalışmalar

2000’li yılların başında Avrupa hava sahasının güvenilirliğini arttırmak için yapılan projelerden biri HERA (Human Error in ATM Project) projesidir. Bu projede kazalardaki HTY insan faktörünün etkisini azaltmak için uygulanabilecek çözümler üzerinde durulmuştur. HTY’deki insan faktörü hatalarının sınıflandırılması bu projenin başlangıcında önemli bir dayanak noktası oluşturmuştur [8]. Hava trafik akışının sınıflandırıldığı çalışmalarda Yörünge Kümelenmesi ve Sınıflandırılması (Trajectory Clustering and Classification) [9,10] ve senaryo bazlı yaklaşım [11] metotları literatürde mevcuttur. Hava trafiği yönetimindeki sektörlerin sınıflandırılması ve karmaşıklık seviyelerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma Raphael ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada hava trafik kontrolörlerinin iş yükleri ve sektör yoğunluklarının olası tahminleri yapılmıştır [12]. Fakat bu çalışmalar genel bir sınıflandırmadan uzaktır. Son yıllarda NextGen sisteminin getirdiği yenilikler ile birlikte HTY’de insan faktörlerinin etkisi artmıştır. Özellikle gelecek yıllar için otomasyon kavramının getireceği faydalar ve olası problemler üzerine yapılan sınıflandırma çalışmaları mevcuttur [13]. HTY’de karmaşık ağların sınıflandırıldığı ve olası gelecek öngörülerinin aktarıldığı bir kitap yayınlanmıştır [14]. Ayrıca HTY’de vaka sınıflandırmalarının yapıldığı ve karmaşık ağlar teorisi yaklaşımını benimseyen çalışma da literatürde bulunmaktadır [15]. Hava trafik kontrolörlerinin öngörülemeyen durumlar karşısında uyguladıkları belirsizlik yönetimi yaklaşımının incelendiği bir çalışmada otomasyon için gerekli stratejiler ve gereksinimler tartışılmıştır. Burada kontrolörlerin karşılaştığı vakalardaki belirsizlik rotaları sınıflandırılmaya çalışılmıştır [16]. Yine son yıllarda gündemde olan İnsansız Hava Araçlarının Hava Trafik Yönetimi İHA-HTY (Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM)) kavramı literatürde yer bulmaya başlamış ve bu konuda sınıflandırma yapılmaya çalışılmaktadır. Sampigethaya ve arkadaşlarının çalışmasındaki sınıflandırma yaklaşımı kapsamlı bir yaklaşımdan uzak olmakla beraber daha çok siber güvenlik üzerine yoğunlaşmıştır [17]. Türkiye’de İHA-HTY ve HTY kavramlarını bir arada incelemeye alan bir sınıflandırma çalışması da bulunmaktadır, bu çalışmada bulanık mantık modellemesi yöntemi ile HTY karar destek sistemi geliştirilmesi üzerinde durulmuştur [18]. Türkiye’de HTY konu başlığında yapılan sınıflandırma çalışmalarıyla ilgili olarak 2015’te Anadolu Üniversitesinde (AÜ) Özbek tarafından yapılan çalışmada HTY’de koordinasyon başlığı incelenmiş ve koordinasyon süreçlerinin betimlenmesi üzerine sınıflandırma çalışması yapılmıştır [19]. Yine AÜ’den başka bir çalışmada Türk hava sahasında meydana gelen ölümcül uçak kazalarına insan faktörleri analiz ve sınıflandırma sisteminin uygulanması üzerine çalışılmıştır [20]. Bu çalışmalar vaka bazlı sınıflandırma örnekleri içermektedir.

Hava Trafik Kontrol (HTK) konusunda son dönem araştırma eğilimleri çok çeşitlidir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalara örnek verilebilir: C. Paşaoğlu tarafından yayınlanan bir doktora tezinde insansız hava araçlarının ulusal hava sahalarına entegrasyonu ve yeni hava trafik yönetimi konsepti için otomatik Hava Trafik Kontrolü (HTK) modellemesi üzerine çalışılmıştır [21]. Bir başka çalışmada Hava trafik akış ve kapasite yönetiminde saha kontrol için toplama noktası yaklaşımı hakkında araştırmalar yapılmıştır [22]. Bu çalışmalar vaka bazlı

araştırmalardır. Son olarak da HTY araştırma alanlarının kapsamlı sınıflandırılması üzerine bir çalışma 2010 yılında Caves ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sistem bazlı HTY problemleri sınıflandırılmakla birlikte gelecek dönem olası problemlere değinilmemiştir [23].

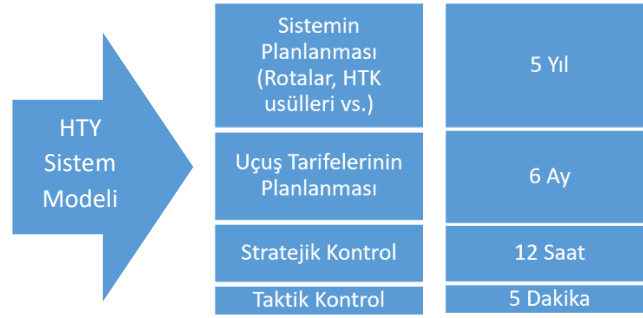
Çalışmamızın ulusal olarak HTY güncel araştırma konularının sınıflandırılması konusunda bir açığı dolduracağı düşünülmektedir. Bu yayının farkı son dönem yeniliklerini de içerecek şekilde çok kapsamlı bir sınıflandırma yöntemi sayesinde gelecekteki bilimsel çalışmalara bir öngörü sağlamaktır.

1.5 Yerleşim düzeni

İkinci bölümde öncelikle HTY araştırmalarında matematiksel modeller için örnekler verilmiştir. İkinci bölümün alt başlıklarında HTY araştırma alanlarının sınıflandırılması yapılmıştır. Üçüncü bölümde tartışmalar ve yapılan sınıflandırma ile ilgili değerlendirmeler yer almaktadır. Ardından dördüncü bölümde sonuçlar bulunmaktadır.

2. HTY Araştırmalarında Modelleme

Bu bölümde modelleme çalışmaları Hava Trafik Yönetimi (HTY) açısından ele alınmaktadır. 90'lı yıllardaki HTY için yapılan modelleme yaklaşımlarında çok seviyeli HTY modeli esas alınmıştır. Şekil 3'te HTY'nin çok seviyeli sistem modeli verilmiştir. HTY problemleri büyük ölçekli problemler olarak kabul edilmiştir ve HTY problemlerini seviyelere ayırıp, her bir seviyenin kontrol fonksiyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir seviye zamana bağımlı bir değişken olarak kabul edilmiştir. Kontrol fonksiyonunun hiyerarşik yapısı; planlama yapısı ve operasyonel işlemler arasında mükemmel bir denge gerektirmektedir [24].



Şekil 3. HTY'nin çok seviyeli sistem modeli [24]

HTK çok seviyeli modelleme çalışmalarında Bianco ve arkadaşları tarafından optimizasyon kullanılmıştır [24]. Ayrıca ilgili yaklaşımın Türkiye hava sahası açısından uygulanabilirliğinin incelenmesi Cavcar ve ekibi tarafından yapılmıştır [25]. Günümüzde HTK konularında yapılan modelleme çalışmalarında Dinamik Yoğunluk (Dynamic Density (DD)) yaklaşımı esas alınarak sektör karmaşıklığı tanımlanması, hesaplanması ve öngörülmesi üzerinde durulmaktadır [26]. Genel DD formülü Denklem 1'de verilmiştir [27].

$$DD = \sum_{i=1}^n \Psi_i \Gamma C_i + \Gamma D + C J \quad (1)$$

Burada; ΓC : trafik karmaşıklık faktörü, Ψ : faktör ağırlığı, i : trafik karmaşıklık faktörlerinin sayısı, ΓD : trafik yoğunluğu, CJ : kontrolör faktörü olarak tanımlanmaktadır. DD formülünde ΓD ve ΓC kullanarak radar ekranlarından okunan veriler sayısallaştırılır. CJ faktörü ise kontrolöre bağımlılığından dolayı şüphesiz sayısallaştırılması en zor değişkendir. Günümüzde HTK modelleme çalışmalarında otomasyon seviyesi yeni bir seviye olarak sisteme dâhil edilmeye çalışılmaktadır [28].

HTY modellemelerinin etkili biçimde yapılabilmesi için sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenebilir. Genel sürdürülebilirlik araştırmalarında ilk olarak Çevresel Etki Değeri'nin bileşenleri modellenmektedir [29]. Sürdürülebilir bir yaklaşım için çevresel etki değerinin sıfır olmasına çalışılmaktadır. Bu değeri etkileyen bileşenler Denklem 2'de verilmiştir.

$$I = \rho \times \alpha \times \Gamma \quad (2)$$

Çevresel Etki Değeri formülüne göre; I :çevresel etki değeri, ρ :nüfus, α :tüketim, T :teknoloji olarak tanımlanmaktadır. HTY uygulamalarında nüfus bileşeninin (ρ) çevresel etkisi sürekli artmaktadır. Nüfusun artışı ile beraber ulaşım miktarı artmaktadır. Böylece (α) bileşeninin çevresel etkisi de artmaktadır. (α) ve (ρ) bileşenlerinde meydana gelen bu artışın Teknolojik gelişmelerdeki (T) çevresel etkilerin azaltılması ile dengelenebileceği düşünülmektedir. Burada yeşil teknolojiler karşımıza çıkmaktadır. HTY açısından yeşil teknolojilerin neler olabileceği üzerine araştırma çalışmaları yapılabilir.

2.1. HTY araştırma alanlarının sınıflandırılması

HTY anabilim dalı pek çok araştırma ve uygulama alanını kapsamaktadır. Bu sebeple detaylı bir sınıflandırma gerektirmektedir. Bu çalışmada HTY alanları araştırma modeli açısından 7 ana başlığa sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Bu başlıklar; Operasyonel Sistemler, Haberleşme ve Seyrüsefer Sistemleri, Performans ve Verimlilik, Veri Analizleri, Emniyet ve Güvenlik, Hukuk ve Politikalar ve Yeni Teknolojilerdir.

Tablo 1. HTY alanlarının araştırma modeli açısından sınıflandırılması

Hava Trafik Yönetimi (HTY) Alanlarının Araştırma Modeli Açısından Sınıflandırılması	HTY'de Operasyonel Sistem Araştırmaları
	HTY'de Haberleşme ve Seyrüsefer Sistemi Araştırmaları
	HTY'de Performans ve Verimlilik Araştırmaları
	HTY'de Veri Analizi Araştırmaları
	HTY'de Emniyet ve Güvenlik Araştırmaları
	HTY'de Hukuk ve Politika Araştırmaları
	HTY'de Yeni Teknolojilerin Araştırmaları

2.1.1. HTY'de operasyonel sistem araştırmaları

HTY'de operasyonel sistem araştırma alanları arasında; stratejik ve taktik hava sahası yönetimi, hava trafik akış yönetimi, uçuş operasyonları, işlevsel entegrasyon, acil durum planlaması ve kriz yönetimi ile arama kurtarma konularında yapılabilecek çalışmalar bulunur. Bu alanda yapılabilecek araştırmalar çok çeşitlidir. Örneğin Hava Trafik Akış Yönetimi (HTAY) konularında yapılan ulusal bir çalışmada taktik hava trafik akış ve kapasite yönetimi için bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Çalışmada akışlar planlanırken standart prosedürel ayırma mânialarına dayalı çatışmaların dikkate alınması ve uçakların yerde bekletildiği standart hava trafik akış ve kapasite yönetimi (HTAKY) stratejisinin tercih edilmesi, modelin güncel HTAKY sistemine uyarlanabilir olmasını sağlamıştır. Geliştirilen bu model, özellikle gözetim sistemi olmayan ulusal hava sahalarındaki hava trafik akışlarının planlanması için uygun olabilir [30].

2.1.2. HTY'de haberleşme ve seyrüsefer sistemi araştırmaları

HTY'de haberleşme ve seyrüsefer sistemi, simülörler, radarlar, haberleşme araçları, pilot yer iletişimi, kule cihazları, havacılık haberleşmesi üzerine akademik çalışmaların yapıldığı bir alandır [31]. Tüm bu teknolojik uygulamaları takip etmek ve bu çerçevede frekans koordinasyonunu sağlamak, havacılık meteorolojisi ile ilgili çalışmaları koordine etmek, uygulanmasını sağlamak, havalimanları için aletli alçalma ve standart kalkış/iniş simülasyonlarının yapılması, hava araçları ile uçuş kontrol hizmetinin gerçekleştirilmesi, havacılık simülörlerinin araştırılması ve geliştirmekte olan teknoloji göz önüne alınarak cihaz, sistem ve donanımlar üzerine çalışmaların gerçekleştirilmesini kapsamaktadır [32].

2.1.3. HTY'de performans ve verimlilik araştırmaları

HTY'de performans ve verimlilik araştırmaları; toplam sistem performansı, uçak performansı, HTK performansı, yakıt verimliliği ve operasyonların performansı üzerine çeşitli araştırmaların yapılabileceği bir alandır. Örneğin durumsal farkındalık kavramı, üzerinde durulması gereken bir alandır [33]. Kısaca, Durumsal Farkındalık (Situational Awareness-SA), tüm hava sahasının (uçak uçuşu, kontrol etme ya da muhafaza etme) analiz edilmesi ve algıların yorumlanmasıdır [34]. SA kavramı HTY'de disiplinler arası araştırmaların yapılabileceği bir alt başlık olarak düşünülebilir. Bu konunun yer trafik uygulamasına bir örnek olarak Eren ve arkadaşlarının çalışmasını verebiliriz. Çalışmada araç sürücüsünün kafa hareketleri takip edilerek sürücü davranışlarının modellenmesi üzerine çıkarımlar yapılmıştır [35]. Aynı yaklaşım HTY konularında da kullanılabilir. Toplam sistem performansı içerisinde önemli başlıklardan biri Emniyet Yönetim Sistemi (EYS)

uygulamalarıdır. Bu konuda İ. Tunç'un 2018'de yaptığı doktora tezinde emniyet yönetim sistemi uygulamalarının hava trafik kontrol hizmetlerine katkılarının analizi incelenmiştir. Pozitif emniyet kültürünün algısal ve davranışsal boyutunun önemine değinilmiş, toplumumuzda yaygın olarak bulunan suçlama kültürünün etkilerinden bahsedilmiş ve bu durumlara karşı sivil havacılık sektörünün tüm operasyon birimlerinde uygulanabilecek nitelikte, pozitif emniyet kültürü odaklı yeni EYS modeli önerisi geliştirilmiştir [36].

2.1.4. HTY'de veri analizi araştırmaları

HTY'de veri analizi araştırmaları; veri kaynakları ve uçuş izleri, meteoroloji verileri, uçuş planları ve radar verileri hakkında yapılan çalışmaları içermektedir. Örneğin, radarlar her dönüşleri esnasında uçak konumunu ölçerler. Bununla birlikte radarların doğrulukları mesafeye bağlı olarak azalabilir ve radarlar senkronize olmazlar. Değişik doğrulukta radar verilerinin düzensiz ve senkronuz olarak beslenmesi hava trafik kontrol için sorunlu bir durumdur. Bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek için uygun yazılımlar kullanılır. Bu yazılımlar ham radar çizimlerini alır ve daha düzgün uçuş izleri elde edebilmek için radar ölçüm hatasını minimize eder. İzleyiciler pek çok radardan gelen veriyi bir araya getirirler ve radar doğruluğu, uçuş kapasiteleri vs. dikkate alarak iz düşürülen uçak konumlarını hesaplarlar. Genellikle hataları elimine etmek ve olası uçak konumlarına iz düşürmek için Kalman veya Parçacık Filtre gibi filtreler kullanılır. İzleyiciler tarafından üretilen bu düzgün izler bireysel radar ölçümlerinden daha doğrudur ve uçak performanslarının hesabında kaynak olarak alınabilir. Nerede ve ne zaman uçuşun hava sahasına gireceği, nasıl uçacağı, nerede ve ne zaman çıkacağını hesaplamak üzere uçuş planları ve diğer verileri kullanırlar. Uçuş planı uçağın uçmayı planladığı tüm hava trafik merkezlerine operatör tarafından gönderilir. Ayrıca son olarak meteoroloji verisi, yörüngelerden doğru performansın çıkarılmasında büyük önem taşır.

2.1.5. HTY'de emniyet ve güvenlik araştırmaları

HTY'de emniyet ve güvenlik araştırmaları; güvenlik, emniyet, siber saldırılar ve insan faktörü olarak çalışılabilir. Güvenlik ve emniyet alanının kapsadığı konular şunlardır: Havacılık emniyeti ve insan faktörleri, veri analizi, havaalanları, hava sahası ve hava trafik kontrol sistemleri genel koordinasyonuna hâkimiyet, meteoroloji ve çevre konularına hâkimiyet, hava yolu taşımacılığı yönetimi, hava trafik sisteminde emniyet yönetimi. Kulesi olmayan hava alanlarının yakınlarında pek çok çarpışma yaşanmıştır. Bu tür durumlarda trafik örüntüsünde uçak davranışına ilişkin doğru bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle kayıtlı radar verilerinden trafik örüntü modellerini çıkaran yaklaşımlar mevcuttur. Bu çalışmalarda simülasyon verileriyle daha başarılı sonuçlar alınmakla birlikte, gerçek dünya verilerinde gürültüler sebebiyle bir miktar daha efor göstermek gerekmektedir. Siber saldırılar açısından bakılırsa farklı uçuş aşamaları esnasında hava trafik haberleşme tarafından kullanılan pek çok kablosuz teknoloji mevcuttur. Kavramsal olarak değerlendirildiğinde bunların tamamı güvenli olmayıp güvenlik bunların üretim aşamalarının bir parçası değildir. Son zamanlarda bu tür açıklar araştırmacıların ve siber korsanların ilgi odağı olmuştur. Bununla birlikte, bu tür faaliyetler henüz havacılık içerisinde yaygınlaşma fırsatı bulamamıştır. Aynı zamanda, güvenlikle ilgilenen camianın yeterli bir havacılık bilgisi oluşmamıştır. Ayrıca askeri ve sivil uygulamalar açısından ulusal yazılımların gereksinimi siber güvenlik açısından önemlidir. İnsan faktörü açısından güvenlik alanında hava trafik kontrolörlerinin can ve mal kaybı konularında çok titiz bir eğitimden geçmeleri gerekmektedir. Bu alanda hava trafik kontrolörlerinin edinmesi gereken uluslararası sertifikasyon FEAST (First European ATCO Selection Test - Avrupa Hava Trafik Kontrolörleri Seçme Testi) paketidir. Bu pakette; sözel algılama, reaksiyon zamanı, talimatları takip ve yeniden düzenleme, planlama kabiliyeti, işbirliği, kuralları uygulama ve öğrenme, hız ve dikkat testi, hafıza kapasitesi, anlık reaksiyon, üç boyutlu düşünme, sayısal ve şekilsel algılama, problem çözme, ortadan kaldırma, sonuçlarına karşı direnç alanlarında zamana karşı yarış, raporlama, notamlar, hava koridorları, hava sektörleri konusunda eğitimler alınır. Risk analizlerinin yapılması güvenlik ve emniyet araştırmaları açısından önemlidir. Bu konuya benzer olarak yer trafik alanında Eren ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada yol geometrisi tabanlı risk tahmin modeli çıkarılmıştır [37]. Benzer yaklaşımlar hava trafik konularına da uygulanabilir.

2.1.6. HTY'de hukuk ve politika araştırmaları

HTY'de hukuk ve politika araştırmaları; havacılık hukuku, ulusal ve uluslararası anlaşmalar, prosedürler standartlar, havacılık politikaları, otoriteler ve kurumsallaşma alanları olarak sınıflandırılabilir. Havacılık politikaları alanları içinde Sivil Havacılık Genel Merkezi (SHGM) mevzuatı, hava ve yer trafik riskleri, insan faktörü, risk yönetimi, uluslararası mevzuatlar, uçuş izinleri, lisans anlaşmaları vb. konular yer almaktadır. Bu

alandaki çalışmalar ulusal ve uluslararası birçok havacılık politikalarına hâkimiyeti gerektirmektedir. Ayrıca hava sahası kapasitesi ve kullanımına ilişkin olarak ilgili kurum ve kuruluşlarla koordineli bir şekilde NOTAM ve Havacılık Bilgi Yayını yayımlamak veya yayımlanmasını sağlamak, bunun dışında kalan hususlarda servis sağlayıcı kuruluşlar tarafından NOTAM ve Havacılık Bilgi Yayını yayımlanmasına ilişkin usul ve esasları belirlemek, gerekli düzenlemeleri yapmak ve tedbirleri almak gereklidir. Havacılık otoritelerince; yasak, tehditli ve tehlikeli sahaların belirlenmesi aşamasında askeri ve sivil kuruluşların görüşlerini alarak gerekli işlemleri başlatmak, sivil hava araçlarının kamu ve uçuş emniyeti ile hava seyrüsefer güvenliği bakımından uyması gereken düzenlemeleri yapmak, denetlemek hukuksal bir konudur. Ayrıca hava trafik yönetim hizmetleriyle ilgili önlemler almak ve ilgili personelin lisanslandırılma esaslarını belirlemek, takibini yapmak, yenilemek ve iptal etmek, HTY ile ilgili ulusal ve uluslararası kurum, kuruluş ve teşkilatlarla çalışmalar yapmak, gerektiğinde mevzuat düzenlemeleri ile uygulamaların yapılmasını sağlamak ve takip etmek gerekmektedir. Türkiye hava sahasını ve havalimanlarını kullanarak gerçekleştirilecek uçuşlar, 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu başta olmak üzere ilgili mevzuat ve Havacılık Bilgi Yayını (AIP) prosedürleri, uçuş izin başvuruları, tarafından hava seyrüsefer alanında geliştirilen standart ve tavsiye edilen uygulamalar (SARPs) ile bunların dünya çapında uygulanması vb. araştırmalar ve uygulamalar bu alandaki çalışmaların içerisinde yer almaktadır. Havacılık hukuku ve politikaları disiplinler arası çalışmalara açık bir alan olup her geçen gün gelişmektedir.

2.1.7. HTY’de yeni teknolojilerin araştırmaları

HTY’de yeni teknolojilerin araştırmaları; veri tabanları, otomasyon, otonom veya insansız uzaktan kontrollü hava araçları için trafik yönetimi, gelecekteki iş modelleri ve sosyal medya kullanımını konularındaki araştırmalar olarak sınıflandırılabilir. Günümüzün yoğun hava ulaşım sistemleri sadece uçuş emniyetini değil daha fazla kapasite ve verimlilik ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Kapasite artarken daha etkin operasyonların gerçekleştirilmesinin yeni haberleşme, navigasyon, takip ve HTY teknolojileri sayesinde yapılabilmesi beklenmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki NextGen, Avrupa’daki SESAR ve Japonya’daki CARATS gibi pek çok araştırma programı bu anlamda yenilikler sunmaya devam etmektedir. İnsansız hava araçlarının (İHA) kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. İHA’ların gökyüzündeki artışı hava trafik gereksinimini doğurmaktadır. İnsansız hava trafik yönetim sistemi (İHA-HTK) özellikle şehir alanında kritik bir öneme sahiptir. Bir kırım esnasında ciddi can ve mal kaybı ortaya çıkabilir. Ayrıca bilgisayar destekli bir sistem olarak İHA hava trafik sistemleri siber vandalizm ve siber savaflara açıktır. NASA’da yapılan bir çalışmada 2016 yılında İHA’lar için örnek bir HTY konsepti geliştirilmiştir. Çalışmada düşük irtifalı küçük İHA’ların şehirlerde kullanımında trafik yönetiminin nasıl olabileceği tartışılmaktadır. Esneklik ve risk esaslı iki yaklaşım benimsenerek İHA-HTK konsepti tasarlanmıştır [38]. Otomasyon kullanımının artırılması yanında haberleşme, seyrüsefer ve izleme alanında yeni teknolojilerin kullanılması, HTY’nin gelişiminde önemli rol oynayacaktır. Otomasyonun sadece hava trafik kontrol kapasitesi artışını sağlaması değil, aynı zamanda emniyet ve verimi artırarak, personel, bakım maliyetleri ve kontrolör iş yükünü azaltması beklenmektedir [4]. HTY’de otomasyona geçiş günümüz geleneksel hava taşımacılığının yanında İHA’ların da sisteme dahil edilmesi ile daha önemli hale gelmiştir. Sivil küçük İHA’ların kullanımının yakın gelecekte artış göstermesi ile mevcut hava trafik yoğunluğunun çok yüksek seviyelere çıkacağı düşünülmektedir. Bu yoğunluk artışı otomasyonun gereksinimini arttırmaktadır. 2019 yılı yaklaşımında otomatik HTK sistemlerinde derin öğrenme yaklaşımı bir sistem geliştirilmekte ve testleri devam etmektedir [39]. Son yıllarda yolculuk modelleri değişmektedir. Mobil ağların yoğun kullanımı ile online yaşam tarzları gündemdedir. Yeni nesil kuşak tatil için hava yolu ile seyahat etmek yerine vaktinin çoğunu sosyal medya kullanımı ile online ortamlarda geçirmektedir, bu konuda ciddi istatistik veriler mevcuttur. Yaşam tarzlarındaki bu değişikliklerin hava trafiğine etkisi olabilir ve HTY alanında dikkate alınabilir. HTY’de gelecekte yeni iş modelleri oluşması muhtemeldir. Endüstriyel perspektiften bakılırsa iş modellerinin geliştirilmesi önemlidir. Uçak sistemlerinde geliştirilme yapılması büyük şirketler ölçeğinde yapılabilecek çalışmalar olduğundan bu konuda detaylı açıklanmayacaktır. Bunun yerine havacılıktaki yönelim olan insansız hava taşımacılığında yapılabilecek yeniliklerden ve yeni iş modellerinden bahsedilecektir. Özellikle enerji sistemleri üzerinde yapılabilecek geliştirmeler ile yeni teknolojileri hayatımıza katmak için kurulmuş işletmeler yeni bir iş kolu olarak düşünülebilir. Yeni teknoloji batarya sistemlerini üretebilecek işletmeler, verimli enerji depolama sistemleri geliştirmeleri ve üretimleri bu alanda yeni iş modellerindedir. Batarya şarj istasyonları tasarımı, kurulumu, bakımı ve şarj istasyonlarındaki hava trafiğinin yönetimi yeni bir iş kolu olabilir. Ayrıca araştırmacıların bakış açısı ile HTY uzmanlarının analitik uygulamalarını kullanarak yeni tasarımlar yapılabilmesi önemlidir. Hava taksi adı ile geçen insansız hava taşımacılığının yakın gelecekte şehir yaşamına entegre edilmesine çalışılmaktadır [40,41]. İnsansız hava taşımacılığı için kurulması gereken yeni sistemde yerel trafik kontrol üniteleri tasarlanabilir ve hava taksi iniş kalkışlarında kontrolör desteğine ihtiyaç doğabilir. Bu da kontrolör ihtiyacında ciddi bir artış doğurabilecektir.

Her ne kadar HTK'da otomasyon yaklaşımı benimsenmeye çalışılsa da kontrolör desteğine ihtiyaç devam edecektir. Otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi ya da sistem iyileştirilmesi için gerekli iş gücü de yeni bir iş kolu olarak düşünülebilir.

3. Tartışma

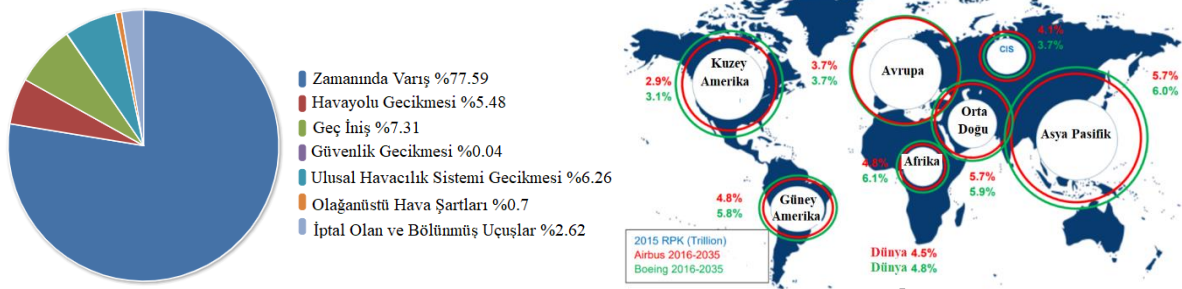
HTY araştırma konularının sınıflandırılmasında birçok alt başlık mevcuttur. Tüm bu alt başlıklara ve özel araştırma alanları dikkate alındığında HTY alanının ne denli geniş olduğu görülür. Her bir konu farklı disiplinler ile işbirliği yapılabilecek seviyede araştırma problemleri içerir.

Şekil 4'te hava trafik yönetimi araştırma alanları sınıflandırması verilmiştir. Bu yayında HTY alanındaki araştırma alanları *Operasyonel Sistem* araştırmaları, *Haberleşme ve Seyrüsefer Sistemi* araştırmaları, *Performans ve Verimlilik* araştırmaları, *Veri Analizi* araştırmaları, *Güvenlik ve Emniyet* araştırmaları, *Hava Hukuku ve Politika* araştırmaları ve *Yeni Teknolojiler* araştırma alanları olarak ana başlıklarına ayrılmıştır. Her alan bazı güncel örnekler ile detaylandırılmıştır. Tüm bu sınıflandırma çalışmalarına göre HTK araştırma alanlarına ne denli geniş perspektiften bakılması gerektiği görülebilir.



Şekil 4. Hava Trafik Yönetimi araştırma alanlarının sınıflandırılması

Hava yolu şirketleri açısından HTY konularında tüm dünyada eksiklikleri sürekli gündeme getirilen bir konu uçuş tarifelerinde yaşanan gecikmelerdir. Şekil 5 (a)'da ABD'de Ocak-Haziran 2019 tarihleri arasında gerçekleşen uçuş gecikmeleri istatistiği verilmiştir [42].



Şekil 5. (a) ABD uçuş gecikmeleri istatistiği (Ocak-Haziran 2019) [42], (b) Hava yolu şirketlerinin 2016-2035 aralığında öngördükleri hava trafik artışı haritası [43].

Bu istatistiğe göre yapılan uçuşların sadece %77.59'u zamanında varış gerçekleştirebilmiştir [42]. Uçuş tarifelerindeki gecikmelerin ekonomik yansımaları çok büyüktür. Bu sebeple gecikmelerin sebepleri ve nasıl en aza indirilebileceği konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Hava yolu araştırmacıları hava şartları sebebi haricindeki gecikmelerin hava trafik yönetim kaynaklı gecikmelerin bütünü olduğunu öne sürmektedir. HTY, hava trafik akış kontrol ve kapasite kontrol alanında yapılabilecek tüm akademik araştırmaların ve geliştirme çalışmalarının ekonomik yönden faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

Hava yolu şirketlerinin 2016-2035 aralığında öngördükleri hava trafik artışı haritası Şekil 5 (b)'de verilmiştir. Buna göre 2035'e gelindiğinde hava trafiğindeki artışın bölgesel farklılıklarla birlikte %3-6 arasında olacağı düşünülmektedir [43]. Dünyadaki hava alanları kapasitesinin, hava trafiğinde beklenen bu artış ile orantılı olmadığını gösteren araştırmalar vardır. HTY'de oluşacak bu kapasite problemi gelecek yıllarda yapılacak araştırmalarda önem kazanacaktır. Siyasi ve çevresel gündemler, çoğu gelişmiş ülkede yeni pistlerin kolay bir şekilde inşa edilemeyeceği ve mevcut altyapının maksimum potansiyelinde kullanılması gerektiği şeklinde fikirlerini ortaya koymaktadır. Tüm dünya bölgeleri, HTY altyapısını güncellemek, geliştirmek ve uyumlulaştırmak için kurulmuş programlar geliştirmeye devam etmektedir. SESAR (AB) ve NEXTGEN (ABD)'in Japonya'daki büyük CARATS programının desteğiyle birlikte, ICAO Blok yükseltme programının küresel HTY'yi modernize etmesine yönelik uzun vadeli programlar başlatılmıştır [43]. Ulusal HTY uygulamalarında küresel HTY teknolojilerinin takip edilmesi ve bu konulardaki eksikliklerin tespit edilip araştırmaların yapılması önemlidir.

Yayının son kısmında gelecekte HTY kavramının hangi yöne evrildiğine değinilmiş ve birkaç güncel örnek eklenmiştir. Özellikle otomasyon konusunun HTY açısından gelecekte son derece önem kazanacağı öngörülmektedir. HTY'de otomasyon seviyesinin ne olması gerektiği tartışmalara açıktır. Bu konuda tam otomasyonu savunan çalışmalar olmasına rağmen sayısal olarak en iyi performansın kontrolör ve otomatik sistem kombinasyonundan çıkacağını gösteren çalışmalar vardır [44,45]. Yayın içerisinde bahsedilmeyen fakat son aylarda gündeme gelen bir konu da Uzay Trafik Yönetimi (UTY) (Space Traffic Management) kavramıdır. UTY; uzay araçları ile etkinlik gösteren ülkelerin uzay ortamındaki işlemlerinin güvenliği, kararlılığı ve sürdürülebilirliği için gereken planlama ve yönetim çalışmaları olarak tanımlanabilir.

Uluslararası ve Ulusal Hukuk çerçevesinde HTY alanında birçok düzenlemeler ve yenilemeler gün geçtikçe daha kapsamlı yapılmaktadır ve bu konudaki gereksinimler varlığını sürdürmektedir. Hukuk veya politika disiplinlerinden araştırmacılar HTY alanında disiplinler arası araştırmalar yapabileceklerdir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada dünyada Hava Trafik Yönetimi (HTY) alanındaki mevcut araştırma alanları hakkında değerlendirmeler verilmiştir. HTY araştırma alanları sınıflandırılmıştır. Bu başlıklara ait güncel araştırma konu başlıklarından bahsedilmiştir. Bu yayında HTY araştırma konuları 7 ana alana ayrılmıştır. Bunlar; Operasyonel Sistemler; Haberleşme ve Seyrüsefer Sistemleri; Performans ve Verimlilik; Veri Analizleri, Güvenlik ve Emniyet; Havacılık Hukuku ve Politikaları ve HTY'de Yeni Teknolojiler başlıklarıdır. Bu sınıflandırma yapısının bu alanda çalışmak isteyen ulusal araştırmacılara bir ufuk açacağı düşünülmektedir. Son olarak gelecekteki olası HTY problemleri ve araştırmacıların desteğine ihtiyaç duyulabilecek alanlardan bahsedilmiştir. HTY araştırma alanlarının hangi yöne evrildiği farklı açılardan ele alınarak değerlendirilmiştir. Bir sonraki çalışmamızda geleceğin uçuş teknolojileri de hesaba katılarak Hava Trafik Kontrol alanında araştırma yapılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] https://www.icao.int/Meetings/STA10/Documents/Sta10_Wp007_en.pdf; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [2] <https://www.eurocontrol.int/master-plan-architecture-and-monitoring>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [3] <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/air-traffic-management/atmans-organisations-approvals-and-atco-training-organisations-approvals>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [4] Cavcar M. Havacılığa Giriş. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, 2015.
- [5] <https://www.icao.int/annual-report-2017/Pages/the-world-of-air-transport-in-2017.aspx>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [6] <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [7] <https://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/urunler/sivil-havacilik-cozumleri-0>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [8] Isaac A. Human error in European ATM: HERA project. Reliab.Eng.&System Safety 2016; 75(2): 257-272.
- [9] Conde RMM, Balakrishnan H. Trajectory clustering and classification for characterization of air traffic flows. 16th AIAA Aviation Tech., Integration, Operations Conference; 13-17 June 2016; Washington, USA: pp.3760.
- [10] Bosson CS, Nikoleris T. Supervised learning applied to air traffic trajectory classification. AIAA Information Systems-AIAA conference; 8-12 January 2018; Kissimmee, Florida: pp.1637.
- [11] Liu PCB, Hansen M, Mukherjee A. Scenario-based air traffic flow management: From theory to practice. Transportation Research Part B: Methodological 2008; 42: 685-702.
- [12] Christien R, Benkouar A, Chaboud T, Loubieres P. Air traffic complexity indicators & ATC sectors classification. The 21st Digital Avionics Systems Conference; 27-31 Oct. 2002; Irvine, CA, USA: IEEE. pp. 2D3-2D3.
- [13] Austrian EM, Berry KA, Sawyer MW, DeHaas A. Planning for the Future: Human Factors in NextGen Air Traffic Management. 18th International Symposium on Aviation Psychology; 4-7 May 2015; Dayton, Ohio, USA: pp. 294.

- [14] Cook A, Rivas D. Complexity science in air traffic management. Routledge press, 2016.
- [15] Cook A, Blom HA, Lillo F, Mantegna RN, Micciche S, Rivas D, Zanin M. Applying complexity science to air traffic management. *Journal of Air Transport Management* 2015; 42: 149-158.
- [16] Corver S, Grote G. Uncertainty management in enroute air traffic control: a field study exploring controller strategies and requirements for automation. *Cognition, Technology & Work* 2016; 18(3): 541-565.
- [17] Sampigethaya K, Kopardekar P, Davis J. Cyber security of unmanned aircraft system traffic management (UTM). *Integrated Communications, Navigation, Surveillance Conf. (ICNS)*; 10-12 April 2018; Herndon, VA, USA: IEEE pp. 1C1-1.
- [18] Ören A, Koçyiğit Y. İnsansız hava araçları iniş sıralamasının bulanık mantık modellemesi. *CBÜ Fen Bil. Dergi* 2016; 12(1): pp. 55-66.
- [19] Özbek E. Hava Trafik yönetiminde koordinasyon: Türkiye hava sahasının esnek kullanımı konseptinin koordinasyon süreçlerinin betimlenmesi, MSc Tez, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2015.
- [20] Dönmez K. Türk hava sahasında meydana gelen ölümcül uçak kazalarına insan faktörleri analiz ve sınıflandırma sisteminin (HFACS) Uygulanması. *The Journal Of Academic Social Science Studies* 2017; 6(59): 229-253.
- [21] Paşaoğlu C. İnsansız hava araçlarının ulusal hava sahalarına entegrasyonu ve yeni hava trafik yönetimi konsepti için otomatik HTK modellemesi ve uçuş yönetim sistemi geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2016.
- [22] Aydoğan E. Hava trafik akış ve kapasite yönetiminde saha kontrol için toplama noktası yaklaşımı, MSc Tez, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2015.
- [23] Wu CL, Caves RE. Research review of air traffic management. *Transport Reviews* 2002; 22(1): 115-132.
- [24] Bianco L, Bielli M. Air traffic management: Optimization models and algorithms. *Journal of Advanced Transportation* 1992; 26(2): 131-167.
- [25] Cavcar A. Hava trafik akış planlaması için karar destek sistemi ve Türkiye için öneriler. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11666.pdf>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [26] Kopardekar P, Magyarits S. Dynamic density: measuring and predicting sector complexity. In *Proceedings. The 21st Digital Avionics Systems Conference*; 27-31 Oct. 2002; Irvine, CA, USA: IEEE. pp. 2C4-2C4.
- [27] Laudeman IV, Shelden SG, Branstrom R, Brasil CL. Dynamic Density: An Air Traffic Management Metric 1998; No. NAS 1.15: 112226, NASA/TM-.
- [28] Hafidi M, Benaddy M, Krit SD. Review of Optimization and Automation of Air Traffic Control Systems. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS*; June, 2018; Istanbul, Turkey: pp. 10.
- [29] Chertow MR. The IPAT Equation and Its Variants. *J. Ind. Ecol.* 2000; 4(4): 13-29.
- [30] Özgür M. Taktik hava trafik akış ve kapasite yönetimi için bir optim. modeli, Tez, Anadolu Üniv., Eskişehir, TR, 2013.
- [31] <https://ssd.dhmi.gov.tr/Sayfalar/default.aspx>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [32] <https://www.eurocontrol.int/communications-navigation-and-surveillance>; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [33] https://www.skybrary.aero/index.php/Situational_Awareness; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [34] Dominguez C, Vidulich M, Vogel E, McMillan G. Situation awareness: Papers and annotated bibliography. *Armstrong Laboratory, Human System Center* 1994; ref. AL/CF-TR-1994-0085
- [35] Celenk M, Eren H, Poyraz M. Prediction of driver head movement via Bayesian Learning and ARMA modeling. *Intelligent Vehicles Symposium*; 3-5 June 2009; Xi'an, Shaanxi, China: IEEE. pp. 542-547.
- [36] Tunç İ. Emniyet yönetim sistemi uygulamalarının hava trafik kontrol hizmetlerine katkılarının analizi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2018.
- [37] Karaduman O, Eren H, Kurum H, Celenk M. Road-geometry-based risk estimation model for horizontal curves. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2016; 17(6): 1617-1627.
- [38] Kopardekar P, Rios J, Prevot T, Johnson M, Jung J, Robinson JE. Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations. *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*; 13-17 June 2016; Washington, DC, USA: Vol.13.
- [39] Brittain M, Wei P. Autonomous Air Traffic Controller: A Deep Multi-Agent Reinforcement Learning Approach. *36 th ICML Conference*; June 14, 2019; Long Beach, CA, USA: arXiv preprint arXiv:1905.01303.
- [40] Celik K, Eren H, UAV fuel preferences for future cities, *6th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair ICSG*; 25-26 April 2018; Istanbul, Turkey: pp. 151-154.
- [41] Karaduman M, Çınar A, Eren H. UAV Traffic Patrolling via Road Detection and Tracking in Anonymous Aerial Video Frames, *J. Intelligent Robotics Systems* 2019; 95(2): 675-690.
- [42] https://www.transtats.bts.gov/OT_Delay/ot_delaycause1.asp?type=1&pn=1; erişim tarihi: 11.02.2020.
- [43] https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2016_eu_air_transport_industry_analyses_report.pdf; erişim tarihi: 11.12.2020.
- [44] Martin L, Bienert N, Claudatos L, Gujral V, Kraut J, Mercer J. Effects of task allocation on air traffic management human-automation system performance, *IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference DASC*; 25-30 Sept 2016; Sacramento, CA, USA: pp. 1-8.
- [45] Metzger U, Parasuraman R. Automation in Future Air Traffic Management: Effects of Decision Aid Reliability on Controller Performance and Mental Workload, *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc* 2005; 47(1): 35-49.

Hidrolojik Parametrelerin Pik Debi Üzerindeki Duyarlılıklarının İncelenmesi

Hüseyin AKAY^{1*}

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

*¹ hakay@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 12/10/2019;

Kabul/Accepted: 07/02/2020)

Öz: Bu çalışmanın amacı hidrolojik parametrelerin pik debi üzerindeki duyarlılıklarının incelenmesidir. Bunun için Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan ve akım ölçümleri bulunmayan Akçay Havzası'nın ArcGIS ve HECGeo-HMS yazılımları kullanılarak havza modeli oluşturulmuştur. Havzaya ait zemin tipi ve arazi kullanım haritaları kullanılarak havzanın eğri numarası tahmin edilmiştir. Havzanın karakteristikleri de dikkate alınarak toplanma süresi ve depolama katsayısı tahmin edilmiş ve HEC-HMS yarı dağılımlı hidrolojik modeli kullanılarak dolaysız akış hesaplanmıştır. Tahmin edilen hidrolojik parametreler belirsizlik içerdiğinden hidrolojik parametreler üniform, normal ve üçgen istatistiksel dağılımları dikkate alınarak ve eşit değişim katsayısı kullanılarak Monte Carlo yaklaşımıyla 10000 adet üretilmiştir. Bu parametrelerle pik debiler hesaplanmış, güven aralıkları belirlenmiş ve lokal duyarlılık analizleri yapılmıştır. İstatistiksel dağılımdan bağımsız olarak eğri numarası pik debi üzerinde en büyük duyarlılığa sahip olurken toplanma süresinin pik debi üzerinde en az duyarlılığa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca dolaysız akış parametrelerinden depolama katsayısının toplanma süresine kıyasla pik debi üzerinde daha fazla duyarlılığa sahip olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Batı Karadeniz Havzası, duyarlılık analizi, HEC-HMS hidrolojik modeli, Monte Carlo analizi.

Investigation of Sensitivity of Hydrologic Parameters on Peak Discharge

Abstract: The aim of this study is to investigate the sensitivity of hydrologic parameters on peak discharge. The basin model of Akçay Basin which is ungauged and located in the Western Black Sea Basin was created by using ArcGIS and HECGeo-HMS softwares. Using the soil type and land use maps of the basin, the curve number of the basin was estimated. Time of concentration and storage coefficient of the basin were estimated taking into consideration the characteristics of the basin and the direct runoff was calculated using the HEC-HMS, semi-distributed hydrological model. Since the predicted hydrological parameters contain uncertainty, 10000 numbers of parameters were produced by using Monte Carlo approach by taking uniform, normal and triangular statistical distributions into consideration and using equal coefficient of variation. Peak flow rates were calculated with these parameters, confidence intervals were determined and local sensitivity analyses were performed. Regardless of the statistical distribution, the curve number has the most sensitivity, while the time of concentration has the least sensitivity on the peak discharge. It was also noted that the storage coefficient of the basin which was efficient in transformation of effective precipitation to direct runoff had more sensitivity on the peak flow than the time of concentration.

Key words: Western Black Sea Basin, Sensitivity analysis, HEC-HMS hydrological model, Monte Carlo analysis.

1. Giriş

Bir havzada yağış-akış ilişkisinin tahmininde hidrolojik süreçlerde kullanılan parametreleri tahmin etmek ve bu parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemek uzun yıllardır devam edegelen araştırma konularından biridir. Arazi deneyleri, gözlemlerle desteklenmiş uzaktan algılama yöntemleri, bilinen yağış-akış ilişkisine göre hidrolojik parametrelerin kalibrasyonu gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmakta ve daha hassas ve ekonomik sonuçların elde edilmesi için çalışmalar devam etmektedir [1-3]. Havzaların drenaj alanı, en uzun akım yolu, havzanın eğimi, Benson eğimi gibi havza büyüklükleri ile hidrolojik parametreler arasında çok iyi belirleme katsayısına (R^2) sahip regresyon analizleri yapılarak tahmin edilen hidrolojik parametrelerin akışı makul seviyede tahmin ettiği görülmüştür [4-7]. Hidrolojik parametreleri tahmin etmek için yapılan kabuller ve basitleştirmeler gerçekte bu parametrelerin doğada rastgele dağılım göstermesinden ve bazı sınırlamaları kabul etmemesinden ötürü belirsizliklere neden olabilmektedir [8]. Tahmin edilen hidrolojik parametrelerin belirsizliklerinin incelenerek sonuçlar üzerindeki etkileri ve anlamlılık düzeyleri değerlendirilmelidir. Parametre

* Sorumlu yazar: hakay@gazi.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-9714-4590

belirsizliklerine göre hesaplanan sonuçların güvenilirliği, istatistiksel anlamlılık düzeyi ve parametre sayısı temelinde hesaplanan güven aralığına göre karar verilmesine olanak sağlar.

Yağıştan akışa kadar geçen süreçlerde hidrolojik parametrelerin her birinin hassas olarak belirlenebilmesi oldukça güçtür. Yağış-akış ilişkisinin bünyesinde var olan hidrolojik süreçlerin iç içe geçmiş olması bu süreçlerdeki parametrelerin belirsizliğini de doğrudan etkileyebilmektedir. Her bir parametrenin taşıdığı belirsizlik, tahmin edilen ve doğrulanan akış sonuçlarında da önemli ölçüde değişimlere/sapmalara neden olabilmektedir. Duyarlılık analizi, model sonuçlarında oluşan belirsizliğe neden olan parametreyi belirlemeye yardımcı olur. Yağış-akış sürecinde kullanılan yöntem parametrelerinin tahmin edilen sonuçlar üzerindeki baskınlıklarının bilinmesi farklı fırtınalarda yapılan doğrulama sonuçlarının da belirsizliği ya da hassaslığı hakkında fikir verebilmektedir. Tahmin edilen hidrolojik parametrelerin istatistiksel davranışlarının veya eğilimlerinin bilinmesi parametrelerin tahmin edilen sonuçlar üzerindeki duyarlılığının da belirlenmesine yardımcı olabilmektedir. Duyarlılık analizi, tahmin sonuçlarına en duyarlı parametrenin belirlenmesine ve duyarlılığı az olan parametrenin kalibrasyon sürecinden çıkarılarak gereksiz işlemden kaçınılmasına imkan sağlamaktadır [8].

Tahmin edilen hidrolojik parametrelerin belirsizliği ve tahmin sonuçlarını ne ölçüde etkilediği ya da aynı sonuçların parametrelerin farklı değerlerine göre de elde edilebileceği, parametrelerin benzersiz olmaması problemlerine yol açabilmektedir. Kalibre edilen parametrelerin benzersizliği sorununu aşmak için araştırmacılar çalışmalarında farklı optimizasyon tekniklerini kullanmışlardır. Belirsizlik konusunu önemseyen hidrolojik modellerde farklı algoritmalar kullanılarak detaylı belirsizlik/duyarlılık analizlerinin yapılabilmesi mümkün olabilmektedir. Birçok araştırmacı Soil & Water Assessment Tool (SWAT) hidrolojik modelini kullanarak tahmin ettikleri hidrolojik parametrenin belirsizliklerini test etmişlerdir. Hatta araştırmacılar farklı optimizasyon algoritmalarını kullanarak tahmin edilen parametrelerin belirsizliğini karşılaştırmışlardır [8, 9]. HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) gibi bazı yarı dağılımlı hidrolojik modellerde bilinen yağış-akış ilişkisine göre hidrolojik süreçlerin tahmininde kullanılan parametreler çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak lokal düzeyde tahmin edilebilmektedir. Ayrıca, bazı araştırmacılar tahmin edilen parametrelerin sonuçlar üzerindeki duyarlılıklarını inceleyerek parametrelerin belirsizliği hakkında fikir sunmuşlardır [10-13]. Jamshid Mousavi ve diğerleri [11] SUFI 2 algoritmasını HEC-HMS modelinde kullanarak hidrolojik parametreleri belirsizlik temelinde kalibre etmişlerdir. Lehab-Boukezzi ve diğerleri [13] çalıştıkları havzada GLUE yöntemini HEC-HMS modelinde kullanarak kalibre ettikleri parametrelerin belirsizliğini incelemişlerdir. Shamsudin ve diğerleri [10] hidrolojik süreçlerin modelinde kullanılan parametreleri kalibre ederek Monte Carlo yaklaşımıyla parametrelerin aralıklarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar tarafından sunulan bu çalışmalarda belirsizlik konusu başarılı bir şekilde incelenmiş ve bazı öneriler sunulmuştur.

Kalibre edilen hidrolojik parametrelerin model sonuçları üzerindeki duyarlılıkları, kalibre edilen parametrelerin benzersizliğinin ve kalibrasyon tekniğinde kullanılan algoritmanın da bir başarı ölçütü olarak değerlendirilmektedir. Duyarlılık analizleri literatürde genellikle lokal ve global olmak üzere iki düzeyde yapılabilmektedir. Lokal olarak yapılan duyarlılık analizinde bir parametre değişirken diğer parametreler sabit bırakılarak parametre değişiminin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmektedir. Lokal duyarlılık analizinde birkaç analizle parametrenin değişiminin sonuçlar üzerindeki etkisi anlaşılabilir. Global duyarlılık analizinde ise tüm parametrelerin rastgele değer almasıyla parametrelerin değişiminin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkileri de incelenebilmektedir. Global duyarlılık analizinde çok daha fazla sayıda analiz yapılarak parametrelerin değişiminin sonuçlar üzerindeki etkisi anlaşılabilir [8].

Hidrolojik model sonucunda kalibre edilen hidrolojik parametrelerin farklı algoritmalar kullanılarak global duyarlılık analiz çalışmaları halen devam etmektedir. Linhoss ve diğerleri [14] iki farklı duyarlılık analiz sonuçlarını analiz yaptıkları hidrolojik modelde karşılaştırmışlar ve iklim değişikliği problemlerine karşı model ve duyarlılık analizi sonuçlarını havza gözlem çalışmalarına entegre etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan, sıklıkla taşkınlarla maruz kalan ve akım ölçümleri bulunmayan Akçay Havzası'nın hidrolojik parametreleri, havza karakteristikleri kullanılarak tahmin edilmiş ve 2008 yılında meydana gelmiş yağış verileri kullanılarak HEC-HMS hidrolojik modeli yardımıyla modellenmiş ve dolaysız akış hidrografi tahmin edilmiştir. Hidrolojik süreçlerin modellenmesinde etkili olan parametreler, bazı olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak Monte Carlo yaklaşımıyla belirli sayıda rastgele parametre değerleri oluşturulmuştur. Bu parametreler hidrolojik modelde kullanılarak pik debiler hesaplanmış ve %95 güven aralığında alt ve üst sınırdaki pik debiler belirlenmiştir. Ayrıca, hidrolojik parametrelerin pik debi üzerindeki lokal duyarlılıkları incelenerek parametrelerin pik debi üzerindeki duyarlılıkları en büyükten en küçüğe doğru sıralanmıştır. Böylelikle, bu çalışma ile hidrolojik parametrelerin tahmin edilmesinde meydana gelebilecek sapmanın tahmin edilen sonucu sayısal olarak ne ölçüde etkilediği hakkında fikir vermesi amaçlanmıştır.

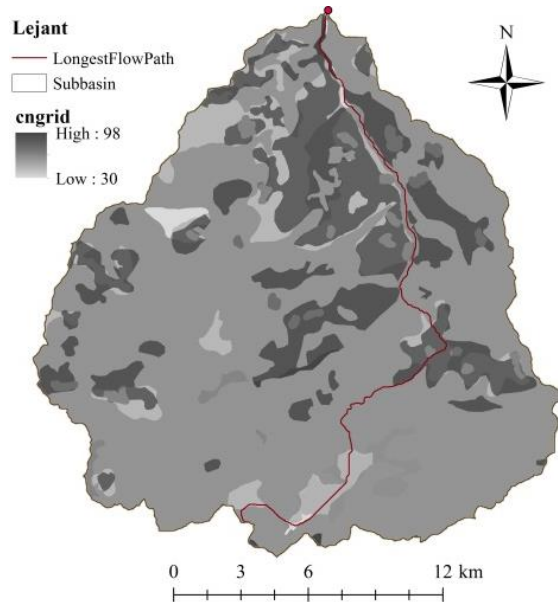
2. Materyal ve Metod

Çalışma kapsamında izlenen yöntem aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar ArcGIS 10.1 yardımıyla sayısallaştırılarak Sayısal Yükseklik Modeli oluşturulur. ArcHydro araç çubuğu kullanılarak çalışma alanının arazi modeli oluşturulur.
- Arazi modeli HECGeo-HMS'ye aktarılır ve havzanın karakteristikleri belirlenir.
- Orman Bakanlığı'ndan temin edilen arazi kullanım ve zemin tipi haritaları kullanılarak havzanın sızma modelinde ve toplanma süresinin hesabında kullanılan eğri numarası dağılımı belirlenir.
- Akış parametreleri tahmin edilir.
- Havza, hidrolojik analizinin yapılabilmesi için HEC-HMS'ye aktarılır ve Eylül 2008'de Çatalzeytin Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nda gözlenen yağış verileri ve hesaplanan havza parametreleri kullanılarak dolaysız akış hidrografi ve pik debi hesaplanır.
- Havzanın hidrolojik parametreleri Monte Carlo yaklaşımına göre farklı dağılımlar kullanılarak rastgele tahmin edilerek pik debi hesaplanır.
- Hesaplanan pik debiler kullanılarak %95 güven aralığında kalan pik debi aralıkları belirlenir.
- Pik debiler üzerinde hidrolojik parametrelerin duyarlılığı hesaplanır.

2.1. Çalışma alanı

Bu çalışmada, 30000 km² drenaj alanına, 811 mm yıllık ortalama yağışa ve 9.93 km³ yıllık akış hacmine sahip Batı Karadeniz Havzası'nda bulunan küçük bir alt havza çalışma alanı olarak seçilmiştir [15]. Akçay, Kastamonu Bozkurt ve Çatalzeytin ilçeleriyle Sinop Türkeli ilçesinden drene olan suyu toplayarak Karadeniz'e deşarj etmektedir [16, 17]. Akçay Havzası'nın en büyük ve ortalama yükseklikleri sırasıyla 2005 ve 1150 m'dir. Havzanın drenaj alanı 372.4 km², çevresi 112.4 km, en uzun akım yolu 35.6 km ve ortalama eğimi % 45'tir. Bölgede dik eğim nedeniyle meydana gelen ani taşkınlar tarım alanları ve alt yapıya önemli zararlar verebilmektedir. Havzada eğri numarasının dağılımı, hidrolojik zemin grupları ve arazi örtüsü/kullanımı göz önünde bulundurularak ABD Tarım Departmanı tarafından önerilen sınıflandırma esas alınarak belirlenmiştir. Çalışılan havzanın hidrolojik zemin grupları, büyük toprak gruplarına göre değerlendirildiğinde çoğunluğunun D grubunda yer aldığı belirlenmiştir [16, 17]. Buna göre havzanın ortalama eğri numarası 79.32 olarak hesaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Akçay Havzası'nın drenaj alanı, en uzun akım yolu ve eğri numarası değişimi.

2.2. Hidrolojik modelleme

Bu çalışmada yağış-akış ilişkisini modellemek için yarı dağılımlı bir hidrolojik model olan Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) yazılımı kullanılmıştır. HEC-HMS hidrolojik modeli temel olarak alt havzalar için sızma, akış ve baz akım, akarsular için öteleme hidrolojik süreçlerini modeller [18]. Ayrıca, her bir alt havzaya ait yağış, buharlaşma, sıcaklık, nem, radyasyon gibi veriler de kullanılarak yazılım kapsamında meteorolojik modelleme de yapılabilir. Bu çalışmada Akçay Havzası tek havza olarak modellendiğinden sızma ve akış modelleri kullanılarak dolaysız akış hidrografi tahmin edilmiştir.

Havzanın çıkış noktasına yakın konumda bulunan Çatalzeytin MGI'de Eylül 2008'de meydana gelen saatlik yağış verileri kullanılarak havzaya ait yağış modeli oluşturulmuştur. Havzanın sızma modeli SCS (Soil Conservation Service) sızma kaybı yöntemi kullanılarak modellenmiştir (Denklem 1 ve Denklem 2). Sızma kayıpları çıkarıldıktan sonra hesaplanan etkili yağıştan (P_e) dolaysız akışa geçiş için Clark birim hidrografi yöntemi kullanılmıştır. Clark birim hidrografi yönteminde dolaysız akış hidrografi, toplanma süresi (T_c) ve depolama katsayılarına (S_c) göre hesaplanabilmektedir. T_c 'nin hesabı için literatürde farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada T_c , SCS tarafından önerilen yöntem kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 3). S_c , arazi kullanımına göre değişebilen bir parametre olup literatürde genellikle T_c ile ilişkilendirilerek ifade edilmiştir. Yoo ve diğerleri [5] çalışmaları havzada yaptıkları kalibrasyon ve doğrulama sonuçlarına göre S_c 'nin Denklem 4'te sunulduğu gibi hesaplanabileceğini ifade etmişlerdir.

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

$$T_c = \frac{4.111L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900I^{0.5}} \quad (3)$$

$$S_c = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867L^2/A} \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemlerde, S akış başladıktan sonra zeminin potansiyel nemini, CN eğri numarasını, L en uzun akım yolunu, I havzanın ortalama eğimini, A havzanın drenaj alanını ifade etmektedir. Hidrolojik analizde kullanılan CN, T_c ve S_c parametrelerinin değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de belirlenen veriler kullanılarak dolaysız akış hidrograf hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan pik debinin hidrolojik parametrelere duyarlılığının incelenmesi için Monte Carlo analizi uygulanmıştır.

Tablo 1. Hidrolojik analizde kullanılan parametreler

CN	T_c (saat)	S_c (saat)
79.32	3.633	3.121

2.3. Monte Carlo analizi

Akçay Havzası'nın sızma ve akış hidrolojik süreçlerinde kullanılan CN, T_c ve S_c parametrelerinin değişiminin pik debi üzerindeki etkisi Monte Carlo yaklaşımı esasına göre incelenmiştir. Bu parametreler bazı dağılımlar dikkate alınarak istenilen sayıda Monte Carlo yaklaşımına göre rastgele üretilebilir. Jamshid-Mousavi ve diğerleri [11] ve Lehbab-Boukezzi ve diğerleri [13] parametrelerin üniform dağıldığını kabul ederek Monte Carlo yaklaşımına göre parametre değerlerini rastgele üretmiş ve hidrolojik analizleri yapmışlardır. Üniform dağılım, parametrelerin dağılımının bilinmemesi durumunda basit ve genel olarak kullanılabilir bir istatistiksel yöntemdir. Bu çalışmada da üniform dağılımın yanı sıra normal ve üçgen dağılımlar da kullanılarak pik debiler hesaplanmış ve farklı dağılımların parametre duyarlılıkları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı dağılımların pik debi üzerinde duyarlılığını kıyaslayabilmek için hidrolojik parametrelerin Tablo 1'deki değerleri ile aynı değişim katsayısı (COV) dikkate alınarak rastgele değerleri üretilmiş (Tablo 2) ve pik debiler hesaplanmıştır. Rastgele üretilen parametre sayısı arttıkça hesaplanan pik debilerin güven aralığı daralacağından ve COV değerleri de azalacağından parametre sayısı 10000 olarak seçilmiştir. Tablo 1'de hesaplanan parametre değerleri istatistiksel dağılıma göre ortalama veya mod değerler olarak alınmıştır. COV değerleri parametrelerin

rastgele üretilmesinde ve dağılımlarda kullanılan standart sapma, minimum ve maksimum değerlerinin hesaplanabilmesi için kullanılmıştır. Bu çalışmada COV değeri %2.9 alınarak T_c ve S_c 'nin değişimi sınırlanmış ve CN'nin de zeminin farklı nem durumlarına bağlı olarak modellenebilmesi sağlanmıştır. Üretilen değerler HEC-HMS hidrolojik modeli yardımıyla hesaplanan dolaysız akış hidrograflarının ve pik debi değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Pik debilerin eşit değişim katsayısından ve istatistiksel dağılımdan nasıl etkilendikleri duyarlılık analizi yapılarak incelenmiştir. Her bir analizde hesaplanan 10000 pik debiye göre %95 güven aralığının alt ve üst sınırları belirlenmiş ve Tablo 1'deki değerlerle hesaplanan pik debinin bu güven aralığında kalıp kalmadığı incelenmiştir.

Tablo 2. Monte Carlo Analizinde kullanılan parametrelerin istatistiksel özellikleri

Analiz No	Parametre	COV (%)	Dağılım
1	T_c	2.9	Üniform
2	S_c	2.9	Üniform
3	CN	2.9	Üniform
4	T_c	2.9	Normal
5	S_c	2.9	Normal
6	CN	2.9	Normal
7	T_c	2.9	Üçgen
8	S_c	2.9	Üçgen
9	CN	2.9	Üçgen

2.4. Duyarlılık analizi

Bu çalışma kapsamında her analizde parametrelerin pik debi üzerindeki etkisi lokal duyarlılık analizi yapılarak irdelenmiştir. Lokal duyarlılık analizi, uygulanması kolay olduğundan tercih edilmiştir. Parametrelerin pik debi üzerindeki bağıl duyarlılığı (S_r) Denklem 5 ile hesaplanmıştır [19].

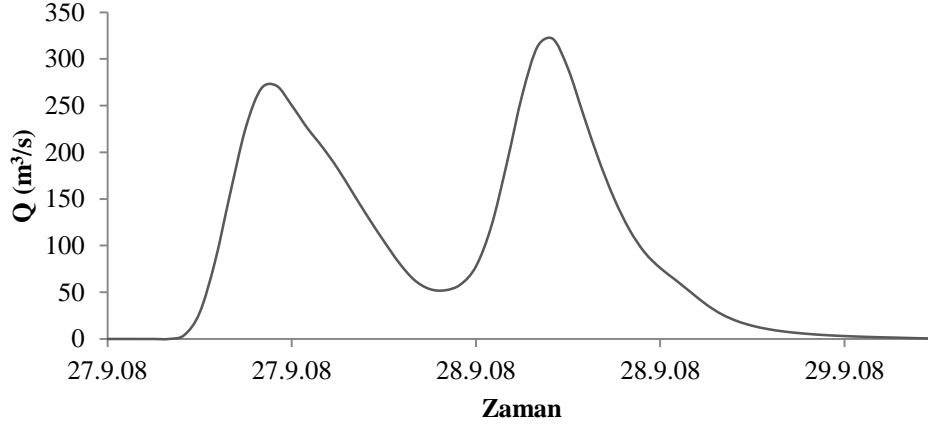
$$S_r = \frac{O_2 - O_1}{V_2 - V_1} \frac{V_2 + V_1}{O_2 + O_1} \quad (5)$$

burada O ve V sırasıyla pik debiyi ve değiştirilen parametreyi ifade etmektedir. S_r değeri boyutsuz bir büyüklük olduğundan ve parametreler arası karşılaştırma yapılabilmesine olanak sağladığı için tercih edilmiştir [20]. S_r değerinin göreceli olarak büyük olması, o hidrolojik parametrenin pik debi üzerinde duyarlılığının fazla olduğunu göstermektedir.

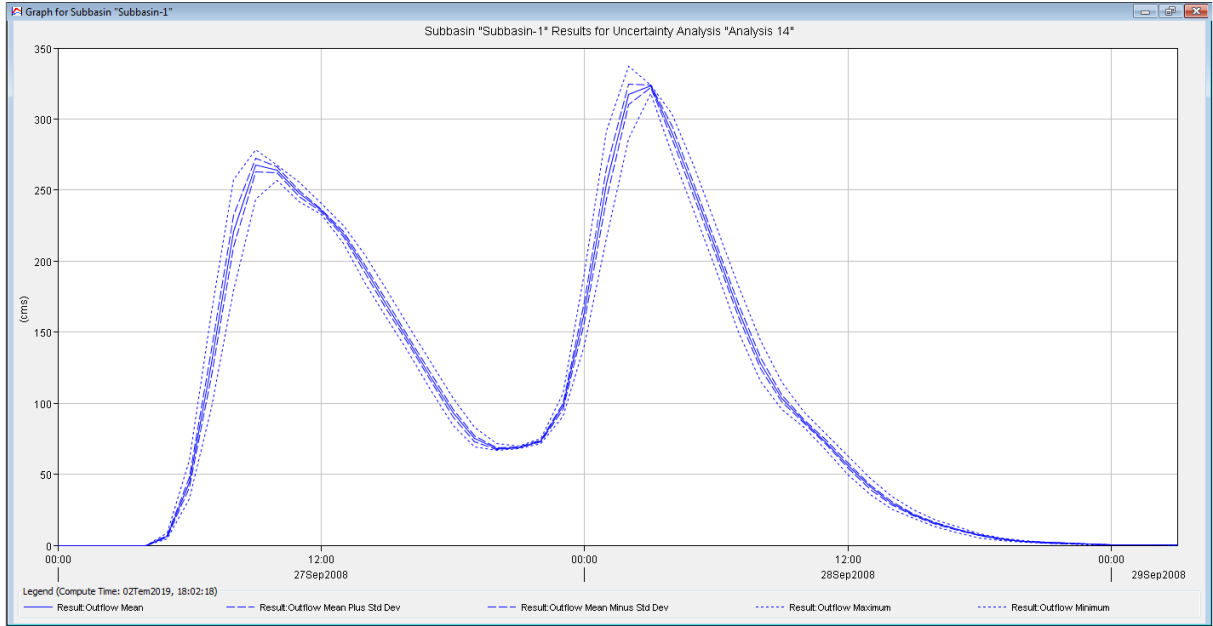
3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1'de hesaplanan parametreler ve Eylül 2008'de meydana gelen saatlik yağış verileri HEC-HMS yarı dağılımlı hidrolojik modelde kullanılarak hesaplanan dolaysız akış hidrografi Şekil 2'de verilmiştir. Bu yağış sonucunda pik debi 323.27 m³/sn olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'te analiz 1 durumunda minimum, ortalama, maksimum ile ortalamanın bir standart sapma fazlası ve eksiği dikkate alınarak model tarafından hesaplanmış dolaysız akış hidrograf örneği sunulmuştur. Tablo 2'de verilen analiz senaryolarına göre Monte Carlo yaklaşımıyla üretilen parametrelerin en küçük ve en büyük değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Ayrıca Tablo 3'te Tablo 2'de verilen durumlarda üretilen rastgele parametrelerle hesaplanan pik debilerin %95 güven aralığına göre en büyük (%95 UL) ve en küçük değerleri (%95 LL), hesaplanan pik debilerin COV değerleri ile parametrelerin hesaplanan pik debiler üzerindeki S_r bağıl duyarlılıkları sunulmuştur. Monte Carlo yaklaşımıyla üretilen hidrolojik parametrelerin en büyük ve en küçük değerleri arasındaki açıklık en büyükten en küçüğe doğru sıralaması sırasıyla normal, üçgen ve üniform dağılımlarında gerçekleşmiştir. Tablo 1'de verilen parametrelerle yapılan hidrolojik modelle hesaplanan pik debi (Şekil 2), kullanılan istatistiksel dağılımdan bağımsız olarak üretilen T_c parametresiyle hesaplanan pik debilere göre % 95 güven aralığında yer almamaktadır. Aksine, Şekil 2'de hesaplanan pik debi kullanılan istatistiksel dağılımdan bağımsız olarak üretilen CN parametresiyle hesaplanan pik debilere göre de %95 güven aralığında yer almaktadır. Sadece normal dağılım dikkate alınarak üretilen S_c parametresi ile hesaplanan pik debi %95 güven aralığında yer almamaktadır. Monte Carlo analizi ve hidrolojik modelleme sonuçlarına göre hesaplanan pik debilerin COV değerleri, kabul edilen istatistiksel dağılımdan bağımsız olarak en küçükten en büyüğe doğru parametreler sırasıyla T_c , S_c ve CN'dir.

Tüm istatistiksel dağılımlara göre CN parametresi için hesaplanan COV değeri diğer parametrelere kıyasla oldukça fazla olduğundan tüm istatistiksel dağılımlarda % 95 güven aralığı oldukça geniş bantta meydana gelmiştir. T_c parametresi için de bu durumun tam tersi söz konusudur. Hidrolojik parametrelerin pik debi üzerindeki duyarlılığı (S_r), kullanılan istatistiksel dağılımdan bağımsız olarak incelendiğinde en küçük bağıl duyarlılığa sahip olan parametre T_c ve en büyük bağıl duyarlılığa sahip parametre CN'dir. Elde edilen sonuçlar bu yönüyle COV ve S_r değerlerinin arasında bir uyum olduğunu göstermektedir. Etkili yağıştan akışa dönüşüm parametrelerinden S_c 'nin T_c 'ye kıyasla pik debi üzerinde daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 2. Parametrelere göre hesaplanan dolaysız akış hidrografi.



Şekil 3. Analiz 1 için model tarafından hesaplanan minimum, ortalama, maksimum ile ortalamanın bir standart sapma eksiği ve fazlası dolaysız akış hidrografi.

Tablo 3. Monte Carlo Analizinde kullanılan parametreler ve hesaplanan pik debilerin istatistiksel özellikleri

Analiz No	Parametre	En küçük değer	En büyük değer	%95 LL	%95 UL	COV (%)	S _r
1	T _c	3.451	3.815	323.28	323.29	0.09	0.03
2	S _c	2.965	3.277	323.26	323.39	0.99	0.35
3	CN	75.35	83.29	322.70	323.36	5.28	1.82
4	T _c	3.260	4.006	323.36	323.38	0.16	0.11
5	S _c	2.808	3.449	323.30	323.43	0.98	0.34
6	CN	71.11	87.71	323.09	323.80	5.60	2.57
7	T _c	3.380	3.886	323.34	323.36	0.12	0.08
8	S _c	2.903	3.334	323.26	323.38	0.98	0.34
9	CN	73.86	84.87	322.68	323.36	5.37	2.19

4. Sonuçlar

Batı Karadeniz Havzası'nda yer alan Akçay Havzası'nın Eylül 2008'de meydana gelen saatlik yağış verileri kullanılarak HEC-HMS programı yardımıyla hidrolojik modelleme yapılmıştır. ArcGIS ve HECGeo-HMS yazılımları kullanılarak havza modeli oluşturulmuştur. Sızma ve dolaysız akış süreçlerinin hesaplanabilmesi için sırasıyla SCS ve Clark birim hidrograf yöntemi kullanılmıştır. Havzanın eğri numarası, zemin tipi ve arazi kullanım haritasına göre belirlenmiş olup hem sızma modelinde hem de toplanma süresinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Clark birim hidrograf yönteminde akışın hesaplanması için kullanılan depolama katsayısı Yoo ve diğerleri [5] tarafından önerilen yaklaşıma göre hesaplanmıştır. Belirlenen parametreler modellemede kullanılmış ve dolaysız akış hidrografi hesaplanmıştır.

ArcGIS ve HECGeo-HMS olanaklarıyla tahmin edilen parametreler belirsizlik içerdiğinden zamandan bağımsız hidrolik analizlerde de kullanılacak pik debinin parametre değişimlerine duyarlılığı incelenmiştir. HEC-HMS yardımıyla hidrolojik parametreler ayrı ayrı üniform, normal ve üçgen dağılımlar dikkate alınarak ve eşit değişim katsayısına sahip olacak şekilde Monte Carlo yaklaşımıyla rastgele 10000 adet üretilmiştir. Bu parametreler kullanılarak hidrolojik süreçler modellenmiş, dolaysız akış hidrografi ve pik debilerin değişim aralığı hesaplanmıştır. ArcGIS ve HECGeo-HMS olanaklarıyla tahmin edilen hidrolojik parametrelerle hesaplanan pik debilerin güven aralığının alt ve üst limitleri belirlenmiştir. Monte Carlo yaklaşımında kullanılan istatistiksel dağılımdan bağımsız olmak üzere eğri numarasının pik debi üzerinde en fazla, toplanma süresinin de en az duyarlılığa sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre hidrolojik süreçlerin modellenmesinde kullanılan parametrelerin tahmininde meydana gelebilecek sapmaların elde edilecek sonucu ne ölçüde etkileyebileceği görülmüştür. Ayrıca, bilinen yağış-akış verilerine göre hidrolojik parametrelerin kalibrasyonunda duyarlılık analizi sonuçları kullanılarak amaç fonksiyonuna daha az işlemle erişim sağlanabilir.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde 114M292 no'lu projeye destek verdiği için TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Sivapalan M, Takeuchi K, Franks SW, Gupta VK, Karambiri H, Lakshmi V, Liang X, McDonnell JJ ve diğerleri. IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrolog Sci J* 2003; 48(6):857–880.
- [2] Yadav M, Wagener T, Gupta H. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. *Adv Water Resour* 2007; 30(2007):1756-1774.
- [3] Khan SI, Hong Y, Wang J, Yilmaz KK, Gourley JJ, Adler RF, Brakenridge GR, Policelli F ve diğerleri. Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria Basin: implications for hydrologic prediction in ungauged basin. *IEEE T Geosci Remote* 2011; 49(1):85-95.
- [4] Piman T, Babel MS. Prediction of rainfall-runoff in an ungauged basin: case study in the mountainous region of Northern Thailand. *J Hydrol Eng* 2013; 18(2):285-296.
- [5] Yoo C, Lee J, Park C, Jun C. Method for estimating concentration time and storage coefficient of the Clark model using rainfall-runoff measurements. *J Hydrol Eng* 2014; 19(3):626-634.

- [6] Baduna Koçyiğit M, Akay H, Yanmaz AM. Effect of watershed partitioning on hydrologic parameters and estimation of hydrograph of an ungauged basin: a case study in Gokirmak and Kocamaz, Turkey. *Arab J Geosci* 2017; 10(15):331.
- [7] Akay H, Baduna Koçyiğit M, Yanmaz AM. Effect of using multiple stream gauging stations on calibration of hydrologic parameters and estimation of hydrograph of ungauged neighboring basin. *Arab J Geosci* 2018; 11(11):282.
- [8] Abbaspour KC, Vaghefi SA, Srinivasan R. A guideline for successful calibration and uncertainty analysis for soil and water assessment: a review of papers from the 2016 international SWAT conference. *Water* 2018; 10(1):6.
- [9] Rafiei Emam A, Kappas M, Fassnacht S, Linh NHK. Uncertainty analysis of hydrological modeling in a tropic area using different algorithms. *Front Earth Sci-PRC* 2018; 12(4):661–671.
- [10] Shamsudin S, Dan'azumi S, Ab Rahman A. Uncertainty Analysis of HEC-HMS Model Parameters Using Monte Carlo Simulation. *International Journal of Modelling and Simulation* 2011; 31(4):279-286.
- [11] Jamshid Mousavi S, Abbaspour KC, Kamali B, Amini M, Yang H. Uncertainty-based automatic calibration of HEC-HMS model using sequential uncertainty fitting approach. *J Hydroinform* 2012; 14(2):286-309.
- [12] Yang SC, Yang TH. Uncertainty assessment: reservoir inflow forecasting with ensemble precipitation forecasts and HEC-HMS. *Adv Meteorol* 2014; 2014:581756.
- [13] Lehabab-Boukezzi Z, Boukezzi L, Errih M. Uncertainty analysis of HEC-HMS model using the GLUE method for flash flood forecasting of Mekerra watershed, Algeria. *Arab J Geosci* 2016; 9(20):751.
- [14] Linhoss A, Munoz-Carpena R, Kiker G, Hughes D. Hydrologic Modeling, Uncertainty, and Sensitivity in the Okavango Basin: Insights for Scenario Assessment. *J Hydrol Eng* 2013; 18(12):1767–1778.
- [15] Yanmaz AM. *Applied Water Resources Engineering*. Ankara, Turkey: Metu Press, 2013.
- [16] Akay H, Baduna Koçyiğit M. Ölçüm alınmayan bir havzada yağış akış ilişkisinin bir hidrolojik model yardımıyla belirlenmesi: Akçay Havzası örneği. In: 3rd International Congress on Technical and Vocational Sciences; June 2018; Gaziantep, Turkey. pp.2154-2159.
- [17] Baduna Koçyiğit M, Akay H. Estimation of potential flash flood risk in a basin using morphometric parameters: A case study of Akçay Basin. *J Fac Eng Archit Gaz* 2018; 33(4):1321-1332.
- [18] US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (USACE). *Hydrologic modeling system HEC-HMS user's manual*. USA: USACE, 2013.
- [19] Haan CT. Uncertainty analysis of hydrologic and water quality models. Lecture notes, 1996.
- [20] Kumar R, Chatterjee C, Lohani AK, Kumar S, Singh RD. Sensitivity analysis of the GIUH based Clark model for a catchment. *Water Resour Manag* 2002; 16(4):263–278.

Grafik Tablet Kullanılarak Makine Öğrenmesi Yardımı ile El Yazısından Cinsiyet Tespiti

Berna Arı^{1**}, Ali Arı², İlknur Ucuz³, Filiz Çiledağ Özdemir⁴, Abdulkadir Şengür¹

¹ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

³ Çocuk Psikiyatrisi, Tıp Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

⁴ Fizyoterapi ve Rehabilitasyon, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*¹bernagurler.a@gmail.com, ²ali.ari@inonu.edu.tr, ³ilknur_27@yahoo.com, ⁴fciledag@gmail.com, ¹ksengur@gmail.com

(Geliş/Received: 15/12/2019;

Kabul/Accepted: 13/02/2020)

Öz: Günlük hayatın bir rutini olan el yazısı; ruh hali, kişilik özellikleri ve var olan bazı hastalıklar hakkında ipuçları vermektedir. Bunun yanında adli tıp, tıp ve arkeoloji gibi birçok disiplin el yazısını kendi alanlarına yönelik çalışmalarda sıkça kullanmaktadır. Örneğin adli tıp; bazı vakaların aydınlatılmasında el yazısından yaş aralığı ve hangi elin kullanıldığı gibi bilgilere ulaşabilmektedir. Bu çalışmada, el yazısından cinsiyet tespiti yapan bir sistem önerilmiştir. Önerilen sistem el yazısından, el yazısını karakterize edecek bir dizi öznitelik çıkarıp bu öznitelikleri makine öğrenmesi teknikleri kullanarak cinsiyete göre sınıflandırmıştır. El yazılarının kaydedildiği tabletle hem kalemin tablete temas halindeki durumunda hem de harfler ve kelimeler arası geçişte kalemin havada izlediği eğri hareketlerinden öznitelik çıkarılmıştır. Bu öznitelikler sırası ile kalem hızı, ivmesi, yazarken oluşan sarsıntı hareketleri, eğim açısı, yazıdaki kavislenmeler, kalemin havada kalma oranı, kalemin yaptığı basınç değeri ve kalemin yükseklik açıdır. Sınıflandırıcı olarak da Karar Ağaçları (KA), Naive Bayes (NB), Destek Vektör Makineler (DVM) ve k-en Yakın Komşu (k-EYK) yaklaşımları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan veri setinde toplam 410 örnek mevcut olup, deneysel çalışmaların başarımları doğruluk kriteri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en iyi başarımın DVM ile elde edildiği ve doğruluk değerinin de %85,1 olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: cinsiyet sınıflandırma, el yazısı tanıma, makine öğrenmesi, kelime bölütleme, grafik tabletle el yazısı alımı

Gender Detection from Handwriting with the Help of Machine Learning Using a Graphic Tablet

Abstract: As a routine of daily life handwriting gives clues about mood, personality traits and some diseases. In addition, many disciplines such as forensic medicine, medicine and archeology often use handwriting in their own fields. For example, forensic medicine can reach information from the handwriting, such as age range and which hand is used in some cases. In this study, a handwriting system was proposed. The proposed system subtracted a series of features from the handwriting that would characterize the handwriting, classifying them according to gender that used in machine learning techniques. With the tablet in which handwriting is recorded, the feature is extracted from the curve movements that the pen follows in the air both in case the pen is in contact with the tablet and in the transition between letters and words. These features are the speed of the pen, acceleration, jerking movements while writing, the angle of inclination, the curves in the writing, the rate of pen stay in the air, the pressure value of the pen and the height angle of the pen. Decision Trees (DT), Naive Bayes (NB), Support Vector Machines (SVM) and k-Nearest Neighbor (k-NN) approaches were used as the classifier. There are 410 samples in the data set used in the experimental studies and the performances of the experimental studies were evaluated with accuracy criterion. According to the results that have been observed, the best performance was obtained with SVM and the accuracy value was 85.1%.

Keywords: gender classification, handwriting recognition, machine learning, word segmentation, getting the handwriting with graphic tablet

1. Giriş

Yazı, icadından günümüze kadar geçen süreçte insanların kendini ifade etmesini sağlayan en etkili araçlardan biridir. Yazının kişilere spesifik olması ve bireysel özellikler taşıması bilimin farklı alanlarında kullanımını gündeme getirmiştir. Bu duruma paralel, el yazısının karakterize edilmesini ve analizini gerçekleştiren grafoloji alanı gelişmiştir. Grafoloji, bir kişinin el yazısı özelliklerine dayalı meslek seçimi, ruh hali, kişilik özellikleri ve sahip olabileceği hastalıklar hakkında fikir vermeyi amaçlayan deneysel bir bilim alanı olarak karşımıza çıkmaktadır [1].

Birçok disiplin, el yazısı özelliklerini kendi sahasında kullanımına yönelik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Örneğin tıp alanında Parkinson hastalığı, Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB), Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite

* Sorumlu yazar: bernagurler.a@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0003-1000-2619, ²0000-0002-5071-6790, ³0000-0003-1986-4688, ⁴0000-0001-9421-0233, ⁵0000-0003-1614-2639

Bozukluğu (DEHB), nörolojik ve fiziksel birçok hastalıkta tanı koyma aşamasında el yazısı özelliklerinden faydalanılmıştır [2]. El yazısının klinik pratikte sık kullanıldığı alanlardan biri de adli tıptır. Adli tıpta birçok araştırmanın incelenmesi ve aydınlanması aşamasında el yazısı üzerinden kişinin karakteri, yaş aralığı, hangi elini daha fazla kullandığı, ırkı ve daha birçok bilgiye ulaşılabilmektedir. Bir başka alan olan tarihi araştırmalarda da geçmişin değerlendirilmesi ve tarihi belgelerin çözümlenmesi amacıyla cinsiyet, ırk, yaş gibi geçmiş dönemde yaşayan insanlara ait özellikler el yazısı aracılığıyla tespit edilmiştir [3]. El yazısı ile cinsiyet tahmini üzerine yapılan araştırmalarda erkek bireylerin el yazılarının daha “sert”, “aceleci”, “düzensiz”, “dağınık” ve “eğimli” olduğu, kadınların el yazılarının ise daha “belirleyici”, “homojen”, “narin”, “düzenli”, “tutarlı”, “muntazam” ve “büyük” olduğu görülmüştür [4,5]. El yazısına bağlı cinsiyete dayalı farklılıklar erkek ve kadınlardaki motor kontrol farklılıklarıyla ilişkili bulunmuştur [6]. Bu çalışmalar ışığında el yazısı özelliklerinin birçok farklı bilim alanında farklı bireysel özelliklerin saptanabilmesinde kullanılabileceği görülmektedir.

Kişilerin el yazısı ile sahip olduğu kişisel özellikler arasındaki benzerlikler ve farklılıklar gruplandırılarak belirli sonuçlara ulaşılmaya çalışılmış, ancak manuel olarak yapılan değerlendirmeler zaman kaybına ve verilerin objektif olarak değerlendirilememesine neden olmuştur. Günümüzde bilgisayarlı görme sistemleri ile el yazısında daha objektif bir değerlendirme yapılarak el yazısına ait birçok öznelik tespit edilebilmektedir. Tasarlanan sistemlerde harflerin boyutu, harflerin ve kelimelerin eğikliği, taban çizgisi, kalemin basıncı, harflerin ve kelimelerin arasındaki boşluklar gibi el yazısına ait pek çok öznelik saptanabilmektedir [7]. Bu öznelikler sayesinde el yazısı görüntülerinin amaca bağlı olarak sınıflandırılabilmesi sağlanabilmektedir.

Araştırmalarda el yazıları üzerinde; farklı sınıflandırma yöntemleri, farklı veri setleri ve farklı öznelikler kullanılarak cinsiyet sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Bu alandaki literatür çalışmalarına baktığımızda; Moetesum ve arkadaşları [8] tarafından, Qatar University Writer Identification (QUWI) veri setinden alınan 1000 örnek ile Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) üzerinden öznelik çıkarımı yapılmıştır. Sonrasında NB, KA, Lineer Ayırma Analizi (LAA) ve DVM kullanılmış ve el yazısından cinsiyet tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada en iyi sınıflandırıcının %70,1 ile LAA olduğu bildirilmiştir. Gattal ve arkadaşları [3], el yazısından cinsiyet tespit etmede eğitim, düzgün ve düzensiz yazma, sert ve yumuşak yazma gibi ayırt edici öznelikleri dokusal bilgiler olarak tanımlamış ve çıkarımını, yönlendirilmiş Temel Görüntü Öznelikleri (yTGÖ) ile yapmıştır. Erkeklerden ve kadınlardan alınan el yazısı örneklerinden elde edilen yTGÖ histogramları ile DVM sınıflandırıcısı eğitilmiştir. Emran ve arkadaşları [9], el yazısından cinsiyet, yaş ve el tercihi (sağlak-solak) belirlemek için akıllı bir yöntem önermiştir. Öznelik çıkarımı aşamasında yazının eğrilik derecesi, yönü ve eğimi gibi özelliklerin kullanımı tercih edilmiştir. Öznelik çıkarımı için En Küçük Artıklık En Büyük İlgililik algoritması; boyut indirgeme için ise Temel Bileşenler Analizi (TBA) kullanılmıştır. QUWI veri setindeki Arapça ve İngilizce el yazısı metinlerinden alınan görüntüler, bulanık mantık kenar algılama yöntemiyle bölütlenmiştir. El yazılarının sınıflandırılması ve karakterlerinin tanınması, k-EYK, Rastgele Orman (RO) ve DVM ile yapılmıştır. Son adımda, sınıflandırmalar önce Arapça karakterler, sonra İngilizce karakterler daha sonra ise hem Arapça hem İngilizce karakterler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Hem Arapça hem İngilizcede k-EYK, DVM ve RO için cinsiyet sınıflandırma oranları sırasıyla %74,5, %76,4 ve %75,2 olarak bulunmuştur. Morera ve arkadaşlarının [10] çalışmalarında ESA ile öznelik çıkarımı yapılmış ve kişiler hem cinsiyetine hem de el tercihinin göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmalar, İngilizce metinleri içeren IAM ve Arapça metinleri içeren KHATT olmak üzere iki veri seti üzerinde ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca cinsiyet ve el tercihinin birleştirilerek farklı bir sınıflandırma kategorisi oluşturulmuştur. Bu kategoriler; kadın-sağ el, kadın-sol el, erkek-sağ el, erkek-sol el şeklinde adlandırılmıştır. El tercihi sınıflandırmasını IAM veri seti için %90,7, KHATT veri seti için %70,9 olarak elde edilmiştir. Cinsiyet sınıflandırması ise IAM veri seti için %80,7 ve KHATT veri seti için %68,9 için bulunmuştur. Ahmed ve arkadaşları [11], Yerel İkili Örnekleme (YİÖ), Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramı (YGH), Gri Seviyeli Eş-oluşum Matrisi (GSEM) ile öznelik çıkarımı yapmıştır. Bu öznelikler eğitim, sözcük aralığı, kalem basıncı, gradyan bilgisi olarak verilmiştir. Sınıflandırma için Yapay Sinir Ağları (YSA), DVM, k-EYK, KA ve RO kullanılmıştır. QUWI veri tabanındaki kadın ve erkeklere ait el yazısı örneklerinden yaklaşık 400 adedi alınmıştır. Arapça yazılar üzerinden cinsiyet sınıflandırması yapılmış ve en iyi sınıflandırma başarımı DVM ile %78 oranında elde edilmiştir. Sonra İngilizce yazılarda YSA ile %84 başarılı cinsiyet sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmanın eğitim setinde Arapça örnekler, test setinde İngilizce örnekler kullanılarak cinsiyet sınıflandırılmış ve en iyi sınıflandırma başarımı YSA ile %79 bulunmuştur. Bir sonrakinde sınıflandırmanın eğitim setinde İngilizce örnekler, test setinde Arapça örnekler kullanılarak cinsiyet sınıflandırılmış ve YSA ile %74 doğrulukla sınıflandırılmıştır. Topaloğlu ve arkadaşlarının [1] yaptığı çalışmada, el yazısı konusunda iki amaç üzerinde durulmuştur. İlki, veri seti oluşturulurken el yazısı örneği alınan her bir kişinin kendi el yazısını tanıyıp tanıyamadığının belirlenmesi iken ikinci amaç el yazısı üzerinden cinsiyet tespiti yapmak olmuştur. Verileri analiz etmede; kâğıda uygulanan basınç, kâğıt üzerindeki sınırlar, harf boyutları, kenar çizgileri, eğim ve yazı için kullanılan alan gibi öznelikler çıkarılmıştır. En az lise mezunu olan 80 kişiden 5 sayfalık metni yazmaları

istenererek veri seti oluşturulmuştur. Katılımcıların kendi el yazılarını tanımaları konusunda düzenlenen ankette yaklaşık %48'inin kendi el yazısını tanıyabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Cinsiyet tespiti için de ID3 ve J48 (C5.0) algoritmalarını kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler sonucunda, J48 algoritması cinsiyet tespitinde %70,8 başarılı bulunmuşken ID3 algoritması ile de %93,7 sınıflandırma başarımı elde edilmiştir. Bir diğer el yazısından cinsiyet tespiti çalışmasını Guerbai ve arkadaşları [12] yapmıştır. Öznitelik çıkarımını Curvelet dönüşüm ile yapmış ve 44 bileşenli bir öznitelik vektörü oluşturulmuştur. Sistemleri, Bir Sınıf Destek Vektör Makinesi (BS-DVM) kullanarak sınıflandırılmıştır. Bunun için IAM veri seti içerisinde 200'den fazla örneği kullanılmıştır. Önerilen sistemin başarımını artırmak için, birden fazla BS-DVM sınıflandırıcısı birleştirilmiş ve yaklaşık %77 başarımla elde edilmiştir. Akbari ve arkadaşlarının çalışmasında [13], kişilerin el yazısından cinsiyetlerinin tespiti QUWI veri setindeki 475 kişiden [14] ve Multi-script El Yazısı Veri setindeki (MSEV) [15] 84 kişiden alınan el yazısı örnekleriyle yapılmıştır. Her bir yazı örneğinin görüntüleri dalgacık alt bantlarına ayrıştırılmış ve doku blokları (her bir yazı, doku blokları olarak göz önüne alınmıştır) üretmek için kullanılmıştır. Daha sonra her bir alt bant, Olasılıklı Sonlu Durum Otomati (OSDO) oluşturmak için sembolize edilen bir veri dizisine genişletilmiştir. OSDO sonrasında, cinsiyet ayırımı yapmak için kullanılacak öznitelik vektörünü üretmek için kullanılmıştır. Cinsiyet sınıflandırma, YSA ve DVM ile yapılmış ve iki veri seti üzerinde yaklaşık %80 oranında başarımla sağlanmıştır. Mirza ve arkadaşlarının [16] çalışması bireylerin cinsiyet tespitinin yanında demografik özelliklerinin tespitini de kapsamaktadır. Kadınların ve erkeklerin görsel olarak ayrı bir yapıda yazdığı (eğim, büyük ve küçük, düzenli ve düzensiz gibi) hipoteziyle, Gabor Filtre kullanılmış ve 96 bileşenli bir öznitelik vektörü elde edilmiştir. Filtreleme sonucu ortalama ve standart sapma değerleri bir matriste toplanmış ve bu matrisin Fourier dönüşümü bir öznitelik olarak kullanılmıştır. Sınıflandırma QUWI veri setindeki 400 kişiden alınan örneklerle ileri beslemeli bir sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve %70 başarımla sağlanmıştır. Marzinotto ve arkadaşlarının [17] yaptığı çalışmada, yaş ve cinsiyetin çevrimiçi (tablet gibi bir dijitalleştiriciden alınan yazı) olarak alınan el yazılarının karakterize edilmiştir. Çalışmada iki katmanlı bir kümeleme yaklaşımı önerilmiş ve katmanlar ayrı ayrı IRONOFF veri setine göre incelenmiştir [18]. Sonrasında k-Ortalamalar algoritması ile kişilerin tüm kelimeleri kümelenebilir. Bulunan kümeleri anlamlandırmak için, her kümede, küme merkezine en yakın kelimeler görselleştirilmiştir. İkinci katman kümelemesinde, her bir kişinin kümelerdeki kelime yüzdeleri hesaplanmış ve el yazısı örneklerindeki kelimeler Prototip Kelimeler Çantası'na dönüştürülmüştür. Bu katmanda Yığınsal Hiyerarşik Kümeleme [19] yapılmıştır. 12 adet küme kullanılarak yaş ve cinsiyet ile el yazısı arasındaki ilişki açısından anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Maadeed ve Hassaine'nin [20] yaptıkları çalışmada, el yazısı ile yaş, cinsiyet ve ırk kategorileri sınıflandırılmıştır. QUWI veri tabanından alınan Arapça ve İngilizce el yazısı örneklerini karakterize etmek için çeşitli geometrik öznitelikler (eğim, büyüklük vb.) önerilmiştir. Öznitelikler RO ve çekirdek ayırma analizi kullanılarak birleştirilmiştir. Aynı metni içeren el yazısı örneklerinden cinsiyet tahmini için %74,1, yaş aralığı tahmini için %55,8 ve ırk tahmini için %53,7 başarımla ulaşılmıştır.

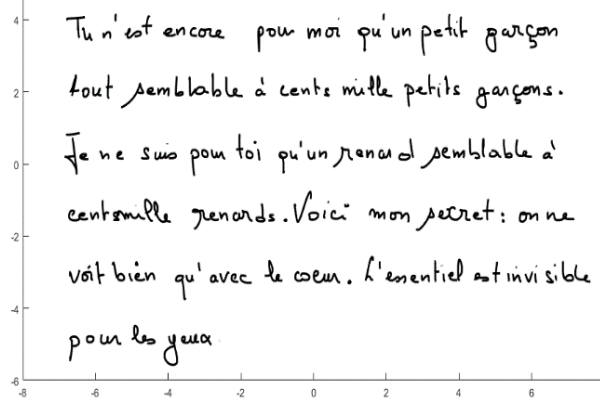
Bu çalışmanın odak noktası bilgisayarlı görme sistemleri yardımı ile el yazısından cinsiyet tespitinin yapılmasıdır. Çalışmada kullanılan el yazıları bir kalem-tablet yardımıyla dijital ortama kaydedilmiştir. Bu kayıtlarda sırası ile kalem ucunun zamansal izlenimi (t), koordinatları (x, y), basıncı (p), genlik açısı (Az) ve yükseklik açısı (Al) gibi özellikler bulunmaktadır. Bu özelliklerden daha sonra cinsiyet tespitinde kullanılacak olan kalem hızı, ivmesi, yazarken oluşan sarsıntı hareketleri, eğim açısı, yazıdaki kavislenmeler, kalemin havada kalma oranı, kalemin yaptığı basınç değeri ve kalemin yükseklik açısı öznitelikleri çıkarılmıştır. Elde edilen özniteliklere dayalı olarak cinsiyetlerin belirlenmesi amacıyla Karar Ağaçları (KA), k-En Yakın Komşu (k-EYK), Destek Vektör Makineleri (DVM), Naive Bayes (NB) sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Sınıflandırma başarımları sırası ile %73,4, %79,0, %85,1, %82,4 olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmada, ikinci bölümde materyal ve yöntem sunulmuştur. Üçüncü bölümde; deneysel sonuçlar ve tartışmalar paylaşılmıştır. Son bölüm ise çalışmanın sonuçlarını içermektedir.

2. Materyal ve Yöntem

El yazısı tanıma, genel hatlarıyla bakıldığında karakter tanımayı gerektirir. Bu durumda karşımıza etkileşimsiz (çevrimdışı) ve etkileşimli (çevrimiçi) tanıma sistemleri çıkmaktadır. Çevrimdışı tanıma sistemleri, kâğıt üzerine yazılmış bir yazının sayısallaştırma adımlarını içerirken; çevrimiçi tanıma sistemleri, genellikle elektronik tabletler tarafından kalem hareketlerinin koordinatlarının elde edilmesiyle el yazısı ya da çizimlerin otomatik olarak algılanmasını sağlayan sistemlerdir [21]. Verilen bilgiler ışığında bu bölümde çalışmada kullanılan yöntemlere ait bilgiler verilmiştir.

2.1. Çalışmanın amacı ve veri seti

Bu çalışmada önceden verilen belirli bir metnin 10 kişi tarafından tablete yazılması istendiği ve kişilerin özelliklerinin (cinsiyet, yaş, eğitim durumu, hangi elini kullandığı, ana dili vb.) not edildiği Marzinotto ve arkadaşları [17] tarafından hazırlanan bir çevrimiçi el yazısı veri seti kullanılmıştır. Kadın ve erkek bireylerden alınan örnek bir el yazısı görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Veri setinin oluşturulması amacıyla kişilere yazdırılan metin

Tasarlanan sistemde veri setindeki örneklerin boyutu arttırılmak istenmiştir. Bunun için el yazısı örnekleri, tüm metnin incelenmesi yerine veri setindeki 60 satırlık yazı kelime kelime bölütlenmiş ve 410 adet örnek elde edilmiştir. Elde edilen kelime görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kişiyi yazdırılan metnin kelimelere bölütlenmiş hali

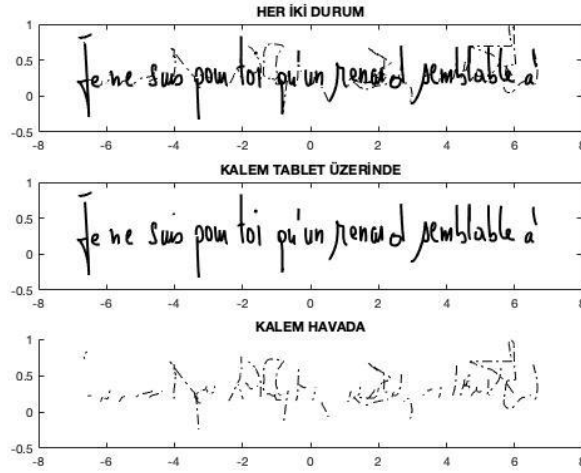
2.2. Öznelik çıkarımı

Kalem ekran yüzeyine değmeden de Şekil 3'de beyaz noktalarla belirli aktif alanın biraz üzerindeki hareketleri algılayabilmektedir. Tablete kalemle yazarken oluşturulan basınç hassasiyeti ilgili kalem ile ölçülebilmektedir. Tabletın basıncının yanında düzlem üzerindeki koordinatları ve yaptığı açı da yine alınabilen önemli değerler arasındadır [22].



Şekil 3. Verilerin alındığı dijital kalem ve grafik tablet

Bu durum göz önüne alındığında öznitelikler üç durum için tanımlanmıştır. Kişi tablete yazı yazarken harfler ve kelimeler arasında geçişlerde elini kaldırdığı haller olmaktadır. Tablet 1 cm'ye kadar yapılan tüm yazma işlemini kaydettiğinden bu geçiş hareketleri “kalem havadayken” başlığı altında toplanmıştır. Kalem tablete temastayken gerçekleştirilen hareketler yani yazma işlemi “kalem tablet üzerindeyken” başlığı altında kaydedilmiştir. Son olarak kişinin yazı yazma hali verilen iki durum da kullanılarak yapıldığından bu hareketler “her iki durum” başlığı altında toplanmıştır. Verilen bu üç başlığın görüntüsü Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Grafik tablette verilerin kaydedilmesi esnasında oluşan yazı ve geçiş görüntüsü örneği

Açıklanan kalemin havada olması durumunda; kalem hızı, ivmesi, yazarken oluşan sarsıntı hareketleri, eğim açısı, yazıdaki kavislenmeler, kalemin havada kalma oranı, kalemin yaptığı basınç değeri ve kalemin yükseklik açısı öznitelikleri çıkarılmıştır. “Kalemin tablet üzerinde olması” ve “her iki durumda” ise kalemin hızı, ivmesi, sarsıntısı, eğim açısı, kavislenme öznitelikleri çıkarılmıştır. Çıkarılan 18 öznitelik Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kalemin tablet üzerindeki konumuna göre öznitelikler

Kalem Havadayken	Kalem Tablet Üzerindeyken	Her İki Durum
Kalemin Hızı	Kalemin Hızı	Kalemin Hızı
Kalemin İvmesi	Kalemin İvmesi	Kalemin İvmesi
Sarsıntı	Sarsıntı	Sarsıntı
Eğim açısı	Eğim açısı	Eğim açısı
Kavislenme	Kavislenme	Kavislenme
Kalemin havada kalma oranı		
Kalemin Basıncı		
Yükseklik açısı		

El yazısıyla yazılan her kelime için dinamik ve uzamsal olmak üzere iki öznelik türü çıkarılabilir. Birincisi, hız, ivme ve sarsıntı gibi yerel dinamik değerleri hesaplarken [23], ikincisi yerel vuruş açıları, eğriler [24] ya da kelimeler arası boşluklar gibi ölçümlerle kalem yörüngelerinin statik şeklini tanımlar [25]. Dinamik parametreler olarak, n noktasında yerel olarak hesaplanan yatay (x) ve dikey (y) hız aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$V_x = | \Delta x / \Delta t | \quad (1)$$

$$V_y = | \Delta y / \Delta t | \quad (2)$$

$$\Delta x (n) = x (n + 1) - x (n - 1) \quad (3)$$

$$\Delta y (n) = y (n + 1) - y (n - 1) \quad (4)$$

$$\Delta t (n) = t (n + 1) - t (n - 1) \quad (5)$$

Bu değerler tüm kelimeler için hesaplanır. Benzer işlemler, sırasıyla hız ve ivmenin yatay ve dikey türevleriyle ilişkili yerel ivme ve sarsıntı değerlerini elde etmek için de kullanılır. Ayrıca, kalem basıncı, basıncın türeviyle ve kalemin havada kalma oranı olan (Havada kalma süresi) / (Toplam süre) [26] denklemiyle hesaplanır ve böylece dinamik özellikler elde edilir. Vuruş değeri iki minimum hız arasındaki bir yazma hareketi olarak tanımlanır. Böylelikle vuruş değeri; kalemin havada kalma sayısını, yatay düzlemde havadaki mesafeyi, kalemin vuruş sayısını ve ortalama uzunluklarını hesaplarken göz önünde bulundurulur [17].

2.3. Sınıflandırma

2.3.1. Karar ağaçları

Karar ağaçları; veri sınıflandırmada kullanılan popüler ve verimli bir sınıflandırma yaklaşımıdır [27]. Karar ağaçlarının amacı, girdi verilerinden çıkarılan basit karar kurallarını öğrenmek ve sonrasında, bir test örneğinin sınıf etiketini tahmin eden bir model oluşturmaktır. Bir karar ağacının yapısı, yaprak ve iç düğüm olmak üzere iki tür düğümü kapsar. Bir yaprak, eğitim örnekleri sonucunun çoğunluğuna göre belirlenen bir sınıf etiketi içerir. Ayrıca, her bir iç düğüm, öznelikler üzerine bir sorudur. Cevaplara göre dallanmalar olur [28].

2.3.2. Naive Bayes

Naive Bayes (NB) sade ve etkin olmasından dolayı en iyi veri madenciliği algoritmalarından biridir. Örneklerin her bir niteliğinin bağımsız olduğu ve her bir nitelik değerinin, diğer nitelikler hakkında bilgi içermediği temeline dayanmaktadır [28]. Bayes ağları, genellikle bir öğrencinin sınıf etiketleri verilen belirli bir eğitim grubundan sınıflandırıcı oluşturmaya çalıştığı problemler için kullanılır [30].

(a_1, a_2, \dots, a_m) gibi bir öznelik vektörü ile temsil edilen x test örneği verildiğinde, Bayes Ağ Sınıflandırıcıları (BAS) sınıflandırma yapmak için aşağıdaki denklemi kullanır:

$$c(x) = \arg \max_{c \in C} P(c) P(a_1, a_2, \dots, a_m | c), \quad (6)$$

Burada C , tüm olası c sınıfı etiketlerinin kümesidir ve $c(x)$, BAS tarafından tahmin edilen x ' in sınıf etiketidir [31].

2.3.3. Destek vektör makineleri

DVM, önemli ve verimli bir denetimli sınıflandırma algoritmasıdır [32]. İkili sınıflandırma probleminde doğrusal olarak ayrılabilen bir verisetinin olduğu düşünülürse, bu veri setini ayırabilen sonsuz sayıda hiper-düzlem vardır. DVM karar düzeyini oluştururken iki sınıfa olan uzaklığı maksimum yapmaya çalışır. Bu düzlemler arasında maksimum sınıfa ait sadece bir hiper-düzlem bulunmaktadır. Sınır genişliğini sınırlandıran noktalara ise destek vektörleri adı verilir [33]. Bir dizi N eğitim $\{(x_i, y_i)_{n=1}^N\}$ veri noktası verilmiştir. Burada x_i çok boyutlu bir özneliktir ve y_i de buna karşılık gelen etikettir. Bir DVM, ayırıcı hiper düzlem olarak eğitim verileri sınıfları arasında bir karar sınıfını modellemektedir. DVM karar fonksiyonu şöyle tanımlanır:

$$f(x_*) = \text{sign}[\sum_{i=1}^N a_i y_i \varphi(x_*, x_i) + b] \quad (7)$$

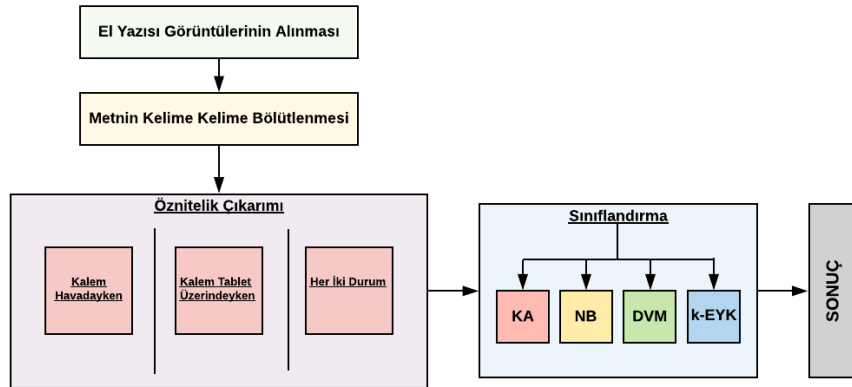
Burada; x_* bir test vektörü, a_i eğitim örneği olan x_i ile ilişkilendirilmiş Lagrangian çarpanı ve b de öğrenilen bias değeridir. DVM'ler; $g(x_i)$ 'nin $\varphi(x_*, x_i) = g(x_*)^t$, $g(x_i)$ noktasal çarpımı üzerinden çekirdek fonksiyonu aracılığıyla uygulanan bir eşleme fonksiyonu olan φ kullanılarak doğrusal olmayan hale getirilir [28].

2.3.4. k-en yakın komşu

k-En Yakın Komşular (k-EYK) sınıflandırıcısının basit işleyişe sahip bir sınıflandırıcı olduğu bilinmektedir. k-EYK sınıflandırma prosedüründe, tüm eğitim örnekleri test örneğini, önceden tanımlanmış bir mesafe fonksiyonuna ve en yakın komşu k sayısına göre sınıflandırmak için kullanılır. Başka bir deyişle, k-EYK yaklaşımı başlangıçta, bir mesafe fonksiyonuna sahip test örneği ve eğitim örnekleri arasındaki benzerlik ölçüsünü hesaplar. Daha sonra, hesaplanan benzerlik ölçüsüne dayanarak, test örneğinin en yakın komşuları belirlenir. Test örneğinin sınıf etiketi, önceden belirlenmiş k en yakın komşuların etiketlerinin çoğunluğunun oyuyla belirlenir [28].

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu çalışma; ilk olarak veri setinin alınmasını ve veri seti içerisindeki metinlerin kelime kelime bölütlenmesini içermektedir. Sonrasında Tablo 1'de belirtilen durumlara göre öznelik çıkarımı yapılmıştır. Son adımda ise en iyi sınıflandırma türünün belirlenebilmesi için Matlab yazılımı üzerinde; KA, NB, DVM, k-EYK gibi bir dizi sınıflandırıcı ile veri seti test edilmiştir. Önerilen sistemin akış prensibi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 5. Önerilen çalışmanın akış diyagramı

Yapılan cinsiyet sınıflandırma çalışmasında, kadın ve erkek el yazılarına ait 410 kelimedenden oluşan örnek işleme alınmıştır. Sınıflandırmayı yapmak için veri setinin analiz işlemi 5 katlı çapraz doğrulama ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan sınıflandırmalar Tablo 2 üzerinde gösterilmiştir. Sınıflandırma yöntemleri içerisindeki her bir sınıflandırıcı tipinin el yazısı ile cinsiyet sınıflandırma doğruluk yüzdesi karşısında verilmiştir.

Tablo 2. El yazısı ile cinsiyet sınıflandırma yöntem ve doğrulukları

Sınıflandırma yöntemi	Sınıflandırıcı tipi	Doğruluk (%)
Karar ağaçları	Doğruluk Ağacı	73,4
Naive Bayes	Çekirdek Naive Bayes	79,0
DVM	Kuadratik DVM	85,1
K-EYK	Ağırlıklandırılmış k-EYK	82,4

En yüksek cinsiyet sınıflandırma doğruluk oranı Kuadratik DVM ile %85,1 bulunmuştur. Ağırlıklandırılmış k-EYK ile %82,4, KA ile ortalama %73 doğruluk elde edilirken Çekirdek NB ile bu başarımların oranı %79 bulunmuştur.

Literatürde yapılan son 5 yıldaki çalışmalara bakıldığında verilerin çevrimiçi ve çevrimdışı alınabildiği el yazısı örnekleri ile oluşturulan veri setleri kullanılmıştır. Araştırmaların QUWI veri seti başta olmak üzere birkaç veri seti üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Yapılan çalışma el yazısı örneklerinin çevrimiçi olarak alındığı bir veri seti kullanmıştır. Bu yöntemle alınan el yazısı örnekleri, verilerden çıkarılan özniteliklerin daha belirleyici olmasını sağlamıştır. Bu çalışma, el yazısından cinsiyet tespiti için farklı veri setlerini kullanan fakat aynı sınıflandırma yöntemleriyle sonuca ulaşmaya çalışan literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında üstünlük göstermiştir. Özellikle, bu çalışmada önerilen sistem üzerinde en iyi sınıflandırmayı veren DVM ile yapılan son çalışmalara baktığımızda, Emran ve arkadaşları [9] öznitelik olarak eğitim, yazı yönü ve eğrilik derecesi gibi değerler kullanmış %76,4 sınıflandırmaya ulaşmıştır. Ahmed ve arkadaşlarının [11] çalışmalarında ise öznitelik çıkarım yönüyle bu çalışmadan ayrılmakta ancak DVM ile %78 başarımlar göstermektedir. El yazısına dayalı cinsiyet sınıflandırılması ile ilgili son yıllardaki diğer literatür araştırmalarının karşılaştırılması Tablo 3’de özetlenmiştir. Her bir satır farklı bir çalışmaya ait bilgileri içermektedir. El yazısı ile cinsiyet tahmini yapan bu çalışmaların özetlendiği tablodaki sütunlar sırasıyla; yapılan çalışmanın kime ait olduğu, sınıflandırma yönteminin ne olduğu, kullanılan veri setinin adı ve çalışmadaki sınıflandırmanın yüzde cinsinden doğruluk oranını ifade etmektedir.

Tablo 3. El yazısı ile cinsiyet sınıflandırma konusunda son yıllarda yapılan bazı çalışmaların sınıflandırma yöntemleri, veri setleri ve sınıflandırma doğrulukları

Yapılan çalışma	Sınıflandırma yöntemi	Veri seti	Doğruluk (%)
Moetesum ve ark. [8]	NB, KA, LAA, DVM	QUWI	70,1
Emran ve ark. [9]	k-EYK, RO, DVM	QUWI	76,4
Morera ve ark.[10]	ESA	IAM, KHATT	80,7
Ahmed ve ark.[11]	DVM+YSA+k-EYK	QUWI	85,0
Topaloğlu ve ark. [1]	KA	Topaloğlu ve ark [1]	93,8
Guerbai ve ark. [12]	BS-DVM	IAM	77,0
Akbari ve ark. [13]	YSA, DVM	QUWI, MSHD	80,0
Mirza ve ark. [16]	ESA	QUWI	70,0
Maadeed ve Hassaine [20]	RA	QUWI	74,1
Önerilen yöntem	KA, NB, DVM, k-EYK	Marzinotto[17]	85,1

3.1. Performans değerlendirme kriterleri

Makine öğrenmesi sınıflandırma modellerinin değerlendirilmesi amacıyla hata matrisi yorumlanırken Gerçek Pozitif (GP), Gerçek Negatif (GN), Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN) metrikleri işleme alınır [34]. İlgili sistemde, bahsedilen değerler cinsiyeti belirleme üzerinden açıklanacak olursa: GP: Sistem erkeğe erkek demiştir. YP : Sistem kadına erkek demiştir. GN : Sistem kadına kadın demiştir. YN : Sistem erkeğe kadın demiştir.

		TAHMİN EDİLEN SINIF	
		Gerçek Negatif (73)	Yanlış Pozitif (55)
GERÇEK SINIF	Gerçek Negatif (73)		
	Yanlış Negatif (42)		
		Doğru Pozitif (240)	

Şekil 6. Hata Matrisi Metrikleri

Tasarlanan sistemde Hata Matrisine ait metriklerden Doğruluk, Duyarlılık ve Özgüllük değerleri hesaplanarak performans ölçülmek istenmiştir [34].

Doğruluk (Accuracy): Doğru sınıflandırma değerinin toplam değere bölünmesi ile elde edilir [34].

$$\frac{GP+GN}{GP+GN+YP+YN} = \frac{240+73}{410} = 0,76 \quad (8)$$

Duyarlılık (Sensitivity): Sistemin doğruları bilme konusundaki etkinliğidir. GP ‘nin YN ve GP değerleri toplamına bölümüyle bulunur ve bu değer, gerçekte bulmak istenilen cinsiyetin ne kadarının saptanabildiğidir [34].

$$\frac{GP}{GP+YN} = \frac{240}{240+42} = 0,85 \quad (9)$$

Özgüllük (Specificity): Sistemde GN olan durumlara GN ve YP değerleri toplamının oranlanmasıyla bulunur ve gerçek durumu diğer cinsiyet olan bireylerin ne derece doğru tespit edildiğidir [34].

$$\frac{GN}{GN+YP} = \frac{73}{73+55} = 0,57 \quad (10)$$

4. Sonuçlar

Bu çalışma, KA, NB, DVM, K-EYK sınıflandırıcılarıyla bireylere ait el yazısı örneklerinden cinsiyet tahmini yapmak amacıyla kullanan bir sistem önermektedir. Kullandığımız bu sınıflandırıcılar kalemde havada olduğu, tablet üzerinde olduğu ve her iki durumdaki özneliklerini (kalem hızı, kalem ivmesi, sarsıntı, eğim açısı, kavislenme, kalemde havada kalma oranı, kalem basıncı yükseklik açısı) girdi olarak alır, sonrasında ise çıktı olarak cinsiyeti verir.

Sistem üzerinde, verilen el yazısı örneklerini cinsiyete göre tespit işlevinde %85,1 sınıflandırma elde edilmiştir. Önerilen yöntem, mevcut teknikler ve benzer sınıflandırıcı türleri ile karşılaştırıldığında yüksek bir başarı oranı göstermektedir. El yazısı özelliklerinin değerlendirildiği bu sistem ile farklı bireysel özellikler saptanabilecektir. Ayrıca multidisipliner gözlem ve izlem çalışmalarına katkı sunacaktır.

Kaynaklar

- [1] Topaloglu M, Ekmekci S. Gender detection and identifying one's handwriting with handwriting analysis. *Expert Systems with Applications*, 79, 236-243.
- [2] Langmaid, R. A. Papadopoulos, N. Johnson, B. P. Phillips, J. G. & Rinehart, N. J. Handwriting in children with ADHD. *Journal of Attention Disorders* 2014; 18(6), 504-510.
- [3] Gattal, A. Djeddi, C. Siddiqi, I. & Chibani, Y. Gender classification from offline multi-script handwriting images using oriented basic image features (oBIFs). *Expert Systems with Applications* 2018; 99, 155-167.
- [4] Burr, V. Judging gender from samples of adult handwriting: Accuracy and use of cues. *The Journal of Social Psychology* 2002; 142(6), 691-700.
- [5] Hartley, J. Sex differences in handwriting: A comment on Spear. *British Educational Research Journal* 1991; 17(2), 141-145.
- [6] Dorfberger, S. Adi-Japha, E. & Karni, A. Sex differences in motor performance and motor learning in children and adolescents: an increasing male advantage in motor learning and consolidation phase gains. *Behavioural Brain Research* 2009; 198(1), 165-171.
- [7] Prasad, S. Singh, V. K. & Sapre, A. Handwriting analysis based on segmentation method for prediction of human personality using support vector machine. *International Journal of Computer Applications* 2010; 8(12), 25-29.
- [8] Moetesum, M. Siddiqi, I. Djeddi, C. Hannad, Y. & Al-Maadeed, S. Data Driven Feature Extraction for Gender Classification using Multi-script Handwritten Texts. In *2018 16th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR)* 2018; IEEE. pp. 564-569.
- [9] Moetesum, M. Siddiqi, I. Djeddi, C. Hannad, Y. & Al-Maadeed, S. Data Driven Feature Extraction for Gender Classification using Multi-script Handwritten Texts. In *2018 16th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR)* 2018; IEEE. pp. 564-569.
- [10] Morera, Á. Sánchez, Á. Vélez, J. F. & Moreno, A. B. Gender and handedness prediction from offline handwriting using convolutional neural networks. *Complexity*, 2018.
- [11] Ahmed, M. Rasool, A. G. Afzal, H. & Siddiqi, I. Improving handwriting based gender classification using ensemble classifiers. *Expert Systems with Applications* 2017; 85, 158-168.
- [12] Guerbai, Y. Chibani, Y. & Hadjadji, B. Handwriting gender recognition system based on the one-class support vector machines. In *2017 Seventh International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA)* 2017; 1-5 IEEE.
- [13] Akbari, Y. Nouri, K. Sadri, J. Djeddi, C. & Siddiqi, I. Wavelet-based gender detection on off-line handwritten documents using probabilistic finite state automata. *Image and Vision Computing* 2017; 59, 17-30.

- [14] Al Maadeed, S. Ayouby, W. Hassaïne, A. & Aljaam, J. M. Quwi: An arabic and english handwriting dataset for offline writer identification. In *2012 International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition 2012*; IEEE. pp.746-751.
- [15] Djeddi, C. Gattal, A. Souici-Meslati, L. Siddiqi, I. Chibani, Y. & El Abed, H. LAMIS-MSHD: a multi-script offline handwriting database. In *2014 14th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition 2014*; IEEE. pp. 93-97.
- [16] Mirza, A. Moetesum, M. Siddiqi, I. & Djeddi, C. Gender classification from offline handwriting images using textural features. In *2016 15th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR) 2016*; IEEE. pp. 395-398.
- [17] Marzinotto, G. Rosales, J. C. El-Yacoubi, M. A. & Garcia-Salicetti, S. Age and gender characterization through a two layer clustering of online handwriting. In *International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems 2015*; 428-439 Springer, Cham.
- [18] Viard-Gaudin, C. Lallican, P. M. Knerr, S. & Binter, P. The ireste on/off (ironoff) dual handwriting database. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Document Analysis and Recognition. ICDAR'99 1999*; IEEE. pp. 455-458.
- [19] Bharath, A. Deepu, V. & Madhvanath, S. An approach to identify unique styles in online handwriting recognition. In *Eighth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'05) 2005*; IEEE. pp. 775-778.
- [20] Al Maadeed, S. & Hassaine, A. Automatic prediction of age, gender, and nationality in offline handwriting. *EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2014* (1), 10.
- [21] Duygulu, P. Ören, T. & Çölkesen, R. El Yazısı Tanıma. *Bilişim Ansiklopedisi*, 2004.
- [22] Wacom Intuos, T. M. User's Manual for Windows, copyright Wacom Company, 2000.
- [23] Bharath, A. Deepu, V. & Madhvanath, S. An approach to identify unique styles in online handwriting recognition. In *Eighth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'05) 2005*; IEEE. pp. 775-778.
- [24] Matic, N. Guyon, I. Denker, J. & Vapnik, V. Writer-adaptation for on-line handwritten character recognition. In *Proceedings of 2nd International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'93) 1993*; IEEE. pp. 187-191.
- [25] Crettez, J. P. A set of handwriting families: style recognition. In *Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition 1995*; IEEE. pp. 489-494.
- [26] Rosenblum, S. Engel-Yeger, B. & Fogel, Y. Age-related changes in executive control and their relationships with activity performance in handwriting. *Human movement science 2013*; 32(2), 363-376.
- [27] Safavian, S. R. & Landgrebe, D. A survey of decision tree classifier methodology. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 1991*; 21(3), 660-674.
- [28] Sengur, D. Turhan, M. & Karabatak, S. Prediction of The School Administrators, Who Attended An Action Learning Course, Based On Their Conflict-Handling Styles: A Data Mining Approach. *International Online Journal of Educational Sciences 2018*; 10(4).
- [29] Utku, A. & Doğru, İ. A. Android kötüçül yazılımlar için izin tabanlı tespit sistemi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2017*; 32(4), 1015-1024.
- [30] Geiger, D. Verma, T. & Pearl, J. Identifying independence in Bayesian networks. *Networks 1990*; 20(5), 507-534.
- [31] Jiang, L. Li, C. Wang, S. & Zhang, L. Deep feature weighting for naive Bayes and its application to text classification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence 2016*; 52, 26-39.
- [32] Schurz, G. *Hume's Problem Solved: The Optimality of Meta-induction*. Mit Press 2019.
- [33] Kucuk, H. Eminoglu, I. & Balci, K. Classification of neuromuscular diseases with artificial intelligence methods. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2019*; 34(4), 1725-1741.
- [34] Forbes, A. D. Classification-algorithm evaluation: Five performance measures based on confusion matrices. *Journal of Clinical Monitoring 1995*; 11(3), 189-206.

Biyomalzeme Olarak Kullanılan Titanyum Alaşımının Elektrokimyasal Sentezi

Hülya DEMİRÖREN^{1*}, Yeşim YILMAZ²

¹Malzeme Bilimi ve Müh Böl., Mühendislik Fak, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

²Metal Eğt Böl., Teknoloji Fak, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

hulyademiroren@gmail.com, yilmaz.yyesim@gmail.com

(Geliş/Received: 14/11/2019;

Kabul/Accepted: 13/02/2020)

Öz: Biyomalzeme uygulamalarında kullanılan titanyum ve alaşımları, iyi mekanik özelliklere sahip olmasının yanı sıra yüksek korozyon direnci özelliklerinin nedeni ile tercih edilmektedir. Biyomalzeme olarak kullanılan CP-Ti (Grade 2) ve Ti6Al4V (Grade 5) numuneler 1 saat boyunca 750 oC'ye maruz bırakıldıktan sonra havada soğutulur. 0,5 mol H₂SO₄ + 1 mol HCl karışık çözeltide analiz edilmiştir. Bu çalışmada bu alaşımların elektrokimyasal davranışları polarizasyon eğrileri elde edilerek incelenmiştir. Isıl işlem ve alaşımlamanın etkisi elektrokimyasal değerler üzerinde belirlendi. Isıl işlemin ve alaşımlamanın titanyumun korozyon direncini artırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrokimyasal Sentez, Titanyum, Isıl işlem, Tafel Extrapolasyonu.

Electrochemical Sythesis of Titanium Alloys Used as Biomaterials

Abstract: Titanium and its alloys used in biomaterial applications are preferred cause of high corrosion resistance properties in addition to having good mechanical properties. CP-Ti (Grade 2), Ti6Al4V (Grade 5) samples used as biomaterials exposed to 750 °C for 1 hour then cooled in air. They analyzed in 0,5 mol H₂SO₄ + 1 mol HCl mixed solution. In this paper electrochemical behavior is investigated by means of polarization curves. The effect of heat treatment and alloying was determined on electrochemical values. It was found that heat treatment and alloying has powerful effect for titanium.

Key words: Electrochemical Sythesis, Titanium, Heat Treatment, Tafel Extrapolation

1. Giriş

Titanyum kendiliğinden pasifleşen bir metaldir. Titanyum ve oksijenin yüksek afiniteye sahip olması, iyi inert oksit tabakası üretilmesine neden olur [1]. Elektrolitik proses bir anodik çözünme olayıdır. Akım sırasında dengeye gelen elektrot potansiyel dalgalanması; elektrot polarizasyonunu tahrik eden, metal elektrottan geçer. Anodik polarizasyon ve anodik akım arasındaki ilişki polarizasyon eğrileri ile gösterilmiştir. Anodik çözünme değerleri malzemenin polarizasyon eğrisinden elde edilir. Titanyumun elektrokimyasal çözünme değerleri, üçlü elektrot sistemi kullanılarak analiz edilir. Liu çalışmasında, titanyum alaşımının pasif filmini ve sıcaklığın etkisini incelemiştir [2]. Başka bir çalışmada NaCl-KCl erimiş tuzuna maruz kalan bazı titanyum alaşımlarını test etmiş ve alaşım elementinin titanyum alaşımının pasivasyonu üzerindeki etkisini bulmuştur [3]. NaCl, NaNO₃ ve her ikisinin karışımı olan çözeltilerde Ti6Al4V malzemesini analiz etmiştir. He, NaCl' de yüksek akım yoğunluğunda çukur korozyonu belirlemiştir [4]. Chen ve diğerleri, hidrojenin elektrokimyasal davranışları ve saf titanyumun deformasyonu üzerindeki etkilerini ayrıntılı olarak incelemiştir [5].

Bu çalışmada ise, ısıl işlemin saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımının mikroyapı ve elektrokimyasal değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış ve tartışılmıştır. Ayrıca alaşımlamanın hem tek başına hem de ısıl işlemlerle birlikte nasıl etki yaptığı incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışma

Kullanılan örnekler CP-Ti (Grade 2) ve Ti6Al4V (Grade 5) tip titanyum alaşımlarıdır. Numuneler Tablo 1'de listelenen ASTM standartlarında elde edilmiştir.

* Sorumlu yazar: hulyademiroren@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-52136151, ² 0000-0003-2583-2551

Tablo1. Numunelerin kimliği

Numuneler	ASTM standartı	Numune kodu	Isıl İşlem	Bekleme Süresi	Su verme
CP-Ti (Grade 2)	ASTM F67	A1	Yok	-	-
		A2	750°C	1 saat	Havada
Ti6Al4V (Grade 5)	ASTM F1472	B1	Yok	-	-
		B2	750°C	1 saat	Havada

Her numune stabilizasyon amacıyla ısıl işleme tabi tutulmuştur. Numuneler ısıl işlem ve su verme ile ilgili iki gruba ayrılmıştır. Tablo 2.1 grupları göstermektedir. Örnekler 1200 meshlik SiC kağıtta parlatılmıştır. Parlatılmış örnekler, alkol ile yıkandıktan sonra kurutulmuş ve sonra Kroll'ün çözeltilerinde bekletilmiştir. Dağlanan numuneler, damıtılmış suyla ve ardından etanol ile yıkanarak kurutulmuştur.

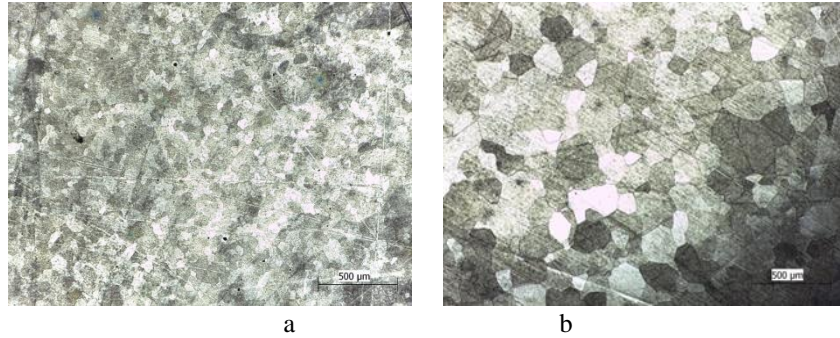
Korozyon hücresi, geleneksel korozyon hücresi olarak tasarlanmıştır. Üçlü elektrotun çalıştığı korozyon hücresindeki korozyon numunesinin yüzeyinden azot gazı geçirilmiştir. Korozyon hücresinde, referans elektrot olarak doymuş kalomel (Hg/Hg₂Cl₂) kullanılmış ve yardımcı elektrot olarak grafit kullanılmıştır. Korozyon testi, 0.5 mol H₂SO₄ + 1 mol HCl çözeltilisinde yapılmıştır.

Korozyon testleri başlangıçta 10 dakika boyunca 20 mV/dak tarama hızında 500 mV ila 2 V akım uygulayarak Açık Devre Potansiyel Yöntemi (OCP) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra numunelerin korozyon hızı Tafel Ekstrapolasyon metodu ile belirlenmiştir. Korozyon testinin süresi, her numune için 2 saat 10 dakikadır. Bu çalışmada, korozyon testlerinde BioLogic SP-150 model potansiyostat /galvanostat cihazı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

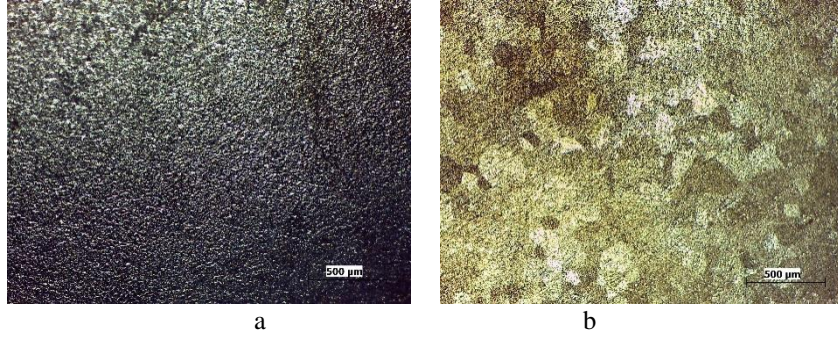
3.1. Mikroyapı

Grade 2 ve Grade 5 numunelerinin korozyonundan önce ve sonra mikroyapı, Şekil 1 ve Şekil 2' de gösterilmiştir. Hegzagonal yapı (α -faz), ısıl işlemsiz numune Şekil 1a' da gösterildiği gibidir. Şekil 1b' de görüldüğü gibi, 750°C' de ısıl işlem yapılmış numunelerin tane yapısı ısıl işlem görmemiş numuneye göre genişlemiştir. Tane dağılımı ısıl işlemle homojenleşmeye başlamıştır.



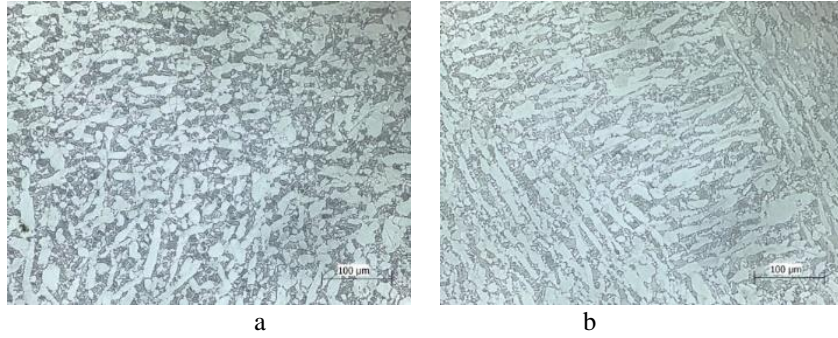
Şekil 1. Grade 2 numunesinin optik fotoğrafları a) ısıl işlemsiz b) ısıl işlemlili korozyondan önce

Korozyondan sonra yüzey bozulmuştur ve Şekil 2' de görüldüğü gibi gözenekli yapıya dönüşmüştür.



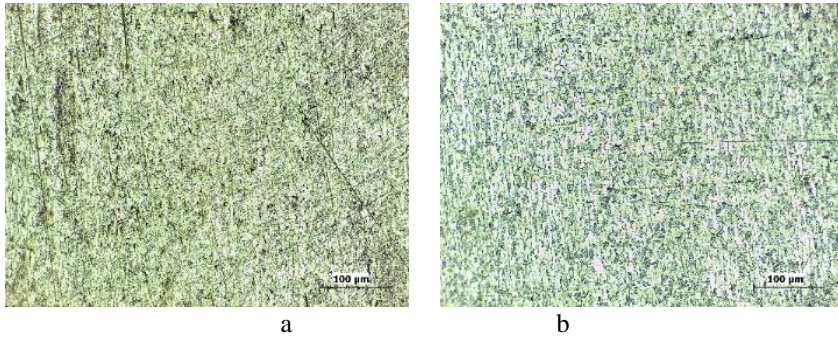
Şekil 2. Grade 2 numunesinin optik fotoğrafları a) ısıls işlemsiz b) ısıls işlemlı korozyondan sonra

Isıl işlem uygulanmayan B1 numunesinin iki modlu $\alpha + \beta$ faz yapısı; 750°C'de yapılan ısıl işlem yapılan B2 numunesinde β fazının lamelar olarak büyümesine neden olmuştur. Bu görüntüler, ısıl işlem ve korozyona maruz bırakılan B numunesinin mikro yapısını değiştirdiğini göstermektedir.



Şekil 3. Grade 5 numunesinin optik fotoğrafları a) ısıls işlemsiz b) ısıls işlemlı korozyondan önce

Korozyondan sonra, yüzey bozulmuştur ve Şekil 4' te görüldüğü gibi gözenekli bir yapıya dönüşmüştür. Titanyum oksitin amorf yapısı uygulanan potansiyel alan gradyenti yüzünden katyon çıkış mekanizması ile ilgilidir. Bu yüzden kristal oksit oluşturmak için epitaksiyel baskı vardır. Yani alt tabaka üzerinde nano seviyede olmak üzere bir oksit tabaka oluşturmaya zorlar. Ancak titanyum oksitler ısıl işlemler esnasında amorf yapıdan a) anates (tetragonal) b) rutil (teragonal) ve c) brokit (ortorombik) şeklindeki faz dönüşümüne maruz kalırlar [7]

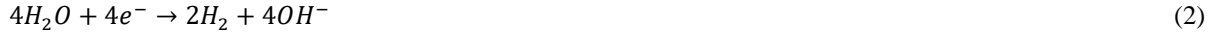


Şekil 4. Grade 5 numunesinin optik fotoğrafları a) ısıls işlemsiz b) ısıls işlemlı korozyondan sonra

3.2. Elektrokimyasal tetkikler

Titanyum alaşımının yüksek aktifliğe sahip oluşu ve yüksek oksijen afinitesi oksit tabakanın yüzeyse hemen oluşmasına sebep olur. Bu özellik sayesinde hasara uğramış oksit film oksijenin varolduğu şartlarda ani bir şekilde kendini yenileyebilir. Ancak oksijen yokluğunda titanyum korozyona uğrayabilir. Yani koruyucu tabaka

bozulmuşsa tekrar oluşamayabilir. Çoğu sulu ortamlarda oksit tipik olarak TiO_2 ' dir ve yüzeye yüksek adhezyon kuvvetiyle yapışık olan bu tabaka metalik titanyumun aktif çözünme hızını azaltır. Titanyum oksit tabakasının oluşumu esnasında, anot ve katotta meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;

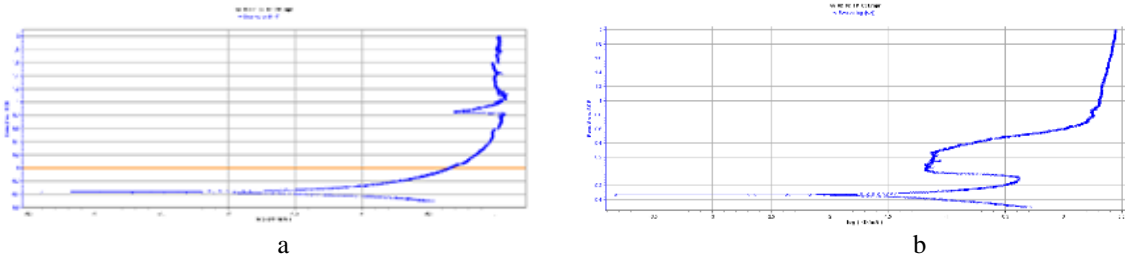


Ti6Al4V alaşımını toplam reaksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:



TiO_2 , çözelti içinde titanyum katyonları ve hidroksit iyonlarının varlığında meydana gelir [6].

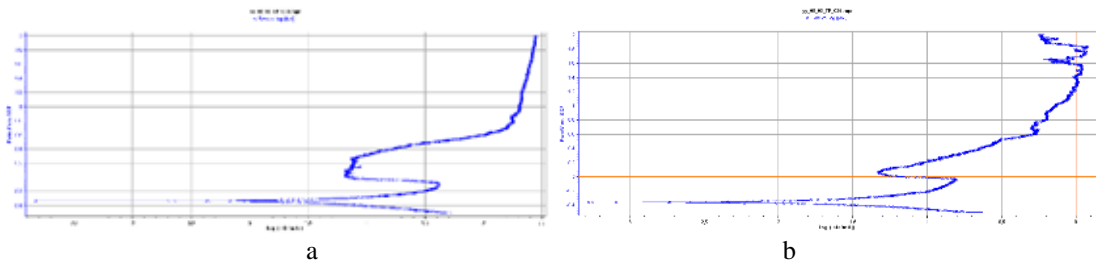
Şekil 5 ve Şekil 6, Grade 2' nin anodik polarizasyon eğrilerini göstermektedir. Korozyon potansiyelleri polarizasyon eğrilerinden belirlenmiştir. Korozyon akımı yoğunluğu β_a , β_c ile hesaplanmıştır. Bu değerler sırasıyla anodik ve katodik kollarin ekstrapole edilmesi ile belirlenir. Elde edilen elektrokimyasal değerler Tablo 2'de listelenmiştir.



Şekil 5. Grade 2' nin anodik polarizasyon eğrileri a) ısı işlemsiz b) ısı işlemlili

Tablo 2. Grade 2' nin polarizasyon değerleri

Numune	E _{corr} (mV)	I _{corr} (µA)	β _a (mV)	β _c (mV)	$\frac{\Delta E}{\Delta I}$
A1	-357,58	49,22	272,9	174,3	0,93
A2	-375,57	73,08	305,3	152,5	0,60



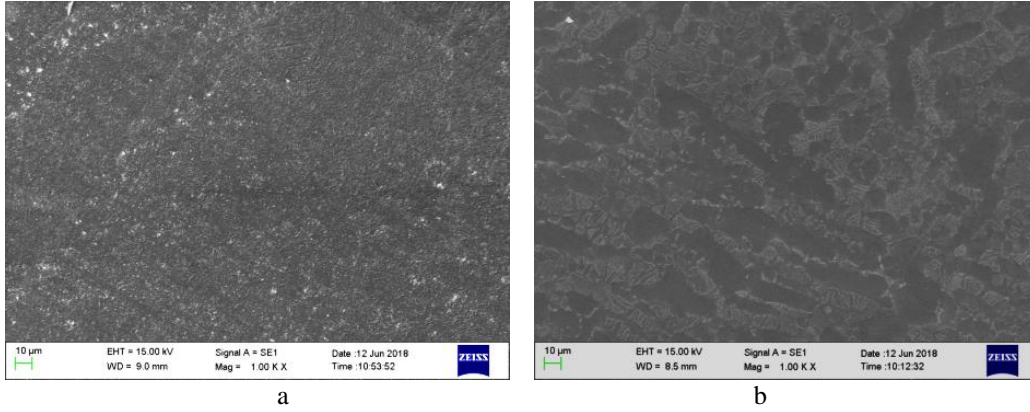
Şekil 6. Grade 5' in anodik polarizasyon eğrileri a) ısı işlemsiz b) ısı işlemlili

En yüksek korozyon hızı A2 numunesinde, en düşük korozyon hızı ise 750°C'de ısı işlem görmüş örnekler arasında B2 numunesinde gözlenmiştir (Tablo 3). A2 numunesinde oksit tabakanın oluşmaya zaman bulamadığı veya ısı etkisiyle yüzeyden hızlı bir şekilde ayrıldığı değerlendirilebilir [8].

Tablo 3. Grade 5' in polarizasyon değerleri

Numune	E _{corr} (mV)	I _{corr} (µA)	β _a (mV)	β _c (mV)	$\frac{\Delta E}{\Delta I}$
B1	-400,29	32,71	400,9	125,0	1,26
B2	-371,70	25,86	288,0	151,3	1,66

En düşük korozyon hızına sahip B2 numunesinin yüzeyi TiO₂ tabakası ile kaplanmıştır. Titanyum oksitin doğası minör alaşımlama elementlerinin varlığında değişmeden kalır. Bu yüzden alaşım küçük alaşım ilaveleri (%2-3) normal pasif çevrelerde titanyumun temel korozyon direnci üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Örneğin arayer elementleri (oksijen ve azot) ve demir küçük farklar oluşturmasına rağmen titanyum neredeyse aynı direnci gösterir [9]. Bu yüzden minör alaşımlamalar ancak titanyumun sınırda direnç gösterdiği ortamlarda önemlidir. Bu yüzden alaşımlamanın küçük değerlerin üzerine çıkması fark oluşturmak için gereklidir. Kullanılan numunelerdeki alaşımlama oranı ile oksit tabakanın homojen olduğu ve bu nedenle korozyon direncine büyük ölçüde katkıda bulunduğu değerlendirilebilir.

**Şekil 8.** Korozyon sonrasında SEM görüntüleri a) A2 numunesinin ve b) B2 numunesinin

Şekil 8' de her iki numunede de yer yer oyuklara (pitting) rastlanmıştır. Bu korozyonun mekanizması Ti/TiO₂ ara yüzeyine Ti/Ti-X/TiO₂ oluşturmak üzere gerçekleşen anyon göçüdür. Burada X, agresif anyon türleridir. Ti-X oluşumu süresince oluşan iç gerilmelerin pasif tabakanın çatlamasına yol açtığı düşünülebilir. Bu da özellikle Cl⁻ ve Br⁻ iyonları varlığında çok mümkündür.

4. Sonuç

Isıl işlem etkisinin, biyomalzeme olarak kullanılan CP-Ti (Grade2) ve Ti6Al4V'nin (Grade 5) elektrokimyasal davranışı üzerindeki etkisini inceleyen bu yazıda. Çalışma sonucunda, mikroyapı etkisinin korozyon hızı üzerindeki etkisinin en iyi olduğu faz yapısının lamel faz olduğu görülmektedir. Ayrıca oksijenle birleşerek güçlü oksit tabakaları oluşturarak pasivasyonun etkinliğini artıran alaşım ilaveleri pasif filmlerin kimyasal çözünmeye karşı direncini artırmaktadır. Pasif akım hızlarını azaltarak titanyumun elektrokimyasal çözünmesini engellerler. Bu çalışmadan elde edilen net sonuçlara göre; 750°C ısıtma işlemi, korozyon direncini artırır. alaşımlı titanyum, saf titanyumdan daha iyi elektrokimyasal değerlere sahiptir.

İmplant sektöründe kullanılan Ti6Al4V (Grade 5) alaşımının korozyon oranını daha fazla azaltmak için, 750°C'deki ısıtma uygulamaları ve alaşım methodları detaylı olarak incelenebilir.

Ayrıca bu çalışma ile titanyum alaşımları için korozyonla bazı kritik konular olduğu kanaatine varılmıştır: a) Havalandırılmamış ortamlar b) mekanik etkilerle anot ve katot alanlarının kısmen veya tamamen ayrılması c) lokal pasifleşmeler

Kaynaklar

- [1] Dai YT “Study on mechanism and application of the fine electrochemical machining of aviation difficult the machine materials”. Master Thesis, Shenyang University of Aeronautics and Astronautics. 2011. China
- [2] Liu TQ, Zhai J, Gu J, “Composition structure and properties of passive film on titanium alloy” Journal of Yangzhou Normal University (Natural Science Edition) 1997;17 (1): 35-39
- [3] Lu WC, Xu YL, Liu PG, “Study on anodic dissolution process of titanium alloy” Rare Metals, 1984; (1): 1-5
- [4] He Y, Xiao H, Gan W, Yu Q, Yin FÉ “The electrochemical solution behavior research of Titanium alloy under Different Electrolyte” Procedia CIRP 2018; 751-756.
- [5] Liu S, Zhang S, Xiao S, Chen Y, “Effect of hydrogenation on microstructure evolution, mechanical and electrochemical properties of pure titanium”, Journal of Alloys and Compounds 2019; 1139-1149
- [6] Lee K, Choe T, Kim BH, Ko YM, “The biocompatibility of HA thin films deposition on anodized titanium alloys “Surface Coating Technology 2010; (25): 267-270
- [7] Shibata T, Zhu Y, The Effect of Film Formation Conditions of the Structure and Composition of Anodic Oxide Films on Titanium, Corros. Sci., 1995; 37 (2): 253–270
- [8] Wanying, L, Yuanhua, L, Yuhai, C, Taihe S, Singh, A, Effect of Different Heat Treatments on Microstructure and Mechanical Properties of Ti6Al4V Titanium Alloy, Rare Metal Materials and Engineering, 2017; 46-3: 634-639
- [9] Schuttz, RW, Corrosion of Titanium and Titanium Alloys, ASM Handbook, Corrosion: Materials S.D. Cramer, BS, Covino, Jr, editors, 252-299
- [10] Poore JH, Lin L, Eschbach R, Bauer T, Automated statistical testing for embedded systems. In: Zander J, Schieferdecker I, Mosterman PJ, editors. Model-Based Testing for Embedded Systems. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012. 111-146.
- [11] Li RTH, Chung SH, Digital boundary controller for single-phase grid-connected CSI. In: IEEE 2008 Power Electronics Specialists Conference; 15-19 June 2008; Rhodes, Greece. New York, NY, USA: IEEE. 4562-4568.
- [12] Boynukalin Z, Emotion analysis of Turkish texts by using machine learning methods. MSc, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2012.

HDPE/ZnO ve HDPE/Hidroksiapatit Nanokompozitlerin Termal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Betül ÇİÇEK ÖZKAN^{1*}, Melek GÜNER², Tarık Selçuk ŞEKER³

Metallurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

¹ bcozkan@firat.edu.tr, ² mggunermelek@gmail.com, ³ tarikselcukseker@gmail.com

(Geliş/Received: 28/10/ 2019;

Kabul/Accepted: 13/02/2020)

Öz: Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) matrisine farklı oranlarda çinko oksit (ZnO) ve hidroksiapatit (HAp) nano parçacıklar takviye edilerek baskı tekniği ile farklı konsantrasyonlarda nanokompozit malzemeler üretilmiştir. Kullanılan nano takviye malzemelerinin ve kompozit üretim yönteminin HDPE matrisli kompozitler üzerindeki termal, morfolojik ve kristalinite özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan kompozitlerin X-ışını kırınım deseni (XRD) yöntemi kullanılarak kristalinite özellikleri incelenmiş ve HDPE'nin karakteristik 2θ pikleri elde edilmiştir. HDPE/ZnO nanokompoziti için ZnO fazına ait olan 2θ pikleri tespit edilmiş ve ortalama kristal boyutunun 14 ile 26 nm arasında değiştiği belirlenmiştir. HDPE/HAP nano kompozitinde HAp fazına ait olan 2θ pikleri ve ortalama 10 ile 25 nm arasında değişen kristal boyutları tespit edilmiştir. XRD sonuçları her iki kompozit içerisinde nano takviye malzemelerinin iyi bir biçimde dağıldığını göstermektedir. Ayrıca artan takviye miktarı ile kompozitin kristalinitesinin arttığı belirlenmiştir. Termal analiz sonucunda her iki kompozit grubu için tespit edilen takviye oranının gerçek değerlerle örtüştüğü ve artan takviye miktarıyla ısı akısının arttığı belirlenmiştir. Morfolojik incelemeler sonucunda nanokompozit malzemelerin yüzey yapısının saf HDPE'den farklı olduğu, tabakalanmaların meydana geldiği ve artan takviye miktarıyla bu değişimin daha net bir biçimde görüldüğü gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çinko oksit (ZnO), hidroksiapatit (HAp), nanokompozit, termal stabilite, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE).

Thermal and Morphological Properties of HDPE/ZnO and HDPE/HAP Nanocomposites

Abstract: Nanocomposite materials in different concentrations were produced through printing technique by adding zinc oxide (ZnO) and hydroxyapatite (HAp) nanoparticles in different ratios into high density polyethylene (HDPE) matrix. Thermal, morphological and crystallinity properties of nano reinforcing materials and composite production method on HDPE matrix composites were investigated. Crystallinity properties of the composites were investigated by using the X-ray diffraction pattern (XRD) and the characteristic 2θ peaks of HDPE were obtained. 2θ peaks belonging to the ZnO phase for HDPE/ZnO nanocomposite were obtained and the average crystal size ranged from 14 to 26 nm was determined. In HDPE/HAP nano composites, 2θ peaks of HAp phase and average crystal sizes ranging between 10 and 25 nm were determined. XRD results showed that the nano reinforcing materials were well dispersed in both composites. In addition, it was observed that the crystallinity of composite increased with the increase in the amount of reinforcing material. As a result of thermal analysis, it was determined that the reinforcement ratio determined for both composite groups coincided with the accurate values and the heat flux increased with increasing reinforcement amount. As a result of morphological investigations, it was observed that the surface structure of nanocomposite materials was different from pure HDPE, layering occurred and this change was observed more clearly with increasing amount of reinforcement.

Key words: High density polyethylene (HDPE), hydroxyapatite (HAp), nanocomposite, thermal stability, zinc oxide (ZnO).

1. Giriş

Polietilen (PE) yaygın olarak kullanılan termoplastik malzemelerden biridir. PE türleri arasında ise yüksek kristalli yapısı sebebiyle yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) en sık kullanılandır [1]. Düşük maliyetli olması, daha az proses enerjisi gereksinimi ve kolay işlenebilmesi HDPE'yi; torba, şişe, film ve boru vb. birçok uygulama için oldukça elverişli hale getirmektedir [2]. Diğer PE türleriyle kıyaslandığında HDPE yüksek çekme dayanımına, iyi mekanik ve termal özelliklere sahiptir [3-5]. Son yıllarda nanokompozitlerin termal, optik, mekanik, elektronik ve katalitik özellikleri bakımından saf polimerlere göre çok daha üstün özelliklere sahip oldukları tespit edilmiştir.

* Sorumlu yazar: bcozkan@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-8852-6650, ² 0000-0001-9990-9051, ³ 0000-0001-7155-7963

Yapılan araştırmalar nano katkı maddelerinin kompozit malzemelerin teknik özellikleri üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu göstermiştir [7]. Bu olumlu etkinin sebebi, nano yapıların yüzey alanlarının çok büyük olması ve bu durumun matris ile nano katkı maddesi arasındaki yapışmayı arttırmasıdır. Nano katkı maddelerinin diğer bir olumlu özelliği de polimer matris içerisinde kolayca ve homojen bir biçimde dağılabilmesidir [6]. ZnO, birçok bilimsel çalışmada ve günlük uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ucuz ve çok yönlü yarı iletken bir malzemedir. ZnO katkılı polimerik nanokompozit malzemeler, ışık yayan diyotlar [8], saydam iletkenler [9], UV koruyucu [10], gaz algılama sensörleri [11] ve benzeri uygulamalarda kullanılarak birçok bilimsel çalışmaya konu olmuş ve literatürde yer almıştır [12]. ZnO'nun düşük maliyetli olması, antibakteriyel özellik göstermesi, iyi fotokatalitik aktiviteye sahip olması, iyi gaz algılama özelliği göstermesi ve toksik olmaması birçok araştırma ve uygulamada çokça tercih edilmesinin başlıca sebeplerindedir. İnorganik nano dolgu maddeleri organik matrislere takviye edilerek daha iyi termal, mekanik, optik ve elektronik özelliklere sahip organik-inorganik nanokompozit malzemeler üretilmektedir [12].

ZnO katkılı HDPE nanokompozit malzemeler dikkat çeken özellikleri sebebiyle birçok araştırmanın başlıca konusu olmuşlardır. Mansour ve ark. [13], ZnO nanopartikülleri kullanarak HDPE/ZnO nanokompozitleri üretmiş ve bunların dielektrik özelliklerini incelemiştir. Tian ve ark. [14], düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ile eriterek karıştırmaya metodunu kullanarak LDPE/ZnO nanokompozitleri hazırlamış ve bu yöntemin kompozitin elektriksel özelliklerine etkisini incelemiştir. Jafarzadeh ve ark. [15], termal olarak uyarılmış faz ayırma yöntemi (TIPS) ile HDPE matrisli ZnO nanopartikül gömülü membranlar üretmiştir. Li ve ark. [16], eriyik karıştırmaya ve sıcak kalıplama işlemleri yoluyla HDPE/ZnO kompozit filmler hazırlamıştır. Hazırladıkları kompozit filmlerin, ultraviyole absorpsiyonu, mekanik, antibakteriyel özellikleri ve kompozitlerin plastikleştirme davranışını incelemiştir. ZnO katkılı HDPE filmlerin, özellikle Staphylococcus aureus için uygun antibakteriyel aktivite gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. Ersoy ve ark. [17], basit birleştirme yöntemiyle ürettikleri ZnO, Mg(OH)₂ ve CaCO₃ katkılı HDPE matrisli kompozitlerin mekanik, termal ve morfolojik özelliklerini araştırmıştır. HAp, insan kemikleri ve dişlerine yakın kimyasal ve yapısal benzerlik gösteren iyi bilinen biyoyumlu ve biyoaktif bir malzemedir [18, 19]. HAp, toksik olmayan, inflamatuvar olmayan, yüksek biyoaktiviteye sahip, biyoyumlu bir malzemedir. Bunlara ek olarak kemik bağlama, kimyasal stabilite, yüksek korozyon direnci, düşük elektriksel ve termal iletkenlik ve düşük üretim maliyeti gibi birçok üstün özelliğe sahiptir [19, 20]. HAp bu üstün özellikleri sebebiyle güncel birçok araştırmanın konusu olmuştur. Li ve ark. [21], ekstrüzyon ve enjeksiyonla kalıplama yoluyla HAp takviyeli HDPE nanokompozitler üretirken bunların termal, mekanik ve aşınma dayanımı gibi özelliklerini incelemiştir. Parra ve ark. [22], yüksek frekanslı ultrasonik radyasyon kullanarak HDPE ve poli (metil metakrilat) (PMMA) bazlı kompozit malzemeleri nanometrik HAp ile sentezlemiş, karakterize etmiş ve biyoyumluluklarını araştırmıştır. Fouad ve ark. [23], HDPE/HAp nanokompozitleri ekstruder ile üretmiş ve HAp nanopartikül yüzdesinin yapay yaşlanma üzerindeki etkilerini incelemiştir. HDPE/HAp nano kompozitlerinin yaşlanmasının, erime sıcaklığının düşmesine ve kristalliğin artmasına neden olduğu sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada, HDPE matrisine ZnO ve HAp takviye edilerek nanokompozit malzemeler hazırlanmıştır. Toz halindeki malzemeler ısı yardımıyla plastikleştirilmek suretiyle malzemeler arasındaki sinerjik etkinin arttırılması amaçlanmıştır. Ayrıca katkı maddesi miktarları farklı oranlarda kullanılarak hazırlanan nanokompozit malzemeler termal, kristalinite ve morfolojik özellikleri bakımından incelenmiştir. ZnO'nun antibakteriyel özelliğe sahip olması ve HAp'in kemik yapısına benzerliği göz önüne alınarak, bu çalışmanın gelecekte araştırılması planlanan antibakteriyel yapay kemik uygulaması çalışmasına temel oluşturması amaçlanmıştır. Farklı oranlarda ZnO ve HAp nano boyutlu tozları (%5.0, %10.0, %15.0, %20.0 ve %25.0) ile katılanmış HDPE/ZnO ve HDPE/HAp nanokompozitleri elde etmek için toz halindeki HDPE ve nano boyutlu katkı malzeme karışımları baskı tekniği ile kalıplanmıştır. Kalıp içerisindeki nano parçacık takviyeli kompozit malzemeler HDPE'nin erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılıp (200°C) ardından oda sıcaklığına kadar soğutularak plastikleştirilmiştir. Bu basit ve etkili teknikte hazırlanan kompozit malzemelerin özellikleri ve eklenen takviye malzemelerinin etkisi X-ışını kırınım deseni (XRD), Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) metotları kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca eklenen takviye miktarının kompozitin özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

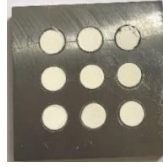
2. Deneysel Prosedür

2.1. Malzeme

Polimer matris olarak toz halindeki yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE S0464, Petkim, yoğunluğu 0,959 g/cm³), kompozit takviye malzemesi olarak ise çinko oksit (<50 nm) (ZnO, Sigma Aldrich) ve hidroksiapatit (<50 nm) ((HAp, Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂, Fluidinova) nanopartikülleri kullanılmıştır.

2.2. HDPE matrisli nanokompozitlerin hazırlanması

HDPE/ZnO polimer matrisli nanokompozitler farklı konsantrasyonlarda (%5.0, %10.0, %15.0, %20.0 ve %25.0) ZnO nanopartiküller ile HDPE karıştırılarak elde edilmiştir. HDPE ve ZnO mekanik olarak karıştırıldıktan sonra preslenerek (3MPa) 1 cm² boyutunda silindirik numuneler şeklinde hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler aynı boyuttaki kalıba (Şekil 1) yerleştirilerek kül fırınında 200 °C sıcaklıkta 1 saat bekletilerek plastikleştirilmiştir. Ardından oda sıcaklığında soğutulmuş ve böylece amaçlanan nanokompozit malzemeler hazırlanmıştır. HDPE/HAp nanokompozitler de HDPE/ZnO nanokompozitlerin üretimindeki basamaklar takip edilerek aynı oranlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan kompozit malzemeler ve bunların ağırlıkça yüzde bileşenleri Tablo 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Numunelerin pellet haline getirilerek fırına konmadan önceki görüntüsü.

Tablo 1. Hazırlanan polimer kompozit numuneler ve bileşenleri

Örnek kodu	HDPE (ağırlıkça %)	ZnO (ağırlıkça %)	HAp (ağırlıkça %)	Tanecik boyutu (nm)
H0	100	-	-	20.58
HZn1	95	5	-	20.60
HZn2	90	10	-	15.44
HZn3	85	15	-	15.39
HZn4	80	20	-	14.26
HZn5	75	25	-	26.38
HHA1	95	-	5	17.67
HHA2	90	-	10	15.44
HHA3	85	-	15	25.51
HHA4	80	-	20	12.80
HHA5	75	-	25	10.61

2.3. Karakterizasyon

XRD analizleri Rigaku Miniflex 600 X-Işını Difraktometresi ($\lambda=0,154049$ nm) CuK_α (40kV/15mA) ışığı kullanılarak, 10-90° aralığında 2 θ kırınım açısı ve 0.02 °/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Scherrer eşitliği (Eşitlik 1.) yardımıyla tanecik boyutu hesaplanmıştır [24].

$$D = K\lambda / B \cos\theta \quad (1)$$

Burada, D tanecik boyutunu, K kristal biçimine bağlı sabiti (0,89), λ X-ışınının dalga boyunu (0,154049nm), θ Bragg kırınım açısını ve B kırınım desenindeki maksimum yüksekliğin yarı genişlik değerini vermektedir.

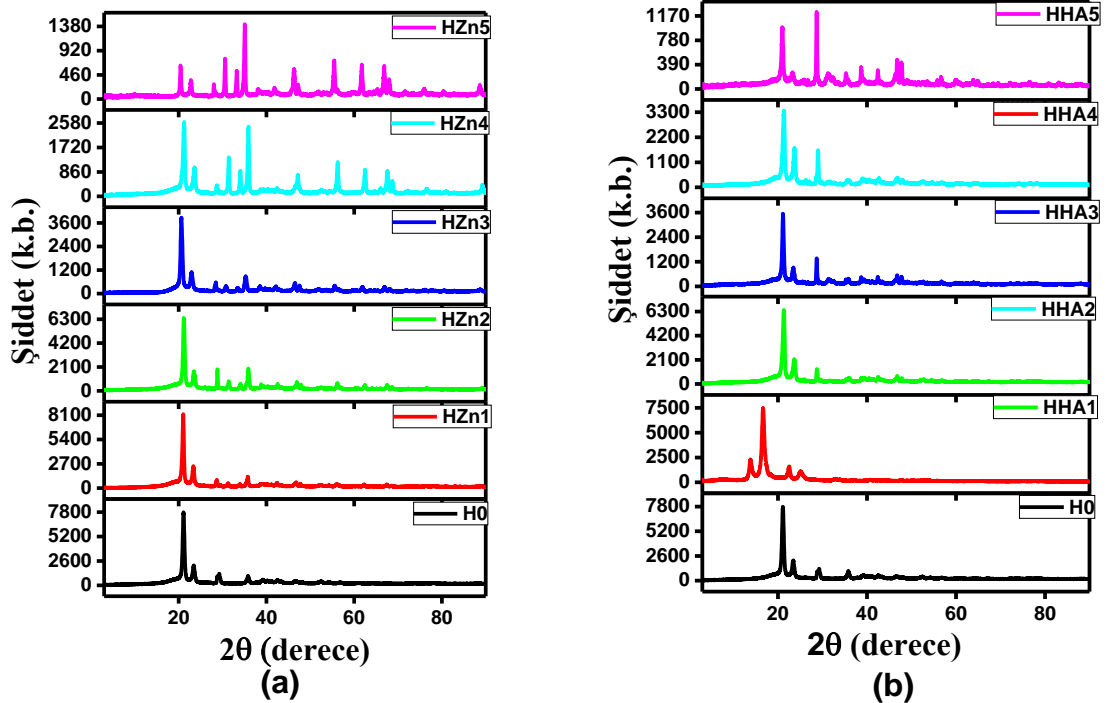
Hazırlanan kompozit malzemelerin termal özelliklerini incelemek için TGA ve DTA analizleri Perkin Elmer Sapphire cihazı kullanılarak hava atmosferinde 20-900 °C sıcaklık aralığında ve 20°C/dk. ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hazırlanan kompozitlerin morfolojik özellikleri JEOL JSM-7001F Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) kullanılarak karakterize edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. X-Işını kırınım analizi

HDPE, Şekil 2-a'da HDPE/ZnO ve Şekil 2-b'de ise HDPE/HAp nanokompozitlerinin X-ışını kırınım desenleri gösterilmiştir. Şekil.1-a ve b'de elde edilen spektrumda çok az miktarda amorf fazlı ve yüksek kristalli HDPE'ne ait olduğu belirlenen $2\theta= 21.32^\circ, 23.69^\circ, 29.12^\circ$ ve 35.96° piklerine karşılık (110), (200), (210) ve (020)

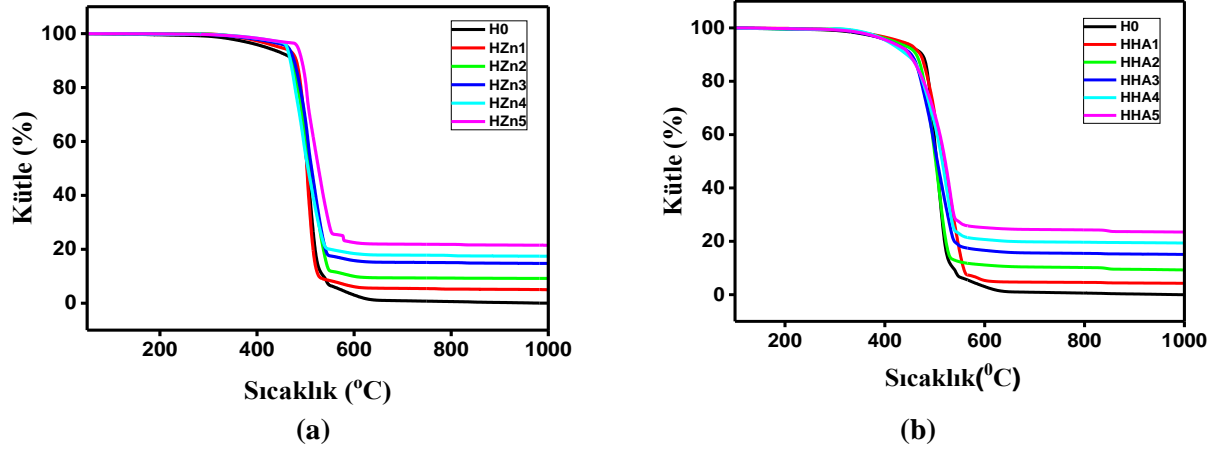
düzlemlerinin olduğu belirlenmiştir. Bu 2θ değerleri, literatürdeki HDPE değerleriyle uyum içindedir [25]. Bu karakteristik pikler, nanopartiküllerin eklenmesinden sonra değişmeden kalmıştır (HZn1, HZn2 ve HZn3); bu durum, nanopartiküllerin eklenmesinin, HDPE matrisinin orijinal kristal yapısını değiştirmedikini göstermiştir [26]. Şekil 1-a'da HDPE yapısının dışında wurtzite hexagonal ZnO fazına ait olduğu tespit edilen $2\theta=35.43^\circ$, 35.84° , 47.91° , 56.18° , 67.49° , 68.66° ve 76.32° piklerine karşılık (002), (101), (102), (110), (112), (201) ve (202) düzlemleri XRD deseni içindeki fazlar ile birlikte görülmektedir (HZn4 ve HZn5) [27]. Bu kırınım pikleri ZnO nanopartiküllerinin HDPE matrisi içine dağıldığını göstermektedir. XRD spektrum sonucundan hazırlanan nanokompozitlerin HDPE (Uluslararası X-Işını Kırınım Veri Merkezi-International Centre of Diffraction Data; ICDD Dosya Kart No.040-1995) ortorombik (örgü sabitlerinin $a=7.50923$, $b=5.00097$, $c=2.58194$) ve ZnO (ICDD Dosya Kart No.076-8930) wurtzite hexagonal (örgü sabitlerinin $a=b=3.29266$ ve $c=5.08404$) yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde saf HDPE ve HDPE/HAp nanokompozitleri de XRD ile incelenmiş ve elde edilen X-ışını kırınım desenleri Şekil 2-b'de gösterilmiştir. Şekil.2-b'de HDPE yapısının dışında hexagonal HAp fazına ait olduğu tespit edilen $2\theta=25.8^\circ$, 31.8° , 33.2° , 53.1° piklerine karşılık (002), (211), (300) ve (004) düzlemleri XRD deseni içindeki fazlar ile birlikte görülmektedir (HHA4 ve HHA5). Bu kırınım pikleri HAp nanopartiküllerinin HDPE matrisi içine dağıldığını göstermektedir. XRD spektrum sonucundan hazırlanan nanokompozitlerin HAp (ICDD Dosya Kart No.09-0432) hexagonal (örgü sabitlerinin $a=b=9.41901$ ve $c=6.88315$) yapıya sahip olduğu belirlenmiştir [28]. Şekil 2-a ve b'de, kompozitlerin hazırlanma aşamasındaki sıcaklık ve takviye malzemenin kristalizasyonda etkili olduğu (ağırlıkça %5.0 katkı oranından %25.0 katkı oranına artan takviye oranına göre kristalizasyonun arttığı görülmektedir. Bu durum XRD piklerinde meydana gelen daralmalardan da görülmektedir [29]. Şekil 2-a incelendiğinde HDPE/ZnO nanokompozit malzemesi için artan takviye miktarıyla kristalinite oranı arttığı halde HDPE'nin karakteristik piklerinin küçüldüğü ve ZnO'ya ait piklerin belirginleştiği gözlenmiştir. Hazırlanan HDPE/ZnO kompozitleri arasında optimum kristalinite oranları yani HDPE ve ZnO arasındaki en iyi etkileşim HZn3 ve HDPE/HAp kompoziti için optimum kristalinite değerleri HHA3 ile elde edilmiştir. %20.0'lik HAp takviyesinden sonra (Şekil 2.b) HAp'nin karakteristik pikleri belirginleşirken HDPE'ye ait piklerde azalma görülmektedir. Scherrer eşitliği (Eşitlik 1) yardımıyla tanecik boyutu hesaplaması yapılmış ve bu değerler Tablo 1'de verilmiştir. HDPE'ye ZnO eklenmesiyle ortalama tanecik boyutu 14 ile 26 nm arasında ve HAp eklenmesiyle ise ortalama tanecik boyutu 10 ile 25 nm arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ticari olarak temin edilen ZnO ve HAp için tanecik boyutu 50 nm altındadır.



Şekil 2. a) HDPE ve ZnO /HDPE nanokompozitlerine ve b) HDPE ve HAp/HDPE nanokompozitlerine ait X-ışını kırınım desenleri.

3.2. Termal analiz

Hazırlanan nanokompozit malzemelerin termal özelliklerini incelemek amacıyla termal gravimetrik analiz yapılmıştır. Şekil 3-a'da HDPE/ZnO nano kompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak ağırlığında meydana gelen değişimler gösterilmiştir. Saf HDPE'in tamamı tükenirken ZnO takviyeli kompozitlerde bir miktar maddenin kaldığı tespit edilmiştir. HDPE yandıktan sonra kalan miktar kompozitteki ZnO miktarı ile eşdeğerdir. Buna bağlı olarak hazırlanan kompozitin istenen bileşende ve HDPE matrisi içerisinde iyi dağıldığı belirlenmiştir. Ayrıca polimerin 440°C'den itibaren bozulmaya başladığı gözlenmiştir. Şekil 3-b'de ise HDPE/HAp nanokompoziti için sıcaklığa bağlı olarak ağırlıkta meydana gelen değişim gösterilmiştir. Saf HDPE ve her bir kompozit için (ağırlıkça % 5.0, %10.0, %15.0, %20.0 ve %25.0 oranında HAp içeren nano kompozitler) 20-900°C sıcaklık aralığında ve hava atmosferinde HDPE/ZnO nano kompozit malzemelerine benzer şekilde test edilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin istenen şekilde ve homojen olduğu bozunma sonrasında kalan madde miktarlarından anlaşılmaktadır. Kompozitin organik kısmı (HDPE) tamamen yanarken geriye sadece anorganik HAp kalmıştır. Tablo 2'de tüm kompozitler için termogravimetrik analiz sonucunda elde edilen artan madde miktarları verilmiştir. Saf HDPE'den arta kalan madde miktarı (kül) ihmal edilebilecek düzeydeyken hazırlanan her iki tür kompozit malzemeden arta kalan madde miktarları hazırlanan bileşenler ile paralellik göstermektedir.



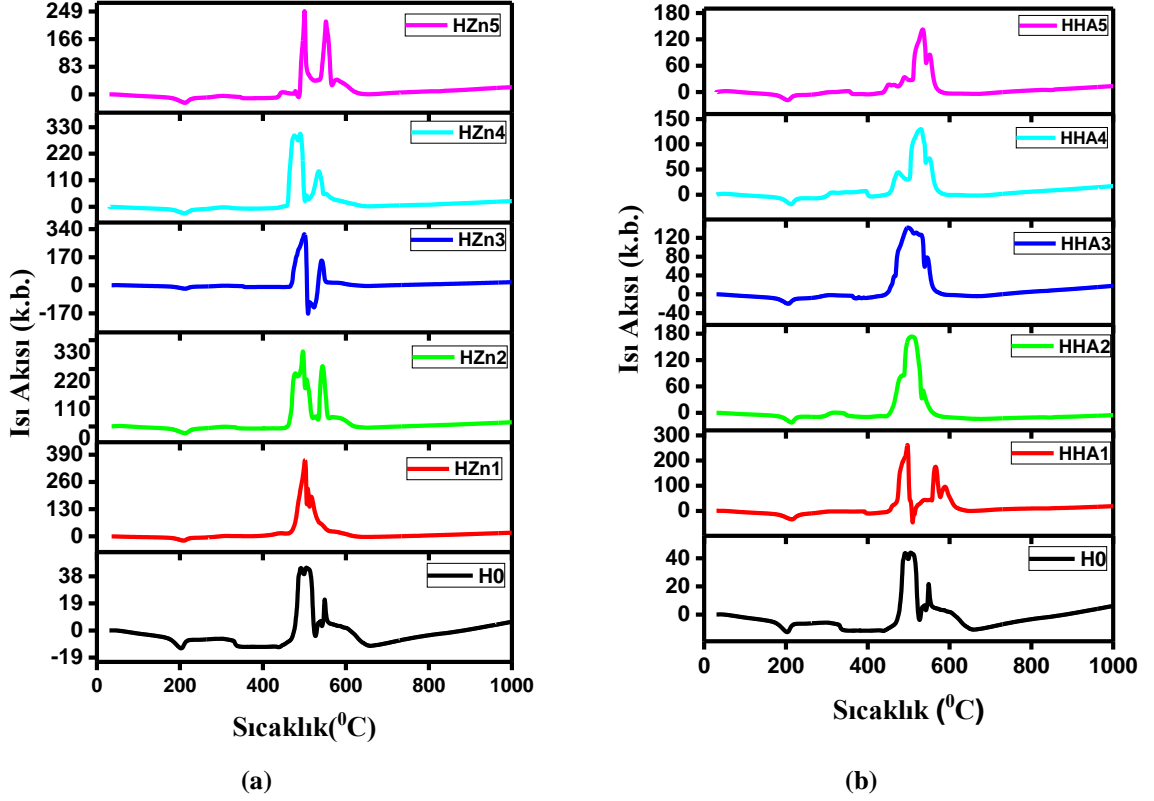
Şekil 3. a) HDPE ve HDPE/ZnO nanokompozitlere ve b) HDPE ve HDPE/HAp nanokompozitlere ait TGA grafikleri.

Tablo 2. Hazırlanan kompozitler için termogrametrik analiz verileri

Örnek adı	Artık miktarı (%)
H0	0.0025
HZn1	4.9975
HZn2	9.1944
HZn3	14.7416
HZn4	17.4227
HZn5	21.5005
HHA1	4.2728
HHA2	9.2792
HHA3	15.0940
HHA4	19.3686
HHA5	23.4754

Şekil 4-a incelendiğinde artan sıcaklıkla ısı akışının bozunma sıcaklığına kadar stabil olduğu gözlenmektedir. Bozunmanın başlamasıyla birlikte kararlı hal ortadan kalkmış ve ısı akışı ani bir artış göstermiştir. Bununla birlikte H0, HZn1, HZn2, HZn3, HZn4 ve HZn5'in bozunmaya başlama sıcaklığı sırasıyla 440, 461, 465, 465 ve 485°C'dir. Bu anorganik katkı maddesi ZnO miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. HDPE/HAp kompozitleri için bozunmaya başlama sıcaklığı 445 °C olarak belirlenmiştir.

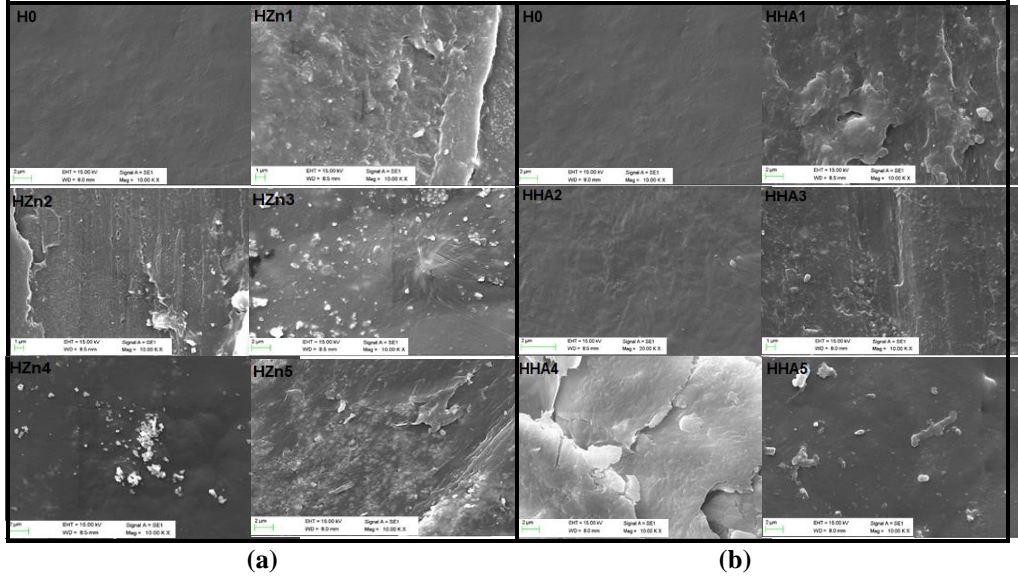
HDPE/ZnO kompozitine %5.0'lik ZnO takviye edilmesiyle ısı akısı ani bir atış göstererek 40'tan 380'e yükselmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında malzemenin termal kararlılığındaki değişimin HZn3 nanokompozitinde optimum düzeyde olduğu belirlenmiştir. Şekil 4-b'de ise HDPE/HAp nanokompozitlerinin sıcaklığa bağlı olarak ısı akısındaki değişimler verilmiştir. HDPE/ZnO nano kompozitlerine benzer olarak burada da HHA1'in ısı akısı aniden artarken, dolgu malzemesi bileşeni arttıkça ısı akısında azalmanın meydana geldiği görülmektedir. HDPE/HAp kompozitleri için bozunmaya başlama sıcaklığı 445 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca saf HDPE, kompozitlere göre bozunma sıcaklığındaki ısı akısı daha düşüktür. HDPE/HAp nanokompozitlerin de HDPE/ZnO nanokompozitlerine benzer özellikler gösterdiği ve optimum termal kararlılığa HHA3 kompoziti ile ulaşıldığı gözlenmiştir.



Şekil 4. a) HDPE ve HDPE/ZnO ve b) HDPE ve HAp/HDPE nanokompozitlerinin DTA eğrileri.

3.3. Yüzey karakterizasyonu

Şekil 5-a'da HDPE ve farklı konsantrasyonlarda ZnO kullanılarak hazırlanmış nanokompozit malzemeler için SEM görüntüleri verilmiştir. HDPE yüzeyi oldukça düz ve pürüzsüzken HDPE/ZnO kompozitlerinin yüzeyinde tabakalanmalar olduğu ve ZnO konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak bu tabakalanmaların arttığı gözlenmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde ZnO'nun HDPE içerisinde iyi bir biçimde dağıldığı anlaşılmaktadır. Şekil 5-b'de ise HDPE/HAp nanokompozitlerine ait SEM görüntüleri verilmiştir. HAp konsantrasyonu arttıkça yapıda meydana gelen tabakalanma net bir biçimde gözlenmektedir. Ayrıca görüntüler incelendiğinde HAp'nin HDPE matris içerisinde iyi bir dağılım gösterdiği görülmektedir. HDPE/ZnO ve HDPE/HAp nanokompozitlerin her ikisinde de tabakalanmalar meydana gelmesine rağmen iki kompozitin morfolojik farklılıkları net bir biçimde görülmektedir.



Şekil 4. a) HDPE ve HDPE/ZnO nanokompozitlere ve b) HDPE ve HAp/HDPE nanokompozitlere ait SEM görüntüleri.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada HDPE matrisine farklı oranlarda nano boyutlu ZnO ve HAp tozları eklenerek nanokompozit malzemeler üretilmiştir. Nanopartikül takviyesiyle birlikte HDPE matrisinin kristal yapısını değiştirmedığı ve nanopartiküllere ait 2θ piklerinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Bu HDPE matris içinde nano partiküllerin iyi bir biçimde dağıldığını göstermektedir. Scherrer eşitliği ile tanecik boyutları hesaplanmış, saf HDPE için 20.58 nm, HDPE/ZnO nanokompozitler için 14-26 nm arasında ve HDPE/HAp nanokompozitler için 10-25 nm arasında değerler aldığı tespit edilmiştir. Ancak artan takviye oranı ile birlikte kristalinite artmasına rağmen, HDPE/ZnO için ve HDPE/HAp için %15,0 lik takviyenin ardından HDPE'ye ait piklerin küçüldüğü ve kaybolduğu gözlenmiştir. Ayrıca ısı akısının her iki kompozit için de takviye maddesi ile birlikte aniden arttığı, ardından artan takviye miktarı ile önce azaldığı sonra tekrar arttığı belirlenmiştir. Saf HDPE'nin bozunmaya başlama sıcaklığı 440°C iken HDPE/ZnO nanokompozitleri için ortalama 465 °C ve HDPE/HAp nanokompozitler için 445 °C olarak tespit edilmiştir. Kullanılan teknik ile üretilen kompozit malzemelerin iyi dağıldığı, artan takviye miktarıyla birlikte nano kompozitlerin kristalinite ve termal kararlılıklarında artış gözlemlendiği ve morfolojilerinde saf HDPE'den farklı olarak tabakalanmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Termal ve kristalinite çalışmaları neticesinde optimum takviye oranı HDPE/ZnO ve HDPE/HAp nanokompozitleri için ağırlıkça %15.0 olarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Tanniru M, Yuan Q, Misra R. On significant retention of impact strength in clay-reinforced high-density polyethylene (HDPE) nanocomposites. *Polymer* 2006; 47(6): 2133-2146.
- [2] Grigoriadou I, Paraskevopoulos K, Chrissafis K, Pavlidou E, Stamkopoulos TG, Bikiaris D. Effect of different nanoparticles on HDPE UV stability. *Polymer Degradation and Stability* 2011; 96(1): 151-163.
- [3] Gilmer TC, Williams M. Polymer mechanical properties via a new laboratory tensile tester. *Journal of Chemical Education* 1996; 73(11):1062.
- [4] Sahebian S, Zebarjad SM, Sajjadi SA, Sherafat Z, Lazzeri A. Effect of both uncoated and coated calcium carbonate on fracture toughness of HDPE/CaCO₃ nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science* 2007; 104(6): 3688-3694.
- [5] Ammala A, Hill A, Meakin P, Pas SJ, Turney TW. Degradation studies of polyolefins incorporating transparent nanoparticulate zinc oxide UV stabilizers. *Journal of Nanoparticle Research* 2002; 4(1-2): 167-174.
- [6] Ponnamma D, Cabibihan JJ, Rajan M, Pethaiah SS, Deshmukh K, Gogoi JP, Pasha SK, Ahamed MB, ve diğerleri. optimization and applications of ZnO/polymer nanocomposites. *Materials Science and Engineering: C* 2019; 98, 1210-1240.
- [7] Devaraju A, Sivasamy P, Loganathan GB. Mechanical properties of polymer composites with ZnO nano-particle. *Materials Today: Proceedings*, 2019.

- [8] Ahmed M, Meyer WE, Nel JM. Structural, optical and electrical properties of the fabricated Schottky diodes based on ZnO, Ce and Sm doped ZnO films prepared via wet chemical technique. *Materials Research Bulletin* 2019; 115, 12-18.
- [9] Çolak, H, Karaköse E. Tm-doped ZnO nanorods as a TCO for PV applications. *Journal of Rare Earths* 2018; 36(10): 1067-1073.
- [10] Zak AK, Ghanbari A, Shekofteh Narm T. The effect of molybdenum on optical properties of ZnO nanoparticles in Ultraviolet-Visible region. *Advanced Powder Technology* 2017; 28(11): 2980-2986.
- [11] Bhati VS, Hojamberdiev M, Kumar M. Enhanced sensing performance of ZnO nanostructures-based gas sensors: A review. *Energy Reports*, 2019.
- [12] Mallakpour S, Behranvand V. Nanocomposites based on biosafe nano ZnO and different polymeric matrixes for antibacterial, optical, thermal and mechanical applications. *European Polymer Journal* 2016; 84, 377-403.
- [13] Mansour SA, Elsad R, Izzularab M. Dielectric investigation of high density polyethylene loaded by ZnO nanoparticles synthesized by sol-gel route. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 2016; 80(2): 333-341.
- [14] Tian F, Lei Q, Wang X, Wang Y. Investigation of electrical properties of LDPE/ZnO nanocomposite dielectrics. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 2012; 19(3): 763-769.
- [15] Jafarzadeh Y, Yegani R, Sedaghat M. Preparation, characterization and fouling analysis of ZnO/polyethylene hybrid membranes for collagen separation. *Chemical Engineering Research and Design* 2015; 94, 417-427.
- [16] Li SC, Li YN. Mechanical and antibacterial properties of modified nano-ZnO/high-density polyethylene composite films with a low doped content of nano-ZnO. *Journal of Applied Polymer Science* 2010; 116(5): 2965-2969.
- [17] Ersoy S, Taşdemir M. Zinc oxide (ZnO), magnesium hydroxide [Mg(OH)₂] and calcium carbonate (CaCO₃) filled HDPE polymer composites: Mechanical, thermal and morphological properties. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi* 2012; 24(4): 93-104.
- [18] Dorozhkin SV. Calcium orthophosphates as bioceramics: state of the art. *Journal of Functional Biomaterials* 2010; 1(1): 22-107.
- [19] Dou Y, Cai S, Ye X, Xu G, Hu H, Ye X. Preparation of mesoporous hydroxyapatite films used as biomaterials via sol-gel technology. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 2012; 61(1): 126-132.
- [20] Dorozhkin SV. Bioceramics of calcium orthophosphates. *Biomaterials* 2010 ; 31(7): 1465-1485.
- [21] Li K, Tjong SC. Preparation and mechanical and tribological properties of high-density polyethylene/hydroxyapatite nanocomposites. *Journal of Macromolecular Science, Part B* 2011; 50(7): 1325-1337.
- [22] Parra C, Gonzalez G, Albano C. Synthesis and characterization of composite materials HDPE/HA and PMMA/HA prepared by sonochemistry. In *Macromolecular Symposia 2009*; Wiley Online Library.
- [23] Fouad H, Elleithy R, Alothman OY. Thermo-mechanical, wear and fracture behavior of high-density polyethylene/hydroxyapatite nano composite for biomedical applications: effect of accelerated ageing, *Journal of Materials Science & Technology* 2013; 29(6): 573-581.
- [24] Borchert H, Shevchenko EV, Robert A, Mekis I, Kornowski A, Grübel G, Weller H. Determination of nanocrystal sizes: a comparison of TEM, SAXS, and XRD studies of highly monodisperse CoPt₃ particles. *Langmuir* 2005; 21(5): 1931-1936.
- [25] Alaburdaite R, Paluckiene E, Grevys S. Comparison of the surface characteristics of polyethylene and polypropylene films and polyester textile coated with electroconductive copper sulphide thin films. *Chalcogenide Letters* 2016; 13(12): 529-536.
- [26] He Q, Yuan T, Zhu J, Luo Z, Haldolaarachchige N, Sun L, Khasanov A, Li Y, ve diğerleri. Magnetic high density polyethylene nanocomposites reinforced with in-situ synthesized Fe-FeO core-shell nanoparticles. *Polymer* 2012; 53(16): 3642-3652.
- [27] Shen L, Bian X, Lu X, Shi L, Liu Z, Chen L, Hou Z, Fan K. Preparation and characterization of ZnO/polyethersulfone (PES) hybrid membranes. *Desalination* 2012; 293, 21-29.
- [28] Paz A, Guadarrama D, López M, González E, Brizuela JN, J Aragón. A comparative study of hydroxyapatite nanoparticles synthesized by different routes. *Química Nova* 2012; 35(9): 1724-1727.
- [29] Kaygılı O, Ates T, Keser S, Al-Ghamdi AA, Yakuphanoglu F. Controlling of dielectrical properties of hydroxyapatite by ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) for bone healing applications. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2014; 129, 268-273.

Terör Saldırıları İçeren Büyük Verinin Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Analizi

Mustafa ULAŞ^{1*}, Barış KARABAY²

¹ Yazılım Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Bilgi İşlem Genel Müdürlüğü, T.C. Adalet Bakanlığı, Ankara, Türkiye

*¹ mustafaulas@firat.edu.tr, ² bariskarabay@yandex.com

(Geliş/Received: 06/10/2019;

Kabul/Accepted: 08/02/2020)

Öz: Bu çalışmada 1970-2017 tarihleri arasındaki çeşitli haber kaynaklarından ve uluslararası geçerliliği kanıtlanmış haber ajanslarından elde edilen terör verilerinin bir araya gelerek oluşturulan Global Terrorism Database (GTD) isimli veri kümesi ele alınmıştır. Terör olaylarının büyük veri çerçevesinde makine öğrenmesi teknikleri ile analizi ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. GTD veri kümesine makine öğrenmesi yöntemlerinden sınıflandırma algoritmaları uygulanarak, bir terör olayının hangi terör örgütü tarafından gerçekleştirildiğini tahmin eden büyük veri işleme aracı geliştirilmiştir. Bir terör olayında saldırının tipi, saldırı yapılan ülke, bölge, saldırının hedef kitlesi ve kullanılan silah türü gibi özellikler ele alınarak tahmin edilmede kullanılmıştır. Büyük veri işleme aracının geliştirilmesinde Apache Spark (PySpark) çatısı ve Python programlama dili kullanılmıştır. GTD veri kümesi içeriğinde bulunan en çok saldırı gerçekleştiren ilk 10 terör örgütü ele alınarak, altı farklı sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. Bu algoritmalar arasında performans değerlendirmesi yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Uygulanan algoritmalar arasından en yüksek ağırlıklı doğruluk oranı olarak K-En Yakın Komşu (KNN) algoritması % 98,2 ile en yüksek değer bulunmuştur. Lojistik Regresyon (LR) algoritmasının büyük veri kümesi için uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Büyük veri, Apache spark, makine öğrenmesi.

Analysis of Big Data Including Terrorist Attacks by Machine Learning Techniques

Abstract: In this study, the Global Terrorism Database (GTD), which was created by gathering terrorist data obtained from various news sources and internationally proven news agencies between 1970-2017, was discussed. Analysis and classification of terrorist events with machine learning techniques within the framework of big data were carried out. By applying classification algorithms from the machine learning methods to the GTD dataset, a large data processing tool has been developed which estimates by which terrorist organization a terrorist incident occurred. In a terrorist incident, the type of the attack, the country of attack, the region, the target audience of the attack and the type of weapon used were used to predict them. Apache Spark (PySpark) framework and Python programming language were used in the development of the big data processing tool. Six different classification algorithms have been applied by considering the top 10 terrorist organizations carrying out the most attacks in the GTD dataset. Among these algorithms, performance evaluation has been made and compared. The highest weighted accuracy rate among the applied algorithms, the K-Nearest Neighbor (KNN) algorithm was the highest with 98.2%. It has been determined that the Logistic Regression (LR) algorithm is not suitable for big data set.

Key words: Big data, Apache spark, machine learning.

1. Giriş

Dünyada yaşanmış olan terör olayları sebebiyle yıllardır toplumların ve devletlerin bir sorunu olarak görülmektedir. Terör saldırıları yüzünden ülke ekonomisi ve sosyo-psikolojik yapısı zarar görmektedir. Son zamanlarda terör olaylarının doğrusal nitelikte artış görülmektedir. Terör olayları üzerinde sosyolojik olarak birçok araştırma çalışmaları yapılmıştır. Bu durum tespiti kullanılarak istatistiksel, analiz ve makine öğrenmesi gibi alanlarda da konunun işlendiği ve incelendiği görülmektedir [1]. Büyük veri, yapısal, yapısal olmayan ve yarı yapısal veriler olarak düşünüldüğünde sürekliliği olan ve hızlı bir şekilde büyüyen veri kümelerinden oluşmaktadır. Büyük veri kümelerinin içerisinden önemli bilgilerin elde edilmesi geleneksel yöntem ve teknikler ile çok başarılı olmamaktadır. Bu problemin çözümü için büyük veri analizi araçları ve teknikleri geliştirilmiştir [2]. Bu çalışmada da büyük veri ve makine öğrenmesi kapsamında terör olayları incelenmiştir ve örnek büyük veri kümesi kullanılarak Global Terrorism Database (GTD) veri kümesi kullanılmıştır [3]. Bir saldırının gerçekleştirilmesinden sonra saldırıyı hangi örgütün veya terörist grubun yaptığına dair olan bilginin ortaya çıkartılmasına yardımcı olmak çalışmanın amacıdır. Terör olaylarını içeren büyük veri kümesine makine K-En Yakın Komşu (KNN), Naive Bayes (NB), Destek Vektör Makineleri (DVM), Rastgele Orman (RO), Karar Ağaçları (KA) ve Lojistik Regresyon (LR) makine öğrenmesi tekniklerinden sınıflandırma algoritmaları

* Sorumlu yazar: mustafaulas@firat.edu.tr. Yazarın ORCID Numarası ¹ 0000-0002-0096-9693, ² 0000-0002-8011-4555

uygulanmıştır. Uygulamada büyük veri işleme araçlarından Apache Spark ve Python dili kullanılarak araç geliştirilmiştir.

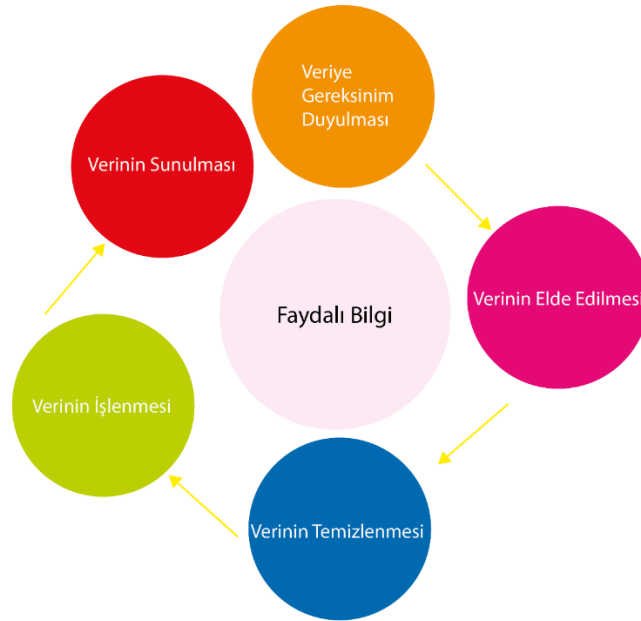
Yapılan araştırmalar neticesinde literatürde benzer çalışmaların bulunduğu yayınlar mevcuttur. Strang ve Sun yaptıkları çalışma ile Google News hizmeti üzerinden elde ettikleri veri kümesi ile terör gruplarının düşünceleri ile yaptıkları saldırılar arasında anlamlı ve bütünsel bir ilişki olduklarını ortaya koymuşlardır ve bunu model kurarak bağlantı oluşturmuşlardır [4]. Scott ve arkadaşları, 2006 yılında terör olaylarının belirgin bir nitelik düzeyinde olmadığından analiz işlemlerinde doğru sonuç alamadıklarını belirterek 1970-1997 yılları arasındaki terör olaylarını içeren verilere elde ederek Global Terrorism Database (GTD) isimli projeyi geliştirmişlerdir [5]. Miller ve Dugan, GTD veri kümesini ele alarak terör saldırılarının terör saldırılarının siyaset üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu araştırmışlardır [6]. Khorshid ve arkadaşları, WEKA yazılımını kullanarak Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da 2004-2008 yılları arasında meydana gelen terör olaylarının hangi örgüt tarafından gerçekleştirildiğini tahmin eden model geliştirmişlerdir [7]. Strang, Sun ve Vajihala diğer çalışmalarında, SPSS yazılımı üzerinde saldırı tipleri ve hedef ülke arasında bir ilişkisini göstermek için istatistiksel model geliştirmişlerdir [8].

2. Büyük Veri

Büyük veri, yeni teknolojiler ile birlikte sürekli ve hızlı bir şekilde artan veri kümeleridir. Çeşitliliği sebebiyle geleneksel veri tabanı teknolojilerinde depolanması zor olmaktadır. Büyük verinin içerisinde anlamlı, faydalı ve önemli bilgileri elde etmek için çeşitli analiz teknolojileri geliştirilmiştir. Büyük veri kümelerine günümüz örneklerinden sunucu ve istemci günlük kayıtları, arşiv verileri, sosyal medya etkileşimleri, hastane kayıtları, eğitim endüstrisi, müşteri hareketleri, devlet arşivleri, medya verileri ve çeşitli kaynaklardan elde edilen verilerdir. Büyük veri konusundan önemli ve faydalı bilgileri öğrenebilmek için geleneksel yöntemler yerine büyük veri olgusuna uygun teknolojiler tercih edilmelidir [9]. Büyük verinin doğru ve kararlı bir şekilde kullanılması, kurum ve devletlerin stratejik yönden, gelecekleri hakkında doğru ve etkin karar vermelerine olanak vermektedir. Dünya üzerinde büyük veri yapısı birçok alanda kurum, kuruluş ve devletler tarafından kullanılmaktadır. Eğitim sektörü, telekomünikasyon, yazılım, sağlık, enerji ve sosyal medya örnek olarak verilebilmektedir.

2.1. Büyük veri analiz

Büyük veri kümelerinden önemli bilgileri elde edebilmek için öncelikle verinin analizi yapılmalıdır. Analiz işlemlerinde belirli adımların yapılması gerekmektedir. Karmaşık ve çok boyutlu veri kümeleri için analiz işlemleri önemlidir. Şekil 1'de büyük verinin analiz aşaması gösterilmiştir.



Şekil 1. Analiz aşamaları

- Hangi alanda büyük veriye ihtiyaç tespiti ilk aşamada gerçekleşir. Burada hangi veri türüne ihtiyaç olduğu belirlenmelidir.
- Çeşitli kaynaklardan veriler elde edilerek toplanır. Bilgilerin tutarlı olmasına ve güvenilir kaynaktan elde edilmesine dikkat edilmelidir.
- Büyük veri oldukça yüksek boyutta olabilmektedir bu durum verinin kontrolünü sağlamakta zorluk çekilmesine sebep olabilmektedir. Toplanan verinin net olması, gerçek değerlerden oluşması ve tutarlı bir yapıda olması verinin temizlenmesini kolaylaştırmaktadır. Örneğin metin tipindeki bazı alanlara sayı tipleri girildiğinde verinin temizlenmesi gerekmektedir.
- Temizlenmiş olan veri kümesinin işlenmesi aşamasında büyük veri teknolojileri ile birlikte gelen makine öğrenmesi, derin öğrenme, yapay sinir ağları gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.
- Temizlenmiş ve yapısal hale getirilmiş olan verinin anlamlı ve faydalı bilgiye dönüştürüldüğü aşamadır. Burada çeşitli araçlar kullanılarak verinin sunumu gerçekleştirilir.

2.2. Kullanılan büyük veri teknolojileri

Sürekli ve doğrusal bir şekilde büyüyen veri kümelerinin kontrolü ve analizi zor olmaktadır. Büyük veri yapısından faydalı bilginin çıkarılması ve veri akışının kontrolünü sağlamak için bazı yazılımlar ve teknolojiler geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan ve uygulanan, teknoloji ve araçlar aşağıda anlatılmıştır.

Dağıtık Sistem: Birçok bilgisayarın haberleşme ağı üzerinde birbiri ile iletişim halinde olması ve bunu birbirinden bağımsız hareket ederek yapmasıdır. Bir uygulamanın işlevsel hale getirilmesi için birçok sistemin paralel olarak çalıştırılması işlemidir [10].

Map Reduce: Büyük veri kümelerini paralel olarak işlemek ve analiz etmek için kullanılan bir programlama modelidir [11]. Map ve Reduce, veri işlemesi yapabilmesine olanak sağlayan iki fonksiyondur. Elde edilen verinin işlenmesi için ilk olarak süzgeç yani filtreleme işlemi yapılması gerekmektedir. Bunu sağlayan ise Map fonksiyonudur. Reduce ise işlenmiş olan verinin analizi yapmak için kullanılır. Bu iki yöntem Map Reduce modelini ortaya çıkarmıştır.

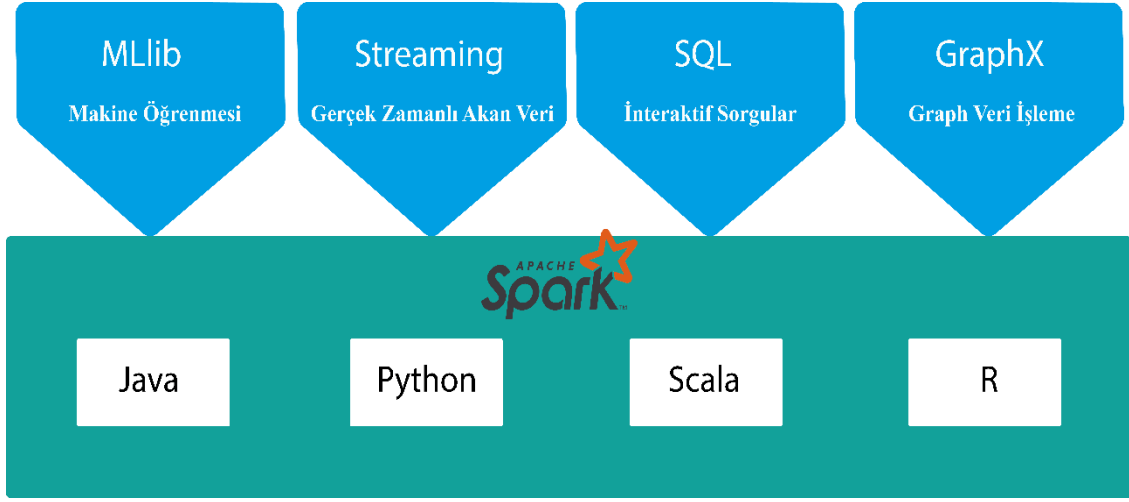
In-Memory Database (Bellek içi veri tabanı): Diğer veri tabanlarından farkı veri kümelerini disk yerine RAM(Random Access Memory) üzerinde saklar ve daha hızlı okuma, yazma ve yürütme işlemlerini yapabilmesini sağlamaktadır. Bellek maliyetinin azaldığı düşünülürse performanslı bir teknolojidir [12].

Hadoop: Dağıtık mimariler üzerinde bulunan farklı türdeki büyük verileri analizi ve işlenmesi için geliştirilmiş yazılım çerçevesidir. Google Map Reduce ve Google dosya sisteminden faydalanarak geliştirilmiştir. Hadoop Distributed File System (HDFS) olarak adlandırılmış bir dağıtık dosya sistemi ile Hadoop Map Reduce özelliklerini bir araya getiren açık kaynaklı bir ekosistemdir [13].

Apache Spark: Apache Vakfı tarafından açık kaynak kodlu olarak geliştirilen büyük veri kümelerinin analizinde ve işlenmesini kullanılan büyük veri platformudur. Apache Spark ile birlikte, büyük veri dosyaları In-Memory (bellek içi) teknolojisi sayesinde daha az maliyetli bir şekilde saklanır. Disk üzerinde Hadoop Map Reduce işleminden 10 kat daha hızlı veya bellekte 100 kat daha hızlı veri işlemesi yapabilen bir platformdur. Anlık olarak akan verileri kolaylıkla işleyebilme özelliği bulunmaktadır. Map / Reduce işleminden daha az kod yazılmasına ve zaman kazanılmasına olanak sağlamaktadır. Hadoop veya bulut ekosistemi üzerinde çalışabilmektedir. HDFS, HBase ve birçok veri tabanlarına doğrudan erişim sağlayabilmektedir. Spark, makine öğrenimi için MLlib, akan veriler için Spark Streaming, veri kaynaklarında interaktif bir şekilde sorgu yazılmasını sağlayan SQL, graf gibi veri türlerini işleyebilen GraphX gibi güçlü kütüphaneleri bünyesinde barındırır. Java, Scala, Python ve R gibi dilleri stabil bir şekilde desteklemektedir. Şekil 2 'de Apache Spark sistemi ve bünyesinde barındırdığı kütüphaneler gösterilmiştir [14].

Python: Python açık kaynak kodlu, nesne tabanlı, ara yüz desteğine sahip, yüksek seviyeli ayrıca bir derleyiciye gerek duymadan çalışan bir programlama dilidir. Sistem programlama, güvenlik, ağ uygulamaları, bilimsel hesaplama ve web uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

PySpark: Python üzerinde Spark uygulamaları geliştirebilmek için gerekli olan kullanıcı ara yüzü uygulamasıdır. İnteraktif sorgu oluşturma, veri kaynağı oluşturma ve okuma gibi işlemleri gerçekleştiren birçok metot barındırmaktadır.



Şekil 2. Apache spark bileşenleri [14]

Data Frame: Spark için tasarlanmış ilişkisel veri tabanlarındaki tablo yapısına benzer tablolardır. Satır, sütunlardan ve şemalardan oluşmaktadır. Diğer veri tabanı tablolarından farklı dağıtık mimariler üzerinde çalışabilme yeteneğine sahip olmasıdır [15]. Büyük veri yapısını işlevsel ve işlenebilir hale getirilmesini sağlamaktadır.

3. Makine Öğrenmesi Yöntemleri

Makine öğrenmesi, geçmişteki ve mevcut veriler kullanılarak gelecek için tahminsel hesaplamalar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleri, bilgisayar yazılımları aracılığıyla geçmişteki verileri kullanarak yeni veriler için en uygun modeli tasarlayan yapılardır [16].

3.1. Sınıflandırma algoritmaları

Sınıflandırma, bir veri kümesindeki özellikleri kullanarak yeni gelen bir veri kümesinin hangi sınıfa ait olduğunu bulan yöntemdir. Sınıfları gruplamak için kullanılan eğitim veri kümesi, sınıfı bulunmak istenen veri kümesi test veri kümesi olarak adlandırılmaktadır. Sınıflandırma algoritmaları, bilgisayar yazılımları sayesinde eğitim veri kümesinden öğrendikleri bilgiyi, test veri kümesine uygulayarak yeni veri kümesinin sınıflarının bulunmasını sağlamaktadır. Sınıflandırma işlemini gerçekleştirmek için eğitim kümesi üzerinde kullanılacak olan algoritmayı uygulayarak model oluşturulur. Sonraki aşamada ise oluşturulan modelin test kümesinin üzerinde uygulanması ile sınıflandırılması yapılmaktadır [17].

Destek Vektör Makineleri: Destek vektör makineleri, farklı sınıf etiketlerinin durumlarını birbirinden ayırmak için bir sınır oluşumu sağlamaktadır. Çok boyutlu bir alanda sınır çizgisi oluşturularak sınıflandırma işlemini gerçekleştiren makine öğrenmesi yöntemidir. Destek vektör makineleri veri kümelerinde verileri birbirinden ayırmak için kullanılmaktadır [18].

K-En Yakın Komşu Algoritması: K-En yakın komşu algoritması, eğitim kümesindeki özellikleri çok boyutlu bir özellik uzayında eşleştirilir. Uzay, Eğitim kümesinde bulunan hedef değişkenler tarafından bölgelere ayrılır. Yapılan hesaplamada bir noktaya en uygun sınıfa belirlenir. Veri kümesinin eğitim aşaması bağımsız öznitelik değerlerinden oluşan değerlerin ve eğitim örneklerinin sınıf etiketlerin bilgisini içerir. Sınıflandırma aşamasında, özellik değerleri eğitim kümesi üzerinde bulunmaktadır. Eski ile yeni değerlerin arasındaki uzaklık bir bağlantı ile hesaplanmaktadır. Daha sonra ise örnekler içerisinde k en yakın değeri seçilmektedir. Bu bağlamda, uygun sınıf bulunmaya çalışılmaktadır.

Naive Bayes: Naive Bayes sınıflandırıcı algoritması nesne tanıma ve sınıflandırma sorunlarını koşullu olasılık yöntemi ile çözmektedir. Koşullu olasılık ile sınıflandırmanın temeli Bayes teoremine dayanmaktadır. Sınıflandırma problemini çözerken bir hedef değişkenin özniteliklerini bağımlı olmadığını varsayarak hesaplama yapılmaktadır. Naive Bayes sınıflandırma algoritması, makine öğrenmesi tekniklerinde çoklu sınıflandırma, metin sınıflandırma ve analizi problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Lojistik Regresyon: Sayısal ve metinlerin hem regresyon hem de sınıflandırılma problemlerinin çözümünde uygulanan algoritmadır. Lojistik regresyon, bir veri setinde hedef (bağımlı) değişkenin iki farklı değer alması durumunda kullanılmaktadır. Örnek olarak 0 veya 1, başarılı veya başarısız gibi. Lojistik regresyon sınıflandırma algoritmasının gerçek hayatta uygulanmasında ikili (Binomial), sıralı (Ordinal) ve çoklu sınıf (Multinomial) olarak üç yöntemi bulunmaktadır. Multinomial yaklaşımda, hedef değişken üç ve daha fazla farklı değer alabilmektedir. Örneğin (0, 1, 2) veya (iyi, kötü, orta) gibi.

Karar Ağaçları: Ağaç yapısı biçiminde olan, koşullu olarak değerleri gruplayarak sınıflandırma yapabilmek prensibine dayanmaktadır. Kuralları yönetme, oluşturma, bilgisayar yazılımları arasındaki bağlantının ve desteğinin yoğun olması sebebiyle günümüzde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Rastgele Orman Algoritması: Rastgele Orman algoritmasının karar ağaçlarından farkı rastgele olarak birden fazla ağaçından orman oluşturma felsefesine dayanmaktadır. Ağaçların sayısı arttıkça algoritmanın doğruluğu artmaktadır. Rastgele orman algoritması, sınıflandırma ve regresyon problemleri için uygun bir çözümdür.

3.2. Sınıflandırma başarımlı ölçütleri

Bir algoritmanın oluşturduğu performansını değerlendirebilmek için temel olarak kullanılan ölçütler; doğruluk oranı, fl skoru, hata oranı, kesinlik ve duyarlılık değerleridir. Modelin başarımının iyi olması doğru ve yanlış sınıflandırılanların sayısı ile alakalıdır.

Karışıklık Matrisi: Veri kümesinin modele uygulanması ile birlikte doğruluk oranı, fl skoru, hata oranı, kesinlik ve duyarlılık değerlerinin hesaplanabilmesi için karışıklık matrisi tablo yapısı ortaya çıkmaktadır. Karışıklık matrisi, sınıflandırmada modelin başarımını görselleştirilmesini sağlayan yapıdır. İçerisinde doğru ve yanlış tahmin edilen sınıflandırıcının değerleri görülebilmektedir. Tablo 1'de n sınıflı, çoklu sınıflandırmada kullanılan hata matrisi görülmektedir. Burada, satır kısmındaki sınıflar modelin eğitilmeden önceki durumunu belirtmektedir. Sütun kısmındaki sınıflar ise model eğitildikten sonra tahmin edilen değerleri belirtmektedir.

Tablo 1. Çoklu sınıflandırıcı için hata matrisi

Hata Matrisi		Öngörülen Sınıf		
		$X_0 \dots X_{k-1}$	X_k	$X_{k+1} \dots X_n$
Doğru Sınıf	$X_{k+1} \dots X_n$	TN	FP	TN
	X_k	FN	TP	FN
	$X_0 \dots X_{k-1}$	TN	FP	TN

($0 \leq k \leq n$) Aralığında bir k sınıfı düşünüldüğünde, n sınıflı bir sınıflandırıcının hata veya karışıklık matrisinde şu 4 farklı sonuç elde edilir.

TP (True Positive) : Doğru pozitif

FP (False Positive) : Yanlış pozitif

TN (True Negative) : Doğru negatif

FN (False Negative) : Yanlış negatif

i tahmin edilen sınıf, **j** ise öngörülen sınıf olmak üzere; TP, TN, FP ve FN için Denklem 1-4 elde edilir.

$$TP = X_{kk} \quad (1)$$

$$TN = \sum_{i \in N} X_{ij} \quad (2)$$

$$FP = \sum_{i \in N} X_{ik} \quad (3)$$

$$FN = \sum_{i \in N} X_{ki} \quad (4)$$

Doğruluk: Algoritmanın veri kümesine uygulanması ile ortaya çıkan doğru tahmin edilenlerin uygulanan veri kümesine oranıdır.

$$\frac{TP+TN}{FP+FN+TP+TN} \quad (5)$$

Hata Oranı: Yanlış tahmin edilenlerin toplam tahmin edilenlere oranıdır. Doğruluk oranını 1’den çıkarılması ile de sonuç bulunabilir.

$$\frac{FP+FN}{FP+FN+TP+TN} \quad (6)$$

Hassasiyet: Pozitif durumda olan tahminlerin ne kadar başarılı olduğunu bulan ölçüttür.

$$\frac{TP}{TP+FN} \quad (7)$$

Kesinlik: Doğru ve pozitif olan tahminlerin başarısını gösteren ölçüttür.

$$\frac{TP}{TP+FP} \quad (8)$$

F1 Skoru: Hassasiyet ve kesinlik ölçütlerinin harmonik ortalamasından elde edilen ölçüttür.

$$2 * \frac{(Hassasiyet * Kesinlik)}{(Hassasiyet + Kesinlik)} \quad (9)$$

3.3. Özellik seçimi

Özellik seçimi, temel anlamda veri kümelerinde bulunan sütunlardan, sınıflandırma işlemlerinde sonucu etkileyecek özniteliklerin seçilmesini ve elimine edilmesini sağlayan yöntemlerdir. Sınıflandırma yapılacak alana bağlı olarak ilgisiz özellikler veri kümesinden atılarak doğruluk oranını arttırmak, hesaplama ve çalışma sürelerini azaltmaktır. Özellik seçimi, veri yönetimini kolaylaştırmak, özellikler arasındaki ilişkileri daha iyi tanımlamak ve algoritmanın oluşturduğu modeli daha net olarak görebilmek için yapılmaktadır. Özellik seçimi yöntemleri kullanılarak gereksiz öznitelik değerleri temizlenir, veri boyutunun minimize edilmesini sağlar. Özellik belirlemede çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Bu çalışma da, Özyinelemeli özellik eleme yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle veri kümesine uygulanacak olan model belirlenmektedir. Daha sonra ise model oluşturularak veri kümesi içerisinde yer alan tüm öznitelikler modele eklenmektedir. Bu durum özyinelemeli olarak uygulanan modelin doğruluk oranının en yüksek seviyeye ulaşana kadar devam etmektedir. Doğruluk oranı yüksek olan aşamada eklenen öznitelikler seçilmektedir [19]. Örnek büyük veri kümesine, özyinelemeli özellik eleme yöntemi uygulandığında 135 adet öznitelik değerinden 67 tanesinin uygun olduğu tespit edilmiştir. Seçilen bu özelliklerden ilk 10 değeri ele alındığında ülke, bölge saldırı tipi, hedef ana kitle ve silah tipi özellikleri seçilmiştir. Bu bilgiler dışındaki özelliklerin boş değer fazla içermesi sebebiyle elimine edilmiştir.

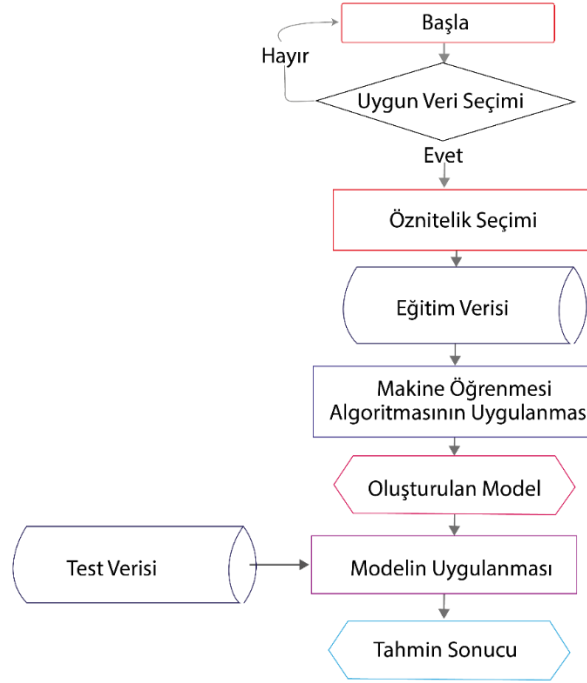
3.4. Özellik dönüşümü

Veri kümesinde yer alan özniteliklerin ağırlıklandırma, format dönüştürme ve değişim işlemlerinin gerçekleştirilerek sınıflandırma işleminde sıkça kullanılan yöntemlerdir. Örneğin kategorik olan bir değişkenin nümerik bir değere dönüştürülmesi işleminin yapılmasıdır. Kullanılan öznitelik değerlerinin bir çıktı olarak vektörel bir biçime dönüştürülmesi işlemi de bu konuya örnek verilebilir. Tokenizer, Stop Words Remover, n-gram, Binarizer, PCA, Polynomial Expansion, Discrete Cosine Transform (DCT), String Indexer, One Hot Encoder, Vector Assembler, Index To String, Vector Indexer ve Min-Max Scaler yöntemleri özellik dönüşümünde kullanılmaktadır [20]. Çalışma kapsamında String Indexer, Index To String, One Hot Encoder ve Vector Assembler yöntemleri kullanılmıştır.

4. Uygulama

Geliştirilen uygulama ile birlikte büyük veri kümesindeki özellikler ve nitelik kullanılarak makine öğrenmesi algoritmaları ile model geliştirilmiştir. Sınıflandırma işlemlerini örnek büyük veri kümesi üzerinde uygulanması için büyük veri teknolojileri incelenmiştir. Literatür ve bilişim alanında yapılan araştırmalar sonucunda Apache Hadoop büyük veri teknolojisinin disk tabanlı kayıt işlemleri gerçekleştirilmesi nedeniyle yavaşlık problemi

bulunmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada Apache Spark büyük veri teknolojisi tercih edilmiştir. Kullanılan algoritmaların sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılması, kaynak taramasının geniş olması ayrıca kütüphane desteğinin olması sebebiyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu çalışmada uygulanan algoritmalar ile model oluşturma aşaması Şekil 3'te ki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Uygulamanın çalışma mantığı

4.1. Kullanılan veri kümesi

Bu çalışmada veri kümesi olarak dünyada yaşanan terör olaylarını içeren Küresel Terörizm Veri Tabanı (GTD) kullanılmıştır. Veri kümesinde, 1970 yılından itibaren 2017 yılına kadar olan terör olaylarının detayları ile beraber bilgisini içermektedir. Veri kümesi yaklaşık 170 MB, içeriğinde 181.692 satır bulunmaktadır. Örnek veri kümesinde 135 adet sütun bulunmaktadır. Burada veri kümesine filtreleme işlemi uygulanarak en fazla eylem gerçekleştiren ilk 10 örgüt ele alınmıştır.

Tablo 2. Veri kümesi içeriği

Alan	Açıklaması
country	Ülke
region	Bölge
attacktype	Saldırı tipi
targettype_txt	Hedef ana kitle
Gname	Terör örgütünün adı
Weaptype	Silah tipi

Eğitim kümesi için **29.540**, test kümesi için ise **7.403** adet veri ayrılmıştır. Sınıflandırma işlemlerinde 6 adet sütun ele alınmıştır. Tablo 2'de bu çalışmada kullanılan örnek veri kümesinin alanlarının içeriği belirtilmiştir.

4.2. Uygulama sonuçları

Uygulama, Python programlama dili, makine öğrenmesi ve büyük veri teknolojileri olarak PySpark ve SkLearn kütüphaneleri, grafik ara yüzünün tasarlanması için Tkinter kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda çıktılarının hesaplanmasında örnek büyük veri kümesi olan GTD'ye makine öğrenmesinde sıkça kullanılan 6 temel algoritmanın uygulanması ile ilgili saldırıları düzenleyen terör örgütü tahmin etmede oluşan çıktılarının performans ölçütleri ele alınmıştır. Uygulamanın geliştirme aşaması, doğruluk oranlarının hesaplanmasında ve test işlemlerinde Intel i7-4570 3.14 GHZ CPU ve 128 GB SSD ve 1 TB SATA disk kullanılmıştır. Sistem üzerinde bulunan RAM 'in 32 GB'lık kısmı bellek hatalarını önlemek adına JVM üzerinden Apache Spark için ayrılmıştır. Veri kümesinin yüklenmesi aşamasında, modelin başarımının artması ve iyileştirilmesi için yaşanan terör olaylarında ilk 10 örgüt ele alınmıştır. Gerçekleştirilen uygulamanın analizi için karışıklık matrisleri oluşturulmuştur. Tablo 3 Karar Ağaçları algoritması ile elde edilen sonuçlar görülmektedir. Aynı şekilde Tablo 4.'e Lojistik Regresyon, Tablo 5'te Naive Bayes, Tablo 6. 'da Rastgele Orman, Tablo 7.'de KNN ve Tablo 8.'de Destek Vektör Makinelerine ait karışıklık matrisleri de verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında her bir sınıf için karışıklık değerleri belirtilmiştir.

Tablo 3. KA için karışıklık matrisi

	Taliban	DEAŞ	SL	FMLN	EŞ	NPA	IRA	FARC	BH	PKK
Taliban	1444	0	0	0	0	0	12	0	0	0
DEAŞ	0	971	0	0	152	5	0	0	0	4
SL	0	0	942	0	0	0	0	1	0	0
FMLN	0	0	0	683	0	0	0	2	0	0
EŞ	0	0	0	0	637	0		0	0	0
NPA	0	0	0	0	0	562	0	0	0	0
IRA	0	0	0	0	0	0	545	0	0	2
FARC	0	0	0	0	0	0	0	489	0	0
BH	0	0	0	0	424	0	0	0	59	0
PKK	0	3	0	0	435	0	1	0	0	30

Tablo 4. LR için karışıklık matrisi

	Taliban	DEAŞ	SL	FMLN	EŞ	NPA	IRA	FARC	BH	PKK
Taliban	1449	3	1	3	0	0	0	0	0	0
DEAŞ	184	947	1	0	0	0	0	0	0	0
SL	330	0	492	121	0	0	0	0	0	0
FMLN	409	0	83	193	0	0	0	0	0	0
EŞ	135	499	0	0	3	0	0	0	0	0
NPA	476	4	76	6	0	0	0	0	0	0
IRA	7	3	0	0	0	0	537	0	0	0
FARC	407	0	42	40	0	0	0	0	0	0
BH	103	380	0	0	0	0	0	0	0	0
PKK	144	324	0	0	1	0	0	0	0	0

Tablo 5. NB için karışıklık matrisi

	Taliban	DEAŞ	SL	FMLN	EŞ	NPA	IRA	FARC	BH	PKK
Taliban	1444	0	0	3	2	2	0	0	0	5
DEAŞ	1	832	1	1	32	3	0	160	6	96
SL	1	1	819	36	0	85	0	1	0	0
FMLN	0	81	9	561	1	2	0	31	0	0
EŞ	0	159	0	0	393	0	0	2	25	58
NPA	0	0	207	65	0	289	0	0	0	1
IRA	0	6	2	0	1	0	535	2	1	0
FARC	0	47	0	128	0	0	0	314	0	0
BH	0	94	0	0	116	0	0	21	235	17
PKK	4	32	0	0	35	20	0	19	4	355

Tablo 6. RO için karışıklık matrisi

	Taliban	DEAŞ	SL	FMLN	EŞ	NPA	IRA	FARC	BH	PKK
Taliban	1448	0	8	0	0	0	0	0	0	0
DEAŞ	4	1122	0	0	0	5	0	0	0	1
SL	0	0	940	0	0	0	0	3	0	0
FMLN	11	0	2	671	0	0	0	1	0	0
EŞ	0	42	1	0	583	0	0	0	11	0
NPA	0	0	6	0	0	556	0	0	0	0
IRA	1	8	1	0	0	0	537	0	0	0
FARC	110	0	0	97	0	0	0	282	0	0
BH	45	203	0	0	45	0	0	0	190	0
PKK	1	249	0	0	0	0	0	0	0	219

Tablo 7. KNN için karışıklık matrisi

	Taliban	DEAŞ	SL	FMLN	EŞ	NPA	IRA	FARC	BH	PKK
Taliban	528	0	0	0	0	0	1	0	0	0
DEAŞ	0	514	0	0	0	1	0	0	0	4
SL	0	0	482	4	1	0	0	0	0	0
FMLN	0	0	1	913	0	0	0	0	0	0
EŞ	0	0	9	0	674	0	0	0	0	0
NPA	0	4	0	0	0	476	0	3	0	7
IRA	5	0	0	0	0	0	1524	0	0	0
FARC	0	0	0	0	0	2	0	653	19	5
BH	0	0	0	0	0	2	0	8	453	1
PKK	5	2	0	0	0	37	1	7	1	1042

Tablo 8. DVM için karışıklık matrisi

	Taliban	DEAŞ	SL	FMLN	EŞ	NPA	IRA	FARC	BH	PKK
Taliban	528	0	0	0	0	0	1	0	0	0
DEAŞ	0	516	0	0	0	3	0	0	0	0
SL	0	0	483	4	0	0	0	0	0	0
FMLN	0	0	1	913	0	0	0	0	0	0
EŞ	0	0	0	0	683	0	0	0	0	0
NPA	0	4	0	0	0	483	0	0	0	0
IRA	0	0	0	0	0	0	1529	0	0	0
FARC	0	0	0	0	0	0	0	591	88	0
BH	0	0	0	0	0	0	0	0	464	0
PKK	5	2	0	0	0	152	0	0	1	935

Tahmin edilen ve öngörülen sınıfların her biri ele alınarak ağırlıklı ortalama değerleri bulunmuştur. Tablo 9'da ağırlıklı ortalamalar hesaplanarak gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında; gerçekleştirilen uygulama ile K-En Yakın Komşu algoritmasının veri seti üzerinde terör örgütünü tahmin etmedeki ağırlıklı doğruluk oranı % 98,2 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlendirme sırasıyla Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman, Karar Ağacı, Naive Bayes ve Lojistik Regresyon algoritmaları için de gerçekleştirilmiştir. **Çalışma süresi** bir algoritmanın hız bakımından bir ölçüsünü ifade etmektedir. K-En Yakın Komşu algoritması veri kümesine uygulandığında çalışma süresi saniye cinsinden 0,125 olarak en iyi bulunmuştur. K-En Yakın Komşu algoritmasını çalışma süresi bakımından sırasıyla Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes, Lojistik Regresyon, Karar Ağacı ve Rastgele Orman algoritmaları takip etmiştir. **Kesinlik** durumu tüm sınıflardan kaç adet doğru tahmin edildiğini belirten bir ölçüttür. Burada kaç adet örgüt isminin doğru tahmin edildiğini ifade etmektedir. Bu ölçütün yüksek olması başarımın daha iyi olduğunun göstergesidir. Kesinlik durumuna göre tablolara bakıldığında K-En Yakın Komşu algoritmasının veri kümesindeki çıktısına göre ağırlıklı ortalaması 0,983 olarak en iyi sonuç bulunduğu görülmüştür. K-En Yakın Komşu algoritmasını kesinlik ölçütü bakımından sırasıyla Destek Vektör Makineleri, Karar Ağacı, Rastgele Orman, Naive Bayes ve Lojistik Regresyon algoritmaları takip etmiştir. **Duyarlılık** ölçütü algoritmanın doğru değerlerinden yani istenilen değerlerin ne kadarı doğru tahmin edildiğini göstermektedir. Veri kümesindeki terör örgütlerinin ne kadarının doğru tahmin edildiğini belirtmektedir. Bu ölçütün çıktılarına göre K-En Yakın Komşu algoritmasının veri kümesindeki çıktısına göre ağırlıklı ortalaması 0,982 olarak en iyi sonuç olarak bulunmuştur. Bu değerlendirme sonucu diğer algoritmalara bakıldığında sırasıyla Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman, Karar Ağacı, Naive Bayes ve Lojistik Regresyon algoritmaları izlemiştir. **F1 skoru**, duyarlılık ve kesinlik başarım

ölçütlerinin harmonik ortalamasından elde edilen bir ölçüttür. Burada F1 skoru, test edilmiş olan veri kümesinin duyarlılık ve kesinlik değerlerini ele alarak doğruluğunu ölçmektedir. F1 skor ölçütüne bakıldığı zaman K-En Yakın Komşu algoritması veri kümesindeki çıktısına göre ağırlık ortalaması 0,982 olarak bulunmuştur. Bu skor sonucuna göre diğer algoritmalara bakıldığında sırasıyla Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman, Karar Ağacı, Naive Bayes ve Lojistik Regresyon algoritmaları izlemiştir.

Tablo 9. Sınıflandırma algoritmaları başarımları ölçütleri

Sınıflandırma Algoritması	Doğruluk Oranı(%)	Hata Oranı(%)	Çalışma Süresi(sn.)	F1 Skoru	Kesinlik	Duyarlılık
KA	85,9	14,1	5,801	0,840	0,933	0,859
KNN	98,2	1,8	0,125	0,982	0,983	0,982
RO	88,2	11,8	11,103	0,871	0,903	0,882
LR	48,8	51,2	4,151	0,384	0,423	0,488
DVM	96,4	3,6	0,889	0,965	0,971	0,964
NB	78,0	22,0	2,262	0,777	0,786	0,780

5. Sonuç ve Değerlendirme

Teknolojinin gelişmesi ve haberleşme ağlarının çoğalması ile birlikte günümüzde bilginin büyüklüğü ve değerli olması daha net bir şekilde görülmektedir. Günümüz teknolojileri ile birçok cihaz anlık veri üretebilmekte, verileri kayıt altına almakta ve bu kayıtlar çoğaldıkça veriler yeterince incelenmeden veri deposuna gönderilmektedir. Son yıllarda ise bu terör olaylarının belirgin bir şekilde artış gösterdiği görülmektedir. Bu alanda sosyal olarak gerçekleştirilen araştırmalar var olduğu gibi istatistiksel analiz, büyük veri analizi ve makine öğrenmesi gibi birçok farklı yöntemler ile araştırmalar vardır. Bu çalışmada dünyada yaşanmış olan terör olaylarının içerdiği Global Terrorism Database (GTD) veri kümesi ele alınmıştır. Bu veri kümesi üzerinde büyük veri kapsamında makine öğrenmesi yöntemleri ile analiz ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen uygulamaya dâhil edilen algoritmalar pek çok makine öğrenmesi ve veri madenciliği uygulamalarında gerek bilimsel çalışmalar niteliğinde gerekse yapay zekâ alanında uygulama çözümlerinde kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen modeller, farklı nitelik ve nicelik değerleri elde edilerek ortaya koyulmuştur. Kullanılan algoritmaların hızı, başarımları ve uygulanabilirliği veri kümesinin içeriğine bağlı olmakla beraber verinin bütünlüğü ve hedef nitelik çeşitliliğine bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan ve indirgenen veri seti içerisinde dünyada en çok terör saldırısı gerçekleştiren ilk 10 terör örgütü ele alınarak sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan bazı algoritmaların başarımlarının düşük olmasının sebebi hedef niteliğinin fazla çeşit içermesi ve çoklu sınıflandırma kullanılmasıdır. Bu algoritmalar farklı veri kümelerinde ve hedef değişkenin daraltılması ile birlikte daha kapsamlı sonuçlar elde edildiği ve başarımları ölçütlerinin arttığı görülmektedir. Fakat bu çalışma kapsamında örnek veri kümesinin büyük veri teknolojileri kapsamında ele alınarak makine öğrenmesi tekniklerinin uygulanması ve sonucunda bir uygulama geliştirilmesi diğer çalışmalardan farkını ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada ve geliştirilen uygulamanın verdiği çıktılara göre doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1 skoru başarımları ölçütleri ele alınarak K-En Yakın Komşu algoritması daha başarılı bulunmuştur. Ayrıca çalışma süresi, duyarlılık ve kesinlik ölçütlerine göre de K-En Yakın Komşu algoritması yine öne çıkmıştır. Gerçek sistem üzerinde modelin veri kümesine uygulandığında (% 98,2-% 96,4 ortalama doğruluk Aralığında) % 1,8 hata tolerans edilerek Destek Vektör Makineleri tercih edilebilir. Büyük veri kapsamında değerlendirildiğinde makine öğrenmesi çözümlerinde Lojistik Regresyon algoritmasının doğruluk parametresi açısından uygun olmadığı ve Rastgele Orman algoritmasının çalışma süresi bakımından uygun olmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada Apache Spark ile birlikte örnek bir veri kümesi üzerinde analiz ve örnek model oluşturma uygulamaları gerçekleştirilmiştir ve karşılaştırmaları doğruluk, F1 skoru, duyarlılık ve kesinlik gibi başarımları ölçütlerine göre yapılmıştır. Ortaya koyulan karar destek sistemi ile % 98,2 ağırlıklı doğruluk oranı ile bir terör olayının hangi terör örgütü tarafından gerçekleştirildiğine dair tahmin üretilebilmektedir. Bu ise faillerinin bulunmasında çok önemli bir adım olan “eylemin hangi örgüt tarafından yapıldığına” dair bilgiyi tahmin edebilmeyi sağlamaktadır. Daha sonraki çalışmalarda büyük verilerden elde edilen anlamlı ve faydalı bilgilerin derin öğrenme ve yapay zekâ yöntemleri ile analiz edilmesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Scime A, Murray GR, Hunter LY. Testing terrorism theory with data mining. *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies*; 2010; 2(2), 122-139.
- [2] Karabay B, Ulaş M. Comparison of Commonly Used Tools in Big Data Processing. *8th International Advanced Technologies Symposium*; Eylül 2017; Elazığ; 3880-3897.
- [3] Overview of the GTD, Erişim Tarihi: 10.10.2019, <http://www.start.umd.edu/gtd/about/>.
- [4] Vajihala NR, Strang KD, Sun Z. Statistical modeling and visualizing open big data using a terrorism case study. *3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud*; Ağustos 2015; 489-496
- [5] LaFree G. Building a global terrorism database. DIANE Publishing; 2011
- [6] LaFree G, Dugan L, Miller E. Putting terrorism in context: Lessons from the Global Terrorism Database. Routledge; 2014
- [7] Khorshid M, Abou-El-Enien T, Soliman G. A comparison among support vector machine and other machine learning classification algorithms. *IPASJ International Journal of Computer Science*; 2015; 3(5); 26-35.
- [8] Strang KD, Sun Z. Analyzing relationships in terrorism big data using Hadoop and statistics. *Journal of Computer Information Systems*; 2017; 57(1); 67- 75.
- [9] Karabay B, Ulaş M. Example of Log Analysis with Apache Spark. *8th International Advanced Technologies Symposium*; Eylül 2017; Elazığ; 4004-4011.
- [10] Harter A, Hopper A. A distributed location system for the active office. *IEEE network*; 1994; 8(1), 62-70.
- [11] Chu CT ve diğerleri. Map-reduce for machine learning on multicore. *Advances in neural information processing systems*; 2007; 281-288.
- [12] Berkowitz BT, Simhadri S, Christofferson PA, Mein G. US. Patent No. 6,457,021. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office; 2002.
- [13] Shvachko K, Kuang H, Radia S, Chansler R. The hadoop distributed file system. *IEEE 26th Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST)*; Mayıs 2010; 1-10.
- [14] Alsheikh MA, Niyato D, Lin S, Tan HP, Han Z. Mobile big data analytics using deep learning and apache spark. *IEEE network*; 2016; 30(3); 22-29.
- [15] Zaharia M ve diğerleri. Apache spark: a unified engine for big data processing. *Communications of the ACM*; Kasım 2016; 59(11); 56-65.
- [16] Altay O, Gurgenc T, Ulas M, Özel C. Prediction of wear loss quantities of ferro-alloy coating using different machine learning algorithms. *Friction*; 2019, 8(1); 107-114.
- [17] Aggarwal CC. *Data classification: algorithms and applications*. CRC press; Taylor & Francis G.; 2014.
- [18] Keerthi SS ve diğerleri. A fast iterative nearest point algorithm for support vector machine classifier design. *IEEE transactions on neural networks*; 2000; 11(1); 124-136.
- [19] Spark, Apache. Extracting, transforming and selecting features, Spark 2.2.0 Documentation. Erişim Tarihi: 10.10.2019, <https://spark.apache.org/docs/2.2.0/ml-features.html>,
- [20] Krüger F. *Activity, Context, and Plan Recognition with Computational Causal Behaviour Models*, Doktora, University of Rostock, Almanya, 2016.

Yabani-Ekşi Elmanın (*Malus sylvestris* Miller) Antioksidan Aktivite ve Fenolik Madde İçeriği Üzerine Farklı Kurutma Yöntemlerinin Etkisi

Kübra GÜLDEMİR^{1*}, Özlem ÇAKIR^{2*}, Kübra ÇAKIROĞLU³

¹Gıda Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

²Gıda Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

³Trabzon İl Gıda Kontrol Laboratuvarı, Tarım ve Orman Bakanlığı, Trabzon, Türkiye

¹kguldemir@gmail.com, ²ocakir@bayburt.edu.tr, ³kubraaksehir@hotmail.com

(Geliş/Received: 06/01/2020;

Kabul/Accepted: 13/02/2020)

Öz: Bu çalışma kapsamında, Bayburt çevresinde yetişen yabani ekşi elma (*Malus sylvestris* Miller) örneği dört farklı kurutma yöntemi (infrared kurutma, sıcak havada kurutma, oda sıcaklığında kurutma ve dondurarak kurutma) ile kurutulmuş ve kurutulan ürünlerin fenolik madde içeriği ve antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir. Kurutma yöntemlerine göre toplam fenolik madde içerikleri açısından en düşük değer oda şartlarında kurutulmuş elma örneğinde (34.92 mg GAE/g KM), en yüksek değer ise sıcak havada kurutulmuş örnekte (41.18 mg GAE/g KM) tespit edilmiştir. Yabani ekşi elma örneklerinin antioksidan aktivite seviyeleri; FRAP yöntemine göre “dondurarak kurutma > sıcak havada kurutma > infrared kurutma > oda sıcaklığında kurutma” şeklinde, CUPRAC yöntemine göre “sıcak havada kurutma > dondurarak kurutma > infrared kurutma > oda sıcaklığında kurutma” şeklinde, β-karoten yöntemine göre ise dondurarak kurutma>sıcak havada kurutma>oda sıcaklığında kurutma>infrared kurutma şeklinde değiştiği belirlenmiştir. CUPRAC metodu ile FRAP metodu arasında yüksek bir korelasyon olduğu saptanmıştır (r=0.939, R²=%88). Elde edilen deneysel verilere göre, antioksidan ve fenolik madde içeriği açısından yabani ekşi elma (*Malus sylvestris* Miller) için en iyi kurutma yönteminin sıcak havada kurutma olduğu tespit edilmiştir. Renk değerleri açısından en iyi yöntemin dondurarak kurutma olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, antioksidan, fenolik madde, yabani elma, Bayburt.

Effect of Different Drying Methods on The Antioxidant and Phenolic Compounds of *Malus sylvestris* Miller

Abstract: Wild sour apples (*Malus sylvestris* Miller) in Bayburt province were dried by four different drying methods. The phenolic content and antioxidant activities of the dried products were determined. The effect of drying methods on the biochemical properties of the product was investigated. Four different drying methods (infrared, hot air, room conditions, freezing) were discussed. The lowest phenolic content is determined as 34.92 mg GAE/gKM in room drying and the highest is 41.18 mg GAE/gKM in hot air drying. Most suitable drying method changes according to antioxidant activity determining methods. According to DPPH, the most suitable drying technique is hot air drying. According to the FRAP method sort from good to bad like this: “freezing drying> hot air> infrared> room temperature”, according to the CUPRAC; hot air> freezing> infrared> room temperature, while in Beta carotene method the sequence was found as freezing> hot air > room temperature> infrared. There is a high correlation between CUPRAC and FRAP (r = 0.939, R² = 88%). In terms of antioxidant and phenolic content, the best drying method is determined as hot air drying method. In terms of color values and browning, the best method was found to be freeze drying.

Key words: Drying, antioxidant, phenolic content, wild sour apple, Bayburt.

1. Giriş

Elmanın dünyada oldukça geniş bir yetişme alanı olup 7400 çeşidi bulunmaktadır. Bu meyvenin en çok yetiştiği ülkelerden biri de Türkiye olup Anadolu toprakları farklı elma çeşitleri konusunda oldukça zengindir. Anadolu'nun farklı bölgelerinde kültüre alınmış ya da alınmamış birçok elma çeşidi yetişmektedir. Kuzey Anadolu elma yetişen yerler arasında başı çekmekte olup Karadeniz kıyı bölgesi ile İç Anadolu ve Doğu Anadolu yaylaları da elmanın yetişmesi için oldukça uygun bölgelerdir [1].

Elma meyvesinin dünyanın neredeyse her yerinde ve değişik şartlarda yetişebilmesi, birçok farklı çeşidinin var olması ve buna bağlı olarak farklı lezzetler sunması, kolay depolama imkânının bulunması gibi özelliklerinden dolayı yaygınlığı oldukça fazladır. Bunların yanı sıra ihtiva ettiği besin içeriği ve değerli fitokimyasallar da bu meyveyi en çok tercih edilen besin kaynaklarından biri haline getirmektedir. Diğer meyvelerle karşılaştırıldığında en önemli flavanoid kaynaklarından biri elmadır. Bununla birlikte oldukça güçlü

* Sorumlu yazar: kguldemir@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-7397-3335, ² 0000-0002-5080-7721, ³ 0000-0003-4616-9103

antioksidan aktiviteye sahip olan fitokimyasallar içermektedir [2, 3]. Bu fitokimyasalların büyük bir kısmı fenolik bileşiklerden oluşmaktadır [3, 4]. Elmanın en belirgin fenolik bileşikleri flavonoidler; flavonoller ve flavanoller olup bunlar sadece elmalara özgü olan dihidrokalkonlardan oluşmaktadır. Elmada diğer fenolik bileşenlerden en çok klorojenik asit bulunmaktadır [2, 3, 5]. Burada bahsi geçen polifenollerin antioksidan özelliklerinden dolayı kardiyovasküler rahatsızlıklar, obezite, kanser veya diyabet gibi bazı hastalıkların riskini azalttığı bilinmektedir [6, 7,8].

Kültüre alınmış ya da yabani birçok türü bulunan elmanın önemli çeşitlerinden biri de ekşi elma olarak bilinen *Malus sylvestris* Miller'dir. Ekşi elma genellikle dağ yamaçlarında ve kırsal arazilerde doğal olarak yetişen bir meyvedir. Bu elma türü ekonomik bir ürün olmamakla birlikte yetiştiği yörelerde farklı şekillerde ve değişik amaçlarla tüketilmektedir. Ekşi elmanın en yoğun olduğu yerlerden biri Bayburt olup bu yörede çay ile birlikte yoğun olarak tüketilmektedir. Çaya limon yerine ekşi elma ilave edilerek hem çok güçlü olan aromasından faydalanılmakta hem de hastalıkları önleyici olarak değerlendirilmektedir. Buna ilaveten marul ve çoban salatalarının içinde de kullanılabilir [9]. Ayrıca elma suyu, elma çayı, elma sirkesi, elma şarabı, elma pekmezi, elma hoşafı gibi ürünlere de işlenebilir. Ekşi elma sadece mevsiminde değil diğer mevsimlerde de çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Yöre insanları ekşi elmayı salamura veya turşu yaparak, dondurarak ya da kurutarak muhafaza etmektedir.

Meyvelerin kurutulması en eski muhafaza yöntemlerinden biri olup, günümüzde de en çok başvurulan metotların başında gelmektedir. Bu yöntem ekşi elmanın muhafaza edilmesi amacıyla da oldukça sık kullanılmaktadır. Ancak kurutmanın elmaya uygulanması durumunda rastlanabilecek problemler ve çözümler konusunda henüz tam bir ittifak sağlanamamış olup yeni ve farklı kurutma yöntemlerinin meyvelerin besinsel ve fizikokimyasal özelliklerine etkisi üzerine yapılan çalışmalar halen devam etmektedir. Meyvelerde eksik ya da fazla kurutma yapılması, meyvelerin raf ömrü, besinsel içeriği ve fizikokimyasal yapısı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir [10].

Bu çalışmada, Bayburt ilinde doğal olarak bulunan yabani ekşi elma meyvesi pomolojik olarak incelenmiştir. Sonrasında ise farklı kurutma işlemlerinin, meyvenin antioksidan ve fenolik madde içeriği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda doğal ortamından en uygun mevsim ve zamanda toplanan ekşi elma meyveleri farklı kurutma yöntemleri (infrared, sıcak hava, oda koşulları, dondurarak) ile kurutulmuştur. Daha sonra yapılan çeşitli analizlerle kurutulmuş ürünlerin antioksidan aktivite ve fenolik madde içeriklerindeki değişim irdelenmiş ve farklı kurutma yöntemleri karşılaştırılıp en uygun kurutma yöntemi tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma yabani elmanın yoğun olarak bulunduğu Bayburt ilinde yürütülmüştür. İlin farklı yerlerinde bulunan dağlık arazilerden toplanan yabani ekşi elmalar (Şekil 1) ivedilikle çalışmanın yapıldığı laboratuvarlara getirilerek yapılması gereken ilk işlemler gerçekleştirilmiştir. Sonrasında numuneler buzdolabına (+4°C) konulmuş ve vakit kaybetmeden ölçüm ve analizlere başlanmıştır. Dondurarak kurutulacak meyveler işlemlerin yapılacağı zamana kadar -80°C'de muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. Yabani ekşi elma.

2.1. Yöntem

Pomolojik analizler, elma ağaçlarının çeşitli yönlerinden alınan 30 adet meyve üzerinde yapılmıştır. Meyve boyu ve eni 30 adet meyvede, 0.01 mm'ye duyarlı dijital kumpas ile ölçülmüştür. Meyve ağırlığı ise 30 adet meyve üzerinde 0.05 g'a duyarlı dijital teraziyle belirlenmiştir. Meyve hacmi ölçülü silindirde taşıdıkları su miktarına göre belirlenmiştir. Meyvelerin çekirdekleri 0.05 g'a duyarlı dijital teraziyle tartılarak 30 adet meyve çekirdeği kullanılarak belirlenmiştir.

Meyvelerin suda çözünen kuru madde miktarı (SÇKM) dijital refraktometre (Model Ra 250HE, Kyoto Electronics Manufacturing Co. Ltd. Japon) kullanılarak ölçülmüştür. Meyvelerden elde edilen meyve suları kullanılarak elektronik pH metre yardımıyla elmaların pH ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm esnasında elektrotlar pH değeri sabitleninceye kadar örnek içerisinde yaklaşık 1-2 dakika tutularak sonuçlar belirlenmiştir. Renk tayin işlemi için ise Minolta CR-300 renk tayin cihazı kullanılmıştır. Buradaki ölçüm işlemi L (100: beyaz, 0: siyah), a (+: kırmızı, -: yeşil), b (+: sarı, -: mavi) parametrelerine göre yapılmıştır. Renk tayini için rastgele seçilen 30 adet meyve kullanılmıştır. Meyvelerin askorbik asit, toplam asitlik, malik asit ve glikoz içeriği 'RQflex plus 10' (MERCCK, Germany) cihazı ile tespit edilmiştir.

2.2. Kurutma yöntemleri

Elmalar yıkayıp çekirdekleri çıkarıldıktan sonra dilim şeklinde doğranıp oda sıcaklığı, sıcak hava, infrared ve dondurarak (liyo-filize) olmak üzere 4 farklı yöntemle kurutulmuştur. Dondurarak kurutma işlemi için Heto CD4 marka liyo-filizatör kullanılmıştır. Dondurucudan çıkan dilimlenmiş elmalar tepsilere konularak liyo-filizatöre yerleştirilmiş ve işlem -55 °C ve >0.5 mbar altında gerçekleştirilmiş ve nem içeriği %9 oluncaya kadar kurutulmuştur. Oda sıcaklığında kurutma işlemi laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Elmalar dilimlenip birbirine karışmayacak şekilde dizilerek oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Etüvde kurutma işleminde elma dilimleri 65° C de sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuştur. İnfrared kurutma işleminde elma dilimleri yaklaşık 50 cm mesafede yerleştirilen 2500 kw gücündeki infrared ısıtıcının karşısına yerleştirilmiştir. Bahsi geçen her dört yöntem de ürünlerin nem oranı %8-10 aralığına gelinceye kadar uygulanmıştır.

2.3. Antioksidan aktivite

Bu çalışma kapsamında dört farklı antioksidan aktivite belirleme metodundan yararlanılmıştır. Uygulanan ekstraksiyon ile antioksidan metotları aşağıda açıklanmıştır.

Meyveleri temsil edecek şekilde alınan 100 g kurutulmuş meyve örneği karıştırıcı kullanılarak homojen bir hale getirilmiştir. Buradan alınan örneğin çözeltisi hazırlanarak bir saat boyunca tüpler içerisinde ekstraksiyonu sağlanmıştır [11]. Daha sonra filtre edilen solüsyon diğer aşamalarda yapılan toplam fenolik ve antioksidan kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Beta karoten ağartma metodunda Kaur ve Kapoor tarafından bildirilen yöntemden yararlanılmıştır [12]. Bir balona 4 ml β-karoten çözeltisi, 40 mg linoleik asit ve 400 mg tween-40 konulmuştur. Hazırlanan karışımdaki kloroform uzaklaştırılıncaya kadar balon içeriği 50°C'de evapore edilmiş ve bu balona 100 ml oksijenlenmiş distile su eklenerek karıştırılmıştır. Deney tüpüne 800 µl örnek ekstraktı 200 µl saf su konularak üzerine 3 ml β-karoten/linoleik asit çözeltisi ilave edilmiş ve spektrofotometrede 470 nm'de absorbans ölçülmüştür. Standart madde olarak bütillenmiş hidroksi anisol (BHA) kullanılmıştır.

FRAP analizi (Ferric Reducing Antioxidant Power) için 0.1 mol/L asetat (pH 3.6), 10 mmol/L TPTZ ve 20 mmol/L demir klorid çözeltileri (10:1:1) oranlarında karıştırılarak tampon çözelti hazırlanmıştır. Son olarak 30 µL meyve ekstraktına 2.97 mL hazırlanan buffer karıştırılarak absorbans 10 dakika sonra spektrofotometrede 593 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerleri Trolox (10–100 µmol/L) standart eğim tablosu ile hesaplanarak µmol Trolox eşdeğeri/g yaş meyve olarak sunulmuştur [13].

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (serbest radikal giderme) analizi ekstrelerin 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) üzerindeki serbest radikal süpürücü etkileri Sanchez-Moreno ve arkadaşlarının önerisine göre yapılmıştır [14]. Reaksiyon ortamındaki konsantrasyonu 4.3x10⁻³ mg/ml olacak şekilde hazırlanan örnek çözeltisinden 0.5 ml alınıp 2x10⁻² g/L konsantrasyonda %70'lik metanol içinde hazırlanmış olan DPPH çözeltisinin 3 ml sine ilave edilerek ve vortekste 30 saniye karıştırılarak oda sıcaklığında ve karanlıkta 30 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda UV Spektrofotometresinde 517 nm de absorbans okunmuştur. 4.0x10⁻³ ve 2.0x10⁻² g/L konsantrasyon aralığında DPPH standardı kullanılarak hazırlanan kalibrasyon denklemi kullanılarak reaksiyon ortamındaki DPPH konsantrasyonu (g/L) hesaplanmıştır. 30 dakika sonucunda reaksiyon ortamında kalan DPPH miktarı hesaplanarak sonuca ulaşılmıştır.

CUPRAC yöntemi bakır II neocuprain kompleksine dayanmaktadır (Cu-II- Nc). 1ml Bakır II neocuprain ve NH₄Ac buffer çözeltisi, meyvenin asitlendirilmiş ve asitlendirilmemiş metanol ekstrakt çözeltisi (x, ml) ve su (1.1-x, ml) son hacim 4.1 ml olacak şekilde ilave edilmiş ve absorbands değeri 450 nm’de köre karşı okunmuştur [15].

2.4. Fitokimyasal içerik

Meyvelerdeki total fenolik bileşik tayini Folin-Ciocalteu reaktifi ile spektrofotometrik olarak tayin edilmiş ve standart olarak gallik asit kullanılmıştır. Ekstraktan 1 ml erlenmayere aktarılarak üzerine 46 ml destile su ve 1 ml Folin- Ciocalteu çözeltisi eklenerek karıştırılıp 3 dakika bekletildikten sonra %2’lik sodyum karbonat çözeltisinden 3 ml ilave edilmiş ve 2 saat karıştırıcıda karıştırılmıştır. Sonuçlar gallik asit eş değeri (µg GAE/mg örnek) olarak verilmiştir [16].

Araştırma tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Araştırmada ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testleri ile belirlenmiştir.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

3.1. Pomolojik ölçümler

Yabani elmanın bazı pomolojik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Meyvelerin eni 30.20 ile 36.01 mm arasında iken boyu 26.16 ile 31.24 mm aralığındadır. Meyvelerin ağırlığı 15.23 ±2.7 g, hacmi ise 17.16 ±2.8 cm³ olarak saptanmıştır. Çekirdek sayısı ise 9 ±1 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 1. Yabani ekşi elmaya ait pomolojik özellikler.

Pomolojik özellikler	Değerler
Meyve boyu (mm)	28.82 ±1.56
Meyve eni (mm)	32.73 ±1.47
Meyve ağırlığı (g)	15.23 ±2.7
Meyve hacmi (cm ³)	17.16 ±2.8
Çekirdek sayısı (adet)	9 ±1

3.2. Fizikokimyasal özellikler

Yabani ekşi elmaya ait kimyasal ve fizikokimyasal özelliklere ait değerler Tablo 2’de verilmiştir. Ulaşılan sonuçlar Kaya (2019)’un çalışmasındaki SÇKM (13.29), toplam kuru madde (21.38), su aktivitesi (0.96) sonuçlarla benzerlik göstermiştir [17].

Tablo 2. Yabani ekşi elmaya ait fizikokimyasal özellikler.

Fiziksel özellikler	Değerler
Kuru madde (%)	16.06 ±0.49
Suda Çözünabilir Kuru Madde (SÇKM %)	13.35 ±0.09
Askorbik asit (C vitamini) (mg/l)	30.7 ±1.6
Toplam asitlik (g/l)	2.95 ±0.01
Malik asit (mg/l)	9.6 ±0.02
Glikoz (mg/l)	46.0 ±0.2
Su aktivitesi	0.93 ±0.01

3.3. Kurutma yöntemlerine göre fizikokimyasal özelliklerin değişimi

Uygulanan dört farklı kurutma yöntemine (IR: Infrared kurutma, O: Oda sıcaklığında, E: Sıcak hava, L: Dondurarak-Liyofilize) göre ürün özelliklerindeki değişimler aşağıda sunulmaktadır. Kurutulmuş yabani-ekşi elmaya ait kuru madde ve renk değerleri Tablo 3'te sunulmuştur. Kurutma sonucunda kuru madde değerleri %84 ile %95 arasında değişkenlik göstermektedir.

Tablo 3. Farklı yöntemlerle kurutulan yabani ekşi elmaya ait kuru madde ve renk değerleri.

Koşullar	KM (%)	L*	a*	b*
IR	95.38±0.35 ^a	47.79±0.97 ^{bc}	9.78±0.64 ^b	22.01±1.79 ^{ab}
O	90.42±0.34 ^c	48.78±1.24 ^b	8.39±0.85 ^c	23.46±0.54 ^a
L	91.79±0.17 ^b	61.18±0.53 ^a	5.47±0.52 ^d	21.66±0.31 ^{ab}
E	84.65±0.26 ^d	46.37±0.65 ^c	12.70±0.27 ^a	21.00±0.39 ^b

Dört farklı kurutma yöntemine bakıldığında en yüksek kuru madde miktarı infrared (IR) kurutma yönteminde (%95.38), en düşük kuru madde miktarı ise sıcak havada (E) kurutma yönteminde (%84.65) ortaya çıkmıştır. Kuru madde miktarı elma meyvelerinin kurutulmuş ya da sofralık olarak tüketilebilirliğinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Yapmış olduğumuz çalışmada yabani ekşi elma meyvesinin yüksek kuru madde miktarına sahip olduğu ve kurutma işlemi için uygun olduğu belirlenmiştir.

Gıda ve tarımsal materyallerin kalite parametrelerinden birisi de renk özellikleridir. Çok fazla renk değişimleri ürün kalitesini etkileyerek pazarlamayı olumsuz şekilde etkileyecektir [18]. Elde edilen bulgulara göre, *L*, *a* ve *b* değerleri üzerinde kurutma yöntemlerine göre önemli değişimler meydana gelmektedir. *L* değeri (0:siyah, 100:beyaz) en yüksek değerini dondurarak kurutma yönteminde almıştır. *a** değeri esmerleşme ile doğrudan etkili olan faktör olmakla birlikte elma en yüksek *a** değerini sıcak havada kurutma yönteminde, en düşük değeri ise dondurarak kurutma yönteminde almıştır. En az değişim ise *b** değerinde gözlenmiştir. Diğer yöntemlere ait değerler 46-48 arasında iken ortalama 61.18 ile diğer yöntemlere göre büyük farklılık göstermiştir. Dondurarak kurutma, dondurulmuş ürünün süblimasyon ile suyun uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır ve düşük sıcaklık altında vakumla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle olumlu renk değişimi gözlenmektedir.

3.4. Farklı kurutma yöntemlerinin yabani ekşi elmanın biyoaktif bileşenleri üzerine etkisi

Elmaların antioksidan aktivite analizlerinde ABTS yönteminden sonuç alınamamıştır. Farklı yöntemlerle kurutulan yabani ekşi elmanın antioksidan aktivite değerleri ve fenolik madde içerikleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Farklı yöntemlerle kurutulan yabani ekşi elmanın antioksidan ve fenolik madde miktarı

Kurutma yöntemi	Toplam Fenolik Madde (mgGAE/gK)	DPPH (µmol TE/KM)	FRAP (µmol TE/KM)	CUPRAC (µmol TE/KM)	Beta Karoten (%)
IR	35.87 ±4.65	19.32 ±0.77 ^b	163.5 ±4.9 ^c	132.8 ±2.58 ^c	35.95 ±0.63 ^d
O	34.92 ±2.05	18.14 ±0.49 ^b	143.5 ±3.5 ^d	124.7 ±2.33 ^d	55.80 ±2.74 ^c
L	38.07 ±1.93	19.11 ±1.78 ^b	213.7 ±6.1 ^a	154.82±0.96 ^b	65.63 ±1.50 ^b
E	41.18 ±2.81	28.15 ±1.08 ^a	200.8 ±4.3 ^b	162.25 ±3.19 ^a	62.17 ±2.35 ^b
				BHA	92.06 ±0.14 ^a

Elma posasında bulunan polifenoller elmanın işlenmesiyle meyve suyuna geçmektedir. Burada ortaya çıkan yüksek antioksidan aktivite oranı, meyvede bulundurulmuş flavanol ve flavonollerden ileri gelmektedir [19]. Elma posasından, kateşinler, hidroksisinnamatlar, floretin glikozidleri, kursetin glikozidleri, prosiyanidinler gibi pek çok majör bileşenler izole edilmiş ve tanımlanmıştır [20, 21].

Çalışmada kullanılan elma örneklerinin ortalama fenolik madde içerikleri 35.87 - 41.18 mg GAE/g KM arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek değer 41.18 mg GAE/g KM ile sıcak hava yöntemi ile kurutulmuş elmalarda saptanırken elde edilen bulgular istatistik olarak değerlendirildiğinde kurutma yöntemleri ile fenolik madde miktarı arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir ($p>0.05$).

Toplam fenolik madde içeriği ile antioksidan aktivite yöntemleri arasında yapılan korelasyona göre ortalama fenolik madde içeriği değerleri CUPRAC, DPPH ve FRAP yöntemleriyle kısmi korelasyon göstermiştir ve r değerleri sırasıyla 0.711, 0.655, 0.587 olarak belirlenmiştir ($p < 0.05$).

En yüksek antioksidan kapasite değeri FRAP yönteminde (213 $\mu\text{mol TE/KM}$) elde edilmiştir. FRAP yöntemini CUPRAC yöntemi takip etmektedir. Elmalar antioksidan aktivite yöntemleri açısından değerlendirildiğinde DPPH sonuçları 18.14-28.15 arasında, FRAP sonuçları 143.5-213.7 arasında CUPRAC sonuçları ise 132.80- 162.25 $\mu\text{mol TE/KM}$ arasında tespit edilmiştir. Değerler arasındaki farklılıkların antioksidan yöntemlerinin dayandığı ilkelerin aynı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Metotlar arasında yapılan bivaryete korelasyon incelendiğinde CUPRAC metodu ile FRAP metodu arasında yüksek bir korelasyon olduğu saptanmıştır ($r=0.939$, $R^2=\%88$). Burada uygulanan kurutma yöntemlerinin benzeri araştırmalarda sıklıkla tercih edildiği görülmüştür [22]

DPPH ile Beta karoten yöntemleri arasında negatif yüksek korelasyon tespit edilmiştir ($r=0.866$, $R^2=\%75$). Başka bir ifadeyle DPPH değerlerinde artış gözlemlendiğinde Beta karoten yönteminde elde edilen sonuçlarda azalma görülmektedir.

Beta karoten yönteminde referans olarak kullanılan BHA'nın antioksidan aktivitesi %92 olarak tespit edilmiştir. Süre sonunda (90 dakika) dondurarak kurutma %65 ve sıcak havada kurutma ise %62 antioksidan aktivite gösterirken değerler arasında istatistik olarak fark bulunamamıştır ($p > 0.05$).

Antioksidan aktivite ve fenolik madde miktarı (FRAP yönteminde elde edilen sonuçlar hariç) açısından en yüksek değer sıcak havada kurutma yöntemi ile tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Meyvelerde bulunan bazı bileşenler ve su kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmalara yol açmaktadır. Bu durum meyvelerin hasat mevsiminin dışındaki zamanlarda kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu durumla başa çıkılabilmesi için önerilen yollardan bir tanesi de meyvelerin farklı yöntemlerle kurutularak muhafaza edilmesidir. Bu çalışmada ana materyal olarak kullanılan yabani ekşi elma meyvesi çok bilinen bir tür olmamakla birlikte organik bir meyve olup daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında besinsel olarak önemli bileşenlere sahiptir. Bu nedenle bu meyvenin hasat mevsiminin dışında kalan zamanlarda da en faydalı şekilde tüketilebilmesi için en uygun şartlarda kurutulması gerektiği düşünülmektedir.

Kuru madde miktarı diğer meyvelerde olduğu gibi yabani ekşi elma için de kurutularak ya da sofralık olarak tüketilebilirliğinin belirlenmesinde önemli bir ölçüttür. Yapmış olduğumuz çalışmada yabani ekşi elma meyvesinin yüksek kuru madde miktarına sahip olduğu ve kurutma işlemi için uygun olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen deneysel verilere göre, antioksidan ve fenolik madde içeriği açısından yabani ekşi elma (*Malus sylvestris* Miller)'nin en iyi kurutma yöntemi sıcak havada kurutma yöntemi olarak tespit edilmiştir. Renk değerleri ve esmerleşme açısından ise en iyi yöntem dondurarak kurutma yöntemidir. Ancak bu yöntem diğer yöntemlere göre daha maliyetli bir teknik olması açısından endüstriyel anlamda kullanılması tercih edilmemesine neden olabilir. Diğer yöntemlerde renk değişiminin önüne geçebilmek için kükürt dioksit (SO_2) ya da askorbik asit kullanılabilir.

Antioksidan aktivite, meyvenin yetiştiği iklim, toprak, stres koşulları gibi faktörlerden, saklama koşulları ve süresinden etkilenebilir. Antioksidan aktiviteleri DPPH yöntemine göre; sıcak havada kurutma yöntemi diğer yöntemlere göre en yüksek değeri vermiştir. FRAP yöntemine göre “dondurarak kurutma > sıcak havada kurutma > infrared > oda sıcaklığı” şeklinde, CUPRAC yöntemine göre ise; “sıcak havada kurutma > dondurarak kurutma > infrared > oda sıcaklığı” şeklinde, Beta karoten yönteminde ise sıralama BHA > dondurarak kurutma > sıcak havada kurutma > oda sıcaklığı > infrared şeklinde değişim gösterdiği görülmüştür. CUPRAC metodu ile FRAP metodu arasında yüksek bir korelasyon olduğu saptanmıştır ($r=0,939$, $R^2=\%88$).

Ulaşılan sonuçlara göre bu meyvenin taze ya da kurutulmuş olarak birçok farklı gıda sektöründe ve ürün içinde kullanılabileceği ve bu şekilde ekonomik bir ürün haline dönüştürülebileceği anlaşılmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Kübra Güldemir'in yüksek lisans tezinden türetilmiş olup, çalışmanın bir kısmı BAP- 2014/01-12 sayılı proje kapsamında Bayburt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Burak M, Ergun M. Elma Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu. Meyvecilik Alt Komisyonu Elma Raporu Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Yayını, Ankara, 2000; 16-54.
- [2] Sun J, Chu Y, Wu X, Liu RH. Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Fruits. J Agr Food Chem 2002; 50, 7449-7454.
- [3] Boyer J, Liu RH. Apple Phytochemicals And Their Health Benefits. Nutrition Journal 2004a; 3, 1-15.
- [4] Boyer J, Liu RH. Antioxidants of Apples. New York Fruit Quarterly 2004b. Volume 11, Number 4.
- [5] Drogoudi DP, Michailidis Z, Pantelidis G. Peel And Flesh Antioxidant Content And Harvest Quality Characteristics of Seven Apple Cultivars. Scientia Horticulture 2008; 115, 149 - 153.
- [6] Eberhardt M, Lee C, Liu LH. Antioxidant Activity Of Fresh Apples. Nature 2000; 405, 903-904.
- [7] Sampath C, Rashid MR, Sang S, Ahmedna M. Specific bioactive compounds in ginger and apple alleviate hyperglycemia in mice with high fat diet-induced obesity via Nrf2 mediate pathway. Food Chem. 2017; 226, 79–88.
- [8] Opyd PM, Jurgowski A, Juśkiewicz J, Milala J, Zduńczyk Z, Król B. Nutritional and Health-Related Effects of a Diet Containing Apple Seed Meal in Rats: The Case of Amygdalin. Nutrients 2017 ; 9(10).
- [9] Güldemir K. Bayburt İlinde Doğal Olarak Bulunan yabani ekşi elma (*Malus sylvestris* Miller)'nın Farklı Yöntemlerle Kurutularak Antioksidan ve Fenolik Madde İçeriklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bayburt, Türkiye, 2016.
- [10] Djekic I, Tomic N, Bourdoux S, Spilimbergo S, Smigi N, Udovicki B, Hofland G, Devlieghere F, Rajkovic A. Comparison of three types of drying (supercritical CO₂, air and freeze) on the quality of dried apple – Quality index approach. LWT-Food Science and Technology. 2018 (94) 64-72
- [11] Çolak N, Zengin AY, Ayaz FA. The Effect Of Anthocyanin-Rich Bilberry Extract On The Antioxidant System In Roots Of Barley Cultivars Under Ionizing Radiation. Acta Physiol Plant. 2015; 37:187.
- [12] Kaur C, Kapoor HC. Anti-Oxidant Activity and Total Phenolic Content of Some Asian Vegetables. Int. J. Food Sci. and Technol., 2002; 37: 153-161.
- [13] Benzie IFF, Strain JJ. The Ferric Reducing Ability Of Plasma (Frap) As A Measure Of “Antioxidant Power”: The Frap Assay. Anal. Biochem., 1996; 239 (1):70-76.
- [14] Sanchez-Moreno C. Review. Methods used evaluate the free radical scavenging activity in biological systems. Food Sci. Technol. Int., 2002; 8(3): 121-137.
- [15] Apak R, Güçlü K, Ozyurek M, Karademir S.E, Altun M. Total Antioxidant Capacity Assay of Human Serum Using Copper(II)-Neocuproine as Chromogenic Oxidant: The CUPRAC Method. Free Radical Research, 2005; 39, 949-961.
- [16] Gülcin I, Oktay M, Kufrevioglu I, and Aslan A. Determination of antioxidant activity of lichen *Cetraria islandica* (L) Ach. Journal of Ethnopharmacology. 2002; 79 (3) 325-329.
- [17] Kaya, ZG., Ultrases Ön İşlemeyle Sıcak Hava Ve Mikrodalga Sistemlerinde Kurutulan Elma Dilimlerinin Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [18] Nasıroğlu Ş. Kırmızı Biber, Elma ve Pırasanın Kurutulmasında İnfrared Kurutma Tekniğinin Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, 2007.
- [19] Garcia Y, Valles B, Lobo A. Analytical Methods Phenolic and Antioxidant Composition Of By-Products From The Cider Industry: Apple Pomace. Food Chem. 2009; 117: 731–738.
- [20] Lommen A, Godejohann M, Venema D, Hollman P, Spraul M. Application Of Directly Coupled Hplc-Nmr-Ms To The Identification And Confirmation Of Quercetin Glycosides And Phloretin Glycosides In Apple Peel. Anal. Chem., 2000; 72:1793-1797.
- [21] Schieber A, Hilt P, Streker P, Endre H, Rentschler C, Carle R. A New Process For The Combined Recovery Of Pectin And Phenolic Compounds From Apple Pomace. Innovative Food Sci. Emerging Technol. 2003; 4: 99–107.
- [22] Karataş N. Farklı kurutma yöntemlerinin bazı kayısı çeşitlerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerine etkisi. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Türkiye, 2014.

Görüntü Şifreleme için Trivium-Doğrusal Eşlenik Üreteci Tabanlı Bit Üretimi

Taha ETEM^{1*}, Turgay KAYA²

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Muş, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elazığ, Türkiye

*¹ t.etem@alparslan.edu.tr, ² tkaya@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 18/10/2019;

Kabul/Accepted: 14/02/2020)

Öz: Sözde rastgele sayı üreteçleri uygulama kolaylığı sebebiyle tercih nedeni olmaktadır. Herhangi bir donanım olmaksızın rastgele sayı dizilerini hızlı bir şekilde üretebilmek önemli bir avantajdır. Üretilen sayıların kriptolojik uygulamalar gibi hassas alanlarda kullanılması durumunda bazı istatistiksel gerekliliklerin karşılanması gerekmektedir. Bu amaçla uygulanan sözde rastgele sayı üreteci tasarımı LCG algoritmasıyla oluşturulduktan sonra Trivium algoritmasıyla son işlemde geçirilerek istatistiksel testlerde başarılı bir rastgele sayı dizi elde edilmiştir. Üretilen sayılar DES, 3DES ve AES şifreleme algoritmaları için anahtar olarak kullanılarak örnek görüntü şifreleme uygulamaları yapılmıştır. Oluşturulan görüntü şifreleme sisteminin her bir algoritma için işleme hızları karşılaştırılmıştır. AES şifreleme standardı hem en güncel algoritma olması hem de şifreleme ve şifre çözme sürelerindeki başarısıyla öne çıkmıştır. Ayrıca incelenen algoritmalar içerisinde 256 bit'e kadar en uzun şifreleme anahtarlarını desteklemesi sebebiyle daha güvenli bir şifreleme işlemi gerçekleştirdiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Sözde Rastgele Sayı Üreteci, Doğrusal Eşlenik Üreteci, Trivium Algoritması, Görüntü Şifreleme.

Trivium-Linear Congruential Generator Based Bit Generation For Image Encryption

Abstract: Pseudo random number generators are preferred because of the easy application. Without any hardware, quickly generating random number streams is an important advantage. Applying generated numbers on delicate fields such as cryptographic applications is required some statistical necessities. For this purpose, pseudo random number generator application design is created by LCG algorithm then post-processing is made by Trivium algorithm for obtaining statistically successful random number stream. Generated numbers are used as a key for DES, 3DES and AES cryptography algorithms for applications of sample image encryption. The processing speeds of the created image encryption system for each algorithm were compared. The AES encryption standard stands out with its being the most up-to-date algorithm as well as its success in encryption and decryption durations. Also, it can be said that it performs a more secure encryption process since it supports the longest encryption keys up to 256 bits among the examined algorithms.

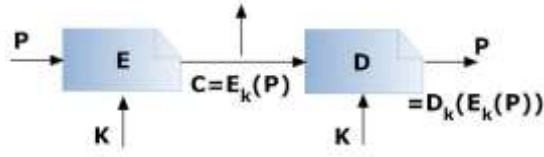
Key words: Pseudo Random Number Generator, Linear Congruential Generator, Trivium Algorithm, Image Encryption.

1. Giriş

Önemli verileri gizlemek, başkaları tarafından anlaşılacak bir forma sokmak için günümüzde birçok farklı teknik kullanılmaktadır. Şifreleme işlemi yapılırken genelden mantıksal elemanlardan ve matematiksel işlemlerden faydalanılarak oluşturulan bir model kullanılır [1]. Birçok sistem şifreleme işlemi için anahtar diye tabir edilen bir değer kullanır. Anahtar uzunluklarının artması, genellikle şifreli verinin istenmeyen kişilerce çözülmesini zorlaştırır da şifreleme işlemi için gerekli kaynak gereksinimi ve zamanı da arttırmaktadır [2]. Anahtar uzunluğunun artması tahmin edilmesi gereken sayı olasılığını arttırmış olacak böylece üçüncü şahısların anahtarı elde etmesi zorlaşarak zaman alacaktır. Bu tarz sistemlerde anahtarın uzunluğu arttığında hem donanımsal ve yazılımsal gerçeklemlerde sorun oluşabilir. Bazı kaotik devre tabanlı şifreleme sistemleri bu sorunları azaltsa da uygulama zorluğundan kaynaklanan sebeplerle bu sistemlerin kullanımı yaygınlaşmamıştır [3]. Şifreleme teknikleri genel olarak Şekil 1'de gösterilen orijinal data (P), şifrelenmiş data (C), şifreleme anahtarı (K), şifreleme algoritması (E) ve şifre çözme algoritmasından (D) meydana gelmektedir [4].

Güvenli olmayan haberleşme ortamlarında şifrelenmiş bir şekilde veri grupları elde etmek zor bir iş değildir. Ancak bu veri kümelerini anlamlandırabilmek için kullanılan şifre çözme uygulamasını ve şifreleme anahtarını elde etmek gerekir. Belirli protokollerle standart hale getirilen bu işlemler verinin istenmeyen ortamlarda elde edilememesini, istenilen ortamda ise kolay bir şekilde elde edilebilir olmasını hedefler [5].

* Sorumlu yazar: t.etem@alparslan.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-1419-5008, ² 0000-0002-7732-6194



Şekil 1. Şifreleme ve şifre çözme uygulamalarının genel işleyişi[4]

Şifreleme işlemleri için anahtarın durumuna bağlı olarak simetrik anahtarlı şifreleme ve asimetrik anahtarlı şifreleme olarak iki yapı mevcuttur. Burada kullanılan anahtarın dağıtımı özel bir kanalla ya da yine veri iletiminde kullanıldığı gibi gizli bir kanalla yapılabilir.

Şifreleme anahtarları kriptolojik uygulamaların temelini oluşturduğu için seçilmesi büyük önem arz etmektedir [6]. Bu ihtiyacı giderebilmek amacıyla literatürde birçok rastgele sayı üretici tasarımı bulunmaktadır [7]. Elde edilen her yeni rastgele sayı üretici tasarımıyla kullanılabilirlik artırılmıştır [8-9]. Ayrıca rastgele sayı üreticilerinin şans oyunları, istatistiksel uygulamalar gibi farklı kullanım alanları da mevcuttur [10].

Rastgele sayı üreticileri sözde ve gerçek rastgele sayı üreticileri olmak üzere iki ana başlıkta toplanmıştır. Bunların her iki bileşenini de içeren hibrit rastgele sayı üreticileri ise sonradan türetilmiştir [11]. Gerçek rastgele sayı üreticileri genellikle ölçülebilir veriler ve devre tabanlı olarak karşımıza çıkarken sözde rastgele sayı üreticileri genelde matematiksel işlemler içeren algoritmalarla elde edilir [12].

Sözde rastgele sayı üreticileri farklı algoritmalarla elde edilebilirler. Şifreleme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaları harici bir donanıma sahip olmaksızın oluşturulup yüksek hızlarda çalışmaya imkan vermelerinden kaynaklanmaktadır [13]. Literatürde farklı tasarımlara sahip çok sayıda sözde rastgele sayı üretici bulunmaktadır [14].

Rastgele sayı üreticileri çıktısında elde edilen sayıların genelde farklı yapılarda olması rastgele sayı üretici için kullanımlarında bir ön işlem ihtiyacını doğurmaktadır [15]. Öncelikle bu sayıların normalizasyon işlemleri yapılmalı ve sayılar binary (ikili) sayı formatına dönüştürülmelidir. İkili sayı koduna dönüştürülmüş sayıların istatistiksel analizleri hassas bir şekilde yapılarak rastgele sayı üretici içerisinde kullanılmaları değerlendirilmelidir. Sonuç olarak elde edilen sayıların analizleri için literatür tarafından sıklıkla kullanılan NIST-800-22 veya FIPS-140-1 gibi istatistiksel testler uygulanmalıdır. Test sonuçlarına göre tasarlanan sistem gözden geçirilmelidir. Bir testten bile başarısız olan bir sayı dizisi rastgele olarak kabul edilmeyecektir. Bazı istatistiksel özellikleri arttırmak için diziye son işlem algoritmaları uygulanabilir [16].

Güncel olarak kullanımda olan birçok şifreleme algoritması mevcuttur. Bu algoritmalar genel olarak veriyi farklı döngülerle şifrelemeye çalışır [17]. Temel amaçları çok uzun anahtarlar kullanmadan şifreleme algoritmasının kendi oluşturduğu entropi yardımıyla verinin sadece istenilen kişilerce elde edilebilir olmasını sağlamaktır [18]. Bu algoritmalarından en çok kabul göreni geçmişte DES, güncellenen versiyonuyla 3DES ve günümüzdeki en güncel versiyonu AES olmuştur. Bu algoritmaların tercih edilmesinde veri güvenliğinin yanı sıra uygulama kolaylığı ve çabukluğu da öne çıkmıştır. Ayrıca bu algoritmalar görüntü şifreleme için kullanıma uygun algoritmalarlardır [19].

Bu çalışmada Linear Congruential Generator (LCG) tabanlı Trivium algoritmasıyla bir sözde rastgele sayı üretici tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemin istatistiksel NIST testi yardımıyla rastgeleliliği incelenmiştir. Oluşturulan rastgele sayı üreticinin çıktıları DES, 3DES ve AES algoritmaları için anahtar olarak kullanılarak görüntü şifreleme uygulamalarında kullanılmıştır.

2. Doğrusal Eşlenik Üreteci

Temel anlamda rastgele sayılar üretmek için kullanılan LCG algoritması oldukça temel matematiksel işlemlere dayanır.

$$X_i = [(A \times X_{i-1}) + B] \text{ mod } C \quad (1)$$

Denklem 1'de görüldüğü üzere üretilen verilen bir X_i başlangıç değeriyle rastgele sayı üretimi başlar. Üretilen sayıların maksimum değeri C değişkeni ile belirlenir. Diğer değişkenler yardımıyla da farklı rastgele sayı dizileri üretmek mümkün olmaktadır [20].

LCG'nin en büyük avantajı minimum oranda sistem kaynağını kullanarak rastgele sayı üretmesidir. Ancak oldukça basit bir algoritma yardımıyla üretilmesi kriptolojik uygulamalarda kullanımını kısıtlamaktadır. Sayı

üretim kapasitesi yüksek tutulduğunda istatistiksel olarak iyi sonuçlar verse de düşük kapasiteli sayı üretici tasarımlarında istatistiksel zaafılar bulunabilmektedir [21].

Algoritma 1. LCG için Python kodları

```
def lcg(modindisi, a, b, ilkdeger):
    while True:
        seed = (a * ilkdeger + b) % modindisi
        yield ilkdeger
```

Algoritma 1 içerisinde LCG için örnek Python kodu verilmiştir. LCG birçok programlama dilinde kolayca elde edilebilmektedir. Şifreleme uygulamaları için de uygun olması sebebiyle LCG için Python tercih edilmiştir.

3. Trivium Algoritması

Üretilen rastgele sayıların istatistiksel özelliklerini iyileştirmek ve kriptolojik uygulamalarda kullanılabilir hale getirmek için Trivium algoritması son-işlem olarak uygulanmıştır. Trivium algoritması oldukça hızlı bir şekilde çalışırken rastgele sayı dizisinin çıktularından çok önemli istatistiksel değişikliklere yol açar. Esnek bir uygulama alanına sahip olması sebebiyle sıklıkla tercih edilen bir algoritma olmuştur [22].

Tablo 1. Trivium Algoritması Parametreleri

Parametreler	Boyut
Anahtar Boyutu	80 bit
Başlangıç Değeri Boyutu	80 bit
İç Durum Boyutu	288 bit

Tablo 1'de Trivium algoritmasının parametreleri gösterilmiştir. Trivium algoritmasının işleyiş şeması ise aşağıdaki algoritmada verilmiştir. 288 bitlik iç durum değişkenleri s_1, s_2, \dots, s_{288} ile ifade edilmiştir. Bu algoritma ile hızlı bir şekilde rastgele sayılar üretmek mümkündür. Ayrıca Trivium algoritması yapılan çalışmalarla saldırılara karşı dayanıklı olduğunu göstermiştir [22].

Algoritma 2. Trivium Algoritması İşleyişi

```
for i=1 to n
    t1 ← s66 ⊕ s93
    t2 ← s162 ⊕ s177
    t3 ← s243 ⊕ s288
    zi ← t1 ⊕ t2 ⊕ t3
    t1 ← t1 ⊕ s91 · s92 ⊕ s171
    t2 ← t2 ⊕ s175 · s176 ⊕ s264
    t3 ← t3 ⊕ s286 · s287 ⊕ s69
    (s1, s2, ..., s93) ← (t3, s1, ..., s92)
    (s94, s95, ..., s177) ← (t1, s94, ..., s176)
    (s178, s179, ..., s288) ← (t2, s178, ..., s287)
end for
```

4. İstatistiksel NIST 800-22 Testi

Literatürde çok sayıda istatistiksel test bulunmasına karşın en çok kabul gören istatistiksel test NIST (National Institute of Standards and Technology) tarafından önerilmiştir. Toplamda 15 istatistiksel test bulunan NIST-800-22 tüm otoriteler tarafından istatistiksel rastgelelik testleri arasında en çok kabul görendir [23].

NIST-800-22 testi, kendi içerisinde bulunan 15 farklı bit serisini rastgelelik açısından incelemek için genellikle yeterlidir. Son iki test minimum bir milyon adet örnek gerektirdiğinden genellikle test için bir milyondan fazla örnek kullanılır. NIST-800-22 testi için, çıktılar P-değerleri ile değerlendirilmektedir. P-değerinin genellikle 0.01'den büyük olması şartı aranır [24]. Böylece elde edilen değerler $0.01 < P\text{-değeri} < 1$ aralığında olmalıdır. P-değerinin 1'den büyük olarak hesaplanması zaten matematiksel olarak mümkün değildir. Genel kabul olarak görülen 0.01'den küçük olarak P-değeri hesaplandığında ise rastgelelik testinin başarısız olduğu savunulabilir [25].

Tablo 2'de LCG çıktıları ham bir şekilde ve Trivium algoritmasıyla son-işlem uygulanmış bit dizilerinin istatistiksel test sonuçları verilmiştir.

Tablo 2. NIST 800-22 Test Sonuçları

NIST Tests	LCG Çıktısı Başarısı	LCG Çıktısı P-Değerleri	Trivium Algoritması Başarısı	Trivium Algoritması P-Değerleri
Frequency Monobit Test	Başarısız	0	Başarılı	0.79
Frequency Test within a Block	Başarısız	0	Başarılı	0.27
Runs Test	Başarısız	0	Başarılı	0.25
Longest Run of Ones in a Block Test	Başarısız	0	Başarılı	0.34
Binary Matrix Rank Test	Başarılı	0.21	Başarılı	0.07
Discrete Fourier Transform Test	Başarısız	0	Başarılı	0.41
Non Overlapping Template Matching Test	Başarısız	0	Başarılı	0.03
Overlapping Template Matching Test	Başarısız	0	Başarılı	0.32
Universal Test	Başarısız	0	Başarılı	0.20
Linear Complexity Test	Başarısız	0	Başarılı	0.91
Serial Test	Başarısız	0/0	Başarılı	0.95/0.94
Approximate Entropy Test	Başarısız	0	Başarılı	0.13
Cumulative Sums Test	Başarısız	0	Başarılı	0.54
Random Excursions Test	Başarısız	0	Başarılı	0.30
Random Excursions Variant Test	Başarısız	0	Başarılı	0.31

Tabloda görüldüğü üzere LCG çıktısı sonucunda başarısız olan tüm testler Trivium algoritmasıyla uygulanan son işlem sonrasında başarılı olmuştur. Trivium algoritmasının etkinliği bu şekilde açıklanabilir.

5.Şifreleme Uygulamaları

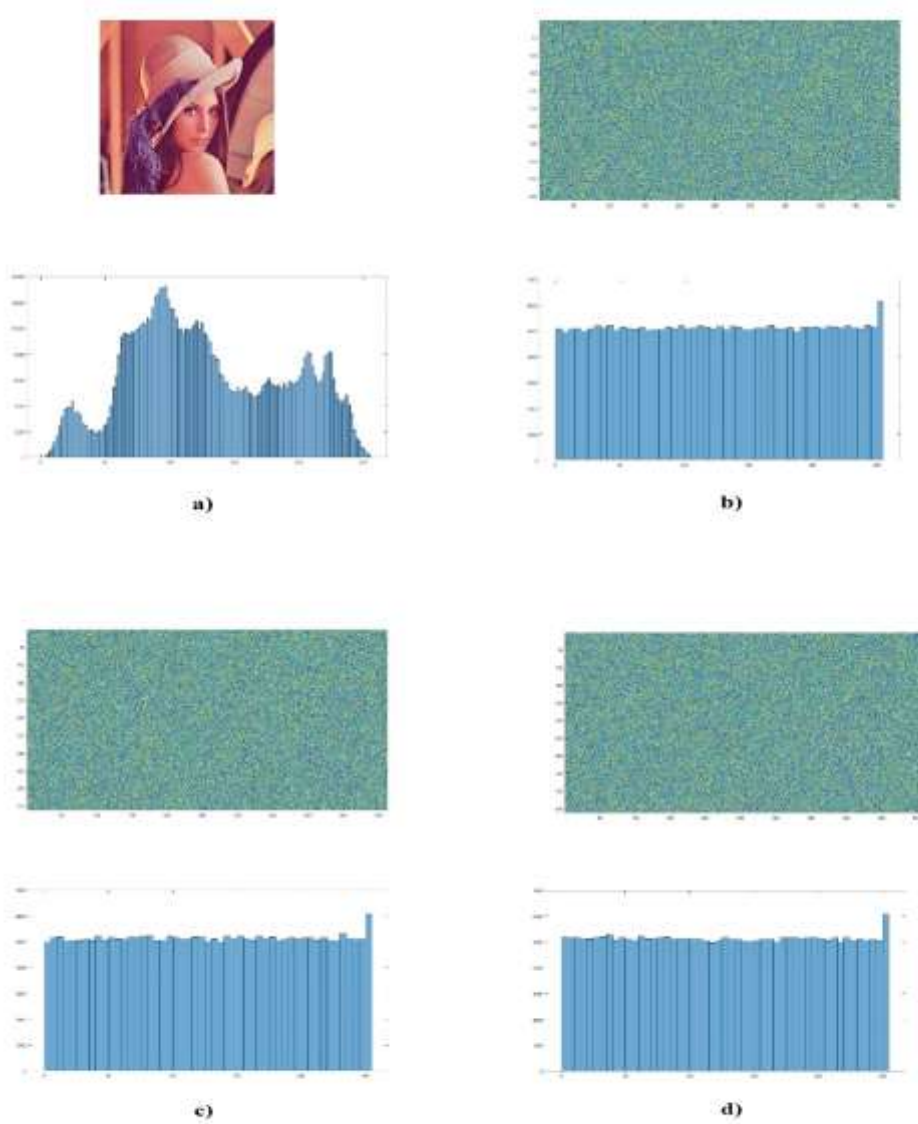
Şifreleme işlemleri için DES, 3DES ve AES algoritmaları ayrı ayrı örnek resimler üzerine uygulanmıştır. Şifreleme uygulamaları Python platformunda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Şifreleme Algoritmalarının Anahtar Uzunlukları

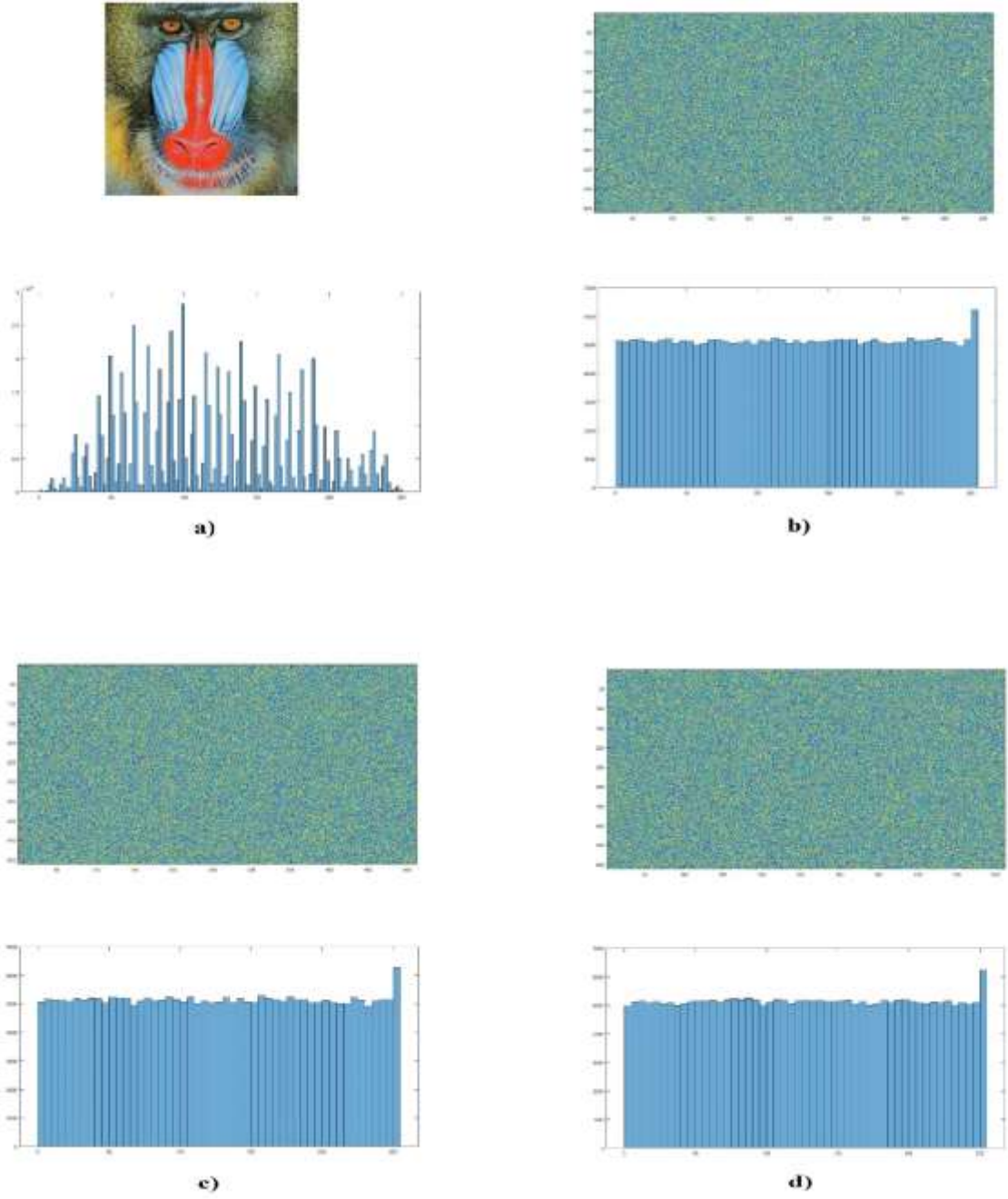
Şifreleme Algoritması	Anahtar Uzunluğu
DES	64 bit
3DES	192 bit
AES	128/192/256 bit

Kullanılacak olan şifreleme algoritmalarının anahtar uzunlukları Tablo 3'te verilmiştir. AES için 128 bit, 192 bit ya da 256 bitlik anahtarların kullanılması uygundur.

Şifreleme işleminin uygulandığı iki örnek 512x512 boyutunda renkli görüntü işleme standart resmi aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. Görüntü Şifreleme I: **a)** Orijinal resim ve histogramı **b)** DES ile şifrelenmiş görüntü ve histogramı **c)** 3DES ile şifrelenmiş görüntü ve histogramı **d)** AES ile şifrelenmiş görüntü ve histogramı



Şekil 3. Görüntü Şifreleme I: **a)** Orijinal resim ve histogramı **b)** DES ile şifrelenmiş görüntü ve histogramı **c)** 3DES ile şifrelenmiş görüntü ve histogramı **d)** AES ile şifrelenmiş görüntü ve histogramı

6. Sonuçlar

Örnek görüntü işleme resimlerinden iki tanesine uygulanan DES, 3DES ve AES şifreleme algoritmaları resimleri başarıyla şifrelemiş ve sonrasında yine başarılı bir şekilde herhangi bir veri kaybı olmadan orijinal resimleri geri döndürmüştür.

Tablo 5. Şifreleme Algoritmalarının Çalışma Süreleri

Örnek Resim	Şifreleme Algoritması	Şifreleme Süresi (ms)
Lena 512x512	DES	Şifreleme: 19.68 ms Şifre Çözme: 14.11 ms
	3DES	Şifreleme: 42.05 ms Şifre Çözme: 36.63 ms
	AES	Şifreleme: 13.71 ms Şifre Çözme: 6.49 ms
Mandrill 512x512	DES	Şifreleme: 10.58 ms Şifre Çözme: 5.83 ms
	3DES	Şifreleme: 18.03 ms Şifre Çözme: 11.94 ms
	AES	Şifreleme: 8.03 ms Şifre Çözme: 3.27 ms

Tablo 5'te tüm algoritmalar için şifreleme ve şifre çözme süreleri gösterilmiştir. Kodların işleme süreleri bilgisayar kaynaklarına ve anlık kullanım miktarına bağlı olarak kodların farklı zamanlarda çalıştırılması sonucunda %1'den daha az değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

7.Değerlendirme

Bu çalışmada görüntü şifreleme uygulamalarında kullanılmak üzere LCG ve Trivium algoritması tabanlı bir sözde rastgele sayı üretici tasarımı yapılmıştır. Elde edilen rastgele sayı üretici tasarımı istatistiksel NIST 800-22 testiyle değerlendirilerek rastgele değerler elde edildiği ispatlanmıştır. Tasarlanan LCG çıkışında istatistiksel testlerde başarısız olan sayı dizisi Trivium algoritmasıyla uygulanan son işlem sayesinde tüm testlerden başarıyla geçmeyi başarmıştır.

Elde edilen rastgele sayılar şifreleme algoritmaları için farklı uzunluklardaki anahtarlar olarak kullanılarak şifreleme işlemi yapılmıştır. DES, 3DES ve AES için yapılan uygulamalar sonucunda uygulanan sistem için en hızlı şifreleme ve şifre çözme süreleri sırasıyla AES, DES ve 3DES olarak tespit edilmiştir.

Her iki görüntünün farklı histogram grafikleri olmasına karşın şifrelenmiş tüm verilerin uniform dağılımlı histogramlara sahip olduğu görülmüştür. Böylece sadece şifrelenmiş verileri analiz ederek uygun şifre çözme algoritmasını ve şifreleme anahtarını bilmeden gizli verilere ulaşılmasının mümkün olmadığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Taha Etem'in doktora tezinden hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Coskun S, Pehlivan I, Akgul A, GÜREVİN B. A new computer-controlled platform for ADC-based true random number generator and its applications. *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.* 2019. pp. 847–860,.
- [2] Kaya T. A true random number generator based on a Chua and RO-PUF: design, implementation and statistical analysis. *Analog Integr. Circuits Signal Process.* 2019. 2.
- [3] Tuna M, Karthikeyan A, Rajagopal K, Alcin M, Koyuncu I. Hyperjerk multiscroll oscillators with megastability: Analysis, FPGA implementation and a novel ANN-ring-based True Random Number Generator. *AEU - Int. J. Electron. Commun.* 2019. 112.
- [4] Akgul A. Yeni Kaotik Sistemler ile Rasgele Sayı Üretici Tasarimi Ve Çoklu Ortam Verilerinin Yüksek Güvenlikli Şifrelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2015.
- [5] Arslan Tuncer S. Real-Time Random Number Generation with Ring Oscillator Based Double Physically Unclonable Function. *J. Microelectron. Electron. Components Mater.* 2018. 48(2). pp. 121–128.
- [6] Akgul A, Kacar S, Pehlivan I. An Audio Data Encryption with Single and Double Dimension Discrete-Time Chaotic Systems. *Tojsat.* 2015. 5(3). pp. 14–23.
- [7] Koyuncu I, Ozcerit A, Pehlivan I, Avaroglu E. Design and implementation of chaos based true random number generator on FPGA. *IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference*, 2014, pp. 236–239.
- [8] Tuncer T. Implementation of duplicate TRNG on FPGA by using two different randomness source. *Elektron. ir Elektrotehnika* 2015. 21(4). pp. 35–39.

- [9] Buchovecká S, Lórencz R, Kodýtek F, Buček J. True random number generator based on ring oscillator PUF circuit, *Microprocess. Microsyst.* 2017. 53. pp. 33–41.
- [10] Petchler B, Hasegawa H. Using a low-cost electroencephalogram (EEG) directly as random number generator. *Proc. - 2014 IIAI 3rd Int. Conf. Adv. Appl. Informatics.* 2014. pp. 470–474.
- [11] Avaroglu E, Koyuncu I, Özer AB, Turk M. Hybrid pseudo-random number generator for cryptographic systems. *Nonlinear Dyn.* 2015. 82(1). pp. 239–248.
- [12] Chen X. Modeling Random Telegraph Noise as a Randomness Source and its Application in True Random Number Generation. *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.* 2016. 35(9). pp. 1435–1448.
- [13] Neugebauer F, Polian I, Hayes JP. S-box-based random number generation for stochastic computing. *Microprocess. Microsyst.* 2018. 61(1). pp. 316–326.
- [14] Avaroglu E. Pseudorandom number generator based on Arnold cat map and statistical analysis. *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.* 2017. 25(1). pp. 633–643.
- [15] Arslan Tuncer S, Kaya T. True Random Number Generation from Bioelectrical and Physical Signals. *Comput. Math. Methods Med.* 2018. 2018. pp. 1–11.
- [16] Akgul A, Arslan C, Aricioglu B. Design Of An Interface For Random Number. 2017. 1(1). pp. 1–18.
- [17] Moosavi SR, Nigussie E, Virtanen S, Isoaho J. Cryptographic key generation using ECG signal. 2017 14th IEEE Annu. Consum. Commun. Netw. Conf. CCNC. 2017. pp. 1024–1031.
- [18] Etem T, Kaya T. A novel True Random Bit Generator design for image encryption. *Phys. A Stat. Mech. its Appl.* 2020. 540.
- [19] Devi A, Sharma A, Rangra A. A Review on DES, AES and Blowfish for Image Encryption & Decryption. *Int. J. Eng. Comput. Sci.* 2015. 4(6). pp. 12646–12651.
- [20] O'neill ME. A PCG: A Family of Simple Fast Space-Efficient Statistically Good Algorithms for Random Number Generation. *ACM Trans. Math.* 2017. 217. pp. 1–46.
- [21] Bhattacharjee B, Maity K, Das K. A Search for Good Pseudo-random Number Generators : Survey and Empirical Studies. 2018.
- [22] Kaya T. Memristor and Trivium-based true random number generator. *Phys. A Stat. Mech. its Appl.* 2020. 124071.
- [23] Chen X, Zhang Y, Zhang G, Zhang Y. Evaluation of ECG random number generator for wireless body sensor networks security. 2012 5th Int. Conf. Biomed. Eng. Informatics. 2012. pp. 1308–1311.
- [24] Sathiyamurthi P, Ramakrishnan S. Speech encryption using chaotic shift keying for secured speech communication. *Eurasip J. Audio, Speech, Music Process.* 2017. 2017.
- [25] Akgul A, Moroz I, Pehlivan I, Vaidyanathan S. A new four-scroll chaotic attractor and its engineering applications. *Optik.* 2016. 127. pp. 5491–5499.

İki Bileşenli Metal Oksit Yarı iletkenlerin Üretilmesi ve Optik Özelliklerinin Belirlenmesi

Burhan Coşkun*

Fizik, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, Türkiye
burhan.coskun@klu.edu.tr

(Geliş/Received: 07/02/2020;

Kabul/Accepted: 17/02/2020)

Öz: Bu çalışmada; Metal oksit bir malzeme olan TiO₂'in yapısal ve optiksel özelliklerinin incelenmesi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında Sol-jel metodu kullanılarak katkısız ve demir (Fe) katkılı TiO₂ ince filmler p-tipi Silisyum (Si) alttaşlar üzerine büyütülmüştür. İkinci aşamada, büyütülen ince film numunelerinin yapısal ve optiksel özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin yapısal özellikleri X ışını kırınım cihazı (XRD) ile incelenmiş ve Fe katkılı TiO₂ ince film numunelerinin faz yapısının büyük oranda değiştiği görülmüştür. Numunelerin optiksel özellikleri için kırılma indisi (n) ve sönüm katsayısı (k) gibi optik özellikler incelenmiş ve bu özelliklerin çeşitli yüzdelerdeki Fe katkı oranına bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ince film numunelerinin dielektrik sabitinin gerçel (ϵ_1) ile sanal kısımlarının (ϵ_2) ve a.c. elektriksel iletkenlik (σ) değerlerinin dielektrik kayıpların bir fonksiyonu olarak artan voltajla arttığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: İki Bileşenli Metal Oksit Yarı iletkenler, Dielektrik Özellikler, Sol-Jel Metodu, Sönüm Katsayısı

Fabrication Two Component Metal Oxide Semiconductors and Determination of Optic Properties

Abstract: In this work, structural and optical properties of TiO₂ metal oxide thin films were examined in two sections. In the first section of the work, undoped and Fe doped TiO₂ thin films were produced on a p-type silicon substrate using the sol-gel method. In the second part, the optical and structural properties of the growth thin films were investigated. Structural properties of the films were investigated using X-ray diffractometry (XRD) and it was seen that Fe dopant alters the structure of the films. In the investigation of the optical properties, refractive index (n) and absorption coefficient (k) were assessed; it was illustrated that such optic properties closely depend on the Fe doping rate. Real (ϵ_1) with imaginary (ϵ_2) parts and a.c. electrical conductivity (σ) of dielectric constant were determined which was found to be a function of electrical permittivity and showed increasing trend with increasing voltage.

Key words: Two Component Metal Oxide Semiconductors, Dielectric Properties, Sol-Gel Method, Damping Coefficient

1. Giriş

Titanyum Dioksit (TiO₂), fotokatalitik alanlarda geniş bir kullanım alanına sahip olan yarı iletken bir malzemedir. TiO₂, üç farklı kristal yapıya sahiptir. Bunlar; brokit, anataz ve rutildir. Brokit formu çok az bulunmakla birlikte, fotokatalizör olarak da hemen hemen hiç kullanılmamaktadır. Anataz ve rutil, tetragonal yapıda iken brokit ise ortorombik yapıya sahiptir. Rutil, termodinamik açıdan en kararlı faz iken, anataz fazı daha yüksek fotokatalitik aktiviteye sahip ve birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır [1-4].

TiO₂, yanıcı özelliği, kimyasal kararlılığı, üstün optik, elektrik ve antibakteriyel özelliklerinden dolayı endüstride birçok kullanım alanına sahiptir. UV ışığı ile etkileşerek suyun içindeki organik kirleticileri CO₂ ve H₂O'ya dönüştürerek zehirsiz hale getirir. Suyu temizleyebilme etkisi gösterir. Tütün kokusu, benzin kokusu gibi buharlaşan organik bileşikler parçalayarak koku giderme ya da NO_x, sigara dumanı ile kirlenmiş havayı temizleme etkisine de sahiptir. Yağlı egzoz gazları ile kirlenen dış cepheler TiO₂'nin anti statik, süper oksidan ve hidrofilik özelliği nedeni ile hava şartlarının da yardımıyla kendi kendini temizleyebilme özelliği gösterir. Bu özellik, yollarda temizlenmesi mümkün olmayan ortamların yağmur, kar gibi doğal hava şartları ile temizlenebilmesini, mağazalarda vitrinlerin, araçlarda görüş açısını olumsuz yönde etkileyen kirli camlarının temizlenebilmesini sağlar [5-7].

TiO₂, 1850 °C gibi çok yüksek erime sıcaklığına sahip olduğu için optik kaplama malzemesi olarak da kullanılır. Yansıtıcı filmler (AR) fotovoltaik devrelerde verimliliği artırdığından güneş pillerinin en çok araştırılan kısımlarındandır. Kırılma indisi farklı iki materyalden oluşan bir sistemin ara yüzeyine gelen ışık, ortamlar arasındaki kırılma indisi farklılığından dolayı yansıma kayıplarına uğrar. Yansıma kayıplarını önlemek için, kaplama maddesi olarak kullanılacak madde ile kaplanacak maddenin kırılma indisleri arasında doğru bir ilişki kurulmalıdır [8]. TiO₂'in sıcaklığa duyarlı optik devrelerde kaplama malzemesi olarak kullanılmasının avantajları;

* Sorumlu Yazar: burhan.coskun@klu.edu.tr, Yazarın ORCID Numarası: 0000-0002-8242-9921

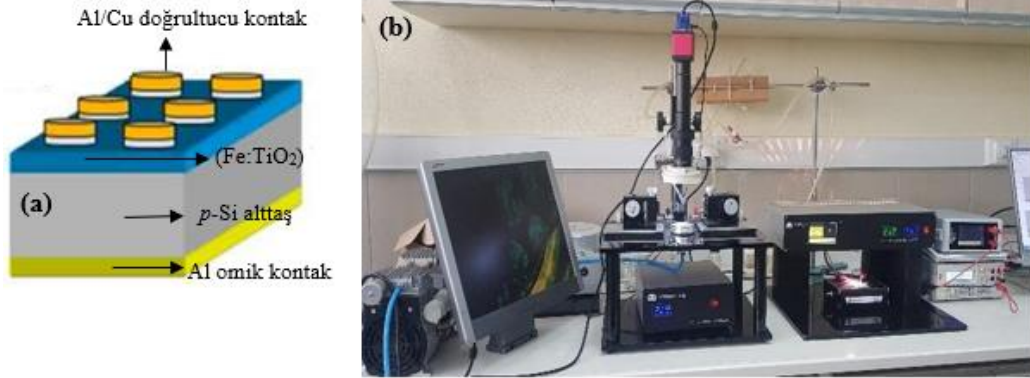
yüksek sıcaklıklara dayanma gücü, görünür ve yakın görünür bölgede düşük soğurma, dikkate değer termo-optik etki, yüksek kırılma indisine (626 nm’de $n \sim 2$) sahip olma özelliği olarak sıralanabilir [9].

TiO₂ üretimi ile ilgili olarak RF saçırma, ultrasonik sprey, kimyasal buhar depolama, darbeli lazer biriktirme, DC magnetron ve sol-jel gibi birçok ince film kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu teknikler arasında Sol-Jel; kolay ve ekonomik olması nedeniyle çok tercih edilenler arasındadır. Sol-Jel spin kaplama yöntemi; maliyet etkinliği avantajının yanı sıra çeşitli alttaşlar üzerindeki birçok bileşimin inceliği, basitliği, mükemmel bileşim kontrolü, homojenliği ve düşük kristalleşme sıcaklığı gibi belirgin avantajlara da sahiptir [10, 11].

2. Materyal ve Yöntem

Katkısız TiO₂ ve Fe katkılı TiO₂ fotodiyotlar, *p*-Si alttaşlar üzerine büyütüldü. Numuneler hazırlanmadan önce, *p*-tipi Si alttaşların üzerindeki kirlilikleri gidermek ve kristal yüzeyindeki pürüzleri ortadan kaldırmak için kimyasal temizleme işlemleri yapıldı. *P*-Si tabakalar sırasıyla, 5 dk alkol ve 5 dk saf suda olmak üzere ultrasonik banyo içerisinde bekletilip Azot gazı yardımıyla kurutuldu. Bu işlemden sonra, yaklaşık 500 Å kalınlığında olan yüksek saflıktaki Alüminyum (Al) metali, 6×10^{-6} Torr’ da termal buharlaştırma sistemi kullanılarak Si’ nin arka tarafına buharlaştırıldı. Omik teması oluşturmak için, numuneler kuru azot akışı altında 5 dakika boyunca 570° C’ de tavlandı. İnce film numunelerini hazırlamak için, 0,5 M çinko asetat, 10 ml izopropanol (IPA) içerisinde çözündürüldü. Çözeltiye, % 0,2 ve % 0,5 molar oranlarında demir asetat ilave edildi ve 500 rpm’ de manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırıldı. Çözeltiye dengeleyici olarak sıvı etanolamin içinde tamamen çözünen metalik tuzlar ilave edildi. Daha sonra *p*-tipi Si alttaşlar sırasıyla 5 dakika IPA ve saf su içinde tutulduktan sonra azot gazı ile kurutuldu. Hazırlanan çözeltilerle beraber, *p*-tipi Si tabakalar 30 sn 3000 devir/dk döndürerek spin kaplama yöntemiyle işleme alındı. 150 °C sıcaklığında 5 dk ısıtılan alttaşlara fırında 450 °C’ de 1 saat tavlama işlemi uygulandı. Film hazırlama işlemlerinden sonra oda sıcaklığında ince filmlerin üzerine 100 mm kalınlıkta 1 mm ebatında, Al/Cu Schottky/doğrultucu kontaklar oluşturuldu.

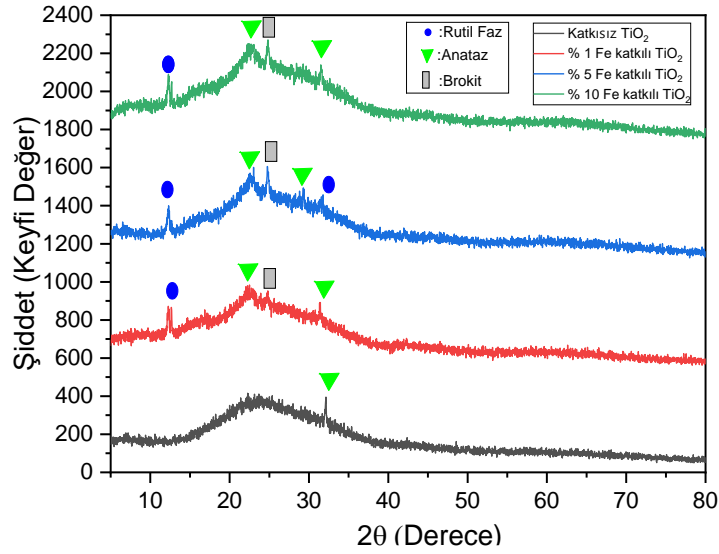
Numunelerin dielektrik karakterizasyonları oda sıcaklığında, Fırat Üniversitesi Nanoteknoloji Laboratuvarı’ndaki FYTRONIX FY-7000 elektronik deney düzeneğinde gerçekleştirildi. Numunelerin şematik gösterimi ve deney düzeneği Şekil 1 (a) ve (b)’ de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Al/Fe:TiO₂/*p*-Si yapısının şematik gösterimi (b) Al/Fe:TiO₂/*p*-Si ve Al/ TiO₂/*p*-Si numunelerin dielektrik ölçümleri için kullanılan deney düzeneği

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Katkısız ve farklı oranlarda Fe katkılanmış TiO₂ ince film numunelerinin yapısal özelliklerini incelemek için alınan XRD desenleri Şekil 2’de gösterilmektedir. Şekil 2’de görüldüğü gibi katkısız TiO₂ ince film numunesine ait XRD deseni yalnızca brokit fazına ait pik ihtiva ederken, Fe katkılı TiO₂ ince film numunelerinin faz yapısı büyük oranda değişmektedir. Brokit faza ilaveten, % 1, % 5 ve % 10 oranlarında Fe katkılanmış TiO₂ ince film numunelerinin XRD desenleri anataz ve rutil faz piklerini içermektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki, Fe katkısı TiO₂ ince film numunesinin yapısal özellikleri ve faz bileşenleri üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Şekil 2’deki tüm XRD desenlerinde tespit edilen fazlar JCPDS kartlarına uygun olarak tanımlanmıştır (Anataz: 71-1166, Brokit: 29-1360, Rutil: 89-3850).



Şekil 2. Katkısız ve Fe- katkılı TiO₂ ince filmlerinin XRD spektrumları.

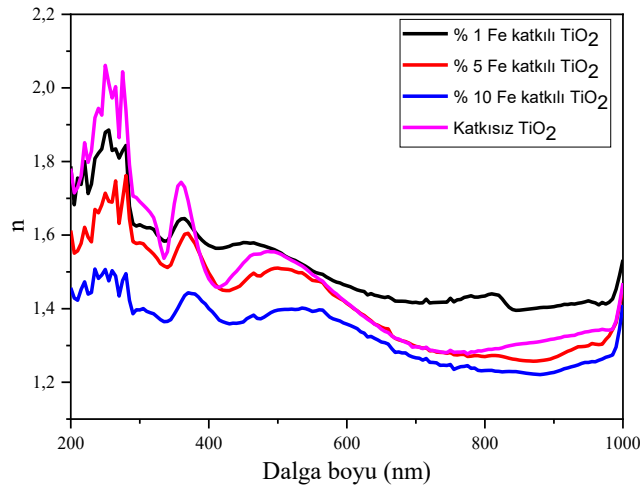
Kırılma indisi optik malzemeler ve uygulamaları için önemli bir parametredir. Bu nedenle numunelerin optik sabitlerini belirlemek önemlidir. Kırılma indisi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır [12-17]:

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \quad (1)$$

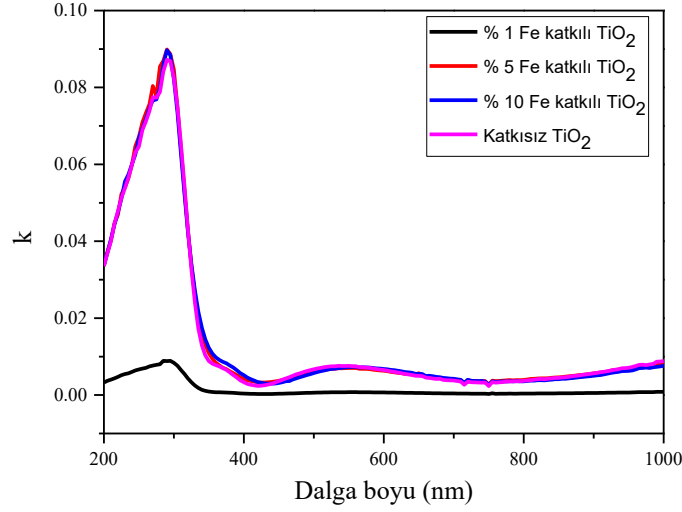
$$n = \left(\frac{1+R}{1-R} \right) + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (2)$$

Burada k ($k = \alpha\lambda/4\pi$) sönüm katsayısıdır.

% 1 , % 5 ve % 10 Fe katkılı TiO₂ ince filmleri için n ve k 'nın dalga boyuna karşı spektral dağılımı sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Elde edilen n ve k değerleri bu parametrelerin çeşitli yüzdelerdeki Fe katkı konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir. n değerleri yaklaşık olarak 1,3 ile 2,2 arasında elde edilmiştir. Fe katkı konsantrasyonundaki azalma ile kırılma indisinde artış gözlenmiştir. Her bir numune için n ve k karakterizasyonları düşük dalga boyu bölgesinde önemli bir pik verir.



Şekil 3. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerin kırılma indisinin dalga boyu ile değişimi



Şekil 4. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerinin sönüm katsayısının dalga boyu ile değişimi

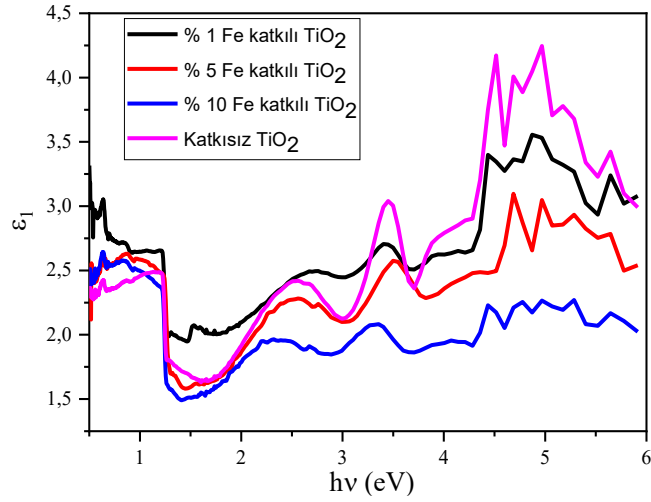
Kompleks dielektrik sabitinin ($\widehat{\epsilon}$) frekans dağılımı, çok katmanlı yapılarda ışığın yayılmasını, yansımalarını ve kaybını tamamen karakterize eder. Malzemenin elektronik yapısı hakkında bilgi verir. Herhangi bir katı malzemenin optik özellikleri kompleks kırılma indisi ($\widehat{n} = n(\lambda) + ik(\lambda)$) ve dielektrik fonksiyonu ($\widehat{\epsilon} = \epsilon_1(\lambda) + i\epsilon_2(\lambda)$) ile karakterize edilir. Dielektrik sabitinin gerçek ϵ_1 (normal dielektrik sabitini temsil eder) ve sanal kısımları ϵ_2 (serbest taşıyıcıların radyasyonla ilişkili absorpsiyonunu temsil eder) aşağıdaki ilişki ile belirlenir [18-20]:

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2 = \epsilon_\infty - \left(\frac{e^2 N}{4\pi C^2 \epsilon_0 m^*} \right) \lambda^2 \quad (4)$$

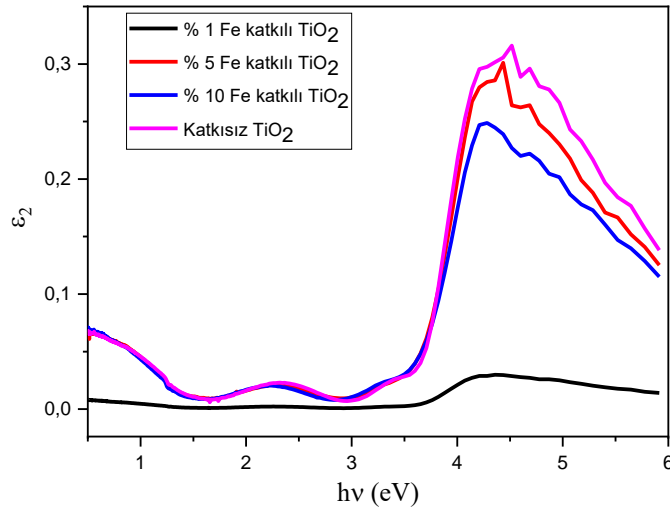
$$\epsilon_2 = 2nk = \left(\frac{\epsilon_\infty \omega_p^2}{8\pi^2 C^3 \tau} \right) \lambda^3 \quad (5)$$

Burada τ optik durulma/relaksasyon zamanı ve $\omega_p = 2\pi\nu$ fotonun açılmal frekansdır. Çeşitli yüzdelerde Fe katkılanmış (% 1, % 5, % 10) TiO₂ ince filmleri için ϵ_1 and ϵ_2 ' nin foton enerjisine ($h\nu$) bağıllığı sırasıyla Şekil 5 ve 6' da verilmiştir.

Dielektrik fonsiyonunun gerçek ve sanal kısımları her bir dielektrik spektrum modelinde aynı karakterizasyonu sergiler ancak; gerçek kısmının değeri sanal kısmın değerinden daha yüksektir. Dielektrik sabitlerinin foton enerjisi ile değişimi, tanımlanan enerji aralığında üretilen katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerinde fotonlar ve elektronlar arasında bazı etkileşimlerin olduğuna işaret eder. Bu etkileşimler dielektrik fonksiyonunun gerçek ve sanal kısımlarının şekillerinde görülür ve dielektrik spektrumunda malzeme türüne bağlı olan pik oluşumlarının nedenidir [21].



Şekil 5. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerinin dielektrik sabitinin gerçek kısmının foton enerjisine bağlı grafiği



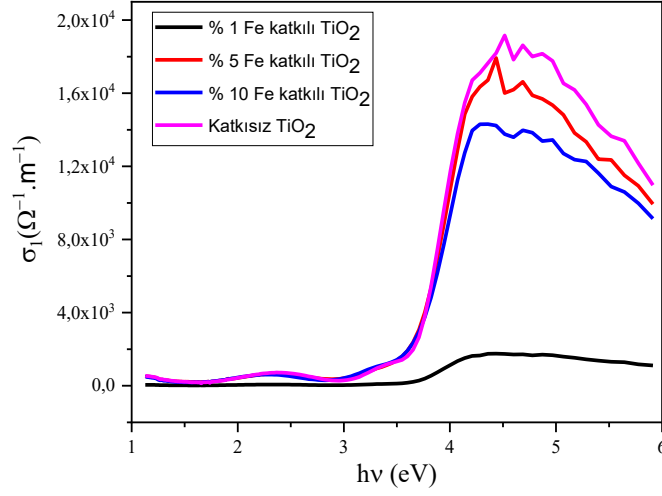
Şekil 6. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerinin dielektrik sabitinin sanal kısmının foton enerjisine bağlı grafiği

Optoelektronik cihazlardaki uygulamaları için katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerinin optik iletkenliklerini (σ_{opt}) bilmek önemlidir. Optik iletkenlik, malzemelerin optik özelliklerini tanımlayan önemli niceliklerden biridir. σ_{opt} , bir malzemenin izin verilen bant arası optik geçişlerini tespit etmek için kullanılır. Kompleks optik iletkenlik ($\hat{\sigma} = \sigma_1(\lambda) + i\sigma_2(\lambda)$) kompleks dielektrik fonksiyonla ($\hat{\epsilon} = \epsilon_1(\lambda) + i\epsilon_2(\lambda)$) ilişkilidir [22].

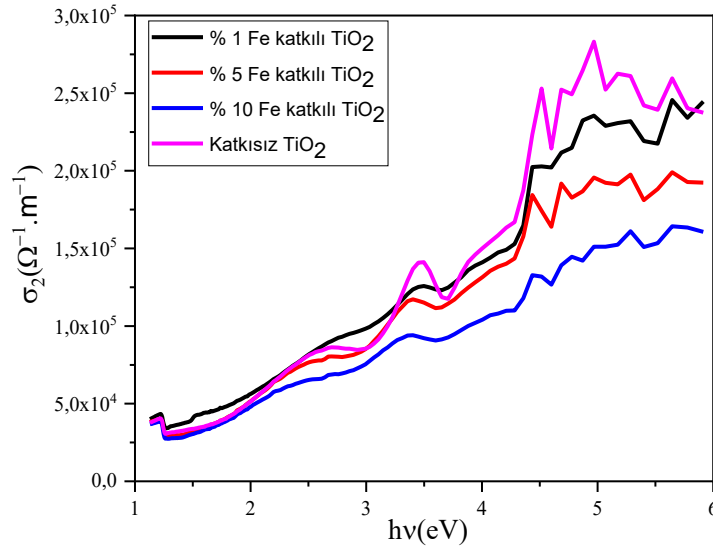
$$\sigma_1 = \omega\epsilon_2\epsilon_0 \text{ ve } \sigma_2 = \omega\epsilon_1\epsilon_0 \quad (6)$$

Burada σ_1 optik iletkenliğin gerçek kısmı, σ_2 ise sanal kısmıdır ve ϵ_0 boş uzayın geçirgenliğidir. Katkısız ve Fe katkılı ince filmler için foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak σ_1 ve σ_2 kısımları sırasıyla Şekil 7 ve 8' de gösterilmiştir. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmler için σ_1 ve σ_2 değerlerinin optik iletkenlik spektrumundaki her bir deseni aynı karakterizasyonu göstermiştir. Şekil 7' de görüldüğü gibi katkısız ve % 5 ve % 10 Fe katkılı TiO₂ ince filmler için σ_1 değeri, 4 ile 5 eV foton enerjisi aralığında geniş bir pik vermiştir. Bu pikin kökeni optik bantlar arası geçişe bağlanabilir. Şekil 8' de görüldüğü gibi katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmler için optiksel

iletkenliğin sanal kısımları $h\nu$ ' nün fonksiyonu olarak artan Fe katkısı ile periyodik olarak azalmıştır. Ayrıca her desen için σ_2 değerleri foton enerjisi arttıkça artmıştır.



Şekil 7. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerinin optik iletkenliğinin gerçek kısmının foton enerjisine bağlı grafiği



Şekil 8. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerinin optik iletkenliğinin sanal kısmının foton enerjisine bağlı grafiği

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Fe katkısının Sol-Jel yöntemiyle sentezlenen TiO₂ ince filmlerin yapısal ve optiksel özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Katkısız ve Fe katkılı TiO₂ ince filmlerin yapısal özelliklerini incelemek için alınan XRD grafiğinde, katkısız TiO₂ ince film numunesine ait XRD deseni yalnızca brokit fazına ait pik ihtiva ederken, Fe katkılı TiO₂ ince film numunelerinin faz yapısının büyük oranda değiştiği görülmüştür. Numunelerin sırasıyla n ve k değerlerinin dalga boyuna bağlı değişimleri incelenmiş ve elde edilen n ve k değerleri bu parametrelerin çeşitli yüzdelerdeki Fe katkı konsantrasyonuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, ince filmlerin ϵ_1 , ϵ_2 ve σ değerlerinin frekansa ve voltaja bağlılığı, oda sıcaklığında 10kHz' den 1MHz'e geniş bir frekans aralığında dielektrik kayıpların bir fonksiyonu olarak artan voltajla arttığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kırklareli Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Destekleme Birimi (KLÜBAP) tarafından, 178 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Chang Y. Supported TiO₂ photocatalysts synthesis and some applications to water purification. MSc, University of Calgary, Canada, 2004.
- [2] Li LM, Sheu DC. Influence of preparation conditions on bactericidal efficacy of TiO₂ containing coating. MSc, Tatung University, Taipei, Taiwan, 2004.
- [3] Diebold U. The surface science of titanium dioxide, *Surface Science Reports* 2003; 48(5-8): 53-229.
- [4] Yang G, Yan Z, Xiao T, Yang B. Low-temperature synthesis of alkalis doped TiO₂ photocatalysts and their photocatalytic performance for degradation of methyl orange. *Journal of Alloys and Compounds* 2013; 580: 15-22.
- [5] Şahin F. Nano TiO₂ sentezi ve uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [6] Fujishima A, Honda K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature* 1972; 238(5358): 37-38.
- [7] Krasicka-Cydzik E, Głazowska I, Michalski M. Hydroxyapatite coatings on titanium and its alloys anodised in H₃PO₄. *Euromat 2005; European Cong. on Advanced Materials and Processes*. Prague, Czech Rep, 175-200.
- [8] Bardakçı S. Sol-Jel Yöntemi ile hazırlanan TiO₂ ince filmlerin optik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2007.
- [9] Gülşen G, İnci MN. Thermal optical properties of TiO₂ films. *Optical Materials* 2002; 18: 373-381.
- [10] Tomandl G, Mangler M, Pippel E, Woltersdorf J. Evidence of nanopores in sol-gel based TiO₂ and TiN ultrafiltration membranes. *Materials Chemistry and Physics*, 2000; 63(2): 139-144.
- [11] Tesfamichael T, Motta N, Bostrom T, Bell JM. Development of porous metal oxide thin films by co-evaporation, *Applied Surface Science* 2007; 253(11): 4853-4859.
- [12] Caglar M, Ilican S, Caglar Y, Yakuphanoglu F. Electrical conductivity and optical properties of ZnO nanostructured thin film. *Applied Surface Science*, 2009; 255: 4491-4496.
- [13] Abeles F. *Optical Properties of Solids*. London, UK: North-Holland Publishing Company, 1972.
- [14] Hodgson JN. *Optical Absorption and Dispersion in Solids*. 11 New Fetter Lane London EC4: Chapman and Hall Ltd, 1970.
- [15] Yakuphanoglu F, Barım G, Erol I. The effect of FeCl₃ on the optical constants and optical band gap of MBZMA- co-MMA polymer thin films. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 2007; 391: 136-140.
- [16] Yakuphanoglu F, Kandaz M, Yarasır MN, Senkal FB. Electrical transport and optical properties of an organic semiconductor based on phthalocyanine. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 2007; 393: 235-238.
- [17] Swaepoel R. Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 1983; 16: 1214.
- [18] Fadel M, Fayek SA, Abou-Helal MO, Ibrahim MM, Shakra AM. Structural and optical properties of SeGe and SeGeX (X = In, Sb and Bi) amorphous films. *Journal of Alloys and Compounds* 2009; 485: 604-609.
- [19] Khan AS, Al-Hazmi FS, Heniti S, Faidah AS, Al-Ghamdi A. Effect of cadmium addition on the optical constants of thermally evaporated amorphous Se-S-Cd thin films. *Current Applied Physics* 2010; 145-152.
- [20] Abdel-Aziz MM, Yahia IS, Wahab LA, Fadel M, Afifi MA. Determination and analysis of dispersive optical constant of TiO₂ and Ti₂O₃ thin films. *Applied Surface Science* 2006; 252: 8163-8170.
- [21] El-Korashy A, El-Zahed H, Radwan M. Optical studies of [N(CH₃)₄]₂CoCl₄, [N(CH₃)₄]₂MnCl₄ single crystals in the normal paraelectric phase. *Physica B Condensed Matter* 2003; 334: 75-81.
- [22] Yakuphanoglu F, Sekerci M, Ozturk OF. The determination of the optical constants of Cu (II) compound having 1-chloro-2,3-o-cyclohexylidene propane thin film. *Optics Communications* 2004; 239: 275-280.



Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form

Biz aşağıda gerekli bilgileri bulunan,

[Yazarların Adı / Author names]

.....

.....tarafımızdan yazılmış,

[Makale Adı / Article title]

.....

.....

başlıklı makale içeriği, sunduğu sonuç, bilgi, bulgu ve yorumları konusunda, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'nün hiç bir sorumluluk taşımadığını kabul ederiz.

Sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; herhangi bir başka dergiye yayınlanmak üzere gönderilmediğini; daha önce yayınlanmadığını; tümüyle yada bir bölümü herhangi bir kongre/sempozyum da sunulup fakat tam metin olarak basılmadığını ve orijinal telif hakkı devri formu ile birlikte Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz. Bu vesileyle makalenin telif hakkı Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' ne devredilmiştir. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazarların aşağıdaki hakları saklıdır:

Aşağıdaki ve diğer bütün durumlarda makalenin Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi tarafından yayımlandığına dair referans verilmelidir.

1. Telif Hakkı dışında kalan patent v.b. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.
3. Yazarın gelecekteki kitaplar ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü ya da bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.

Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor: (Sorumlu yazar/Corresponding author*)

Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names

İmzası / Signature

Tarih / Date

1

2

3

4

5

NOT: Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Lütfen formu doldurunuz, imzalayanız ve aşağıdaki adrese metinle birlikte gönderiniz.

Adres: Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Editörlüğü, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 23119-Elazığ.