

17TH

19 - 20 AUGUST
2023

INTERNATIONAL
SCIENTIFIC RESEARCH
CONGRESS

SCIENCE AND
ENGINEERING

Full Text Book

Tam Metin Kitabı



www.ubaksymposium.org



17th UBAK, 19 - 20 August 2023, Ankara



The 17th International Scientific Research Congress - *Science and Engineering* -

17. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi
Fen ve Mühendislik Bilimleri

UBAK

19 - 20 August 2023
Ankara

Proceeding Book
Bildiri Tam Metin Kitabı

Editor

Prof. Dr. Bahri Bayram



Ankara 2023

Publishing Director / Yayın Yönetmeni

Muhammet ÖZCAN

Editor/ Editör

Bahri Bayram

Bu kitapta yayınlanan Bildiri Tam metinleri “Bookcites Kitap Atıf Dizini”
tarafından taranmaktadır

**Cover Design / Kapak Tasarımı**

Bülent POLAT

Interior Design / İç Tasarım

Mahmut Sami TEMİZ

First Edition / Birinci Basım / ©

August 2023 - Ankara

ISBN

978-625-6861-40-4

Asos Yayınevi**1st Edition** 30 August 2023

Address / Adres: Çaydaçıra Mah. Hacı Ömer Bilginoğlu Cad. No:67/2-4/Merkez/Elazığ

E-Mail: asos@asosyayinlari. com**Web:** www. asosyayinlari. com**Instagram:** <https://www.instagram.com/asosyayinevi/>**Facebook:** <https://www.facebook.com/asosyayinevi/>**Twitter:** <https://twitter.com/Asosyayinevi>

Ankara 2023

B O R A D S / K U R U L L A R

Supporting Institutions / Destekleyen Kurumlar

Ankara Bilim Üniversitesi

Honor Board / Onur Kurulu

Prof. Dr. Yavuz DEMİR, Ankara Bilim Üniversitesi Rektörü

Chairman of the Organizing Committee / Düzenleme Kurulu Başkanı

Prof. Dr. Bahri BAYRAM, Atatürk Üniversitesi

Congress Organizing Committee / Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Taşkın POLAT, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK, Gaziantep Üniversitesi
Prof. Dr. Erdoğan ÖZTÜRK, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. M. Kerim GÜLLAP, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Adem KAYA, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Samet ÇELİK, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Rıdvan KOÇYİĞİT, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Oğuz AKIN DÜZGÜN, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Aycan Mutlu YAĞANOĞLU, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Abdülkerim DİLER, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Osman ÜNSAL BAYRAK, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Murat CENGİZ, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Okan DEMİR, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Bahar BAYRAK Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Handan AKKAŞ, Ankara Bilim Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi E. Mahmut Kocaman, Atatürk Üniversitesi
Arş. Gör. Dr. Zeynep GÜRBÜZ, Atatürk Üniversitesi

Congress Scientific Committee / Bilim Kurulu

Prof. Dr. Sebahat AÇIKSÖZ, Bartın Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Bülent AKAR, Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE, Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Burak ALAYLAR, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi
Prof. Dr. Necmi ALTIN, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Esra ALTINTIĞ, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Alper AKAR, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Eşe AKPINAR, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Prof. Dr. Canan B. AKTAŞ, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Ali Akın AKYOL, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi,
Prof. Dr. Recep AYDIN, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Yerlan ANDEASBAYEV, Zhetysay State University, Kazakhstan
Doç. Dr. Muzaffer ATEŞ, Van Yüzüncüyıl Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Sevinç AYDIN, Munzur Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Nesli AYDIN, Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Cemalettin BALTACI, Gümüşhane Üniversitesi
Doç. Dr. Serhat BAŞDOĞAN, Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Zübeyde BAYSAL, Dicle Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Nurcan BERBER, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Ayhan BİNGOLBALI, Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Cihan BOYRAZ, Marmara Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Şahin BÜYÜKDAĞLI,
Doç. Dr. M. Murat CENGİZ, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Huseyin COLAK, Northeastern Illinois University
Prof. Dr. Bülent ÇAĞLAR, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent ÇELİK, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK, Gaziantep Üniversitesi
Doç. Dr. Nuray DEMİR, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Okan DEMİR, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Selin Kınalı DEMİRCİ, Amasya Üniversitesi
Doç. Dr. Aslıhan DEMİRDÖVEN, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Doç. Dr. Abdülkerim DİLER, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Marziyeh EBRAHİMİ, University of Tabriz
Dr. Öğretim Üyesi Ayşe DEMİRHAN, Gazi Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Sevgi Güneş DURAK, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi
Prof. Dr. Bülent EKER, Namık Kemal Üniversitesi
Prof. Dr. Selma ERAT, Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Nurinisa ESENBUĞA, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Atıf EVREN, Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Gülbin FİRİDİN, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Nimet Sema GENÇER, Bursa Uludağ Üniversitesi
Doç. Dr. Yaşar GENEL, Van Yüzüncüyıl Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Derviş GÖK, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. M. Kerim GÜLLAP, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Irshad HUSSAİN, The Islamia University of Bahawalpur
Doç. Dr. Rita ISMAİLOVA, Kyrgyz-Turkish Manas University
Prof. Dr. Jose Miguel Molina JORDA, Universidad de Alicante
Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU, Ankara Üniversitesi,
Doç. Dr. Hüseyin KARACA, Sakarya Üniversitesi
Doç. Dr. Musa KAVAS, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Prof. Dr. Hatice KAYA, Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Selim KAYA, Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Ersin KAYAHAN, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Daniela KERTİKOVA, Institute of Forage Crops, Pleven
Dr. Naseem Ahmad KHAN, The Islamia University of Bahawalpur
Doç. Dr. Şule KISAKÜREK, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Prof. Dr. Davoud KİANİFARD, University of Tabriz
Prof. Dr. İlkey KOCA, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Esat Mahmut KOCAMAN, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Rıdvan KOÇYİĞİT, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Sinan KOPUZLU, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Todor KERTİKOV, Institute of Forage Crops, Pleven
Prof. Dr. Vahit KONAR, Amasya Üniversitesi
Doç. Dr. Matanat MEHRABOVA, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku
Dr. Öğretim Üyesi Mustafa MİZRAK, Şırnak Üniversitesi
Prof. Dr. Efendi NASİBOĞLU, Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Melih ONAY, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet Vefa ORHON, Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe Yüksel OZAN, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Prof. Dr. Özlem ÖTER, Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Arif ÖZBEK, Çukurova Üniversitesi
Doç. Dr. Hatice Özdemir, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Memiş ÖZDEMİR, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Kurtuluş ÖZGİŞİ, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Alper POLAT, Munzur Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin POLAT, Aksaray Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Bilgehan POLATOĞLU, Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet TOPAL, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Berrin TOPUZ, Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Prof. Dr. Tamer TURGUT, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan SADIKOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Meryem SEFERİNOĞLU, Sinop Üniversitesi
Prof. Dr. Fatih SEYİS, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Prof. Dr. Oleg SYNYUK, Khmel'nitsky National University, Ukraine
Doç. Dr. Serkan ŞENOCAK, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Akbar TAGHİZADEH, University of Tebriz
Prof. Dr. Taha TAŞKIRAN, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe Ebru TAYYAR, Uşak Üniversitesi
Prof. Dr. Erkin TOKPANOV, Zhetysu State University, Kazakhstan
Dr. Öğretim Üyesi Yasemin TÜMER, Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Vedide Rezan USLU, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim UZUN, Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Viliama VASİLEVA, Institute of Forage Crops, Pleven
Doç. Dr. Pelin Köse YAMAN, Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Övgü Ceyda YELGEL, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Doç. Dr. Ebru YILMAZ, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Prof. Dr. Güngör YILMAZ, Yozgat Bozok Üniversitesi
Doç. Dr. Müge Sarı YILMAZ, Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Meral YURTSEVER, Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Mithat ZEYDAN, İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Sekretary / Sekreteryä

Doç. Dr. Gökhan Arslan
Dr. Esra TÜRE



**TAM METİNLER
PROCEEDINGS**

İÇİNDEKİLER

Destekleme Sulama Uygulamalarının Ayçiçeği Su Kullanımı ve Verim Özelliklerine Etkisi.....	10
Serbest Dolaşım Araç Kiralama Sistemleri'nde Zaman Penceresi Sınıflandırma Ve İlçe Bazlı Talep Tahmini	21
Scaling Approach in Ice Accretion Prediction	31
Scaling Limitations in İcing Wind Tunnel Design and İmplications for Design.....	45
Terahertz (Thz) Sinyal Seviyesinde Çalışan Dikey Şeritlere Sahip Kare Paternli Meta Malzeme Soğurucunun Çift Katlı Elektromanyetik Ekran Tasarımı	57
Hayvancılıkta Karlı Üretim İçin İşletme Sorumlusu Güncel Bilgi İhtiyaçları ve Kaynakları.....	64
Hayvancılık İşletmeleri Sürü Yönetim Başarısı Değerlendirilmesi.....	72
H1299 Akciğer Kanseri Hücre Hattında, Crispr/cas9 Aracılığıyla C-Myc Geninin Susturulması	81
Kars Yöresinde Etnobotanik Olarak Tüketilen Bazı Bitkilerin Antimikrobiyal Etkilerinin Araştırılması	88
Hibrit Güç Sistemi Fizibilitesinin Batarya Bozulması Dikkate Alınarak Değerlendirilmesi	96
Görme Engelli Bireylere Yönelik İşitsel/dokunsal Uyarı Verebilen Yardımcı Sistem Tasarımı	107
Elektrikli Araçların Gelişimi ve Araç Şarj Teknolojilerinin Karşılaştırılması	111
Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağına Dayalı Baraj Su Seviyesi Tahmini: İstanbul Ömerli Barajı Örneği	122
İstanbul Ataköy Su Dağıtım Şebekesinin Hidrolik Model Kurulumu İçin Mesken Tipi Tüketim Paterninin Oluşturulması	129
Rezidüel Grafikler Kullanarak Regresyon Modeli Varsayımlarını Kontrol Ederek Regresyon Teşhisi	136
Çeşitli Doğal Tohumların Korozyondan Koruma Performansını Göstermek İçin Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi Yaklaşımı.....	148
Doğal Taşınım ve Zorlanmış Taşınım Şartlarında Dairesel Formlu Soğutucuda Sıcaklık Dağılımının İncelenmesi	155
Kiraz Yapraklarında Hastalık Tespitinde Transfer Öğrenme Yöntemlerinin Kıyaslanması	164
Fren Kampanalarının Talaşlı İmalatında Verimliliği Artırmaya Yönelik Aparat Tasarımı	175
Optimum SKNK Parametrelerinin Belirlendiği Poliamid 6 Malzemesinde Kopma Bölgelerinin Optik Mikroskop İle İncelenmesi	182
Çelik Malzemelerde Kimyasal Bileşimin Kaplamaya ve Korozyona Etkisinin İncelenmesi	192
A Graph Database Model for Rule Based Credit Card Fraud Prevention System.....	202
Pem Yakıt Pillerinde Membranların Kalınlığının Isıl Verime Etkisi.....	211
Mikromobilitede Otonom Dengeleme İçin Jiroskopik Stabilizasyon Modülü Tasarımı	222
Altın Fiyatının Tahmini İçin Deniz Yırtıcıları Algoritması ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemine Dayanan Bir Yöntemin Geliştirilmesi	232
Quaternion Neural Networks.....	241
Optik Mikroskop Görüntüleme ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Plastik Tür Sınıflandırması	249

Polimer arpışma Kutularının Darbe Yükleme Altındaki Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi	259
3D Modeling of Gebze Technical University Electronics Engineering Building with UAV Photogrammetry Method for Integration to Smart City Applications	281
Mimarlıkta Biyomateryalizasyon Stratejisi ve Çevresel Kazanımlar Açısından Değerlendirilmesi	287
Mikro Vorteks Üreteçlerinin İz Bölgelerinin Karakteristikleri Üzerine Bir Çalışma	296
Comparing Permeability Between Architectural Design Schemes for the Final Product	307
Talas Tarihi Kent Alanı ve Mimari Unsurların İncelenmesi	314
Lineer Kamusal Mekanlarda Yürünebilirlik Üzerine Bir Araştırma	325



Makale id= 10

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-0928-595X

| 10

Destekleme Sulama Uygulamalarının Ayçiçeği Su Kullanımı ve Verim Özelliklerine Etkisi**Researcher Buse Salbaş¹, Doç.Dr. Mehmet Şener², Prof.Dr. Tolga Erdem²**¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

*Corresponding Author: Buse Salbaş

Özet: Bu çalışma, Trakya Bölgesi koşullarında damla sulama yöntemiyle destekleme sulama uygulamalarının ayçiçeği bitkisinde su kullanımı ve verim özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla 2022 yılında yürütülmüştür. Çalışmada, deneme konuları sulama suyu uygulanmayan (susuz, I0), çiçeklenme döneminde (I1) ve dane oluşumu döneminde (I2) sulama suyu uygulanan konular olarak belirlenmiştir. Ayrıca sulama uygulamalarının vejetatif gelişme ve verim unsurları üzerine etkisini belirlemek amacıyla bitki boyu, sap kalınlığı, tabla çapı, dane verimi, bin dane ve hektolitreye ağırlıkları, kuru madde miktarları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, en yüksek bitki su tüketiminin 447,16 mm ile I1 konusunda yaşanırken, susuz konuda ise en düşük bitki su tüketimi değeri 311,96 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen dane verimi değerleri 200,69 kg/da ile 231,76 kg/da arasında değişmiş ve çiçeklenme döneminde (I1 konusunda) yapılan sulama ile daha yüksek verim elde edildiği saptanmıştır. Elde edilen sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) değerlerinin 1,23-1,54 kg/m³ arasında ve su kullanım randımanı (WUE) değerlerinin ise 0,52-0,64 kg/m³ arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek WUE değeri 0,64 kg/m³ ile I0 deneme konusundan elde edilirken, en düşük WUE değeri ise 0,52 kg/m³ ile I2 konusundan elde edilmiştir. Su kaynağının kısıtlı olduğu Trakya gibi bölgelerde çiçeklenme döneminde yapılacak destekleme sulama uygulamaları ile ayçiçeğinde verim artışının elde edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ayçiçeği (*Helianthus Annuus L.*), Destekleme Sulama, Bitki Su Tüketimi

The Effects of Supplementary Irrigation On Sunflower Water Use and Yield

Abstract: This study was carried out in order to determine the effect of additional irrigation applied by the drip irrigation method on the water consumption and yield characteristics of the sunflower plant in the Thrace Region in 2022. In the research, three distinct experimental treatments were identified. These treatments are non-irrigation (I0), irrigation during the flowering period (I1), and irrigation during the yield formation period (I2). Additionally, plant height, stem thickness, disc diameter, seed yield, thousand seed and hectoliter weights, and dry matter amounts were measured in order to ascertain the effects of irrigation practices on vegetative growth and yield factors. We measured the maximum evapotranspiration of 447.16 mm in I1 and the lowest in non-irrigation treatment (I0). The seed yield values we obtained varied between 200.69 kg da⁻¹ and 231.76 kg da⁻¹. We discovered that irrigation during the flowering period (for I1) led to greater yields. We determined that the obtained irrigation water use efficiency (IWUE) values ranged from 1.23 to 1.54 kg m⁻³. We discovered that the water use efficiency (WUE) ranged from 0.52 to 0.64 kg m⁻³. We obtained the greatest WUE value of 0.64 from treatment I0. We got the lowest WUE value of 0.52 from treatment I2. In regions with limited water resources, such as Thrace, we determined that supplementary irrigation applications during the flowering period can enhance sunflower yield.

Keywords: Sunflower (*Helianthus Annuus L.*), Supplementary Irrigation, Evapotranspiration

Verim ve kalitede artış sağlamak için tarımsal üretimde birçok girdi kullanılmakta ve bu girdilerden optimum yarar sağlanmaya çalışılmaktadır. Tarımsal girdilerin en önemli olanlarından bir tanesi de sulamadır. Ancak su kaynağının yeterli olmadığı veya sudan tasarruf edilerek sulamaya açılması planlanan alanın artırılması söz konusu olduğunda kısıntılı ya da destekleme sulama işletmeciliği ön plana çıkmaktadır. Bitkilerin büyüme periyotları süresince veya suya karşı hassas olmadıkları dönemlerde su kısıtı ile karşı karşıya bırakıldığında verimde önemli düşüşler olmaksızın, sulama suyu tasarrufu sağlanabilmektedir (Kanber vd. 1990).

Yarı kurak bir iklime ve kısıtlı su kaynaklarına sahip olan Trakya Bölgesinin uzun yıllar ortalamasına göre yıllık toplam yağış ortalaması 580,4 mm'dir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], 2022) ve bunun büyük bir kısmı bahar ve kış aylarında düşmektedir. Bu nedenle ayçiçeği tarımının yoğun olarak yapıldığı Trakya Bölgesinde ayçiçeği bitkisi genellikle kuru koşullarda yetiştirilmesine rağmen, verim ve kalite artışının sağlanabilmesi sulamaya bağlıdır. Ayçiçeği bitkisinde uygun dönemlerde sulama yapıldığında veriminde önemli düzeyde artış olmaktadır (Kadayıfçı ve Yıldırım, 2000). Özellikle üç büyüme döneminde; toprak oluşumu, çiçeklenme ve dane oluşumu sırasında uygulanan sulama suyu verimi önemli ölçüde artırmaktadır (Osman ve Talha, 1975; Demirören, 1978; Unger, 1990; Karaata, 1991; Erdem vd. 2001; Flagella vd. 2002; Göksoy vd. 2004; Pekcan ve Erdem, 2005; Gündüz vd. 2018). Ayçiçeği tarımında optimum su kullanımı ve sulama programlarının oluşturulması için yapılan çalışmalarda, bu büyüme dönemleri arasında ise çiçeklenme periyodu ön plana çıkmaktadır. Çiçeklenme periyodunun topraktaki nem eksikliğine en hassas dönem olduğu ve sulama suyunun bu dönemde sınırlandırılmaması gerektiği vurgulanmaktadır (Göksoy vd. 2004; Pekcan ve Erdem, 2005; Bakht vd. 2010).

Su kaynaklarının yetersizliği ile başa çıkmak için suyun tasarruflu kullanımı, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, geri dönüşümü ve suyun daha etkin kullanılması gibi önlemlerin alınması yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu nedenlerden dolayı bitki su tüketiminin tam ve eksik karşılandığı durumlarda bitki su kullanımı ile verim değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ayçiçeği bitkisinde su kullanım etkinliğinin, verim ve verimle ilgili bileşenlerin farklı sulama suyu uygulamaları altındaki tepkilerini belirlemek üzere yürütülen çalışmalarda;

- Yüksek dane ve yağ verimi elde etmek için sulama programının oldukça önemli olduğu,
- Artan sulama düzeylerinin ise toplam verim ve verim bileşenlerini artırma yönünde etkilediği belirtilmiştir (Safahani Langeroodi vd. 2014; Sezen vd. 2016; Ebrahimian vd. 2019; Salbaş ve Erdem, 2020; Alhayderi ve Hassan, 2022).

Bu çalışmada, Tekirdağ ilinde damla sulama yöntemi ile farklı büyüme periyotlarında uygulanacak sulama suyunun, ayçiçeği verimi ile su kullanım (WUE) ve sulama suyu kullanma etkinliğinin (IWUE) belirlenerek susuz koşullarda elde edilen değerler ile karşılaştırılması, destekleme sulama ile verim azalmasını en az düzeyde tutabilecek sulama programlarının oluşturulması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne ait tarım arazilerinde 2022 yılında yürütülmüştür. Deneme alanı 40°59' kuzey enlem derecesi ile 27°29' doğu boylam derecesinde olup denizden yüksekliği 4 m'dir. Araştırma alanı yarı kurak iklim kuşağı içerisinde yer almakta olup, yıllık ortalama sıcaklığı 14,1°C, bağıl nemi %76,9, rüzgar hızı 2,90 m/s, güneşlenme süresi 5,6 h ve yıllık ortalama yağış miktarı 580,8 mm'dir (MGM, 2022). Bu yağışın büyük bir kısmı Ekim ile Nisan ayları arasındaki dönemde olmaktadır. Çizelge 1'de denemenin yürütüldüğü 2022 yılında ayçiçeğinin yetiştirme periyodundaki bazı iklim özellikleri verilmiştir.

Deneme alanı toprakları killi-tınlı bünyeye sahip, hafif tuzlu, organik madde içeriği düşük topraklardan oluşmaktadır. Kullanılabilir su tutma kapasitesi değeri 145,26 mm/90 cm olarak bulunmuştur (Çizelge 2). Alanın sulanması için kullanılan sulama suyu ABD Tuzluluk Laboratuvarı tarafından geliştirilen grafik yardımıyla T₂S₁ olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 1. Deneme Alanında Ölçülen Bazı İklim Özellikleri

Aylar	Ort. sıcaklık (°C)	Ort. bağıl nem (%)	Ort. rüzgar hızı* (m/s)	Ort. güneşlenme süresi (h)	Yağış (mm)
Nisan					
1-10	13,44	70,29	2,80	8,83	5,90
11-20	9,81	77,46	2,47	8,34	63,10
21-30	14,89	75,10	2,03	11,04	1,60
Mayıs					
1-10	13,33	76,41	3,10	10,51	2,80
11-20	16,54	74,19	1,98	11,52	10,70
21-31	20,36	74,91	1,71	11,85	2,20
Haziran					
1-10	22,04	75,81	2,68	11,54	3,40
11-20	21,90	75,14	3,37	11,32	16,30
21-30	23,66	72,44	2,68	11,72	12,80
Temmuz					
1-10	24,16	70,04	3,31	12,31	1,50
11-20	23,64	66,60	3,60	12,31	-
21-31	25,04	69,70	2,79	12,10	-
Ağustos					
1-10	26,17	69,38	4,19	11,68	7,50
11-20	24,92	75,35	2,73	11,15	20,10
21-31	25,57	78,48	2,62	9,52	8,60
Eylül					
1-10	22,80	72,67	3,18	10,13	0,80

* : 2 m yükseklikteki değerlerdir.

Çizelge 2. Ayçiçeği Deneme Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel Özellikleri

Profil derinliği (cm)	Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi		Solma noktası		Hacim ağırlığı (g/cm ³)	Kullanılabilir su tutma kapasitesi (mm)
		%	mm	%	mm		
0-30	Killi Tın	24,95	114,52	16,02	73,53	1,53	40,99
30-60	Killi Tın	24,25	123,68	14,22	72,52	1,70	51,15
60-90	Killi Tın	25,57	128,87	15,03	75,75	1,68	53,12
90-120	Kil	27,04	134,66	16,76	83,46	1,66	51,19
0-90			367,07		221,81		145,26
0-120			501,73		305,27		196,46

Çizelge 3. Sulama Suyu Analiz Sonuçları

Örnek no	Sulama suyu sınıfı	EC (µmhos/cm)	SAR	pH	Katyonlar (me/L)			Anyonlar (me/L)		
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
1	T ₂ S ₁	720	0,87	7,7	1,40	0,12	5,16	6,00	0,41	0,27
2	T ₂ S ₁	720	0,88	7,7	1,44	0,14	5,40	6,00	0,40	0,58

Araştırma tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve deneme konuları rastgele dağıtılmıştır (Yurtsever, 1984). Deneme alanı 26 × 26 m boyutlarında olup toplam 676 m²'dir. Oluşturulan 3 bloğun her birinde 3 adet olmak üzere toplam 9 adet parsel bulunmaktadır. Bir deneme parseli 7 × 7 m boyutlarında olmak üzere toplam 49 m² alana sahiptir. Bir deneme parselinde 10 adet bitki sırası, her bitki sırası üzerinde ise 20 adet bitki bulunmaktadır. Bitkilerin sıra aralığı 0,70 m sıra üzeri ise 0,35 m'dir (Şekil 3). Deneme konularına sulama suyu damla sulama yöntemiyle uygulanmıştır. Araştırma alanı topraklarının bünye sınıfı ve gerçek infiltrasyon hızı değerlerine göre damlatıcı debisi 4,0 L/h, damlatıcı aralığı ise 0,50 m olarak seçilmiştir. Her bir deneme parseli içerisine 16 mm dış çaplı yumuşak PE borulardan oluşan lateral boru hatları döşenmiştir. Lateral boru hatları her bitki sırasına 1 adet olacak biçimde 0,70 m ara ile döşenmiş ve böylece ıslatılan alan yüzdesi %35 olarak bulunmuştur.

Şekil 3. Deneme Alanı



Deneme konuları;

I₀: Sulama suyu uygulanmayan konu (susuz),

I₁: Çiçeklenme döneminde sulama suyu uygulanan konu,

I₂: Dane dolun dönemi sulama suyu uygulanan konu biçiminde düzenlenmiştir.

Uygulanacak sulama suyu miktarı 90 cm toprak derinliğindeki mevcut nemin tarla kapasitesine çıkarılacak şekilde belirlenmiştir. Toprak nem ölçümleri gravimetrik olarak 0-90 cm toprak derinliğinde her 30 cm'lik toprak katmanları için sulama uygulamalarından bir gün önce yapılmıştır. Elde edilen toprak nem içeriği değerleri uygulanacak sulama suyu miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Uygulanacak sulama suyu miktarının hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır.

$$I = \frac{(TK-MR)}{100} \times \gamma \times D \times P$$

(Eşitlik 1)

Eşitlikte;

- I : Deneme konularına uygulanacak sulama suyu (mm)
- TK : 90 cm etkili kök derinliğinde tarla kapasitesi değeri (mm/90 cm)
- MR : Etkili kök derinliğindeki mevcut nem (mm/90 cm)
- γ : Toprağın hacim ağırlığı (g/cm³)
- D : Etkili kök derinliği (mm)
- P : ıslatılan alan oranı (%)

Bitki su tüketiminin hesaplanmasında Su Bütçesi Yaklaşımı kullanılmıştır (Eşitlik 2) (Kanber, 1997).

$$ET_c = I + P + C_p - D_p \pm R_f \pm \Delta S \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Eşitlikte;

- ET_c : Bitki su tüketimi (mm)
 I : Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarı (mm)
 P : Islatılan alan oranı (%)
 C_p : Kılcal yükselişle kök bölgesine giren su miktarı (mm)
 D_p : Sulama ve yağıştan sonra meydana gelen derine sızma kayıpları (mm)
 R_f : Deneme parsellerine giren veya çıkan yüzey akış miktarı (mm)
 ΔS : Ölçülen dönem için toprak nem içeriğinde oluşan değişim (mm)

| 15

Deneme alanında taban suyu bulunmadığından, kılcal hareketle bitki kök bölgesine su girişi olmadığı varsayılarak C_p değeri göz önüne alınmamıştır. Ayrıca, basınçlı sulama sistemi kullanıldığından yüzey akış miktarları da ihmal edilmiştir (Kanber, 1997).

Deneme konularına uygulanan sulama suyu, ölçülen bitki su tüketimi ve verim değerlerine göre, sulama suyu kullanım ve su kullanım randımanları belirlenmiştir (Eşitlik 3 ve Eşitlik 4) (Zhang vd. 1999).

$$IWUE = \frac{Y}{I} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Eşitlikte;

- IWUE : Sulama suyu kullanım randımanı (kg/m³)
 WUE : Su kullanım randımanı (kg/m³)
 Y : Deneme konularında ölçülen hasat verimi (t/ha)
 I : Uygulanan sulama suyu miktarı (mm)
 ET_c : Bitki su tüketimi (mm)

Her bir deneme parselinden vejetatif gelişme ve verim unsurlarının belirlenmesi amacıyla bitki boyu, sap kalınlığı, tabla çapı, dane verimi, bin dane ve hektolitre ağırlıkları, kuru madde miktarları belirlenmiş ve konular arası farklılıklar istatistikî açıdan değerlendirilmiştir.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Deneme alanında ayçiçeği bitkisine ait fenolojik gözlemler ve büyüme periyodu uzunlukları Çizelge 4'te verilmiştir (Şekil 4). Deneme alanına ayçiçeği bitkisinin ekimi 28 Nisan 2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Hasat ise 09 Eylül 2022 tarihinde yapılmıştır. Tekirdağ koşullarında ayçiçeğinin 2022 yetiştirme sezonu için büyüme periyodu uzunluğu 131 gün olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4. Ayçiçeği Bitkisinin Büyüme Periyodu Uzunlukları

Büyüme	Başlangıç tarihi	Bitiş tarihi	Periyot uzunluğu (gün)
Çimlenme ve çıkış (0)	Ekim 28 Nisan 2022	Bitki birkaç yapraklı olduğunda 13 Mayıs 2022	15

Büyüme	Başlangıç tarihi	Bitiş tarihi	Periyot uzunluğu (gün)
Erken vejetatif gelişme (1a)	Bitki birkaç yapraklı olduğunda 14 Mayıs 2022	Bitki sapa kalktığında 04 Haziran 2022	23
Geç vejetatif gelişme (1b)	Bitki sapa kalktığında 05 Haziran 2022	Tepe tomurcuğu görüldüğünde 19 Haziran 2022	14
Çiçeklenme (2)	Tepe tomurcuğu görüldüğünde 20 Haziran 2022	Tablada daneler görüldüğünde 17 Temmuz 2022	27
Dane oluşumu (3)	Tablada daneler görüldüğünde 17 Temmuz 2022	Daneler maksimum irilikte 05 Ağustos 2022	20
Olgunlaşma (4)	Daneler maksimum irilikte 06 Ağustos 2022	Hasat 09 Eylül 2022	32
Toplam 2022	Ekim 28 Nisan 2022	Hasat 09 Eylül 2022	131

Şekil 4. Ayçiçeği Bitkisinin Büyüme Periyotları



Deneme konularına ait, büyüme periyodunda uygulanan sulama suyu miktarları, etkili yağış, topraktaki nem değişimi değerleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Deneme çalışmasına konu olan sulama faaliyetleri iki farklı dönemde gerçekleştirilmiştir. İlk sulama 5 Temmuz 2022 tarihinde çiçeklenme döneminde gerçekleşmiştir. İkinci sulama konusu olan dane oluşumundaki sulama ise 4 Ağustos 2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Çizelge 5’den çiçeklenme döneminde 150,57 mm ve dane oluşumu döneminde ise 181,07 mm sulama suyu uygulandığı görülmektedir. Bitki su tüketim değerlerini incelediğimizde en yüksek bitki su tüketiminin 447,16 mm ile I₁ konusunda yaşanırken, susuz konuda ise en düşük bitki su tüketimi değeri ölçülmüştür. I₀ konusunda ise bitki su

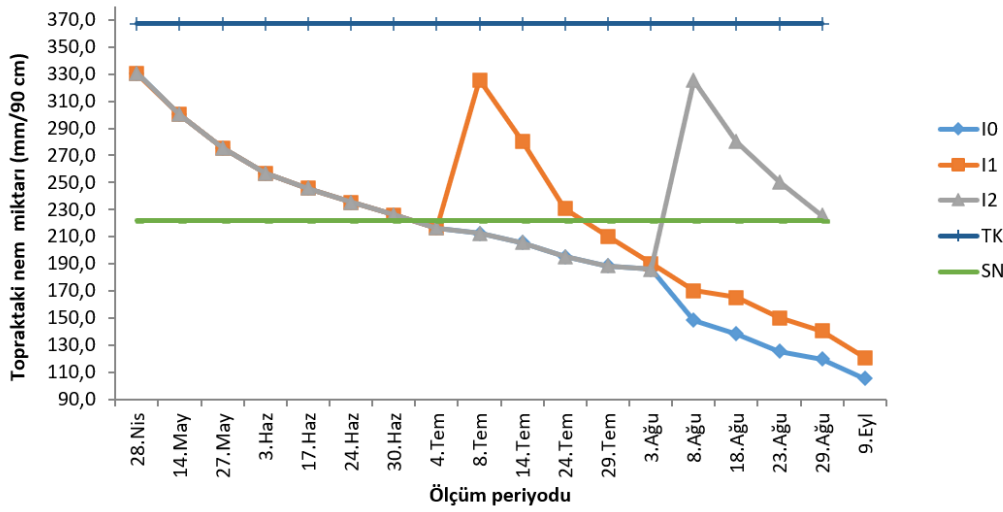
tüketimi 311,96 mm olarak gerçekleşmiştir. Ölçüm sonuçlarının diğer çalışmalar ile paralel olduğu görülmektedir (Pekcan ve Erdem, 2005; Demir vd., 2006; Yavuz 2016).

Çizelge 5. Deneme Konularına Göre Uygulanan Sulama Suyu ve Ölçülen Bitki Su Tüketimi Miktarları

Deneme konusu	Topraktaki nem değişimi (mm)	Yağış (mm)	Uygulanan toplam sulama suyu miktarı (mm)	Ölçülen mevsimlik bitki su tüketimi (mm)
I ₀	225,26	-	-	311,96
I ₁	209,90	86,70	150,57	447,16
I ₂	145,53	-	181,07	413,03

| 17

Şekil 5. Sulama Uygulamaları ve Topraktaki Nem Değişimi



Deneme konularından elde edilen vejetatif gelişme unsurlarına ilişkin sonuçlar Çizelge 6’da verilmiştir. Buna göre, en uzun bitki boyu, 161,30 cm ile I₁ konusunda, en kısa bitki boyu ise 158,15 cm ile I₀ deneme konusundan elde edilmiştir. Buna karşın, deneme konuları arasında yapılan varyans analizi sonucunda, sulama suyu uygulamalarının ayçiçeği bitkisinin bitki boylarını istatistiksel olarak etkilemediği belirlenmiştir. Hasat sırasında ölçülen sap kalınlığı değerleri incelendiğinde en düşük sap kalınlığı, 15,99 mm ile I₂ konusunda, en yüksek sap kalınlığı 16,80 mm ile I₀ konusunda saptanmıştır. Yapılan istatistik analizi sonucunda, farklı sulama suyu uygulamalarının ayçiçeği sap kalınlığı değerlerini etkilemediği belirlenmiştir. Hasat sonrası ölçülen tabla çapı değerlerinde ise en yüksek tabla çapı 160,78 mm ile I₁ konusunda, en düşük tabla çapı ise 143,45 mm ile I₀ konusunda bulunmuştur. Deneme konularından elde edilen tabla çaplarına ilişkin varyans analizi sonucunda, deneme konuları arasında istatistiksel açıdan $p < 0,01$ düzeyinde önemli farklılıklar elde edilmiştir. Bu sonuçlar sulama suyu uygulamalarının ayçiçeği tabla çapı değerlerini etkilediğini göstermektedir.

Çizelge 6. Deneme Konularına İlişkin Vejetatif Gelişme Unsurları

Deneme konuları	Bitki boyları (cm)	Sap kalınlıkları (mm)	Tabla çapları (mm)
I ₀	158,15 ns	16,80 ns	143,45 b **
I ₁	161,30	16,11	160,78 a
I ₂	158,20	15,99	160,40 a

ns : önemsiz

** : $p < 0,01$ düzeyinde önemli

Deneme konularından elde edilen dane verimleri ve verim unsurları Çizelge 7’de verilmiştir. Elde edilen dane verimi değerleri 200,69 kg/da ile 231,76 kg/da arasında değişmektedir. Sulama uygulamalarının dane veriminde artış sağladığı görülmektedir. Dane veriminin çiçeklenme döneminde (I₁ konusunda) yapılan sulama ile daha yüksek elde edildiği saptanmıştır. Yapılan istatistik analizi sonucunda deneme konuları arasında susuz ve sulu koşullar arasında p<0,01 düzeyinde fark olduğu saptanmıştır. Bin dane ağırlığı değerleri ise 67,90 ile 77,07 g arasında değişmektedir. Deneme konularından elde edilen bin dane ağırlıkları arasındaki farklılıkları istatistiksel olarak belirleyebilmek için yapılan varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi sonucunda, deneme konuları arasında p<0,01 düzeyinde fark olduğu saptanmıştır.

Deneme konularından hasat sonrasında ölçülen hektolitre ağırlığı değerlerine göre, en düşük hektolitre ağırlığı, 37,09 kg ile I₁ konusunda, en yüksek hektolitre ağırlığı değerleri ise 37,22 kg ile I₀ konusundan elde edilmiştir. Ortalama hektolitre ağırlığı 37,16 kg olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre yapılan varyans analizleri sonucunda istatistiksel olarak önemli farklılıklar elde edilmemiştir. Böylelikle farklı sulama suyu uygulamalarının ayçiçeği hektolitre ağırlığı değerlerini etkilemediği söylenebilir. Her bir deneme konusundan elde edilen kuru madde miktarlarına ilişkin sonuçlar incelendiğinde kuru madde miktarları %93,94 ile 94,59 arasında değişmiştir. Deneme alanında ortalama kuru madde miktarı %94,16 olarak belirlenmiştir. Sulama denemelerinin kuru madde miktarına etkisi varyans analizi ile değerlendirilmiş ve farklı sulama suyu uygulamalarının ayçiçeği bitkisinin kuru madde miktarlarını p<0,05 düzeyinde istatistiksel açıdan etkilediği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7. Deneme Konularına İlişkin Dane Verimleri ve Verim Unsurları (kg/da)

Deneme konuları	Dane verimleri (kg/da)	Bin dane ağırlıkları (g)	Hektolitre ağırlıkları (kg)	Kuru madde miktarı (%)
I ₀	200,69 b**	67,90 b**	37,22 ns	94,59 a*
I ₁	231,76 a	77,07 a	37,09	93,97 b
I ₂	222,02 a	75,47 a	37,19	93,94 b

ns : önemsiz

** : p<0,01 düzeyinde önemli

* : p<0,05 düzeyinde önemli

Deneme konularından elde edilen ayçiçeği dane verimleri ile ölçülen bitki su tüketimi ve uygulanan sulama suyu miktarlarına göre hesaplanan su kullanım randımanı (WUE) ve sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) değerleri Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Sulama Suyu Kullanım Randımanı (IWUE) ve Su Kullanım Randımanı (WUE) Değerleri (kg/m³)

Deneme Konuları	IWUE (kg/m ³)	WUE (kg/m ³)
I ₀	-	0,64
I ₁	1,54	0,52
I ₂	1,23	0,54

Araştırma alanında elde edilen IWUE değerlerinin 1,23-1,54 kg/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan farklı çalışmalarda IWUE değerleri Yavuz (2016) Konya koşullarında 0,70-3,70 kg/m³ ve Süllü ve Dağdelen (2013) Söke koşullarında 1,00-2,36 kg/m³, Salbaş ve Erdem (2020) Tekirdağ koşullarında 1,50 ile 4,39 kg/m³ ve 0,78 ile 2,06 kg/m³ olarak saptanmıştır.

Araştırmada elde edilen WUE değerlerinin ise 0,52 ile 0,64 kg/m³ arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek WUE değeri 0,64 ile I₀ deneme konusundan elde edilirken, en düşük WUE değeri ise 0,52 ile I₂

konusundan elde edilmiştir. Ayçiçeğinde su kullanımı ile ilgili yapılan farklı çalışmalarda, Karam vd. (2007) Lübnan koşullarında 0,83 kg/m³, Sezen vd. (2016) Çukurova koşullarında 0,62 ile 1,26 kg/m³, Salbaş ve Erdem (2020) Tekirdağ koşullarında 0,68 ile 0,83 kg/m³ ve 0,64 ile 0,80 kg/m³ değerleri elde edilmiştir.

Ayçiçeği ülkemizde en fazla tarımı yapılan bitkiler arasında yer almaktadır. Sahip olduğu yüksek adaptasyon yeteneği sayesinde özellikle kuru koşullarda düşük su ihtiyacına sahiptir. Ancak, artan iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklık artışı ve yağışların azalması ülke genelinde ayçiçeği bitkisinin üretim düzeyinde düşmelere neden olacağı düşünülmektedir. Artan nüfusun etkisi ile ayçiçeği üretimindeki miktarın arzı karşılayamaması nedeniyle üretimin artırılmasına yönelik tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir. Bu çalışma ile düşük sulama suyu uygulamaları ile ayçiçeğinin kuraklık koşullarında daha yüksek verim değerlerine sahip olduğu ortaya konmuştur. Su kaynağının kıt olduğu Trakya Bölgesi gibi alanlarda çiçeklenme döneminde yapılacak destekleme sulama uygulamaları ile ayçiçeğinde verim artışının gerçekleştirilebileceği belirlenmiştir. Bu tür sulama uygulamalarının, kısıtlı su kaynağına sahip bölgelerde, minimum girdi ile üretimin artırılması yönünde büyük katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Alhayderi, S.F., Hassan, W.A. (2022). Water use efficiency by effect of three irrigation periods of sunflower varieties. *Indian Journal of Ecology, Special Issue (19):* 439-445.
- [2] Bakht, J., Shafi, M., Yousaf, M., Khan, M.A. (2010). Effect of irrigation on physiology and yield of sunflower hybrids. *Pak. J. Bot, 42(2),* 1317-1326.
- [3] Demir, A.O., Göksoy, A.T., Büyükcangaz, H., Turan, Z.M., Köksal, A.S. (2006). Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus L.*) in a sub-humid climate. *Irrigation Science, 24(4):*279-289.
- [4] Demirören, T. (1978). Determination of evapotranspiration of sunflower in Tokat, No. 25. *Journal of Tokat Region Soil Water Research Institute, Tokat, 27 pp.*
- [5] Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., Damalas, C.A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management, 218,* 149-157.
- [6] Erdem, T., Delibaş, L., Orta, A. H. (2001). Water-use characteristics of sunflower (*Helianthus annuus L.*) under deficit irrigation. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 4(7):*766-769.
- [7] Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R., De Caro, A. (2002). Changes in the seed yield and fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus L.*) hybrids in relation to sowing date and water regime. *European Journal of Agronomy, 17(3):*221-230.
- [8] Göksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., Dağüstü, N. (2004). Responses of sunflower (*Helianthus annuus L.*) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research, 87(2-3),* 167-178.
- [9] Gündüz, A., Gündüz, O., Dündar, M.A., Çağırğan, O., Şerife, Ç.A.Y. (2018). Konya koşullarında ayçiçeğinde farklı sulama seviyeleri ile su stresinin verim ve kaliteye etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi, 249-258.*
- [10] Kadayıfçı, A., Yıldırım, O. (2000). Ayçiçeğinin su-verim ilişkileri. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry, 24(2):*137-145.
- [11] Kanber, R. (1997). Sulama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Adana: Genel Yayın No. 174, Ders Kitapları Yayın No. 52, 530s.
- [12] Kanber, R., Yazar, A., Eylene, M. (1990). Çukurova koşullarında buğdaydan sonra yetiştirilen ikinci ürün mısırın su-verim ilişkisi. *Köy Hizmetleri Tarsus Araştırma Enstitüsü Yayınları. Genel Yayın No: 173; Rapor Serisi No: 108., Tarsus, 77 s,1990.*
- [13] Karaata, H. (1991). Water-production functions of sunflower under Kırklareli conditions, No. 28. *Journal of Atatürk Village Affair Research Institute, Kırklareli, 92 pp.*

- [14] Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., Roupael, Y. (2007). Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 90(3):213-223.
- [15] Kaya, Y. (2003). Türkiye'deki yağlık ayçiçeği üretiminin mevcut durumu, sorunları ve çözüm önerileri, *Cine Tarım Dergisi*. 5(43): 34-35.
- [16] Osman, F., Talha, M. (1975). The effect of irrigation regime on yield and consumption of sunflower seed oil. *Egypt J. Soil Sci.* 15, 211-218.
- [17] Pekcan, V., Erdem, T. (2005). Edirne koşullarında destekleme sulamanın ayçiçeğinin su kullanımı ve verimine etkileri. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 59-66.
- [18] Safahani Langeroodi, A.R., Kamkar, B., Teixeira da Silva, J.A., Ataei, M. (2014). Response of sunflower cultivars to deficit irrigation. *Helia*, 37(60), 37-58.
- [19] Salbaş, B., Erdem, T. (2020). Damla sulama uygulamalarının ayçiçeğinin su kullanımı, vejetatif gelişme ve verim parametrelerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(3), 389-396.
- [20] Sezen, M.S., Yazar, A., Tekin, S., Konuşkan, D. (2016). Damla sulama koşullarında farklı sulama programlarının ayçiçeğinde verim ve yağ kalitesine etkisinin belirlenmesi. *Derim*, 33(1): 93-108.
- [21] Süllü, A., Dağdelen, N. (2013). Söke ovası koşullarında II. ürün ayçiçeğinde damla sulamanın verim ve kalite üzerine etkilerinin irdelenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2015;12(2),45-54.
- [22] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü [BUGEM], (2022). Ayçiçeği bülteni. Erişim adresi <https://bit.ly/44Rgdx5>
- [23] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü [BUGEM], (2019). Ayçiçeği bülteni. Erişim adresi <https://bit.ly/44NlrJd>
- [24] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], (2022). İllere ait mevsim normalleri-Tekirdağ. Erişim adresi <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TEKIRDAG>
- [25] Unger, P.W. (1990). Sunflower (Chapter 25), *Irrigation of Agricultural Crops* (Ed.: Stewart, BA and Nielsen DR). *Agronomy Nomograph 30*. ASA, CSSA, SSSA., Madison, Wisconsin.
- [26] Yavuz, N. (2016). Farklı sulama aralığı ve kısıtlı sulamanın, ayçiçeği verim ve kalitesi üzerine etkisi. (Doktora Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [27] Yurtsever, N. (1984). *Deneyisel İstatistik Metotları*. Ankara: Köy Hizmetleri Genel Müd. Yayınları No. 56.
- [28] Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S. (1999). Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China plain. *Agricultural Water Management*, 64, 107-122.

Makale id= 34

Sözlü Sunum

ORCID ID:

| 21

Serbest Dolaşımli Araç Kiralama Sistemleri'nde Zaman Penceresi Sınıflandırma Ve İlçe Bazlı Talep Tahmini**Araştırmacı Emre Delice¹**¹Vektör Teknoloji

Özet: Kullan bırak dakikalık araç kiralama modelleri (Free Float Car Share - FFCS) tüm dünyada hızla yayılmaktadır. FFCS modelleri belirli hizmet alanlarında çalışırlar ve araçlar yalnızca bu coğrafya içerisinde konumlanabilir. Kolay kullanılabilir olması anlık ihtiyaçları hızlı bir şekilde karşılaması gibi özellikleri sebebiyle müşterilerin yoğun ilgisini çekmektedir. Genişleyen bu tarz sistemler de beraberinde bir çok yenilikçi konuyu gündeme getirmektedir. Bunlardan biri de araçların doğru yerlerde konumlandırılması sorunudur. Az talep olan yerlerle çok araç olma ve çok talep olan yerlerde az araç olma ihtimali söz konusu olabilmektedir. Bu sebeple az talep olan yerlerden çok talep olan yerlere doğru araçlar kaydırılmalıdır. Talebin yoğun olarak nerden geleceğini bulma problemi ise makine öğrenme yöntemlerini ön plana çıkarmaktadır. Bu çalışmada da bu probleme uygulamalı bir çözüm önerisi sunulmaya çalışılacaktır. Uygulamanın ilk aşamasında müşterilerin kiralama alışkanlıklarına göre günün 24 saati zaman dilimlerine ayrılacaktır. Yöntem olarak K-means metodu kullanılacaktır. İkinci aşamada ise her gün ve zaman dilimi için ilçeler bazında geleceğe yönelik olarak talep tahmini ve ortalama kiralama tutarı tahmini yapılacaktır. Yöntem olarak K-NN algoritması kullanılacaktır. Talep tahmini ile ortalama kiralama tutarı tahmini çarpılarak zaman pencereleri ve ilçe bazında gelir tahminleri elde edilmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Serbest Dolaşımli Araç Kiralama Uygulamaları, Talep Tahmini, Zaman Penceresi Kümeleme, K-Means , K-Nn Algoritması

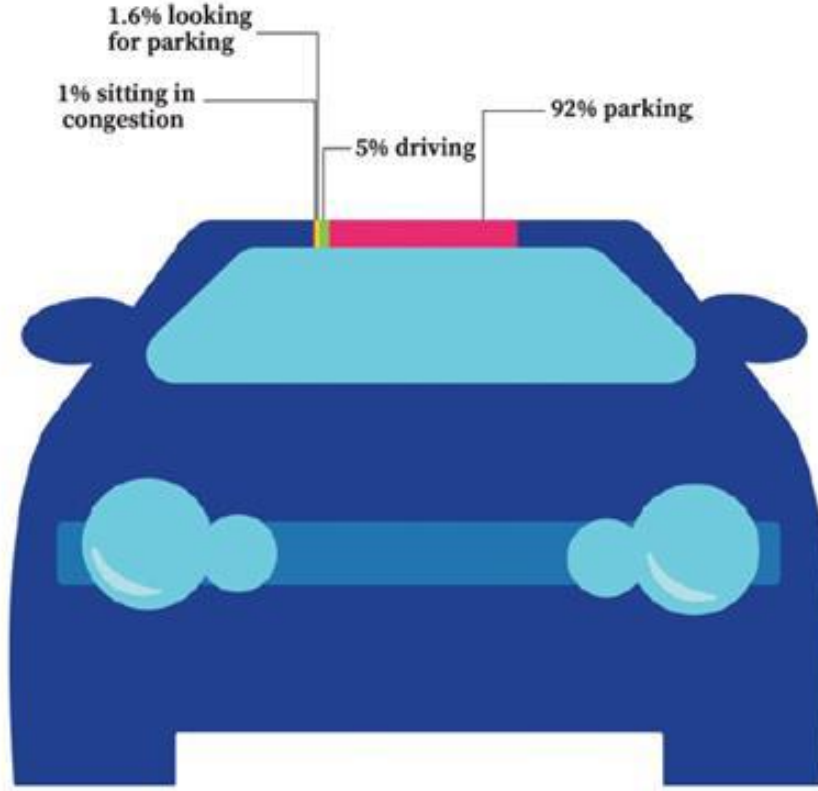
[29] GİRİŞ

Dakikalık araç kiralama uygulamaları (Free Float Car Sharing- FFCS) tüm dünyada yoğun bir kullanıma sahiptir. Ülkemizde de biraz geç kullanılmaya başlansa da bu alanda hizmet veren firma sayısı artmaktadır. Kısa süreli araç kullanım ihtiyaçlarına çözüm sunan bu uygulamalar klasik manada günlük araç kiralama uygulamalarından farklılaşmaktadır. İnsanlar tek bir mobil uygulama üzerinden üyelik yaparak birkaç dakika içerisinde hizmet bölgesinde yer alan araçları görebilir ve araç kiralama yapabilirler.

FFCS uygulamaları dakikalık olarak araç kiralamaya olanak sağlar. Müşterilerin zorunlu olarak ödemesi gereken minimum araç kiralama süresi veya indi-bindi ücreti bulunmamaktadır. İster bir dakika ister saatlerce ister günlerce kiralanabilir. Bu özellik insanların bu uygulamalar ilgisini artırmaktadır. Tek zorunlu kural araçları tekrardan hizmet bölgesi içinde bırakmaktır.

Avrupa'da yapılan bir çalışmada özel otomobili olan kullanıcılar için araçların zamanının %92'sini hareketsiz yani park halinde geçirdiği tespit edilmiştir. Geriye kalan %8'lik kullanım içerisinde %1'inin trafik sıkışıklığında, %1,6'sının park yeri aramakla geçtiği belirlenmiştir. Aktif araç kullanmaya harcanan sürenin geriye kalan %5'lik dilim olduğu Şekil-1'de gözlemlenmiştir.

Bu istatistik araç sahipliğinin dezavantajını ortaya koymaktadır. Bu sebeple de farklı modellerde çalışan araç paylaşım uygulamaları ortaya çıkmıştır [1].



Şekil 1. Araç sahipliği kullanım süreleri

FFCS uygulamaları bir hizmet bölgesi tanımı ile çalışır. Araçlar park edilebilir yerlerde dağınık olarak bulunduğu sınırsız bir alanda hizmet vermek mümkün değildir. Araçların alınabileceği ve bırakılabileceği coğrafya sınırlandırılmaktadır. Müşteriler mobil uygulama üzerinden hizmet bölgesini ve bu hizmet bölgesi içindeki araçların konumlarını görebilir. Araç seçip kiralama yapıldıktan sonra araçlar yine bu hizmet bölgesi içinde bitirmek zorundadır, aksi takdirde kiralama bitmeyecektir ve ücretlendirme devam edecektir.

Dakikalık araç kiralama uygulamaları, araç takip cihazları ve dolayısıyla IOT teknolojisi ile çalışmaktadır. Araçlarda takip cihazları takılıdır ve cihazlarda hat takılıdır. Hatların internet bağlantısı sayesinde araçlarla anlık iletişim kurulmaktadır. Araçların tüm bilgileri anlık olarak çekilmekte ve uzaktan müdahale edilebilmektedir. Müşteriler araçlarını seçip kiralama başlatmak istediklerinde mobil uygulama vasıtasıyla kapı açma talebinde bulunurlar. Uzaktan cihaza komut gönderilerek aracın kapıları açılabilir ve aynı zamanda kapatılabilir. Anahtar torpido gözünden alınıp yine torpido gözünde bırakılmak zorundadır.

5. DAKİKALIK ARAÇ KİRALAMANIN ULAŞIM AÇISINDAN FAYDALARI

FFCS modellerinin şehir yaşantısında topluma ve çevreye büyük faydaları dokunmaktadır. Bu modeller şu an için büyük şehirlerde nüfusun yoğunlaştığı yerlerde uygulanmaktadır. Zamanla bu tarz markaların bilinirliği arttıkça ve yaygınlaştıkça çok daha faydalı hale geleceği düşünülmektedir.

Yapılan bir çalışmada, araç sahipliği imkânı bulunmayan düşük gelirli vatandaşlar üzerinde kullan bırak araç kiralama modellerinin daha büyük etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sayede araç sahipliğindeki büyük maliyetlerden ve sorumluluklardan da kurtulmuş olunabilmektedir [2].

FFCS sistemlerinin gelecekte iş dünyasında, üniversitelerde ve özellikle Z nesli kadınlarda daha fazla yaygınlaşacağı öngörülmektedir. Kadınların FFCS araç kiralama modeline yoğun ilgi gösterdikleri görülmektedir. Kadınlar ulaşımında kişisel güvenliğin yüksek olmasını, araç güvenliğinin yüksek

olmasını, ulaşımdan keyif almayı isterler. FFCS araç kiralama modelinde tüm bu faktörler sağlandığından kadınlar için tercih sebebi olmaktadır [3].

FFCS araç kiralama özellikle geceleri ihtiyaç oluşabilecek ulaşım ihtiyaçları ve çok duraklı seyahat ihtiyaçları için en iyi seçenek olarak görünüyor. Toplu taşımaya kıyasla çok daha güvenilir ve nezih olması yönüyle tercih sebebi olan FFCS sistemleri birkaç kişi ile kullanıldığında toplu taşımadan da ucuz olabilmektedir [4].

FFCS modelleri araç sahipliğine iyi bir alternatif ve toplu taşımayı tamamlayıcı rolü sebebiyle çevreye olumlu katkıları olduğu söylenebilir. FFCS markalarının son zamanlarda yaygınlaşmış olması sebebiyle filodaki araçlar çoğunlukla hibrit veya elektrikli araçlardan oluşmaktadır. Araç sahipliğini azaltma eğilimi de düşünüldüğünde elektrikli/hibrit araçlardan oluşan FFCS sistemlerinin sunduğu az CO2 salınımı ve kullan bırak sistemi sayesinde çevreye katkının çok yüksek olduğu söylenebilir [5].

FFCS araç kiralama modelleri şirketler tarafından da kullanılabilir. Kurumsal olarak hesap açılması sonrasında şirket personelleri iş toplantıları, seyahatleri veya işe gidiş gelişleri için FFCS araçlarını kullanabilirler. Çalışanlardan ücret alınmayıp ücret kuruma yansıtılmaktadır. Fakat, şirketlerin bu sistemlere güvenebilmeleri için kurumsal kullanımlar için çok iyi reklam ve bilgilendirme yapılması şarttır. Bunun için de sistemin nasıl çalıştığını ve nasıl kullanılacağını anlatan görseller ve videolarla desteklenmelidir. Herhangi bir sorunda anında çağrı merkezinin destek vereceği vurgulanmalıdır. Bu sayede FFCS kurumsal ihtiyaçlara da cevap verebilecektir [6].

6. FFCS GEÇMİŞİ

Car2go 2008'de kuruldu ve Avrupa, Kuzey Amerika'daki operasyonları ile dünya çapında genişledi. DriveNow Haziran 2011'de Münih şehrinde hizmete başladı ve Avrupa'da birçok şehre yayıldı. Sektöre ShareNow kuruluşu hâkim durumdadır. Sektörün İki büyük FFCS firması olan Car2go ve DriveNow şirketlerinin 2018 yılında birleşmesi ile kurulmuştur. Avrupa genelinde 18 şehirde dört milyon üzerinde kayıtlı üyesi ve 14.000'den fazla araçtan oluşan filosu vardır. Şirket sahipleri Daimler AG and BMW'dir. İstatistiksel olarak (Ekim 2018), FFCS şirketleri altı kıtada 47 ülkede faaliyet göstermektedir ve yaklaşık 32 milyon kullanıcı ile 198.000'den fazla araç yer almaktadır [7].

Dünya çapında incelenen FFCS firmalarının sahip oldukları farklı marka-model sayıları ve elektrikli araç yüzdelerine yönelik çalışma tablo-1'de gösterilmiştir [8].

Tablo 1. Farklı model sayıları

Table 5

Presence of EVs in the fleet of CSOs based on the number of different models provided.

Number of different models of vehicles in the fleet of CSOs	Fleet with EVs	Fleet without EVs	Percentages of CSOs
1 model	60%	40%	15%
2-5 models	50%	50%	28%
6-10 models	67%	33%	27%
11-20 models	43%	57%	21%
More than 20 models	33%	67%	9%

7. PROBLEM TANIMI

FFCS uygulamaları esnek ve pratik kullanım sunmakla birlikte birçok zorluk içermektedir. Bunlardan en önemlisi araçların istenmeyen yoğunlukta dağılım göstermesidir. Az kiralama talebi gelen bölgelerde

araç bolluğu, çok kiralama talebi gelen bölgelerde araç yokluğu yaşanıyor olabilir. Bu durumun tersine çevrilmesi elzemdir. Aksi taktirde araçların boşa bekleme süreleri artabilir ve gelir kaybı yaşanabilir.

Araçların en optimum seviyede kiralanabilmesi ve müşterilerin kolaylıkla araçlara erişebilmesi için yeniden konumlandırma yapmak gerekmektedir. Az kiralama talebi gelen ama araç bolluğu olan bölgelerden çok kiralama talebi gelip araç yokluğu olan bölgelere doğru araçları tekrardan konumlandırmak ihtiyacı vardır. Bu problemin modellenmesi için ilk olarak araçların en yoğun ve en seyrek kiralandığı bölgelerin tespit edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Araç kiralama davranışı zaman dilimlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Haftanın her günü aynı miktarda araç kiralama talebi olmamaktadır. Bununla birlikte günün her farklı saatlerinde de farklı kiralama talepleri gelebilmektedir. Bu sebeple kiralama verisine bağlı olarak gün ve saat bazlı olarak zaman dilimlerini birbirinden ayırtmak gerekecektir.

Tüm bu bilgiler ışığında araçların yeniden konumlandırma çalışmasını yapabilmek için farklı zaman dilimleri bazında yoğun ve seyrek kiralama talepli bölgelerin çıkarılması gerekmektedir. Bu çalışmada da bu probleme odaklanılacak ve ilk aşamada zaman dilimleri sınıflandırılacaktır. İkinci aşamada ise zaman dilimleri bazında en fazla araca ihtiyaç duyan bölgelerin sıralaması elde edilmiş olacaktır. Bölgelerin seçimi için ise ilçeler bazında çalışılacaktır.

8. METODOLOJİ- ZAMAN DİLİMLERİNİN BELİRLENMESİ

FFCS’de müşteri davranışları gün içerisinde saate göre büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Sabah saatlerinde işlerine gitmek için insanlar araç kiralamaya yönelebiliyor. Benzer şekilde mesai bitiminde evlerine dönmek için insanlar araç kiralama ihtiyacı duyabiliyorlar. Akşam mesai sonrası işlerini halledip veya eğlendikten sonra evlerine dönmek için insanlar araç kiralayabilmektedir. Bu ve benzer faktörlerin neler olabileceği ve müşteri davranışlarının nasıl şekillendiğini anlamak için geçmiş kiralama saatleri incelenmesi gerekmektedir.

Kiralama sayıları günün farklı saatlerinde değişmekle birlikte haftanın farklı günlerinde de değişebilmektedir. Hafta sonu mesai kavramı olmamasında dolayı kiralama zamanları değişebilmektedir. Hafta içinde ise pazartesi sabah ve cuma akşam saatlerinde hafta içi diğer zamanlara göre daha fazla yoğunluk oluşabilmektedir. Bu ve benzer faktörlerin neler olabileceği ve müşteri davranışlarının nasıl şekillendiğini anlamak için geçmiş kiralama saatleri incelenirken gün bazlı olarak kırmak gerekecektir. Dolayısıyla zaman dilimi belirleme işlemi 7 farklı gün için ayrı ayrı çalıştırılacaktır.

Schmöller, S. Ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada araç kiralama zamanları incelenerek kiralama-zaman ilişkisini Şekil-2’de olduğu gibi belirlemiştir [9].

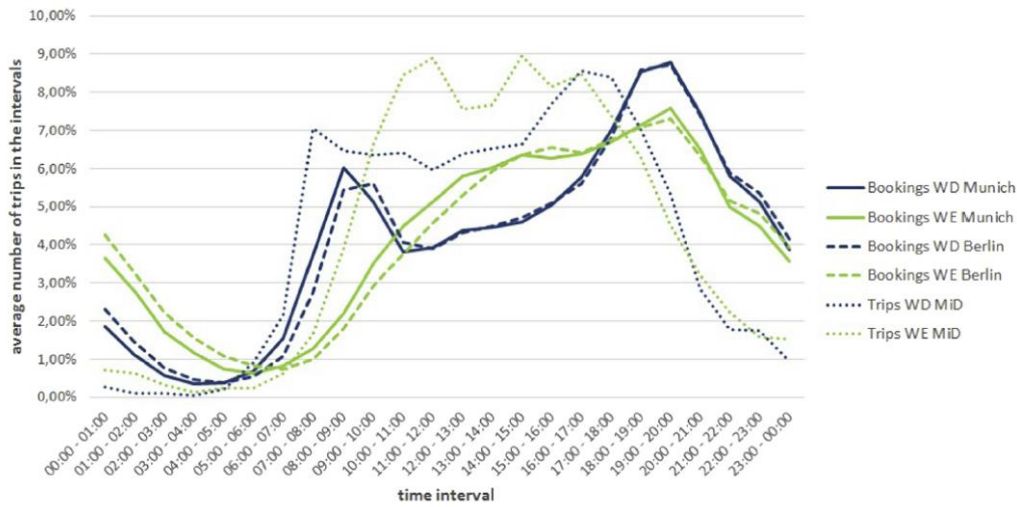
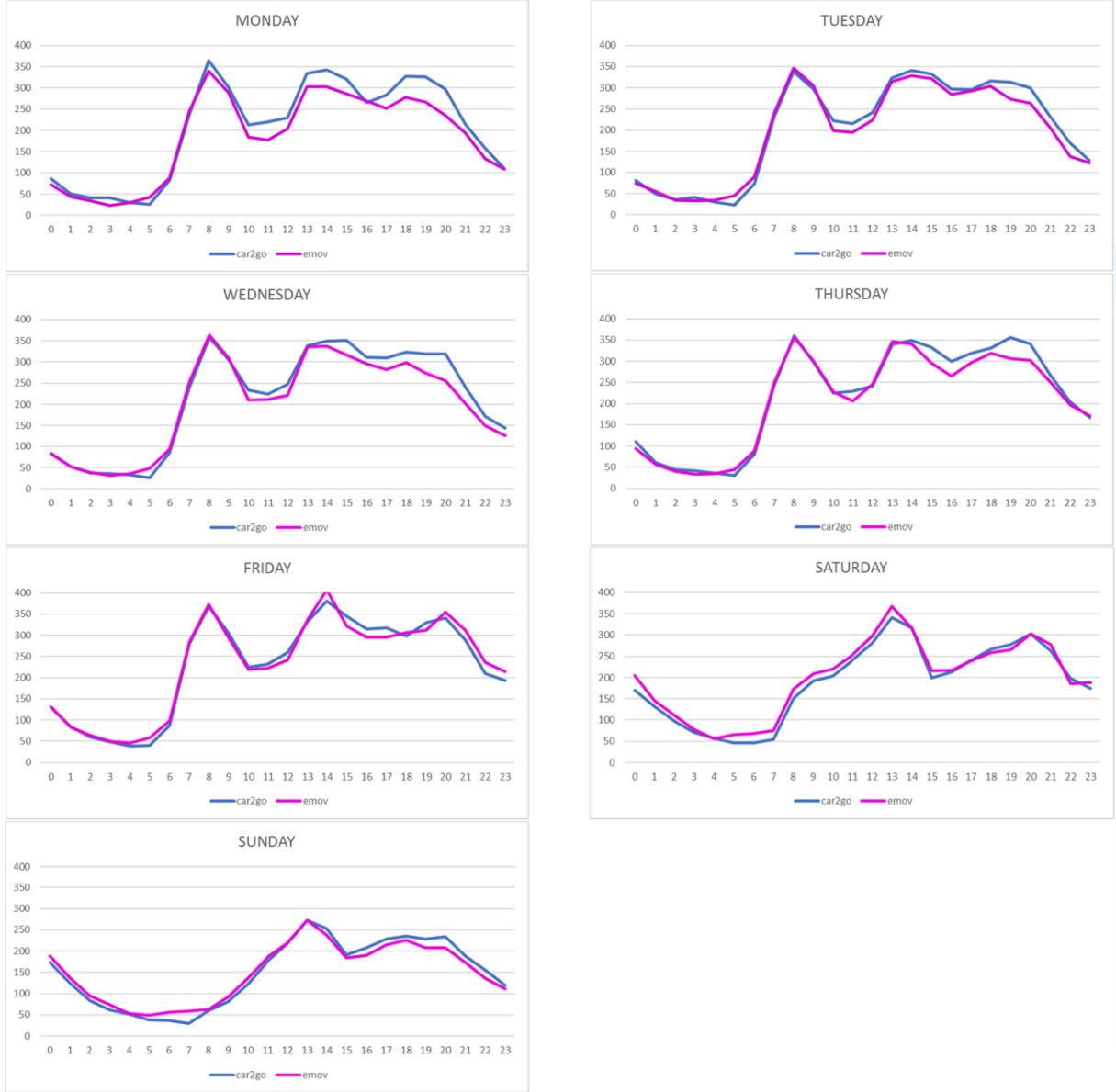


Fig. 7. Average number of carsharing bookings and private car trips in different time intervals on workdays (blue) and weekends (green). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Şekil 2. Araç kiralama zamanları

Zaman dilimleri belirleme işlemi, çalışmanın ilerleyen aşamaları için kritik öneme sahiptir. Sonraki aşamalarda hizmet alan segmentlere ayrılması yine zaman dilimleri bazında yapılacağından zaman dilimleri sınıfları doğruluk seviyesi kritiktir. Benzer şekilde segmentlere ayrılmış ilçeler bazında talep ve gelir tahmini yapmak için sınıflandırılmış zaman dilimleri kullanılacağından bu zaman dilimleri en optimum düzeyde sınıflandırılmış olmalıdır.



Şekil 3. Gün bazlı araç kiralama zamanları

Ampudia-Renuncio, M., ve arkadaşları 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada; haftanın 7 günü için ayrı ayrı araç kiralama zamanlarının dağılımını Şekil-3'te göstermişlerdir [10].

Zaman dilimleri belirlenmesinde veri madenciliği sınıflandırma yöntemleri araştırılmıştır. Bu alanda yapılmış çalışmalar incelenmiştir. İncelenen örnekler neticesinde yüksek doğruluk seviyesine k-means algoritması kullanılacaktır.

Çoğu genetik kümeleme çalışmasında, yöntem olarak K-means algoritması ve K-medoids algoritması kullanıldığı görülmektedir [11].

K-means algoritması, klasik bir kümeleme algoritmasıdır. Çalışma şekli olarak verileri önceden tanımlanmış kriterler bazında en iyileştirerek daha önceden belirlenmiş sayıdaki bir dizi kümeye böler [12].

Javed, A., ve arkadaşları 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada kullanılan sınıflandırma yöntemlerini Tablo-2’de olduğu şekilde göstermiştir. Ayrıca, K-means algoritması 1950 yılında kullanılmaya başlamış ve en yaygın kullanılan sınıflandırma yöntemidir [13].

Tablo 2. Sınıflandırma yöntemleri

Eight benchmark clustering methods. [1] (Paparrizos & Gravano, 2016), [2] (Sakoe & Chiba, 1978), [3] (Du et al., 2019), and [4] (Begum et al., 2015).

Clustering Method		Category
Clustering algorithm	Distance measure	
K-means	Euclidean	Partitional
K-medoids	Euclidean	
Fuzzy C-means	Euclidean	
K-means	Shape-based [1]	
K-means	DTW [2]	
Density Peaks [3]	Euclidean	Density-based
Density Peaks	DTW (TADPole [4])	
Agglomerative	Euclidean	Hierarchical

K-means algoritması çalışma prensibi; büyük kümeden rastgele noktalar seçilir, her kümenin küme ağırlıkları belirlenir. Büyük kümeden alınan her nokta küme ağırlıklarına mesafelerine göre en küçük mesafedeki kümeye atanır. Bu mesafeler tüm noktalar için tüm kümeler bazında yapılarak küme atamaları yapılır. Her gelen nokta küme ağırlıkları güncellenir. Örnek çalışma ekran görüntüsü Şekil-4’te gösterilmiştir [9].

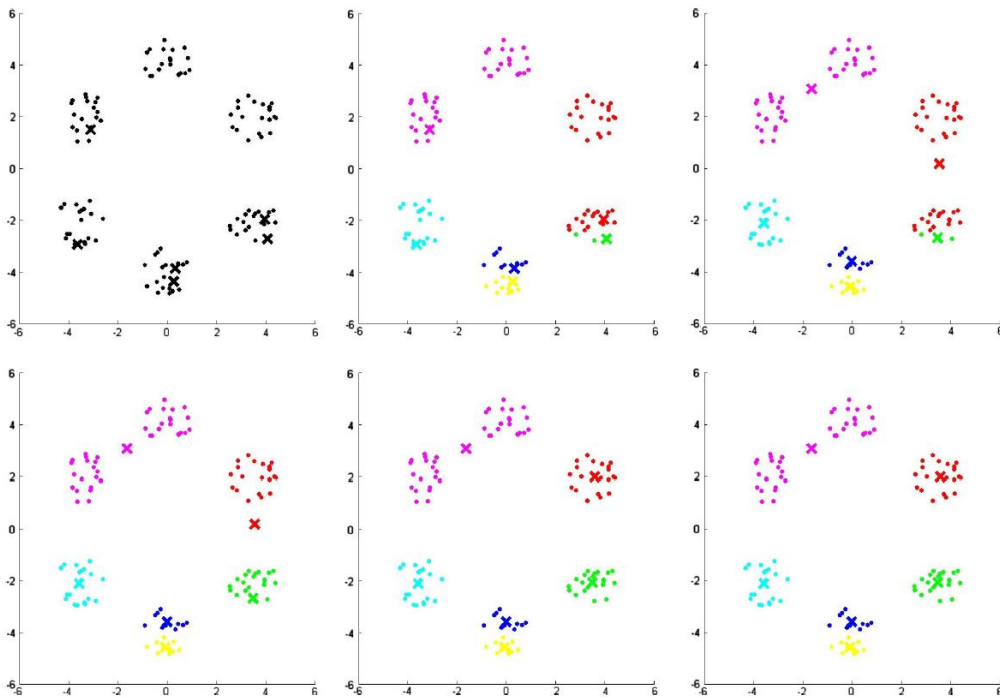


Fig. 3. Example for the k-means cluster method.

Şekil 4. Örnek çalışma ekran görüntüsü

Golalikhani ve arkadaşları 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada farklı sınıflandırma yöntemleri incelenmiş en performanslı çalışan yöntem K-means yöntemi olduğu belirlenmiştir [8].

İstasyon bazlı araç paylaşım uygulamaları hizmet bölgesi araç özellikleri ve ihtiyaçları bakımından benzeşen alanlara ayrıştırılmak istenmiş ve K-means algoritması kullanılmıştır [14].

9. METODOLOJİ- İLÇE SEGMENTASYON

FFCS uygulamaları belirli hizmet alanında hizmet verirler. Araç kiralamak isteyen müşteriler bu alan içerisinde araç alır ve yine bu alan içerisinde aracı bırakırlar. Bu hizmet alanı geniş bir coğrafya olduğundan kiralama ve müşteri yoğunluğu ilçeden ilçeye farklılaşabilmektedir.

Bazı ilçelerde yoğun müşteri ve yoğun kiralama talebi olmakla beraber bazı ilçelerde ise müşteri sayısı ve kiralama talebi az olabilmektedir. Bu durum; ilçeleri getiri seviyelerine göre sınıflandırma ve segmentlere ayırma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Geçmiş veriler incelenerek yapılan kiralama konumları, gelir seviyeleri ve ilçe segmentlerine etki edilebilecek tüm veriler elde edilmeye çalışılacaktır. Elde edilen veriler vasıtasıyla veri madenciliği uygulaması üzerinden ilçelerin hangi segmentte yer alacağı belirlenecektir.

İlçe segmentasyonu için veri madenciliği tahmin yöntemleri incelenmiştir. Bu alanda yapılmış literatür çalışmaları araştırılmıştır. Sonuç olarak, hızlı sonuç veren ve yüksek doğruluk seviyesine sahip KNN algoritması kullanılmasına karar verilmiştir.

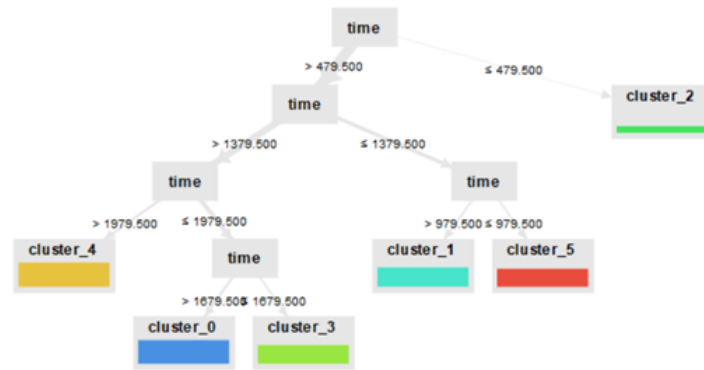
KNN yöntemi, sınıflandırma ve regresyon için kullanılan denetimli öğrenme yöntemlerinden biridir. Temel olarak, yeni seçilen noktaya en yakın nokta seçilir. K değeri diğer noktalardan en yakın olabilecek komşu sayısını ifade eder. Doğru sonuç alabilmek için k değeri önemlidir [15].

KNN Sınıflandırma yöntemi en basit ve en etkili sınıflandırma yöntemidir. Muhtemel dezavantajları düşük verimlilik ve iyi bir k değeri seçimine bağlıdır [16].

Random forest ve KNN algoritmaları benzer şekilde yüksek doğruluk seviyesinde çalışmaktadır. Naive Bayes ise önemli ölçüde düşük doğruluk göstermiştir. Hesaplama süresi olarak ise Random forest her zaman daha fazla zamana ihtiyaç duyar [17].

10. UYGULAMA- ZAMAN DİLİMLERİNİN BELİRLENMESİ

Zaman dilimlerini; tüm kiralama verisinin kiralama başlangıç zaman bilgilerini kullanarak belirleyeceğiz. Gün bazlı olarak da kiralama davranışları değişebileceğinden haftanın 7 günü için ayrı clustering yapılacaktır. Bunun için rapidminer uygulaması kullanılmıştır. Seçilen yöntem ise k-means algoritmasıdır. Rapidminer'da çalıştırılan K-means clustering sonuçları Şekil-5'teki gibidir.



Şekil 5. Zaman dilimlerinin belirlenmesi sonuç çıktısı

Gün içerisindeki zaman dilimlerini birbirinden doğru ayrıştırabilmek amacıyla k değeri 6 olarak alınmıştır. Haftanın 7 günü için 6 dilimli zaman aralıkları aşağıdaki gibidir. Buna göre pazartesi,

çarşamba ve pazar günleri aynı şekilde kümelendi, geriye kalan Salı, Perşembe, Cuma ve cumartesi günleri aynı şekilde kümelendi. Belirlenen bu kümeler sonraki aşamalarda kullanılacaktır.

Bunun için de kiralama başlangıç zamanları bu kümelere uyacak şekilde dönüştürülecektir. Zaman damgası olarak tutulan her bir başlangıç zamanı; elde edilen zaman dilimleri ile eşleştirilecektir. Eşleştirme yapılırken ilgili gün ve zaman bilgisi dikkate alınmıştır.

Pazartesi:

00:00- 05:00; 05:00 – 10:00; 10:00 – 14:00; 14:00 – 17:00; 17:00 – 20:00; 20:00 – 00:00

Salı:

00:00- 05:00; 05:00 – 11:00; 11:00 – 15:00; 15:00 – 18:00; 18:00 – 21:00; 21:00 – 00:00

Çarşamba:

00:00- 05:00; 05:00 – 10:00; 10:00 – 14:00; 14:00 – 17:00; 17:00 – 20:00; 20:00 – 00:00

Perşembe

00:00- 05:00; 05:00 – 11:00; 11:00 – 15:00; 15:00 – 18:00; 18:00 – 21:00; 21:00 – 00:00

Cuma

00:00- 05:00; 05:00 – 11:00; 11:00 – 15:00; 15:00 – 18:00; 18:00 – 21:00; 21:00 – 00:00

Cumartesi

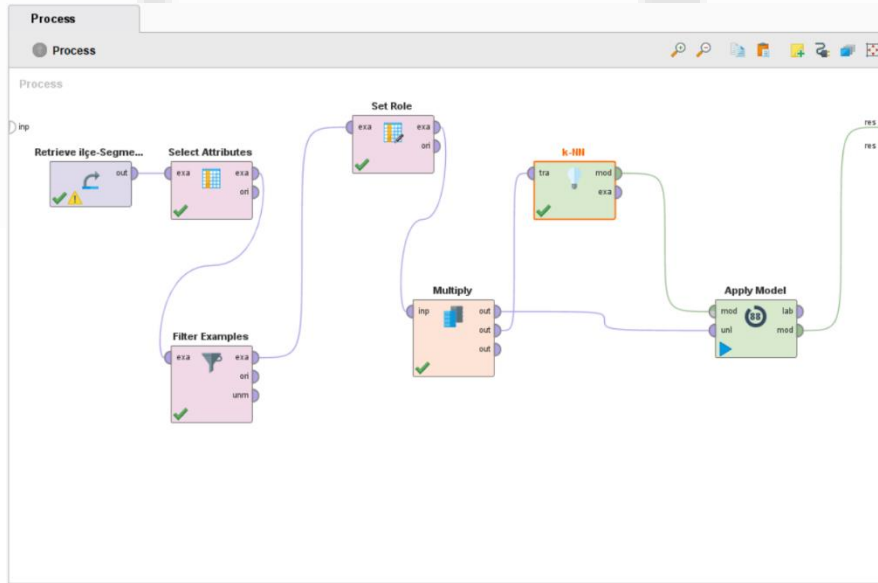
00:00- 05:00; 05:00 – 11:00; 11:00 – 15:00; 15:00 – 18:00; 18:00 – 21:00; 21:00 – 00:00

Pazar:

00:00- 05:00; 05:00 – 10:00; 10:00 – 14:00; 14:00 – 17:00; 17:00 – 20:00; 20:00 – 00:00

11. UYGULAMA- İLÇE SEGMENTASYON

İlçeleri kiralama taleplerine göre sınıflara ayırmak için kiralamaların hangi ilçeden başladığı ve hangi zaman segmentinde bilgisi kullanılmıştır. Uygulama olarak rapidminer uygulaması kullanılmıştır. Seçilen yöntem ise K-NN algoritmasıdır. Rapidminer’da çalıştırılan K-NN algoritması modeli Şekil-6’daki gibidir.



Şekil 6. İlçe segmentasyon model

Belirtilen model çalıştırıldıktan sonra İstanbul'da hizmet bölgesinde yer alan tüm ilçeler için haftanın 7 günü 6 farklı zaman dilimi bazında tahmini kiralama getiri değerleri elde edilmiştir. Örnek sonuçtan alınan çıktı Şekil-7'deki gibidir.

Row No.	prediction(amount)	cluster	district
1	75.436	11	ATAŞEHİR
2	44.470	11	BAĞCILAR
3	100.246	11	BAHÇELİEVL...
4	32.464	11	BAKIRKÖY
5	42.098	11	BAŞAKŞEHİR
6	45.572	11	BAYRAMPAŞA
7	36.836	11	BEŞİKTAŞ
8	23.900	11	BEYKOZ
9	34.378	11	BEYOĞLU
10	54.896	11	ÇEKMEKÖY
11	25.562	11	ESENLER

Şekil 7. İlçe segmentasyon çıktısı

Zaman pencereleri ve talep tahmin seviyelerine göre en yüksek 5 değer şu şekilde elde edilmiştir.

Cuma 18-21 & BEYOĞLU

Perşembe 15-18 & SANCAKTEPE

Cumartesi 15-18 & SULTANGAZİ

Pazar 20-24 & KARTAL

Cuma 15-18 & ŞİŞLİ

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada FFCS uygulamalarında zaman dilimine bağlı ilçe bazlı bölgesel talep tahmini uygulaması yapılmıştır. Veri olarak İstanbul'da faaliyet gösteren bir araç kiralama şirketi verileri kullanılmıştır. Uygulama olarak rapidminer uygulamasında faydalanılmış olup clustering yöntemi olarak K-means tahmin algoritması olarak K-NN yöntemi tercih edilmiştir.

Aşama aşama uygulamada, önce haftanın her günü için müşteri alışkanlıklarını içeren kiralama başlangıç verilerine göre farklı zaman kümeleri elde edilmiştir. K değeri 6 olarak alındığından hafta toplam 42 zaman dilimine bölünmüştür. Sonrasında hizmet verilen alanda yer alan 38 ilçenin bu 42 zaman dilimi bazında kiralama talep tahminleri belirlenmiştir. Bu bilgi araç kiralama şirketi için 42 farklı zaman diliminde araçları nereden alıp nerelere sevk etmesi gerektiğine dair bilgi sağlamış olacaktır. Aynı zamanda hangi bölgelere kampanya yapması gerektiği ve hangi bölgeleri hizmet alanından çıkarması gerektiğine dair analiz yapma fırsatı sunacaktır.

13. KAYNAKÇA

- [1] Min, Q., Xing-fu, X. (2020). Identifying key elements in a car-sharing system for constructing a comprehensive car-sharing model. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*,38,2297–2309
- [2] Mitra, S. K. (2021). Impact of carsharing on the mobility of lower-income populations in California. *Travel Behaviour and Society*, 24, 81-94.

- [3] del Mar Alonso-Almeida, M. (2019). Carsharing: Another gender issue? Drivers of carsharing usage among women and relationship to perceived value. *Travel behaviour and society*, 17, 36-45.
- [4] Silvestri, A., Foudi, S., Galarraga, I., & Ansuategi, A. (2021). The contribution of carsharing to low carbon mobility: Complementarity and substitution with other modes. *Research in Transportation Economics*, 85, 100968.
- [5] Migliore, M., D'Orso, G., & Caminiti, D. (2020). The environmental benefits of carsharing: the case study of Palermo. *Transportation Research Procedia*, 48, 2127-2139.
- [6] Fleury, S., Tom, A., Jamet, E., & Colas-Maheux, E. (2017). What drives corporate carsharing acceptance? A French case study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 45, 218-227.
- [7] Dong, X., Cai, Y., Cheng, J., Hu, B., Sun, H. (2020). Understanding the Competitive Advantages of Car Sharing from the Travel Cost Perspective. *Int. J. Environ. Res. Public* 17, 4666
- [8] Golalikhani, M., Oliveira, B. B., Carravilla, M. A., Oliveira, J. F., & Pisinger, D. (2021). Understanding carsharing: A review of managerial practices towards relevant research insights. *Research in Transportation Business & Management*, 100653.
- [9] Schmöller, S., Weikl, S., Müller, J., & Bogenberger, K. (2015). Empirical analysis of free-floating carsharing usage: The Munich and Berlin case. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 34-51.
- [10] Ampudia-Renuncio, M., Guirao, B., Molina-Sánchez, R., & de Alvarez, C. E. (2020). Understanding the spatial distribution of free-floating carsharing in cities: Analysis of the new Madrid experience through a web-based platform. *Cities*, 98, 102593.
- [11] Liao, T. Warren. "Clustering of time series data—a survey." *Pattern recognition* 38.11 (2005): 1857-1874.
- [12] Özkoç, E. E. (2020). Clustering of time-series data. In *Data Mining-Methods, Applications and Systems*. IntechOpen.
- [13] Javed, A., Lee, B. S., & Rizzo, D. M. (2020). A benchmark study on time series clustering. *Machine Learning with Applications*, 1, 100001.
- [14] Jorge, D., Molnar, G., & de Almeida Correia, G. H. (2015). Trip pricing of one-way station-based carsharing networks with zone and time of day price variations. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81, 461-482.
- [15] VE, S., & Cho, Y. (2020). A rule-based model for Seoul Bike sharing demand prediction using weather data. *European Journal of Remote Sensing*, 53(sup1), 166-183.
- [16] Guo, G., Wang, H., Bell, D., Bi, Y., & Greer, K. (2003, November). KNN model-based approach in classification. In *OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems"* (pp. 986-996). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [17] Singh, A., & Lakshmiganthan, R. (2018). Impact of different data types on classifier performance of random forest, naive bayes, and k-nearest neighbors algorithms.

Makale id= 62

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1701-3353

| 31

Scaling Approach in Ice Accretion Prediction

Researcher Mehmet Harun Özkanaklı¹, Prof.Dr. Serkan Özgen¹

¹Middle East Technical University

*Corresponding author: Mehmet Harun

Abstract: *The main objectives of this study are to improve the validity and reliability of scaling techniques used in experimental studies and to better understand the physical and thermal phenomena related to atmospheric icing. Using a combination of experimental and numerical methods, a scaling method for icing simulation has been developed that is determined for various wind tunnel limitations. As part of this study, six different icing cases were numerically analyzed using experimental literature data. The scaling study was conducted by including the reference dimensions of these cases in the calculation. Within these conditions, the velocities and temperatures of each condition differ. These differences were used to determine the limitations and capabilities of the flow field calculations and scaling. The effects of KO (modified inertia parameter), Ac (accumulation parameter), $n0$ (freezing fraction), ϕ (drop energy transfer parameter), θ (air energy transfer parameter), WeL (Weber Number based on reference length), and other parameters on the icing geometries were also observed. Although deviations were observed in some cases, the study helped to determine the range in which the scaling studies can be applied. According to our investigations, the simulated ice accumulations are more accurate than previously studied methods. In particular, the recently proposed icing scaling techniques have shown improved accuracy in reproducing the aerodynamic effects of ice accumulation. The new model also overcomes some of the shortcomings of previous models by providing a more comprehensive and accurate representation of complex icing phenomena such as droplet size distribution. As a result, the droplet collection coefficient values for all cases are exactly aligned for the scaled and reference cases. For the scaled cases, accurate results are not obtained when the total temperature value for the icing values is roughly above -1 degree Celsius and above and when the compressibility effect is present.*

Keywords: *Icing, Aerodynamics, Mixed Flows, Scaling, Similitude, Wind Tunnel, Experimental Aerodynamics*

1. Introduction

The risk of icing means degraded aerodynamic and overall performance of the aircraft, reduction in stability, and compromised flight safety. Moreover, and most importantly, icing can lead to the malfunction of critical equipment, instruments, and engine failure.

The phenomenon of icing in aviation is becoming increasingly important as the number of accidents or incidents in this field increases over time. In order to understand icing conditions and take precautions against them, it is possible to study and test the conditions that cause icing. The icing wind tunnel, one of the most crucial test environments, is required to conduct studies in this field. In order to utilise the icing tunnel, it is essential to dimension the model to be placed in the tunnel and to create the equivalent icing conditions as in natural icing conditions by varying the size of the model and icing parameters. However, it is not feasible to place a life-size model in an icing wind tunnel because there are few wind tunnels of this size, and even if a wind tunnel of this size is available, the operating costs are high. For all these reasons, the model should be reduced to smaller than the actual dimensions and rendered suitable for the wind tunnel test chamber. This requires varying flight and icing conditions so that an equivalent icing environment is created.

For this reason, this study will involve scaling an actual case (reference) and comparing this with scaled case with experimental data from the literature. Understanding the physical phenomena of icing physics makes it possible to implement this process in an appropriate manner. Most of this will involve equating the dimensionless parameters governed by icing physics, associated with icing in both reference and scaled conditions.

The primary factors influencing atmospheric icing are the size distribution of droplets in clouds, free-stream velocity, free-stream temperature, and the liquid water content. The size distribution of droplets is responsible for the trajectories of scattered particles impinging the object. Therefore, it is crucial to study ice accumulation and the effects of the droplet size and their trajectories on the physics of ice growth.

In previous studies, various methods have been used to gather scaled formations of ice shapes corresponding to the reference case ice shape. The similarities to be established in the scaling analysis, are the droplet trajectory, geometry similarity, water catch, flow field, energy balance, and surface water dynamics. Therefore, different scaling parameters for icing have been proposed depending on the simulation requirements to be met.

As stated by the authors from Lockheed Aircraft Corporation, a new scaling method has been proposed, which comprises a set of parameters to be matched in terms of similitudes of droplet trajectory, which are water catch, and energy balance. These parameters can also be expressed in terms of icing physics notation as, K_0 , A_c , n_0 , b ¹.

Dodson et al. from Boeing Airplane company conducted a work², which involved the scaling method with droplet trajectory and water catch similarity that leads to the scaling parameters sufficient for icing scaling.

A novel scaling method by Ruff et al. was investigated at the Arnold Engineering Development Centre engine test facility.³ This work includes scaled and full-scale versions of cylinder and airfoil sections. As a result of this work, ice accumulation on the specimen was compared to real-case conditions to prove the accuracy of the scaling method.

The scaling modes include size scaling and scaling of icing conditions, and the similitude is examined by providing similitude of droplet trajectory, flow field and impact attribute to the amount of impinging water, and thermodynamics of the ice accretion process.

Several scaling methods have been proposed, which are combinations of similitudes of droplet trajectory, water catch and energy balance. Different combinations of energy balance parameters provide the similarity of the energy balance. Some other scaling methods are suggested, where different number of similarity parameters are involved such as K_0 and A_c constant; K_0 , A_c and n_0 constant; K_0 , A_c , n_0 and b constant and K_0 , A_c , n_0 , ϕ and θ constant.

The Modified Ruff Method was proposed with a constant We_L (*Weber number*) approach is to compute velocity and obtain reference ice shape with a scaled size model, which is also employed in the current study. This method requires tuning of energy balance, water catch, surface water dynamics, the droplet trajectory, as well as scaling of the geometry and angle of attack³. This research was further developed by Wang et al. who used the modified Ruff method to optimise the speed of the simulation to obtain more accurate results in the icing wind tunnel⁴.

In the present work, the primary intention of the scaling method is to extend the effect of surface water dynamics, which is contained in the scaling method by modifying the conditions of We_L . The scaling parameters to be matched are chosen as K_0 , A_c , n_0 , ϕ , θ and We_L for tunnels with altitude adjustment capability or K_0 , A_c , n_0 , We_L and one of the ϕ and θ parameters for atmospheric tunnels. The We_L parameter drives the selection of scaled velocity.

To take precautions, the consequences of icing should be considered at the initial stages of aircraft design. In the design and certification phases of an aircraft, evaluation of performance degradation due to icing and operational limitations under icing conditions have become an inseparable part of the process. Computational analysis and experimentation are performed to evaluate the effects of icing prior to actual flight. Outcomes of the computational analysis for in-flight icing can be accepted as adequate

for early design phases; however, for enhanced design and certification, tests simulating actual in-flight icing conditions must be conducted to correct the analysis results. The FAA and EASA certification authorities specify the meteorological icing conditions for certifying an aircraft for safe flight in Appendix C of 14 CFR Part 25 ⁵.

In the first part of the study, the modelling and scaling approach is summarised. Then, in the methodology section, the details of the scaling method and the details of the Modified Ruff Method are explained, the physical phenomena it covers and analyses, and finally, why it was chosen. Afterwards, the details of the flow field solution and the underlying mathematics are mentioned. In the conclusion and discussion section, the results of the simulation analysis and flow field solution results of the cases with the aforementioned experimental data are compared for both the reference and scaled cases. In these cases, the effects of the parameters determining the simulation on the results are discussed. At the end of the study, the limitations and capabilities of the simulation study are presented.

2. Modelling & Scaling

Scaling methods are techniques used to represent the behavior of a full-scale aircraft in a wind tunnel at a reduced scale. This is necessary because it is often impractical or impossible to test a full-scale aircraft in a wind tunnel due to size or cost constraints. Scaling methods allow engineers to test smaller models of aircraft and extrapolate the results to predict the behavior of the full-scale aircraft.

2.1. Similitude Parameters

In order to simulate the model geometry in icing tests and achieve similarity in ice accretion conditions, it is imperative to scale the test geometry, flow field, droplet trajectory, total water capture, and heat transfer to simulate the desired icing encounter. Studies about icing similitude parameters and scaling studies have been investigated since the 1970's starting with deriving closed form equations that could be resolved for the model test conditions. For icing similarity and scaling studies, the calculations of the physical phenomena that cause aerodynamic icing formation are performed. The physical and thermal analyses are discussed in detail below. Further simplifications or derivations should be made if the solution requires a programmed numerical solution. The following similarities which can be seen in **Figure 1** are defined by Anderson, D.N. ⁶.

Droplet Trajectory Similarity: Collection Efficiency, β_0	• Evaluate the possibility of water droplet impinging on the monitoring location
Water Catch Similarity: Accumulation parameter, A_c	• Evaluate normalized maximum local ice thickness
Energy balance Similarity: Freezing Fraction, n_0	• Evaluate how much of the impinged water is going to freeze upon impact
Geometry Similarity:	• Outer contour of the model geometry should be identical
Flow Field Similarity:	• Reynolds and Mach number should be matched
Surface water dynamics similarity: Weber number, We	• Evaluate surface running water behaviour

Figure 1: Similitude Parameters Definitions

2.2. Scaling Methods

Scaling methods are techniques used to reproduce the behavior of a full-scale aircraft in a wind tunnel at a reduced scale. This is necessary because it is often impractical or impossible to test a full-scale aircraft in a wind tunnel due to size or cost constraints. Scaling methods allow engineers to test smaller models of aircraft and extrapolate the results to predict the behavior of the full-scale aircraft.

There are several approaches to scaling methods in icing wind tunnels. One approach is to use geometric scaling, in which the dimensions of the aircraft model are scaled down in proportion to the size of the full-scale aircraft. For example, if the full-scale aircraft is twice the size of the model, the model would be scaled down by a factor of two in each dimension. This approach is based on the principle of similitude, which states that the behavior of a system is independent of size as long as the ratios of the relevant dimensions are maintained.

Another approach is to use dynamic scaling, where the model's dimensions are scaled down in proportion to the size of the full-scale aircraft. However, the model's mass and inertia are scaled up to maintain the same dynamic behavior as the full-scale aircraft. This approach is based on the principle of dynamic similitude, which states that the behavior of a system is independent of size as long as the ratios of the relevant dimensions, mass, and inertia are maintained.

Scaling methods in icing wind tunnels should take into account the effects of ice on the aircraft performance. Scaling can be challenging, as the behavior of ice on an aircraft's surfaces is highly dependent on the size and shape of the aircraft, as well as the temperature and humidity conditions. Engineers must carefully consider these factors when selecting a scaling method and applying it to test results.

Overall, scaling methods are essential in designing and testing aircraft in icing wind tunnels. They allow engineers to test smaller models and predict the behavior of full-scale aircraft under real icing conditions, which helps ensure flight safety and performance in real-world operations.

Previous studies have used various strategies to create a scaled ice shape that matches the reference ice shape. The simulation of geometry, flow field, droplet trajectory, water catch, energy balance, and surface water dynamics are mentioned in the literature in the context of scaling analysis of ice. The similitudes of the former are fulfilled by calculating scaling parameters for each similitude parameter and comparing them for scaled and reference situations. Defining the scaling factors and determining their strength and significance has proven challenging.

Nevertheless, following the procedure of the scaling study is only possible with a good understanding of the physics and calculations of similitude calculations. Scaling will start by solving a set of equations of the previously mentioned similitude parameters of the scaled and reference values to determine the scaled case. For the tests using the sea level wind tunnel, 5 test condition parameters need to be determined. These are temperature, air speed, MVD, LWC and exposure time. For pressure adjustable wind tunnels the number of parameters is 6, with the addition of pressure. In addition to these parameters, there are two parameters that are important to match but are not possible for icing conditions as mentioned in previous explanations, namely Re and Ma values. After these operations, droplet trajectory and water catch values are matched after keeping the external geometry of the model and AOA values the same. The remaining unmatched values are calculated by solving the energy balance equations.

Therefore, several icing scaling factors have been recommended based on the selected similitude parameters, and various combinations of these values have been used as scaling methods to generate similar ice accumulations. Those that have been selected for this study are,

- K_0 ; Modified inertia parameter,
- A_c ; Accumulation parameter,
- β_0 ; collection efficiency,

- n_0 , freezing fraction
- b , relative heat factor,
- ϕ , droplet energy transfer parameter
- θ , air energy transfer parameter,
- We_L , similitude of surface water dynamics.
- h_{film}/d , water film thickness.

When these six parameters are matched geometry, flow field, energy balance, flow field, water catch, droplet trajectory, and surface-water dynamics are equivalent, which ensures similitude ⁷.

Most of the scaling methods and their researchers are mentioned in the literature review part of this study. However, one of the most important and reliable works has been selected in order to be utilized in the developed computer code in this study. As a summary

Table 1 can be seen to which parameters to be matched for specific works.

Table 1: Literature Comparison ⁶

	K_0	A_c	n_0	b	ϕ	θ	We_L
Hauger et al.	✓	✓					
Sibley et al.	✓	✓	✓	✓			
Jackson et al.	✓	✓	✓	✓			
Dodson et al.	✓	✓					
Armand et al.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Ruff / Wind tunnel with altitude capability	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ruff / Sea Level Wind tunnel	✓	✓	✓		✓	✓	✓

The Modified Ruff method is a method for predicting the behavior of a full-scale aircraft based on testing a reduced-scale model in an icing wind tunnel. The method is based on the principle of similitude, which states that the behavior of a system is independent of size as long as the ratios of the relevant dimensions are maintained ⁸.

Modified Ruff Method is similitude analysis derivation of scaling method. Ruff Method is matching Weber number (surface tension) by adding surface water dynamics. For ice accretion similitude, the droplet trajectory similarity, the similarity of the total mass of liquid water impingement of the surface, the energy balance similarity, and surface-water dynamics similarity should be satisfied after the geometry and flow similarity is achieved. To provide that, modified inertia parameter (K_0), accumulation efficiency (β_0), accumulation parameter (A_c), freezing rate (n_0), and droplet energy transfer parameter (ϕ) and Weber number (We) are to be matched ⁹.

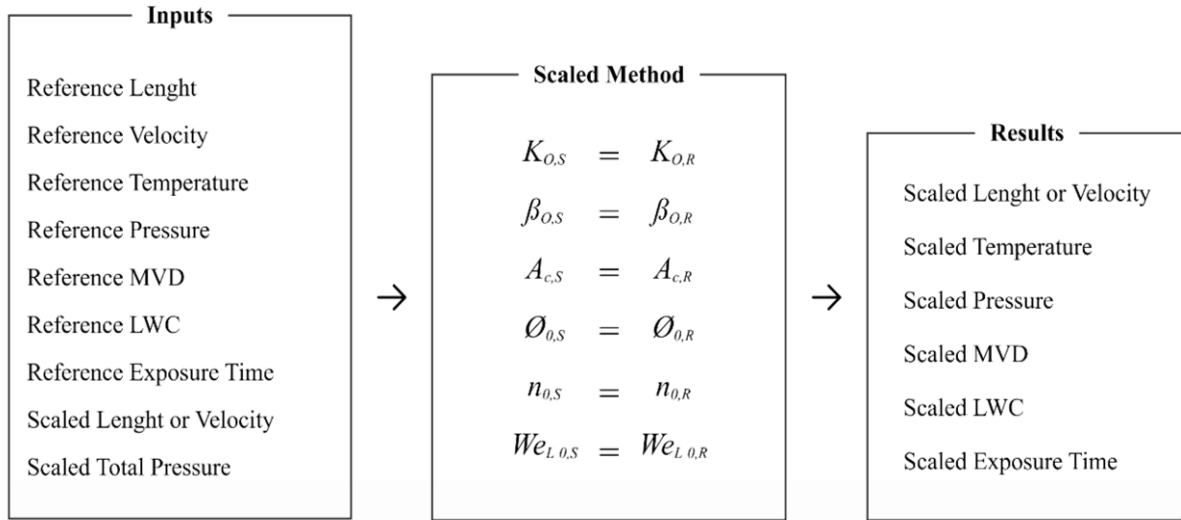


Figure 2: Modified Ruff Method Parameters

The Modified Ruff method differentiated with constant We_L approach is suggested to compute velocity and for obtaining reference ice shape with a scaled size model which is the method employed in this work. This method requires adjustment of energy balance, water catch, surface water dynamics, the droplet trajectory as well as modelling of the nondimensional geometry and angle of attack. The scaling parameters to be matched are selected as K_0, A_c, n_0, b, ϕ and θ, We_L for tunnels with altitude capability or K_0, A_c, n_0, We_L and one of the parameters ϕ and θ for sea-level tunnels.

Table 2: Modified Ruff Method test and similitude parameters

Test Parameter	Modified Ruff Method
c_s	User Select
$t_{st,S}$	$\phi_S = \phi_R$
V_S	User Selects or $V_S = V_R \left(\frac{d_R}{d_S}\right)^{\frac{1}{2}}$
MVD_S	$K_{0,S} = K_{0,R}$
LWC_S	$n_{0,S} = n_{0,R}$
τ_S	$A_{c,S} = A_{c,R}$
$p_{st,S}$	User Selects or $\theta_S = \theta_R$

3. Results

In order to validate the icing software and the similitude model described above, six test cases were selected exhibiting sufficient variation in the icing parameters and also have experimental ice shape data. Modelling and scaling were performed to determine the limits of the numerical approach.

The test cases shown in

Table 3 are well-known test cases widely used by researchers¹¹. These cases were first solved and then downscaled. In some cases, upscaling was also attempted. The variation of the parameters presented by these cases provide valuable information for validation.

Table 3: Experimental Cases ¹¹

Figure	Airfoil	Chord	A.O.A.	Velocity	Static (Total) Temperature	Pressure	Humidity	LWC	MVD	Exposure Time
Cases	NACA	m.	Degrees	m/s	°C	kPa	RH %	g/m ³	Microns	Seconds
27	0012	0.530	4.0	58.10	-27.8(-26.00)	95.61	100.0	1.30	20.0	480.0
32	0012	0.530	4.0	58.10	-2.8 (-1.12)	95.61	100.0	1.30	20.0	480.0
33	0012	0.530	4.0	93.89	-30.5(-26.11)	92.06	100.0	1.05	20.0	372.0
34	0012	0.530	4.0	93.89	-16.6(-12.20)	92.06	100.0	1.05	20.0	372.0
35	0012	0.530	4.0	93.89	-12.2(-7.81)	92.06	100.0	1.05	20.0	372.0

The aim of scaling these cases is to yield the exact icing contours in scaled conditions as in the reference conditions. However, the numerical scaling approach can perform satisfactorily only in some conditions. Therefore, these cases with different conditions were studied to comprehend the scaling method's limits.

3.1. Case 27

Reference and scaling conditions for case 27 are stated in **Table 4** and **Table 5**. In this case, the temperature and velocity are low, suggesting incompressible flow and a typical rime ice condition.

Table 4: Physical Conditions for Case 27 ¹¹

Case	Type	NACA	AOA	Chord	T _{st}	T _{tot}	V	MVD	LWC	t _{exp}	P _{tot}	P _{st}
			deg.	(m)	(°C)	(°C)	(m/s)	(µm)	(g/m ³)	(s)	(kPa)	(kPa)
27	Ref	0012	4	0.530	-27.8	26.12	58.10	20.00	1.30	480.00	97921	95610
27	Scaled	0012	4	0.265	28.20	24.84	82.17	11.44	1.49	147.75	100000	95342

Table 5: Similitude Parameters for Case 27

Case	Type	K ₀	β ₀	A _c	n ₀	b	φ (K)	θ (K)	Reynolds	We _L	Mach
27	Ref	1.807	0.684	2.358	1.129	0.572	27.4	35.6	83811	869764	0.185
27	Scaled	1.807	0.684	2.358	1.129	0.553	27.4	34.4	71345	869764	0.262

As can be seen in **Table 5**, four of six similitude parameters are identically matched, and the remaining two (*b* and *θ*) are fairly well matched. The collection efficiency distributions and ice shapes presented in **Figure 3** show that the similitude approach successfully solves the reference case. The ice shapes illustrated in **Figure 3** show typical rime ice characteristics, with ice shape being generally smooth, following the contours of the airfoil leading edge.

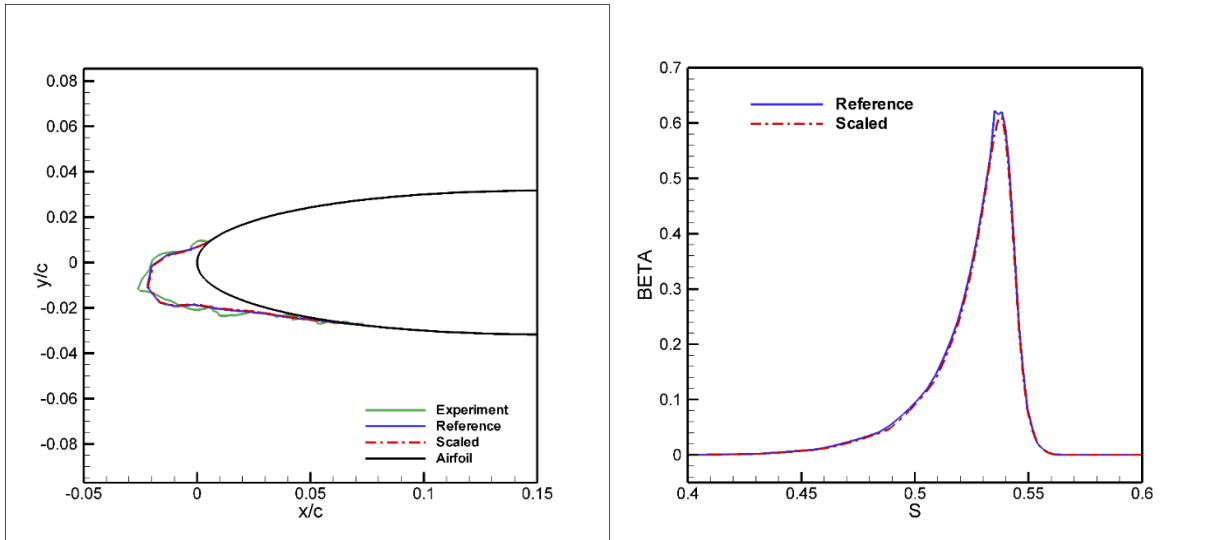


Figure 3: Case 27 Ice Shapes & Droplet Collection Efficiencies

The selected scaling parameters in **Table 5** have been effectively aligned with the intended level of confidence, as evidenced by the findings presented in **Figure 3**. The scaling technique has yielded ice shapes that is indistinguishable from the reference case. However, it is important to acknowledge that the computed ice shape does not exhibit wavy contours present at the upper and lower part of the ice, which is prominently observed in the experimental ice shape but still, experimental ice shapes and ice shape predictions of scaled and reference case are in a good agreement. Besides, it can be easily said that collection efficiencies are in a perfect agreement on reference and scaled cases which can be seen in **Figure 3**. Both in terms of impingement limits and droplet collection efficiency values. This affinity can be interpreted as an indication that the calculations of the scaling analysis work very well.

The computed ice shapes are also in very good agreement with the experimental ice shape. However, this is not a really challenging test case for the numerical method because all the droplets freeze upon impact, establishing energy balance is trivial.

3.2. Case 27 with all parameters matched

For this case, unlike the case mentioned above, the two parameters that were not matched were matched. There is no significant difference in the icing prediction seen in **Figure 4** result obtained by matching all of the parameters shown in **Table 7**. However, the difference between the reference and scaled cases has increased in the change of Reynolds number values. Although this increase in variation leads to differences in geometric similarity and flow similarity, the effect on icing accretion result is negligible.

Table 6: Physical Conditions for Case 27 ¹¹

	<i>Chord</i> (m)	<i>T_{st}</i> (°C)	<i>T_{tot}</i> (°C)	<i>V_∞</i> (m/s)	<i>MVD</i> (μm)	<i>LWC</i> (g/m ³)	<i>t_{exp}</i> (s)	<i>P_{tot}</i> (kPa)
Ref	0.530	-27.80	-26.12	58.10	30.00	1.30	480.00	97921
Scaled	0.265	-28.20	-24.84	82.17	16.54	1.44	152.96	87206
Change	1/2	-1.4%	-4.9%	41.4%	44.9%	10.9%	68.1%	10.9%

Table 7: Similitude Parameters for Case 27

	K_0	β_0	A_c	n_0	b	ϕ (K)	θ (K)	Re_a	We_L	$Mach$
Ref	3.398	0.791	2.358	1.025	0.662	27.40	35.564	83811	8.70E+05	0.185
Scaled	3.398	0.791	2.358	1.025	0.662	27.40	35.564	51688	8.70E+05	0.262
Change	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	38.3%	0.0%	41.5%

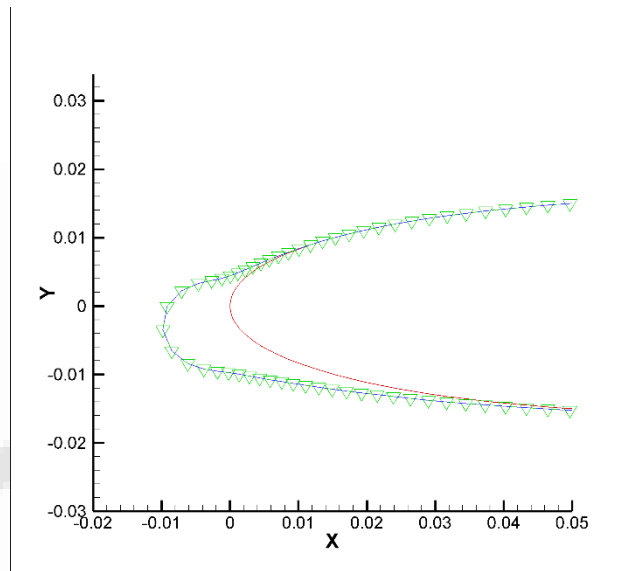


Figure 4: Case 27 Ice Shapes

3.3. Case 32

Reference and scaling conditions for Case 32 are provided and tabulated in **Table 8** and **Table 9**. In this case, the temperature is close to the freezing temperature and velocity is still in incompressible range. The freezing fraction of the stagnation point is almost zero; hence glaze ice characteristics are expected.

Table 8: Physical Conditions for Case 32 ¹¹

Case	Type	NACA	AOA	Chord	T_{st}	T_{tot}	V	MVD	LWC	t_{exp}	P_{tot}	P_{st}
			deg.	(m)	(°C)	(°C)	(m/s)	(μm)	(g/m ³)	(s)	(kPa)	(kPa)
32	Ref	0012	4	0.530	-2.80	-1.12	58.1	20.00	1.30	480.00	97706	95610
32	Scaled	0012	4	0.265	-3.20	0.16	82.17	11.47	1.07	207.03	100000	95764

Table 9: Similitude Parameters for Case 32

Case	Type	K_0	β_0	A_c	n_0	b	ϕ (K)	θ (K)	Reynolds	We_L	$Mach$
32	Ref	1.784	0.682	2.358	0.095	0.573	2.4	2.9	70321	869765	0.176
32	Scaled	1.784	0.682	2.358	0.095	0.399	2.4	2.0	49941	869765	0.249

Within the selected scaling parameters, the reference and scaled ice shapes are very close, as seen in **Figure 5**. As a result of the n_0 value being well below unity, it is possible to say that this icing formation is glaze ice. Although the beaks is not predicted by the calculations, but location of the beaks are well predicted, its size is underpredicted compared to the experimental ice shape. It is a known fact that glaze ice predictions usually are worse than rime ice predictions due to mixed characteristics of ice and water thermophysics.

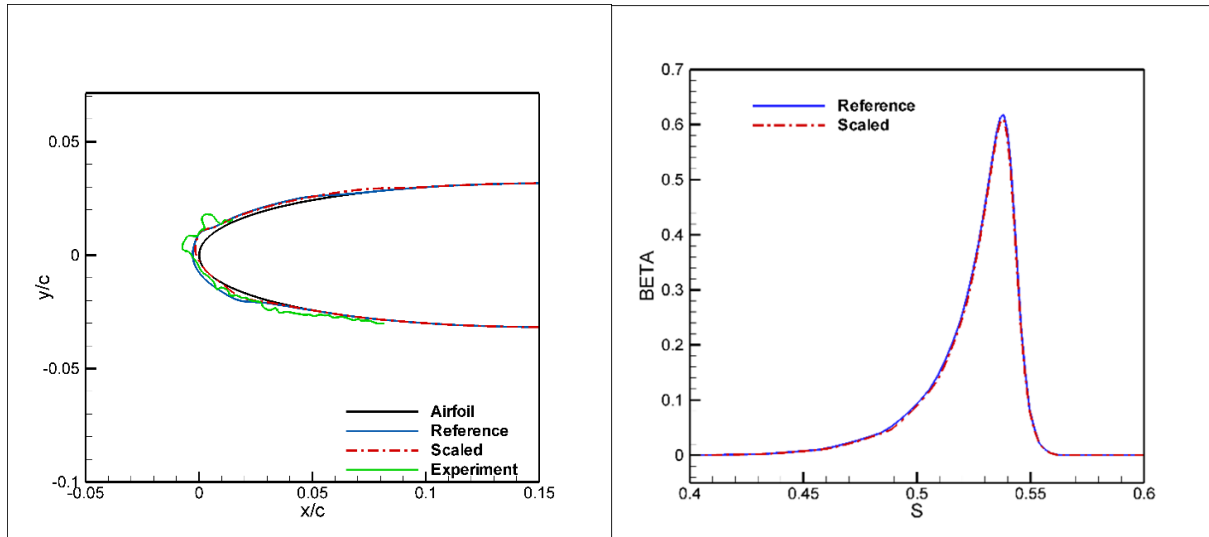


Figure 5: Case 32 Ice Shapes & Droplet Collection Efficiencies

3.4. Case 33

Reference and scaling conditions for Case 33 are given in

Table 10 and **Table 11**. In this case, the temperature is well within rime ice range and the velocity is high to be in incompressible flow range therefore ice prediction method is not expected to be perfectly aligned with reference and scaled cases. The freezing fraction of the stagnation point is well over the unity; hence rime ice characteristics were indeed observed as shown in **Figure 6**.

Table 10: Physical Conditions for Case 33 ¹¹

Case	Type	NACA	AOA	Chord	T_{st}	T_{tot}	V	MVD	LWC	t_{exp}	P_{tot}	P_{st}
			deg.	(m)	(°C)	(°C)	(m/s)	(μm)	(g/m^3)	(s)	(kPa)	(kPa)
33	Ref	0012	4	0.530	-30.50	-26.11	93.89	20.00	1.05	372.00	98020	92060
33	Scaled	0012	4	0.265	-31.56	-22.78	132.78	11.27	1.12	122.79	100000	88266

Table 11: Similitude Parameters for Case 33

Case	Type	K_0	β_0	A_c	n_0	b	φ (K)	θ (K)	Reynolds	We_L	Mach
33	Ref	2.432	0.739	2.385	1.069	0.647	29.5	35.9	133039	2271372	0.301
33	Scaled	2.432	0.739	2.385	1.069	0.586	29.5	32.6	90909	2271372	0.426

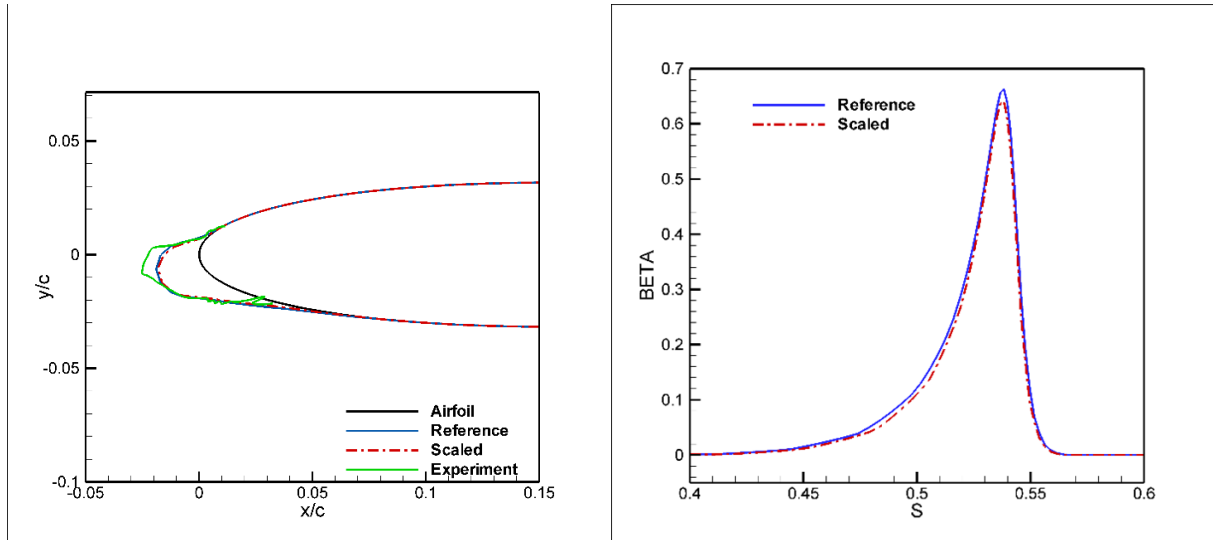


Figure 6: Case 33 Ice Shapes & Droplet Collection Efficiencies

The selected scaling parameters are successfully matched at the desired confidence level also for this case even the compressible region is presence for scaled case, as seen in **Figure 6**. The scaling method predicts the ice shape very closely for the scaled case compared to the reference case, including the prominent horn-like structure at the upper surface with a small deviation. The ice accretion prediction code accurately predicts the experimental ice shape, including the size and location of the above-mentioned horn-like structure. Furthermore, the droplet collection efficiency values also for this particular case exhibit a high level of consistency as shown in **Figure 6**.

3.5. Case 34

Reference and scaling conditions for Case 34 are provided and tabulated in **Table 12** and **Table 13**. In this case, the temperature is low, and velocity is still in incompressible range for reference case and compressible region for scaled case. The freezing fraction of the stagnation point is below unity; hence glaze and mixed ice characteristics are expected.

Table 12: Physical Conditions for Case 34 ¹¹

Case	Type	NACA	AOA	Chord	T _{st}	T _{tot}	V	MVD	LWC	t _{exp}	P _{tot}	P _{st}
			deg.	(m)	(°C)	(°C)	(m/s)	(µm)	(g/m ³)	(s)	(kPa)	(kPa)
34	Ref	0012	4	0.530	-16.60	-12.21	93.89	20.00	1.05	372.00	97690	92060
34	Scaled	0012	4	0.265	-17.66	-8.88	132.78	11.31	1.04	132.77	100000	88857

Table 13: Similitude Parameters for Case 34

Case	Type	K ₀	β ₀	A _c	n ₀	b	φ (K)	θ (K)	Reynolds	We _L	Mach
34	Ref	2.423	0.738	2.385	0.581	0.648	15.6	19.8	120320	2271372	0.292
34	Scaled	2.423	0.738	2.385	0.581	0.548	15.6	16.9	82732	2271372	0.414

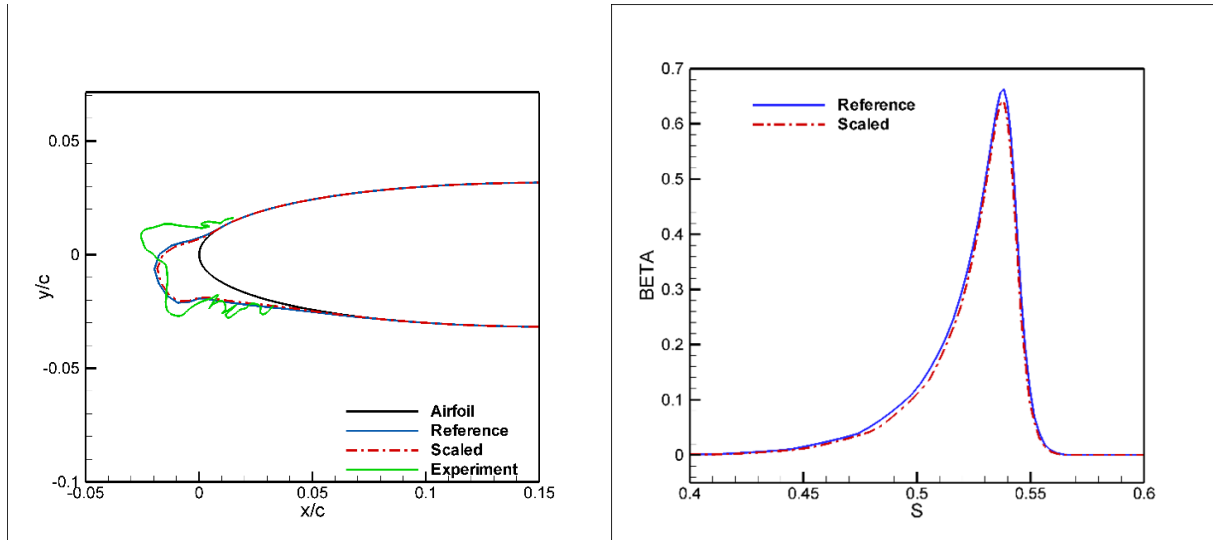


Figure 7: Case 34 Ice Shapes & Droplet Collection Efficiencies

Within the selected scaling parameters, the reference and scaled ice shapes are very close, as seen in **Figure 7**. As a result of the n_0 value being below unity, it is possible to say that this icing formation is glaze/mixed ice. As clearly shown in Figure 7, the icing prediction worked identically for reference and scaling, but failed to predict the experimental data. It is a known fact that glaze ice predictions usually are worse than rime ice predictions due to mixed characteristics of ice and water thermophysics.

3.6. Case 35

Reference and scaling conditions for Case 35 are given in **Table 14** and **Table 15**. In this case, the velocity is sufficiently high for high-speed flow effects to be considered. The freezing fraction of the stagnation point is below unity; therefore, mixed/glaze ice characteristics are expected

Table 14: Physical Conditions for Case 35 ¹¹

Case	Type	NACA	AOA deg.	Chord (m)	T_{st} (°C)	T_{tot} (°C)	V (m/s)	MVD (μm)	LWC (g/m^3)	t_{exp} (s)	P_{tot} (kPa)	P_{st} (kPa)
35	Ref	0012	4	0.530	-12.20	-7.81	93.89	20.00	1.30	372.00	97593	92060
35	Scaled	0012	4	0.265	-13.25	-4.47	132.78	11.32	1.18	145.25	100000	89027

Table 15: Similitude Parameters for Case 35

Case	Type	K_0	β_0	A_c	n_0	b	ϕ (K)	θ (K)	Reynolds	We_L	Mach
35	Ref	2.42	0.738	2.953	0.363	0.803	11.2	14.1	116678	2271372	0.290
35	Scaled	2.42	0.738	2.953	0.363	0.621	11.2	34.2	71345	2271372	0.411

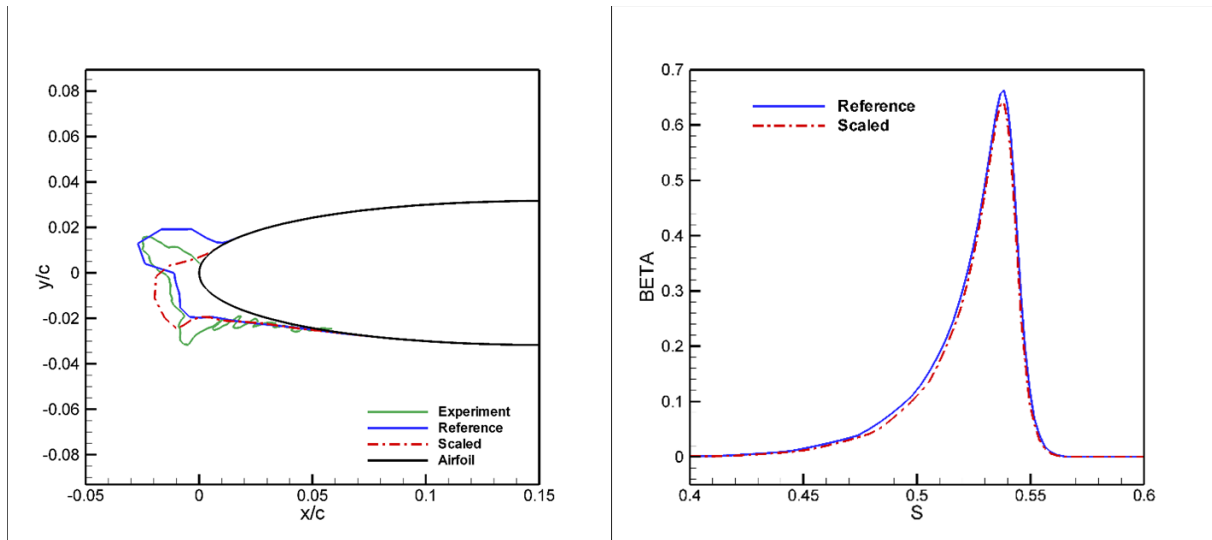


Figure 8: Case 35 Ice Shapes & Droplet Collection Efficiencies

The selected scaling parameters could not be successfully matched at the desired confidence level for this case as can be seen in **Figure 8**. Although the solution of the reference model and the horn-shaped structure of the experimental data overlap approximately, they do not match exactly. Due to the physics of glaze ice and high velocity, these approaches give an approximate value but are only partially accurate. In this case, the droplet collection efficiency values also started to deviate slightly from each other as the difference in ice shapes started to become more noticeable as it can be seen in **Figure 8**. However, the droplet collection efficiency values of the reference and scale cases are still remarkably close to each other. This shows that the scaling calculations were performed successfully regarding droplet trajectory physics.

The ice accretion predictions do not show good agreement between the reference and scaled ice shapes; both predictions deviate from the experimental ice shape, especially regarding the horn angle. This discrepancy can be attributed to the limitations of the computational tool used, which may not be dependable in accurately calculating the amount of increased velocity in the scaling and, consequently, the high-speed effects. If one examines the similitude parameters presented in **Table 15**, the reference freestream velocity is 93.89 m/s and the scaled freestream velocity is 132.78 m/s, corresponding to $M=0.29$ and 0.41 respectively. The reference condition is at the limit of the generally accepted threshold for compressibility, while the scaled condition is well-above the same threshold, rendering the flow regime different which certainly contributed to the discrepancy.

4. Conclusion

In this study, scaling and icing prediction calculations were performed for six cases. For cases where experimental data were available, the accuracy of the resulting ice contours were validated by performing ice shape and droplet collection efficiency calculations of the reference and scaled conditions. This way, the scaling calculations' limitations and accuracy are understood.

In the first step of the study, the concepts and calculations of modelling and scaling of icing are explained. Afterwards, the sizing methodology and the reasons for its selection are explained. Modified Ruff Method calculations and approaches selected for dimensioning are mentioned. Then the ice accretion prediction method used in the study is explained. Then, the results of the reference and scaled icing solutions were obtained and compared velocities.

In general, all parameters related to icing within the dimensioned models have been matched except for b and θ values. Equalization of b and θ values are conducted, but this requires the pressure values of the dimensioned environment to be much lower than ambient, requiring altitude capability and had no significant effect on the outcome. Therefore, there is no need to incur costs for the production of a pressure regulating icing wind tunnel. The results obtained are exactly accurate for rime ice, while they

are mostly in good agreement for mixed and glaze ice conditions. Besides, droplet collection efficiency values are in a perfect agreement for all cases. As outcomes of this work, these calculations would not be entirely accurate for high speed and elevated temperatures. In order to be specific, accurate results were not obtained if the total temperature was above -1°C or high-speed effects were present.

Due to inherent issues related to glaze ice modelling and differences in flow regimes, additional similitude parameters to be matched and mathematical models with higher fidelity regarding glaze ice are required. In spite of the shortcoming of the methods presented, the approach used in the current study can produce accurate and valuable data for the sizing and design of an icing wind tunnel within the limitations.

5. References

- [1] Sibley EJ, Smith RE. Model testing in an icing wind tunnel. *Lockheed Aircraft Corp, Inc, Rep No LR*. 1955;10981.
- [2] Dodson ED. Scale model analogy for icing tunnel testing. *Document No D6*. 1962;7976.
- [3] Ruff GA. Analysis and verification of the icing scaling equations. Published online 1986.
- [4] Wang Q, Yi X. A computational strategy for determining the optimal scaled wind speed in icing wind tunnel experiments. *Comput Fluids*. 2023;250:105734. doi:10.1016/j.compfluid.2022.105734
- [5] Jeck RK. Icing Design Envelopes (14 CFR Parts 25 and 29 , Appendix C) Converted to a Distance-Based Format. *Regulation*. 2002;(April):55.
- [6] Anderson DN. Manual of scaling methods. *NASA CR*. 2004;212875.
- [7] Bourgault Y, Habashi WG, Beaugendre H. Development of a shallow water icing model in fensap-ice. *37th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. 1999;37(4):640-646. doi:10.2514/6.1999-246
- [8] Ruff GA. Analysis and verification of the icing scaling equations. Published online 1986.
- [9] Anderson DN. Further evaluation of traditional icing scaling methods. *34th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. Published online 1996. doi:10.2514/6.1996-633
- [10] Anderson D, Tsao JC. Additional results of ice-accretion scaling at SLD conditions. In: *41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*. ; 2003:390.
- [11] Wright WB, Gent RW, Guffond D. DRA/NASA/ONERA Collaboration on Icing Research.; 1997.

Makale id= 63

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1701-3353

| 45

Scaling Limitations in Icing Wind Tunnel Design and Implications for Design**Researcher Mehmet Harun Özkanaktı¹, Prof.Dr. Serkan Özgen¹**¹Middle East Technical University

*Corresponding author: Mehmet Harun

Abstract: The icing wind tunnel (IWT) is a critical tool in the simulation and analysis of ice formation on aircraft surfaces, as well as a fluid mechanics test facility with unique characteristics and a well-defined purpose. This paper discusses the various components required to simulate atmospheric conditions such as temperature, humidity, and air velocity. In order to design this type of tunnel, it is necessary to know the actual conditions to be modeled. These conditions have been carefully studied by NASA, and these studies have also been used by the FAA to establish new regulations. Based on two different types of icing clouds in particular, this regulation provides detailed mean volumetric diameter (MVD) and liquid water content (LWC) data for stratiform and cumulus clouds. It includes MVD and LWC values crucial to icing, as well as temperature, altitude, horizontal extent, and cloud type. Appendix C of 14 CFR Part 25 can be used as an input set for wind tunnel design so that the environment created by the IWT matches actual icing conditions. Hence, the primary focus of the study will be to meet the stringent regulations and guidelines provided in Appendix C. This includes overcoming challenges such as droplet size uniformity, airspeed calibration, and temperature control. In this research, calculations were carried out using a standardized approach to ascertain the necessary design specifications for a wind tunnel, with a particular focus on MVD and LWC parameters. Furthermore, the study examined the variability and prerequisites of icing parameters, aiming to identify the key parameters that will determine the design of the wind tunnel, considering various factors. Ultimately, the study concluded by calculating and dimensioning each component of IWT to be developed and ensuring that the wind tunnel to be developed adheres to all the criteria outlined in Appendix C.

Keywords: Icing, Wind Tunnel Design, Appendix C of 14 Cfr Part 25, Icing Scaling, Faa, Experimental Aerodynamics

1. Introduction

The research will commence by conducting a comprehensive review of existing academic literature and technical reports that pertain to the design and operational parameters of icing wind tunnels. Additionally, the research will provide an overview of the current understanding of icing scaling limitations and their implications on wind tunnel testing applications.

Icing wind tunnels are specialized testing facilities used to evaluate the impact of ice on aircraft performance. These tunnels are designed to replicate the conditions of flight through icing clouds, allowing engineers to assess how ice accumulates on an aircraft's surfaces and how it affects the aircraft's aerodynamics. Icing wind tunnels are used by aircraft manufacturers, airlines, and research institutions around the world to ensure the safety and performance of aircraft in icing conditions.

There are a number of icing wind tunnels located around the world. Some examples include: The National Research Council of Canada's Icing Research Tunnel in Ottawa, Canada: This tunnel is one of the largest and most advanced icing wind tunnels in the world and is used to test aircraft of all sizes and types. ¹The NASA Glenn Research Center's Icing Research Tunnel in Cleveland, Ohio, USA: This tunnel is operated by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) and is used to study the impact of ice on aircraft performance, as well as other aspects of aircraft design and performance. ²

The DLR Institute of Aerodynamics and Flow Technology's Icing Wind Tunnel in Braunschweig, Germany: This tunnel is operated by the German Aerospace Center (DLR) and is used to study the impact of ice on aircraft performance, as well as other aspects of aircraft design and performance³.

These are just a few examples of the many icing wind tunnels located around the world. These facilities play a vital role in the design and safety of aircraft, helping to ensure that aircraft are capable of performing safely and reliably in icing conditions.

Table 16 below lists the icing wind tunnels with their specifications. It is obvious that they are insufficient for the aerospace industry. Moreover, it should be noted that there are no icing wind tunnels in Turkey, although the Turkish aerospace industry has grown by leaps and bounds in the last five years.

Table 16: Icing Wind Tunnels

Company, Location	Name	Test Section, m	Velocity in the test section, m/s	Effective droplet size, μm	LWC, g/m^3	Minimum testing temperature, Celsius
Regional Ecological Center, Latvia ^{4,5}	T-4	2x1.5x5	70	8 – 35	0.25 – 3	
Regional Ecological Center, Latvia ^{4,5}	T-5	3.4 x 2.6 x 4	100	10 - 40	0.3 – 2	-12
CIAM, Turaevo ⁶	S-1A	1.5 (Dia)	0.5 Mach	30	2.5	-30
NASA, USA ⁷	IRT	2.74 x 1.83 x 61	175	15 – 50	0.2 – 2.5	-32
NRC, Canada ⁸	PIWT	3.1 x 6.1 x 12.2	54	15 – 50	0.15 – 2.5	-30
CIRA, Italy ⁹	IWT	2.35 x 1.15 x 3.6	150	15 – 250	0.15 – 2	-40
Boeing, USA ¹⁰	BRAIT	1.22 x 1.83 x 6.1	128.6	15 – 40	0.2 – 3	-32
NASA, USA ²	Glenn Icing Research Tunnel	1.8 x 2.7 x 6.1	168	15 – 275	0.15 – 4	-30
RTO, Vienna ¹¹	IWT	3.5 x 4.6, 3.5 x 2.5	80	15 – 40	0.9 – 5	-30
BF Goodrich, USA ¹²	IWT	0.56 x 1.12	268	10 – 50	0.4 – 3	-32
Collins Aerospace, USA ***	IWT	0.56 x 1.52	102	5 – 50	0.1 – 3	-43
AECD, TN USA	R-1D	0,914 (Dia)	268	15 - 40	0.2 - 3.9	-29
Le Clerc Icing Laboratory, NY USA ¹³	LIRL	0.71 x 1.17	98,5	15 - 50	0.25 - 3	-30
Le Clerc Icing Laboratory, NY USA ¹³		1.22 x 1.22	54	15 - 50	0.25 - 3	-30
FluiDyne, MN USA	IRT	0.55 x 0.55	273	10 - 35	0.1 - 5	Ambient
Rosemount, MN USA ¹⁴	IWT	0.254 (Dia)	94	15 - 40	0.1 - 3	-30

2. Determination of icing Wind Tunnel Design Limitations

Requirement for wind tunnel that will be designed within this work scope, will be determined by ice formation testing needs. A vast parameter work will be conducted to finalize wind tunnel aerodynamic and mechanical variables. The present study presents the design of an icing wind tunnel that aims to replicate the majority of the icing conditions outlined in 14 CFR Parts 25 and 29, Appendix C. Therefore, wind tunnel must satisfy the conditions illustrated in **Figure 9** and **Figure 10**. Besides, wind tunnels should be equipped with spraying nozzles to control LWC and MVD of the air in the wind tunnel. To accomplish this objective, this part discusses and identifies the constraints of the wind tunnel design and the specification of necessary equipment. **Table 17** is provided, outlining the specific test conditions

required to achieve the desired outcome, along with the factors that influence these conditions and the equipment that determines them.

Table 17: Simulation Capability Determination

Test Condition	Determine	Limitation
c_s or L	Test Section size	Blockage
t_{st}	Icing capability	Cooling Power and Cost
p_{st}	Altitude and b and θ	Mechanical strength of wind tunnel walls and Cost
V_{inf}	motor power and compressibility effect.	Effect on droplets to inhibit particle impingement. Fail in scaling due to high-speed effects.
MVD	Icing capability	Spray bar type and calibration
LWC	Icing capability	Spray bar type and flow rate
τ	Cooling requirements	Liquid nitrogen capacity and cooling power
Turbulence intensity	Mesh screen size and quantity, heat transfer rate	Ice accretion on mesh, intrusive equipment of wind tunnel.

2.1. Icing Envelopes

National Advisory Committee for Aeronautics, NACA, had placed extensive work on icing investigations both experimental and theoretical in 40's and 50's^{15,16}. These works have been used by the Federal Aviation Administration (FAA) in order to create new regulations for operating of aircrafts in atmospheric icing conditions¹⁷.

FAA accepted two standard envelopes for the certification of transport and jet air vehicles for two different icing envelopes which are the continuous and intermittent icing envelopes. The design criteria for icing protection systems are based on the parameters which are LWC, droplet diameter, temperature, altitude, horizontal extend and the type of cloud.

In the Figure 9 and Figure 10, Distribution of liquid water content (LWC) versus droplet diameter for different ambient air temperatures can be seen. These data are introduced for different altitude and extent of the cloud for stratiform clouds and cumuliform clouds. Cumuliform clouds represents intermittent maximum icing and stratiform clouds represents continuous maximum icing.

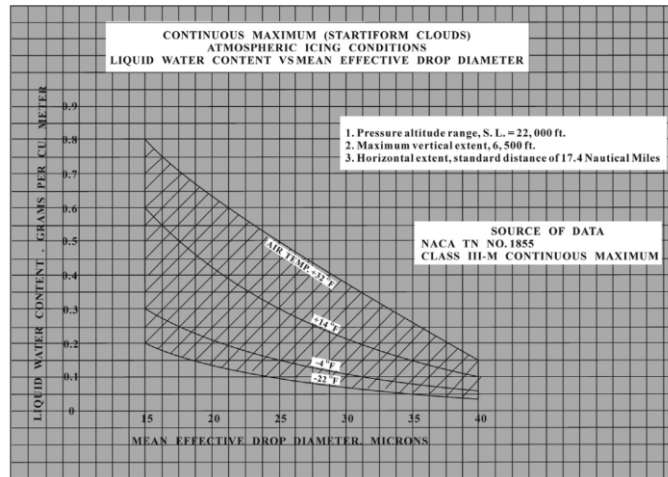


Figure 9: Continuous maximum atmospheric icing conditions for stratiform clouds ¹⁸

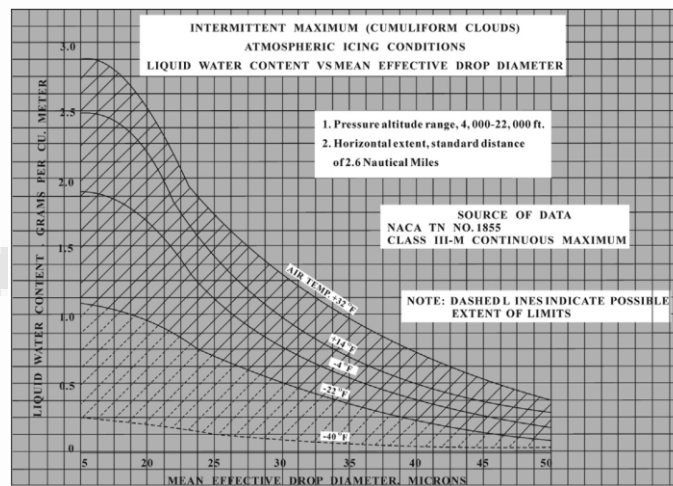


Figure 10: Intermittent Maximum Atmospheric Icing Conditions ¹⁸

2.2. Scaling the Size of the Object

2.2.1. Blockage in Test Section

The speeds mentioned in the literature survey regarding wind tunnel test sections typically pertain to test sections that are not occupied. Therefore, the actual airspeed achieved in practice is contingent upon the level of blockage and the drag coefficient associated with the test assembly. For instance, in the case of the IRT (Institute for Research in Technology), it has been approximated that the maximum speed decreases from 192 m/s (430 mph) in an unoccupied test section to 156 m/s (350 mph) when a model assembly with 5 percent blockage and a drag coefficient of 1.7 is installed ¹⁹.

Hence, it is comprehensible that the calculation of blockage, a crucial factor in determining the dimensions of the test chamber, was undertaken. The maximum blockage rate was found to be 5 percent, and based on this rate, the optimal size of the model to be accommodated in the test chamber was determined. This size was deemed adequate for conducting icing flow field analysis and scaling.

Table 18: Test Section Blockage

Test Section Area	Allowed Blockage	Cross Section Area of Model	Utilization of Test section w/ span	Thickness	Chord
-------------------	------------------	-----------------------------	-------------------------------------	-----------	-------

1 m ²	5%	0.05 m ²	100%	0.05 m	0.416 m
1 m ²	5%	0.05 m ²	75%	0.067 m	0.555 m
1 m ²	5%	0.05 m ²	50%	0.1 m	0.833 m

The chord length of 0.833 meters was determined as the largest model size for the icing wind tunnel to be designed. Considering the scaling limitations discussed earlier, when the maximum scaling reduction of 1/4 is calculated, this translates to a chord length of 3.33 meters under real conditions. This size is more than sufficient to test the icing characteristics of many aircraft with scaling, for example the ATR-72, in the wind tunnel.

2.2.2. Temperature

Temperature control in the icing wind tunnel is achieved through the utilization of cooling systems. These systems incorporate a heat exchanger positioned within the wind tunnel, enabling the air circulating through the closed-circuit wind tunnel to counteract the conditions that lead to temperature adjustment within the wind tunnel.

The majority of wind tunnels discussed in the existing literature are capable of cooling down to -30 degrees Celsius, which is the desired level of cooling for this particular study. However, in instances where additional cooling is necessary, the injection of liquid nitrogen into the wind tunnel is employed to temporarily lower the temperature below -30 degrees Celsius. The specific duration for which this enhanced cooling is sustained will be comprehensively described and calculated in the design section of the wind tunnel. Nevertheless, for the present moment, taking into account cost considerations, it has been determined that a cooling system capable of maintaining a temperature of -30 degrees Celsius within the test chamber is the most suitable option. For temperatures lower than -30 degrees Celsius, the expected exposure time by injecting liquid nitrogen into the flow is planned to be at least 15 minutes, provided that the temperature of the test chamber is kept constant at -40 degrees Celsius.

2.2.3. Airspeed in Test Section

On the other hand, if the velocity is high, ice shape damage and compressibility effects should be taken into account. Based on the literature and market research, the minimum MVD size that can be calibrated and applied is 8 microns²⁰. In **Figure 11**, shows MVD values as a function of scaling ratio, while the redline is the limitation of the minimum MVD generation; therefore, working below that line is impractical. Considering this and the results of the sizing studies, facility, and physical fundamental constraints, scaling below 1/4 ($C_r/C_s = 4$) does not seem feasible. these outcomes are also in agreement with the works conducted by Anderson et al.²¹.

Even if higher velocities than 155 m/s can be achieved, compressibility effects should be taken into account, and it needs to be kept in mind that the assumption made for scaling ignores the compressibility effects. Therefore, it is generally accepted that 150 m/s velocity in the test section is an upper limit for the icing test applications²². This can be seen in and visualized with a dashed redline for the limitation of airspeed in the test section. **Figure 11** also states that scaling factor lower than 1/4 ($C_r/C_s = 4$) scaling ratio is not feasible for wind tunnel applications. This scaling ratio is even reduced to 1/2 for the reference cases with airspeeds of 100 m/s and above.

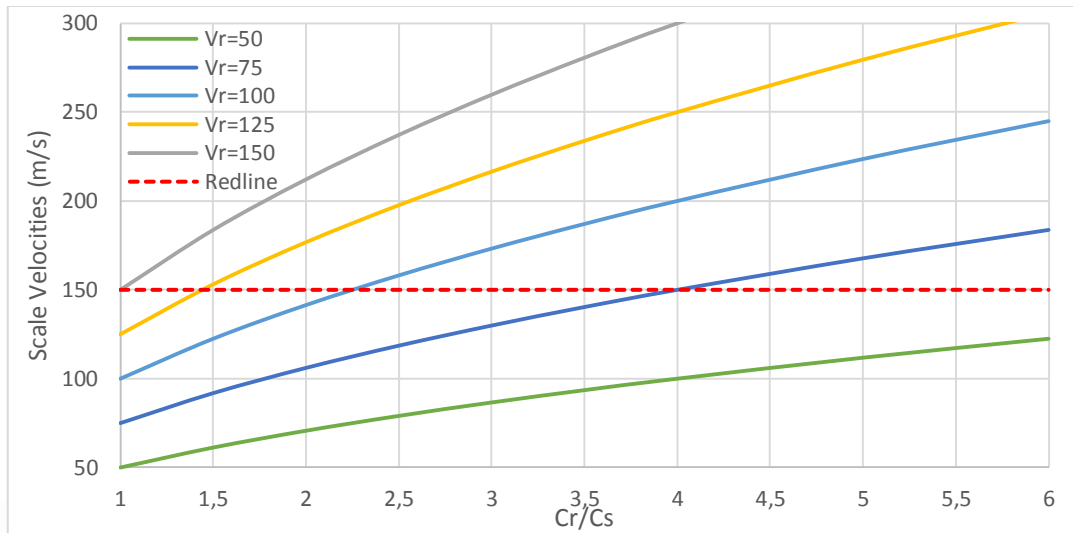


Figure 11: Velocity vs. scaling ratio

2.2.4. LWC

Comparison of Appendix C envelopes and generic spray bar calibration curve, highlights the limitations of current water spray nozzle technology used in icing wind tunnels. These air-atomizing nozzles, while allowing some control over water flow rate and droplet size, do not provide complete independence in achieving the desired liquid water content (LWC) and median volume diameter (MVD) ranges. As a result, the capabilities of icing wind tunnels in reproducing certain ranges of LWC and MVD are restricted. In detail, spray bars are struggled to replicate the high LWC and small MVD of the intermittent maximum icing envelope, as well as the low LWC and large MVD conditions in the Appendix C envelopes. In theory, increasing the number of spray nozzles could enhance the LWC for low MVDs. However, incorporating a larger number of spray bars and nozzle locations into the system would be challenging, as it would significantly complicate the spray-bar system and potentially lead to increased flow blockage and distortion²³.

Furthermore, the challenges encountered in obtaining liquid water content (LWC) values are evident. Previous studies in the literature have reported LWC values ranging from 0.1 to 3.0 g/m^3 in various icing wind tunnels. It is believed that these values can be achieved using standard spray bars. Consequently, in order to comply to the envelopes outlined in Appendix C, LWC values within the range of 0.1 to 3.0 g/m^3 were chosen. The accuracy of these selected values will be assessed through subsequent calculations.

2.2.5. MVD

When the model size is reduced, the droplet size decreases, and freestream velocity needs to be increased accordingly. Depending on the test equipment, there are limits on the minimum droplet size and maximum velocity that can be achieved steadily, and if the droplet size is too small, the droplets may not even impinge the surface. Supplying a minimum-size MVD is a problem. However, this problem could be solved at a certain level by a spray system and nozzle calibration. Obtaining practical minimum MVD size is essential to get precise and validated icing conditions in an icing wind tunnel. If the required MVD size fails to be produced, large-scale geometries and high-speed velocities in the test section must be supplied. However, these two conditions have their own physical constraints. In addition to the above, the scaling size determines almost all the values of the wind tunnel, together with all the icing physics parameters.

Figure 12 illustrates the relationship between the mean volume diameter (MVD) value and the scaling ratio. The decline in MVD values as the scaling ratio decreases indicates the limitations of the scaling ratio in comparing the smallest droplet size that the spray bar can generate. The red line in Figure 12 represents the minimum droplet diameter achievable, and upon analysis, it can be determined that the limitation for this issue is approximately 1/3 ($C_r/C_s = 3$). In the reference case, the scaling ratio also

increases for larger particle diameters. Consequently, an average scaling ratio of $\frac{1}{4}$ ($C_r/C_s = 4$) can be considered an acceptable limitation.

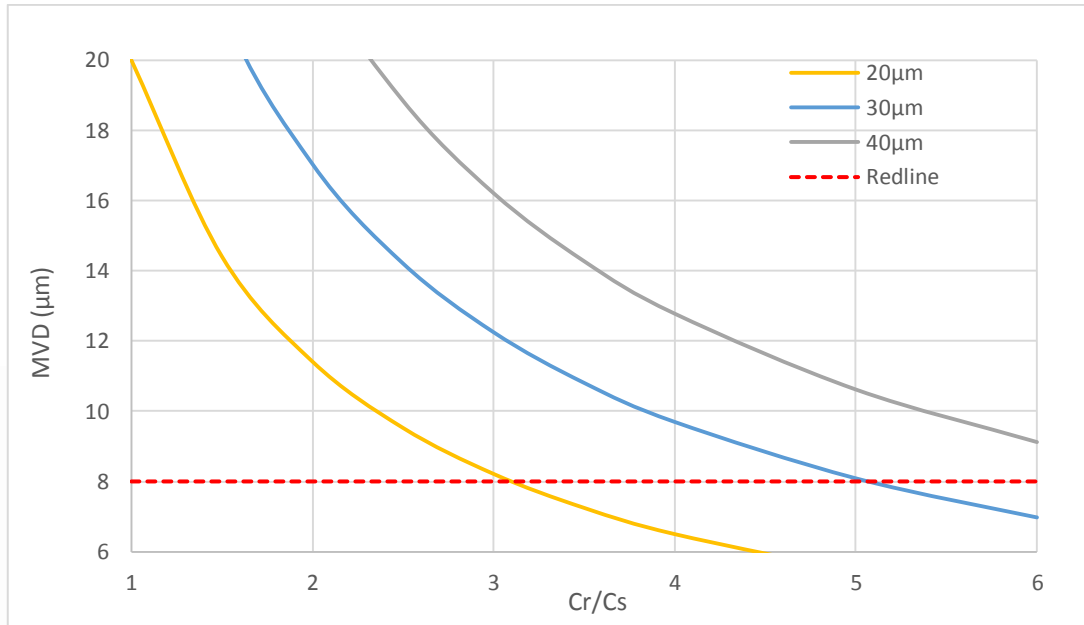


Figure 12: Droplet size distribution vs. scaling ratio

In addition, **Figure 13** shows that the scaling calculation made in this graph has very little effect on MVD and LWC values with different chord length but same scaling ratio. When the reference dimensions for the same cases are calculated with length, it is seen that the lines overlapped exactly for each MVD value. So, it can be easily said that values of Figure 14 is independent of characteristic length but dependent on test section air speed, in order to yield reasonable approach in this graph, worst case scenario, the highest airspeed (100 m/s) in test section is taken into account. For lower airspeed values, the upper part of the nozzle LWC lines stretches to higher values.

The limitations of the wind tunnel are determined by the physical characteristics of the icing formation are shown in the Figure 14. In addition, it is shown where it stands according to the cumuliform and stratiform envelopes defined by 14 CFR Parts 25 Appendix C. Here, 7 reference cases have been identified and scaling calculation performed for different scaling ratios. Scaling calculations of these cases were made and shown on the graph according to MVD and LWC parameters. The closed graphs with green dashed dots show two different spray nozzles of the NASA IRT which are model nozzle and spray bar nozzle. As can be clearly seen from the graph, at low MVD and high LWC values, the wind tunnel cannot be served for scaling application for this issue second scaling calculation should be performed to fit wind tunnel specification. However, this second approach could diverge the calculation. In order to fulfil the required specification for scaling application, a new spray bar design will be conducted. This will be analyzed and calculated in more detail under the wind tunnel design section and spray bar design subsection. It has been mentioned that the MVD value among the commercially available spray bars can go down to 8-micron levels. When this value is taken into account, it is seen that the scaling limitation is formed around $\frac{1}{3}$ or $\frac{1}{4}$ limitation for different MVD value at reference conditions.

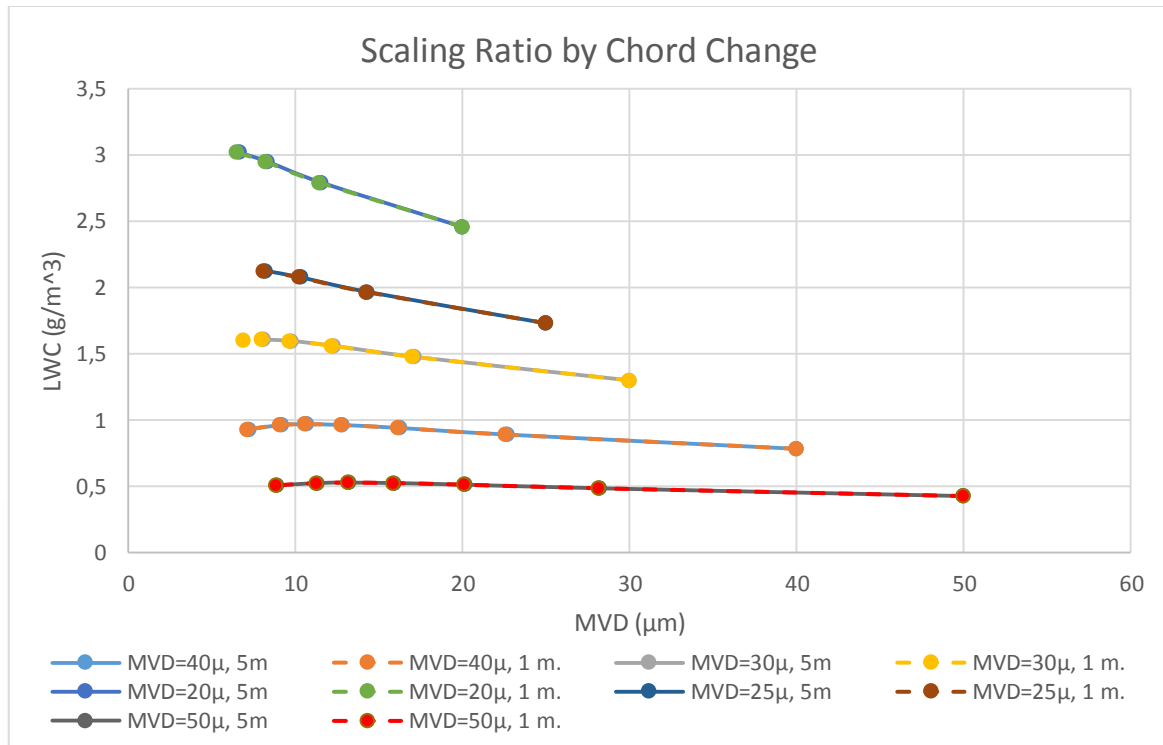


Figure 13: MVD and LWC values for different length

2.2.6. Turbulence Concerns

Icing wind tunnels typically have a higher level of turbulence compared to flight conditions. Although turbulence levels in natural ice accretion clouds have not been measured, they are assumed to be lower than those in wind tunnels. In icing wind tunnels, the equipment present, such as spray bars and heat exchanger, contribute to the formation of turbulence more clearly, and mesh screens are not used to reduce turbulence levels in all tunnels due to the potential for ice accumulation. For example, mesh screens are not used in the IRT. Higher turbulence levels tend to aid in the mixing of particles and should therefore assist in cloud homogeneity, but likely do not fully mimic nature. For speeds below 134 m/s, turbulence intensity in the IRT has been measured between 0.5% and 0.9% by several researchers without the operation of spray bars²⁴, compared to values below 0.1% in flights under non-icing conditions²⁵. An increase in turbulence can affect both aerodynamics (by increasing skin friction and advancing the boundary layer transition location) and ice accretion (by increasing local convective heat transfer rates). Therefore, heat transfer in wind tunnels has been shown to have higher heat transfer rates compared to flight conditions. The turbulence levels in icing wind tunnels and the resulting heat transfer values seem to impose a natural limit on their ability to fully simulate²³. Although the use of mesh screens is not observed in icing wind tunnels, due to the reasons mentioned above, it is anticipated that a lower number of mesh screens will be used to achieve a higher level of similarity, compared to the number used in high-standard wind tunnels

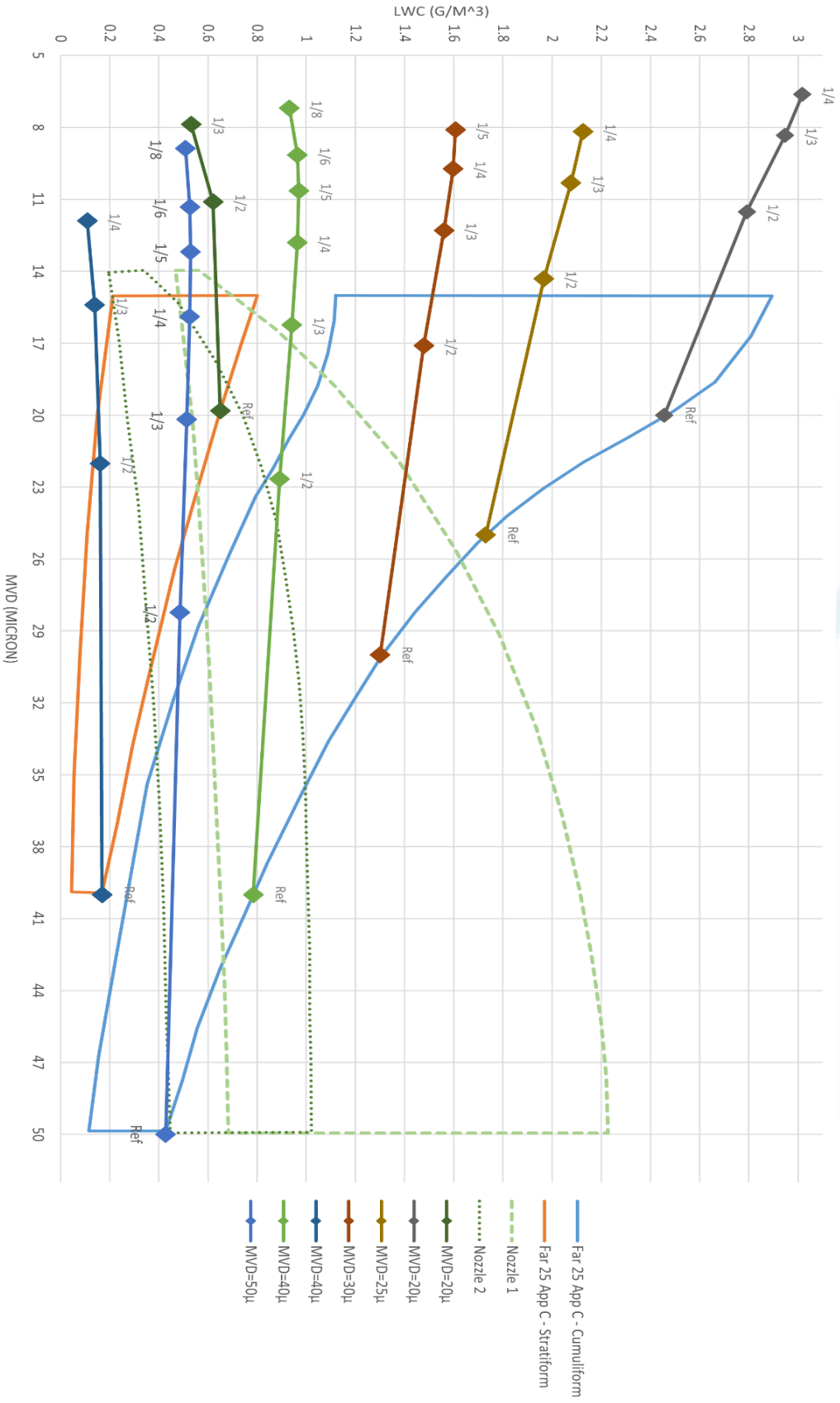


Figure 14: Limitation regarding MVD and LWC

3. Icing Wind tunnel parameters

Taking into account all the above-mentioned limitations, almost all the parameters necessary to determine the requirement characteristics of the wind tunnel have been determined. The few parameters that could not be determined are based on the values of the existing tunnels. In the following table most of the technical parameters are determined and introduced.

Table 19: Proposed Wind Tunnel Specification

Name	Value / Type	Unit
Company/Institute	Middle East Technical University	
Facility Name	Icing wind tunnel (IWT)	
Test Section	1000 x 1000	<i>milimeters</i>
Total Temperature	-30	<i>Celsius Degree</i>
Flow rate	360000	<i>m³/h</i>
Test Section Type	Closed with transparent glass	
Max A/F Chord	0.833	<i>meters</i>
V_{∞} at test section	100	<i>m/s</i>
Compressibility	Subsonic	
Humidity	100%	<i>RH</i>
MVD	8 – 50	<i>μm</i>
LWC	0.1 – 3	<i>g/m³</i>
Exposure Time	(Technical Specification derived in Chapter 4)	<i>second</i>
Mach	0.32	<i>unitless</i>
Reynolds Number	$3.09 * 10^6$	<i>per meter</i>
Pressure	Ambient	<i>Pascal</i>
Testing gas	Air & Liquid Nitrogen	
Type	Closed Circuit (Göttingen Type)	
Honeycomb	1 (Technical Specification derived in Chapter 4)	<i>Quantity</i>
Mesh Screen	2 (Technical Specification derived in Chapter 4)	<i>Quantity</i>
Turbulence intensity	<1% (without model and instrumentation)	<i>unitless</i>
Cloud Generation	Spray bar	
Cooling System	Heat exchanger with A/C unit and R404 gas. And liquid nitrogen injection if needed	
Driver Unit	250	<i>kW</i>
Motor Control	Variable Frequency System	

4. Conclusion

In this research, a comprehensive examination was conducted to explore the inherent scaling limitations present in the existing designs of icing wind tunnels. The analysis conducted in this study unveiled substantial constraints in accurately simulating real-world icing conditions, specifically in terms of spatial scaling, temperature regulation, and humidity content control.

Within this study, the limitations of icing parameters and requirements for the conceptual design of an icing wind tunnel are discussed and identified. In the first stage, existing wind tunnels were introduced, and a study of their technical data was carried out and a general technical specification was determined.

In the next section, a detailed study on the limitations of the icing wind tunnel is carried out and the capability of the icing wind tunnel and their impact on the design is studied. The App C icing envelopes made by NASA on this subject were also included in the requirements of this study, and studies were continued on a generally accepted design. The hardware and microphysical limitations of icing were also included in the work, limiting the dimensional and technical specifications of the important components of the icing wind tunnel. Finally, with the scaling studies and the spray nozzle features of the NASA IRT wind tunnel, a general schematic was introduced, and the scope of the icing wind tunnel was visually determined. The results of all these studies were combined and a proposed icing wind tunnel specification was presented.

Nevertheless, it is crucial to recognize the limitations of this study, which encompassed a limited range of tunnel designs and icing conditions that were analyzed. Future investigations could expand the scope by incorporating additional factors, such as diverse forms of ice formation and a broader spectrum of atmospheric conditions.

5. References

- [1] Oleskiw M, Hyde F, Penna P. In-flight icing simulation capabilities of NRC's altitude icing wind tunnel. In: 39th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. ; 2001:94.
- [2] Potapczuk MG. Aircraft icing research at NASA Glenn research center. *J Aerosp Eng.* 2013;26(2):260-276.
- [3] Bansmer SE, Baumert A, Sattler S, et al. Design, construction and commissioning of the Braunschweig Icing Wind Tunnel. *Atmos Meas Tech.* 2018;11(6):3221-3249.
- [4] Chanetz B. A century of wind tunnels since Eiffel. *Comptes Rendus - Mecanique.* 2017;345(8):581-594. doi:10.1016/j.crme.2017.05.012
- [5] Klemenkov GP, Prikhod'Ko YM, Puzyrev LN, Kharitonov AM. Modelling of icing of flying vehicles in climatic wind tunnels. *Thermophysics and Aeromechanics.* 2008;15(4):527-536. doi:10.1007/s11510-008-0001-7
- [6] Klemenkov GP, Prikhod'Ko YM, Puzyrev LN, Kharitonov AM. Modelling of icing of flying vehicles in climatic wind tunnels. *Thermophysics and Aeromechanics.* 2008;15(4):527-536. doi:10.1007/s11510-008-0001-7
- [7] Anton P, Gritton E, Mesic R, Steinberg P. Do NASA's Wind Tunnel and Propulsion Test Facilities Serve National Needs? RAND NATIONAL DEFENSE RESEARCH INST SANTA MONICA CA; 2020. doi:10.7249/rb9066
- [8] Oleskiw MM, Hyde FH, Penna PJ. In-flight icing simulation capabilities of NRC's altitude icing wind tunnel. In: 39th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. ; 2001:94. doi:10.2514/6.2001-94
- [9] Vecchione L, De Matteis PP, Leone G. An overview of the CIRA Icing Wind Tunnel. In: 41st Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. ; 2003:900. doi:10.2514/6.2003-900
- [10] Chintamani S, Delcarpio D, Langmeyer G. Development of Boeing Research aerodynamic icing tunnel circuit. In: AGARD Conference Proceedings. ; 1997:1-8.
- [11] Of C. Icing wind tunnel. Published 2010. Accessed October 18, 2022. <https://www.rta.eu/en/facility/customer-area/icing-wind-tunnel-iwt>
- [12] Herman E. Goodrich icing wind tunnel overview, improvements and capabilities. In: Collection of Technical Papers - 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting. Vol 14. ; 2006:10300-10307. doi:10.2514/6.2006-862
- [13] Ai-Khalil K, Salamon L, Tenison G. Development of the Cox icing research facility. In: 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. ; 1998:97. doi:10.2514/6.1998-97

- [14] Bansmer SE, Baumert A, Sattler S, et al. Design, construction and commissioning of the Braunschweig Icing Wind Tunnel. *Atmos Meas Tech.* 2018;11(6):3221-3249. doi:10.5194/amt-11-3221-2018
- [15] Alun Jones WLC. Technical Note No. 1855 : Recommended Values of Meteorological Factors to Be Considered in the Design of Aircraft Ice-Prevention Equipment. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION MOFFETT FIELD CA AMES ...; 1949. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjDvcLJkrmrAhUml4sKHawwBg8QFjAAegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Fnaca.central.cranfield.ac.uk%2Freports%2F1949%2Fnaca-tn-1855.pdf&usg=AOvVaw1CI-FOBcC3Sr-YALq6frn>
- [16] Lewis W, Bergrun NR. A Probability Analysis of the Meteorological Factors Conducive to Aircraft Icing in the United States. National Aeronautics and Space Administration Washington DC; 1952.
- [17] U.S. Government Publishing Office. Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes. 14 CFR Ch I (1-1-16 Edition) Part 25. Published online 2016. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2016-title14-vol1/pdf/CFR-2016-title14-vol1-part25.pdf%0Ahttps://www.govinfo.gov/>
- [18] Jeck RK. Icing Design Envelopes (14 CFR Parts 25 and 29 , Appendix C) Converted to a Distance-Based Format. *Regulation.* 2002;(April):55.
- [19] SOEDER R, SHELDON D, ANDRACCHIO C, IDE R, LALLIN, SPERA D. NASA Lewis icing research tunnel user manual. Published online 1996.
- [20] Bansmer SE, Baumert A, Sattler S, et al. Design, construction and commissioning of the Braunschweig Icing Wind Tunnel. *Atmos Meas Tech.* 2018;11(6):3221-3249. doi:10.5194/amt-11-3221-2018
- [21] Anderson DN. Manual of scaling methods. NASA CR. 2004;212875.
- [22] Anderson DN. Acceptable tolerances for matching icing similarity parameters in scaling applications. In: 39th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. ; 2001:832. doi:10.2514/6.2001-832
- [23] DEVELOPMENT FAAACNJAANDASRAND. Capabilities and Prospects for Improvement in Aircraft Icing Simulation Methods: Contributions to the 11C Working Group. Published online 2001.
- [24] Henze C, Bragg M, Kim H. Freestream turbulence measurements in icing conditions. In: 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. ; 1998:96.
- [25] Poinatte PE. Heat Transfer Measurements from a NACA 0012 Airfoil in Flight and in the Nasa Lewis Icing Research Tunnel. NASA; 1990.

Makale id= 64

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0003-6070-5491

| 57

Terahertz (THz) Sinyal Seviyesinde Çalışan Dikey Şeritlere Sahip Kare Paternli Meta Malzeme Soğurucunun Çift Katlı Elektromanyetik Ekran Tasarımı**Araştırmacı İlhan Daşdemir¹, Dr. Öğretim Üyesi Abdulkerim Öztekin¹**
¹Batman Üniversitesi

Corresponding author: İlhan Daşdemir

Özet: Terahertz (THz) frekansındaki sinyaller yüksek nüfuz etme gücü, uygulama güvenliği, yüksek sinyal-gürültü oranı ve düşük iletim kaybı gibi pek çok özelliğe sahiptir. Ayrıca, daha geniş bant genişliği sayesinde, THz frekansında çalışan radarlar diğer radarlara kıyasla daha yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Bu özelliklere sahip olmasından dolayı THz frekans bandında çalışan bir radar, otomatik algılama ve gizli objeleri tespit etmede daha etkili olabilmektedir. Bu avantajlar göz önünde bulundurulduğunda, THz radar kullanımının artarak önceki radarların yerini alması kaçınılmazdır. Bununla beraber, özellikle askeri teknolojide, radara yakalanmadan hareket etme yeteneği günümüzde büyük bir önem kazanmıştır. Normal şartlarda THz radarlara karşı görünmezlik sağlayabilecek soğurucu malzemeler bulmak oldukça güçtür, zira doğal malzemeler THz frekansındaki sinyallere karşı zayıf bir etkiye sahiptir. Meta malzemeler, dielektrik özellikleri laboratuvar ortamında yapay olarak değiştirilmiş malzemelerdir. Meta malzemeler genellikle askeri alanlarda uçak, gemi ve denizaltı gibi araçların kaplamalarında kullanılarak radar sistemlerine yakalanma olasılığını neredeyse sıfıra düşürüp bu sayede istenilen görünmezliği sağlayabilmektedir. Bu tez çalışmasında, meta malzeme kullanılarak Terahertz (THz) seviyesinde çalışabilecek bir elektromanyetik ekran tasarımı üzerine odaklanılmıştır. Tasarım tamamen özgün bir tasarım olup en yüksek soğurma değerini elde edebilmek için çeşitli simülasyon denemeleri sonucunda meydana getirilmiştir. Çalışmanın amacı, hedeflenen soğurma değerini elde edebilecek bir ekran tasarımı geliştirmektir. Prototip tasarım üzerinde yapılan simülasyonlar, %99.98 gibi yüksek bir soğurma oranı elde edildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Meta Malzeme, Terahertz Radar, Soğurucu, Radarda Görünmezlik

Design of a Metamaterial Absorber Operating At Terahertz (Thz) Frequency

Abstract: Signals in the Terahertz (THz) frequency range have many characteristics, such as high penetration power, application security, high SNR, and minimum transmission loss. Furthermore, thanks to its wider bandwidth, THz frequency radar systems enable higher resolution imaging compared to other radars. Due to these advantages, radar systems operating in the THz frequency band can be more effective in automatic detection and detecting hidden objects. Considering these advantages, it is inevitable that THz radar usage will increase and eventually replace previous radar systems. However, the ability to move without being detected by radar has become crucial, especially in military technology. Under normal circumstances, finding absorptive materials that can provide invisibility against THz radar is quite challenging, as natural materials have a weak effect on THz signals. Metamaterials are artificially engineered materials with modified dielectric properties in laboratory settings. Metamaterials are commonly used in military applications for coating vehicles such as aircraft, ships, and submarines, reducing the probability of being detected by radar systems and achieving the desired invisibility. In this thesis, the focus is on designing an electromagnetic screen that can operate at the Terahertz (THz) level using metamaterials. The design is completely original and has been created through various simulation experiments to achieve the highest absorption value. The purpose of the study is to advance a screen design that can achieve the targeted absorption value. Simulations conducted on the prototype design demonstrate a high absorption rate of 99.98%.

Keywords: *Metamaterial, THz Signal, Absorber, Stealth*

1. GİRİŞ

Terahertz frekans bandında haberleşme teknolojisi son yıllarda sistematik bir şekilde hızla artış göstermektedir. Daha geniş bir bant genişliğine sahip olmasından dolayı THz radarlar normal radarlara göre daha yüksek netlikte görüntü elde edilmesine imkân vermektedir. Yüksek çözünürlüklü THz frekans bandında çalışan bir radar, otomatik algılama ve gizli objeleri ayırt edebilme gibi çalışmalarda daha etkin olacaktır. Son zamanlarda daha çok gelişen bu teknoloji, güvenlik ve izleme alanlarında kullanılan çiplerin üretiminde çığır açmıştır [1]. Daha kısıtlı alan ve güç tüketimine karşın daha yüksek üretkenlik isteği THz seviyesinde yapılan çalışmaların hızlanmasını sağlamıştır. THz sinyali kullanılan yüksek çözünürlüklü görüntüleme radarları, hava savunma sistemleri, hava aracı çarpışma önleyici sistemleri, insan yapımı radara yakalanmayan silah sistemleri gibi sistemlerin teşhis edilmesinde büyük bir potansiyele sahiptirler [2-4]. Daha kısa dalga boyuna sahip THz sinyali daha geniş dalga boyuna sahip sinyale göre daha yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağladığı için daha kullanışlı durumdadır [5].

Radar dalgaları dalga boyuna ve hedefin şekline göre çeşitli şekillerde saçılırlar. İlk kullanılan radarlarda hedefe nazaran çok uzun dalga boyları kullanılmıştır ve bu da gelen sinyalin çok dağılmasına sebep vermiştir. Buna karşın yeni nesil radarlarda (THz radarlar) daha kısa dalga boyu (bir kaç santimetre veya daha az) kullanılmaktadır böylece ekmeğin üzerindeki susama kadar net bir görüntü elde edilebilmektedir [6-9].

Askeri alanda kullanılan araçların radarda görünürlüğü THz seviyesi radarlarda yukarıda bahsedilen sebeplerden ötürü daha nettir. Fakat gelen dünyada askeri teknolojide radarda görünmeden hareket etmek büyük önem kazanmıştır. Radarda görünmezlik gelen sinyalin soğurulması ya da kırılması ile mümkün olacaktır. Bu soğurma veya kırılma işlemi doğada bulunan doğal malzemelerle yapılamamaktadır. Bunun için laboratuvar ortamında tasarlanmış, dielektrik katsayısı değiştirilmiş, isteğe göre iletken veya yalıtkan özellik taşıyabilen malzemeler üretilmiştir. Bu malzemelere meta malzeme denmektedir [10]. Normal şartlarda THz seviyesinde çalışabilecek ürün üretmek zordur, zira bu seviyelerde THz dalgasına maruz kalan doğal olan malzemeler çok zayıf kalmaktadır. Bu sebeple meta malzemeler üretilmiş ve durumu tamamen değiştirmiştir [11]. THz seviyesinde güçlü bir soğurma elde edilebilecek malzemenin doğal olarak bulunamamasından dolayı son zamanlarda THz seviyesinde meta malzemeler ile ilgili çalışmaların sayısı çokça artmıştır [12-17].

Meta malzemeler, doğada görülen yapılarda bulunmayan elektronik, elektromanyetik özelliklere sahip olacak şekilde yapay olarak laboratuvar ortamında üretilmiş malzemelerdir. Bu alışılmadık dışında bükülme olarak adlandırdığımız durum meta malzeme içine yerleştirilen minik implantlar sayesinde gerçekleştirilmektedir [18]. Bu implantlar bize ışını bükme ve istediğimiz şekilde yönlendirme imkânı sağlamaktadır. Bu da ışığı istediğimiz şekilde kullanabileceğimiz anlamına gelmektedir. Meta malzemelerin kırılma açısı eksi değerlik almaktadır. Malzemeye çarpan elektromanyetik dalganın geliş açısı ile enerji akışı aynı yönde kalmaktadır, yani dalga vektörü ve enerji akışı zıt yönlüdür. Meta malzemeler dielektrik veya metal elemanların dalga boyuyla oluşmuş yapay ortam olarak tanımlanır ve doğada bulunmayan elektromanyetik özellikler sergilerler. Meta malzemeler malzemelerin uygun tasarımıyla oluşmakta ve elektromanyetik dalga ile etkileşimleri sonucunda alışılmadık özellikler göstermektedirler. Başka bir deyişle, dielektrik sabiti her yönden farklılık göstermektedir. Geometrisi, büyüklüğü ve düzeni, ışık ve sesle doğada görülmeyen bir şekilde etkileşebilir. Meta malzemelerin genel olarak kullanım yöntemleri, gelen sinyalin geliş açısının kırılması ya da sinyalin soğurulması şeklindedir [19, 20].

Son yıllarda meta malzemelerin üretiminde çok hızlı gelişmeler olmuş ve yeni platformlarda kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin, elektromanyetik ya da optik ürünler [21], modülatörler [22], filtreler [23], antenler [24] vb. Fakat meta malzemenin en güzel soğurma örnekleri ilk olarak Landy ve arkadaşları tarafından bilim dünyasına sunulmuştur [25]. Daha sonra çok fazla tasarım [26] denenmiş ve her birisinde farklı paternlerle farklı soğurma oranları elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, farklı bir patern tasarlanmış ve bu paterne ait maksimum soğurma değerlerinin hangi frekanslarda gerçekleştiği simülasyonlarla test edilmiştir. Öncelikle tek katman olarak bir tasarım elde edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonrasında soğurma oranını daha fazla artırmak için

tasarım çift kat olarak denenmiş ve soğurma oranının maksimuma ulaştığı gözlemlenmiştir. Çift katlı tasarımda kullanılan malzemenin farklı kalınlık değerleri için farklı sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar çalışmada sunulmuştur. En yüksek soğurmanın elde edildiği kalınlık değeri esas alındığında, bu çalışmada %99.9'dan daha fazla bir soğurma elde edildiği gözlemlenmiştir

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde elektromanyetik soğurucular üzerine daha önce gerçekleştirilmiş farklı çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalardan bir kısmı maksimum soğurma değerini ele alırken bazıları ise bant genişliğini uzun tutmak üzere yapılmış çalışmalardır. Aşağıda bu çalışmalardan bazılarından bahsedilmektedir.

You Li ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmalarında çift fonksiyonlu dinamik olarak ayarlanabilir soğurma metodunu kullanmıştır. 1.545 THz ve 3.21 THz frekanslarına sahip iki rezonans zirvesini %93.8 ve %99.4 oranında soğurma elde ederek çalışmayı başarmışlardır. Lazer pompasında bulunan foto sensitif silikonun iletkenliğini ayarlayarak 1.525 THz ve 2.79 THz olmak üzere 2 tane zirve frekansı değiştirebilmişlerdir [26]. Yongzhi Cheng, ve arkadaşları bu çalışmada THz bölgesinde çift ve geniş bantta çalışan kompakt kıvrımlı kablo rezonatör yapıya sahip meta materyal soğurucu tasarımı sunmuşlardır. Çalışmaya göre 1.19 THz ve 1.64-2.47 THz seviyelerinde %90 civarında soğurma elde edilebilmişlerdir. Çalışma temel olarak tasarlanan yapıda elektrik ve manyetik rezonans cevabının karışımlarından meydana gelmektedir [17]. Hao Pan ve arkadaşları çalışmalarında ayırık ve sürekli spiral topolojik dağılımlı yuvarlak rezonatör paterne sahip geniş bant THz soğurucu üzerine çalışmışlardır. Spiral yapının ayırık olması, soğurma bandını geniş tutabilmek için tercih edilmiştir. Ekip 2 katmanı belirli bir oranda istifleyerek, 2.57–5.19 THz seviyelerinde enerji kaybını artırmış fakat %90'ın üzerinde bir soğurma elde etmeyi başarmıştır. (Pan ve ark., 2021). Bu çalışma genel anlamda incelendiğinde en yüksek soğurma oranı olan %90 üzeri değerin, sinyalin geliş açısının 20 derecenin altında ve frekans aralığının 2.5–5.6 THz arasındaki (4.95–5.1 THz değerleri hariç) değerler arasındaki durumlarda olduğu gözlemlenmektedir [11].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

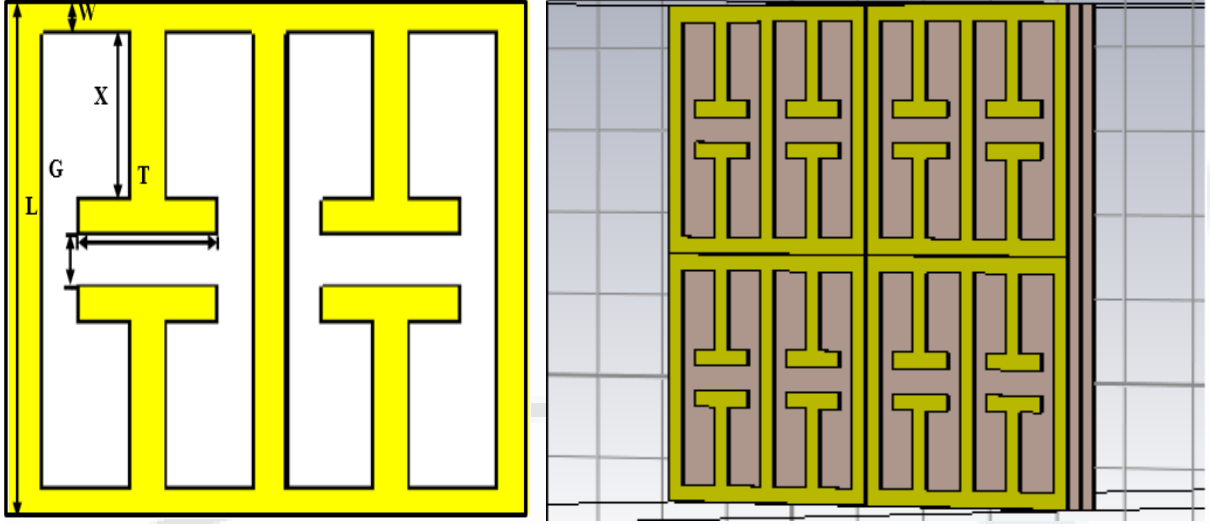
Bu tasarımda diğer benzer çalışmalarda da kullanılan Computer Simulation Technology (CST) adlı simülasyon programı kullanılmıştır. CST, elektromanyetik alanların simülasyonu ve analizi için kullanılan bir yazılım paketidir. CST, mikrodalga, RF, optik ve parçacık ışınımları gibi farklı frekans aralıklarında elektromanyetik davranışların modellenmesi için kullanılan bir araçtır. Öncelikle tasarımı özgün yeni bir patern geliştirilmiş ve tasarlanan meta malzeme THz seviyesinde sinyallere farklı değerlerde maruz bırakılarak malzemenin gerçekleştirdiği soğurma oranları simüle edilmiştir.

Desen önce tek katlı olacak şekilde tasarlanıp, daha sonra tasarlanan bu ürün yan yana ve üst üste eklenerek çift katlı bir elektromanyetik ekran elde edilmiştir. Gerçekleştirilen simülasyonlarda, deneme yanılma yöntemiyle farklı frekanslarda elde edilen soğurma oranları hesaplanarak bunun maksimize edilmesi sağlanmıştır. Çok katlı soğurucu tasarımında maksimum soğurmanın gerçekleştiği frekans yanı sıra bant genişliği belirlenerek en uygun soğurucu tasarımı elde edilmeye çalışılmıştır.

Tasarım 3 kısımdan oluşmaktadır. En üst tabakada Şekil 1'de gösterilen patern kullanılmış olup bakırdan oluşmaktadır. L uzunluğu, W genişliği, G şeritler arası boşluğu, X orta şeridin dikey uzunluğunu, T orta şeridin yatay uzunluğunu, FR4 kullanılan substrat malzemeyi ve bakır ise en alt tabakayı ifade etmekte olup parametreler Tablo 1'de gösterilmiştir. FR4, cam elyaf takviyeli epoksi laminat (Glass Epoxy) malzemeden yapılan bir levhadır. Elektronik devrelerde yaygın olarak kullanılan bir yalıtkan malzemedir. Bu malzeme, yüksek mukavemet, termal direnç, düşük dielektrik kaybı ve elektriksel yalıtım özellikleri sunar. Bu elde edilen yeni şeklin yan yana ve üst üste eklenmesi ile çift katlı bir elektromanyetik ekran tasarımı elde edilmiştir. Elde edilen tasarım yana ve alta eklenerek tek katlı meta malzeme soğurucu tasarımının tek katlı nihai hali belirlenmiştir. Tek katmanlı malzeme 2 katmanlı hale getirilerek istenen çift katmanlı meta malzeme soğurucu tasarlanmıştır ve Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tasarıma ait parametre bilgileri

Parametre	L	X	T	G	W	FR4	Bakır
Uzunluk	15 µm	6 µm	4,15 µm	3,7 µm,	2,1 µm	30,1 µm	30,1 µm
Kalınlık	0,33 µm	0,33 µm	0,33 µm	0,33 µm	0,33 µm	1,6-1,9 µm	0,33 µm

**Şekil 1.** Tek ve çift katlı olarak elde edilen tasarımın görüntüsü

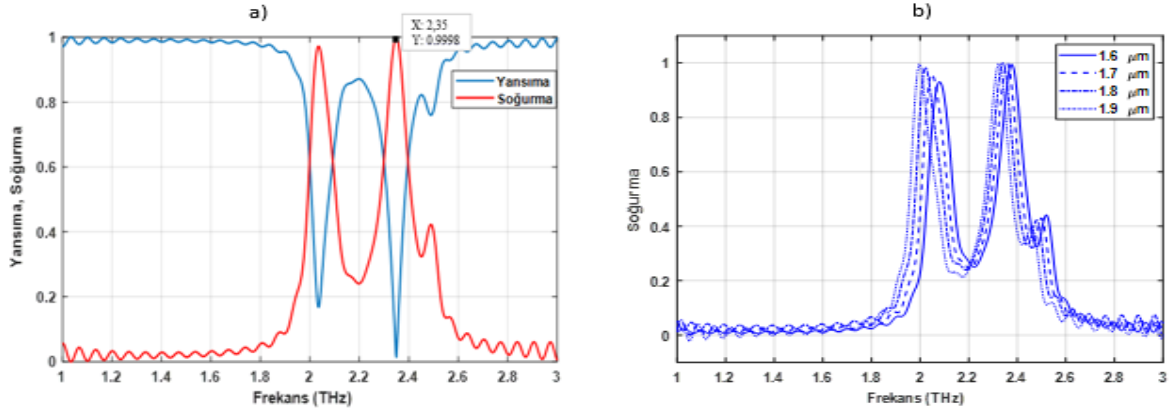
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Yapılan simülasyonlar sonucunda FR4 kalınlığı 1,75 µm olan çift katmanlı bir meta malzeme soğurucunun en yüksek soğurma değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Çift kat soğurucu tercihi, gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre en yüksek soğurmanın çift katmanlı yapıda elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Çift katmanlı soğurucuda en yüksek soğurmanın elde edildiği 1.75 µm kalınlığa ait yansımaya ve soğurma grafikleri ise Şekil 2.a'da gösterilmiştir. Ayrıca orta tabakada bulunan FR4 substratın kalınlığı değiştirilerek farklı kalınlık şartları altında soğurma başarısı test edilmiş ve değerler Tablo 2'de, sonuçlar ise Şekil 2.b'de gösterilmiştir.

$$A_{((\omega))}=1-R_{((\omega))}-T_{((\omega))}=|S_{11}|^2-|S_{21}|^2 \quad (1)$$

Soğurma denklem (1)'de verilen formüle göre hesaplanmaktadır [19]. Bu formülde, $A(\omega)$ soğurma, $R(\omega)$ yansımaya ve $T(\omega)$ iletim katsayılarını temsil eder. Meta malzemenin alt tabanının tamamen bakır ile kaplı olduğu ve gelen dalgaların normal açıyla geldiği varsayıldığında, iletilen bir dalga olmadığı için, soğurma formülü basitçe $1-|S_{11}|^2$ şeklinde hesaplanabilir.

Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere, çift katmanlı yapıda gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre, maksimum soğurma oranı artarak 2.35 THz seviyelerinde yaklaşık 0.9998'e, yani %99.98'e yükselmiştir. Aynı zamanda, 2.03 THz seviyesinde ise yaklaşık 0.972, yani %97.2 oranında bir başka maksimum soğurma elde edilmiştir. Soğurucunun çift katlı olarak tasarlanması iki adet yerel maksimum soğurmaya sebebiyet vermiştir.



Şekil 2. a) FR4 kalınlığı 1.75 μm olan çift katlı meta malzeme soğurucuya ait yansımaya ve soğurma grafiklerinin MATLAB programında gösterimi **b)** Çift katlı meta malzeme soğurucunun farklı FR4 kalınlıklarına ait soğurma grafikleri

Tablo 2. Substrat kalınlığına bağlı olarak elde edilen maksimum soğurma oranları ve frekans değerleri

Kalınlık	1.6 μm	1.7 μm	1.75 μm	1.8 μm	1.9 μm
Çift kat Soğurma Oranı	%99.46	%99.91	%99.98	99.96	%99.70
Frekans Değeri	2.28 THz	2.31 THz	2.35 THz	2.34 THz	2.32 THz

Substrat kalınlığına bağlı olarak elde edilen maksimum soğurma oranları ve frekans değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2’den de görüleceği üzere, bu tasarım özelinde substratın kalınlığı belli bir seviyeye kadar arttıkça soğurma oranında artış gözlemlenmektedir. Maksimum soğurma oranı, FR4 substratın 1.75 μm kalınlığına sahip olduğu durumda elde edilmektedir. Ancak, kalınlık daha da artırıldığında soğurma oranı tekrar azalmaktadır. Bu çalışmada sunulan değerler maksimum soğurma oranının elde edildiği duruma göre sunulmuştur. 2.01-2.08 THz ve 2.31-2.38 THz aralıklarında %80'nin üzerinde bir soğurma gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Özellikle 2.03 THz'de %97.2 ve 2.35 THz'de %99.98 olmak üzere iki maksimum soğurma noktası belirlenmiştir. Soğurma değerinin %80 ve üzerinde olduğu ve başarılı sayılabilecek bir frekans bandı dikkate alındığında, soğurma bant genişliği 70 GHz olarak hesaplanmaktadır. Bu noktada, soğurucunun çift katlı olarak tasarlanmasının iki yerel maksimuma sahip soğurmaya sebebiyet verdiği çıkarımı yapılabilir. Daha çok katmanlı tasarım bu çalışmamızda henüz test edilmemiş olmakla birlikte, çok katlı ekran tasarımının, çift katlı tasarımda olduğu üzere, yerel maksimum soğurmalar oluşturarak etkili soğurma bant genişliğini arttırabileceği düşünülmektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında gelişen teknoloji ve askeri ihtiyaçlar doğrultusunda, askeri erken ihbar radarlarının GHz seviyelerinden THz seviyelerine geçiş yapması düşünülmektedir. Bu geçişin amacı, daha net görüntü elde etmek ve daha etkili bir şekilde hedefleri tespit etmektir. Ancak, bu gelişmeyle birlikte radarlara karşı önlem almak da önem kazanmaktadır.

Bu tasarımın radarlara karşı görünmezlik sağlamada veya radarda algılanmayı minimize edecek potansiyele sahip olduğu değerlendirilmektedir. Tasarlanan bu soğurucu malzeme sayesinde, çift katmanlı ekran tasarımında 2.35 THz 'de maksimum %99,98 oranında soğurma sağlanmıştır. Bu da radarın hedeflediği nesnelere (örneğin savaş uçakları, denizaltılar, gemiler) bu soğurucu malzeme ile kaplanması durumunda, radarın gönderdiği sinyalin %99,98 'inin absorbe edileceği ve neredeyse radarda görünmez olacağı anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, radar sistemi, varlığına rağmen herhangi bir

nesne tespiti yapamaz. Bu tasarımın, askeri alanda gizlilik ve güvenlik açısından önemli bir adım olabileceği ve gelecekteki radar teknolojilerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma maksimum soğurma elde etmeyi öncellediğinden, etkin bant genişliği ikinci planda tutulmuştur. Ancak, çalışmayı ileri aşamaya taşımak isteyenler için tasarımın bant genişliğini artırmak amacıyla paternde şekilsel değişikliklerin denenmesi mümkündür. Bu şekilsel değişiklikler, malzemenin geometrisinde veya yapısal özelliklerinde yapılabilir. Bant genişliğini artırmak, tasarımın daha geniş bir frekans aralığında etkili olmasını sağlar. Bu durumda, maksimum soğurma seviyesi belki daha düşük olabilir, ancak tasarımın daha geniş bir frekans aralığında etkili olması önemli bir avantaj sağlayabilir.. Bu değişiklikler malzeme yapıları, katman sayısı, geometri parametreleri veya başka özellikler üzerinde odaklanılarak yapılabilir. Bu şekilde, tasarımın bant genişliği artırılarak daha geniş bir frekans aralığında etkili olması hedeflenebilir. Ancak, bant genişliğini artırmanın maksimum soğurma seviyesini etkileyebileceği de unutulmamalıdır.

Ayrıca çalışmada maliyet etkinlik dikkate alınarak bakır kullanılmıştır. Bakır, genellikle elektrik iletkenliği yüksek olan ve yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Bu nedenle bakırın tercih edilmesi maliyet açısından avantajlı bir durumdur. Ancak, bazı çalışmalarda altın gibi daha yüksek iletkenlik özelliklerine sahip malzemelerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Altın, bakıra göre daha yüksek bir elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu nedenle, altın kullanılması durumunda aynı tasarımla daha iyi sonuçlar elde etmek mümkün olabilecektir. Altın gibi yüksek iletkenlik özelliklerine sahip malzemelerin kullanılması, genellikle daha düşük kayıplar ve daha etkili bir elektriksel performans sağlayabilir. Ancak, altının maliyeti bakıra göre daha yüksek olduğu için maliyet etkinlik açısından tercih edilebilirliği tartışılabilir.

Gerçekleştirilen bu tasarımın, literatürde yer alan diğer tasarımlarla kıyaslandığında, daha basit bir geometriye sahip olduğu ve dolayısıyla fiziksel olarak gerçekleştirilmesi bakımından daha kolay ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Bu da tasarımın diğer bir avantajı olarak değerlendirilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Kaustubh Bhattacharyya, Rima Deka, Sunandan Baruah “Automatic RADAR Target Recognition System at THz Frequency Band” published in December, 2017.
- [2] C. H. Wilcox, “The synthesis problem for radar ambiguity functions” Math Res. Center, U.S. Army, Univ. Wisconsin, Madison, WI, MRC Tech. Summary Rep. 157, April, 1960.
- [3] K. Bhattacharyya, K. K. Sarma, “signal processing for design of ANN based automatic target recognition (ATR) system” February, 2012.
- [4] K. B. Cooper, R. J. Dengler, Nuria Lombart, B. Thomas, G. Chattopadhyay, P. H. Siegel, “THz imaging radar for stando personnel screening” IEEE Transaction on Terahertz Science and Technology September, 2011.
- [5] Y. Wu, ZhengwuXu, J. Li, “Terahertz radar signal for heart and breath rate detection based on time-frequency analysis, Communications, Signal Processing and Systems, Lecture Notes in Electrical Engineering” 202, Springer science business Media New York, 2012.
- [6] M. I. Skolnik, “Opportunities in radar, Electronic, Communication and Engineering” Journal (ECEJ), IEEE December, 2002, 263-272.
- [7] Siegel, “Terahertz technology” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 50 March, 2002 910-928.
- [8] I. F. Akyildiz, J. M. Jornet, C. Hana, “Terahertz band:Next frontier for wireless communications” Physical Communication 12, 2014, 1632.
- [9] Rasoul Alaee, “Perfect absorbers on curved surfaces and their potential applications”, optics express, Vol. 20, No. 16, July, 2012, 18370.
- [10] Y. Liu and X. Zhang, “Metamaterials: a new frontier of science and technology” Chem. Soc. Rev. 40(5), 2494–2507, 2011.

- [11] Hao Pan, Haifeng Zhang, Xingliang Tian, and Dan Zhang “Broadband terahertz absorber with gradient ring resonators based on a discrete spiral topological distribution” published February 12, 2021
- [12] P. H, “Metamaterial-Based High-Efficiency Wireless Power Transfer System at 13.56 MHz for Low Power Applications progress In Electromagnetics” Research B, Vol. 72, 17-30, 2017
- [13] Hyodo, “Comparison of magnetic response between dielectric metamaterials and ferromagnetic materials, toward application to microwave absorbers” Jpn. J. Appl. Phys. 60, 040901, 2021.
- [14] P. Zamzam and P. Rezaei, “A terahertz dual-band metamaterial perfect absorber based on metal-dielectric-metal multi-layer columns” Opt. Quantum Electron. 53, 109, 2021.
- [15] Y.-Q. Tong, S.-Y. Wang, X.-X. Song, L. Yang, J.-Q. Yao, Y.-X. Ye, Y.-P. Ren, Y.-T. Zhang, S.-S. Xin, and X.-D. Ren, “Multiband tunable terahertz absorber based on metamaterial” J. Infrared Millim. Terahertz Waves 39, 735, 2020.
- [16] S.-T. Huang, S.-F. Hsu, K.-Y. Tang, T.-J. Yen, and D.-J. Yao, “Application of a terahertz system combined with an x-shaped metamaterial microfluidic cartridge” Micromachines 11, 74, 2020.
- [17] Yongzhi Cheng, Haijun Zou, Jiaji Yang, Xuesong Mao and Rongzhou Gong “Dual and broadband terahertz metamaterial absorber based on a compact resonator structure” published September 12, 2018
- [18] Meta malzemeler. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Metamalzeme>
- [19] Yongzhi Cheng, “A polarization-insensitive and omnidirectional broadband terahertz metamaterial absorber based on coplanar multi-squares films”, Optics & Laser Technology, 48, December, 2012, 415–421N.
- [20] Aniolezyk H., Koprowka J., Mamrot P., Lichawska J. “Application of Electrically Conductive Textiles as Electromagnetic Shields in Physiotherapy”, Fibres&Textiles in Eastern Europe, Vol.12, No,4(48), 2004.
- [21] X. He, X. Zhong, F. Lin, and W. Shi, “Investigation of graphene assisted tunable terahertz metamaterials absorber” Opt. Mater. Express 6(2), 331–342, 2016.
- [22] S. Salvatore, S. David, and W. J. Padilla, “Liquid crystal metamaterial absorber spatial light modulator for THz applications” Adv. Optical Mater. 2(3), 275–279, 2014.
- [23] B. Ke, W. T. Zhu, M. Lei, and J. Zhou, “Magnetically tunable wideband microwave filter using ferrite-based metamaterials” Appl. Phys. Lett. 106(17), 173507, 2015.
- [24] P. Pushkar and V. R. Gupta, “A metamaterial based tri-band antenna for WiMAX/WLAN application” Microw. Opt. Technol. Lett. 58(3), 558–561, 2016.
- [25] Landy, “Design, theory, and measurement of a polarization insensitive absorber for terahertz imaging”, June, 2008.
- [26] You Li, Xuan Wang, and Ying Zhang “Dual-function dynamically tunable metamaterial absorber and its sensing application in the terahertz region” published February 9, 2022

Makale id= 4

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-0360-2723

| 64

Hayvancılıkta Karlı Üretim İçin İşletme Sorumlusu Güncel Bilgi İhtiyaçları ve Kaynakları**Prof.Dr. Serap Göncü¹, Prof.Dr.Nazan Koluman¹**¹Çukurova Üniversitesi

Özet: Günümüzün yüksek rekabet ortamında farklılık yaratıcı ve sonucu tayin den gücü bilgi ve onu iyi kullanabilen insanlardır. Bir işletmenin gücü, başarısı ve etkinliği bilginin doğru ve etkin yönetilebilmesi ile mümkündür. Özellikle işletme sorumlularının işletmeyi motive edici en önemli unsuru olarak bilgiyi üretme, paylaşma, kullanma ve depolama yol, yöntem ve mekanizmaları ile işletme çalışma ortamında kolaylaştırıcı ve verimlilikte etki olarak kullanımı gerekmektedir. Bu bilgiler ise okullarda ders olarak verilememektedir. Türkiye’de 2019 yılında 17.688.139 baş sığır bulunmakta olup % 48,39’u kültür ırkı % 42,71’i se melez ırklardan oluşmaktadır. 2019 yılı sağmal inek sayısı ise 6.580.753 baş, inek sütü üretimi 20.782.374 ton inek başına ortalama süt verimi ise 3158 kg’dır. % 48,39’u kültür ırkı % 42,71’i se melez ırklardan oluşan bir popülasyon ortalama süt veriminin daha yüksek olmaması sürü yönetim uygulamalarındaki eksilikleri göstermektedir. Bu nedenle bu araştırmada Adana, Mersin, Osmaniye, Konya, Niğde, Aksaray ve Karaman illerinde bulunan hayvancılık işletme sorumlularının daha karlı üretim için güncel bilgi ihtiyaçları ve kaynaklarının tespiti amaçlanmıştır. Anket soruları arasında işletme sorumluları çalışanlarının güncel bilgi ihtiyaçları ve kaynaklarının tespitine yönelik sorular yer almıştır. İşletme sorumlularının %13,6’ü işletmede kayıt tutuluyor mu? Sorusunu cevapsız bırakırken %9,1’i hayır %77,27’si evet kayıt tutuluyor şeklinde cevap vermişlerdir. Katılımcılar güncel bilgi kaynağı olarak %31,8’i akademik yayınlar, %4,5 danışmanlar %40,9 internet %9,1 diğer kaynaklarını ifade etmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Karlılık, Hayvancılık, İşletme Sorumlusu, Bilgi Temini, Kaynakları

Current Information Needs and Sources of Livestock Manager for Profitable Production

Abstract: In today's highly competitive environment, the power to make a difference and determine the result is knowledge and people who can use it well. The power, success, and effectiveness of an enterprise are possible with the correct and effective management of information. In particular, the way, methods, and mechanisms of producing, sharing, using, and storing information as the most important factor motivating the business by the business managers should be used as a facilitator in the business working environment and as an effect on efficiency. This information is not given as a lesson in schools. There were 17,688,139 cattle in Turkey in 2019, 48.39% of which are culture breeds and 42.71% are hybrid breeds. The number of dairy cows in 2019 is 6,580,753 heads, cow milk production is 20,782,374 tons and the average milk yield per cow is 3158 kg. The fact that the average milk yield of a population consisting of 48.39% culture breeds and 42.71% cross breeds is not higher shows the deficiencies in herd management practices. For this reason, this research, it is aimed to determine the current information needs and resources of the livestock business supervisor for more profitable production of livestock business managers in Adana, Mersin, Osmaniye, Konya, Niğde, Aksaray, and Karaman provinces. Among the survey questions, there were questions about the determination of the current information needs and resources of the employees of business managers. While 9.1% of the participants stated that no records were kept in the enterprise, 77.27% stated that they were kept. In addition, 18.18% stated that they kept digital and 13% printed records, and 45.45% stated that both written and digital records were kept. While 59.1% of the participants stated that they did not have difficulty in herd management decisions, 22.7% stated that they had difficulty. As the current information source, 31.8% of the participants stated academic publications, 4.5% consultants, 40.9% internet, and 9.1% other sources.

Keywords: Profitability, Livestock, Business Manager, Information Supply, Resources

1. Giriş

Türkiye, 2022 yılında 84,680,273 kişilik nüfusu ile 195 ülke arasında 18. sırada yer alırken, dünya toplam nüfusunun %1,1'ini oluşturmaktadır. Bu sayının yüzde 50,2'si (41.715.537) erkeklerden, yüzde 49,8'si (41.439.462) kadınlardan oluşur. Türkiye nüfusunun en önemli özelliklerinden biri genç olmasıdır. 0-14 yaş grubu nüfus, toplam nüfusun yüzde 22,4'ünü oluşturur. 1990 yılında 56.473.035 kiş olan nüfus 2022 yılında 84,680,273 kişiye ulaşmıştır. Ancak artan bu nüfusun ihtiyacı olan et ve süt ürünlerinin temel üretim kaynağı olan sığır sayısı ve verimliliğinde ihtiyacı karşılayacak gelişme sağlanamamıştır. Artan nüfusun ihtiyacın karşılanmasında hayvan sayısı artışı bir kriter aslında hayvan başına verimlerin artışı ile sağlanması gerekir. Türkiye'de 2019 yılında 17.688.139 baş sığır bulunmakta olup % 48,39'u kültür ırkı % 42,71'i se melez ırklardan oluşmaktadır. 2019 yılı sağmal inek sayısı ise 6.580.753 baş, inek sütü üretimi 20.782.374 ton inek başına ortalama süt verimi ise 3158 kg'dır (TKB, 2022). % 48,39'u kültür ırkı % 42,71'i se melez ırklardan oluşan bir popülasyon ortalama süt veriminin daha yüksek olmaması sürü yönetim uygulamalarındaki eksilikleri göstermektedir. Hayvan başına verimlilik ise bilginin ve uygun teknolojilerin üretime aktarımı ile mümkündür. Önceleri kapalı üretim biçiminde çalışan hayvancılık işletmeleri, globalleşme sürecinde pazar için üretim yapan, ekonomik ve teknik gelişmelere göre üretim yapacak şekilde kendilerini geliştirmek zorunda kalmışlardır. İşletmeler yüksek rekabet ortamında büyük kapasiteli, modern, ekonomik birer üretim birimine dönüşmek durumunda kalmışlardır. Verimlik ve hayvan refah konularına olan ilginin artışı modern hayvancılık uygulamalarına olan eğilimi artırmıştır. Hem karlı hem de hayvan refahına uygun hayvancılık sistemleri ise bilgiye olan ihtiyacı artırmıştır. Bu noktada sahada bilgili ve tecrübesi ile bilgiyi kullanabilme becerisini geliştirmiş yöneticilere ihtiyaç artmıştır (Göncü ve ark. 2010). Bu noktada ülke hayvancılığına hizmet veren birçok meslek grubu da kendini yenilemek ve çağın koşullarına uygun çözümleri uygulamaya aktararak ülke ihtiyaçların karşılamak için işbirliğine gitmek durumunda kalmıştır. Bu nedenle aynı hayvancılık işyerinde farklı işleri yapan farklı eğitim düzeylerinden gelen kişiler bir arada çalışmak ve üretime katkıda bulunmak durumundadır (Göncü, 2018). Entansif hayvancılık işletmelerinde farklı işleri yapmak üzere farklı grup çalışanlar (buzağıcı, sağımıcı, yemlemeci, tohumlamacı, yönetici ve ara eleman) bulunmaktadır. Birde işletmenin mali konularında ve kararlarda etkili olan işletme sahibi olan işverenler işletme yönetiminde etkili olmaktadır. Bu noktada işletme sorumlularının bilgi ihtiyacı ve doğru ve güvenilirlik anlamında daralmalara neden olmaktadır. İşletme sorumluları işletme içi görevlerin planlamasında, problem tespit ve çözüm üretme becerileri için teknik bilgileri kullanırlar. Ayrıca, akademik ve güncel bilgi takip ederek gelişmeleri takip etmesi beklenir. Bilgi her türlü teknolojik gelişmeye kaynak teşkil etmiş ve bugün de pazarda rekabet üstünlüğü sağlayan çok kritik öneme sahip kritik bir kaynak haline gelmiştir (Küçükgül ve ark. 2021). Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerin de etkisiyle ortaya çıkan hız rekabetin boyutunu da değiştirmiştir. İşletmeler açısından yenilik, yaratıcılık, hız ve maliyet gibi kavramlar ön plana çıkmıştır. Genel pratik uygulamaların dışında özellikle önemli kararların alınmasında kullanılacak bilgi hayvansal üretimde uzun vadeli etkisi ile ayrıcalıklı yere sahiptir. Hayvancılık işletmesinin verimli olabilmesi için iyi bir yönetime ihtiyacı vardır. Verimliliği korumak veya artırmak için alınması gereken birçok karmaşık teknik ve ekonomik karar vardır. Hayvancılık işletmelerinin temel gelir kaynakları süt veya hayvan satışından gelir. Bununla birlikte işletmenin besleme, işçilik, veteriner, ilaç, tedavi, tesislerin amortismanı, gibi birçok giderleri de vardır.

Günümüzün yüksek rekabet ortamında farklılık yaratıcı ve sonucu tayin den gücü bilgi ve onu iyi kullanabilen insanlardır. Bir işletmenin gücü, başarısı ve etkinliği bilginin doğru ve etkin yönetilebilmesi ile mümkündür. Özellikle işletme sorumlularının işletmeyi motive edici en önemli unsur olarak bilgiyi üretme, paylaşma, kullanma ve depolama yol, yöntem ve mekanizmaları ile işletme çalışma ortamında kolaylaştırıcı ev verimlilikte etki olarak kullanımı gerekmektedir. Bu bilgiler ise okullarda ders olarak verilememektedir. Bu bilgiler ancak, işletme koşullarında ve rekabet ortamının zorlayıcı etkisi ile oluşan bilgi talebinin karşılanması için doğru bilginin doğru yerde doğru şekilde kullanımı gerekir. Bu noktada Türkiye'de bulunan yaklaşık 6 milyon hayvancılık işletmesinin karlılık ilkelerinde çalışarak ülke ihtiyaçların karşılanması insan kaynaklarının etkisinde gerçekleşecektir. Bu nedenle bu alanda çalışanların görüş ve önerileri ile dışa bağımlı olmadan kendi sorunu kendi çözebilen işletme sorumlularının yetişmesi ile beklene verimlilik sağlanabilecektir.

Bu nedenle bu araştırmada hayvancılık işletme sorumlularının daha karlı üretim için güncel bilgi ihtiyaçları ve kaynaklarının tespiti amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Adana, Mersin, Osmaniye, Konya, Niğde, Aksaray ve Karaman illerinde bulunan hayvancılık işletme sorumlularının teknik bilgi temini ve işletme çalışanları ile ilişkiler konusundaki görüşlerinin tespiti amaçlanmıştır.



Şekil 1. Anket ve gözlemlerin yürütüldüğü bölge

Akdeniz iklimi olup yazlar sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve ılıktır. En sıcak aylarda sıcaklık ortalama 28-30 derece arası olurken, en soğuk aylarda ortalama 8-10 derece arasındadır. Yıllık ortalama sıcaklık 18 derecedir. Don olayları ve kar yağışlarına çok ender şekilde rastlanır. Yağış en fazla kış aylarında düşerken, en az yaz mevsiminde düşer. Yıllık yağış 600-1000 mm arasında değişim gösterebilir. Hayvancılıkta iklim önemli bir çevresel kısıt olup hayvancılığın verimliliği, başarısı ve sürdürülebilirliğinde önemli ölçüde etkilidir (Göncü, 2018). Karasal iklim etrafının dağlarla çevrili olması, deniz seviyesinden 1200 m. yükseklik göstermesi, denizin bunaltıcı etkilerini ve denizden gelen rüzgârları alamaması, kuzeyden gelen soğuk rüzgârlara açık olmasındandır. Orta iklim kuşağında, soğuk, karasal iklim tipi etkilidir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Yağışlar genellikle ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Ortalama yağış miktarı (son 40 yıl) 340 mm (kg/m²)'dir. Çalışma alanı illerine ait 2021 yılı nüfus, büyükbaş hayvan sayısı ve iklim özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışma alanı illerine ait 2021 yılı nüfus, büyükbaş hayvan sayısı ve iklim özellikleri (TUIK, 2023)

İrklar	Mersin	Adana	Osmaniye	Konya	Niğde	Aksaray	Karaman
Bölge	Akdeniz	Akdeniz	Akdeniz	İç Anadolu	İç Anadolu	İç Anadolu	İç Anadolu

İrklar	Mersin	Adana	Osmaniye	Konya	Niğde	Aksaray	Karaman
İklimi	Akdeniz	Akdeniz	Akdeniz	Karasal	Karasal	Orta iklim kuşağı	Karasal
Büyükbaş hayvan	113,910	266,601	68,292	957,748	179,554	372,932	67,174
Nüfus (milyon)	1.916.432	2.274.106	559.405	2.296.347	365.419	433.055	258.838

Araştırmanın birincil verileri hayvancılık işletmelerinden anket ve gözlem yoluyla elde edilmiştir. Çalışma Mersin, Osmaniye, Hatay, Maraş ve Adana illerinde yer alan kapasiteleri 100 ila 400 baş arasında değişen işletmelerde çalışmakta olan sorumlular ile yürütülmüştür. Ankete katılmayı kabul eden 64 işletme sorumlusundan %88,12'nin erkek olduğu, 28 ile 56 yaş arasında ve farklı meslek grubundan geldikleri anlaşılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan anket ve gözlem çalışması için işletme sorumluları ile randevu alınarak görüşmeler sağlanmıştır. Anket soruları arasında işletme sorumluları çalışanları demografik bilgileri ile genel sorular ile daha karlı üretim için hayvancılık işletme sorumlusunun güncel bilgi ihtiyaçları ve kaynaklarını tespitiye yönelik hazırlanan 18 soru yer almıştır. Hazırlanan sorular, önce 3 ayrı işletme sorumlusu ile uygulanarak anket uygulama süresi, anlaşılabilirliği tespit edilmiş ve gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra saha uygulamasına geçilmiştir.

Bu kapsamda yüz yüze anket ve yerinde gözlem ile elde edilen veriler çalışmanın verilerini oluşturmuştur. Araştırmada elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Excel programı ve IBM SPSS STATİSTİC 20 kullanılarak analizler yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

İşletme sorumlularının işletme karlılığını doğrudan etkileyen kararlarında işletme kayıtları kritik rol oynamaktadır. Ancak bu kayıtlarda yer alan bilgilerden ziyade bu bilgileri yorumlama ve uygulamaya aktarım becerisi önemlidir. Katılımcıların işletme kayıt tutma, kayıt şekli ve kayıt sorumlusu durumuna ait bilgiler Tablo 2.'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Katılımcıların işletme kayıt tutma, kayıt şekli ve kayıt sorumlusu durumuna ait bilgiler

Kayıt tutma	Oran (%)	Kayıt şekli	Oran (%)	Kayıt sorumlusu	Oran (%)	Otomasyon durumu	Oran (%)
Cevapsız	13,64	Cevapsız	18,18	Cevapsız	22,73	Cevapsız	9,0
Evet	77,27	Dijital	18,18	Var	31,82	Var	59,1
Hayır	9,09	Düzenli kayıt yok	4,55	Yok	45,45	Yok	31,8
		Yazılı	13,64				
		Yazılı+dijital	45,45				
Toplam	100,0		100,0		100,0		100,0

Sayıları bilme yeteneğinin ötesinde, kayıt tutma ve tutulan kayıtları doğru ve etkin değerlendirme becerisi güçlü ve zayıf alanları zamanında doğru olarak tespit olanağı tanıyarak verimli üretim sağlar. Üretime dayalı tüm kararlarda, diğer yüksek performanslı çiftliklerin nerede faaliyet gösterdiğini görmek ve üretim ve finansal ölçümleri onlarla uyumlu hale getirmeye çalışmak iyi bir uygulamadır.

Kıyaslama olarak da bilinen bu sürecin üretimi artırmaya yardımcı olduğu kanıtlanmıştır. Her şeyi ölçmek imkânsızdır, bu nedenle diğer yüksek performanslı operasyonlarla ilgili hedefler belirlenmiş olmalıdır. Ölçümler ve kayıtlar bu hedeflerle ilişkilendirilebilir ve aktarılabilir olmalıdır. İşletme sorumlularının %13,6'ü işletmede kayıt tutuluyor mu? Sorusunu cevapsız bırakırken %9,1 i hayır %77,27'si evet kayıt tutuluyor şeklinde cevap vermişlerdir. Nasıl kayıt tutuluyor sorusuna ise %18,18'i dijital %13'ü elde %45,45 ise hem yazılı hem de dijital kayıt tutulduğunu ifade etmişlerdir. Bu soruyu da cevapsız bırakanların oranı %18,18 ve düzenli kayıt yok diyenlerin oranı ise %4,55 olarak belirlenmiştir. İşletmede ayrı olarak kayıtlardan görevli olan biri var mı? Sorusuna %22,73' cevapsız bırakırken %9,1 i 45,45 ve %31,82'si evet şeklinde cevap vermişlerdir.

İşletme otomasyon durumu teknolojik uygulamalar ile hızlı işlem yapılması ve anında karar mekanizmalarında kullanılabilmesi çok önemli avantajdır. İşletmede bulunan tüm hayvanların anlık bilgilerine ulaşmak ve kararlarda kullanmak anında müdahale ve kayıpların önlenmesinde son derece önemlidir. Ayrıca bu kayıtlardan hareketle çok önemli olan hesaplamaları yapılarak karlılık ve sürdürülebilirlik hesapları yapılabilmektedir. Otomasyon sistemi var mı? Sorusunu katılımcıların %9,0'cevapsız bırakırken %59,1 var %31,8'i yok diye cevaplamışlardır. Kullanılan otomasyon sistemleri ise Algan, Delaval, Allpro Dipvet, Fan Yem ve yumurta toplama, Otomatik yemleme, otomatik ağız, küpe no tanıma, Sağımhane, Kızgınlık takip sistemi, Sürü yönetim programı, Yem karma makinesi, Sıyırıcı sistemi, mama makinesi, Pastörize makinesi, serinletme, Tulsan ve sağım otomasyonu olarak sıralanmıştır.

Günümüzde, teknolojideki son gelişmelerden faydalanılarak geliştirilen ve gerçek zamanlı olarak çalışan, tam otomotize edilmiş izleme ve kontrol sistemleri mevcuttur. Bu sistemler ile hayvanların üremesini, üretimini, sağlık ve refahı ile çevreye olan etkilerini sürekli olarak takip eden, farklı modelleme teknikleri kullanarak doğum ve hastalık gibi önemli olayları gerçekleşmeden tahmin eden ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlayan bir hayvancılık yönetim sistemidir (Uslucan ve ark. 2007; Göncü ve ark. 2010).

Bir süt sığırcılığı işletmesinde günlük, haftalık, aylık ve yıllık çeşitli raporlar alınarak sürü genel durumu hakkında kararlar alınması gerekir. Bu konuda en doğru karar her hayvanın bilgileri kullanılarak verilebilir. Ancak, entansif işletmelerde, her hayvanın birebir takibi mümkün olamadığı için çeşitli amaçlı çeşitli fonksiyonlara sahip otomasyon sistemleri geliştirilmiştir.

Otomatik sağım sistemleri, hayvancılıkta otomasyonun en bilinen alanıdır. Sağım sistemine tanıtılmış hayvanların sağımhaneye girişinden itibaren süt miktarı, sağım süresi, süt akış hızı, sütün elektrik iletkenliği, süt sıcaklığı gibi birçok bilgi alınabilmektedir. Ayrıca sağım sistemi otomasyon fonksiyonlarına bağlı olarak birçok bilgiyi anında kaydeden ve bu bilgileri kullanarak ileride sorun yaratabilecek bilgiyi acil durum raporlayarak yönlendirici olabilen otomasyonlar bu grupta yer almaktadır. Sistem bu amaçla donatılmış sensörler sayesinde gerekli ölçüm ve belirlemeleri yapmakta, sürü yönetimini hatasız sürdürmeye yarayacak uyarıcıları yöneticiye bildirmekte ve ineğe ait her türlü bilgiyi saklamaktadır. Bu robotik sistemler günde ortalama 2.7 kez 65 hayvana kadar yönetebilmektedir. Hayvanlar bu sisteme çok kısa sürede alışmakta ve belli bir süreden sonra sistemi sadece bir çalışan yönetebilmektedir (Can ve ark. 2013; Karpuz ve ark. 2013 Bingöl ve ark. 2015).

Büyük işletmelerde çok yüksek genetik değeri olan damızlık hayvanlardan teknoloji ve otomasyon sistemlerini kullanmadan beklenen performansın alınması mümkün değildir. İleri teknolojilerin sürü yönetimi alanında kullanılmasıyla gerçekleştirilebilecek olan süt sığırcılığı, yetiştiriciye, hayvana ve tüketiciye farklı açılardan yararlar sağlayacaktır. Ancak bu sistemlerden beklenen faydaların elde edilebilmesi sistemlerin sahip olduğu fonksiyonlarının bilinmesi ve etkin kullanımına bağlıdır.

Katılımcıların sürü yönetimi ile ilgili sorulara verdikleri cevaplar Tablo 2.'de özetlenmiştir. İşletme sorumlularına sorulan sürü yönetiminde karar verirken zorlanıyor musunuz? Sorusuna katılımcıların %59,1'i hayır zorlanmıyorum derken %22,7' evet zorlanıyorum diyerek yanıt

vermişlerdir. Ancak katılımcıların %18,2'i bu soruyu cevapsız bırakmayı tercih etmiştir. Sürü yönetim kararlarını tek başınıza mı alırsınız? Sorusuna ise Cevapsız %18,18, Evet %13,64, genelde tek başıma diyen %4,55 hayır tek başıma almıyorum diyen %59,09 işverene bağlı olarak alırım diyen %4,55 olarak belirlenmiştir. Sürü yönetim kararlarını tek başına alınması faydalı olur mu? sorusuna ise %54,55'u fikrim yok derken %31,82'i evet faydalı diye yanıt vermiş %13,64'ii se soruyu yanıtsız bırakmıştır.

Tablo 3. Katılımcıların sürü yönetimi ile ilgili sorulara verdikleri cevaplar

Sürü yönetiminde karar verirken zorlamıyor musunuz?	Oran (%)	Kararlarını tek başına alırım	Oran (%)	Tek başına karar almak faydalı mı?	Oran (%)	Sürü yönetiminde bilgi eksikliği hissediyor musunuz?	Oran (%)	Güncel bilgi kaynağı nedir?	Oran (%)
Cevapsız	18,18	Cevapsız	18,18	Cevapsız	13,64	Hayır	13,6	Cevapsız	13,6
Evet	22,73	Evet	13,64	Evet	31,82	Evet	86,36	Akademik yayınlar	31,8
Hayır	59,09	Genelde	4,55	Fikrim yok	54,55			Danışmanlar	4,5
		Hayır	59,09					Diğer	9,1
		İşveren	4,55					İnternet	40,9
Toplam	100,0		100,0		100,0		100,0		100,0

Sürü yönetiminde bilgi eksikliği hissediyor musunuz sorusuna katılımcıların %86,36 evet diye cevap verirken %13,6' hayır hissetmiyorum diyerek yanıt vermişlerdir. Sürü yönetiminde en çok hangi konularda bilgi eksikliği hissediyorsunuz sorusuna ise yetiştirme, ekonomi, Dönemsel besleme, sağlık koruma, damızlık seçim, hayvan davranışları, rasyon hazırlama, sürü idaresi, kızgınlık takibi gibi başlıklar bildirilmektedir. Güncel bilgi kaynağınız nedir sorusuna katılımcıların %31,8'i akademik yayınlar, %4,5 danışmanlar %40,9 internet %9,1 diğer kaynaklar diyerek yanıt vermişlerdir. Diğer kaynaklar diye yanıt verenlerin ise güvendiği civar yetiştiricilerle iş icabı tanıştığı satıcı, bakanlık çalışanları veya çeşitli alışveriş yaptığı kurumların satış elemanları ile fikir alışverişinde bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Katılımcıların kendilerinden beklenen ve en çok karşılaştıkları sorun nedir sorusuna ise rasyon hazırlama ve damızlık seçimi olduğunu ifade etmişlerdir. Katılımcıların rasyon hazırlama konusundaki cevapların dağılımı Tablo 4'de verilmiştir.

İşletme sorumlularına işletmede rasyonu tasarlayan kimdir? Sorusu kendim %40,91, besleme ekibi %4,55, danışman %9,09, dijital %4,55, sorumlu Ziraat Mühendisi % 27,27 ve cevapsız %4,55 olarak yanıtlanmıştır. Katılımcılar rasyon hazırlama eğitimi aldınız mı? Sorusunu ise 77,27'i aldım %9,09 almadım ve % 13,64 Cevapsız bırakmıştır. Katılımcıların %40,91'i rasyon hazırlamak için hazır programları, %27,27'si Excel programını kullandıklarını ifade etmişlerdir. Rasyon hazırlama program kullanma eğitimini nereden aldınız? Sorusunu ise %54,55 program satıcısı, %9,09 arkadaş ve %13,64 danışman olarak yanıtlamışlardır.

Tablo 4. Katılımcıların rasyon hazırlama konusundaki cevaplarının dağılımı

Rasyonu tasarlayan	Oran (%)	Rasyon hazırlama eğitimi	Oran (%)	Eğitimi nereden aldınız	Oran (%)	Rasyon hazırlama programı	Oran (%)
Cevapsız	18,18	Cevapsız	13,64	Cevapsız	22,73	Cevapsız	31,82
Kendim	40,91	Aldım	77,27	Program satıcısı	54,55	Excel	27,27

Rasyonu tasarlayan	Oran (%)	Rasyon hazırlama eğitimi	Oran (%)	Eğitimi nereden aldınız	Oran (%)	Rasyon hazırlama programı	Oran (%)
Besleme ekibi	4,55	Almadım	9,09	Kullanan arkadaşım	9,09	Hazır programlar	40,91
Danışman	9,09			Danışman	13,64		
Dijital	4,55						
Sorumlu Zir.Müh.	27,73						
Toplam	100,0		100,0		100,0		100,0

Katılımcılar kullandıkları rasyon hazırlama programlarını Amino-cow, Görgülü TMR programı, İlik-soft, NDS, Opti-formula olarak sıralamışlardır.

Hayvancılık işletmelerinde damızlık seçimi konusu en önemli sürdürülebilirlik sürü yönetim kararıdır. Yanlış ayıklama ve seleksiyon kararları uzun vadede işletmenin verimliğinde önemli etkiye bulunur. Ayıklama kararı, ineğe ait faktörlerin yanı sıra genellikle sürüye ve hatta ülkeye özgü dış faktörlere dayalıdır (De Vries, 2017). Bu konuda Fetrow ve ark. (2006), Ayıklama kararının düşük üretim, inek saldırganlığı ve diğer süt çiftliklerine satış nedeniyle gönüllü olarak veya hastalık, yaralanma, kısırılık veya ölüm nedeniyle zorunlu olarak gerçekleştiğini bildirmektedir. Çoğu hayvan için üretken yaşamlarının sonundaki seçenekler basittir. Ama bazen karar süreç daha zorlu olabilir ve tek bir hayvan için doğru olanı yapmak daha zor olabilir Bu, doğru kararı vermenize yardımcı olacak bir kılavuz çok faydalı olacaktır. Hafif hastalığı veya yaralanması olan bazı ineklerin satışı uygun olsa da bazen mecburi kesim daha iyi bir seçenek olabilir. Karar size bağlı olup, uzman görüşü alınmalıdır.

Katılımcıların damızlık seçimi konusundaki cevapların dağılımı Tablo 5’de verilmiştir. İşletme sorumluları damızlık seçimini kim yapar? Sorusuna cevaplar %22,73 kendim, % 40,91 danışman, % 9,09 işletme sahibi, % 13,64 seçim yapmadığını belirtmiştir. Damızlık seçim kriteri sorusuna dış yapı %13,6, kayıtlar % 77,27 ve her ikisi %9,1 olarak tespit edilmiştir. Damızlık seçiminde otomasyon kullanıyor musunuz? Sorusuna ise katılımcıların %59,09’u Evet, % 27,27’si ise hayır yanıtını vermiştir. Sürüye yeni düve ihtiyacı olduğunda nereden karşılamaya öncelik verirsiniz sorusuna ise % 59,09’u yurtdışı 27,27’si işletme dışı, %13,64’ü ise kendi işletmeme öncelik veririm diyerek yanıt vermiştir. Son 5 yılda damızlık satış yaptınız mı? Sorusuna ise %13,64 Evet, %59,09’u Hayır diyerek yanıt verirken %27,27’i soruyu cevapsız bırakmıştır.

Tablo 5. Katılımcıların damızlık seçimi konusundaki cevapların dağılımı

Damızlık seçimini kim yapıyor?	Oran (%)	Damızlık seçim kriteri nedir?	Oran (%)	Son 5 yılda damızlık satış yaptınız mı?	Oran (%)	Damızlıkları nereden temin etmek istersiniz?	Oran (%)	Otomasyon kullanıyor musunuz?	Oran (%)
Cevapsız	13,64	Cevapsız	13,64	Cevapsız	27,27	Yurtdışı	59,09	Cevapsız	13,64
Kendim	22,73	Dış yapı	13,64	Evet	13,64	Yurt içi	27,27	Evet	59,09
Danışman	40,91	Kayıtlar	59,09	Hayır	59,09	Kendi işletmem	13,64	Hayır	27,27
İşletme sahibi	9,09	Her ikisi	13,64						
Seçim yapmadık	13,64								
Toplam	100,0		100,0				100,0		100,0

Çalışmaya katılan işletme sorumlularının hepsinin damızlık sığır yetiştiricileri birliğine üyelikleri olduğu DSYB üye olmalarını hayvancılık desteklerinden faydalanmak, hayvan sağlığı ve suni tohumlama hizmeti ile pazarlama avantajlarını diyerek yanıtlamışlardır.

4. Sonuç

Türkiye’de 2019 yılında 17.688.139 baş sığır bulunmakta olup % 48,39’u kültür ırkı % 42,71’i se melez ırklardan oluşmaktadır. 2019 yılı sağmal inek sayısı ise 6.580.753 baş, inek sütü üretimi 20.782.374 ton inek başına ortalama süt verimi ise 3158 kg’dır (TKB, 2022). % 48,39’u kültür ırkı % 42,71’i se melez ırklardan oluşan bir popülasyon ortalama süt veriminin daha yüksek olmaması sürü yönetim uygulamalarındaki eksilikleri göstermektedir. Hayvancılıkta genotip ve çevre ıslahı mevcut verim düzeylerinin temel nedenidir. Bu nedenle hayvancılık işletmeleri hayvan sayısından ayrı olarak birim başa verimi yükseltmek için çevre faktörünü de dikkate almak ve çevreye uygun sürü yönetim ile hayvanın ihtiyaçlarını karşılayarak karlılığı sağlamaya çalışmaktadırlar. Verimlilik ise işletmelerin doğru, güvenilir ve kullanılabilir kayıtları ve bu kayıtları sürü yönetiminde kullanabilen nitelikli çalışanların kararları ile gerçekleşir. Toplanan bu veriler sürünün damızlık seçiminde ve ülke hayvancılığının gelişimine katkı sağlaması açısından hayati önem taşır. Anket soruları arasında işletme sorumluları çalışanlarının güncel bilgi ihtiyaçları ve kaynaklarının tespitine yönelik sorular yer almıştır. İşletme sorumlularının %13,6’ü işletmede kayıt tutuluyor mu? Sorusunu cevapsız bırakırken %9,1’i hayır %77,27’si evet kayıt tutuluyor şeklinde cevap vermişlerdir. Katılımcılar güncel bilgi kaynağı olarak %31,8’i akademik yayınlar, %4,5 danışmanlar %40,9 internet %9,1 diğer kaynaklarını ifade etmişlerdir. İşletme sorumlularının işletme karlılığını doğrudan etkileyen kararlarında işletme kayıtları kritik rol oynamakta ancak bu kayıtlarda yer alan bilgilerden ziyade bu bilgileri yorumlama ve uygulamaya aktarım becerisi öne çıkmaktadır. Bu noktada ihtiyaç duyulan sürü yönetim kararlarına dair sertifikalı kısa süreli eğitimler faydalı olacaktır.

5. Kaynaklar

- [1] Akın A.C, Sipahi C, Çevrimli MB, Mat B, Günlü A. Büyükbaş hayvancılık işletmelerinde yöneticilerin işgücü memnuniyet düzeyleri. MAE Vet Fak Derg. 2020; 5(2) 48-57
- [2] Altchison, T. E. Breed first-calf heifers to freshen at 2 years. Hoard’s Dairyman. W.D. Hoard and Sons Company. Fort Atjinson, Wisconsin 53538, USA, 1984.
- [3] Bıngöl, S., Mevlyaoğulları, E., Göncü, S., 2015. Türkiye’de Süt Sığırcılığında Kullanılan Sürü Yönetim Yazılımları Karşılaştırması. 11. Zootečni Ulusal Bilim Kongresi, 29-30 Nisan 2015, Diyarbakır.
- [4] Can, S., Meral, H., Göncü, S., Görgülü, M., 2013. Süt Sığırcılığı İşletmelerinde Sürü Yönetim Kontrolü. IX. Ulusal Zootečni Öğrenci Kongresi, Mayıs, 2013, Erzurum.
- [5] Gill, G.S. Breeding and selection methods for optimizing a profit function in dairy cattle. Anim.Breed. Abstr. 1973; 43:1578.
- [6] Göncü, S., Bayram, A., Uslucan, B., Yapça, İ., 2010. Hayvancılık İşletmelerinde Çalışan Faktörü ve Üretime Etkileri. Hasad Dergisi, Ocak-Şubat, 2010 Yıl 25 sayı 297, 44-49.
- [7] Göncü, 2018. Sığır davranışları ve sürü yönetimi. Akademisyen, Ankara, 2018
- [8] Karpuz, İ., Şat, Ş., Utkan, A., Göncü, S., Çakmakçı, C., 2013. Sürü Yönetimi ve Döl Verim Performansı. IX. Ulusal Zootečni Öğrenci Kongresi, Mayıs, 2013, Erzurum.
- [9] Küçükgül B., Göncü S., Bozkurt Sibel, 2021. Sığır Besi İşletmecilerinin Eğitim Düzeyleri ile Sürü Yönetim Kararları Arası ilişkiler. Uluslararası Siirt Bilimsel Araştırmalar Kongresi. KONGRE TARİHİ 05 Kasım - 07 Kasım 2021. KONGRE ŞEHRİ. Siirt, Türkiye.
- [10] TKB, 2023. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.tarimorman.gov.tr/sgb/Belgeler/SagMenuVeriler/HAYGEM.pdf>
- [11] Uslucan, B., Göncü Karakök, S., Torun, O., 2007. Türkiye Hayvancılığında Zootečni Mesleğinin Yeri. 3. Ulusal Zootečni Öğrenci Kongresi. 17-18 Mayıs, 2007, Maraş.

Makale id= 3

Sözlü Sunum

| 72

ORCID ID: 0000-0002-0360-2723

Hayvancılık İşletmeleri Sürü Yönetim Başarısı Değerlendirilmesi

Prof.Dr. Serap Göncü¹ , Professor Nazan Koluman¹
¹Çukurova Üniversitesi

*Corresponding author: Serap Göncü

Özet: Hayvansal ürünlere olan talep ve süt sığırları işletmelerinin daha etkili, karlı ve sürdürülebilir yapılmasını gerektirmektedir. Hayvancılık işletmelerinde de sürü yönetimi birçok farklı bileşenden meydana gelmektedir. Ayrıca hayvancılık işletmelerinde günlük haftalık, aylık veya yıllık yapılan rutin işler vardır. Tüm bu işler içinde hangi işin ne zaman ve nasıl yapılacağına önceden bilinmesi ve hazırlıklı olunması ile sürdürülebilir üretim mümkündür. Bu ise ancak işletme kaynaklarının en etkili şekilde yönetimi ile mümkündür. Çünkü kaynaklar sonsuz değil sınırlıdır. Mevcut kaynakları en etkin şekilde kullanmak ise yönetim becerisi gerektirir. Hayvancılık işletmeleri bu bağlamda üretim maliyetlerini minimum seviyelerde tutmak için büyük çaba göstermektedir. Ancak genel işletme karlılık değerlendirmelerinde çoğunlukla girdi - çıktı ve fiyat ilişkisi esas alınmaktadır. Ancak biyolojik üretim süreci sonucunda oluşan gelirlerin üretim aşamasında meydana gelen kayıplar göz ardı edildiğinde karlı bir üretim mümkün olamamaktadır. Son yıllarda emek yoğununda bilgi ve teknoloji yoğun sistemlere geçmiş olan hayvancılık işletmelerinde üretim kayıplarının önüne geçmek daha da önem kazanmıştır. Diğer sektörlerde olduğu gibi hayvancılık işletme yönetimi de üç temel işlevi yerine getirmelidir. Bunlar Planlama, Uygulama ve İzleme ve Değerlendirmedir. Burada ayrı başlıklar halinde verilmiş olsa bile hayvancılık işletmelerinde tüm bu süreçler iç içe aşamalar şeklinde yürür ve kesin sınırlarla ayırmak pek mümkün olmaz. Sürü yönetimi uygulama, takip, tespit, müdahale, değerlendirme ve yönetim aşamalarından oluşur. Bu bilgilerin ışığında hazırlanan bildiride, süt sığırcılığı işletmesi sürü yönetim başarısını ortaya koymak için örnek olmak üzere döl evrim kriterlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi ve çözüm yolu geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hayvancılık, İşletme, Sürü Yönetim, Başarı, Gösterge, Döl Verimi

Evaluation of Herd Management Success of Livestock Farms

Abstract: The demand for animal products and dairy cattle enterprises requires more effective, profitable, and sustainable. Herd management in livestock enterprises consists of many different components. In addition, there are routine works done daily, weekly, monthly, or yearly in livestock enterprises. Sustainable production is possible by knowing beforehand what work will be done, when and how, and being prepared. This is only possible with the most effective management of business resources. Because resources are not infinite, they are limited. Using existing resources in the most effective way requires management skills. In this context, livestock enterprises greatly try to keep production costs at minimum levels. However, the general business profitability evaluations are mostly based on the input-output and price relationship. However, profitable production is not possible when the losses that occur during the production phase of the income generated due to the biological production process are ignored. In recent years, it has become more important to prevent production losses in livestock enterprises that have switched to labor-intensive information and technology-intensive systems. As in other sectors, livestock business management must fulfill three basic functions. These are Planning, Implementation, and Monitoring Evaluation. Even if they are given under separate headings here, it is impossible to separate all these processes in the form of intertwined stages and with definite boundaries in livestock enterprises. Herd management consists of implementation, follow-up, detection, intervention, evaluation, and management stages. The paper prepared in

light of this information, is aimed to examine the progeny evolution criteria in detail and to develop a solution, as an example, in order to reveal the herd management success of the dairy cattle business.

Keywords: Livestock, Enterprises, Herd Management, Success, Indicator, Fertility

1. Giriş

Hayvansal üretimde temel verimlik formülü $P=G+\text{Ç}$ 'dir. P verimi ifade ederken, G, genetik yapıyı Ç ise çevre etkisini ifade etmektedir. Hayvan ne kadar süper genlere sahip olursa olsun verim düzeyi çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir Türkiye'de bulunan tarım işletmelerinin yaklaşık % 3.6'sı yalnız hayvancılık, % 96.4'ü ise bitkisel üretim ile hayvancılığı birlikte yapmaktadır. Söz konusu işletmelerin yaklaşık % 35'i 0-2 hektar, %32'si 2-5 hektar arasında, % 28'i 5 - 20 hektar arasında ve % 5'i 20 hektarın üzerinde arazi büyüklüğüne sahiptir. Ortalama işletme büyüklüğü ise yaklaşık 5.9 hektardır. Hayvancılık işletmelerinin % 46'sında 1-4, % 21.85'inde 5-9, %57.76'sında 10-19, %1.5'inde 20-49, %0.08'inde 50-99 arasında büyükbaş hayvan bulunmaktadır. İşletmelerin %18.15'inde küçükbaş hayvan sayısı 1-19, %15.17'sinde 20-49, %8.29'unda 50-99 baş arasında değişmekte olup %4.59'unda da 100'ün üzerindedir (TÜİK, 2022). İşletmelerin %23'ünde sığır, % 54'ünde koyun ve keçi yetiştirilmektedir. Bu sayılar ekonomik üretim kapasitesinin çok altındadır. Hayvansal ürünlere olan talep ve süt sığırları işletmelerinin daha etkili, karlı ve sürdürülebilir yapılmasını gerektirmektedir. Bu ise ancak işletme kaynaklarının en etkili şekilde yönetimi ile mümkündür. Sürü yönetimi uygulama, takip, tespit, müdahale, değerlendirme ve yönetim aşamalarından oluşur (Drazen, 2000). Bir hayvancılık işletmesinde günlük haftalık, aylık veya yıllık yapılan rutin işler ve bu işleri yapan çalışanlar vardır. Tüm bu işler içinde hangi işin ne zaman ve nasıl yapılacağından önceden bilinmesi ve hazırlıklı olunması ile sürdürülebilir üretim mümkündür. Çünkü kaynaklar sonsuz değil sınırlıdır. Mevcut kaynakları en etkin şekilde kullanmak ise yönetim becerisi gerektirir (Saygılı, ve ark. 2005). Hayvancılık son derece hassas dengeler üzerine kuruludur. Girdi maliyetleri ile ürün fiyatları zaman zaman büyük dalgalanmalar göstermektedir. Değişen piyasa koşulları, hayvancılıkta karlılığı çok etkilemektedir. Hayvancılık işletmeleri bu bağlamda üretim maliyetlerini minimum seviyelerde tutmak için büyük çaba göstermektedir. Ancak genel işletme karlılık değerlendirmelerinde çoğunlukla girdi - çıktı ve fiyat ilişkisi esas alınmaktadır (Hoskin, 1983). Ancak biyolojik üretim süreci sonucunda oluşan gelirlerin üretim aşamasında meydana gelen kayıplar göz ardı edildiğinde karlı bir üretim mümkün olamamaktadır. Üretim kayıpları gelirlerin önemli bir kısmını götürebilmektedir. Birim üretim için harcanan işgücü sermaye ve zaman kayıplarının fark edilmemesi ve kontrol altına alınamaması nedeniyle gerek yetiştirici gerekse bölge ve ülke düzeyinde ekonomik kayıplar artmaktadır. Sürü yönetim eksik ve hatalarından kaynaklanan kayıpları tespit edilmediğinde kayıpların etkisi artarak devam etmektedir. Üretim kayıplarını minimum indirmek başarılı ve etkin sürü yönetim başarısına bağlıdır. Yönetim, sosyal unsuru olan bir süreçtir. Belirli bir organizasyonel hedefe ulaşmak için insanların rehberliği ile birlikte kaynakların verimli kullanımını gerektirir (Payne ve Bettman 1996). İşletme kaynakları veya üretim faktörlerinin en uygun şekilde kullanımı işletme sorumlusu yönetim uzmanlığına bağlı olarak gerçekleşir (Karakus ve ark. 2019) Bu işte temel amaç, işletme karlılığını maksimize ederek sürdürülebilir hayvansal üretimi mümkün kılmaktır.

Ekonomik ve etkili planlama ve düzenleme yoluyla hedeflere ulaşmak ve belirli organizasyonel amaçları yerine getirmek için sorumluluk içerir. Bu, sorumluluk almak ve işin vizyona ve hedeflere ulaşılmasına yardımcı olan şeylere ve yönlerine odaklanılmasını sağlamakla ilgilidir. Süt sığırları işletmesinde başarılı bir sürü yönetimi ise, besleme, barındırma, üreme, sağım ve sağlık koruma konularında teknik ve pratik bilgilerin doğru olarak uygulanması ve kontrolüyle sağlanabilir.

2. Planlama

Planlama, sürü yönetiminin yönetiminin temel işlevidir. Önceden karar vermektir - ne yapılacağı, ne zaman yapılacağı ve nasıl yapılacağı. Planlama ayrıca önceden belirlenmiş hedeflere ulaşmak için yollar ve araçlar hakkında sistematik düşündürmektir. Olunan yer ile istenen yer arasındaki boşluğu en uygun ve gereken şekilde doldurmaktır.

Hayvancılık sürü yönetiminin yönetiminin planlama işlevi

- Hayvancılık işletmesi mevcut durum tespiti

- Hedef belirleme;
- Strateji tasarımı;
- Kaynak kullanımı ve faaliyetlerin planlaması
- Temel performans göstergeleri ve izleme yöntem geliştirilmesi bileşenlerini içerir

3. Durum tespiti

| 74

Planlama süreci bir değerlendirme ile başlar. Değerlendirme, temel sorunları, fırsatları ve değişim seçeneklerini belirlemek ve öncelik sırasına koymak için tüm işletme mevcutlarını kapsar. Hayvancılık işletme kayıtlarının ve ideal değerlerini tespiti ve analizi, işletme içinde yapılan gözlemler ve çalışanların görüş, öneri beklenti ve katkılarının belirlenmesi gerekir. Hayvancılık işletme değerlendirmesi yapmak için kullanılacak en önemli iki araç problem/objektif analizi ve SWOT analizidir. Ancak bu analizin yapılabilmesi için işletme kayıtlarının olması gerekir.

Hayvancılık faaliyetlerinde karar alma sürecini destekleyerek çalışanların ekonomiye katkısını artırmak ancak etkili bir mevcut durum analiz ile mümkündür. İşletme mevcut durum analiz ise işletmede doğru kayıt tutulması ve kayıtların değerlendirilerek e sürü yönetim kararlarına dâhil edilmesi ile mümkündür. Ulusal hayvancılık ve üretimin izlenmesine ilişkin kayıtlar ve veriler sağlanmalıdır. Bu veriler, hayvancılık işletmelerinin durumu hakkında bilgi edinmenin, mali ve idari açıdan değerlendirmenin etkili bir yoludur.

Hayvancılık işletmelerinde etkili bir çiftlik kayıt tutma sisteminin kurulması ve kullanılması, çiftlik planlamasına, bilinçli karar vermeye ve hem üretim hem de mali kayıtların analizine yardımcıdır. Bir çiftlik kayıt tutma sistemi kurulduktan sonra, kayıtların analizi başlayabilir. Karar verme, hem üretim hem de mali kayıtları ve bunların karlılık üzerindeki etkilerini analiz ederek büyük ölçüde geliştirilebilir. Doğru ve eksiksiz çiftlik kayıtları mevcut olduğunda uygun analizler yapılabilir.

İşletmenin kapasitesine göre uygun bir kayıt sistemi mutlaka kurulmuş olmalıdır. Sürü yönetiminde doğru kararlar verebilmek ve sürü ıslahı yapabilmek ancak sürü ve hayvanlara ait doğru ve yeterli bilgiye sahip olmakla mümkündür. İşletmede tutulacak kayıtlar ve çeşitleri değişkenlik gösterebilirse de doğum, aşımlar, süt kontrolü, besleme, ve ölüm ve sağlık uygulamalarını içeren bilgileri sağlayacak şekilde bir kayıt sistemi kullanılması amaca hizmet edecektir. Bu kayıtların tutulmasından ziyade bu kayıtlardan gerekli bilgilerin hesaplanabilmesi ve hesaplanan bilgilerin sürü idaresinde kullanımı ile başarılı süt sığırcılığı yapılabileceği için kayıt tutma ve değerlendirme konusu detaylı bilgi gerektiren bir uygulamadır.

Üretim ve verim kayıplarını önlemek ve sektörde istihdam edilebilecekler için sürü yönetimine yönelik daha kaliteli-ekonomik ürün programlarına ulaşabilmek için bilim insanları ve ilgili kurumların koordinasyonu gerekir. Hayvansal üretimin yoğun olduğu bölgelerde açılan sertifika programları, önlisans programı ve sürdürülebilirliği, hayvancılıkla ilgili tüm projelerde sürü yönetiminin zorunlu olarak çalıştırılması ve sağlanacak aynı ve nakdi destekler (Koyuncu, 2012; Anonim, 2017b) bu süreçte önemli rol oynamaktadır.

Kayıtlar işletme faaliyetlerinin, hayvanların, yemlerin, verimin, yapılan uygulamaların belgelenmesi anlamına gelir. Çok çeşitli kayıt bilgileri ve kayıt tutma şekli olacağı açıktır. Bu kayıtların ihtiyaca göre ve tasarlanması, kolay anlaşılabilir ve düzenli olması gerekir. Yararlılık ve eyleme yönlendirme, bilgiye dönüştürülmesinin kolay olması, basitlik ve mümkün olduğunca tekrardan kaçınma, iyi bir kayıt tutmanın sağlanması gereken kriterler arasındadır. Çünkü tutulan bu kayıtlar işletme sürü yönetiminde önemli kararların alınmasına temel oluştururlar. Kayıt tutma, hayvancılık sürü yönetiminin en önemli unsurudur. Finansal planlama kararlarına, ıslah amaçları için veri sağlamak, hayvancılık yönetimi kararlarına yardımcı olmak ve işletmenin genel faaliyetlerini değerlendirmede kayıtlar gerekir.

Planlama önceden karar vermektir - ne yapılacağı, ne zaman yapılacağı ve nasıl yapılacağı. Planlama ayrıca önceden belirlenmiş hedeflere ulaşmak için yollar ve araçlar hakkında sistematik düşündürmektir. Olunan yer ile istenen yer arasındaki boşluğu hedeflerle doldurmaktır.

Üretim planlaması, talepleri karşılayacak ve işletme kaynaklarını (hayvan, yem, alet, ekipman ve işgücü vb.) karlılık ve sürdürülebilirlik ilkeleri uyarınca gereken performans hedefleri doğrultusunda

kullanacak şekilde üretim faaliyetlerinin düzenlenmesidir. Hayvancılıkta üretim planlaması kritik bir süreçtir. Bu yüzden yetiştiricilerin hem ülke ihtiyaçlarına, hem de kendi işletme hedeflerine cevap verecek şekilde tasarlanmış ve başarı ile uygulanabilecek üretim planlarına ihtiyacı vardır. Hazırlanan üretim planı, gereksinimler, miktarı, yıl içinde dağılımı, özellikleri ile üretim çıktılarının miktar ve zamanlamasını gösteren bir projeksiyondur. Üretim planlamasını etkileyen çok sayıda faktörün varlığı, değişkenliği üretim planlama etkinliği zorlaştırmaktadır. Ancak, gereksinim miktarı, zaman ve özelliklerini doğru olarak planlayabilen işletmeler satış garantisi, fiyat avantajı ile sağlayacakları maliyet avantajları ile üretim deseni ve düzeni ile pazar paylarını istikrarlı biçimde yönetebileceklerdir. Bu nedenle, üretim planlama başarısı, işletmelerin karlı ve sürdürülebilir üretim ile piyasada başarısı için stratejik öneme sahiptir. Bu nedenle üretim planlaması talepler ile kaynaklar arası dengeleri, rekabetçi ve kar odaklı kararlar ile oluşturmayı amaçlayan fonksiyon olarak tanımlanır.

Üretim planlaması için işletmelerde uzun vadeli ‹stratejik› kararlar, orta vadeli ‹taktiksel› kararlar, kısa vadeli ‹operasyonel› kararlar, çok kısa vadeli, ‹anlık› kararlar söz konusudur. Tarım ve hayvancılık sektöründe üretimde bulunan yaklaşık 3.076.650 işletmenin sosyo ekonomik yapısına baktığımızda; fazla sayıda, küçük ölçekli, zayıf sermaye yapısına sahip, pazar için üretimde bulunmayan, geleneksel üretim anlayışını sürdüren işletmelerin bulunduğu görülmektedir. Bu durum üretimin artırılamamasındaki en önemli faktördür. Hayvancılık işletmelerinin ölçeklerinin küçüklüğü, kırsal ekonomik kalkınmadaki etkinliği azaltan önemli bir etmendir.

Üretim maliyetlerinin de yüksek olduğu bu işletmelerin, işletme ölçeklerini büyütecek politika ve modellerin oluşturulması rekabet gücünü artıracaktır. Hayvancılıkta, işletme yapılarındaki bu durum ile birlikte diğer bir önemli konu da üretimde yaşanan verim düşüklüğüdür.

Türkiye doğal kaynak ve ekolojik koşulları dikkate alındığında, hayvan yetiştiriciliği için çok uygundur. İşletme başarısında; hayvan ırkı, yaşı ve verim düzeyi belirleyicidir. Hayvan materyali ve yönetim kalitesi sonucunda ortaya konulan faaliyet birimlerinin üretim değeri ve işletmenin tarımsal geliri, önemli başarı göstergesidir. İşletmelerde gelirin %54-65 den fazlasının süt satışından sağlanmaktadır. Bu nedenle inek başına elde edilen verim işçilik ve diğer giderlerin karşılanması noktasında üretim değerinin altında olmamalıdır. Aynı maliyetle bir inekten yılda 5000 kg süt almak yerine 7000 kg süt alan bir işletmede karlılığın mukayese bile edilemeyeceği açıktır. Süt maliyetini oluşturan en önemli maliyeti unsurun da yem olduğu düşünülürse, sütün üretim maliyetinde yemleme yönetiminin başarısı öne çıkmaktadır. Üreticiler kendi alışkanlıklarına, hayvanlarının ihtiyacına ya da arazilerinin ve iklime bağlı olarak yetiştirecekleri yem bitkisine karar verir. İşletme büyüklüklerine göre üretilen ve satın alınan kaba yem miktarları incelendiğinde, bazı kaba yemlerin işletme büyüklüğüne göre gereğinden fazla ya da az üretildiği veya satın alındığı saptanmıştır. Örneğin bazı işletmelerin yıllık mısır silajı ihtiyacı 230 ton iken, 205 ton ürettikleri ve 64 ton mısır silajı satın aldıkları belirlenmiştir. Bu durum işletme sermayesinin ve arazisinin optimum düzeyde kullanılmadığını göstermektedir. Ayrıca bazı üreticilerin ihtiyaç fazlasını satmak amacıyla yem bitkisi ürettikleri de bilinmektedir. Ayrıca işletmelerde satın alınması gereken süt yemi, mısır flake, buzağı başlangıç yemi, buzağı büyütme yemi ve besi yemi miktarları düşerken, arpa flake miktarı yükselmiştir. Bu sonuçlarda üretim planlaması olmadan günlük kararlarla işlem yapıldığının göstergesidir. İşletme büyüklüklerine göre satın alınan kesif yemin mevcut ve plandaki miktarları karşılaştırıldığında en fazla farkın buzağı başlangıç yemlerinde olduğu belirlenmiştir. Buna göre, buzağı başlangıç yeminin satın alınması gereken plandaki miktarı bütün işletme gruplarında mevcut miktardan azdır. Üreticilerin hayvan besleme kararlarını sezgisel ve deneyimsel yöntemlerle vermelerine dayandırılabilir bu durum yem masraflarının artışına neden olup işletme brüt kârına olumsuz etki yapmaktadır (Güler ve Saner, 2021). İşletmelerde üretim planlamasının asıl amacı, azami karı sağlayacak olan üretim miktarının tespit edilmesidir. İşletmelerde üretim planlaması gelir ve gider maliyetleri etkilidir. İşletme, üretim faaliyetine ne kadar üretebileceği, hangi fiyata satılabileceği, nerede satacağı ve ne kadar kâr elde edebileceğinin hesaplayarak başlamalıdır. İşletmeler mevcut piyasa koşullarında fiyatlara hakim olamamaktadır. Fiyatlar, işletme dışında oluşsa da işletme karlılığını çok etkiler. Bu nedenle işletmeler ancak kendi koşullarında oluşacak olan maliyet unsurlarına müdahale ederek pazarlama karını etkileyebilir.

Son yıllarda emek yoğununda bilgi ve teknoloji yoğun sistemlere geçmiş olan hayvancılık işletmelerinde üretim kayıplarının önüne geçmek daha da önem kazanmıştır. Diğer sektörlerde olduğu gibi hayvancılık işletme yönetimi de üç temel işlevi yerine getirmelidir. Bunlar Planlama, Uygulama ve İzleme ve

Değerlendirmedir. Burada ayrı başlıklar halinde verilmiş olsa bile hayvancılık işletmelerinde tüm bu süreçler iç içe aşamalar şeklinde yürü ve kesin sınırlarla ayırmak pek mümkün olmaz.

Bu bilgilerin ışığında hazırlanan bildiriye, süt sığırcılığı işletmesi sürü yönetim başarısını ortaya koymak için örnek olmak üzere döl verim kriterlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi ve çözüm yolu geliştirilmesi amaçlanmıştır.

4. MATERYAL METOD

Sığır Yetiştiricileri Birliği'ne bağlı üç farklı süt sığırcılık işletmesinde yetiştirilen, günde iki kez sağımları gerçekleştirilen, 30.05.2019-11.03.2020 tarihleri arası doğum yapmış, 178 baş Holştayn ırkı sağmal ineğe ait döl verim kayıtları kullanılmıştır. İlk tohumlama yaşı, ilk tohumlama-gebelik aralığı, gebelik başına tohumlama sayısı, ilk buzağılama yaşı, buzağılama aralığı parametreleri ve servis periyotları aşağıda şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 1. İşletme döl verim ölçütleri ve hesaplama formülleri

Döl verim parameterleri	Tanım	Hesaplama
İlk tohumlama yaşı (gün)	İlk defa damızlıkta kullanma yaşıdır.	=İlk tohumlama tarihi- İnek doğum tarihi
İlk gebelik yaşı (gün)	İk gebe kaldığı yaş.	=İlk gebe kaldığı tarih- İnek doğum tarihi
İlk buzağılama yaşı (gün)	İneklerin ilk defa buzağıladığı yaşıdır.	=İlk buzağılama tarihi- İnek doğum tarihi
Buzağılama aralığı (gün)	Birbirini izleyen iki doğum arasındaki süredir.	=izleyen buzağılama tarihi-önceki buzağılama tarihi
Servis periyodu (gün)	İneğin buzağılamasından yeniden döl tutuncaya kadar geçen süredir.	= Gebe kaldığı aşım tarihi- Buzağılama tarihi
Gebelik başına tohumlama Sayısı (adet)	Bir sürüde her bir gebelik için gerekli olan ortalama tohum veya aşım sayısı	Gebe kaldığı tarihe kadar yapılan aşım sayısı

Doğal olarak döl verimi değerlendirmesi, Buzağılamadan sonra ilk tohumlama, Buzağılamadan sonraki ilk kızgınlık, iki kızgınlık arası süre ve tohumlamalar, Gebe kalma oranı, Buzağılama oranı (doğan buzağı oranı) ve ürem etkenliği gibi önemli diğer bazı parametreler de kullanmak faydalıdır. Ancak bu tebliğin süresi ve sayfa kısıtı dikkat elinde olduğunda bu çalışmada ancak bazıları değerlendirmeye dahil edilebilmiştir Çünkü, iyi bir döl veriminin anlamı; daha yüksek günlük süt verimi, yıllara göre daha fazla buzağı üretimi, daha yüksek bir verim için daha fazla seleksiyon imkanı demektir.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Sığırların döl verimleri, çevresel ve fizyolojik birçok etkene bağlı olarak değişmektedir ve beslenme bu etmenler içerisinde önemli bir rol oynamaktadır. Döl verimi özellikle süt işletmelerinde, süt üretiminin devamının ve işletmenin büyümesi için en önemli faktörlerden birisidir. Döl verimi; düve ve ineklerin, gebe kalabilmesi ve sağlıklı yavruları elde edebilmesi ve bu özelliğini ileri yaşlara kadar devam ettirebilmesidir.

Döl verimi bir sığırcılık işletmesinde iyi bir ekonomik sonuç almada daima göz önünde tutulması gereken oldukça önemli bir faktördür. Bir işletmede döl verim düzeyini gösteren ölçütler; ilkinde buzağılama yaşı, buzağılama aralığı, servis periyodu, buzağılamadan sonraki ilk kızgınlık, buzağılamadan sonra ilk tohumlama, iki kızgınlık arası süre, gebe kalma oranı, gebelik başına tohumlama sayısı, buzağılama oranı ve üreme etkinliği' dir. 228 adet Holştayn düvenin gebelik süreleri, ilk tohumlama-gebelik aralığına ait ortalama değerleri, ilk gebelik, ilk buzağılama ve ilk tohumlama yaşı ortalama

değerleri ve gebelik başına tohumlama sayıları belirlenmiş işletmelere göre sınıflandırılmış ortalama ve standart hataları Çizelge 1’de bildirilmiştir

Çizelge 1. Farklı İşletme Döl Verim ortalama değerleri

Sağmal kapasitesi	100	53	25	İdeal değer
İlk tohumlama yaşı (gün)	503.83±7.02	471.22±4.11	518.40±14.47	421 -481.6
İlk gebelik yaşı (gün)	541.15±9.82	497.21±7.75	531.36±16.24	446-511
İlk buzağılama yaşı (gün)	817.45±10.31	769.75±9.08	797.24±15.25	692.23-782.6
Buzağılama aralığı (gün)	413.47±5.64	408±10.31	410±6.24	365- 395
Servis periyodu (gün)	134.37±5.32	124.47±2.74	130±7.74	85–115
Gebelik başına tohumlama Sayısı (adet)	1.80±0.07	1.91±0.21	1.84±0.04	<1,7

Tespit edilen buzağılama aralığı (gün) 413.47±5.64, 408±10.31 ve 410±6.24 gündür. Bu ortalama değerler hedef değer olan 365-395 gün değerinden yüksektir. Başka bir ifadeyle bu işletmelerin yılda inek başına bir buzağı alma hedefine ulaşamadığı söylenebilir. Elde edilen ortalama servis periyodu (gün) değerleri de, hedef değer olan 85–115 günlerden yüksektir. Aynı şekilde gebelik başına aşım sayılında istenen değer yakalanabilmiş değildir. Bir ineğin gebe kalıp canlı bir buzağı doğurabilme yeteneği üreme etkinliği olarak tanımlanabilir. Sığırların her yıl buzağı vermesi ilkesine göre düzenlenmiş bir ölçüttür. Sürüde inek başına yılda ortalama bir canlı buzağı elde ediliyorsa, üreme etkinliği % 100’ dür. Üreme etkinliği için % 75-85 değeri uygun sayılır. Bu ideal değerlere ulaşma mümkün olmadığında hangi değerlerde idealden sapma varsa uygun stratejiler geliştirilmesi aşamasına geçilir.

Sürü yönetiminin amacı; hayvanların rahat ve konforunu da dikkate alarak sürüyü profesyonel bir yaklaşımla yönetmektir. Sürüdeki hayvan sayısına bağlı olmaksızın, verilerin toplanıp, değerlendirilip sürü yönetim kararların alınması gerekir. İşletmede kayıtlardan yapılacak hesaplama ile elde edilen değerler ideal değere ne kadar yakın ise işletme o kadar iyi yönetiliyor demektir.

Döl ve süt verimi özelliklerini etkileyen bazı faktörler; işletme, buzağılama yaşı, buzağılama yılı, buzağılama mevsimi ve laktasyon sırası olarak sıralanabilir (Özcan, 1994, Akbaş, 1990). Akbulut ve ark. (1992) servis periyodu ve buzağılama aralığının Holştayn ırkı sığırlarda uzun olmasını; hayvanların bölge şartlarına adaptasyonda zorlanmaları, doğumların mevsimlere göre senkronize edilememesi ve işletmede yaşanan idari sorunlardan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Silva ve ark. (1992) laktasyon sayısı, mevsim ve yılın, doğum-ilk tohumlama aralığını, ilk tohumlamagebelik aralığını, servis periyodunu, buzağılama aralığını önemli düzeyde etkilediğini belirtmişlerdir. Pelister ve ark. (2000) Marmara Bölgesi’ndeki Holştaynlar’da ilk buzağılama yaşını 30 ay olarak bildirirken, yıl ve mevsimin etkilerini önemli bulmuşlar, döl verimi özelliklerinin tümünde en büyük etkiye yılın neden olduğunu bildirmişlerdir. Bir diğer çalışmada ise, gebelik başına ortalama tohumlama sayısı ineklerde 2.4 adet olarak bulunmuş, gebelik sırasına göre 6. ve 7. gebeliklerde en yüksek sayıya ulaşılmış, mevsimlere göre yapılan değerlendirmede en düşük değer kışın, en yüksek değer ise sonbaharda tohumlamalarda elde edildiği bildirilmiştir (Özcan, 1994). Farklı çalışmaların ortak noktası olarak süt ve döl verimi, genetik ve çevresel kaynaklı çeşitli etmenlerin etkisi ile şekillenir.

İşletmelerde incelenen döl verim ortalama değerleri bakımından uygulamalarda bazı eksilik veya hatalar olduğunun bir göstergesidir. Sığırlarda ilk ve son tohumlama tarihlerinin aynı olması yani sığırın ilk tohumlamada gebe kalması istenir (Akbulut ve ark. (1992).

Çalışmada ilk gebelik yaşı genel ortalamaları 541.15±9.82, 497.21±7.75 ve 531.36±16.24 gün olarak belirlenmiştir. Bu değerler, Holştayn ırkı sığırlar için belirlenen **446-511** norm değerlerinin üst sınırda olduğu) anlaşılmaktadır. Bu durum; ilk tohumlama yaşının daha geç dönemlerde gerçekleşmesinden ve gebelik başına daha fazla tohumlama uygulamalarından kaynaklanmış olabilir.

Benzer olarak işlemlerin ilk buzağılama yaşı ortalamaları 817.45 ± 10.31 , 769.75 ± 9.08 ve 797.24 ± 15.25 gün olarak belirlenmiştir. Bu değerler, Holştayn ırkı sığırlar için belirlenen **692.23-782.6 gün** değerinin üzerindedir. Bu farklılıklar, değerlendirmeye alınan işletmelerde gebelik yaşının da daha erken veya geç dönemde gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Kültür ırkı düvelerin 14-15 aylık yaşta ve asgari 350 kg canlı ağırlığa eriştiği dönemde tohumlanmasının uygun olduğu belirtilmektedir (Göncü, 2017).

Araştırma sonucunda düvelerin ilk tohumlama yaşı ortalaması 503.83 ± 7.02 , 471.22 ± 4.11 ve 518.40 ± 14.47 gün olarak hesaplanmıştır. Bu durum mevcut çalışmada değerlendirilen işletmelerde düve yetitirme programı olmadığı ve hedeflene sürede istenen canlıla ırlıya uylaşarak tohumlatma işletinde sürü yönetim uygulma eskiliği olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca iyi bir kızgınlık izleme programının gerçekleştirilemediği ve yapay tohumlama uygulama başarısında da sorunlar olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Bu araştırmada tespit edilen gebelik başına tohumlama sayısı ortalaması 1.80 ± 0.07 , 1.91 ± 0.21 ve 1.84 ± 0.04 dir. Söz konusu bu değer sığırlar için Kabul edilen bir gebelik için 1.7 adet tohumlatma İdeal değerinden daha yüksektir.

Çalışmalar arasındaki bu farklılıklar, araştırma kapsamındaki işletmelerin kızgınlık takip programlarındaki aksaklıklardan ve işletmelerin farklı yönetim uygulamalarından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca işletmelerde, kızgınlık tespiti ve yapay tohumlama uygulamaları problemlerinin olması da muhtemeldir. İşletmelerde farklı yönetim programlarının uygulanması, beslenme sorunları, tohumlamaların zamanında yapılmaması, yapay tohumlama uygulamalarında problemlerin olmasından ve postpartum sorunlardan kaynaklanmış olabilir.

6. Uygun strateji geliştirilmesi

Bir hayvancılık işletme sorumlusu sorunları saptamalı, gelir ve giderleri göz önüne alarak uygun çözümler üretmeli ve bunları uygulayabilmelidir. Hedefleri belirleme, kaynakları tahsis etme, planlama, uygulama, değerlendirme ve gözden geçirme ile ilgili konularda yöneticinin kararları işletmenin başarısında belirleyici rol oynamaktadır. İşletme şefi durum tespiti, yapılacaklar, kararlar ve uygulanmasından sorumludur. Ayrıca geleceğe yönelik planlar geliştirmeden de sorumlu olduğu için sürekli hedefe mesafe konusunda kontrol tartım ölçüm ve değerlendirmeler yapması gerekir.

Çizelge 2. Düve yetiştirme ideal değerleri

İrklar/ döl verim özellikleri	Holştayn	Esmer	Guernser	Ayrshire	Jersey
Doğum ağırlıkları (kg)	45		34		30
İlk tohumlama kilo (kg)	340-360	340-360	270-320	270-320	250-270
İlk tohumlama yaşı (ay)	13-15	13-15	13-15	13-15	13-15
Buzağılamadaki kilo (kg)	550-590	550-590	400-450	400-450	385-430
Buzağılama yaşı (ay)	22-24	22-24	22-24	22-24	22-24
Günlük Canlı Ağırlık kg/gün	1,7	1,7	1,4	1,4	1,3
Ergin Canlı Ağırlık	680	680	560	560	500



Şekil 1. Düve yetiştirme ideal vücut kondüsyon puan değerleri

Döl verimi bir sığırcılık işletmesinde iyi bir ekonomik sonuç almada daima göz önünde tutulması gereken oldukça önemli bir faktördür. Döl verimi sürü yönetiminden büyük ölçüde etkilenir. İyi bir döl veriminin anlamı; daha yüksek günlük süt verimi, yıllara göre daha fazla buzağı üretimi, daha yüksek bir verim için daha fazla seleksiyon imkanı demektir.

Üreme gücü iyi olan bir sürüde bütün ineklerden her yıl birer yavru alınır. Ancak birçok sürüde döl verimi düşük seviyededir. Uzun buzağılama aralıkları ve düşük döl tutma oranları bu durumun göstergesidir. Döl verim düşüklüğünün başlıca nedeni kötü sürü yönetimidir

Eğer işletme düvelerinin ilkinde buzağılama yaşı yüksek ise bunu ideal değerlere yaklaştırmak için

1. Buzağı doğum ağırlığı
2. Sütten kesim ağırlığı ,
3. 3. ay ağırlığı
4. 6. ay ağırlığı
5. 9. ay ağırlığı
6. 12. ay ağırlığı
7. 13. ay ilkinde çiftleşme yaşı beklenen ay ağırlığı
8. 24. ay ilkinde buzağılama beklenen ay ağırlığı takibi yapılmalıdır.

Yapılan her tartımda ideal olan 13 aylık yaşta tohumlatmak için ergin ağırlığın %70 ne ulaşması için rasyon düzenlemesi ve kondüsyon takibi de yapılarak kayıt altında olmalı ve 13 ayda ki canlı ağırlığa ulaşmak için her tarımda gerekli düzenlemeler yapılarak müdahale edilmelidir.

7. Sonuç

Türkiye son 10 yılda giderek artan hayvan sayısına rağmen hayvan başına verimlerde beklenen artışı yakalayamamıştır. Çünkü hayvancılık çok hassas dengeler üzerine kurulu olup birçok faktöre bağlı olarak üretim gerçekleşmektedir. Girdi maliyetlerinde zaman zaman büyük dalgalanmalar gözlenmektedir. Değişen piyasa koşulları üretim etkenliği ve ürün fiyatlarını değiştirmektedir. Hayvancılık işletmeleri bu bağlamda üretim maliyetlerini minimum seviyelerde tutmak için büyük çaba göstermektedir. Ancak genel işletme karlılık değerlendirmelerinde çoğunlukla girdi - çıktı ve fiyat ilişkisi esas alınmaktadır. Ancak biyolojik üretim süreci sonucunda oluşan gelirlerin üretim aşamasında meydana gelen kayıplar göz ardı edildiğinde karlı bir üretim mümkün olamamaktadır. Üretim kayıpları gelirlerin önemli bir kısmını götürebilmektedir. Birim üretim için harcanan işgücü sermaye ve zaman kayıplarının fark edilmemesi ve kontrol altına alınamaması nedeniyle gerek yetiştirici gerekse bölge ve ülke düzeyinde ekonomik kayıplar artmaktadır. Sürü yönetim eksik ve hatalarından kaynaklanan kayıpları tespit edilmediğinde kayıpların etkisi artarak devam etmektedir. Üretim kayıplarını minimum indirmek başarılı ve etkin sürü yönetim başarısına bağlıdır.

8. Kaynaklar

- [1] Akbaş Y, Türkmüt L. Siyah Alaca, Simental ve Esmer sığırlarda akrabalı yetiştirme katsayısı ile bazı verim özellikleri arasındaki ilişkiler. 1. Döl Verim Özellikleri. Doğa Tr J Vet Anim Sci 1990; 14(2): 247-55.
- [2] Akbulut Ö, Tüzemen N, Yanar M. Erzurum şartlarında Siyah Alaca sığırların verimi 1. Döl ve süt verim özellikleri. Doğa Tr J Vet Anim Sci 1992; 16(3): 523-33.
- [3] Drazen, A. 2000. Political Economy in Macroeconomics, Princeton, Princeton University Press, 2000, s. 3
- [4] Göncü, S. (2017). Sığır davranışları ve sürü yönetimi. ISBN: 9786052396292, Publication Date: October 2017, Academician Bookstore.
- [5] Hoskin, R. E. 1983. "Opportunity Cost and Behavior", Journal of Accounting Research, C: 21, S: 1, 1983, s. 78.

- [6] Özcan M. Siyah Alaca sığırlarda yaşama gücü, döl verimi ve süt verimi özelliklerini etkileyen bazı çevresel faktörler üzerinde araştırmalar, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1994.
- [7] Payne, J. W. Bettman, J.R. 1996. “When Time is Money: Decision Behavior under Opportunity Cost Time Pressure”, *Organizational Behavior and Human Decision Process*, C: 66, S: 2, 1996, s. 131.
- [8] Pelister B, Altınel A, Güneş H. Özel işletme koşullarında yetiştirilen değişik orijinli siyahalaca sığırların döl ve süt verimi özellikleri üzerinde bazı çevresel faktörlerin etkileri. *İstanbul Üniv Vet Fak Derg* 2000; 26(2): 543- 59.
- [9] Poggio, M., 2006. Farm Management Records, [Online] Available: www.srdc.gov.au, retrieved on 4th November, 2018, 9:20 GMT.
- [10] Saygılı, Ş., Cihan, C., Yurtoğlu, H., 2005. Türkiye Ekonomisinde Sermaye Birikimi, Verimlilik ve Büyüme (1972-2003), İstanbul, TÜSİAD Yayınları, 2005.
- [11] Silva HM, Wilcox CJ, Thatcher WW, Becker RB, Morse D. Factors affecting days open, gestation length, and calving interval in Florida Dairy cattle. *J Dairy Sci* 1992; 75(1): 288-93.
- [12] TÜİK, 2022. Animal production statistics. Turkey Statistical Institute, Newsletter, <http://www.tuik.gov.tr/prehaberbultenleri.do?id=27704>, No. 27 704, February 7, 2018.

Makale id= 69

Sözlü Sunum

ORCID ID:

81

H1299 Akciğer Kanseri Hücre Hattında, CRISPR/Cas9 Aracılığıyla C-MYC Geninin Susturulması***Araştırmacı Selda Kondakçı¹, Dr. Öğretim Üyesi F. Azize Budak Yıldırım¹**
¹Kırıkkale Üniversitesi

*Corresponding author: Selda Kondakçı

Özet: Günümüzde, kardiyovasküler hastalıklardan sonra kanser, ölüm nedenleri arasında ikinci sırada yer almaktadır. Özellikle bazı kanser türlerinde geleneksel tedavilere yanıt verme oranları düşüktür. Olumsuz etkilerin azaltılması için hedef odaklı alternatif tanı ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Gen terapisi, hedefe yönelik çalışmalarda ilk sıralarda yer almaktadır. Son yıllarda RNA interferans (RNAi) moleküllerinden hedef geni baskılayan küçük kodlamayan RNA (siRNA), mikroRNA (miRNA), meganükleaz, ZFN, TALEN, CRISPR gibi farklı genom düzenleme araçları tasarlanmıştır. Özellikle CRISPR-Cas9 sistemi Charpentier, Doudna ve ekibinin 2020 yılında Nobel Kimya Ödülü'nü alması ile çalışmalar yeni bir boyuta taşındı. Bu sistem; DNA üzerinde ekleme, çıkarma yapma ya da DNA dizilimini değiştirmeye olanak tanıyan özgün bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Çalışmada H1299 hücre hattındaki c-Myc geninin susturulması amaçlandı. Transfeksiyon için lipofektamin kullanılan çalışmada MTT analizi ve Real-Time PCR analizi gerçekleştirildi ve PCR sonuçları Agaroz Jel Elektroforezi ile kontrol edildi. MTT analizinde (% 99,54- 124,2) uygulamada kullanılan ajanların sitotoksik olmadığı belirlendi. Real-Time PCR analizi 2- $\Delta\Delta CT$ ile değerlendirildi. Elde edilen verilere göre Cas9/ gRNA/Quercetin (10 ppm) grubunda gen ifadesinin azaldığı belirlendi. Agaroz jelde elde edilen bant profilinde benzer sonuçlar gözlemlendi. Transfeksiyonun viral ajanlar kullanılması ile daha etkili sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir. Bu tür çalışmaların artırılması hedef odaklı terapötik çalışmalar açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: CRISPR-Cas9, Gen Susturma, H1299, Real-Time PCR, Lipofektamin**Silencing of the c-MYC Gene in H1299 Lung Cancer Cell Line Via CRISPR/Cas9**

Abstract: Cancer ranks as the second leading cause of death after cardiovascular diseases in today's world. Particularly, response rates to conventional treatments are low in certain cancer types. Developing target-focused alternative diagnosis and treatment methods holds significant importance to mitigate adverse effects. Gene therapy stands out as a prominent approach in targeted studies. In recent years, various genome editing tools have been designed, such as RNA interference (RNAi) molecules like small non-coding RNAs (siRNAs), microRNAs (miRNAs), meganucleases, ZFN, TALEN, CRISPR, among others. Notably, the CRISPR-Cas9 system gained a new dimension following the awarding of the Nobel Chemistry Prize in 2020 to Charpentier, Doudna, and their team. This system is evaluated as a unique technology enabling modifications like insertions, deletions, or alterations in DNA sequences. The objective of this study was to silence the c-Myc gene in the H1299 cell line. Using lipofectamine for transfection, the study involved MTT analysis and Real-Time PCR analysis, with PCR results verified using Agarose Gel Electrophoresis. MTT analysis revealed that the agents used in the application (99.54% - 124.2%) were non-cytotoxic. Real-Time PCR analysis was evaluated using the 2- $\Delta\Delta CT$ method. According to the obtained data, gene expression decreased in the Cas9/gRNA/Quercetin (10 ppm) group. Similar results were

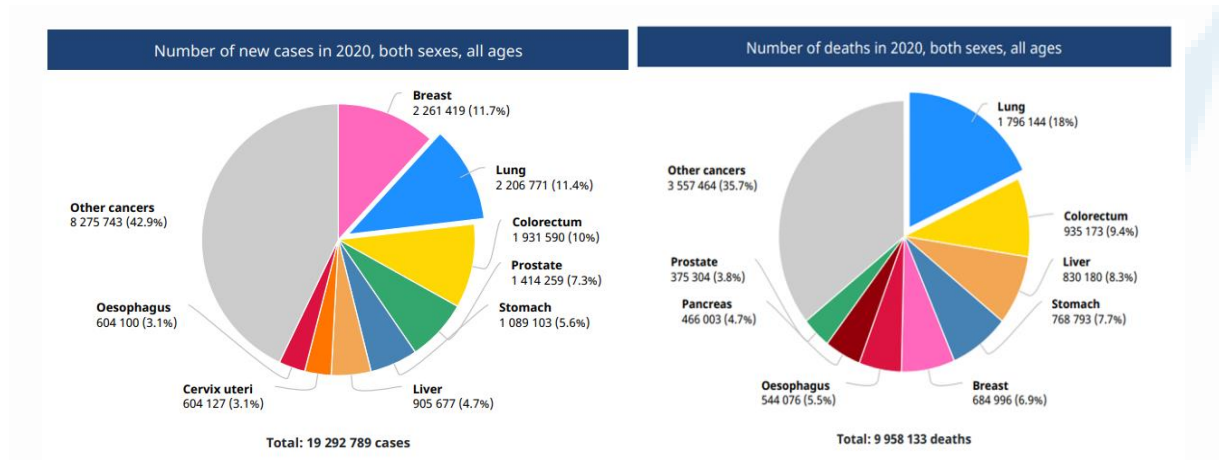
* Bu proje; 2021/124 nolu proje olarak Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri/ BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

observed in the band profile obtained in the Agarose gel. Transfection with viral agents is believed to yield more effective results. Increasing such studies holds great importance for target-focused therapeutic investigations.

Keywords: CRISPR-Cas9, Gene Silencing, H1299, Real-Time PCR, Lipofectamine

1. GİRİŞ

Akciğer kanseri veya akciğer karsinomu; dokularında kontrolsüz hücre büyümesi ile %98-99'unun karsinom olduğu çalışmalarla tespit edilmiş olan akciğer karsinomu veya malign akciğer tümörleridir. (White, Veronica; Ruperelia, Prina (2020)) 2020 yılı istatistiklerine göre, dünya çapında 2,2 milyon insanda akciğer kanseri görülürken, 1,8 milyon insanın ölümüne sebep olan kanser türüdür. (Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F (May 2021).) Nüfus insidansına göre toplam küresel akciğer kanseri ölüm oranı verilerinde Türkiye 7. sırada olsa da, erkek ölüm oranlarında yine nüfus insidansına göre 1. sıradadır. (World Cancer Research Fund International Lung Cancer Statistics)



Şekil 1.1 GLOBOCAN 2020 yeni kanser vakalarının türlerine ve mortalitesine göre istatistikleri

Genel akciğer kanseri verileri küçük hücreli akciğer kanserini -SCLC- ve küçük hücreli olmayan akciğer kanserini -NSCLC- kapsamaktadır. Akciğer kanseri histolojik olarak bu ana başlıklar altında incelenir. Ancak, SCLC genel akciğer kanserlerinin yaklaşık %15'ini oluştururken, NSCLC'nin yaklaşık %85'ini oluşturduğunu ifade edilmiştir. (Neil Basumallik; Manuj Agarwal.)

Akciğer kanseri hastalarında radyoterapi, kemoterapi, immünoterapi, cerrahi tedavi gibi geleneksel tedavi yöntemlerinin yanı sıra epigenetik çalışmalar ve yeni nesil tedavi yöntemleri bulunmaktadır. Geleneksel tedavi yöntemlerindeki istenmeyen etkilerin giderilebilmesi için hedef odaklı çalışmalar üzerinde durulması büyük önem taşımaktadır. Hedef bölge odaklı çalışmaların başında RNA interferans (RNAi), CRISPR (Clustured Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats; Düzenli Aralıklarla Bölünmüş Palindromik Tekrar Kümeleri) gibi yöntemler gelmektedir. Bu tür çalışmalarda moleküllerin hedef hücreye verimli bir şekilde ulaştırılabilmesi için farklı biyolojik ve kimyasal ajanlar kullanılmaktadır.

1.1. CRISPR

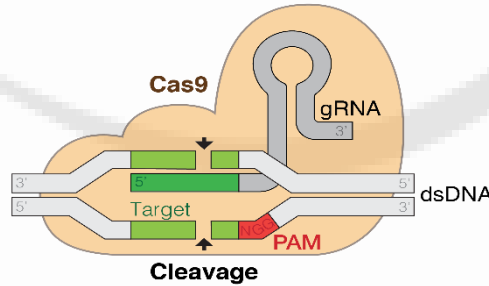
CRISPR, DNA'nın tekrarlı lokuslarıdır. Cas9 ise, CRISPR ile bağlantılı enzim veya endonükleazdır. Bakterilerde çok sayıda doğal bağışıklık benzeri sistemlerin yanında, spesifik ve dış kaynaklı genetik elementlere karşı kazanılmış bağışıklığı sağlayan CRISPR-Cas adaptif immün sistemi tanımlanmıştır. (Barrangou, R., & Marraffini, L. A. (2014)). Düzenli aralıklarla bölünmüş palindromik tekrar kümeleri (CRISPRs) ve ilişkili genleri (Cas), bakteri ve arkelerin nükleik asit tabanlı adaptif bağışıklık sistemlerinin temel bileşenleridir. CRISPR, DNA dizilimindeki tekrar kümeleridir. Açılımı da Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats; yani Düzenli aralıklarla bölünmüş kısa palindromik tekrarlar veya tekrar kümeleridir. Aralayıcılar adı verilen dizilerle ayrılmış, ortalama 23 ila 47 baz çifti

uzunluğunda bir dizi tekrardan oluşan DNA dizileridir. Palindromik özellikleri; DNA'nın 5' ucundan 3' ucuna okunuşu ile komplementer zincirdeki okunuşlarının aynı olmasından gelmektedir. (Grissa, I., Vergnaud, G., & Pourcel, C., 2009). CRISPR kümelerinin varlığı 1980'li yıllardan beri belli çalışmalarla ortaya konmuş olsa da 2005 yılında prokaryot ve ökaryot canlıların kendilerini korumak amaçlı bağışıklık sistemi hafızalarını ortaya çıkıştır. Bu canlıların savunma mekanizmasındaki rolü ise bakterilere saldıran virüslerden veya plazmitlerden kaynaklanan bir durumdur. Bakteriler, virüs DNA'larını kendi DNA'larına entegre ederek kendilerini koruyabilecekleri bir hafıza yaratmaya çalışmışlardır. Bu sayede istila amacıyla bakteriye tahakküm kurmaya çalışan virüsün eşleşen DNA'sı ile karşılaştığında bakteriler bağışıklık geliştirdiğinden, kendilerini koruyabilmektedirler. Böylece genetik özellikli çoğu hastalık başta olmak üzere, kanser, HIV, hatta körlük gibi hastalıkların da tedavi çalışmalarının önünü açan bir buluştur. (Horvath P, Barrangou R (Ocak 2010).

Son dönemlerde genlerin düzenlenme yöntemleriyle ve transkripsiyon sonrası modifikasyonlar aracılığıyla gen ifadelerinin manipüle edilmesine bu sayede değiştirilmesine olanak sağlayan çok sayıda moleküler teknik kullanılmıştır. Bunların arasında, CRISPR teknolojisi basitliği, özgünlüğü ve terapötik yaklaşımlarda kullanımı gibi avantajları sayesinde farklı alanlarda giderek daha önemli hale gelerek uygulanmaya başlanmıştır. CRISPR-Cas9 aracılı gen düzenlemede kullanılan viral vektörler, genetik malzemeyi hedef hücrenin kromozomuna ulaştırma ve entegre etme yeteneğine sahip dağıtım araçlarıdır. (Khan ve ark., 2019). CRISPR Cas9 yöntemi ile nakavt şeklinde ifade edilen gen ifadesinin susturulması, overekspresyonu veya modüle edilerek düzenlenmesi mümkündür.

1.1.1. CRISPR/Cas9

CRISPR associated protein 9, CRISPR ile ilişkili protein 9 olan Cas9; DNA'da değişiklik yapma yeteneği yaratan bir proteindir. Genetik mühendisliği uygulamalarında çokça kullanılan, genetik biliminde bambaşka bir çalışma alanı sunan önemli bir proteindir. CRISPR Cas9 sayesinde DNA kesilip değiştirilebilmektedir. Bu dizi çalışmalar yürüten araştırmacılar, hayvanların, bitkilerin ve mikroorganizmaların DNA'sına son derece yüksek bir hassasiyetle müdahale edebilmektedirler. Bu çalışma ve uygulamaların geliştirilmesi neticesinde, genetik hastalıkların ciddi derecede önüne geçilebileceği, gelişmiş tedavi yöntemleri sunulabileceği, yeni tür ilaçlar tasarlanabileceği öngörülmektedir.



Şekil 1.2 CRISPR/Cas9 (Marius Walter, 2017)

2020'de Nobel Kimya Ödülü'ne "DNA zincirlerini kesmeye, yeniden birleştirmeye olanak sağladığından ve CRISPR-Cas9 sisteminin geliştirilmesine katkılarından ötürü", Fransız mikrobiyolog Emmanuelle Charpentier ile ABD'li biyokimyacı Jennifer A. Doudna layık görüldü. Çalışmalarını; 'Genetik makas: yaşam kodunu yeniden yazmak için bir araç' olarak ifade etmişlerdir. Bu çalışmada H1299 Akciğer kanseri hücre hattında CRISPR Cas9 yöntemi kullanılarak c-MYC geninin susturulması amaçlandı.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kimyasallar

Kullanılan gRNA, Trueguide SgRNA Nc Nontarget 1 1 Vial 3 Nmol negatif kontrol, Cas9, Opti-MEM™ I ve Lipofectamin farklı firmalar aracılığı ile Thermo Fisher Scientific (Waltham, Massachusetts, ABD) firmasından temin edildi.

PBS, RPMI, FBS, TE Buffer, Penisilin – streptomisin, Kuersetin, MTT solüsyonu, isopropanol alk. RNA izolasyonu için High Pure RNA Isolation Kit (Roche); cDNA sentezi için Transcriptor High Fidelity cDNA Synthesis Kit (Roche) kullanıldı.

Hedef gene ulaşılmasında rehberlik etmesi için, ilgili gene uygun, PAM dizisi CGG olan gRNA belirlendi. c-MYC geni için Syber green primer dizisi:

c-MYC- For 3'TCTAAGAGAAATCTCCTGAGCAATC5'

c-MYC-Rev 3'TCAAGACTCAGCCAAGGTTGTG5'

Hedef genin kesilmesini ve susturulmasını sağlamak için Cas9 enzimi, hedef gene susturucu gRNA'nın ve kesme enzimi Cas9'ın kontrollü olarak taşınmasını sağlamak amacıyla transfeksiyon reaktifi olarak lipofektamin kullanıldı.

2.2. Yöntem

Çalışmada insan akciğer kanseri, p53 mutant hücre hattı H1299 hücre hattı DMEM besiyeri içinde %1 antibiyotik ile birlikte kültüre edildi. Kültür ortamının içeriği yüksek glükozlu bazal ortam kullanıldı. Elde edilen hücre hattı kültürleri inkübatörde bekletildi. Uygulama yapılan hücreler için MTT analizi, Real-Time PCR ve Agaroz jel elektroforezi yapıldı.

c-MYC geni akciğer kanserli hücre hattını in vitro ortamda knock out ile susturmak için CRISPR/Cas9 yöntemi kullanıldı. Kültüre edilen H1299 hücrelerine uygulamalar MTT analizi için 24 well platelere yapıldı. 6 well plate'de Real-Time PCR uygulamaları gerçekleştirildi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmamızda WHO verilerine göre vaka sayısına göre ölüm oranının çok yüksek olduğu ve dünya çapında önde gelen ölüm oranına sahip akciğer kanseri konu edildi. CRISPR-Cas9 yöntemi ile akciğer kanserli hücre hattındaki c-Myc geninin knock-out edilmesi amaçlandı.

İn vitro çalışmada H1299 hücre hattı ve hücre kültürü kullanıldı. Çalışmanın bir kısmına sitotoksitite testi yapılırken bir kısmına da PCR testi ve onu takiben agaroz jel elektroforezi uygulandı.

Hedef genin knock-out olup susturulabilmesi için Cas9 enzimi kullanıldı. Cas9 enziminin hedef gene ulaşmasında rehberlik etmesi için, ilgili gene uygun gRNA kullanıldı. Hücreye taşıma işlemi transfeksiyon ile yapıldı. Transfeksiyon reaktifi olarak lipofektamin kullanıldı. C-myc gen ekspresyonu için SYBR Green primerleri (reverse-forward) kullanıldı.

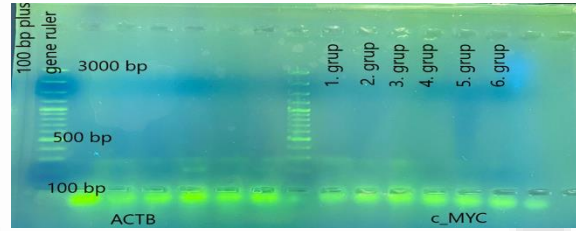
24 kuyucuklu platelerde MTT analiz sonuçları değerlendirildiğinde, uygulamada kullanılan ajanların sitotoksik olmadığı (% 99,54- 124,2) belirlendi.

6 kuyucuklu plate için önce RNA izolasyonu yapıldı. Bu işlemi housekeeping gen olan ACTB ile PCR çalışması ve rölatif değerlendirme takip etti. c-Myc geninin knock-out edilip susturulduğunu kontrol etmek için c-Myc primerleri dizayn edildi. Dizayn edilen bu primerlere referans gen belirlendi. Bu referans genler ve c-Myc genini hedefleyen primerlerle SYBR Green master mix kullanılarak gen ekspresyon analizi yapıldı. Gen ekspresyon analizi yapılırken, kontrol grubu ve farklı içerikler eklenen Cas9 tekniklerini içeren bileşenler ayrı ayrı kültüre edildi. Kültüre edilen içerikler RNA ekstraksiyonu yapıldı. RNA ekstraksiyonu tamamlanan kültürlerle c-Myc geni, kontrol grubu ve referans gen için gen ekspresyon çalışması yapıldı. Bu gen ekspresyon çalışmasında öncelikle kontrol grubunun, hedef gen ve referans genin değerleri ile Delta Ct (ΔCt), Delta-Delta Ct ($\Delta\Delta Ct$) ve $2^{-\Delta\Delta Ct}$ hesaplamaları yapıldı.

Tablo 3.1. Real-Time PCR Analiz sonuçları

Kesim saati	Target	Cq1	Cq2	Kesim saati	Target	Cq1	Cq2
00-1	Actin	32,93	33,09	00-1	c-myc	29,23	26,98
00-2	Actin	33,08	33,08	00-2	c-myc	27,79	27,15
00-3	Actin	32,63	32,63	00-3	c-myc	26,82	26,94
00-4	Actin	33,60	33,60	00-4	c-myc	26,98	28,16
00-5	Actin	31,15	31,15	00-5	c-myc	26,98	28,94
00-6	Actin	32,44	32,44	00-6	c-myc	26,91	28,11

Real-Time PCR analizi $2-\Delta\Delta CT$ ile değerlendirildi. Elde edilen verilere göre relative değerlendirme yapıldı ve PCR ürünleri agaroz jel elektroforezi (% 1.7) ile kontrolü sağlandı. Aynı hesaplamalar c-Myc geni susturulması için uygulama yapılan kültürlerde de yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda aradaki değişimler gözlemlendi. Aynı zamanda SYBR Green 1 boyasının non-spesifik olarak gördüğü her çift sarmala bağlanmasından dolayı konvansiyonel şekilde jelde de yürütülmüştür. Agaroz jel elektroforezinde yürütme sonucunda ortaya çıkan bantlarla da sonuçlar karşılaştırılıp doğrulanmıştır ve kontrolleri yapılmıştır. Agaroz jel elektroforezi 1 ay arayla tekrarlanmıştır. Çıkan sonuçlara bakıldığında c-Myc geninin, gen ekspresyonu ve ortaya çıkan bantlarda yapılan çalışmanın belli yetersizliklerden ötürü hem kontrol grubunda, hem de uygulama yapılan kültür gruplarında aktif olduğu; ancak gen ifadesinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Şekil 3.1.** PCR ürünlerinin Agaroz Jel Elektroforez (% 1.7) görüntüsü

2023 yılında yayınlanan bir çalışmada; CRISPR Cas9 yöntemi kullanılarak, küçük hücreli akciğer kanserinde (SCLC) serin/treonin kinaz hücre bölünme döngüsü 7'nin (CDC7) potansiyel bir sinerjistik hedef olduğunu belirlediler. SCLC'nin tedavisinde, kemoterapi ile sinerji oluşturan potansiyel gen hedeflerini belirlemek için kemo-dirençli SCLC hücre dizisi H69-AR CRISPR/Cas9 yöntemi ile analiz edilerek, CDC7 siRNA'sını lipofektamin ile SCLC hücre hatlarına transfekte ettiler. Kemo-dirençli SCLC hücrelerinde CDC7'nin susturulmasının IC50'yi azalttığını ve kemoterapinin etkinliğini artırdığını keşfettiler. (Deng ve ark., (2023).

2023 yılında yayınlanan bir çalışmada; PZR'nin aşırı ekspresyonu sonucunda tümör teşvik edici aktivitelerin akciğer kanserindeki etkisini ölçmek için; CRISPR Cas9 tekniğini kullandılar. Akciğer adenokarsinomu SPC-A1 hücre hattını kullanılarak SPC-A1 hücrelerini lipofektamin ile transfekte ettiler. PZR'nin knock out ile susturulması koloni oluşumunu, göçü ve istilayı azaltırken, PZR'nin aşırı ifadesinin zıt etkilere sahip olduğunu belirttiler. Böylece, PZR'nin akciğer kanseri gelişiminde önemli bir rol oynadığını ve anti-kanser gelişimi için terapötik bir hedef olduğu sonucuna vardılar. (Fu ve ark. (2023))

2021'de yayınlanan bir çalışmaya göre, CRISPR Cas9 yöntemi ile akciğer kanserinde cisplatin direncinden sorumlu bağımlı genetik bileşenleri belirlediler. GPR89A geninin ilk kez cisplatin direnci gelişimine katkıda bulunduğu ve bu genin knock-out edilmesinin cisplatin direncini kırdığını tespit

ettiler. Ancak bu çalışmada, transfeksiyon için Brunello kütüphanesi'nden lentivirüsler, plazmidler, PEI ajanı, LentiCas9 blast gibi içerikler kullandılar. (H. Güler Kara, B. Kosova, (2021)).

2023 yılında yayınlanan bir çalışmada MCF-7 meme kanseri hücre hattı sispaltine dirençli olduğundan; ERCC1 geninin aşırı ekspresyonunun regülasyonunu azaltmak için CRISPR/Cas9 yöntemi ve lipofektamin ile verimli bir kargo tasarlamak ve karakterize etmek amaçlandı. Lipofektamin ile birlikte non-invaziv çift hedefli poliplekslerin verimliliğinin yüksek olduğu, transfeksiyon verimliliği sergilediğini belirttiler. Lipofektamin kullanılan çift hedefli poliplekslerin, tek hedefli poliplekslere göre gen transferini yaklaşık iki kat artırdığını bildirmişlerdir. (Tavazohi ve ark. (2023)).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

c-Myc geninin, gen ekspresyonu ve ortaya çıkan bantlarda yapılan çalışmanın hem kontrol grubunda, hem de uygulama yapılan kültür gruplarında aktif olduğu gözlenmiştir.

Ancak Real-Time PCR verilerinin rölatif değerlendirilmesi ve Agaroz Jel Elektroforezindeki bant profili değerlendirildiğinde; Cas9/ gRNA/Kuersetin (10 ppm) grubunda gen ifadesinin azaldığı gözlenmiştir.

CRISPR Cas9 ile etik kurallar çerçevesinde yapılan analizlerin artırılması önemlidir.

Transfeksiyonda lipofektamin ile viral ajanların birlikte kullanılması hedef bölgeye ulaşmada daha etkili olabileceği düşünülmektedir.

CRISPR Cas9 uygulamalarını içeren bileşenlerdeki kimyasal malzemelerin miktarına yönelik, transfeksiyon reaktifinin değiştirilerek daha fazla optimizasyon çalışması önerilmektedir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Barrangou, R., & Marraffini, L. A. (2014). CRISPR-Cas systems: prokaryotes upgrade to adaptive immunity. *Molecular cell*, 234-244.
- [2] Deng, L., Yang, L., Zhu, S., Li, M., Wang, Y., Cao, X., & Guo, L. (2023). Dirençli küçük hücreli akciğer kanserinde CRISPR/Cas9 taraması yoluyla CDC7'nin kemoterapinin sinerjik hedefi olarak belirlenmesi. *Hücre Ölümü Keşfi*.
- [3] Grissa, I., Vergnaud, G., & Pourcel, C. (2009). Clustered regularly interspaced short palindromic repeats (CRISPRs) for the genotyping of bacterial pathogens. In *Molecular Epidemiology of Microorganisms* (pp. 105-116). Humana Press, Totowa, NJ.
- [4] H. Güler Kara, B. Kosova Küçük Hücreli Dışı Akciğer Kanserinde Cisplatin Direnci Gelişiminde Rol Oynayan Genetik Faktörlerin CRISPR-CAS9 Tabanlı Tüm Genom Tarama Sistemiyle Belirlenmesi, 2021.
- [5] Horvath P, Barrangou R (Ocak 2010). "CRISPR/Cas, the immune system of bacteria and archaea". *Science*. ss. 167-70. doi:10.1126/Science.1179555. PMID 20056882.
- [6] Khan, S. H. (2019). Genome-Editing Technologies: Concept, Pros, and Cons of Various Genome-Editing Techniques and Bioethical Concerns for Clinical Application. *Molecular Therapy. Nucleic Acids*. <https://doi.org/10.1016/J.OMTN.2019.02.027>
- [7] Neil Basumallik; Manuj Agarwal, NCBI Bookshelf, Small Cell Lung Cancer.
- [8] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Laversanne M, Soerjomataram I, Jemal A, Bray F (May 2021). "Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries". *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 209-49. doi:10.3322/caac.21660.
- [9] Tavazohi, N., Mirian, M., Varshosaz, J., Shirani-Bidabadi, S., Sadeghi, H. M. M., & Khanahmad, H. (2023). Fabrication and evaluation of a dual-targeting nanoparticle mediated CRISPR/Cas9 delivery to combat drug resistance in breast cancer cells. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*.

- [10] White, Veronica; Ruperelia, Prina (2020). "28.Respiratory disease". In Feather, Adam; Randall, David; Waterhouse, Mona (eds.). Kumar and Clark's Clinical Medicine (10th ed.). Elsevier. pp. 975–982. ISBN 978-0-7020-7870-5.
- [11] World Cancer Research Fund International Lung Cancer Statistics/ <https://www.wcrf.org/cancer-trends/lung-cancer-statistics/>



Makale id= 85

Sözlü SunumORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1339-3267>

| 88

Kars Yöresinde Etnobotanik Olarak Tüketilen Bazı Bitkilerin Antimikrobiyal Etkilerinin Araştırılması**Araştırmacı Tayfun Bilgin¹, Dr. Öğretim Üyesi Neslihan Mutlu¹**¹Kafkas Üniversitesi

*Corresponding author: Neslihan Mutlu

Özet: Bu çalışmada Kars'ın Arpaçay ilçesinden toplanarak satışa sunulan *Rumex patientia* L. (evelik), *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (altın otu) ve *Achillea arabica* Kotschy (civan perçemi) bitkileri kullanıldı. Halk arasında yaygın olarak kullanılan ve çeşitli rahatsızlıkların tedavisi için tüketilen bu bitkilerin antimikrobiyal etkinlikleri *in vivo* araştırıldı. Çalışmada üç Gram-pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Enterococcus faecalis* ATCC 29219), sekiz Gram-negatif (*Pseudomonas auriginosa* ATCC 27853, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumonia* ATCC 700603, *Escherichia coli* ATCC 35218, *Escherichia coli* O23, *Escherichia coli* O143, *Escherichia coli* O164, *Escherichia coli* O157:H7) bakteri kullanıldı. Bitkilerin antimikrobiyal etkinliklerini belirlemek için metanol ekstaktları çıkartıldı ve Disk-difüzyon metodu kullanıldı. Metot uygulandıktan sonra zon çapları ölçüldü. Methanol ekstraktlarının test edildiği mikroorganizmalardan 11 tanesinden 10'unun en az bir bitkiye duyarlı olduğu görüldü. Duyarlı mikroorganizmalar tespit edildikten sonra minimal inhibitör konsantrasyon (MİK) değerleri, microplate okuyucu ile 600 nm'de tespit edildi. Elde edilen sonuçlara göre MİK değerlerinin 7,8 mg/ml ile 31,25 mg /ml arasında değiştiği tespit edildi. *Rumex patientia* methanol ekstraktının *S.aureus* ATCC 25923 üzerine en düşük dozda (7,8 mg /ml) etki eden bitki olduğu, *Achillea arabica* methanol ekstraktının *E.faecalis* ATCC 29219 üzerine en düşük dozda (15,62 mg /ml) etki eden bitki olduğu, *Helichrysum arenarium* methanol ekstraktının *E.coli* O23 üzerine en düşük dozda (7,8 mg /ml) etki eden bitki olduğu, *Achillea arabica* methanol ekstraktının *E.coli* O143 üzerine en düşük dozda (7,8 mg /ml) etki eden bitki olduğu, yine *Achillea arabica* methanol ekstraktının *E.coli* O164 üzerine en düşük dozda (7,8 mg /ml) etki eden bitki olduğu belirlendi. *E.coli* O157:H7 üzerine etki eden tek bitkinin ise *Rumex patientia* olduğu görüldü. Diğer mikroorganizmalar üzerine etkileri karşılaştırıldığında ise anlamlı bir fark olmadığı görüldü.

Anahtar Kelimeler: *Rumex Patientia*, *Helichrysum Arenarium*, *Achillea Arabica*, Antimikrobiyal, Metanol Ekstrakt

1. GİRİŞ

Şifalı bitkiler, hem geleneksel hem de modern tıbbın etkili bir kaynağını oluştururlar. Son 50 yılda bitkilerin sekonder metabolitleri üzerine yapılan çalışmalar önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca, farmasötik şirketler bu tür bitki temelli metabolitleri dünya genelinde çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanmaktadır (Inbaneson vd., 2012). Bitki materyallerinin faydalı tıbbi etkileri genellikle bitkide bulunan sekonder metabolitlerin kombinasyonlarından kaynaklanır. Bu kavramla uyumlu olarak, bitkilerin tıbbi etkilerinin genellikle belirli bitki türlerine veya cinslere özgü olduğu, çünkü belirli bir bitkideki sekonder metabolit kombinasyonlarının genellikle taksonomik olarak farklı olduğu görülmektedir (Wink, 1999). Sekonder ürünler bitkilerde çeşitli işlevlere sahip olabilir, ancak aynı zamanda insanlar için potansiyel tıbbi etkilere de sahip olabilirler. Örneğin, bitki savunmasında sitotoksiste yoluyla mikrobiyal patojenlere karşı etkili olan sekonder ürünler, insanlarda antimikrobiyal ajanlar olarak kullanışlı olabilir (Kaufman vd., 1999).

Rumex, Polygonaceae ailesinin ikinci en büyük cinsidir. Dağılım bölgesi kuzey yarımküredir. Dünya genelinde Rumex cinsine ait bitkiler, tüketilebilir olmalarından dolayı geleneksel tedavi amaçlarıyla kullanılmaktadır (Vasas vd., 2015). Genellikle kaynatma ve demlemeler tıbbi kullanımda tercih edilse de farklı kullanım formları da mevcuttur (Gautam vd., 2010). Rumex patientia L., Anadolu'da 1050 m yükseklikte yaygın olarak yetişen çok yıllık bir bitkidir (Baytop, 1984). İçerdiği antrakinonlar ve tanenler nedeniyle geniş bir şekilde tıbbi bitki olarak kullanılmaktadır (Baytop, 1984; Kuruüzüm, 1996). R. patientia, Anadolu'nun birçok bölgesinde olduğu gibi, Kuzeydoğu Anadolu'da 1080 m yükseklikte yayıldığı Türkiye Florası'nda belirtilmektedir (Davis, 1975); bu bölgede bulgur veya pirinçle hazırlanan çorbaların içine eklenerek tüketilir. Yerel halk arasında solunum yolu enfeksiyonlarının tedavisine yönelik şifa sağladığına inanılmaktadır.

Helichrysum arenarium (L.) Moench, Asteraceae familyasına ait bir türdür. Özellikle Orta ve Doğu ülkeleri olmak üzere Avrupa kıtasında geleneksel tıpta geniş çapta kullanılmaktadır ve çeşitli patolojilerin tedavisinde kullanılmaktadır (Freire vd., 2015; Galbany-Casals vd., 2009). Türkiye'de bu cinse ait 20 tür bulunmaktadır ve bunlardan 14 tanesi endemiktir (Wichtl, 2004). Diüretik (Lourens vd., 2008), kolorektal ve anti-enflamatuar özellikleri (Shikov vd., 2014) için kullanılmaktadır. Ayrıca farklı ülkelerde sarılık tedavisinde (Drăgulescu, 2016) kullanılmaktadır. Yerel halk, böbrek rahatsızlıkları ve boğaz ağrıları için tüketmektedir (Anonim).

Achillea L. cinsi, Asteraceae familyasına aittir ve 115 tür içerir. *Achillea* L. cinsi Avrupa, Batı Asya ve Kuzey Afrika'ya özgü olmasına rağmen, aynı zamanda Avustralya, Yeni Zelanda ve Kuzey Amerika'da da bulunmaktadır (Rechinger, 1986). Türkiye'de cinsin 42 türü bulunmakta ve bunların 23'ü endemiktir (Duman, 2000). *Achillea* L. cinsine ait birçok türün tıbbi özellikleri vardır ve bazı ülkelerde terapötik amaçlarla kullanılmaktadır (Bashi vd., 2012). Türkiye'de bazı *Achillea* türleri karın ağrısı (Honda vd., 1996), ishal (Yeşilada vd., 1993), yara iyileşmesi (Fujita vd., 1995) gibi farklı hastalıkların tedavisinde geleneksel olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yiyecek olarak tüketilen *Achillea* türleri, bu familyada bulunan flavonoidler ve terpenoidler nedeniyle antimikrobiyal aktiviteye sahiptir (Panda, 2018). *A. arabica* (synonym; *Achillea biebersteinii* Afan.), Kars'ta diş ağrısı ve yara iyileşmesi için geleneksel olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Kuzeydoğusu'ndan (Kars) elde edilen bitki metanol ekstraktlarının önemli insan patojenlerine karşı *in vitro* antibakteriyel aktivitelerini araştırmak ve minimal inhibitör konsantrasyonları (MİK) ile minimal bakterisidal konsantrasyonları (MBK) belirlemektir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Bitki Örnekleri:

Çalışmada kullanılan üç bitki örneği, Kars'ın Arpaçay ilçesinden toplayarak ve satışını yapan yerel aktarlardan temin edildi. Bitki materyallerinin taksonomik tanımlaması, Kafkas Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Bölümü'nde Dr. Gül Esmâ Akdoğan tarafından doğrulandı. Çalışmada *Rumex patientia* L. yaprakları, *Helichrysum arenarium* Moench çiçekleri ve *Achillea arabica* Kotschy kullanıldı. Ticari örnekler musluk suyunda yıkandı ve gölgede ve oda sıcaklığında bir ay boyunca kurumaya bırakıldı. Kuruyan bitkiler endüstriyel öğütücüde öğütüldü. Tablo 1, bitkilerin bilimsel isimleri, genel isimleri, aileleri, yerel isimleri, kullanılan kısımları ve etnomedikal kullanımlarını göstermektedir.

Tablo 1. Kullanılan bitki örnekleri

Bilimsel ismi	Familya	Yaygın İsmi	Lokal İsmi	Kullanılan Kısım	Geleneksel Kullanımı	Referanslar
<i>Rumex patientia</i> L.	Polygonaceae	Patience dock, garden patience, herb patience	Evelik, labada	Yaprak	Grip, tonsillit, öksürük, inflamasyon	(Güneş ve Özhatay, 2011)
<i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench	Asteraceae	Dwarf everlast, immortelle	Altın otu, ölmez otu	Çiçek	Diüretik	(Güneş ve Özhatay, 2011)
<i>Achillea arabica</i> L.	Asteraceae	Yellow milfoil	Sarı civanperçemi	Çiçek	Diş ağrısı, yara iyileşmesi	(Fujita vd., 1995)

2.2. Bakteri Suşları:

Çalışmada üç Gram-pozitif (*S.aureus* ATTC 29213, *S.aureus* ATTC 25923, *E.faecalis* ATTC 29219) ve sekiz Gram-negatif (*P.aeruginosa* ATCC 27853, *E.coli* ATCC 25922, *K.pneumonia* ATCC 700603, *E.coli* ATCC 35218, *E.coli* O28, *E.coli* O143, *E.coli* O164, *E.coli* O157:H7) bakteri kullanıldı. *S.aureus* ATTC 29213, *S.aureus* ATTC 25923, *E.faecalis* ATTC 29219, *P.aeruginosa* ATCC 27853, *E.coli* ATCC 25922, *K.pneumonia* ATCC 700603 ve *E.coli* ATCC 35218 suşları, Kafkas Üniversitesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarı tarafından sağlandı. Ayrıca gıda kaynaklı patojenler olan *E.coli* O28, *E.coli* O143, *E.coli* O164, *E.coli* O157:H7 suşları ise Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, Ulusal Tip Kültür Koleksiyon Laboratuvarı'ndan temin edildi. Bu çalışmada kullanılan mikroorganizma listesi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bakteri Suşları

Bacterial Suşları	Kaynak
<i>S.aureus</i>	ATTC 29213
<i>S.aureus</i>	ATTC 25923
<i>E.faecalis</i>	ATTC 29219
<i>P.aeruginosa</i>	ATCC 27853
<i>E.coli</i>	ATCC 25922
<i>K.pneumonia</i>	ATCC 700603
<i>E.coli</i>	ATCC 35218
<i>E.coli</i> O143	RSKK 322
<i>E.coli</i> O28	RSKK 314
<i>E.coli</i> O164	RSKK 324
<i>E.coli</i> O157:H7	RSKK 09007

2.3. Bitki Ekstraktları:

Kurutulmuş ve ince öğütülmüş 50 g örneği, önceden ekstraksiyon çözücüsü ile yıkanmış olan Soxhlet kartuşuna alındı. Kartuş, 500 ml kapasiteli bir Soxhlet ekstraktörüne yerleştirildi. Ekstraksiyon çözücüsü olarak metanol kullanıldı. 650 ml metanol çözücüsü, kaynama kabına konuldu. Kartuştan geçen çözücü (10-15 damla) yaklaşık 10 saat boyunca berraklaşınca kadar çekildi. 10. saat sonunda elde edilen sıvı ekstraktlar filtre kağıdıyla süzülme ve partiküller uzaklaştırıldı. Süzülen ekstrakt numunesi, 35-45 °C arasında bir sıcaklıkta döner buharlaştırıcıda çözüldü. Balondaki kalan bitki özü, 12 saat boyunca bir kurutucuda saklandı. Çözücüsünden tamamen arındırılan özü, 0.1 mg hassasiyetle tartıldı, öz kutusuna kondu ve çalışmanın +4 °C'de gerçekleştirilmesi için saklandı (Uluman ve Aksu Kılıçle, 2020; Wang vd., 2006).

2.4. Antibakteriyel Aktivite:

Bitki metanol ekstraktlarının antibakteriyel etkisi olup olmadığını belirlemek için disk difüzyon yöntemi uygulandı (Murray vd., 1995). Bitki ekstraktları Dimetil sülfoksit (DMSO) içinde çözüldü ve son konsantrasyonu 30 mg/ml'ye getirildi, ardından 0.45 µm şırınga mikrofiltresi ile sterilize edildi. Test organizmaları, McFarland 0.5 standardına göre NaCl 0.9% içinde 10⁸ CFU/ml konsantrasyona ayarlandı ve 100 µl süspansiyon Mueller Hinton Agar üzerine yayıldı. Diskler (6 mm çapında), 10 µl ekstrakt (300 µg/disk) ile emdirildi ve agar üzerine yerleştirildi. Negatif kontrol olarak DMSO kullanıldı ve pozitif kontrol olarak ampicillin/sulbactam (SAM; 20 µg/disk), tigesiklin (TGC; 15 µg/disk), meropenem (MEM; 10 µg/disk) kullanıldı. İnokule edilmiş plakalar 37 °C'de 24 saat boyunca inkübe edildi (Adıgüzel vd., 2005). İnkübasyonun ardından antimikrobiyal aktivite, inhibisyon bölgeleri (mm) açısından değerlendirildi. Her deney üç kez tekrarlandı.

2.5. Minimal İnhibitör Konsantrasyonlarının Belirlenmesi (MİK):

MİK değerlerini belirlemek için mikrodilüsyon yöntemi kullanıldı ve işlem Klinik Laboratuvar Standart Enstitüsü (CLSI, 2013) tarafından benimsenen prosedürle gerçekleştirildi. Her bakterinin 12 saatlik taze kültürü McFarland 0.5 standardına göre 10^8 CFU/ml'ye ayarlandı ve lekeler, ortamda 5×10^5 CFU/ml son konsantrasyona sahip olacak şekilde süspanسیون haline getirildi. Bitki ekstraktları, DMSO içinde çözülerek 500 µg/ml stok konsantrasyonu hazırlanmıştır. Her bitki ekstraktı için bir mikropalak (96 kuyu) hazırlandı. Her kuyuya 150 µl Müller Hinton (MH) besiyeri eklendi. Hazırlanan ekstrakt stoklarından 150 µl, ilk kuyuya eklenerek ve ardışık dilüsyonlar, her sıradan 150 µl pipetle alınarak bir sonraki sıraya eklenerek hazırlandı. Son 150 µl kısmı atıldı. Böylece, bitki ekstrakt dozları 1. sıradan 7. sıraya kadar 500 µg/ml ile 7.8 µg/ml arasında ayarlandı. Son olarak, her kuyuya 5 µl test bakterisi eklendi. Negatif kontrol olarak DMSO kullanıldı. Pozitif kontrol için standart ilaç olarak, MH besiyerinde 500 µg/ml ve 7.8 µg/ml konsantrasyon aralığında ampisilin hazırlandı. Mikroplakalar, 300 rpm hızında 20 saniye boyunca karıştırıldı. Mikroplakalar, 37 °C'de 24 saat boyunca inkübe edildi. İnkübasyonun ardından MİK mikropaley okuyucuda (600 nm, Bio-Tek Eon, ABD) bulanıklık değerlendirmesi ile belirlendi.

3. SONUÇLAR

3.1. Antibakteriyel Aktivite:

R. patientia L., *H. arenarium* Moench ve *A. arabica* Kotschy metanol ekstraktlarının test edildiği 11 bakterinin 10'unun en az bir bitkiye duyarlı olduğu gözlemlendi. *R. patientia* L., *S.aureus* ATCC 25923, *E.faecalis* ATCC 29219, *S.aureus* ATCC 29213, *P.auriginosa* ATCC 27853, *E.coli* O143, *E.coli* O164 ve *E.coli* O157:H7 suşları üzerinde antibakteriyel etkilere sahiptir. Zon çaplarına göre en etkili olduğu suşun *S.aureus* ATCC 25923 ve en az etkili olduğu suşun *E.coli* O157:H7 olduğu tespit edildi. *H. arenarium* Moench'un *S.aureus* ATCC 25923, *E.coli* O28, *S.aureus* ATCC 29213, *E.coli* ATCC 25922, *K.pneumonia* ATCC 700603 ve *E.coli* O164 suşları üzerinde antibakteriyel etkisi belirlendi. Zon çaplarına göre en çok *E.coli* O28 suşunda ve en az *E.coli* ATCC 25922 suşunda etkili olduğu tespit edildi. *A. arabica* Kotschy'nin metanol ekstraktının *E.faecalis* ATCC 29219, *E.coli* O28, *P.auriginosa* ATCC 27853, *E.coli* O143, *E.coli* O164 suşları üzerinde etkili olduğu görüldü. En büyük zon çapı *E.coli* O143 için ölçüldü, en küçük zon çapı ise *E.coli* O28 için ölçüldü. Sonuçlar değerlendirildiğinde, en fazla bakteriyi etkileyen metanol ekstraktının *R. patientia* L. olduğu, onu sırasıyla *H. arenarium* Moench ve *A. arabica* Kotschy'nin izlediği görüldü. Sadece *H. arenarium* Moench metanol ekstraktının *E.coli* ATCC 25922 ve *K.pneumonia* ATCC 700603 suşları üzerinde antibakteriyel etki gösterdiği, sadece *R. patientia* L. metanol ekstraktının ise *E.coli* O157:H7 üzerinde antibakteriyel etki gösterdiği belirlendi. Metanol ekstraktlarının zon çapları Tablo 3'te gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Disk difüzyonla oluşan zon çapları (mm)

	<i>S.aureus</i> ATCC 25923	<i>E.faecalis</i> ATCC 29219	<i>E.coli</i> O28	<i>S.aureus</i> ATCC 29213	<i>P.auriginosa</i> ATCC 27853	<i>E.coli</i> ATCC 25922	<i>E.coli</i> O143	<i>K.pneumonia</i> ATCC 700603	<i>E.coli</i> O164	<i>E.coli</i> O157:H7	<i>E.coli</i> ATCC 35218
<i>Rumex patientia</i>	26±03	8±05	-	14±01	12±03	-	14±01	-	12±03	10±02	-
<i>Helichrysum arenarium</i>	12±01	-	18±06	14±01	-	10±06	-	14±02	14±04	-	-
<i>Achillea arabica</i>	-	14±06	14±01	-	16±01	-	20±01	-	16±01	-	-
Kontrol	26±1*	15±07*	30**	40±01*	18±01**	24±05*	22±02*	22±02**	30±01*	50±03**	40±05**

* MEM; 10 µg/disk, ** SAM; 20 µg/disk, *** TGC; 15 µg/disk

3.2. Minimal İnhibitör Konsantrasyonlar (MİK):

Disk difüzyon yöntemiyle metanol ekstraktlarına duyarlılık gösteren ve zon inhibisyonu gösteren bakteri suşları için MİK değerleri belirlendi. Sonuçlara göre, MİK değerleri 15.62 µg/ml ile 62.5 µg/ml arasında değişmektedir. *R. patientia* L. metanol ekstraktının en düşük MİK değeri (15.62 µg/ml), *S.aureus* ATCC 25923 üzerinde görülürken, *A. arabica* Kotschy metanol ekstraktının en düşük MİK değeri (31.25 µg/ml), *E.faecalis* ATCC 29219 üzerinde tespit edildi. *H. arenarium* Moench metanol ekstraktının en

düşük MİK değeri (15.62 µg/ml) ile *E.coli* O28 üzerinde görülürken, *A. arabica* Kotschy metanol ekstraktının en düşük MİK değeri (15.62 µg/ml) ile *E.coli* O143 üzerinde görülmüştür. Ayrıca, *A. arabica* Kotschy metanol ekstraktının *E.coli* O164 üzerinde 15.62 µg/ml dozunda inhibitör etkisi olduğu görüldü. MİK değerleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Mikro Dilüsyon Yöntemiyle Belirlenen MİK Değerleri (µg/ml)

	<i>S.aureus</i> ATCC 25923	<i>E.faecalis</i> ATCC 29219	<i>E.coli</i> O28	<i>S.aureus</i> ACTC 29213	<i>P.aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>E.coli</i> ATCC 25922	<i>E.coli</i> O143	<i>K.pneumonia</i> ATCC 700603	<i>E.coli</i> O164	<i>E.coli</i> O157:H7
<i>Rumex patientia</i>	15,62	62,50	-	31,25	31,25	-	31,25	-	31,25	31,25
<i>Helichrysum arenarium</i>	31,25	-	15,62	31,25	-	62,50	-	31,25	31,25	-
<i>Achillea arabica</i>	-	31,25	31,25	-	31,25	-	15,62	-	15,62	-
Control (Ampicillin)	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8

4. TARTIŞMA

Daha önceki çalışmalarda, *Rumex* türlerinden izole edilen bileşiklerin, antiinflamatuvar, antioksidan, antitümör, antibakteriyel, antiviral ve antifungal özellikler dahil olmak üzere çeşitli farmakolojik aktivitelere sahip olduğu in vitro ve in vivo olarak gösterilmiştir. Aynı zamanda *Mycobacterium* ve mantarlar üzerinde etkinlik gösterdiği ve antiviral aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur (Kerem vd., 2006, Kisangau vd., 2009, Lee vd., 2005, Liang vd., 2010, Gautam vd., 2010, Ömür Demirezer vd., 2001, Rivero-Cruz vd., 2005, Taylor vd., 1996). Literatür taramasında, *Rumex patientia*'nın antibakteriyel aktivitesine dair az sayıda çalışma bulunmuştur. Yaptığımız çalışmanın sonuçlarına göre, *Rumex patientia* L., *S. aureus* ATCC 25923, *E. faecalis* ATCC 29219, *S. aureus* ATCC 29213, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *E. coli* O143, *E. coli* O164 ve *E. coli* O157:H7 suşları üzerinde antibakteriyel etki göstermektedir. Zon çapı ölçümü sonuçlarına göre, en etkili olduğu suşun *S. aureus* ATCC 25923 olduğu ve en az etkili olduğu suşun ise *E. coli* O157:H7 olduğu belirlenmiştir. Özellikle günümüzde antibiyotik direncinin ciddi bir sorun haline geldiği düşünüldüğünde, bu sonuç dikkat çekici olarak değerlendirilmektedir. Pozitif kontrol grubuyla (standart ilaç) karşılaştırıldığında, *R. patientia* metanol ekstraktının *S. aureus* ATCC 25923 üzerindeki etkisinin antibiyotiğe oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, *H. arenarium* L. çiçeklerinin metanol ekstraktının antimikrobiyal aktivitesi, önceki bazı çalışmalarla uyumlu bulunmuştur (Gradinaru vd., 2014). Gradinaru vd., *H. arenarium* metanol ekstraktının *S. aureus* ATCC 25923 ve metisiline dirençli *S. aureus* izolatları ve diğer suşlar üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Farklı *Helichrysum* türlerinin metanolik ekstraktlarının *Bacillus cereus* ve *S. aureus*'a karşı etkili olduğu belirlenmiştir (Lourens vd., 2004)."

Elde edilen sonuçlara göre, *H. arenarium* Moench'in diğer çalışmalarla uyumlu olarak *S.aureus* ATCC 25923, *E.coli* O28, *S.aureus* ATCC 29213, *E.coli* ATCC 25922, *K.pneumonia* ATCC 700603 ve *E.coli* O164 suşları üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Zon çapı ölçümlerine göre, en etkili olduğu suşun *E.coli* O23 olduğu gözlemlenmiştir. Farklı *Achillea* türlerinin antimikrobiyal aktiviteleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Bezic vd. *Achillea clavennae*'nin uçucu bileşenlerini ve antimikrobiyal potansiyelini inceledi ve *E.coli* ve *Proteus mirabilis*'e karşı bakteriyel büyümenin önemli ölçüde azaldığını bulmuşlardır (Bezic vd., 2003). Candan vd. tarafından yapılan bir çalışmada, *Achillea millefolium*'un *Streptococcus pneumoniae*, *Clostridium perfringens*, *Candida albicans*, *Mycobacterium smegmatis*, *Acinetobacter iwoffii* ve *Candida krusei*'ye karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği bulunmuştur (Candan vd., 2003). Bu çalışmada, önemli insan patojenlerine ek olarak bazı gıda kaynaklı suşlara (*E.coli* O28, *E.coli* O143, *E.coli* O164, *E.coli* O157:H7) karşı antibakteriyel aktivite test edildi ve bu suşlar önceki çalışmalarda bulunmayan suşlardır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, test edilen bitkilerin antimikrobiyal özelliklerinin dikkat çekici olduğu söylenebilir. Özellikle günümüzde yeni antimikrobiyal ajanların önemi arttıkça, sonuçlar daha da anlamlı hale gelmektedir. Bu bitkilerin, bazı çalışmalarda antibiyotik dirençli suşlar üzerinde etki gösterdiği bulunduğundan, farmasötik ve tıbbi çalışmalar için değerli bir kaynak olabileceği düşünülmektedir.

5. REFERANSLAR

- [1] Adigüzel, A., Güllüce, M., Şengül, M., Ögütçü, H., Şahin, F., & Karaman, I. (2005). Antimicrobial effects of *Ocimum basilicum* (Labiatae) extract. *Turkish Journal of Biology*, 29(3), 155-160.
- [2] Bashi, D. S., Fazly Bazzaz, B. S., Sahebkar, A., Karimkhani, M. M., & Ahmadi, A. (2012). Investigation of optimal extraction, antioxidant, and antimicrobial activities of *Achillea biebersteinii* and *A. wilhelmsii*. *Pharmaceutical biology*, 50(9), 1168-1176.
- [3] Baytop, T. (1984). Türkiye’de bitkiler ile tedavi (geçmişte ve bugün). İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 3255, Eczacılık Fak. Yayın No: 40, Sanal Matbaacılık, İstanbul; 1984. p. 314–315
- [4] Bezić, N., Skočibušić, M., Dunkić, V., & Radonić, A. (2003). Composition and antimicrobial activity of *Achillea clavennae* L. essential oil. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 17(9), 1037-1040.
- [5] Candan, F., Unlu, M., Tepe, B., Daferera, D., Polissiou, M., Sökmen, A., & Akpulat, H. A. (2003). Antioxidant and antimicrobial activity of the essential oil and methanol extracts of *Achillea millefolium* subsp. *millefolium* Afan. (Asteraceae). *Journal of ethnopharmacology*, 87(2-3), 215-220.
- [6] CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). (2013). Performance standards for antimicrobial disk and dilution susceptibility tests for bacteria isolated from animals; approved standard. (4th), CLSI, Wayne, PA.
- [7] DAVIS, P.H. (1975). *Flora of Turkey*, Vol 2, Edinburgh University Press, United Kingdom, 287 p.
- [8] Drăgulescu, R. (2016). Representations of the fire in Romanian phytonymy. Section: Language and Discourse. Representations of the fire in Romanian phytonymy. In *Multicultural Representations. Literature and Discourse as Forms of Dialogue*, Iulian B, Cornel S, Eds. Arhipelag XXI Press: Tîrgu Mureş, Romania, p. 16–17.
- [9] Duman, H. (2000). *Achillea* L., Güner A, Özhatay N, Ekim T, Başer Khc, Eds. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Edinburgh University Press, Edinburgh, p.158–159.
- [10] Freire, S. E., Chemisquy, M. A., Anderberg, A. A., Beck, S. G., Meneses, R. I., Loeuille, B., & Urtubey, E. (2015). The *Lucilia* group (Asteraceae, Gnaphalieae): phylogenetic and taxonomic considerations based on molecular and morphological evidence. *Plant Systematics and Evolution*, 301, 1227-1248.
- [11] Fujita, T., Sezik, E., Tabata, M., Yeşilada, E., Honda, G., Takeda, Y., ... & Takaishi, Y. (1995). Traditional medicine in Turkey VII. Folk medicine in middle and west Black Sea regions. *Economic botany*, 406-422.
- [12] Galbany-Casals, M., Garcia-Jacas, N., Sáez, L., Benedí, C., & Susanna, A. (2009). Phylogeny, biogeography, and character evolution in Mediterranean, Asiatic, and Macaronesian *Helichrysum* (Asteraceae, Gnaphalieae) inferred from nuclear phylogenetic analyses. *International Journal of Plant Sciences*, 170(3), 365-380.
- [13] Gautam, R., Karkhile, K. V., Bhutani, K. K., & Jachak, S. M. (2010). Anti-inflammatory, cyclooxygenase (COX)-2, COX-1 inhibitory, and free radical scavenging effects of *Rumex nepalensis*. *Planta medica*, 76(14), 1564-1569.
- [14] Gradinaru, A. C., Sillion, M., Trifan, A., Miron, A., & Aprotosoiaie, A. C. (2014). *Helichrysum arenarium* subsp. *arenarium*: phenolic composition and antibacterial activity against lower respiratory tract pathogens. *Natural product research*, 28(22), 2076-2080.
- [15] Güneş, F., & Özhatay, N. (2011). An ethnobotanical study from kars eastern turkey. *Biyolojik Çeşitlilik Ve Koruma*, 4(1), 30-41.

- [34] Wang, L., & Weller, C. L. (2006). Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312.
- [35] Wichtl, M. (2004). *Herbal drugs and phytopharmaceuticals: A handbook for practice on a scientific basis*. Medpharm GmbH Scientific Publishers, Stuttgart.
- [36] Wink, M. (1999). Introduction: biochemistry, role and biotechnology of secondary products. *Biochemistry of Secondary Product Metabolism*. Wink M, 1, 16, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [37] Yeşilada, E., Honda, G., Sezik, E., Tabata, M., Goto, K., & Ikeshiro, Y. (1993). Traditional medicine in Turkey IV. Folk medicine in the Mediterranean subdivision. *Journal of ethnopharmacology*, 39(1), 31-38.



Makale id= 43

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-4411-411X (M.Terkeş) - 0000-0002-1038-7224 (A.Demirci)

| 96

Hibrit Güç Sistemi Fizibilitesinin Batarya Bozulması Dikkate Alınarak DeğerlendirilmesiArş.Gör. Musa Terkeş¹, Inst.Öğr. Gör. Dr Alpaslan Demirci¹¹Yıldız Teknik Üniversitesi

Corresponding author: Musa Terkeş

Özet: Enerjide yenilenebilir teknolojilerin yaygınlaştırılması karbon hedefleri açısından değerlidir. Ancak, kesintili enerji üretim profili nedeniyle, sistemin üstün batarya enerji depolama sistemleri (BESS) ile desteklenmesi ve hibrit güç sistemlerinin (HPS) tasarlanması, güvenilir ve sürdürülebilir bir enerji arzı için kritik öneme sahiptir. BESS'in teknik çalışması, enerji dengesini ve sistem performansını birçok açıdan etkileyebilir. Bu çalışmada, minimum maliyetli HPS'ler, düşük deşarj derinliklerinde (DOD) paylaşılan BESS kullanılarak dağıtım şebekesindeki tüketici talepleri için çok yıllık bir duyarlılık analizinde optimum şekilde boyutlandırılmıştır. Buna ek olarak, düşük DOD'nin neden olduğu HPS fizibilite sonuçları, çeşitli C oranı ve değiştirme bozulma limitleri dikkate alınarak iyileştirilmiştir. Sonuçlar, C oranının artırılmasının enerji maliyetini %3,15'e kadar ve CO₂'yi %8,9'a kadar azaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca, değişime kadarki bozulma limitlerinin %30'a kadar azaltılması, toplam net bugünkü maliyetleri %5,63'e kadar düşürebilir ve yenilenebilir oranı %1,1'e kadar artırabilir. BESS'in teknik işleyişinin birçok paydaşın bakış açısından değerlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınma planlarına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Batarya Bozulması, C Oranı, Deşarj Derinliği, Optimizasyon, Hibrit Güç Sistemleri

Evaluation of Hybrid Power System Feasibility Considering Battery Degradation

Abstract: The deployment of renewable technologies in energy is valuable for carbon targets. However, due to their intermittent power generation profile, supporting the system with superior battery energy storage systems (BESS) and designing hybrid power systems (HPS) is critical for a reliable and sustainable energy supply. The technical operation of BESS can affect the energy balance and system performance in many aspects. In this study, minimum cost HPSs are optimally sized in a multi-year sensitivity analysis for prosumer demands in the distribution grid using shared BESS at lower depths of discharge (DOD). In addition, the HPS feasibility results caused by low DOD are improved by considering various C-rate and replacement degradation limits. The results show that increasing the C-rate can reduce the cost of energy by up to 3.15% and CO₂ by up to 8.9%. Moreover, reducing replacement degradation limits by up to 30% could lower total net present costs by up to 5.63% and increase the renewable fraction by up to 1.1%. Evaluating the technical operation of BESS from the perspective of many stakeholders will help sustainable development plans.

Keywords: Battery Degradation, C-Rate, Depth of Discharge, Optimization, Hybrid Power Systems

1. INTRODUCTION

The performance of batteries is tightly coupled to charge and discharge cycles that gradually reduce their capacity. In addition, a higher C-rate cause the voltage to drop rapidly due to the greater internal resistance (Kebede et al., 2021). To balance economics and state of health (SOH) at the utility-scale, transforming variable high C-rate and battery efficiencies into economic representations in an optimization framework can increase revenues (Sarker et al., 2017). However, especially in radial

distribution grids, extremely high penetration of distributed energy resources (DERs) and increased grid dependency can lead to reverse power flow. To avoid this problem, improving the voltage profile and reducing the active power loss is necessary, considering the effect of C-rates for the optimal placement and sizing of battery energy storage systems (BESS) (Gupta et al., 2022a). In particular, a C-rate of 0.33 can guarantee reliable operation compared to others (Gupta et al., 2022b).

Differently, in the transition to zero-energy buildings, the depreciation of the initial investment, self-consumption rate, feed-in rate, simultaneity in energy generation and consumption, and the effects of depth of discharge (DOD) and discharge power on SOH complicate the BESS sizing process (Tsioumas et al., 2021). Moreover, the trade-off between BESS investment costs and lifetime to determine the optimal DODs is one of the critical issues in the microgrid integration of BESS (Wu et al., 2022). Solving the complex charge/discharge schedules and the trade-off between DOD and BESS lifetime can solve these issues, minimizing the cost of microgrid extensions in short and long-term operational plans (Alsaidan et al., 2016). However, the four classical single-factor-based battery degradation models (Arrhenius, CAPN, linear, and PLET) can also impact day-ahead energy management strategies in the microgrid (Wang et al., 2020). Arrhenius models determine battery life as a function of temperature, C-rate, SOH, and aging and help to accurately estimate cycle life (Kucinskis et al., 2022). For optimal BESS sizing toward renewable energy integration, such models may also need to consider the aging characteristics of the technology and the power profile that the system may confront (De La Torre et al., 2019). Moreover, including additional costs due to battery degradation in optimal management plans strengthens the correlation of different operating models with degradation costs (Bordin et al., 2017). In contrast to Arrhenius, neural network estimation of battery degradation based on ambient temperature, C-rate, state of charge (SOC), DOD, and available energy capacity can reduce battery system cost by up to 78.6% in microgrids using the day-ahead market (Zhao & Li, 2023). Also, ensuring optimum degradation characteristics under operating conditions can minimize annual storage costs in DC microgrids (Dulout et al., 2017).

On the other hand, using batteries in stationary energy storage systems (ESS) without considering degradation can increase the renewable fraction (RF) by up to 20.25% (Zieba Falama et al., 2022), load coverage and self-consumption by up to 14.08% and 16.56% (Liu et al., 2020). This neglect could also reduce the usage of diesel generators and COE by 1.3% (Jacobus et al., 2011) and 28% (Qi et al., 2022) and thus eliminate CO₂ by 3.62% (Üçtuğ & Azapagic, 2018). Although benefits can be maximized without considering battery degradation in hybrid power systems (HPSs), inaccurate results will risk operational plans. However, in many application areas, such as peak demand reduction, control reserve, and UPS, it is critical to consider the BESS based on different stress levels and degradation probabilities, including the operating time and mode (Kraenzl et al., 2019). Differently, to incorporate wind energy into frequency modulation, the shortcomings of existing DOD-based models in linearization problems need to be addressed with C-rate approaches that consider different control methods of BESS (Qiu et al., 2022). The performance degradation of BESSs under different storage and cycling conditions depending on their thermal environment and charge-discharge routines should also be characterized to smooth renewable energy generation profiles (Smith et al., 2017). Moreover, in off-grid systems, determining the energy supply from the BESS and the load demand during charge-discharge cycles at the lowest cost and with high reliability can guarantee the battery degradation cost and optimal DOD (Hlal et al., 2019). However, operating all cycles at different DODs and optimal SOC for each day can provide a reliable feasibility process (Fallahifar & Kalantar, 2023). In addition, determining suitable BESS control strategies based on functionality and power capacity reduces lifecycle costs and increases self-sufficiency rates (Shabani et al., 2021). Although worthwhile, the effects of capacity decay and temperature variation must be carefully considered in BESSs and control strategies to determine renewable energy capacity factors (Jung et al., 2020). Charging BESSs, especially in the case of wind power curtailment, is critical to the sustainability of utility-level energy services (Rayit et al., 2021).

The effects of various degradation parameters have been frequently tested and evaluated in many literature studies. However, this study evaluates degradation parameters in simultaneously developed aging models considering Arrhenius-based functional, relative capacity versus temperature, cycle to failure versus DOD, and life versus temperature curves. In addition, the Rainflow counting algorithm is used to analyze aging based on cycles and calendar degradation. Moreover, C-rate and replacement

degradation limit effects are evaluated to improve battery aging performance at lower DODs. The benefits in technical, economic, and environmental optimization outputs in the developed HPS model are compared. Also, increasing electricity tariff, electricity demand, and PV degradation are considered in multi-year in-depth sensitivity analyses to enhance the accuracy of the minimum cost optimal HPS feasibility outputs for the prosumer distribution network using shared common BESS.

2. METHODOLOGY

2.1. HPS Design and Modeling

In this study, the PV model is represented by three different equations. The PV array output power is calculated by Equation (1), while the cell temperatures are determined by Equation (2) to be used in Equation (1). The efficiency that the PV model can provide under nominal test conditions is considered by Equation (3).

$$P_{PV}(t) = Y_{PV} \cdot f_{PV} \cdot \left(\frac{G_T(t)}{G_{T,STC}} \right) \cdot [1 + \alpha_P \cdot (T_C(t) - T_{C,STC})] \quad (1)$$

$$T_C(t) = T_a(t) + \frac{G_T(t)}{800} \cdot (T_{NOCT} - 20) \quad (2)$$

$$\eta_{mp,STC} = \frac{Y_{PV}}{A_{PV} \cdot G_{T,STC}} \quad (3)$$

Three parameters for the storage system modeled with a two-tank system, chemically bound energy, and available energy for energy conversion are considered. The first is the maximum storage capacity, which indicates the total energy the two tanks can store. The second is the capacity ratio, which is the ratio of the size of the available energy to the composite size of both tanks. Finally, the rate constant is the energy conversion rate from bound energy to available energy or vice versa. Based on these parameters, the maximum power that the tank can charge over a given period is determined by Equation (4) and its discharge by Equation (5). In the case of discharge efficiency, the maximum discharge power is calculated by Equation (6). In addition to determining the range of energy entering and leaving the storage bank, two limitations are imposed on the maximum charging power. The first one corresponds to the maximum charging rate at which the charging power of the storage is calculated by Equation (7). Another limitation is related to the maximum charging current and is calculated by Equation (8). In particular, considering the three limitations on the charging power and the charging efficiency of the storage, the maximum charging power is set to the lowest value in Equation (9). After calculating the actual charging or discharging power at each time step, HOMER calculates the bound energy obtained with Equation (10) and the available energy with Equation (11). In addition, the lifetime energy output of the battery pack is calculated in Equation (12) depending on the maximum capacity and voltage of the storage, the number of cycles until the change, and the DOD.

$$P_{batt,max,kbm} = \frac{kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (4)$$

$$P_{batt,dmax,kbm} = \frac{-kcQ_{max} + kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (5)$$

$$P_{batt,dmax} = P_{batt,dmax,kbm} \eta_{batt,d} \quad (6)$$

$$P_{batt,cmax,mcr} = \frac{(1 - e^{-\alpha_c \Delta t})(Q_{max} - Q)}{\Delta t} \quad (7)$$

$$P_{batt,cmax,mcc} = \frac{N_{batt} I_{max} V_{nom}}{1000} \quad (8)$$

$$P_{batt,cmax} = \frac{MIN(P_{batt,cmax,kbm}, P_{batt,cmax,mcr}, P_{batt,cmax,mcc})}{\eta_{batt,c}} \quad (9)$$

$$Q_{1,end} = Q_1 e^{-k\Delta t} + \frac{(kcQ - P)(1 - e^{-k\Delta t})}{k} + \frac{Pc(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})}{k} \quad (10)$$

$$Q_{2,end} = Q_2 e^{-k\Delta t} + Q(1-c)(1 - e^{-k\Delta t}) + \frac{P(1-c)(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})}{k} \quad (11)$$

$$Q_{lifetime} = f_i d_i \left(\frac{q_{max} V_{nom}}{1000 W/kW} \right) \quad (12)$$

The first sub-model of the aging model uses the functional approach. Based on the battery's internal resistance, it is possible to consider the losses and calculate the output power using Equation (13). Depending on the circuit behavior and considering the square of the circuit current, the output power decreases with increasing current. By equalizing the derivative of the output power about the circuit current to zero, the limitation to the maximum current corresponding to the maximum output power is given by Equation (14).

$$P_{out} = V_0 I - R_0 I^2 \quad (13)$$

$$I_{pout,max} = \frac{V_0}{2R_0} \quad (14)$$

Another of the sub-models involves characterizing the temperature as the bulk thermal capacity. At each time step of the simulation, the energy dissipated by the active series resistor is either converted into heat or increases the bulk temperature in the storage bank. The corresponding heat is transferred to or removed from the ambient according to the convection equation ($q=h\Delta t$). The thermal energy lost due to series resistance is calculated by Equation (15). At the same time, the rate of change in the internal temperature of the battery acts according to the energy balance Equation (16). The differential solution of the energy balance equation is determined by Equation (17). Based on the relevant equations, HOMER effectively adjusts the SOC_{min} depending on the available temperature of the battery pack.

$$\dot{Q} = I^2 R \quad (15)$$

$$mc\dot{T} = \dot{Q} - (T - T_a)h \quad (16)$$

$$T_{i+1} = \left(T_i - T_a - \frac{\dot{Q}}{h} \right) e^{-\frac{h}{mc}dt} + \frac{\dot{Q}}{h} + T_a \quad (17)$$

The relative capacity concerning temperature represents another sub-model and is calculated in Equation (18) by fitting the parameters d_0 , d_1 , and d_2 promised by battery manufacturers.

$$Capacity(T) = Nominal\ Capacity \cdot (d_0 + d_1 T + d_2 T^2) \quad (18)$$

The most important of the sub-models is how to calculate calendar and cycle aging. Functional degradation is considered as a capacity reduction and series resistance increase. Increasing degradation rates at each time step, regardless of whether the tank is in use or idle, are determined in calendar aging. Calendar aging depends only on temperature, as in Equation (19). In contrast, cycle aging refers to the cycle fatigue in the battery. The number of DOD-dependent cycles until replacement is calculated by Equation (20). The rainflow counting algorithm converts the SOC-dependent time series into discrete cycles with each DOD. In contrast, the cumulative cycle degradation is calculated from the DOD associated with each cycle with Equation (21).

$$kt = B e^{-\frac{d}{T}} \quad (19)$$

$$1/N = AD^\beta \quad (20)$$

$$D = \sum_{i=0}^N AD_i^\beta \quad (21)$$

AC to DC and DC to AC energy conversion is provided by a converter that can operate as an inverter and a rectifier. Inverter output power is calculated in Equation (22), rectifier output power in Equation (23), and converter efficiency in Equation (24).

$$P_{inv}(t) = \eta_{inv} \cdot P_{DC}(t) \quad (22)$$

$$P_{rec}(t) = \eta_{rec} \cdot P_{AC}(t) \tag{23}$$

$$\eta_{DC/AC} = \frac{P_{PV}}{P_{Converter}} \tag{24}$$

The PV, BESS, and converter meet the demand of 30 household prosumers connected to the common distribution busbar, each consuming 10 kWh of energy daily. At the same time, energy is also purchased from the grid, considering the intermittency of renewable energy sources and the fully discharged BESS. On the other hand, the residual energy is sold to the grid at 0.02 \$/kWh. The study was conducted in Istanbul, considering the time-of-use (TOU) grid tariff. Although a carbon tax has not yet been introduced, the impact of a unit of electricity purchased from the grid on carbon emissions is calculated as 426.1 g/kWh when considering a carbon tax of 20 \$/ton as a future projection. Differently, an inflation rate of 14%, a nominal discount rate of 23.3%, and a project lifetime of 20 years are assumed. In addition, multi-year sensitivity analyses were performed in HOMER Pro, considering an electricity tariff of 3.5%, electricity demand of 2.3%, and PV degradation of 0.5%. The HPS model is shown in **Error! eference source not found.**, while the technical and economic optimization inputs of the HPS are given in

Table 20.

Figure 15. HPS Model

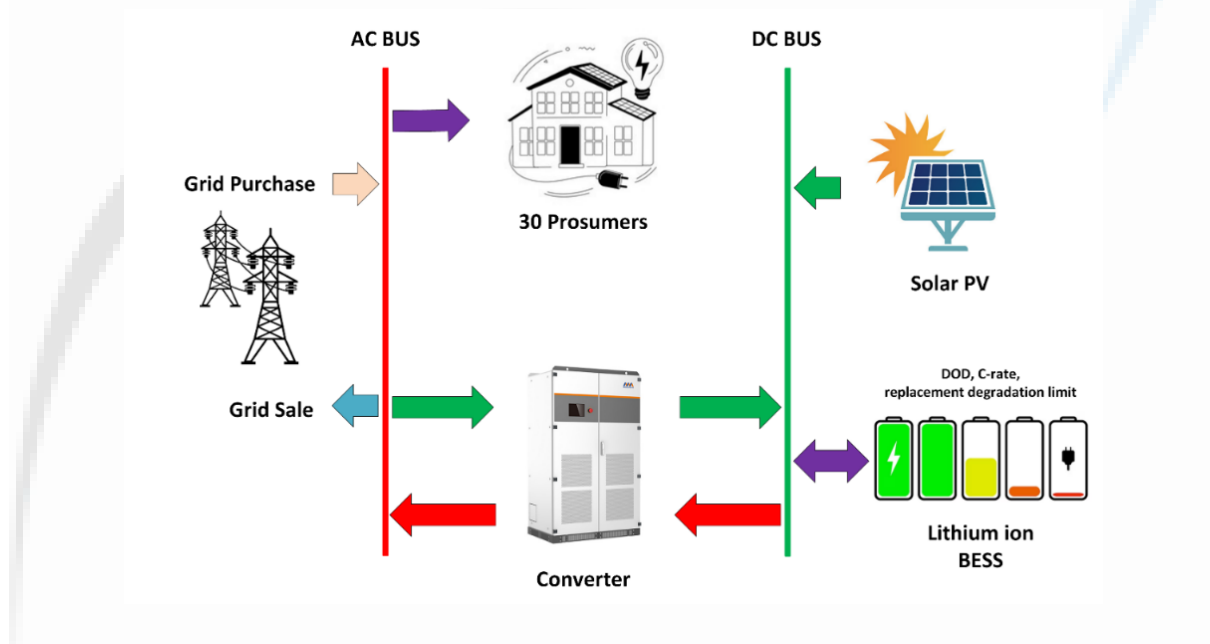


Table 20. Optimization Inputs

HPS	Parameter description		
PV	Capital cost	1500	\$/kW
	Replacement cost	1250	\$/kW
	O&M cost	10	\$/kW/yr
Converter	Capital cost	300	\$/kW
	Replacement cost	300	\$/kW
	O&M cost	0	\$/kW/yr
BESS	Capital cost	300	\$/kWh

HPS	Parameter description		
	Replacement cost	250	\$/kWh
	O&M cost	5	\$/kWh/yr
Load	Peak load	61.76	kW
	Average energy consumption	300	kWh/day
	Load factor	20	%
Grid	Flat tariff (06.00-17.00)	0.0822	\$/kWh
	Peak tariff (17.00-22.00)	0.1199	\$/kWh
	Valley tariff (22.00-06.00)	0.052	\$/kWh

2.2. Scenarios of the Study

This study focuses on enhancing the technical, economic, and environmental HPS feasibility outputs in case of operating at lower DOD and improving the performance concerning BESS aging while considering the C-rate and replacement degradation limit for the relevant objective. In the HOMER optimization framework, the optimal sizing is performed with a minimum cost objective, and to robustly assess the possible impact of the C-rate due to lower DOD, the maximum useful capacities are assumed to be 300 kW for PV, 250 kWh for ESS and 200 kW for converter. The scenarios considered in the study are shown in Table 21.

Table 21. Scenarios of the Study

Scenarios	PV Capacity (kW)	BESS (kWh)	Converter Capacity (kW)	DOD _{max} (%)	C-rate	Replacement degradation limit (%)
A	300	250	200	50	0.2-3 C	50
B						20

2.3. Objective Functions and Decision Criteria

NPC minimization is performed in coordination with COE, and hybrid configurations with many possible costs are presented to stakeholders in an incremental financial order on the optimization screen. The difference between financial cash flows and revenues at the end of each year is discounted to a present-day basis and summed. Accordingly, NPC is calculated by Equation (25), while the capital recovery factor (CRF) used in the NPC calculation is determined by Equation (26) depending on the discount rate and project lifetime. On the other hand, COE is calculated by Equation (27) as the ratio of annual electricity generation cost to the electricity load served, while operating costs are determined by Equation (28).

$$NPC = \frac{\frac{\text{Total annual cost of HPS}}{CRF}}{\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}} \quad (25)$$

$$CRF(i, N) = \frac{i \cdot (1+i)^N}{i \cdot (1+i) - 1} \quad (26)$$

$$COE = \frac{CRF(i, R_{proj})NPC}{E_{Served}} \quad (27)$$

$$C_{operating} = CRF(i, R_{proj})NPC - C_{ann, cap} \quad (28)$$

The other objectives of the study are to ensure that the RF is as high as possible and that the total carbon emissions are as low as possible. Accordingly, how much electricity demand can be met from renewable energy is calculated in Equation (29). At the same time, cumulative CO₂ is determined in Equation (30) based on the emission factor per unit of electricity in the grid mix.

$$RF = \left(1 - \frac{E_{non-ren.}}{E_{load}}\right) 100 \quad (29)$$

$$TCO_2 = \sum_{t=1}^N (CO_2)_t (EF_{grid})_t \quad (30)$$

The other critical criteria for the BESS technique are battery wear cost and autonomy. The storage wear cost, which represents the energy cycle cost in \$/kWh, is calculated in Equation (31), while the autonomy, known as the size of the storage bank with respect to the electrical load, is evaluated in Equation (32).

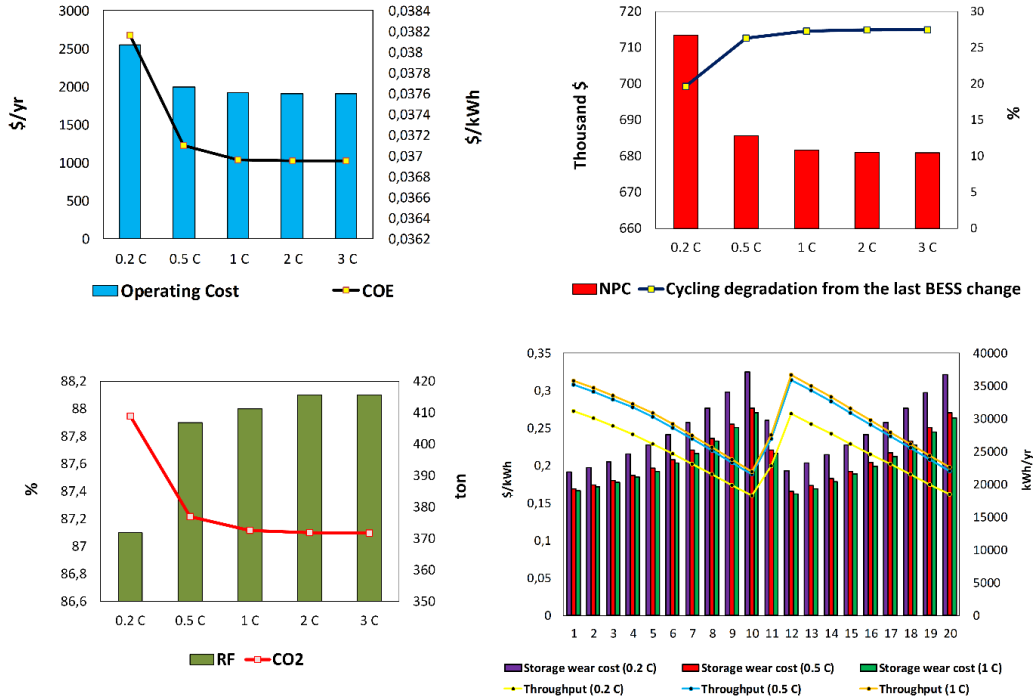
$$C_{bw} = \frac{C_{rep,batt}}{N_{batt} Q_{lifetime} \sqrt{\eta_{rt}}} \quad (31)$$

$$Autonomy = \frac{N_{batt} V_{nom} Q_{nom} \left(1 - \frac{q_{min}}{100}\right) (24 \text{ h/d})}{L_{prim,ave} (1000 \text{ Wh/kWh})} \quad (32)$$

3. OPTIMIZATION RESULTS

Figure 16 shows the impact of the C-rate on HPS outputs, including operating cost, COE, NPC, RF, RF, CO₂, storage wear cost, throughput, and cycle degradation. In general, C-rates above 1 C have little impact on HPS outputs. The increase in charging and discharging currents and powers makes BESS more valuable in meeting prosumer demand and better utilization of PV power generation. COE can be reduced by up to 3.15% and NPC by up to 4.46% due to the improved performance in the supply-demand balance. As the total operating cost of the system is not only dependent on BESS and due to the improved performance in energy management, annual operating costs are reduced by up to 24.78% on average, and many prosumer benefits such as selling electricity to the grid are realized. Moreover, increases in C-rates towards carbon neutrality targets reduced CO₂ by up to 8.9% and increased RF by up to 1%, even for a small operation scale in the study. However, due to the higher charging and discharging currents and powers, the cycle degradation until BESS replacement increases to 7.82%, and the associated trade-off must be considered.

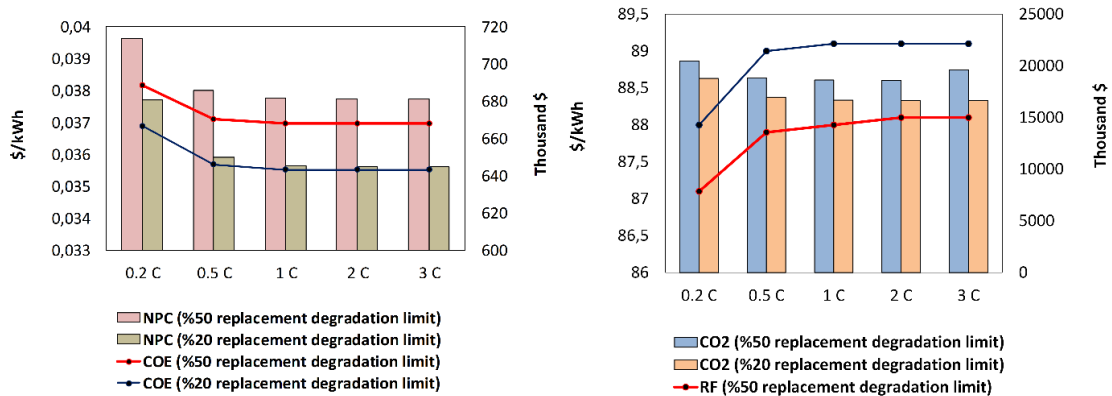
Figure 16. HPS Feasibility Depending on C-rate



On the contrary, at higher C-rates, with a replacement degradation limit of 20%, COE can be reduced by up to 3.69%, NPC by up to 5.2%, and RF by up to 1.1%. CO₂ is eliminated by up to 11.15%, while total annual operating costs are reduced by 37.35%. Accordingly, the comparative effect of the C-rate and the 20% and 50% replacement degradation limit on the system is shown in

Figure 17. Lowering the replacement degradation limit can maximize prosumer benefits. For example, compared to Scenario A at lower C rates, COE can be reduced by up to 3.35%, NPC by up to 4.63%, CO₂ by up to 8.16%, and operating costs by up to 25.4%. At higher C rates, these benefits can be increased by up to 1% for COE and NPC, up to 2.3% for CO₂, and up to 12.5% for operating costs. In this context, higher C-rates emphasize the difference between the effects of replacement degradation limits on HPS outputs.

Figure 17. The Effect of Replacement Degradation Limit on HPS Feasibility Considering C-rate



4. CONCLUSIONS

This study proposes a minimum cost optimum HPS for a prosumer distribution network using shared common storage. At the same time, the reduction in technical, economic, and environmental parameters

due to the operation of BESS at lower DOD is improved by considering the C-rate and replacement degradation limit. Moreover, multi-year sensitivity analysis considers four different sub-degradation models, cumulative increasing electricity demand, grid tariff, and PV degradation: Functional, relative capacity versus temperature, cycle to failure versus DOD, and lifetime curves versus temperature using Arrhenius and Rainflow counting methods. The results show that increasing C-rates can reduce COE by up to 3.15% and CO₂ by up to 8.9% under a higher replacement degradation limit. However, an increase of up to 7.82% in cycle degradation up to the BESS replacement could cause a trade-off situation. On the other hand, lowering the replacement degradation limit can reduce NPC by up to 5.63% and CO₂ by up to 10.46% while increasing RF by up to 1.1%. According to the results, the significant beneficial impacts on C-rate and replacement degradation limits, even at small operating scales, can bring many stakeholders together in a win-win environment for carbon neutrality goals. Additionally, this study can be extended to green policies using different battery technologies, considering various discharge depths and hourly and daily demand variability.

5. References

- [1] Alsaidan, I., Khodaei, A., & Gao, W. (2016). Determination of optimal size and depth of discharge for battery energy storage in standalone microgrids. *NAPS 2016 - 48th North American Power Symposium, Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/NAPS.2016.7747845>
- [2] Bordin, C., Anuta, H. O., Crossland, A., Gutierrez, I. L., Dent, C. J., & Vigo, D. (2017). A linear programming approach for battery degradation analysis and optimization in offgrid power systems with solar energy integration. *Renewable Energy*, 101, 417–430. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.08.066>
- [3] De La Torre, S., González-González, J. M., Aguado, J. A., & Martín, S. (2019). Optimal battery sizing considering degradation for renewable energy integration. *IET Renewable Power Generation*, 13(4), 572–577. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5489>
- [4] Dulout, J., Jammes, B., Alonso, C., Anvari-Moghaddam, A., Luna, A., & Guerrero, J. M. (2017). Optimal sizing of a lithium battery energy storage system for grid-connected photovoltaic systems. *2017 IEEE 2nd International Conference on Direct Current Microgrids, ICDCM 2017*, 1, 582–587. <https://doi.org/10.1109/ICDCM.2017.8001106>
- [5] Fallahifar, R., & Kalantar, M. (2023). Optimal planning of lithium ion battery energy storage for microgrid applications: Considering capacity degradation. *Journal of Energy Storage*, 57(December 2022), 106103. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106103>
- [6] Gupta, S., Rawat, M. S., & Gupta, T. N. (2022a). Optimal Placement and Sizing of Various C-Rate Type of BESS for Minimizing Reverse Power Flow in Radial Distribution Network. *2022 2nd International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies, ICEFEET 2022*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEFEET51821.2022.9847772>
- [7] Gupta, S., Rawat, M. S., & Gupta, T. N. (2022b). Optimal Placement and Sizing of Various C-Rate Type of BESS for Minimizing the Impact of Intermittent DG Output on Hourly Peak Load Variation in Radial Distribution Network. *2022 2nd International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies, ICEFEET 2022*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEFEET51821.2022.9847777>
- [8] Hlal, M. I., Ramachandramurthy, V. K., Sarhan, A., Pouryekta, A., & Subramaniam, U. (2019). Optimum battery depth of discharge for off-grid solar PV/battery system. *Journal of Energy Storage*, 26(June), 100999. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100999>
- [9] Jacobus, H., Lin, B., Jimmy, D. H., Ansumana, R., Malanoski, A. P., & Stenger, D. (2011). Evaluating the impact of adding energy storage on the performance of a hybrid power system. *Energy Conversion and Management*, 52(7), 2604–2610. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.01.015>
- [10] Jung, W., Jeong, J., Kim, J., & Chang, D. (2020). Optimization of hybrid off-grid system consisting of renewables and Li-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 451(January), 227754. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.227754>

- [11] Kebede, A. A., Coosemans, T., Messagie, M., Jemal, T., Behabtu, H. A., Van Mierlo, J., & Bercibar, M. (2021). Techno-economic analysis of lithium-ion and lead-acid batteries in stationary energy storage application. *Journal of Energy Storage*, 40(November 2020), 102748. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102748>
- [12] Kraenzl, J., Nguyen, T. T., & Jossen, A. (2019). Investigating stationary storage applications and their impact on battery aging. *2019 14th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2019*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/EVER.2019.8813636>
- [13] Kucinskis, G., Bozorgchenani, M., Feinauer, M., Kasper, M., Wohlfahrt-Mehrens, M., & Waldmann, T. (2022). Arrhenius plots for Li-ion battery ageing as a function of temperature, C-rate, and ageing state – An experimental study. *Journal of Power Sources*, 549(June), 232129. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232129>
- [14] Liu, J., Wang, M., Peng, J., Chen, X., Cao, S., & Yang, H. (2020). Techno-economic design optimization of hybrid renewable energy applications for high-rise residential buildings. *Energy Conversion and Management*, 213(March), 112868. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112868>
- [15] Qi, X., Wang, J., Królczyk, G., Gardoni, P., & Li, Z. (2022). Sustainability analysis of a hybrid renewable power system with battery storage for islands application. *Journal of Energy Storage*, 50(March). <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104682>
- [16] Qiu, Z., Zhang, W., Lu, S., Li, C., Wang, J., Meng, K., & Dong, Z. (2022). Charging-rate-based Battery Energy Storage System in Wind Farm and Battery Storage Cooperation Bidding Problem. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 8(3), 659–668. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2021.00230>
- [17] Rayit, N. S., Chowdhury, J. I., & Balta-Ozkan, N. (2021). Techno-economic optimisation of battery storage for grid-level energy services using curtailed energy from wind. *Journal of Energy Storage*, 39(April), 102641. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102641>
- [18] Sarker, M. R., Murbach, M. D., Schwartz, D. T., & Ortega-Vazquez, M. A. (2017). Optimal operation of a battery energy storage system: Trade-off between grid economics and storage health. *Electric Power Systems Research*, 152, 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.07.007>
- [19] Shabani, M., Dahlquist, E., Wallin, F., & Yan, J. (2021). Techno-economic impacts of battery performance models and control strategies on optimal design of a grid-connected PV system. *Energy Conversion and Management*, 245(June), 114617. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114617>
- [20] Smith, K., Saxon, A., Keyser, M., Lundstrom, B., Cao, Z., & Roc, A. (2017). Life prediction model for grid-connected Li-ion battery energy storage system. *Proceedings of the American Control Conference*, 4062–4068. <https://doi.org/10.23919/ACC.2017.7963578>
- [21] Tsioumas, E., Jabbour, N., Koseoglou, M., Papagiannis, D., & Mademlis, C. (2021). Enhanced Sizing Methodology for the Renewable Energy Sources and the Battery Storage System in a Nearly Zero Energy Building. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(9), 10142–10156. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2021.3058395>
- [22] Üçtuğ, F. G., & Azapagic, A. (2018). Environmental impacts of small-scale hybrid energy systems: Coupling solar photovoltaics and lithium-ion batteries. *Science of the Total Environment*, 643, 1579–1589. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.290>
- [23] Wang, S., Guo, D., Han, X., Lu, L., Sun, K., Li, W., Sauer, D. U., & Ouyang, M. (2020). Impact of battery degradation models on energy management of a grid-connected DC microgrid. *Energy*, 207, 118228. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118228>
- [24] Wu, Y., Liu, Z., Liu, J., Xiao, H., Liu, R., & Zhang, L. (2022). Optimal battery capacity of grid-connected PV-battery systems considering battery degradation. *Renewable Energy*, 181, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.036>

- [25] Zhao, C., & Li, X. (2023). Microgrid Optimal Energy Scheduling Considering Neural Network based Battery Degradation. *IEEE Transactions on Power Systems*, *PP*, 1–12. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2023.3239113>
- [26] Zieba Falama, R., Dawoua Kaoutoing, M., Kwefeu Mbakop, F., Dumbrava, V., Makloufi, S., Djongyang, N., Salah, C. Ben, & Doka, S. Y. (2022). A comparative study based on a techno-environmental-economic analysis of some hybrid grid-connected systems operating under electricity blackouts: A case study in Cameroon. *Energy Conversion and Management*, *251*(October 2021), 114935. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114935>



Makale id= 46

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-2082-8695; 0000-0003-0655-340X; 0000-0002-1970-2833

| 107

Görme Engelli Bireylere Yönelik İşitsel/dokunsal Uyarı Verebilen Yardımcı Sistem Tasarımı

**Doç.Dr. Rukiye Uzun Arslan¹, Dr. Öğretim Üyesi İrem Şenyer Yapıcı¹,
Dr. Öğretim Üyesi Ceren Kaya¹**
¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

*Corresponding author: Rukiye Uzun Arslan

Özet: Görme engeli olan bireylerin günlük yaşantılarını sürdürebilmeleri için karşılaşılabilecekleri zorlukları minimum seviyeye indirmeleri gerekmektedir. Bunun için zorlukların engelleyici tarafları ortadan kaldıracak teknolojiye gereksinim vardır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte görme engellilerin hayatını kolaylaştırmak amacıyla akıllı baston, akıllı saat, konuşan baskül ve sesli uyarı sistemi gibi pek çok yardımcı ürün ortaya geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam etmektedir. Bu bağlamda; bu çalışma kapsamında engelli bireylerin karşılaştıkları engelleri algılayarak, kullanıcıya uyarı veren bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda kullanıcının engelle olan mesafesinin hesaplanması Arduino Nano mikro denetleyici kartına bağlanan HC-SR04 ultrasonik sensörüyle gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ölçülen mesafe kullanıcıya işitsel (sesli) ve/veya dokunsal (titreşimli) uyarı olarak aktarılmıştır. Gerçekleştirilen tasarım maliyet açısından oldukça ekonomik olmasının yanı sıra kullanıcıya uyarının tipini de seçme imkanı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Görme Engelli Bireyler, Ultrasonik Sensör, Mikrodenetleyici, Sesli ve Titreşimli Uyarı Sistemi

Auditory/Tactile Warning System Design For Visually Impaired Individuals

ABSTRACT: In order for individuals with visual impairment to continue their daily lives, they need to minimize the difficulties they may encounter. For this, there is a need for technology that can eliminate the obstructive aspects of the difficulties. Today, with the development of technology, many auxiliary products such as smart canes, smart watches, talking scales and voice warning systems have been developed and continue to be developed in order to facilitate the lives of the visually impaired. In this context; within the scope of this study, a system design that detects the obstacles encountered by the disabled individuals and warns the user has been realized. In the design, the calculation of the user's distance to the obstacle is realized with the HC-SR04 ultrasonic sensor connected to the Arduino Uno microcontroller board. The measured distance is then transmitted to the user as an auditory (audible) and/or tactile (vibration) warning. The design is very cost-effective and allows the user to choose the type of warning.

Keywords: Visually Impaired Individuals, Ultrasonic Sensor, Microcontroller, Sound and Vibration Warning System

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)' ne göre engellilik; kişinin bedensel işlevlerinde, aktivitelerinde veya katılımında sınırlamaların ortaya çıkması sonucu oluşan toplumsal ve kişisel bir sorun olarak tanımlanmıştır (WHO, 2001; Koca, 2010). Engellilik, çeşitli açılardan incelenebilmekte ve farklı şekillerde sınıflandırılabilir. DSÖ'ne göre dört temel kategoride (sağlık durumu, işlevsellik,

katılım, çevresel faktörler) değerlendirilen engellilik bazen fiziksel, zihinsel, duyuşsal, iletişim, psikososyal ve karmaşık engellilik olmak üzere altı ana grupta incelenmektedir. Ayrıca bazı sınıflandırmalar engellilikleri daha ayrıntılı şekillerde gruplandırabilmektedir (WHO, 2001; Şen, 2023). Bu bağlamda duyuşsal engelliliğın bir alt dalı olan görme engelliliğı, bireyin görme yeteneğinde önemli bir bozukluk veya kayıp yaşaması sonucu ortaya çıkan durumu ifade etmektedir. Bireylerin görme yetenekleri ve görsel işlevleri görme fonksiyon düzeylerine göre değerlendirilmektedir. DSÖ görme fonksiyon düzeylerini; tam görme, kısmi göre engelliliğı, merkezi görme engelliliğı, periferik görme engelliliğı ve gece körlüğü şeklinde sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma, bireylerin görme fonksiyonlarını daha ayrıntılı şekillerde değerlendirmek ve ihtiyaçlarına uygun destek ve tedavi sağlamak için kullanılmaktadır. 2021 yılında DSÖ tarafından yayımlanan raporda, dünya genelinde 1,3 milyar insanın görme bozukluğu yaşadığı ve bunlardan 36 milyonunun görme duyuşunu tamamen kaybettiğı belirtilmiştir (Avcı ve Yıldırım, 2021; WHO, 2021).

Diğer taraftan engelli bireylerin; günlük yaşam aktivitelerini kolaylaştırmak, bağımsızlıklarını artırmak ve toplumsal katılımlarını sağlamak amacıyla yardımcı sistemler geliştirilmiştir. Genellikle bu sistemler teknoloji tabanlı olup, bireylerin çevrelerini algılamalarını, iletişim kurmalarını ve günlük aktivitelerini daha etkili bir şekilde gerçekleştirmelerini hedeflemektedirler. Bu bağlamda görme engelli bireyler için akıllı baston, sesli kılavuz sistemleri, akıllı telefon uygulamaları, konuşan kitaplar ve braille cihazları gibi birçok sistem geliştirilmiştir (Sainarayanan vd., 2007; Kurşun Bahadır, 2011; Akbay vd., 2022; Dal, 2010; Arı, 2016; Sakhardande vd., 2012; Agarwal vd., 2015; Kalaç ve Teçim, 2021). Tasarlanan bu sistemler, bireylerin bağımsızlık, güvenlik ve toplumsal katılımını artırmak amacı gütmeleri nedeniyle büyük önem arz etmektedir. Günümüzde teknoloji alanında yaşanan hızlı gelişmelerle birlikte, görme engellilere yönelik daha fazla yenilikçi çözüm geliştirilmekte ve kullanıma sunulmaya devam etmektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilen mevcut çalışmada, görme engellilerin önlerine çıkan nesnenin konumunun belirlenmesinde mevcut sistemlerden daha ekonomik ve donanımsal olarak daha basit bir ikaz sistemi önerilmiştir. Önerilen sistem nesnenin mesafesini algılayarak kullanıcıya hem sesli hem de titreşim şeklinde uyarılar verecek şekilde tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL METOT

2.1. Arduino Uno

Bu çalışmada tasarlanan sistemin kontrol mekanizması için Arduino Uno mikro denetleyici kartı kullanılmıştır. Bu kart aracılığıyla alıcı/verici sinyallerden gelen verilere göre engelin mesafesi hesaplanarak, bireylere işitsel (sesli) ve/veya dokunsal (titreşimli) uyarı verilmiştir (Çakır vd., 2015; Selçuk vd., 2016; Uzun vd., 2017). Arduino Uno, küçük boyut, yeterli işlem gücü, taşınabilirlik, kullanım kolaylığı, uygun fiyat gibi birçok avantaja sahip Atmega328 tabanlı bir mikro denetleyici kartıdır (Çakır vd., 2015; Uzun vd., 2017). Çalışma kapsamında mikrodenetleyicinin işlevselliğini kontrol etmek amacıyla Arduino programlarını yazmak, derlemek (yani kodu makine diline çevirmek) ve yüklemek için Arduino IDE kullanılmıştır.

2.2. Ultrasonik Mesafe Sensörü

Ultrasonik mesafe sensörleri, ses dalgalarını kullanarak nesnelerin uzaklığını temassız olarak tespit etmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Bu tür sensörler, genellikle bir nesnenin yüzeyine yönlendirilen ses dalgalarının yankılanma süresini ölçerek mesafeyi hesaplamaktadırlar (Arı, 2016). Çalışma kapsamında bireyin engele olan mesafesini belirleyebilmek adına ultrasonik mesafe sensörü olarak oldukça popüler ve yaygın olarak tercih edilen HC-SR04 sensörü kullanılmıştır. Bu sensörün kullanılmasının başlıca nedenleri arasında uygun maliyet, kolay kullanım, yüksek hassasiyet ve kolay bulunması yer almaktadır (Akbay vd., 2022).

2.3. Buzzer

Buzzer genellikle sesli uyarı veya sinyal vermek için kullanılan cihazlardır. Genellikle düşük frekansta titreşen bir manyetik bobin ile çalışmaktadırlar. Piyasada farklı tasarım ve özelliklere sahip farklı buzzer türleri bulunmaktadır. Aktif buzzer, pasif buzzer, piezo buzzer bunlardan bazıları olup, çalışma kapsamında piezo buzzer tercih edilmiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında düşük maliyet, küçük boyut, düşük güç tüketimi ve kolay kontrol edilebilmesi yer almaktadır (Çakır vd., 2015; Uzun vd., 2017).

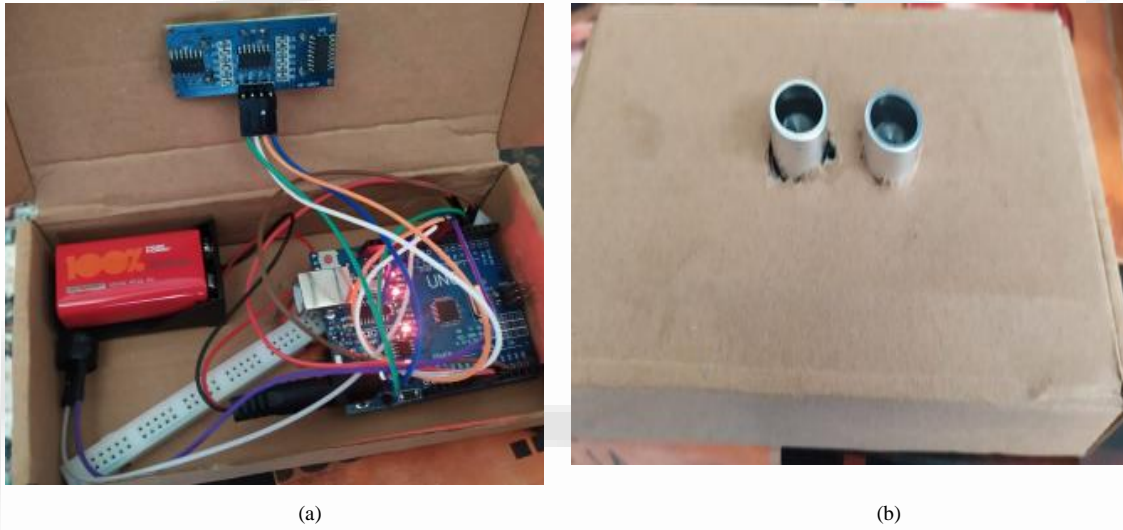
2.4. Titreşim Motoru ve Anahtar

Titreşim motorları, mekanik titreşim veya titreşimli hareket üretmek için kullanılan elektromekanik cihazlardır. Bu motorlar, genellikle titreşimli geribildirim, haptik geribildirim, titreşimli alarm sistemleri ve dokunsal tepkileri simüle etmek gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Çalışma kapsamında titreşim motorunun kullanımının nedeni engele yaklaşıldığında bireylere geri bildirim sağlamak, uyarıları iletmek ve dikkat çekmektir. Bununla birlikte tasarımda sisteme enerji vermek ve kullanıcıya istediği uyarın tipini seçebilme imkanı sağlamak için basit bir aç/kapa anahtarı kullanılmıştır.

3. TASARIM

Çalışmada görme engelli bireyin önüne çıkan engelleri algılayarak, bireylere işitsel ve/veya dokunsal uyarı veren bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin giriş birimini ultrasonik sensör, çıkış birimini ise titreşim motoru, buzzer ve anahtar oluşturmaktadır. Çıkış biriminde yer alan anahtar kullanıcıya uyarının şeklini seçme imkanı (sadece sesli, sadece titreşimli ya da her ikisi) sağlamıştır.

Tasarlanan sistemde kullanıcının önünde yer alan engelle olan mesafesi ultrasonik sensör tarafından algılanarak, hesaplanmıştır. Ardından hesaplanan bu mesafe kullanıcıya titreşim ve/veya sesli uyarı olarak aktarılmıştır. Mikro denetleyiciye yazılan programla engele olan mesafe azaldıkça hem titreşimli hem de sesli uyarının şiddetinin artması sağlanmıştır. Devrenin beslenmesi amacıyla 9V'luk bir pil kullanılmıştır. Yapılan tasarım bir kutu içerisine yerleştirilerek, kutunun ön kısmından ultrasonik mesafe sensörleri çıkarılmıştır. Bununla birlikte kullanıcıların titreşimi daha net algılayabilmesi adına kutunun cilde temas eden yerine bir delik açılmıştır. Yapılan tasarım yaklaşık 120 gr ağırlığa sahiptir. Şekil 1'de tasarlanan sistemin devre şeması, devresi ve dış görünüşü verilmiştir.



Şekil 1. Görme engelli bireyler için tasarlanan işitsel/dokunsal uyarı cihazın a) kurulu devresi, b) dış görünüşü

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, görme yetisini kısmen veya tamamen kaybetmiş bireyleri toplumda kazandırmak amacıyla kullanıcılara ellerini ve kollarını daha serbest hareket ettirme imkanı sunan yardımcı bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem sayesinde engelli bireylerin karşılaştıkları engeller belirli bir mesafeden tespit edilerek, kullanıcıya işitsel ve/veya dokunsal uyarı olarak aktarımı gerçekleştirilmiştir. Kullanıcıya uyarının şeklini seçme imkanı da sunan bu tasarım aracılığıyla görme engelli bireylerin düşme ve yaralanma gibi sorunların da önüne geçilebilecektir. Tasarımda Arduino Uno mikrodenetleyici kartının kullanımı maliyet, programlama kolaylığı ve küçük boyutlarda tasarımın yapılması gibi birçok avantaj sağlanmıştır. İlerleyen çalışmalarda bu sistem için bir ara yüz tasarlanarak, akıllı telefonlara entegre edilmesi planlanmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- [1] Agarwal, A., Kumar, D., & Bhardwaj, A. (2015). Ultrasonic stick for blind. *International journal of engineering and computer science*, 4(4), 11375-11378.
- [2] Akbay, C., Kılıç, Ş., Kaya, Ş., Ünsal, H., & Şen, E. H. (2022, October). Smart Walking Stick Design For Blind People. In *2022 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO)* (pp. 1-4). IEEE.
- [3] Arı, S. (2016). Görme Engelliler İçin Yüksek Frekanslı Ses Dalgaları Kullanılarak Giyilebilir Mesafe Ölçer Tasarımı, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [4] Avcı, İ., & Yıldırım, M. (2021). Görme Engelli Bireyler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Modeli. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 220-227.
- [5] Çakır, M., Çelik, A., Özyalçın, İ., & Uzun, A. (2015). Engelli İnsanlar İçin Akıllı Baston ve Akıllı Şapka Tasarımı. In *4th International Vocational Schools Symposium*.
- [6] Dal, M. A. (2010). Görme Engelliler İçin Bir Mobil Yön Yardım Cihazı Tasarım Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara.
- [7] Tecim, V., & Kalaç, M. Ö. (2019). Engelsiz Bilişim 2019.
- [8] Kurşun Bahadır, S. (2011). Wearable Obstacle Avoidance System Integrated With Conductive Yarns For Visually Impaired People, Doctoral dissertation, University of Science and Technology, Lille.
- [9] Koca, C. (2010). Engelsiz şehir planlaması bilgilendirme raporu. *Dünya Engelliler Vakfı, İstanbul*, 4.
- [10] Macit, H. S., & SABANCI, K. (2022). Gömülü sistem tabanlı bluetooth kontrollü kayan yazı devre tasarımı. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(1), 35-49.
- [11] Sakhardande, J., Pattanayak, P., & Bhowmick, M. (2012). Smart cane assisted mobility for the visually impaired. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(10), 1262-1265.
- [12] Sainarayanan, G., Nagarajan, R., & Yaacob, S. (2007). Fuzzy image processing scheme for autonomous navigation of human blind. *Applied Soft Computing*, 7(1), 257-264.
- [13] Selçuk, T., Tamer, H., Baş, Z., & Alkan, A. (2016). Engelli bireylerin eğitim ve iş hayatında kullanabilecekleri akıllı alet panosu. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 19(3), 53-56.
- [14] Şen, M. (Ed.). (2023). *Türkiye 'de Engelliler ve Sosyal Politikalar*. Efe Akademi Yayınları.
- [15] Uzun, R., Yaman, G. K., Tekkanat, A., & İşler, Y. (2017, Ekim). Görme Engellilere Yardımcı Bileklik Tasarımı. *Tıp Teknolojileri Kongresi 2017 (TIPTEKNO-2017)* (pp. 448-451).
- [16] World Health Organization (WHO), *International Classification of Functioning, Disability and Health* (2001).
- [17] World Health Organization (WHO), *Blindness and vision impairment*. (2021). Retrived from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

Makale id= 81

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-5960-8676, 0000-0001-5688-4624

| 111

Elektrikli Araçların Gelişimi ve Araç Şarj Teknolojilerinin Karşılaştırılması

**Araştırmacı Muhammed Said Yılmaz¹, Doç.Dr. Mehmet Rıda Tür¹,
Dr. Öğretim Üyesi Davut Özhan¹**
¹Batman Üniversitesi

Corresponding author: Muhammed Said Yılmaz

Özet: 1970'li yılların başlarına kadar popüleritesinde düşüş yaşayan elektrikli araçlar (EV'ler), 1970'li yıllarda Ortadoğu'da yaşanan petrol krizi nedeniyle yeniden canlanmıştır. Özellikle, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Japonya'da art arda EV geliştirme dalgaları ortaya çıktı: ilki 1960'larda, ikincisi 1973 krizinden sonra, üçüncüsü 1979'dan sonra ve dördüncüsü 1990'larda gelmiştir. 1980'lerde artan çevre bilinci ve hava kalitesi endişeleri, hükümetleri EV programlarına mali destek sağlamaya sevk etmiştir. 1988'de ABD Enerji Bakanlığı'nın himayesi altında Ford ve General Electric arasında ETX-1 aracının üretilmesiyle sonuçlanan ortak çaba özel bir önem taşımaktadır. AC elektrik motoru ve sodyum kükürt bataryası ile öne çıkan bu araç, çok önemli bir ilerleme kaydetmiştir. 2010 yılı, General Motors'un çevreye duyarlı 111 kW sürekli mıknatıslı senkron motora sahip ve 161 km/s hıza ulaşabilen Chevy Volt'u piyasaya sürmesine tanık olmuştur. Çağdaş örnekler arasında 125 kW motor gücüne ve 240 km çalışma menziline sahip BMW i3 ve 160 km menzile sahip Mitsubishi i-MiEV bulunmaktadır. Bu örneklerin her ikisi de sürekli mıknatıslı senkron motorları entegre etme eğilimini devam ettirmektedir. Aynı bir kategori oluşturan akülü elektrikli araçlar (BEV'ler), yalnızca elektrik motorlarına ve enerji depolama sistemlerine güvenerek içten yanmalı motorlara olan bağımlılığı ortadan kaldırmaktadır. Sonuç olarak, bu farklı ihtiyaçları karşılamak için farklı şarj istasyonu tiplerinin konuşlandırılması zorunlu hale gelmektedir. Kapsamlı bir dizi işlevselliğe sahip olan EV şarj istasyonları, tek fazlıdan üç fazlı sistemlere kadar uzanmakta ve hem tek yönlü hem de çift yönlü güç akışı özelliklerini kapsamaktadır. Ayrıca bu şarj cihazları iki ana kategoride sınıflandırılabilir: iletken ve endüktif şarj mekanizmaları.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Şarj Teknolojisi, Plug-In Hibrit, Yakıt Hücresi, İletken Şarj, Endüktif Şarj

Development of Electric Vehicles and Comparison of Vehicle Charging Technologies

Abstract: Electric vehicles (EVs), which experienced a decline in popularity until the early 1970s, were revitalized due to the oil crisis in the Middle East during the 1970s. Notably, successive waves of EV development emerged across the United States, Europe, and Japan: the first during the 1960s, the second following the crisis of 1973, the third subsequent to 1979, and the fourth surfacing in the 1990s. The backdrop of heightened environmental consciousness and air quality concerns in the 1980s prompted governments to extend financial support toward EV programs. Of particular significance was the collaborative effort between Ford and General Electric in 1988, under the aegis of the U.S. Department of Energy, resulting in the creation of the ETX-1 vehicle. Distinguishing itself with an AC electric motor and a sodium-sulfur battery, this vehicle marked a pivotal advancement. The year 2010 witnessed General Motors' unveiling of the Chevy Volt, featuring an environmentally sensitive 111 kW continuous magnet synchronous motor, capable of reaching speeds up to 161 km/h. Contemporary instances include the BMW i3, boasting a motor power of 125 kW and an operational range of 240 km, as well as the Mitsubishi i-MiEV, with a range of 160 km. Both of these examples continue the trend of integrating continuous magnet synchronous motors. Battery electric vehicles (BEVs), constituting a distinct category, exclusively rely upon electric motors and energy storage systems, obviating the reliance on internal combustion engines. Consequently, the deployment of diverse charging station typologies becomes imperative to address these divergent needs. Incorporating a comprehensive array of functionalities, EV charging stations span from single-

phase to three-phase systems, and encompass both unidirectional and bidirectional power flow capabilities. Furthermore, these charging devices can be classified into two primary categories: conductive and inductive charging mechanisms.

Keywords: Electric Vehicle, Charging Technology, Plug-In Hybrid, Fuel Cell, Conductive Charging, Inductive Charging

1. GİRİŞ

19. yüzyılın ikinci çeyreği elektrikli araçların doğuşu olarak kabul edilir. 1828 yılında Macar asıllı Anyos Jedlik, küçük ölçekli elektrik motorlu bir araç icat etmiştir. Aracın elektrik motorunu kendisi tasarlamıştır. Ardından Hollandalı Profesör Stratingh 1835 yılında başka bir elektrikli araç tasarlamıştır. Fransız mucit Gustave Trouvê, Kasım 1881’de Paris’te düzenlenen Uluslararası Elektrik Sergisi’nde 3 tekerlekli elektrikle çalışan araç tanıtımı yapmıştır (Chan, 2012; Tur, 2023). İngiltere ve Fransa elektrikli araçların ilk tanıtımını yapan ülkelerdir. Elektrikli araçlara olan ilgi 19. yüzyılın son dönemleri ve 20. yüzyılın başlarında olmuştur. Electrobat, ilk elektrikli araçlardan biridir ve 1894 yılında Morris ve Salom tarafından üretilmiştir (Kahraman, 2018). İlk elektrikli araçlar genellikle şehirlerde taksi olarak kullanılmıştır (Putnieks, 2012). 1897’de İngiltere’deki ‘‘Londra Elektrikli Taksi Şirketi’’ 15 adet taksiyi ticari olarak faaliyete geçirmiştir. 20. yüzyılın başlarında, 1900 yılında French Electroautomobile ve 1903 yılında Krieger elektrikli-benzinli araçları icat etmişlerdir. İlk defa hibrit konfigürasyon denenmiş ve geliştirilmiştir. Aynı dönemlerde deneysel olarak ilk hibrit elektrikli aracın tasarımını Ferdinand Porsche yapmıştır ve araca Mixt Wagen adını vermiştir ve elektrik motoru ile benzinli motor birlikte kullanılmıştır (Ünlü ve ark., 2003; Kerem, 2014). Elektrikli araçlara olan ilgi 1920’lerden 1960’lara kadar azalmıştır. Bunların başlıca sebepleri, Amerika Birleşik Devletleri’nin şehirlerarası gelişmiş yol sistemine sahip olmasından dolayı uzun menzilli araçlara ihtiyaç duyulması, içten yanmalı motorlu araçların seri üretime geçmiş, uygun maliyetli ve kullanılabilir olması, Teksas ham petrolünün keşfi ile benzin fiyatlarının uygun hale gelmesidir. Elektrikli araçlar 1935 yılından 1970’lerin başlarına kadar ortadan kaybolmuştur. 1970’lerde Orta Doğu’daki petrol krizi nedeniyle EV’ler tekrar canlanmıştır. Amerika, Avrupa ve Japonya’da 4 EV geliştirme dalgası olmuştur. Birinci dalga 1960’larda, ikinci dalga 1973’ten sonra, üçüncü dalga 1979’dan sonra ve dördüncü dalga 1990’larda gelmiştir (Leitman ve Brant, 2008; Kraft, 2009; Tur, 2020). 1980’lerde sera etkisi ve hava kalitesinin olası sonuçları konusunda artan endişe sebebiyle EV’ler hükümetlerin ilgisini çekmiş ve elektrikli araç programlarına maddi destekler verilmeye başlanmıştır. 1988 yılında ABD Enerji Bakanlığı sponsorluğunda Ford-General Electric firmaları tarafından ETX-1 aracı üretilmiştir. Bu araçta AC elektrikli motor geliştirilmiş ve sodyum-sülfür batarya kullanılmıştır. Aynı yıl geliştirilen ETX-2 modeli 160 km menzili sahip ve saatte 96 km hıza ulaşabilmektedir. Fransa ve Almanya’da 1988’de çeşitli elektrikli araçlar deneysel olarak kullanılmıştır. 1990’dan sonra yakıt tasarrufu sağlanması, yeşil enerjiyi desteklemesi noktasında ve batarya teknolojisinin gelişmesiyle çok sayıda araç üreticisi elektrikli araç geliştirmiştir (Ustabaş, 2014). Peugeot 106 Electric, Ford Think City, GM EV1, Nissan Hipermini, Toyota RAV4 gibi örnekleri vermekle birlikte, prototip ve deneysel amaçlarla üretilmiş birçok elektrikli araç bulunmaktadır. Bu elektrikli araçlar, AC indüksiyon motor veya sürekli mıknatıs senkron motor kullanmışlardır. Toyota Prius, 1997’de piyasaya sürüldüğünden beri modern hibrit araçların ilki kabul edilmektedir. 1999’da Honda Insight ve Civic HEV de piyasaya sunulmuştur (Tur ve ark., 2023). 2010 yılında General Motors Chevy Volt’u çevre dostu motor teknolojisiyle 111 kW’lık sürekli mıknatıs senkron motor kullanılmış ve saatte 161 km hıza sahiptir. Günümüze kadar 125 kW motor gücüne sahip ve 240 km menzili olan BMW i3 ve 160 km menzilli Mitsubishi i-MiEV araçları da sürekli mıknatıs senkron motor kullanılarak üretilmiştir (Özbey, 2020). Tesla Roadstar, 2006’da tanıtılan ve 2008-2012 yılları arasında üretilmiş bir araç olup; lityum-iyon batarya ile beslenen 3 fazlı, 4 kutuplu, 185 kW gücünde bir AC motor ile 393 km menzil sağlamakta ve maksimum hızı saatte 201 km’dir. Tesla tarafından 2017 yılında piyasaya çıkan Model 3, performans modunda saatte 261 km hıza çıkabilmekte ve uzun menzil batarya seçenekleriyle 560 km mesafe gidebilmektedir. 2023’te satışa çıkan Tesla Model S Plaid elektrikli aracı, 560 km menzile sahip ve saatte 282 km hıza ulaşabilmektedir (Anonymous, 2023). Ayrıca ülkemizde üretilen Togg marka %100 elektrikli otomobilin T10X modeli, 88,5 kWsa batarya kapasitesine sahip uzun menzil batarya seçeneğiyle 523 km mesafe gidebilmekte ve saatte 185 km hıza ulaşabilmektedir (Cakmak ve ark. 2022).

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN SINIFLANDIRILMASI

Elektrikli araçlar, onları çalıştıran elektrik ve yakıt enerjisinin kombinasyonuna bağlı olarak dört ana kategoriye ayrılmaktadır.

2.1. Bataryalı elektrikli araç (BEV)

Bataryalı elektrikli araç (BEV), yalnızca bir elektrik motoruna ve enerji depolama sistemine (ESS) bağlıdır ve geleneksel içten yanmalı motora (ICE) ihtiyaç duymaz. Bittiklerinde pillerini yeniden şarj etmek için bir elektrik kaynağına takılırlar (Arif ve ark., 2021). BEV'ler ayrıca aracın yavaşlamasına yardımcı olmak ve genellikle frenler tarafından ısı enerjisine dönüştürülen enerjiyi geri kazanmak için aracın elektrik motorunu kullanan rejeneratif frenleme işlemi yoluyla pillerini şarj ederler. Aracın menzili batarya kapasitesine bağlıdır (Ehsani ve ark., 2018). Bataryalı elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Bataryalı elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
Sıfır emisyon Düşük işletme maliyeti Hızlı ve yumuşak hızlanma Gaz veya benzin ikmaline gerek yok	ICE tabanlı araçlara göre kısa sürüş menzili ICE tabanlı araçlardan daha pahalıdır

2.2. Hibrit elektrikli araç (HEV)

Hibrit Elektrikli araçlar (HEV'ler), yakıt depolu ICE ve ESS'li elektrik motoru olmak üzere iki sürüş sistemine sahiptir. Hem ICE hem de elektrik motoru aracı aynı anda hareket ettirmektedir. HEV'ler elektrik şebekesinden şarj olma özelliği yoktur, tüm sürüş enerjisi yakıttan ve araçtaki rejeneratif frenleme işleminden gelmektedir (Lowry ve Larminie, 2012; Khalid ve ark., 2021). Hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
BEV'lerden daha uzun sürüş menzili	Çevre kirliliği ortadan kalkmaz
ICE tabanlı araçlardan daha düşük yakıt tüketimi	BEV'lere kıyasla çalıştırılması pahalıdır
ICE tabanlı araçlardan daha düşük emisyon	Çalışma mekanizması karmaşıktır

2.3. Plug-In hibrit elektrikli araç (PHEV)

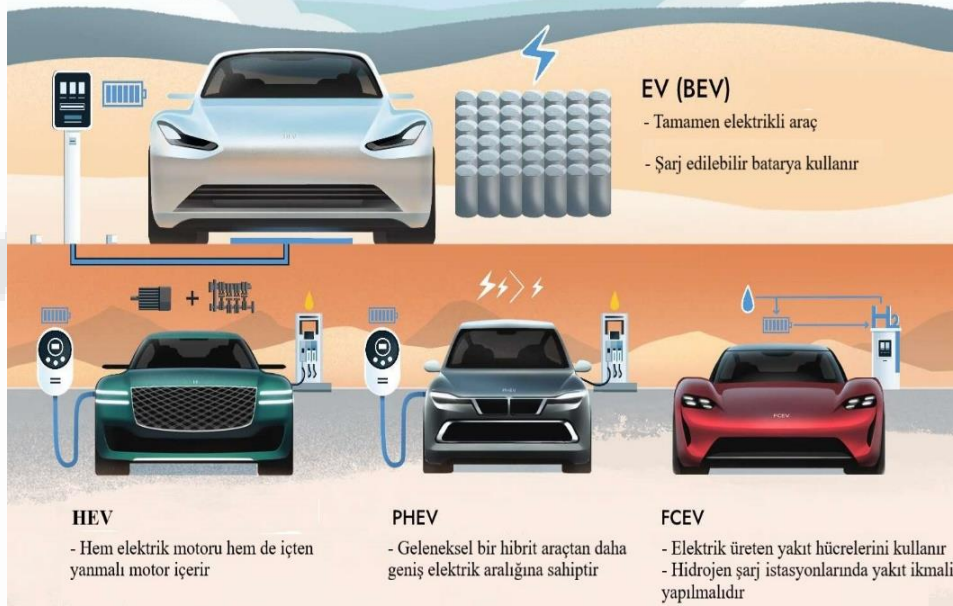
Plug-in hibrit elektrikli araç içten yanmalı motor ile birlikte ESS kullanmaktadır. PHEV'de içten yanmalı motora sahip olma özelliği, onu uzun mesafeli yolculuklar için daha uygun bir seçenek haline getirmektedir. EV şarj cihazı ile şarj edilebilmektedir. Elektrik aralığını genişletmek için HEV'e kıyasla daha büyük elektrik motor gücü, daha küçük ICE ve daha büyük pil kapasitesi vardır (Nour ve ark., 2020). Plug-in hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Plug-in hibrit elektrikli araçların avantaj ve dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
Uzun sürüş menzili	Çevre kirliliği ortadan kalkmaz
Geleneksel ICE tabanlı araçlardan daha düşük yakıt tüketimi	BEV'lere kıyasla çalıştırılması pahalıdır
Düşük emisyon değeri	

2.4. Yakıt hücreli elektrikli araç (FCEV)

Yakıt hücreli elektrikli araç (FCEV), BEV gibi elektrik motorundan desteklenmektedir, ancak batarya yerine bir yakıt hücresi kullanılmaktadır. Araca hidrojenle yakıt ikmali yapılmakta ve yakıt hücresi, hidrojen gazı kimyasal enerjisini EV motoruna güç veren elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Egzoz borusundan sadece su buharı çıkmaktadır (Bayram, 2020). Şekil 1'de Elektrikli araçların sınıflandırılması gösterilmektedir.

**Şekil 1.** Elektrikli araçların sınıflandırılması (Laukkonen, 2021)

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ TEKNOLOJİSİ

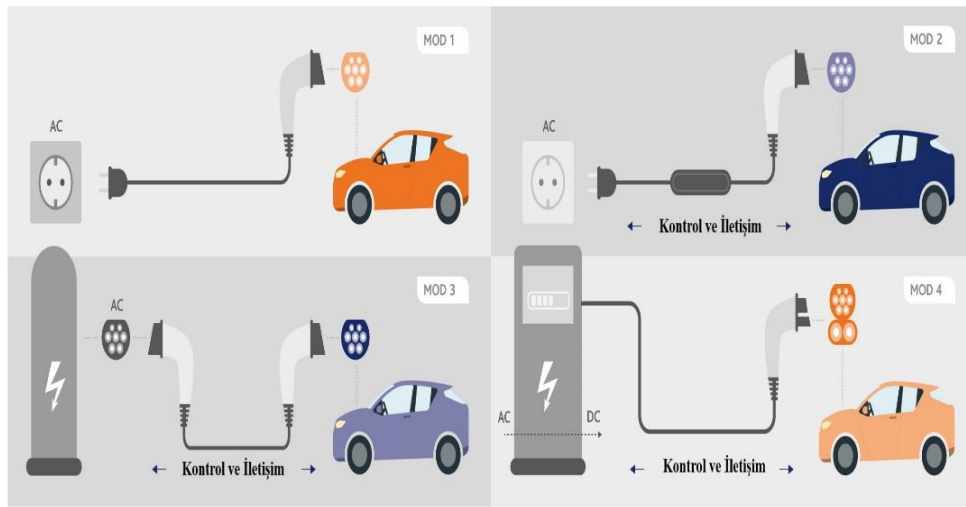
Elektrikli araçların şarj ihtiyaçları, farklı sürüş modellerinden araç marka ve teknik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle, ihtiyaçları karşılamak için farklı tipte şarj istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Şarj istasyonları, elektrikli aracı şarj etmek için her türlü cihazı ifade etmektedir (Zhang ve ark., 2019). EV'nin şarj edilmesi, tek yönlü veya çift yönlü güç akışı özelliklerine sahip tek fazlı veya üç fazlı şarj cihazları ile gerçekleştirilmektedir (Chen ve ark., 2021). EV şarj cihazları iletken ve endüktif şarj cihazları olarak sınıflandırılmaktadır (Hossain ve ark., 2018)

3.1. İletken (Kablolu) şarj

İletken şarj, gücü aktarmak için elektrik şebekesi ile EV arasında doğrudan kablolu temas içermektedir. Bu şarj yöntemi oldukça verimli ve sağlamdır. İletken şarj cihazları, yerleşik ve araç dışı şarj altyapıları olarak sınıflandırılmaktadır. Yerleşik şarj cihazları, ağırlık, alan ve boyut üzerindeki kısıtlamalar nedeniyle EV ile entegre edilmiştir ve bu tür şarj cihazlarının maliyet güç seviyesi sınırlıdır. Araç dışı EV şarj cihazları ise boyutları, ağırlıkları ve alanları konusunda herhangi bir kısıtlama yoktur çünkü bu

şarj cihazları EV'nin ayrılmaz bir parçası değildir (Khaligh ve Düşmez, 2012). Hastaneler, alışveriş merkezleri ve üniversiteler gibi halka açık park yerlerine kururlar (Mondol ve ark. 2020). Elektrikli araç şarj modları IEC 62196 uluslararası bir standardında şarj modları üzerine çalışmalar yapmaktadır. Elektrikli araç bataryaları doğru akım (DC) ile şarj edilmektedir. Mod 1, 2 ve 3 şarj işlemleri süresince, şebekeden gelen alternatif akım (AC), doğru akıma (DC) araç üzerinde dönüştürülürken, mod 4 şarj işleminde, bu dönüşüm istasyon üzerinde yapılmaktadır (Karapınar ve Daldaban, 2022).

Mod 1, elektrikli aracın güvenlik protokolü olmadan doğrudan AC bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. Akım 16 ampere (A) kadar, gerilim ise 120 veya 240 volt (V) ile sınırlandırılmıştır. Topraklama gereklidir ancak çoğu prizde topraklama olmamasından ya da eksik olmasından dolayı mod 2 geliştirilmiştir (Brenna ve ark., 2020). Mod 2 topraklama tespiti, aşırı akım koruması, sıcaklık limitleri dahil olmak üzere güvenlik protokolleri ile standart bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. Akım 32A'e kadar, gerilim ise 120V veya 240V ile sınırlandırılmıştır (Durmuş ve Kaymaz, 2020). Şekil 2'de Elektrikli araç şarj modları gösterilmektedir.



Şekil 2. Elektrikli araç şarj modları (Velatia, 2022)

Mod 3 şarj AC priz yerine Mennekes tipi bir konnektörle bağlantı yapılmaktadır ve şarj istasyonuna bağlanmalıdır. Konnektörün yedi pini bulunmaktadır. Bu pinler üç ayrı fazı (L1, L2, L3), nötr bağlantısını (Neutral), topraklama bağlantısını, kontrol ve haberleşme pinlerini (Proximity & Control Pilot) oluşturmaktadır. Bu şarj modunda araç istasyona bağlandığında bir haberleşme başlar ve aracın batarya durumuna ve gücüne göre istasyondan kendi içinde akımı ayarlayarak araca aktarmaktadır (Özbey, 2020). Ayrıca enerji kaynağı tarafından da sistem korumaları (kaçak akım, aşırı akım, parafudr, vb.) bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı mod 2 şarj tipine göre daha güvenli ve daha hızlı şarj imkânı sunar. 16A veya 32A, 240V şarja izin vermektedir (Eşarj, 2023). Mod 4 şarj ise 400V, 400A'e kadar DC hızlı şarj olarak tanımlanmaktadır ancak hem güvenlik sebebiyle hem de maliyet açısından 75A'e kadar izin verilmektedir. Avrupa ve Asya ülkelerinde farklı standartlar da şarj soketleri bulunmaktadır (Hall ve Lutsey, 2017). Tablo 4'te Elektrikli araç şarj seviyeleri gösterilmektedir.

Tablo 4. Elektrikli araç şarj seviyeleri (Khalid ve ark., 2021)

Şarj Seviyesi	Gerilim (V)	Güç (kW)	Kullanım Yeri	Şarj Süresi
Mod 1 (AC)	120-240	1,4-1,9	Ev veya ofis	4-11 saat
Mod 2 (AC)	240	4-19,2	Ev, işyeri ve kamu	1-6 saat

Şarj Seviyesi	Gerilim (V)	Güç (kW)	Kullanım Yeri	Şarj Süresi
Mod 3 (DC)	400	50-100	Kamu, şehirlerarası	0,4-1 saat

3.2. CHAdeMO

2010 yılında Toyota Motor Corporation ile Nissan Motor Co. Ltd., iş birliği yapmak için Fuji Heavy Industries Ltd. ve Tokyo Electric Power Company ile CHAdeMO derneğini kurdu. CHAdeMO, IEEE standartlarının (IEEE standardı 2030.1.1 TM-2015), IEC standartlarının (61851-23-6) ve endüstri standartlarının (61851-23,-24 ve 62196-3) bir parçasıdır. 200 kW ile 400 kW arasında güç işleme kapasitesine sahip ilk DC standarttır. Adını, “CHArge de MOve’nin” kısaltmasından almıştır (Kettles, 2015).

3.3. CCS combo 1

Elektrikli araç arabirimi girişimi, Audi, BMW, Daimler, Mennekes, Opel, Phoenix Contact, Porsche, Volkswagen tarafından oluşturulan ve ChargeIN EV olarak adlandırılan tescilli bir kuruluştur. ChargeIN, Combotype konnektörlerini denetleyen kuruluştur. Kombine şarj sistemi konnektörü (CCS), aynı anda AC ve DC şarjı gerçekleştirme avantajına sahiptir. IEC 62196-1, IEC 62196-2, IEC 62196-3 standartlarına sahiptir.

3.4. SAE J1772

SAE (Society of Automotive Engineers), Otomotiv Mühendisleri Derneği adını İngilizce baş harflerin kısaltmasından almıştır. İlk olarak 1905 yılında kurulmuştur. SAE J1772 geliştirilmesi için ilk teşvik Kaliforniya Hava Kaynakları Kurulu’ndan (CARB) gelmiştir. 5 pinli yapıya sahip ve AC şarjı desteklemektedir (Kuşdoğan, 2017).

3.5. IEC 62196

IEC (International Electrotechnical Commission), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu 1906 yılında kurulmuş, elektrik ve elektronik ile ilgili teknolojiler konusunda uluslararası standartları hazırlayan ve yayımlayan uluslararası bir organizasyondur. IEC 62196 elektrikli araç şarjı için prizler, fişler, araç konnektörleri ve araç girişleri için gereklilikleri ve testleri tanımlayan uluslararası bir standarttır (Kettles, 2015).

3.6. Tesla konnektörü

Tesla şarj konnektörü, özellikle ABD’de kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu konnektörün özelliği AC ve DC şarjı aynı konnektör üzerinden yapabilmesidir. AC 240 V’de maksimum 17,2 kW şarj edilebilmektedir. En yaygın şarj soket türleri Şekil 3’te gösterilmiştir.



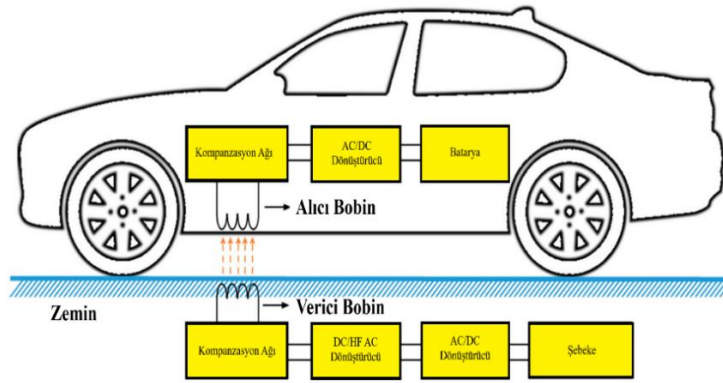
Şarj Tipi	AC Şarj	DC Hızlı Şarj	AC Şarj	AC Şarj	DC Hızlı Şarj
Pin Sayısı	4	7	5	7	6
Kapasite	200-400 kW	50-100 kW	7,68 kW	12,8 kW	140 kW
Gerilim	500 V	600 V	120-240 V	400 V	480 V

Şekil 3. Şarj soket türleri (Mastoi ve ark., 2022)

3.7. Endüktif (Kablosuz) şarj

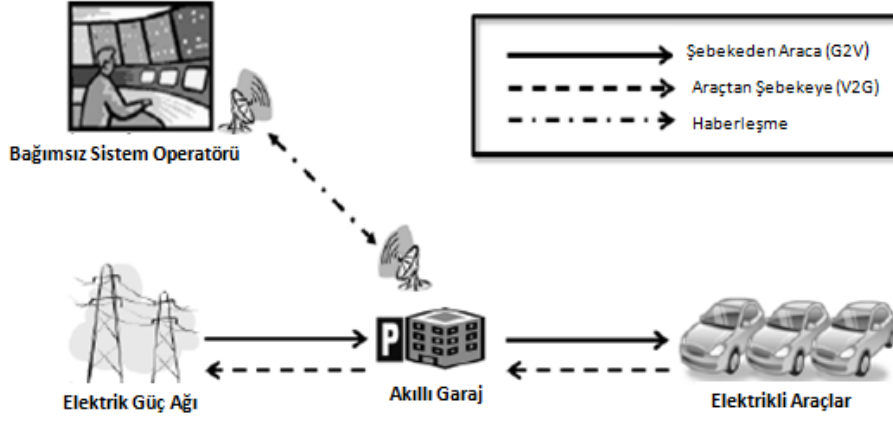
Endüktif veya kablosuz şarj cihazları Endüktif Güç Aktarım (IPT) prensibine göre çalışır, yani gücü şebekeden EV'ye aktarmak için iki bobinli bir sistem kullanılmaktadır (Terzi ve ark., 2020). Şarj bobini yüzeye yerleştirilir, alıcı bobini ise araca takılmaktadır. Şebeke ile EV arasında herhangi bir temas gerektirmez (Sanguesa ve ark., 2021). IPT teknolojisindeki son gelişmeler, aracı güvenli ve rahat bir şekilde şarj etmeyi mümkün kıldıkları için EV uygulamalarında ilgi çekmiştir. Ayrıca standart bir konnektör gerektirmez ve araç hareket halindeyken bile şarj edilebilir. Bununla birlikte endüktif güç aktarımı genellikle zayıftır ve verimli güç aktarımı için verici ve alıcı bobinleri arasındaki hava boşluğunun 20-100 cm arasında olması gerekmektedir (Chowdhury, 2021). Şekil 4'te Endüktif Güç Aktarım sistem yapısı gösterilmiştir.

| 117



Şekil 4. Elektrikli araç şarjı için endüktif güç aktarım sistem yapısı (Hwang ve Jang, 2020)

Önümüzdeki yıllarda kentsel alanlarda Elektrikli Araçların (EA) sayısının önemli ölçüde artması ve bu araçların aynı enerji şebekesine bağlanarak enerji ihtiyaçlarını karşılamaları beklendiğinde, bu araçların enerji depolama üniteleri olarak işlev görmesi önerisi gündeme gelmektedir. EA'lar, büyük bir kısmı gece saatlerinde enerji şebekesine bağlanarak şarj edilecektir. Bu durum, gece saatlerinde üretim fazla, tüketim ise düşük olduğu için elektrik enerjisi birim maliyetinin düşmesine neden olacaktır. Bu bağlamda, araç sahipleri akıllıca davranarak bataryalarını düşük maliyetli enerji ile doldurabilecek ve yüksek talep dönemlerinde depoladıkları enerjiyi yüksek fiyatlarla şebekeye geri satarak ekonomik avantaj elde edebileceklerdir. Bu sürecin etkin bir şekilde yönetilmesi ve kontrol edilmesi amacıyla akıllı şarj/deşarj sistemlerinin araçlara entegre edilmesi planlanmaktadır. Bunun yanı sıra, akıllı garajlar (Şekil 5) üzerinde de çalışmalar yürütülmektedir. Bu yenilikçi yaklaşım, ulaştırma ağları ile elektrik güç sistemleri arasında bir köprü işlevi görmekte olup, bu akıllı garajlar, EA'lar için Araçtan Şebekeye (G2V) ve Şebekeden Araça (V2G) enerji akışlarını içeren bir şarj hizmeti sunmakta ve elektrik güç ağı için bir yan hizmet olan Şebekeden Araça (V2G) işlemini de barındırmaktadır. Akıllı garaj işletmecileri, enerji ticaret fiyatlarını belirlemek veya mevcut enerji miktarını bildirmek amacıyla bağımsız bir sistem operatörü ile iletişim kurmaktadır. Elektrikli araçların G2V ve V2G kavramları sayesinde, şebekeye hem enerji alımı hem de enerji sağlama yeteneği sağlayan iki yönlü bir enerji akışı olasılığı ortaya çıkmıştır. Enerji akışı, enerji şebekesinden araca doğru olduğunda bu durum "şarj" (G2V) olarak adlandırılırken, araçta depolanan enerjinin şebekeye geri akışı "deşarj" (V2G) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 5. Akıllı garaj arayüzü

Elektrikli Araçların (EA), üretim maliyetlerinin önemli bir bölümünü oluşturan bataryaları, maliyet açısından en kritik bileşenlerdir. Bu bağlamda, 2010 yılında EA'larda kullanılan bataryaların ortalama maliyeti, her kilowatt saat (kWh) başına ortalama 750 dolar iken, bu değerler 2012'de ortalama 500 dolar/kWh ve 2014'te ortalama 380 dolar/kWh seviyelerine gerilemiştir. 2020 yılında ise bu maliyetin kWh başına ortalama 300 dolar düzeyine düşeceği öngörülmektedir. Bu beklenen maliyet düşüşünün, Elektrikli Araçların birim maliyetine yansarak, bu araçların edinim maliyetini azaltıcı bir etki yapması beklenmektedir. Diğer bir gelişme olarak, Japonya'nın "Yeni Enerji ve Endüstriyel Teknoloji Geliştirme Organizasyonu (NEDO)", şu anki batarya teknolojisinin kapasitesini 10 kat artırarak, 1600 km gibi oldukça uzun menzile sahip yeni nesil batarya teknolojisini 2030 yılına kadar geliştirmeyi amaçlamaktadır. Gelecekteki projeksiyonlara bakıldığında, 2020 yılında küresel olarak yaklaşık 100 milyon aracın satılması beklenirken, bu araçların yaklaşık 13 milyonunun (bazı araştırmalar 2 milyon civarında tahminde bulunmaktadır) Elektrikli Araçlardan oluşacağı öngörülmektedir. Bu eğilimi yansıtan diğer hedefler de mevcuttur. Örneğin Almanya, 2020 yılına kadar 1 milyon EA'ya sahip olmayı hedeflerken, Çin 4 milyon EA'yı hedeflemektedir. İklim Değişikliği Komitesi, İngiltere için 2020'ye kadar 1.7 milyon EA sayısına ulaşılması gerektiğini önermektedir. Ayrıca Amerika'da yapılan araştırmalar, 2020'li yıllarda tüm yeni ulaşım araçlarının %10'unun elektrik şarj fişi soketlerine sahip olacağını, 2030'da bu oranın tüm araçların %20'sini aşacağını, 2035'te ise tüm yeni araçların %5'inde hidrojen yakıtının kullanılacağını ve mevcut içten yanmalı motorların %50'sinden fazlasının hala kullanılmaya devam edeceğini öngörmektedir. Hindistan da 2020 yılına kadar caddelerinde 6 milyon Elektrikli Araç görmeyi hedeflemektedir (IEA, 2013). Dünya genelinde satılacak araçların türleri ve ortalama CO2 salınım değerleri Şekil 12'de sunulmuştur. Bu bağlamda, yakın gelecekte hibrit elektrikli araç (HEA) modellerinin, orta vadede menzili artırılmış HEA'ların ve tamamen Elektrikli Araçların (EA) yaygın olarak tercih edileceği, uzun vadede ise tamamen Elektrikli Araçlar ve yakıt hücreli Elektrikli Araçların hakimiyet kazanacağı öngörülmektedir.

4. SONUÇ

Yenilenebilir kaynakların kullanımı ülkemizde ve dünyada her geçen gün artmaktadır. Enerji kesintisini engellemek ve sürekliliğini sağlamak amacıyla şarj istasyonlarına ertelenebilir şarj modları eklenebilir ayrıca elektrikli araçlara uygun altyapı sistemi sağlanarak araçtan şebekeye (Vehicle to Grid-V2G) ve şebekeden araca (Grid to Vehicle-G2V) sistemleri ile ihtiyaç dahilinde şebekeye elektrik verilebilir ve şebekeden elektrik alınabilir. Bu araştırma, Elektrikli Araçların (EA) tarihsel gelişiminden günümüzdeki üretim teknolojilerine kadar olan süreçleri incelemeyi amaçlamaktadır. EA'ların tasarım ve üretim aşamalarında kullanılan konfigürasyonlar, elektrik motoru tipleri ve batarya şarj istasyonları, EA'ların geleceğine dair öngörülere ışık tutacak şekilde analiz edilmiştir. Küresel ölçekte EA teknolojisindeki ilerlemeler, elektrik motorları, batarya teknolojisi, güç iletim sistemleri, güç elektroniği, kontrol sistemleri gibi alanlardaki gelişmelerle birlikte, EA talebinin artacağı düşünülmektedir. Elektrikli araçların geniş çapta kullanılmaya başlanması, çevresel kalitede olumlu iyileşmelere yol açarak zararlı gaz salınımını azaltma ve sınırlı ve maliyetli enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, gelecek birkaç yıl içinde EA'ların satın alma maliyetlerinin hala yüksek

olması, araç modellerinin kısıtlı çeşitliliği ve batarya menzillerinin 160 km gibi düşük seviyelerde olması beklenmektedir. Bu bağlamda, batarya ağırlığı ve şarj ömrü gibi teknik hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bireysel ev veya iş yerlerine kurulacak kişisel batarya şarj istasyonlarının yatırım maliyetlerinin yüksek olması, EA'ların geniş çapta benimsenmesini sınırlandırabilir. Kamusal alanlarda bulunan şarj istasyonlarının altyapı düzenlemeleri ve güvenlik önlemleri ile sayılarının artırılması ve yaygınlaştırılması, EA'ların daha geniş kitlelere ulaşmasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte, EA'ların benimsenmesini teşvik etmek amacıyla yapılacak yasal düzenlemeler, teşvik mekanizmaları ve vergi indirimleri gibi adımlar da EA talebini artırma potansiyeline sahiptir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Anonymous, (2023). Electric vehicle database tesla model s plaid, <https://ev-database.org/car/1405/Tesla-Model-S-Plaid>, [Erişim Tarihi: 26 Mart 2023].
- [2] Arif, S. M., Lie, T. T., Seet, B. C., Ayyadi, S., & Jensen, K. (2021). Review of electric vehicle technologies, charging methods, standards and optimization techniques. *Electronics*, 10(16), 1910.
- [3] Bayram, B. (2020). Bev, hev, phev, fcev kısaltmaları ne anlama gelir, <https://www.tehad.org/2020/03/21/bev-hev-phaev-fcev-kisaltmalari-ne-anlama-gelir/>, [Erişim Tarihi 16 Mayıs 2023].
- [4] Brenna, M., Foadelli, F., Leone, C., & Longo, M. (2020). Electric vehicles charging technology review and optimal size estimation. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15, 2539-2552.
- [5] Chan, C. C. (2012). The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: Lessons learned [scanning our past]. *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 206-212.
- [6] Chen, J., Nguyen, M. K., Yao, Z., Wang, C., Gao, L., & Hu, G. (2021). DC-DC converters for transportation electrification: topologies, control, and future challenges. *IEEE Electrification Magazine*, 9(2), 10-22.
- [7] Chowdhury, S. R. (2021). A three-phase overlapping winding based wireless charging system for transportation applications (Doctoral dissertation, University of Akron).
- [8] Durmuş, F. S., & Kaymaz, H. (2020). Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2), 123-139.
- [9] E. Hossain, M. R. Tür, S. Padmanaban, S. Ay and I. Khan, "Analysis and Mitigation of Power Quality Issues in Distributed Generation Systems Using Custom Power Devices," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 16816-16833, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2814981.
- [10] Ehsani, Mehrdad, Yimin Gao, Stefano Longo, and Kambiz Ebrahimi. (2018) *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. CRC press, 2018.
- [11] F. Çakmak, Z. Aydoğmuş and M. R. Tür, "Mppt Control for PV Systems with Analytical Analysis Fractional Open Circuit Voltage Method," 2022 Global Energy Conference (GEC), Batman, Turkey, 2022, pp. 130-135, doi: 10.1109/GEC55014.2022.9986746.
- [12] Hall, D., & Lutsey, N. (2017). Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure. *The International Council on Clean Transportation (ICCT): Washington, DC, USA*, 54.
- [13] Hwang, Y. J., & Jang, J. Y. (2020). Design and analysis of a novel magnetic coupler of an in-wheel wireless power transfer system for electric vehicles. *Energies*, 13(2), 332.
- [14] Kahraman, M. Ü. (2018). Kütahya bölgesi güneş ve rüzgâr enerji potansiyellerinin tekno-ekonomik analizi (Master's thesis, *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- [15] Karapınar, F., & Daldaban, F. (2022). Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(3), 549-556.

- [16] Kettles, D. (2015). Electric vehicle charging technology analysis and standards. *Florida Solar Energy Center, FSEC Report Number: FSEC-CR-1996-15*.
- [17] Khalid, M. R., Khan, I. A., Hameed, S., Asghar, M. S. J., & Ro, J. S. (2021). A comprehensive review on structural topologies, power levels, energy storage systems, and standards for electric vehicle charging stations and their impacts on grid. *IEEE Access*, 9, 128069-128094.
- [18] Khaligh, A., & Dusmez, S. (2012). Comprehensive topological analysis of conductive and inductive charging solutions for plug-in electric vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(8), 3475-3489.
- [19] Kraft, T. E. (2009). Under review-build your own electric vehicle by S. Leitman and B. Brandt.
- [20] Kuşdoğan, Ş. (2017). Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entegrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2G Uygulamaları. *Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektr. Mühendisliği Bölümü*.
- [21] Laukkonen, J. (2021). Ev,phev,fcev vs. hybrid, what's the difference, <https://www.lifewire.com/ev-phev-fcev-hybrid-compared-5201137>, [Erişim Tarihi: 18 Mayıs 2023].
- [22] Leitman, S., Brant, B. (2008). Build your own electric vehicle, The McGraw-Hill Companies Second Edition, USA
- [23] Lowry, J., & Larminie, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons.
- [24] M. H. Mondol, M. R. Tür, S. P. Biswas, M. K. Hosain, S. Shuvo and E. Hossain, "Compact Three Phase Multilevel Inverter for Low and Medium Power Photovoltaic Systems," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 60824-60837, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983131.
- [25] M. N. Tur, Ö. F. Ertuğrul and M. R. Tur, "Comparison of Energy Storage Technologies in Smart Grids, Implementation Challenges of Vanadium Technique," 2022 Global Energy Conference (GEC), Batman, Turkey, 2022, pp. 395-401, doi: 10.1109/GEC55014.2022.9987133.
- [26] M. R. Tur and E. Apaydin, "Optimization Of Electric Vehicle Charging Stations," 2022 Global Energy Conference (GEC), Batman, Turkey, 2022, pp. 197-201, doi: 10.1109/GEC55014.2022.9987046.
- [27] M. R. Tur, "Reliability Assessment of Distribution Power System When Considering Energy Storage Configuration Technique," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 77962-77971, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2990345.
- [28] Mastoi, M. S., Zhuang, S., Munir, H. M., Haris, M., Hassan, M., Usman, M., ... & Ro, J. S. (2022). An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends. *Energy Reports*, 8, 11504-11529.
- [29] Nour, M., Chaves-Ávila, J. P., Magdy, G., & Sánchez-Miralles, Á. (2020). Review of positive and negative impacts of electric vehicles charging on electric power systems. *Energies*, 13(18), 4675.
- [30] Özbey, B. (2020). Elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemi tasarımı ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 27-29.
- [31] Putnieks, U., (2012). Electric vehicle history, *7th International Scientific Conference*
- [32] Sanguesa, J. A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F. J., & Marquez-Barja, J. M. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404.
- [33] Students On Their Way To Science, Jelgava-Latvia, 7-7.
- [34] Terzi, U. K., İlhan, H. E., Kaymaz, H., Erdal, H., & Çalik, H. (2020). A review of commercial electric vehicle charging methods. *Promet-Traffic&Transportation*, 32(2), 291-307.
- [35] Ustabas, A. (2014). Mikro ve makro etkileri yönünden elektrikli otomobiller (Türkiye ekonomisi örneği). *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 36(1), 269-291.

- [36] Zhang, Y., Zhang, Q., Farnoosh, A., Chen, S., & Li, Y. (2019). GIS-Based Multi-Objective Particle Swarm Optimization of charging stations for electric vehicles. *Energy*, 169, 844-853.



Makale id= 60

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-6925-1594

| 122

Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağına Dayalı Baraj Su Seviyesi Tahmini: İstanbul Ömerli Barajı Örneği

Dr. Öğretim Üyesi Berna Aksoy¹
¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Özet: Canlıların yaşam kaynağı olan su, dünya nüfusunda meydana gelen hızlı artış ve küresel ısınma kaynaklı kuraklık nedeniyle yok olma tehlikesi altındadır. Bu nedenle, son yıllarda su kaynaklarının yönetimi ve korunması ülkelerin izlediği politikaların arasında önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan çalışmada 2008-2022 yılları arasında İstanbul Ömerli Barajının su seviyesinin tespitinde belirleyici olan veriler (akış debisi, havzaya ait yağış ve buharlaşma miktarları) kullanılarak, yapay sinir ağları ile barajdaki su seviyesinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle günlük verilerden aylık veri setleri elde edilmiştir. Sonrasında elde edilen bu verilerin analizi, Levenberg-Marquardt algoritmasıyla eğitilen çok katmanlı yapay sinir ağı modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda önerilen modelin baraj su seviyesinin tahmininde %64,55'lik bir başarımla sergilediği tespit edilmiştir. Gelecekte farklı öğrenme algoritmaları ile farklı makine öğrenme algoritmaları kullanılarak baraj su seviyesinin tahmininde başarımlarına etkisinin araştırılması planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı, Baraj, Su Seviyesi Tahmini.

Auditory/Tactile Warning System Design For Visually Impaired Individuals

ABSTRACT: Water, which is the source of life of living things, is under the threat of extinction due to the rapid increase in the world population and drought caused by global warming. For this reason, the management and protection of water resources have taken an important place among the policies followed by countries in recent years. In this study, it is aimed to predict the water level in the dam with artificial neural networks by using the data (flow rate, rainfall and evaporation amounts of the basin) which are determinant in determining the water level of Istanbul Ömerli Dam between 2008-2022. For this purpose, firstly, monthly data sets were obtained from daily data. Subsequently, these data were analysed using a multilayer artificial neural network model trained with the Levenberg-Marquardt algorithm. As a result of the analyses, it was determined that the proposed model achieved 64.55% success in predicting the dam water level. In the future, it is planned to investigate the effect of different machine learning algorithms with different learning algorithms on the success of dam water level prediction.

Keywords: Multilayer Artificial Neural Network, Dam, Water Level Prediction.

1. GİRİŞ

Su, tüm canlıların hayatını devam ettirmesi için gereksinim duyduğu, alternatif bir madde ile devam edemeyen ve bu yüzden büyük önem taşıyan zaruri bir maddedir. Canlı veya cansız fark etmeksizin bütün çevrede tesiri olan su, yaşamın kökeni olarak sayılabilir (Aksoy,2018). Geçmişten bugüne kadar ki çoğu uygarlığın kurulması ve yok olmasında suya olan yakınlık ve ihtiyacın büyük etkisi olmuştur. Suyu olan gereksinim arttıkça, su taşıma ve depolama yapıları geliştirilmiş, su daha stratejik bir konuma gelmiştir. Geleceğe dair senaryoların içinde su kıtlığından dolayı savaşlar da bulunmaktadır ki hızla artan nüfus sebebiyle kişi başına düşen su miktarının azalacağı ve su kaynakları kıt olan bölgeler bilhassa olmak üzere birçok bölgede su kıtlığı yaşanacağı düşünülmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve

Tarım Örgütü'nün (MFA) tahminlerine göre, 2025 yılında su kıtlığı ve su stresi yaşayan nüfusun dünya nüfusuna oranı sırasıyla %34 ve %15'e yükselecektir. 2050 yılına gelindiğinde ise su fakiri ülke sayısı 54'e, bundan etkilenen insanların sayısı ise 4 milyara yükselecektir (MFA,2002). Sanılanın aksine ülkemiz de su zengini değildir.

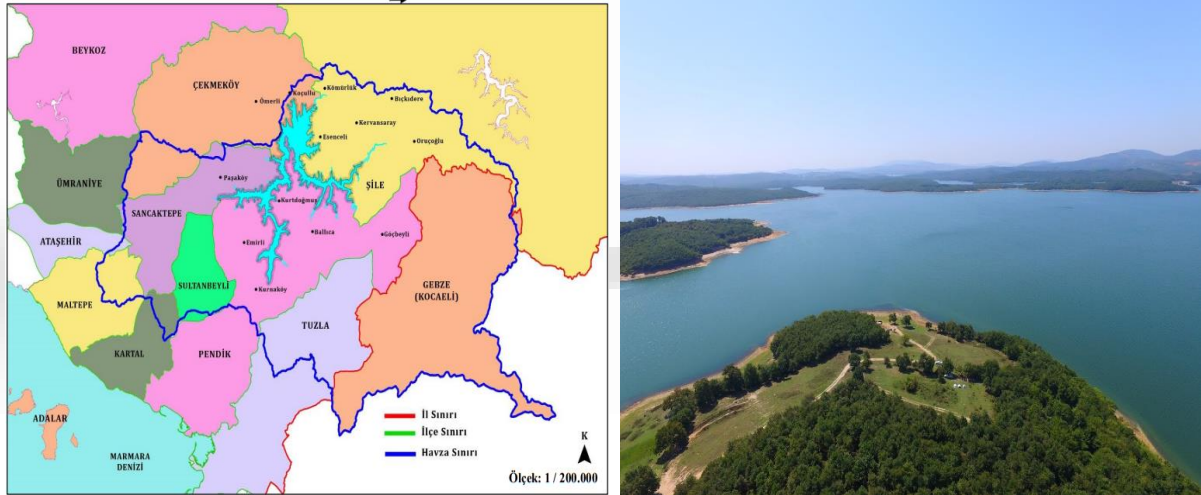
Günümüzde hidrolojik olayları bütünüyle laboratuvar şartlarına indirgemek mümkün olmadığından, olayları temsil eden verilerin belirlenmesini sağlayan makine öğrenme algoritmaları kullanılmaya başlanmıştır. Hazne işletme uygulamalarında, günlük, aylık ve yıllık akımların modellenmesinde, yağış-akış bağıntısını modellemede, veri alınamayan ve ya eksik veriye sahip istasyonların verileri tamamlamada, baraj hazne seviye kot tahminlerinde makine öğrenmesi algoritmalarından faydalanılmıştır (Kılınç vd., 2004; Okkan vd., 2010; Alp ve Cıgızoğlu, 2004; Terzi ve Çevik, 2012; Mazmancı,2009, Damla,2020).

Bu bağlamda gerçekleştirilen mevcut çalışmada, İstanbul ilinde bulunan Ömerli Barajı'nda seviye tahmininin yapılabilmesi için 2008-2022 yıllarına ait akış debisi, yağış ve buharlaşma miktarları kullanılarak, makine öğrenme algoritmalarından biri olan yapay sinir ağı (YSA) ile barajdaki su seviyesinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL METOT

2.1 Çalışma Alanı

Ömerli Barajı, Riva deresi üzerinde inşaatına 1968'de başlanıp 1972'de bitirilmiştir. Barajı dolduran iki temel su kaynağı, Ozan ve Göçbeyli dereleridir. Yaklaşık 100 km kıyı uzunluğu, 220 milyon m³ su tutma kapasitesi ve 621 km²'lik koruma alanı ile İstanbul için önemli bir baraj gölüdür (Şekil 1). Baraj Gölü, İstanbul'a verilen suyun, Darlık Barajı'ndan sağlanan %16,5'lik su ile birlikte, kabaca %48'lik kısmını karşılamaktadır. İçme suyu bakımından İstanbul'a hizmet veren en büyük büyük baraj özelliğini taşıyan Ömerli Barajı Havzası Çekmeköy, Şile, Sancaktepe, Pendik ilçeleri sınırları içinde yer almaktadır. Baraj 23,1 km² 'lik yüzey alanına sahiptir. Kil çekirdekli toprak dolgululu olup yüksekliği 54 m'dir.



Şekil 1 Ömerli Baraj Havzası konumu(DSİ,2023)

Tablo 1. Ömerli Barajı Hidrolojik ve Teknik Özellikleri (Güvensel, 2006)

Yağış Alanı	621 km ²
Yıllık Ortalama Yağış	800 mm
Ortalama Akım	5,127 m ³ /sn

Minimum İşletme Kotu	46,00 m
Aktif Hacim	235*10 ⁶ m ³
Maksimum Su Seviyesi	62,00 m
Maksimum Hacim	357*10 ⁶ m ³

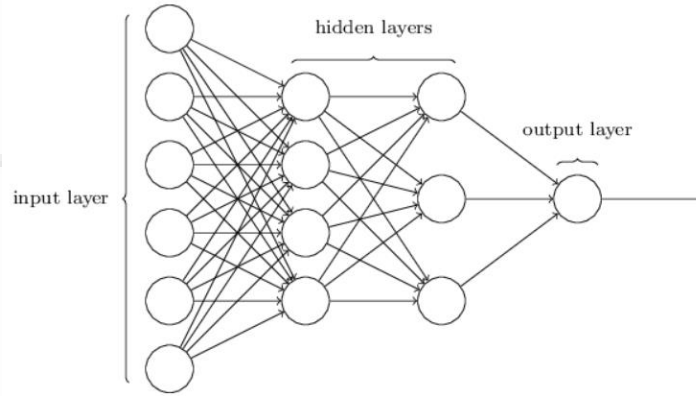
Ömerli Barajı'nın rezervuar alanı, yazları kurak ve sıcak kışları ılık ve yağışlı Akdeniz iklimiyle her mevsim yağışlı Karadeniz iklim bölgesi ile ortasında olan Marmara iklim özelliklerine sahiptir. D.S.İ. Genel Müdürlüğüne belirlenen ortalama yağış 800 mm'dir. Kaydedilmiş en düşük sıcaklık 1963 Ocak ayında -16°C; en yüksek sıcaklık +40°C ile 1963 Ağustos ayında gerçekleşmiştir (DSİ, 2023).

2.2 Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları, basit biyolojik sinir ağlarını temsil etmek için tasarlanan programlardır. Bu programlar insan beyninin işleyişine benzetilerek geliştirilmiştir. Beyin fonksiyonlarının öğrenme, hatırlama, tekrar yapma gibi işlevlerini gerçekleştirmektedirler (Sağlam vd., 2022). Yapay zekâ alanı çok disiplinli bir alan olup, inşaat mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, elektronik, kontrol, mekatronik, programlama ve felsefe gibi farklı bilim dallarının çalışma alanına girmektedir.

2.2.1 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

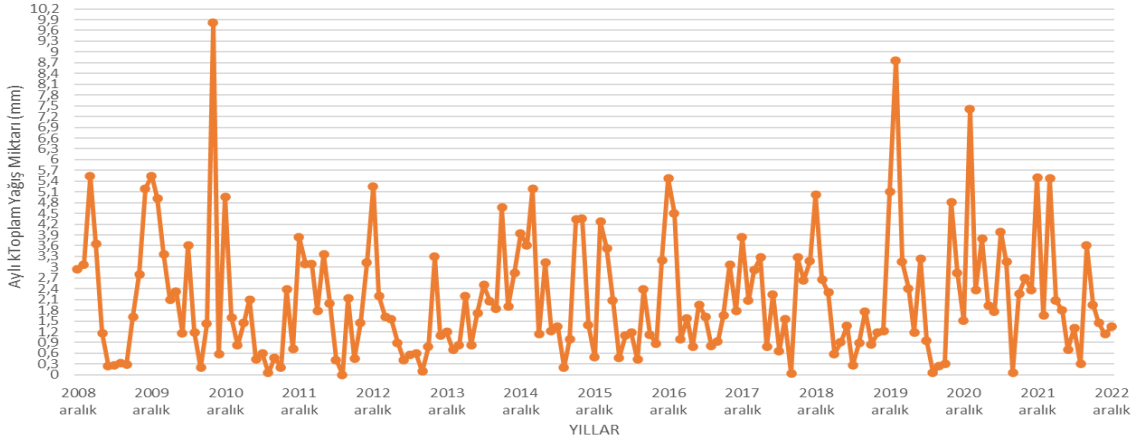
Çok katmanlı yapay sinir ağları; girdi katmanı, gizli (hidden) katmanlar ve çıktı katmanlarından oluşmaktadır. Karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Birden çok girdiye ve birden fazla gizli katmana sahip olabilmektedir. Gizli katmanların sayısı problemin akışına göre arttırılabilir veya azaltılabilir. Gizli katman problemin yapısına göre farklı fonksiyonlar ile işlenip çıktı katmanına aktarılmasını sağlamaktadır (Elmas, 2003).



Şekil 2 Yapay sinir ağı örneği (Elmas,2006)

2.3 Yöntem

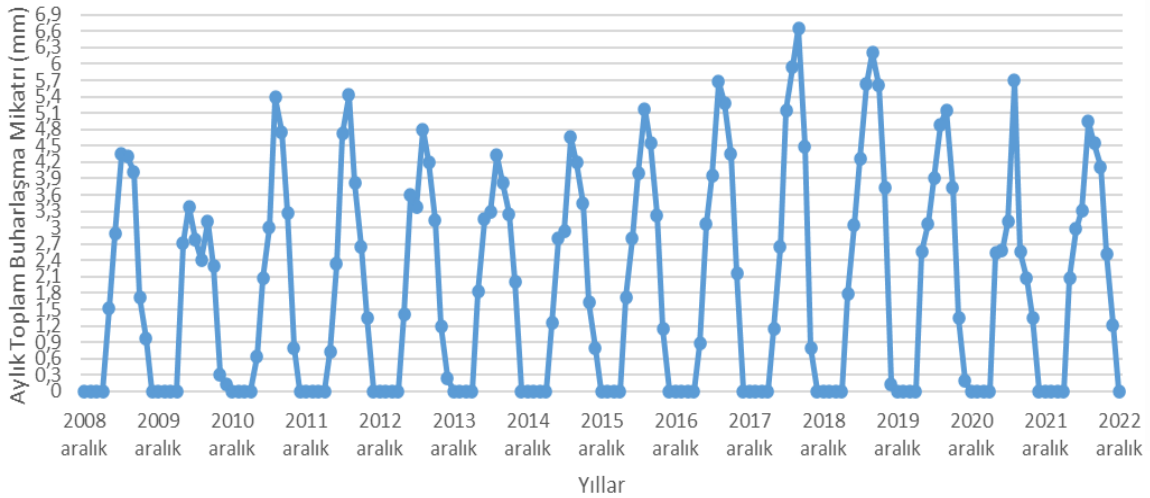
Çalışmada Ömerli Barajı'nın rezervuarındaki su seviyesini tahmin etmek için çok katmanlı yapay sinir ağı modeli kullanılmış ve bu nedenle, DSİ 14.Bölge Müdürlüğü'nden İstanbul Ömerli Barajı'na ait 2008-2022 yılları arasındaki günlük verilere ulaşılmıştır. Öncelikle günlük verilerden aylık veri setleri elde edilmiştir. Sonrasında elde edilen bu verilerin analizi, Levenberg-Marquardt algoritmasıyla eğitilen çok katmanlı yapay sinir ağı modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Girdi verisi olarak, havzaya giren akış debisi, havzaya ait yağış ve buharlaşma verileri, çıktı verisi olarak da baraj rezervuarındaki su seviyesi verileri kullanılmıştır.



Şekil 3 2008 Aralık-2022 Aralık arasındaki toplam yağış miktarı (MGMİ, 2023)

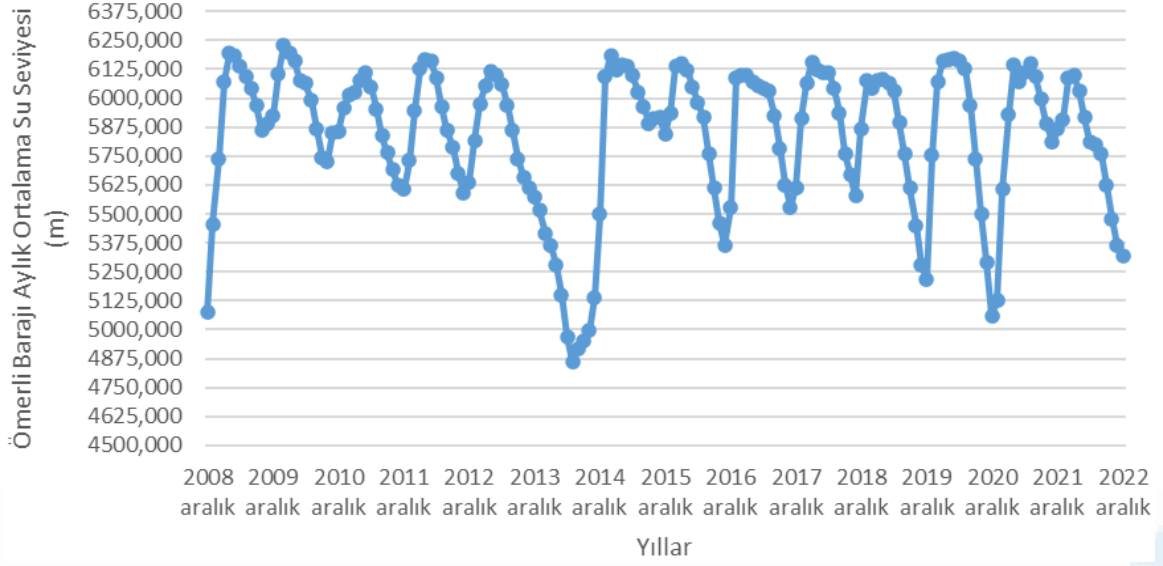
Şekil 3'ten de görüldüğü üzere 2008 Aralık-2022 Aralık veri aralıklarına göre Ömerli Barajı havzasına düşen aylık toplam ortalama yağış miktarı 2010 yılında 9,81mm Ekim ayında iken en düşük yağış değerini ise 2012 yılında 0 mm değeri ile Ağustos ayında almıştır. Mevsimsel etkiler ile sonbahar ve kış aylarında yağış miktarı artmakta, yaz aylarına geçildiğinde ise azalmaktadır.

Serbest su yüzü buharlaşması, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bilgisayar ortamında hesaplanan İstanbul meteoroloji verileri alınmıştır. Bu verilere göre mevsimsel şartlar dolayısıyla ölçümün yapılmadığı kasım ve mart ayları arasında buharlaşma görülmezken, Nisan ve Ekim ayları arasında görülmektedir. 2008 Aralık-2022 Aralık veri aralığında buharlaşmanın toplamda en fazla 2018 ağustos ayı 6.66 mm'dir. Tez çalışmamızda Ömerli Baraj Havza alanındaki meteoroloji istasyonuna göre alınan aylık toplam ortalama buharlaşma miktarı Şekil 4'te gösterilmektedir (MGM, 2023).



Şekil 4 2008 Aralık-2022 Aralık arasındaki aylık toplam buharlaşma miktarı (MGM, 2023)

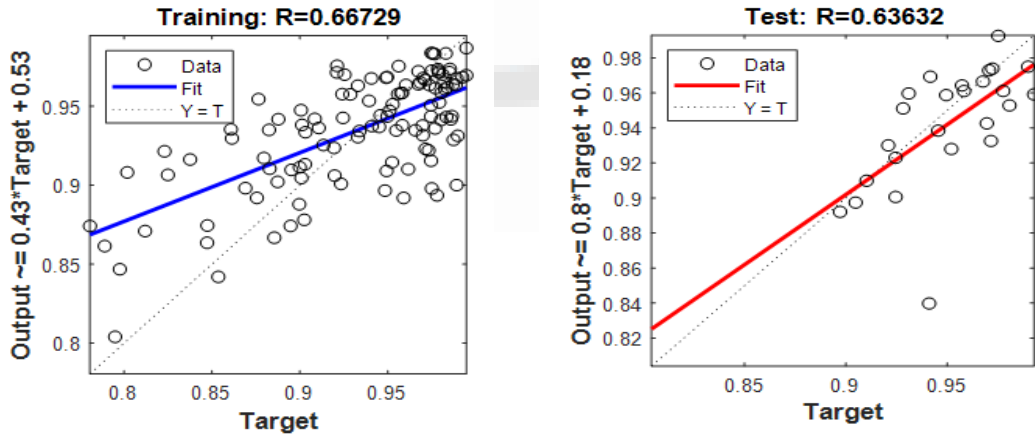
2008 Aralık -2022 Aralık yılları arasında Ömerli Barajı'nda mevsimsel yağışlar ve derelerden gelen akışlar sebebi ile aylık ortalama haznedeki su seviyesi en yüksek değerini 2010 yılı Şubat ayı 6230.071 m değeri hesaplanmış olup, buharlaşma ve su kullanımının etkisi ile en düşük su seviyesi 2014 yılı Temmuz ayı 4863.194 m değeri olarak hesaplanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5 2008 Aralık-2022 Aralık Yılları Arasındaki Ömerli Barajının Aylık Ortalama Su Seviyesi (DSİ, 2023)

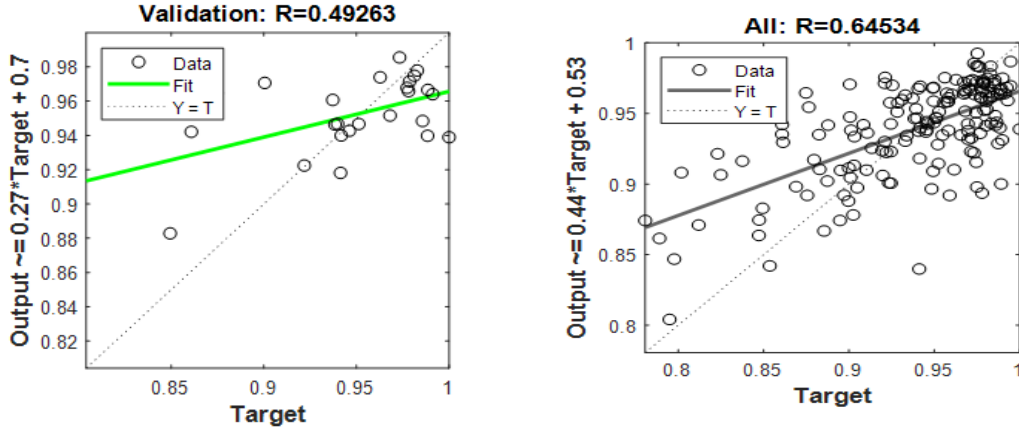
4. ANALİZ

Çalışma kapsamında çok katmanlı yapay sinir ağı modeli (ÇKYSA) analizi için ileri beslemeli geri yayımlı bir yöntem olan Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Su seviyesinin tespitinde belirleyici olan veriler (akış debisi, havzaya ait yağış ve buharlaşma miktarları) giriş verisi olarak kullanılmıştır. Çıkış verisi barajdaki su seviyesinin tahminidir. Çalışmada öncelikle günlük verilerden aylık veri setleri elde edilmiştir. Hem giriş hem de çıkış verileri normalize edilmiştir. Analizler MATLAB’de nntool kullanılarak yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, Levenberg- Marquardt eğitim algoritması ile toplamda 168 adet analiz yapılmış olup korelasyon (R) değeri yüksek olan analize ait sonuçlar sunulmuştur. Bu analizde; Nöron sayısı:10, Gizli hücre sayısı: 2, Öğreneme katsayısı: 0.01, Momentum katsayısı: 0.90 olarak seçilmiştir. Test veri setini kullanınca % 63,6’lık başarımla elde edilmiştir.



Şekil 6 Eğitim ve Test korelasyon (R) değerleri dağılımı.

Tüm veri setini kullanınca ise %64,5’lik bir başarımla elde edilmiştir.



Şekil 7 Validation ve All korelasyon (R) değerleri dağılımı

Tablo 2’de analize ait en iyi performans sonuçları sunulmuştur.

Tablo 2 Levenberg-Marquardt eğitim fonksiyonu ile yapılan sonuç çizelgesi

MSE	MAE	MAPE (%)	All R
0,0014	0,0276	3,0182	64,534

5. SONUÇ

Yapılan bu çalışma İstanbul ili Ömerli Barajı’nın rezervuarında bulunan su seviyesindeki değişimlerin YSA ile tahmin edilmesidir. Bu çalışma ile Ömerli Barajı’nın su seviyesi ölçümleri ile YSA tahmin verileri karşılaştırılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması ile yapılan analizler sonucunda en iyi tahmin sonucunun korelasyon katsayısı (R) %64,53 olarak bulunmuştur. Bulunan bu determinasyon oranı ise tahminlerde kabul edilebilir bir değerdir.

Bu çalışmada kullanılan algoritma yerine Scaled Conjugate Gradient (SCG), Gradient Descent with Momentum (GDM), One Step Secant (OSS), BFGS Quasi-Newton (BFG) gibi farklı algoritmalar kullanılarak da değişik tahmin sonuçları araştırılabilir.

Ayrıca bu çalışmada veri olarak 2008- 2022 yılları arasındaki yağış miktarı, buharlaşma değerleri, baraj su seviyesi değerleri, baraj haznesine giren debi değerler kullanılmıştır, fakat ilgili yıllar arasındaki sızma miktarı ile ilgili değerlere ulaşılamamıştır. Bu durumda YSA kullanarak bu çalışmada eksik olan 2008- 2022 yılları arasındaki toplam tahliye suyu hacmi araştırılabilir.

Yapılan çalışma ile Ömerli Barajı rezervuarında tahmin edilen su seviyesi ile gelecekte su sıkıntısı olup olmayacağı konusunda bir ön bilgi edinilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Alp, M. ve Cıgızoğlu, H.K., (2004), Farklı Yapay Sinir Ağı Metotları ile Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 1-6.
- [2] Aksoy, B., (2018), Mevsimsel Değişikliğin Filyos Çayı Su Kalitesine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 66-69.
- [3] Damla, Y., (2020), Yalova Gökçe Barajının Su Seviyesinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik Anabilim Dalı 91-93.

- [4] ELMAS, Ç.(2003). Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayıncılık, Ankara, 975 347 612 4.
- [5] Mazmancı, K., (2009), Çatalan Barajı Haznesindeki Buharlaşma Miktarının Yapay Sinir Ağları Modeliyle Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 1-65.
- [6] Kılınç, İ., Cıgızoğlu, H.K. ve Alp. M., (2004) İstanbul'daki Baraj Haznelerinin İşetilmesinde Yapay Sinir Ağları Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik Anabilim Dalı, 83-100.
- [7] Okkan, U., & Mollamahmutoğlu, A. (2010). Yiğitler Çayı Günlük Akımlarının Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Analizi İle Modellenmesi, Dumlupınar Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, (23), 33-48.
- [8] Sağlam, R.N., Ulaş, M. Ve Alyamaç, K. E., (2022), Hafif Beton Üretimi İçin Gerekli Olan Hafif Agreganın Miktarının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi Araştırma Makalesi, 34(2).
- [9] Terzi, Ö., ve Çevik, E., “Yapay Sinir Ağları Metodu İle Yağış Tahmini,” SDU International Journal of Technological Science, vol. 4, no. 1, pp. 10–19, 2012.
- [10] M.G.M., (2023), www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A
- [11] M.F.A., (2022), [www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler-gida-ve-tarim-orgutu-fao .tr.mfa](http://www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler-gida-ve-tarim-orgutu-fao.tr.mfa)

Makale id= 78

Sözlü Sunum

ORCID ID:

| 129

İstanbul Ataköy Su Dağıtım Şebekesinin Hidrolik Model Kurulumu İçin Mesken Tipi Tüketim Paterninin Oluşturulması**Araştırmacı Ufuk Bal¹ , Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Melih Koşucu¹ , Prof.Dr. Şevket Çokgör¹**
¹ İstanbul Teknik Üniversitesi

Corresponding author: Ufuk Bal

Özet: Mesken tipi tüketim paterni, hidrolik modellemede önemli bir veridir. Hidrolik modelleme, su dağıtım sistemlerinin tasarımı, işletmesi ve iyileştirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Hidrolik modelleme ile sistemin hidrolik davranışı simüle edilir ve çeşitli senaryolar için hız, basınç, debi değerleri ve pompa enerji tüketimleri hesaplanır. Hidrolik modelleme sonuçlarının doğruluğu ve güvenilirliği, farklı abonelerin tiplerine ait tüketim paternlerinin doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Mesken aboneleri bu abone tiplerinden biridir. Bu abone kullanıcıları suyu en çok kullanan kategoridir. Mesken abonelerinin paterni, bu abonelerin su tüketim alışkanlıklarını ve değişkenliklerini gösteren bir eğridir. Mesken abonelerin paternini belirlemek için, şu adımlar izlenebilir. Öncelikle, mesken abonelerin sayısını, konumunu, tipini ve bağlı oldukları boru hatlarını belirlemek gerekir. Ardından ilgili bölgedeki mesken abonelerinden seçilen bir bölgeye takılan debimetre ile belli bir süre o gruba verilen suyun debisi ölçülür. Ölçüm süresinin fazla olması analizin doğruluğunu artırır. Ardından alınan verilerin saatlik ortalamaları hesaplanarak 24 saatlik bir patern oluşturulur. Bu çalışmada yukarıda bahsedilen patern belirleme adımları takip edilerek İstanbul'un Ataköy bölgesindeki Ataköy Konakları'nın su tüketim paterni çıkarılmıştır. Böylece bölgenin hidrolik modelinin kurulabilmesi için en önemli işlem adımlarından biri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mesken Tipi Su Tüketimi, Debi Ölçümü, Hidrolik Modelleme

Generation of Residential Consumption Pattern for Hydraulic Model Setup of Istanbul Ataköy Water Distribution Network

Abstract: The residential consumption pattern is essential data in hydraulic modeling. Hydraulic modeling is a method used to design, operate and improve water distribution systems. With hydraulic modeling, the hydraulic behavior of the system is simulated, and the speed, pressure, flow values, and pump energy consumptions are calculated for various scenarios. The accuracy and reliability of hydraulic modeling results depend on correctly determining consumption patterns for different types of subscribers. Residential subscribers are one of these subscriber types. These subscribers are the category that uses water the most. The pattern of residential subscribers is a curve that shows the water consumption habits and variations of these subscribers. To determine the pattern of residential subscribers, the following steps are followed. Firstly, it is necessary to determine the number, location, type, and connected pipeline of residential subscribers. Then, using a flow meter attached to a region selected from residential subscribers in the relevant region, the water flow rate given to that group is measured for a certain period. Increasing measurement time increases the accuracy of the analysis. Then, a 24-hour pattern is created by calculating hourly averages of data obtained. In this study, the water consumption pattern of Ataköy Konakları in the Ataköy district of Istanbul is extracted by following the above-mentioned steps. Thus, one of the most critical steps for the hydraulic modeling of the region has been accomplished.

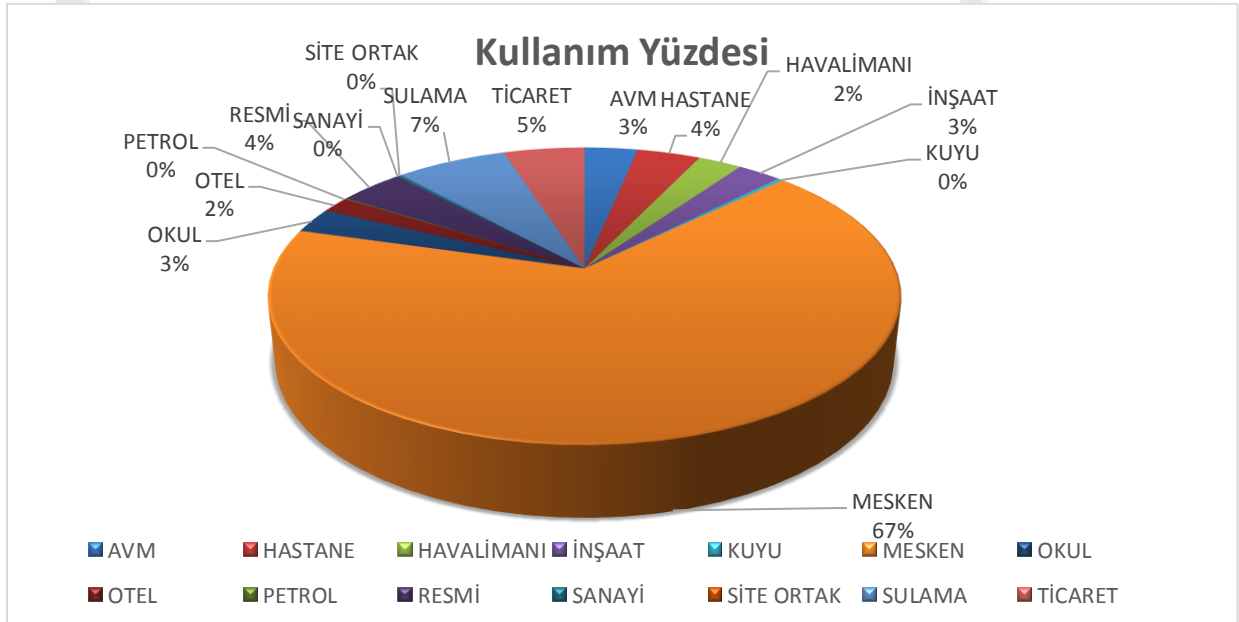
Keywords: Residential Consumption Pattern, Flow Measurement, Hydraulic Modeling

1. Giriş

Şehirlerin nüfusunun artması ve sanayi bölgelerinin gelişmesiyle her açıdan suyun hayata katılımının arttığı günümüz dünyasında içme suyu dağıtım sistemlerinin analiz edilmesi ve sürekli izlenebilir olması sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir. İçme suyu dağıtım şebekelerinin hidrolik modelini oluşturmak özellikle su kaçaklarının tespitinde hayati bir önem taşımaktadır. Hidrolik modelde amaç; mevcut su dağıtım şebekesinin nasıl işlediğinin bilgisayar ortamında anlaşılmasını sağlamaktır (Nault, 2017; Walski et al., 2007). Mevcut durum simüle ve analiz edildikten sonra, gerek işletme açısından, gerekse su kaçaklarının azaltılması açısından doğru hamlelerin yapılabilmesi mümkün olabilmektedir (Koşucu et al., 2022; Koşucu & Demirel, 2022).

Hidrolik modelin oluşturulabilmesi için içme suyu dağıtım şebekesinden su tüketen abonelerin tüketim trend ve paternlerinin tespit edilebilmesi zaruridir (Boulos et al., 2006; Mays, 2000). Zira içme suyu dağıtım şebekelerindeki borulardan geçen akımların debi ve basınçlarının nasıl değişeceği doğrudan abonelerin tüketimine bağlıdır. Mesela, su tüketiminin yoğun olduğu gündüz saatlerinde debi ve hız değerleri artarken, basınç değerleri de düşmektedir. Gece saatlerinde ise su tüketimi minimal düzeyde olduğundan debi ve hız değerleri azalmakta, bunun sonucunda basınç yükselmektedir (Tullis, 1989). Her ne kadar içme suyu dağıtım şebekelerinde tüketim değerlerinin gündüz saatlerinde yüksek, ve gece saatlerinde de düşük değerlerde seyrettiği bilinse de bütün içme suyu dağıtım şebekelerinin tüketim karakteristikleri birbirlerinden farklı olduğundan hidrolik modeli oluşturulmak istenen şebekelerin abone tüketim paterninin muhakkak belirlenmesi gerekmektedir.

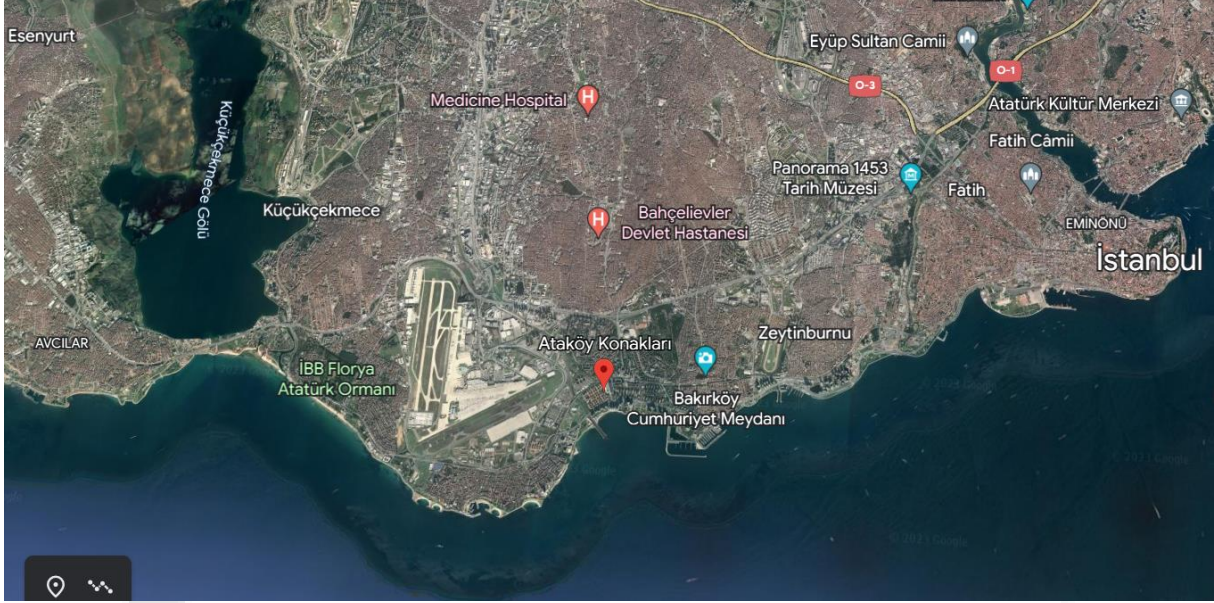
Bu kapsamda İstanbul'un Avrupa yakasındaki Bakırköy ilçesinde bulunan Ataköy bölgesinin içme suyu dağıtım şebekesinin hidrolik modelinin kurulumu için bölgedeki abonelerin tüketim paterninin oluşturulması hedeflenmiştir. **Şekil 1**'de de görüleceği üzere bölgedeki aboneler arasında en çok su tüketen abone tipi, toplam tüketimin %67'siyle mesken abonesidir. Bu durum, hidrolik modelin kurulabilmesi için mesken abonesinin tüketim paterninin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır. Bu sebeple Ataköy bölgesindeki mesken abonesinin önemli bir kısmını teşkil eden Ataköy Konakları'nda debi ölçümü yapılarak hidrolik model için gerekli olan mesken abonesi tüketim paterninin teşkil edilmesi uygun ve gerekli görülmüştür.



Şekil 1: Ataköy bölgesi abone tipi bazında kullanım yüzdeleri

2. Çalışma Sahası

Ataköy Konakları (**Şekil 2**), İstanbul'un Bakırköy ilçesi Zeytinlik Mahallesi'nin Ataköy bölgesinde yer alan bir sitedir. Site içerisinde 950 mesken aboneli bulunmakla beraber yaklaşık 4.000 kişi yaşamaktadır. Site içerisinde bulunan abonelerin büyük bir çoğunluğu mesken tipi abonedir. Bu sebeple site girişine takılan bir debimetreden alınan ölçümler genel bir mesken abonesinin gün içerisindeki su tüketim alışkanlığının nasıl değiştiğini çok iyi bir şekilde göstermektedir.



Şekil 2: Ataköy Konakları'nın konumu

Ayrıca sadece bir meskenden alınacak ölçüm genel bir mesken abonesi profilini yansıtmayabilir. Çünkü ölçüm alınan abonesinin gün içerisindeki alışkanlıkları diğer aboneler için geçerli olmayabilir. Örneğin seçilen abone grubundaki kişi sayısı ortalamaya göre az veya fazla olabilir. Çalışma saatleri normal abonelerden farklı olabilir. Ölçüm alındığı dönemlerde evde bulunan kişi sayısı yine bir mesken abonesinin ortalamasından farklı olabilir. Bu sebeple bir site girişinden alınan uzun süreli ölçümlerin ortalaması genel bir mesken profilini daha iyi yansıtmaktadır.

3. Ölçümler

Abone paternini belirlemek için site girişine takılan ultrasonik debimetrelerden yararlanılmaktadır. Ultrasonik debimetreler, boru içindeki akışkanın hızını ölçmek için ses dalgalarını kullanan cihazlardır. Ses dalgaları, borunun iki tarafına yerleştirilen transdüktörler arasında iletilir. Transdüktörler, birbirlerine doğru ve ters yönde ses dalgaları gönderirler. Akışkanın hızına bağlı olarak, ses dalgalarının geçiş süresi arasında bir fark oluşur. Bu fark, akışkanın hızını ve debisini hesaplamak için kullanılır. Geçici ölçüm yaparken ultrasonik debimetre kullanılmasının sebebi boruya zarar vermeden ölçüm yapılabilmesidir. Bu tip debimetreler transdüktörlerinin boru yüzeyine temas ettirilmesi marifetiyle ölçüm yapabilmektedir. Bu şekilde borunun kesilmesine de ihtiyaç duyulmamaktadır. **Şekil 3**'te ultrasonik debimetre ölçümleri ile alakalı örnek resimler bulunmaktadır. Resimlerden de görüldüğü üzere herhangi bir kesme işlemine gerek duyulmadan boru üzerine bağlanan sensörler yardımı ile ölçüm yapılabilir. Bu sayede su kesintisi yaşanmadan kolaylıkla geçici ölçümler alınabilmektedir.



Şekil 3: Su dağıtım şebekesinin giriş borusu ve ultrasonik debimetreyle debi ölçümü

4. Sonuçlar

28/02/2023-07/03/2023 tarihleri arasına yapılan debi ölçüm çalışmasında; Ataköy Konakları'na su temini sağlayan abone hattı borusuna monte edilen debimetre ile günün 24 saati süresince her 10 dakikada bir hattan geçen debi ölçülmüştür. Ölçüm neticesinde 7 gün boyunca 10 dakikada bir üretilmiş olan veri, saatlik ortalamaya çevrilerek ortalama bir tüketim verisi elde edilmiştir. Bu veriye ait değerler **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Ataköy Konakları'nın giriş borusundaki debi değerleri

Saat	Debi (m ³ /saat)								
	28/02/2023	01/03/2023	02/03/2023	03/03/2023	04/03/2023	05/03/2023	06/03/2023	07/03/2023	Ort.
00:00		22.96	22.80	24.65	24.62	22.79	24.31	28.19	24.33
01:00		15.94	17.59	16.59	16.99	18.10	20.98	18.65	17.83
02:00		13.82	13.19	13.08	13.37	14.04	15.44	14.04	13.85
03:00		8.97	9.08	8.31	8.41	9.25	10.42	10.07	9.21
04:00		8.23	9.20	7.87	8.18	8.88	8.92	8.69	8.57
05:00		10.00	9.93	9.75	9.09	9.45	9.91	11.13	9.89
06:00		17.03	16.98	16.50	16.39	12.05	12.00	17.93	15.56
07:00		30.07	29.58	27.72	29.31	19.91	14.62	30.54	25.96
08:00		35.66	34.67	33.57	36.20	29.43	24.10	36.39	32.86
09:00		42.18	43.19	40.39	46.20	42.21	33.72	44.47	41.40
10:00		42.51	43.68	43.80	48.17	43.74	41.88		43.96
11:00		41.88	41.29	43.16	44.38	46.27	45.50		43.75
12:00	47.45	43.48	43.53	45.70	46.19	48.91	44.61		45.70
13:00	50.05	45.32	43.89	48.03	46.29	50.09	47.96		47.38
14:00	49.80	46.76	41.96	46.78	43.17	47.38	46.58		46.06
15:00	43.88	42.01	33.66	40.76	38.19	42.37	40.54		40.20
16:00	50.47	38.27	41.32	39.27	44.73	36.87	45.60		42.36
17:00	42.83	41.13	37.29	36.50	39.25	38.00	41.11		39.44
18:00	37.35	34.15	35.65	37.99	37.57	35.50	38.68		36.70
19:00	41.51	37.96	39.25	38.66	39.05	35.24	40.93		38.94

Saat	Debi (m ³ /saat)								Ort.
	28/02/2023	01/03/2023	02/03/2023	03/03/2023	04/03/2023	05/03/2023	06/03/2023	07/03/2023	
20:00	38.66	35.21	40.36	38.48	35.86	34.12	41.69		37.77
21:00	38.33	32.38	35.86	33.23	31.52	29.99	36.42		33.96
22:00	35.03	33.71	36.30	32.48	30.57	28.88	33.05		32.86
23:00	27.28	31.08	29.55	28.97	27.17	26.26	30.98		28.76
Ort.	41.89	31.28	31.24	31.34	31.70	30.41	31.25	19.97	31.36

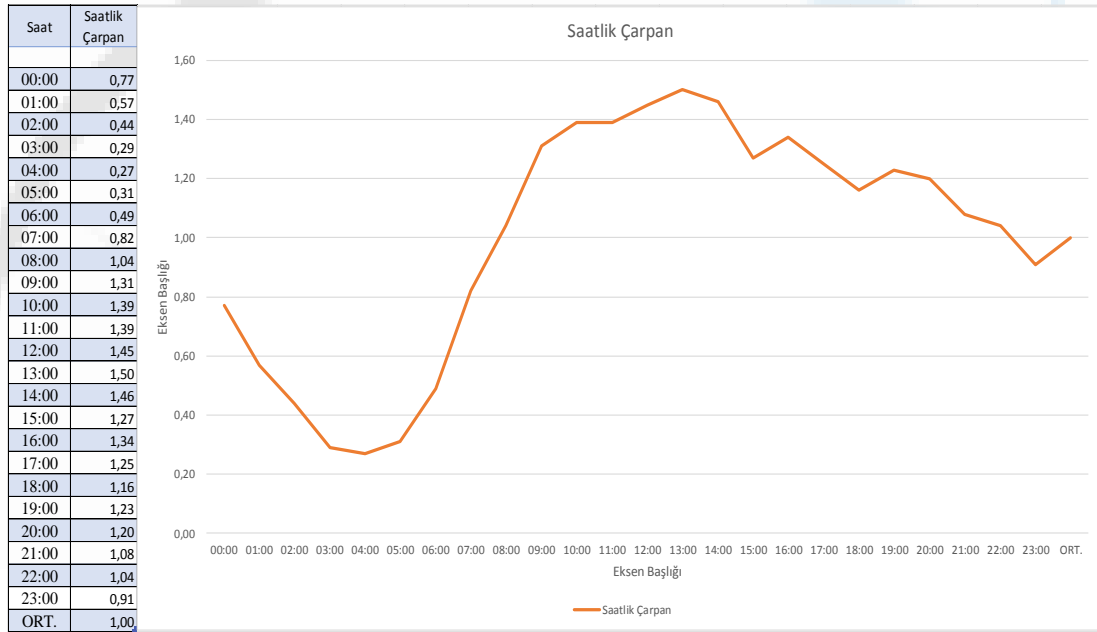
Yapılan ölçümlere ait ortalama ise **Tablo 2'**de verilmiştir. Verilerden de anlaşılacağı üzere gece en düşük tüketim, ortalama tüketimin %27'si olarak ölçülmüştür. En yüksek tüketim ise ortalama tüketimin %150'si olarak öğle saatindedir. Yapılan analizler ile her bir saat dilimine tekabül eden debi değerinin günlük ortalama debiye bölünmesiyle o saate ait saatlik çarpan elde edilmiştir. Bu değer artık bütün mesken abonelerinin günün o saatinde günlük su tüketimlerinin ne kadarını kullandıklarını ifade etmektedir.

Tablo 2: 7 günlük ölçüm sonucu elde edilen Ataköy Konakları'nın ortalama debi değerleri

Saat	Debi (m ³ /saat)	Ort. Kullanım (%)
00:00	24.33	77
01:00	17.83	57
02:00	13.85	44
03:00	9.21	29
04:00	8.57	27
05:00	9.89	31
06:00	15.56	49
07:00	25.96	82
08:00	32.86	104
09:00	41.40	131
10:00	43.96	139
11:00	43.75	139
12:00	45.70	145
13:00	47.38	150
14:00	46.06	146
15:00	40.20	127
16:00	42.36	134
17:00	39.44	125

Saat	Debi (m^3 /saat)	Ort. Kullanım (%)
18:00	36.70	116
19:00	38.94	123
20:00	37.77	120
21:00	33.96	108
22:00	32.86	104
23:00	28.76	91
Ort.	31.55	100

Tablo 2'deki ortalama kullanım yüzdelere dayanarak mesken aboneleri için saatlik çarpan değerleri elde edilmiştir. Bu değerler **Şekil 4**'te verilmiştir. Bölgedeki mesken tipi abonelerin ortalama su tüketimi değişkenlik gösterebilir. Fakat bu abonelerin tüketimindeki değişikliği gösteren patern, yani abone tüketim paterni bölgedeki diğer meskenler için de geçerli kabul edilebilir. Bu sebeple mesken tipi abonelerinin saatlik tüketim değerleri, ortalama tüketimle paternin ilgili saatteki çarpan değerinin çarpılması sonucunda hesaplanabilir.



Şekil 4: Mesken tipi abone paterninin saatlik çarpan değerleri

5. Genel Değerlendirme

Mesken abone paternlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, su dağıtım sistemlerinin hidrolik modellenmesi için çok önemlidir. Bu çalışmada öncelikle ultrasonik bir debimetre Ataköy Konakları'nı besleyen boruya monte edilmiş, ve 7 gün boyunca boruda debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen debi değerleri, debimetrenin hassasiyeti dolayısıyla 10 dakikada bir ölçüldüğünden bu değerlerin saatlik bazda ortalamaları alınarak saatlik debi değerleri oluşturulmuştur. Bunun ardından 7 günlük debiler arasından her saatin kendi içinde ortalaması alınarak 24 saatlik ortalama debi değerleri elde edilmiştir. Bu debilerin ortalama debiye bölünmesiyle de abone patern eğrisi değerlerini teşkil edecek olan saatlik

çarpan faktörleri hesaplanmıştır. Abone patern eğrisi, günlük, haftalık ve mevsimsel olarak değişebilir ve nüfus, iklim, su fiyatlandırması, su kalitesi, su kesintileri, turizm potansiyeli gibi sosyo-ekonomik ve çevresel faktörler tarafından etkilenebilir. Doğru belirlenmiş bir mesken abone paterni ile hidrolik modelleme sonuçları daha doğru ve güvenilir olacaktır. Bu sayede su dağıtım sisteminin tasarımı, işletilmesi ve iyileştirilmesinde daha iyi kararlar alınabilir.

6. Referanslar

- [1] Boulos, P. F., Lansey, K. E., & Karney, B. W. (2006). *Comprehensive Water Distribution Systems Analysis Handbook* (2nd ed.). MWH Soft.
- [2] Koşucu, M. M., Albay, E., & Demirel, M. C. (2022). Extending EPANET Hydraulic Solver Capacity with Rigid Water Column Global Gradient Algorithm. *Journal of Hydro-Environment Research*, 42, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2022.04.002>
- [3] Koşucu, M. M., & Demirel, M. C. (2022). Smart pressure management extension for EPANET: source code enhancement with a dynamic pressure reducing valve model. *Journal of Hydroinformatics*, 24(3), 642–658. <https://doi.org/10.2166/hydro.2022.172>
- [4] Mays, L. W. (2000). *Water Distribution Systems Handbook*. American Water Works Association.
- [5] Nault, J. D. (2017). *Comprehensive Simulation of One-Dimensional Unsteady Pipe Network Hydraulics: Improved Formulations and Adaptive Hybrid Modeling*. Ph.D. Thesis, University of Toronto.
- [6] Tullis, J. P. (1989). *Hydraulics of Pipelines - Pumps, Valves, Cavitation, Transients*. John Wiley & Sons.
- [7] Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Beckwith, S., Cattran, S., Hammond, R., Laptos, K., Lowry, S. G., Mankowski, R. F., Plante, S., Przybyla, J., & Schmitz, B. (2007). *Advanced Water Distribution Modeling And Management* (A. Strafaci, C. Totz, & K. Dietrich (eds.); First Edit). Bentley Institute Press.

Makale id= 28

Poster SunumORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3113-4322>

| 136

Rezidüel Grafikler Kullanarak Regresyon Modeli Varsayımlarını Kontrol Ederek Regresyon Teşhisi**Researcher Shubar Sahib Jawad Alkhatat¹**¹Ondokuz Mayıs University

Özet: Son zamanlarda, veri analistlerine, verilerin tipik olarak regresyon modelleriyle birlikte gelen beklentilerle eşleşmediği durumları belirlemede yardımcı olmak için çeşitli regresyon teşhis teknikleri oluşturulmuştur. Bu arada, regresyon teşhisinin matematiksel ilerlemesi, tipik olarak etkili bilgisayar algoritmalarıyla sonuçlanmadı. Amaç, paket istatistik yazılımı kullanıcıları için regresyon teşhisine erişilebilirliği artırmak ve regresyon teşhisi için yenilikçi hesaplama yöntemleri sunmaktır. Regresyon teşhisi, temel model varsayımlarının makullüğünü ampirik olarak doğrulamak için kullanılan, öncelikle grafik tekniklerin bir grubudur. Bu resmi olmayan teknikler, regresyon modellemenin çok önemli bir bileşenidir çünkü uygun bir modelden üretilen birçok resmi sonuç ve çıkarım (güven aralıkları, istatistiksel testler, tahminler vb.) yalnızca modelin altında yatan varsayımlar doğrusa anlamlıdır. Eğer regresyon varsayımları bozulursa, model sonuçlarının herhangi bir kullanımı fazlasıyla yanıltıcı olabilir. Dolayısıyla, verilere uyan bir regresyon modelinin, verilerin yapısını ne kadar iyi yakaladığını değerlendirme teknikleridir. Doğrusallık varsayımı, model yanıt ile açıklayıcı bir değişken arasında doğrusal (düz çizgi) bir bağlantı öngörüorsa geçerlidir. Regresyon teşhisi, yalnızca verilere uydurulmuş bir regresyon modelindeki kusurları işaret etmekle kalmaz, aynı zamanda modelin tasarım önerilerinde sıklıkla iyileştirmeler yapar. Doğrusal regresyon incelemesinde, hesaplanan regresyon katsayılarını ve tahmin edilen değerleri yorumlama zorluğu vardır. Tahmin ediciler birleştiğinde tahmin edilen değerler sabit olabilese de, hesaplanan regresyon katsayılarının büyüklüğü ve hatta işareti oldukça değişken olabilir. Hesaplanan regresyon katsayıları ve tahmin edilen değerlerin her ikisi de aykırı değerlerden etkilenebilir. Regresyon analizi birkaç varsayıma dayandığından, model uydurma hikayenin yalnızca başlangıcıdır. Regresyon teşhisi, model varsayımlarını değerlendirmek ve analiz üzerinde önemli, gerekelendirilmemiş bir etkisi olan gözlemleri aramak için kullanılır. Doğrusal regresyon için varsayımlar şunlardır: Doğrusallık: X ile Y 'nin ortalaması arasında doğrudan bir ilişki vardır. Eş varyans: X 'in her değeri artıkta aynı varyansa sahiptir. Birbirinden ayrı: Gözlemler birbirinden bağımsız yapılır. Normallik: Y , X 'in herhangi bir sabit değeri için normal olarak dağıtılır.

Anahtar Kelimeler: Regresyon Teşhisi, Doğrusallık, Eş Varyans, Normallik, Bağımsızlık, Kaldıraç, Aykırı Değerler, Etkili Gözlemler.

Regression Diagnostics by Checking the Assumptions of the Regression Model Using Residual Graphs

Abstract: Recently, a variety of regression diagnostic techniques have been created to assist data analysts in locating instances where data does not match the expectations that typically go along with regression models. Regression diagnostics' mathematical advancement, meanwhile, hasn't typically resulted in effective computer algorithms. The aim is to increase the accessibility of regression diagnostics for users of packaged statistics software and offer innovative computation methods for regression diagnostics. Regression diagnostics are a group of primarily graphical techniques that are used to empirically verify the plausibility of the fundamental model assumptions. These unofficial techniques are a crucial component of regression modeling because many formal conclusions and inferences (such as confidence ranges, statistical tests, predictions, etc.) produced from a fitted model only make sense if the model's underlying assumptions are true. Any use of model results can be exceedingly deceptive if the regression assumptions are broken. So they are techniques for assessing how well a regression model that has been fitted to data captures the data's structure. The assumption of linearity is valid if the model predicts a linear (straight-line) connection between the response and an explanatory variable. Regression diagnostics not only point out flaws in a regression model that has been fitted to data but also frequently make

improvements to the model's design recommendations. In the examination of linear regression, there is a challenge to interpret the calculated regression coefficients and predicted values. Although the predicted values might be constant when the predictors are coupled, the magnitude and even the sign of the computed regression coefficients can be highly changeable. The computed regression coefficients and the predicted values can both be affected by outliers. Since regression analysis is based on several assumptions, model fitting is only the beginning of the story.

Keywords: Regression Diagnostics, Linearity, Homoscedasticity, Normality, Independence, Leverage, Outliers, Influential Observations.

Introduction:

One dependent variable and several independent variables are compared using multiple regression analysis. To estimate the variables in a regression model, people frequently utilize the OLS estimator. It is one of the most effective and well-liked regression model estimators thanks to several extremely alluring statistical characteristics. The existence of skew is a frequent violation of the linear regression model assumption. It is a finding from a set of data that seems to contradict other observations. Outliers can appear in the response variable, the explanatory variable known as leverage points, or both the response and the explanatory variables in the regression. The outdoors may or may not have an impact.

An influential observation is one that, if eliminated from the data set, would significantly alter some significant elements of the regression analysis. A significant issue in model construction, inference, and regression model analysis is the detection of outliers. Outliers can cause inaccurate parameter estimation, incorrect model definition, and unsuitable predictions. To find out whether there are any outliers or significant points, regression diagnostics are required. These measures either use the OLS residuals or some of its functions (standardized and studentized residuals) for spotting outliers in the Y-direction and for detecting high leverages in the X-direction, they use the diagonal elements of the hat matrix. [1]

Strong assumptions about the data structure are made by linear and generalized linear models, which frequently do not hold in practical applications. These models can also be sensitive to atypical data, particularly in small samples; in extreme circumstances, the outcomes might depend only on one or a very small number of observations. Therefore, it is crucial to thoroughly check the data both before and after fitting a regression model to the data. [2]

A component of regression analysis called regression diagnostics looks into whether the calculated model and the presumptions we made about the data and the model are consistent with the data that has been collected. These diagnostics include graphical and numerical tools for assessing the suitability of the assumptions about the data and the model's structure, identifying outliers (extreme points) that may dominate the regression and potentially skew the results, and determining whether collinearity and strong relationships between the independent variables are having an impact on the findings. [3]

Aim of the Research

Regression models require analysis beyond the standard tests of significance and summary statistics. Data points whose presence will alter the estimates and significance of the parameters are frequently revealed by the use of regression diagnostics. One or more variables may become significant or insignificant, multicollinearity may be introduced or removed, and estimates of parameter vectors and other statistics may vary unexpectedly with as few as 1% of significant data points. Regression diagnostic approaches can identify significant points and predict what would happen if they were excluded from the analysis. In particular, it is impossible to decide whether to keep or discard such data pieces in an abstract situation. Often, the initial step in revealing information about a process under research is to draw attention to a small group of anomalous data points. Regression diagnostics and other forms of cross-validation can be considered independent activities with a shared goal if the majority of data analysis's goal is model construction.

Assumptions of Model

Since regression analysis is based on several assumptions, model fitting is only the beginning of the narrative. Regression diagnostics are used to assess the model assumptions and look for observations

that have a significant, unjustified impact on the analysis. Once more, the assumptions for linear regression are:

1. Linearity: There is a direct relationship between X and the mean of Y . $E(Y) = X\beta$, the predictors have a linear relationship with the anticipated (mean) outcome. This suggests that the anticipated error is zero when X is present: $E(\epsilon|X) = 0$.
2. Homoscedasticity: The variance of the residual is constant for all values of X . $Var(\epsilon|X) = \sigma^2$, indicates homoscedasticity. Errors have a constant variance when X is present.
3. Independent of one another: Observations are separate from one another. $Cov(\epsilon_i, \epsilon_j|X) = 0$. Once errors are conditioned on X , errors do not fluctuate.
4. Normality: Y is normally distributed for any fixed value of X , $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$. The distribution of errors is normal.

| 138

Problematic points have some definitions:

- Outliers: An observation with a significant residual is considered an outlier. That is to say, the actual value of the point is considerably different from what the regression model anticipated.
 - Leverage points: A leverage point is an observation with an x value that deviates significantly from the x mean.
 - Influential observations: An observation is considered influential if it modifies the slope of the line. As a result, important factors have a significant impact on how well the model fits. Analyzing the model's fit with and without each observation is one way to uncover key points.
- [4]

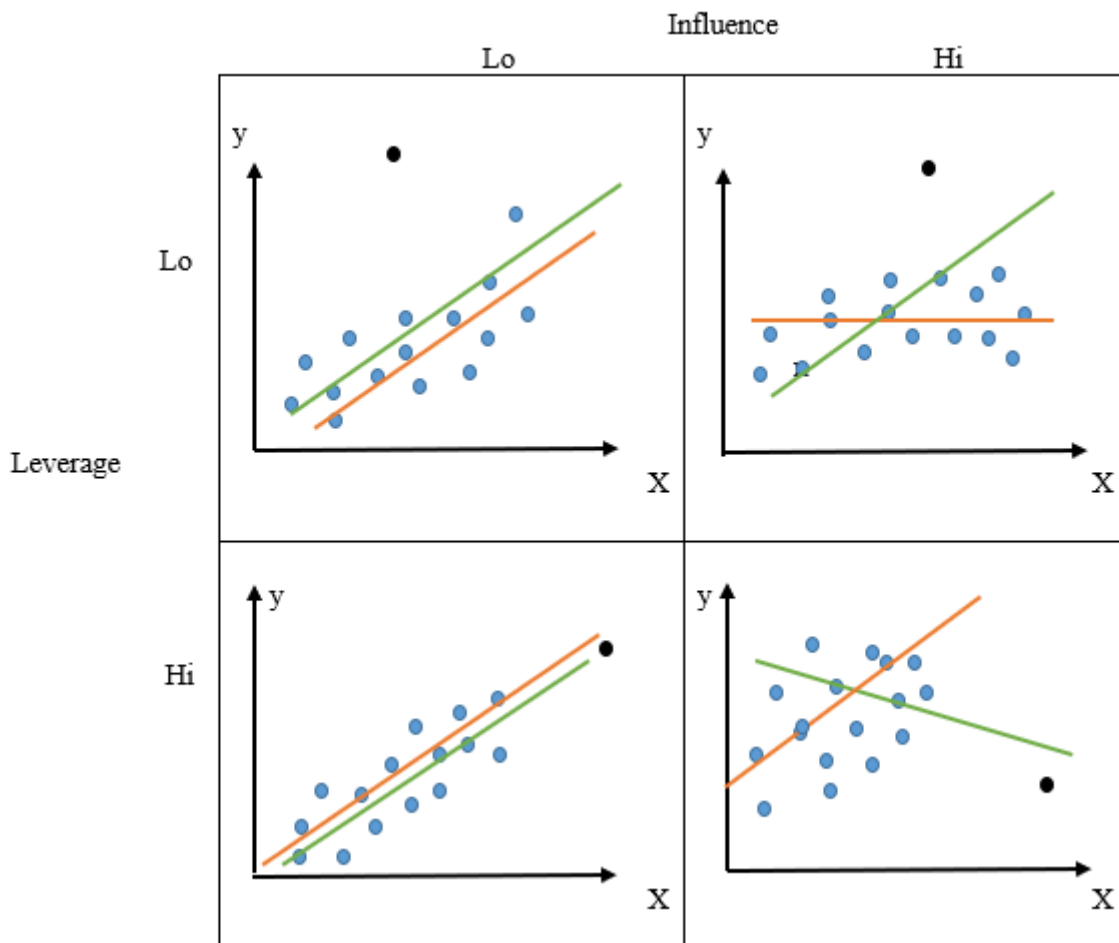


Figure (1): Illustration of Influence and leverage

The residuals vs. fitted values are shown in the first plot. This is how residuals are measured:

$$\text{residual} = \text{observed } y - \text{anticipated } y \text{ from the model}$$

Understanding Linear Regression Assumptions: Plots and Solutions

Regression analysis is essential in predictive modeling, but simply running a line of code or examining R^2 , and MSE values are insufficient. The plot () function generates charts that offer useful information about the data. Many novices are unable to interpret these plots. Important regression assumptions, breach repairs, and the meaning of these charts are all discussed. Understanding these ideas can help to enhance regression models significantly.

What are the linear regression assumptions in data science and regression analysis?

Linearity, Independence, Homogeneity, Normality for model interpretation and Validation, Multiple Collinearities, and Heterogeneity are the assumptions of linear regression in data science, which assure valid and trustworthy regression results.

Violations of linear regression assumptions can result in biased or inefficient estimates, and it is critical to identify and address these violations for accurate and trustworthy regression findings. Linear regression assumptions include: [5]

1. The link between the dependent and independent variables is referred to as linearity.
2. Independence: There is a separation between the observations.
3. Homoscedasticity means that the error variance is constant across all levels of the independent variables.
4. Normality: The errors are distributed normally.
5. There is no multicollinearity since the independent variables are not substantially associated with one another.
6. There is no endogeneity: no relationship exists between the mistakes and the independent variables.

What Happens If You Break the Linear Regression Assumptions?

Let's look at some specific assumptions and what happens when they are broken:

- Additive and Linear: Fitting a linear model to a non-linear, non-additive data set would result in an inefficient model because the regression process would fail to represent the trend mathematically. This will also result in incorrect predictions on an unknown data set.
- Autocorrelation: The presence of correlation in error terms diminishes the model's accuracy significantly. This is common in time series models in which the next instant is reliant on the preceding instant. The calculated standard errors tend to underestimate the true standard error when the error terms are coupled. When this happens, the confidence and prediction intervals become narrower. A narrower confidence interval indicates that a 95% confidence interval has a lower likelihood than 0.95 of containing the actual value of the coefficients. Furthermore, lower standard errors would result in lower p-values than the real ones. As a result, we will wrongly conclude that a parameter is statistically significant.
- Multicollinearity: It occurs when the correlation between the independent variables is moderate to high. In a model containing correlated variables, determining the true link of predictors to response variables becomes difficult. In other words, it becomes impossible to determine which variable is influencing the response variable. Another aspect to consider is that the standard errors tend to grow in the presence of coupled predictors. Furthermore, with large standard errors, the confidence range expands, resulting in less exact estimations of slope parameters.

When predictors are correlated, the estimated regression coefficient of a correlated variable is affected by the existence of other predictors in the model. If this occurs, you will reach the false

conclusion that a variable has a significant/weak influence on the target variable. Because removing one associated variable from the model changes the estimated regression coefficients.

- Heteroscedasticity: occurs when the error terms have non-constant variance. Non-constant variance occurs when there are outliers or excessive leverage values. These values appear to be given too much weight, impacting the model's performance unduly. When this happens, the confidence interval for out-of-sample prediction becomes unreasonably large or narrow.
- Error term distribution is normal: Confidence intervals may become overly wide or narrow if the error factors are not regularly distributed. When the confidence interval becomes unstable, calculating coefficients based on least squares minimization becomes challenging. The presence of a non-normal distribution indicates that there are a few odd data points that must be extensively examined to create a better model. [5]

Elements of the Projection Matrix Analysis:

Because the diagonal members of this hat matrix $H_{ii} = x(x'x)^{-1}x'$ indicate the presence of leverage points that are not discovered by examination of residuals, investigation of projection hat matrix elements is important in regression diagnostics. The symmetry and idempotency of matrix H give rise to various qualities that are shared by diagonal elements, sometimes known as "leverage" in literature. A few of matrix H's characteristics are:

1. A projection matrix's diagonal elements must satisfy the criteria $0 < H_{ii} < 1$, and its non-diagonal elements must satisfy the condition $-1 < H_{ij} < 1$. Another suitable criterion for diagonal elements is $1/n < H_{ii} < 1/c$, where C is the number of replicate measurements at each value of the controllable variable, and it is true when a model also has an intercept term and the rank of the matrix (X is m).
2. The whole rank of the matrix and an intercept term are present in the model, and X:
 $\sum_{i=1}^n H_{ii} = m$ and $\sum_{i=1}^n H_{ij} = 1$, The diagonal element H_{ii} has a mean value of m / n .
3. Given that matrix H is idempotent, it follows that

$$H_{ii} = H_{ii}^2 + \sum_{j \neq i} H_{ij}^2 = \sum_{j=i}^n H_{ij}^2 \dots \dots \dots (1)$$

Two crucial characteristics of diagonal elements H_{ii} are deduced from this equation:

- a) All non-diagonal elements, $H_{ij} \rightarrow 0$, for $j = 1, \dots, n$, are close to zero if the diagonal elements are close to zero, $H_{ii} \rightarrow 0$.
 - b) For $j = 1, \dots, n$, all non-diagonal elements are almost equal to zero $H_{ij} \rightarrow 0$, if the diagonal elements are close to 1, $H_{ii} \rightarrow 1$.
4. The impact on the i^{th} point of the prediction \hat{y}_i increases with the size of the diagonal elements H_{ii} . The regression model can account for all of the variations in x_i if the H_{ii} elements are near 1 ($H_{ii} \rightarrow 1$, and $\hat{y}_i = y_i$).
 5. The diagonal elements H_{ii} are non-increasing functions of the number of points n and non-decreasing functions of the controllable variables m.

It is helpful to extend matrix X by a vector y to create matrix $X^* = (X/y)$ for more complicated analysis. This matrix is the projection matrix's counterpart

$$H^* = H + \frac{\hat{e}\hat{e}^T}{\hat{e}^T\hat{e}} \dots \dots \dots (2)$$

The matrix H^* can be utilized as the overall indicator of influential points because it incorporates data on all variables. This matrix's diagonal elements are provided by:

$$H_{ii}t^* = H_{ii} + \frac{\hat{e}_i^2}{n - m\hat{\sigma}^2} \dots \dots \dots (3)$$

An extended projection matrix's diagonal elements can be used to spot outliers and data leverage points. Since no type of residuals can identify the leverage point. [6]

The main techniques for plotting residuals, when analyzing nonlinear models, are the following:

1. The general diagram provides a quick overview of the residuals. The residuals should resemble observations from a normal distribution with a zero mean if the model is accurate.
2. The index plot, or plot type I, is a time-ordered plot of residuals versus index *i*.
3. A plot of residuals *e_i* against the independent variable *y_i*, where *i* = 1,..., *n*, is known as plot type II (the plot vs. the independent variable).
4. A plot of the residuals versus the predicted value is known as Plot Type III (the plot vs. the prediction).

The most common plot type selected is type II. The residuals should take the shape of a random pattern if the proposed model accurately captures the data. Systematic deviations from randomness are a sign that the model is inadequate. The rank plot, which is utilized in regression diagnostics for linear models, may be used to check the normality of a residual distribution. [7]

Are the explanatory variables too similar in multicollinearity?

Because it is challenging for multiple regression to distinguish between the effect of one variable and the effect of another, you may have a multicollinearity problem when some of your explanatory (X) variables are similar to one another. Multicollinearity can have statistical or numerical effects:

1. Due to exaggerated standard errors, multicollinearity has statistical effects that make it difficult to verify individual regression coefficients. As a result, even when an X variable has a strong association with Y, you might be unable to pronounce it significant.
2. Multicollinearity has numerical effects, including difficulty with computer calculations brought on by numerical instability. Extreme situations could result in the computer attempting to divide by zero and failing to finish the analysis. Or, even worse, the machine could finish the study and then output outrageously inaccurate, useless data.

Depending on the goal of the analysis and the degree of the multicollinearity, it may or may not be a problem. Multicollinearity in small to moderate numbers is typically not a concern. Extremely high multicollinearity, such as using the same variable more than once, will always be problematic and could result in critical errors. Thankfully, significant multicollinearity may not be an issue if the main goal is to predict Y because diligent multiple regression software can still generate the best (least-squares) forecasts of Y based on all of the X variables. However, the statistical impacts of multicollinearity will likely pose problems if you attempt to utilize the individual regression coefficients to describe how each X variable affects Y because these effects cannot be separated. The effects of multicollinearity on the regression analysis are collected in the following table.

Table (1): Effects of Multicollinearity in Regression

Extent of Multicollinearity	Effect on the Regression Analysis
Little	Not a problem
Moderate	Not usually a problem

Strong	Statistical consequences: Often a problem if you want to estimate the effects of individual X variables (i.e., regression coefficients); may not be a problem if your goal is just to predict or forecast Y
Extremely strong	Numerical consequences: Always a problem; computer calculations may even be wrong due to numerical instability

Examining the typical bivariate correlations between each pair of variables is a quick and easy technique to spot the multicollinearity issue. The multivariate data set's correlation matrix is a table that shows the correlation between each pair of variables. The more multicollinearity, the stronger the correlation coefficient between one X variable and another. The rationale for this is that a high correlation (near 1 or to -1) shows that these two X variables are measuring something comparable, adding overlapping information to the study and indicating a strong link.

The discovery of a regression that is very significant (based on the F test), but for which not a single t-test of the various X variables is significant, can be caused by strong multicollinearity. The computer tells us that while the X variables collectively explain a lot about Y, it is hard to pinpoint any specific X variable as the cause of Y. The t-test analyzes the impact of a particular variable X_i while keeping all other variables constant. As a result, the t-test for X_i solely evaluates the additional information that X_i provides beyond what the other variables do. If another variable is s adding much new data to the regression.

Eliminating X variables that repeat data that is already present in other X variables is one way to solve this problem. Consider deleting two of the size measures, consolidating them into one, or utilizing their average, for instance, if X variables have three separate size measures.

Another option is to modify some of the variables so that each X variable clearly and specifically contributes to the explanation of Y. Selecting a single representative X variable is a typical approach to applying this concept to a collection of related X variables. Then quantify additional variables as ratios to your typical X variable. [8]

Characteristics of the Residuals:

Finding flaws in the model or issues with the data is made much easier by analyzing the regression residuals or transforming the residual Characteristics of the Residuals. The real errors in the regression model are thought to be independently distributed random variables with a normal distribution and a zero mean, denoted by the notation $\varepsilon \sim N(0, I\sigma^2)$. Even though the $I\sigma^2$ assumption is true, the observed residuals are not independent and do not have a common variance. $e = (I - P)Y$ has a multivariate normal distribution with $\varepsilon(e) = 0$, and $\text{Var}(e) = (I - P)\sigma^2$ under the standard least squares assumptions. The observed residuals do not share a common variance because the diagonal elements of $\text{Var}(e)$ are not equal, and they are not independent since the off-diagonal elements are not zero.

Standardized Residuals:

By standardizing each residual, the heterogeneous variances in the observed residuals are quickly and easily addressed. The diagonal elements of $(I - P)S^2$ estimate the variances of the residuals. A standardized residual, represented with the symbol r_i , is obtained by dividing each residual by its standard deviation.

$$r_i = \frac{e_i}{S\sqrt{(1 - v_{ii})}} \dots \dots \dots (4)$$

where v_{ii} denotes P, i^{th} diagonal component. All standardized residuals have unit variance (where s is replaced with σ in the denominator). Except for the fact that the numerator and denominator of r_i are not independent, the standardized residuals behave very similarly to a Student's random variable.

The standardization of each residual using an estimate of its standard deviation that is unrelated to the residual is advised by Belsley, Kuh, and Welsch (1980). This is done by utilizing the residual mean square from an analysis in which that observation has been excluded as the estimate of σ^2 for the i^{th} residual. This variance is denoted as $S^2_{(i)}$, where the subscript enclosed in parentheses denotes the omission of the i^{th} observation from the estimate of σ^2 . The outcome is the Studentized Relative or r_i^* . [9]

$$r_i^* = \frac{e_i}{S_{(i)}\sqrt{1 - v_{ii}}} \dots \dots \dots (5)$$

Residuals and Standardized Residuals:

We will only look at two of the many available techniques for looking at the regression equation. There are several significant ways to do this. Plotting the residuals is the first technique we'll go over. Plots are utilized to ascertain whether the residuals or errors are normally distributed or to look for any patterns in the residuals. The second approach looks for data points that are present and significantly impact the estimation of the regression coefficients.

The residual e_i , which is the difference between y_i and \hat{y}_i and serves as the sample estimator of e_i , can be used to check the validity of the regression assumptions. People frequently take into account a standardized residual, $\frac{e_i}{s_{yx}}$, rather than e_i itself because we are accustomed to working with standardized variables. If the regression assumptions are true, the standardized residuals should roughly follow a typical normal distribution. Values of the standardized residuals greater than 2.5 or less than -2.5 are therefore rare.

We can adjust the dependent variable if the plot deviates from a straight line sufficiently to make us doubt the assumption of normality. Numerous mathematical operations can be performed to convert data with a non-normal distribution into a normal distribution.

Plotting the standardized residuals versus the X variable(s) values is also interesting. If the trend can be seen in a particular figure, it may indicate that the model needs another term involving the X variable, such as X_2 .

Leverage:

The estimators of β_0 and β_1 are linear combinations of the observed values of Y, and from these values, the predicted values of Y are obtained:

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \dots \dots \dots (6)$$

As a result, Y projected values are just linear combinations of Y observed values. In an equation for the anticipated value of y_i that reflects this relationship,

$$\hat{y}_i = h_{i1}y_1 + h_{i2}y_2 + \dots + h_{ii}y_i + \dots + h_{in}y_n \dots \dots \dots (7)$$

h_{ij} is the coefficient of y_j . h_i represents the leverage effect of the variable y_i on its projected value. Leverage displays the amount of change in the expected value of y_i for every change in y_i .

Greater than or equal to 0 and less than or equal to 1 are both valid values for the h_i . The number of estimated coefficients in the regression equation divided by the sample size represents the average value of the leverages. In a unique scenario, we computed two coefficients if there were 50 observations. The leverages have an average value of $(2/50 = 0.04)$. The points with these significant leverages should be looked at if any of the leverages are large - some statisticians define large as larger than twice the average leverage, while others say greater than three times the average. Maybe there was an error in recording the values, or the points have a special quality that has to be investigated. [10]

Residual Plots to Ensure Trustworthy Regression Results!

Knowing the conceptual causes and how to fix errors is what makes residual diagrams useful in confirming that a regression model is valid.

The remaining plots will be used to test the assumptions of the linear regression model for OLS. If assumptions are violated, we risk delivering results that you cannot rely on. The remaining values are shown on the y-axis, and the relevant values, or another variable, are shown on the x-axis. After fitting the regression model, the remaining plots must be checked. If the charts reveal unfavorable patterns, the regression coefficients and other numerical results cannot be relied upon. Regression models are divided into two parts: deterministic and random components. If the model isn't as random as it should be, it has issues, which is where residual plots come in.

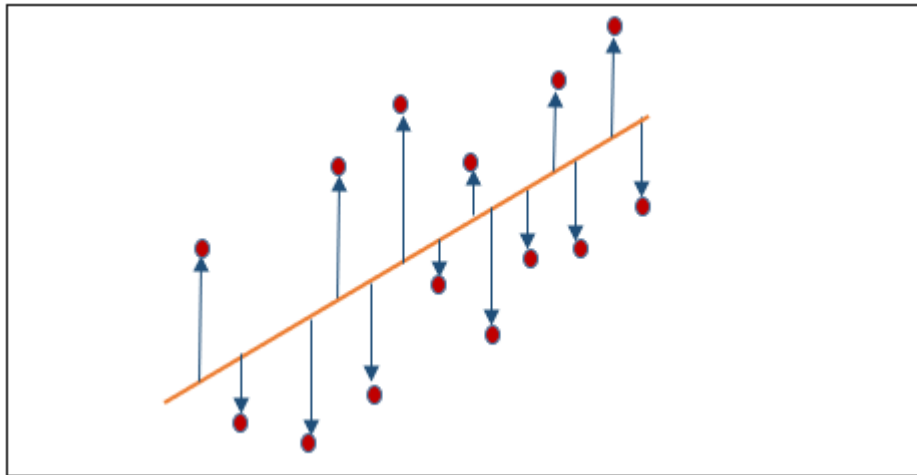


Figure (2): Residuals = Observed value – Fitted value

The following are the essential components of a regression model:

$$\text{Dependent Variable} = (\text{Constant} + \text{Independent Variables}) + \text{Error}$$

How do you tell if the residuals in a regression analysis are random? Simply ensure that they are randomly distributed around zero for the whole range of fitted values. The model's predictions are on average accurate rather than consistently unreasonably high or low when the residuals are centered on zero. Additionally, regression implies that the dispersion is constant across all fitted values and that the residuals have a normal distribution. This is how residuals should look. [11]

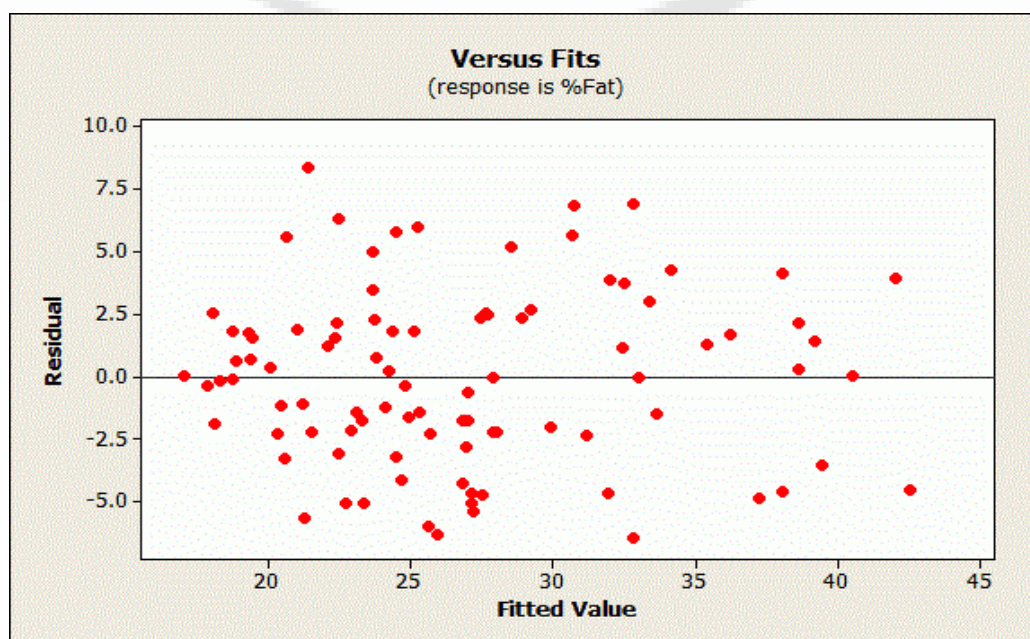


Figure (3): Randomly Residuals Distribution

Other potential issues:

There are also different ways that explanatory information can enter private tailings:

- Another variable cannot be linked to the remaining values. When a variable is connected to the remaining values, it can predict the remaining values. We attempt to incorporate this variable into the model. We plot the residual values by other factors to determine this association. This issue is related to confounding variables and results in variable bias.
- It is not permitted to join adjacent remaining values. When adjacent residues are associated, one residue can predict the next. This is known as autocorrelation in statistics. This correlation represents explanatory information that the independent variables do not describe. This issue affects models that employ time series data. The solution is to include an independent variable that carries pertinent time information. The Durbin-Watson test is used to evaluate autocorrelation.
- The contrast of the residuals should be consistent. Heterogeneous elasticity occurs when residues have non-constant anisotropy.

Checking the remaining parcels of land is an important but straightforward task. There is no need for odd leftovers. So that only random error persists, the independent variables must accurately reflect the relationship. Non-random patterns in the residual values imply that something is lacking from the special variables. Importantly, if there are any undesired patterns in the remaining plots, they represent an opportunity to improve the model because the independent variables now have something else to account for.

When the linear regression model meets the OLS assumptions, the technique produces unbiased coefficient estimates that are close to the true (minimum variance) population values. In reality, Gauss-Markov theory states that when the assumptions are valid, OLS generates better estimates than any other linear model estimating methods. [11]

DIAGNOSTIC PLOTS AND RESIDUAL TESTS

To uncover violations in regression modeling assumptions, residual tests, and diagnostic charts are often utilized. Such tests and diagnostic charts can also assist in determining whether a model transformation or update is required. Several graphical tools and statistical tests can be used to detect model "lack of fit", assumption violations, erroneous inferences, outliers, and important observations.

1. Partial Residuals and Residuals Plots: Determine model fit and uneven variances. Any trends or patterns in the plots indicate a lack of fit and possible model flaws.
2. Ordinary Probability Plot: Examine the premise of normalcy. A plot with a linear trend shows that the normalcy assumption is roughly satisfied; a plot with a nonlinear trend indicates that the assumption is most certainly violated.
3. Standardized Residual: A potential outlier is an observation with a standardized residual greater than the absolute value of 3.
4. Influential Observations: These are observations that have a significant impact on the response variable.
 - Leverage is a measure of y_1 effect on its predicted value \hat{y}_1 . If $h_i > \frac{2(k+1)}{n}$, the observed value y_1 is influential, where h_i is the leverage for the i^{th} observation and k is the number of β 's in the model (excluding β_0).
 - Cook's Distance: An influential observation has a value in the F distribution that is at least in the 50th percentile.
 - Dffits: The i^{th} observation is influential if Dffits is bigger than $2\sqrt{\frac{k+1}{n}}$.

Analysts must determine if external and influencing observations are valid or if they are the result of entry errors. If the observations are input errors, they will be corrected or removed from the dataset before modeling. If the observations are valid, we run the model without them to test if the parameter coefficients are unstable. If this is the case, analysts must decide whether to maintain or discard these influencer notes for modeling purposes.

5. Detect residual correlation using the Durbin-Watson Test (d). The (d) statistic has the following properties:
 - $0 \leq d \leq 4$.
 - The residuals are uncorrelated if $d \approx 2$.
 - If $d < 2$, residuals are positively correlated; if $d \approx 0$, the correlation is strong.
 - If d is greater than 2, residuals are negatively correlated; if $d \approx 4$, the association is strong. [12].

Table (2): details about the influence. Measures () function.

Function	Description	Rough Cut-off
Dffits ()	the change in the fitted values (with appropriately scaled)	$> 2 \cdot \sqrt{(k+1)/n}$
Dfbetas ()	the changes in the coefficients (with appropriately scaled)	$> 2/\sqrt{n}$
Covratio ()	the change in the estimate of the OLS covariance matrix	outside $1 \pm 3 \cdot \sqrt{(k+1)/n}$
Hatvalues ()	standardized distance to mean of predictors used to measure the leverage of observation	$> 2 \cdot \sqrt{(k+1)/n}$
Cooks Distance ()	standardized distance change for how far the estimated vector	$> 4/n$

Conclusion:

Because it is less difficult than other statistical models, the multiple regression model is often utilized. It is, nevertheless, the most abused model because analysts miss assumptions, fail to eliminate or rectify potential model flaws and fail to evaluate the model's predictions. When developing a multiple regression model, it is critical to follow all of these stages as a checklist. Even if all of these procedures are followed, the optimal regression model that is useful may not be obtained if the underlying data does not match the conditions that make linear regression the right model to fit the data. For all statistical models, analysts should evaluate assumptions, seek potential flaws, and assess model accuracy and forecast dependability.

Understanding and accepting linear regression assumptions is critical for accurate and reliable analysis. We can assure the validity of our models and properly interpret the findings by knowing the regression assumptions. To improve the trustworthiness of our findings, we must analyze the assumptions and address any violations. Following these assumptions enables us to make educated decisions and derive relevant insights from linear regression analysis in a variety of data science applications.

It turns out that the point labeled as an outlier is not always significant. When applied to the data, more significant points than outliers were found; this could be because the data has a multilinearity and external nonlinearity problem. To estimate impact points, certain reliable variations of Cook's distance,

(DFFITS) and DFBETAS have been proposed. When compared to other estimators, diagnostic scales based on the OLS do not provide accurate estimates. Root mean square error plays a significant role in the robust version of the impact statistic's performance. With a few exceptions, there is not much of a difference between Cook's D performance and DFFITS.

References:

- [1] Ayinde, K., Lukman, A. F., & Arowolo, O. (2015). Robust regression diagnostics of influential observations in the linear regression model. *Open Journal of Statistics*, 5(04), 273.
- [2] Fox, J. (2019). *Regression diagnostics: An introduction*. Sage publications.
- [3] Jellema, R. H. (2009). *Comprehensive chemometrics. Chemical and Biochemical Data Analysis*, 2.
- [4] Ching, T.L., Jacqueline, M. and Avery, M. (2016) Correlation and Regression with R, Regression diagnostics. Available at: https://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/MPH-Modules/BS/R/R5_Correlation-Regression/R5_Correlation-Regression7.html (Accessed: 12AD).
- [5] Avcontentteam (2023) Understanding assumptions of linear regression: Plots & Solutions.
- [6] Meloun, M., Militký, J., & Forina, M. (1992). Linear regression models. *Chemometrics for Analytical Chemistry, PC- Aided Regression, and Related Methods*, 2, 1-175.
- [7] Meloun, M., & Militký, J. (2011). 8-Nonlinear regression models. *statistical data analysis. A practical guide*, 667-762.
- [8] Siegel, A. F. (2016). *Practical business statistics*. Academic Press.
- [9] Rawlings, J. O., Pantula, S. G., & Dickey, D. A. (Eds.). (1998). *Applied regression analysis: a research tool*. New York, NY: Springer New York.
- [10] Forthofer, R. N., Lee, E. S., & Hernandez, M. (2006). *Biostatistics: a guide to design, analysis, and discovery*. Elsevier.
- [11] Frost, J. (2020). Check your residual plots to ensure trustworthy regression results! -Statistics by Jim. *Statistics by Jim Making statistics intuitive*.
- [12] Ngo, T. H. D., & La Puente, C. A. (2012, April). The steps to follow in a multiple regression analysis. In *Proceedings of the SAS Global Forum* (pp. 22-25).

Makale id= 54

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-4338-6049, 0000-0002-0114-8707, 0000-0002-2270-9032

| 148

Çeşitli Doğal Tohumların Korozyondan Koruma Performansını Göstermek İçin Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi Yaklaşımı**Dr. Goncagül Aksaray¹, Doç.Dr. Mehmet Erman Mert², Doç.Dr. Başak Doğru Mert²**¹Çukurova Üniversitesi²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

*Corresponding author: Goncagül Aksaray

Özet: Bu çalışmada, doğal tohumların (Çemen otu; Persea Americana; Üzüm; Yeşil Çay ve Ocimum Basilicium) korozyona karşı koruma performansı kuantum teorik analizi ile incelenmiştir. Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT), B3LYP/6-31G temel seviye seti ile gerçekleştirildi. Elde edilen verilere göre, moleküler yapılarıdaki nitrojen (N) ve oksijen (O) gibi elektronegatif atomların yanı sıra çoklu bağların varlığı, adsorpsiyon için aktif merkezler olarak hareket ederek korozyon reaksiyonlarını engeller. En yüksek dolu moleküler orbital (HOMO) enerji değerleri, tohumların ana bileşenleri (Çemen Otu, Persea Americana, Üzüm, Yeşil çay ve Ocimum Basilicium) için sırasıyla -6.34, -7.02, -6.71, -6.46 ve -6.59 eV idi. Buna bağlı olarak, en az boş moleküler orbital (LUMO) enerji değerleri -1.22, -3.06, -1.70, -1.65 ve -5.30 eV idi. Hesaplanan dipol moment değerleri sırasıyla 3.3096, 2.9809, 2.3579, 1.4749 ve 7.4193 Debye idi. Elde edilen verilere göre bu moleküller, metallerin inhibisyon sürecinin genel verimliliğine katkıda bulunarak, yük transfer süreçlerini ve aşındırıcı ortamla etkileşimleri etkiler. Sonuç olarak, bu tohumlar gelişmiş korozyon koruma yeteneği sergiler.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Dft, Yeşil İnhibitör

The Approach of Density Functional Theory for Demonstrate the Corrosion Protection Performance of Various Natural Seeds

Abstract: In this study the corrosion protection performance of the natural seeds (Fenugreek; Persea Americana; Grape; Green Tea and Ocimum Basilicium) was investigated via quantum theoretical analysis. The Density Functional Theory (DFT) performed with the B3LYP/6-31G basis level set. Based on the obtained data, the electronegative atoms like nitrogen (N) and oxygen (O) within the molecular structures, as well as the presence of multiple bonds, hinder corrosion reactions by acting as active centers for adsorption. The highest occupied molecular orbital (HOMO) energy values were -6.34, -7.02, -6.71, -6.46, and -6.59 eV for the main components of seeds (Fenugreek, Persea Americana, Grape, Green Tea, and Ocimum Basilicium), respectively. Correspondingly, the least unoccupied molecular orbital (LUMO) energy values were -1.22, -3.06, -1.70, -1.65, and -5.30 eV. The calculated dipole moment values were 3.3096, 2.9809, 2.3579, 1.4749, and 7.4193 Debye, respectively. According to the obtained data these molecules impacts charge transfer processes and interactions with corrosive medium, contributing to the overall efficiency of the inhibition process of metals. Consequently, these seeds exhibit enhanced corrosion protection ability.

Keywords: Corrosion, Dft, Green İnhibitor

1.INTRODUCTION

The corrosion is a complex electrochemical process in which materials degrades owing to chemical or electrochemical reactions with their surroundings. It is critical to understand the mechanisms and factors that contribute to corrosion in order to design efficient corrosion prevention and mitigation measures

(Belghiti et al, 2018:63; Damej et al, 2022: 132425). Theoretical computations (quantum calculations) are very important in corrosion research because they provide further insights into mechanisms that regulate corrosion occurrences. Researchers can analyze corrosion processes at the molecular and atomic levels using quantum computations (Obayes et al, 2017:29; Varma et al, 2021). Researchers offer data on the electronic structure, energy levels, and bonding properties of materials involved in corrosion reactions. This data assists researchers in understanding how materials interact with their surroundings and how various factors influence corrosion rates (Chen et al, 2021:110229; Saraswat et al, 2020:124881). By identifying molecules or compounds that can adsorb onto material surfaces and prevent or slow down corrosion reactions, theoretical calculations can guide the creation of efficient corrosion inhibitors. Researchers can improve the efficiency of these inhibitors by analyzing their binding energies and adsorption characteristics (Kumar et al, 2022:110623; Zhang et al, 2021). Quantum computations have numerous advantages in scientific study and engineering, as evidenced by their time efficiency, reduced chemical usage, and good environmental effects. These simulations speed up understanding of complex events by quickly providing insights into molecular interactions and material behavior, eliminating the need for resource-intensive laboratory tests. Notably, they accelerate discoveries in domains such as medicine research and materials science by enabling high-throughput screening and virtual testing. Furthermore, the ecologically conscious aspects of quantum calculations are seen through reduced chemical waste generation and support for green chemistry projects, ensuring long-term practices. "Precision" is at the center of its usefulness, providing atomic-level information and revealing reaction processes, transition states, and energy barriers (Obot et al, 2015:11; Roque et al, 2008:619). This precision serves as the foundation for the development of optimal processes and materials. While lower experimental costs and tailored research efforts result in cost savings, their versatility allows for the investigation of hypothetical scenarios, stimulating creativity. Quantum computations are also useful instructional tools, allowing for better understanding of complex ideas in physics and chemistry, as well as visual presentation of molecules. However, it is critical to recognize that quantum calculations supplement rather than replace experimental work, necessitating thorough confirmation against empirical data as well as an understanding of the role each approach plays in furthering knowledge. The concept of density functional theory (DFT), a fundamental aspect within quantum calculation techniques, holds significant importance. Therefore, in this study DFT was used for analysis of some natural seeds' ingredients.

2.MATERIALS AND METHODS

Quantum chemical calculations of the molecules were achieved with the Gaussian 03W. The geometric optimizations were done by using the B3LYP 6-31G basis set. We operated the program for single inhibitor molecules, the solvent effects were not considered. Energy calculations were also carried out at DFT/ B3LYP/6-31G. The energy of highest occupied molecular orbital (EHOMO), energy of the lowest unoccupied molecular orbital (ELUMO), energy gap (ΔE) between LUMO and HOMO and Mulliken charges on the backbone atoms for molecules were determined and obtained results were compared with the literature data. The optimized molecular structures and HOMO, LUMO surfaces were visualized using Gauss View.

$$A = -E_{\text{LUMO}} \quad (1)$$

$$I = -E_{\text{HOMO}} \quad (2)$$

$$\chi = \frac{I + A}{2} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{I - A}{2} \quad (4)$$

$$\delta = \frac{1}{\eta} \quad (5)$$

The absolute electronegativity (χ), absolute hardness (η) and absolute softness (δ) values were calculated (Obot et al., 2015:11);

3.RESULTS AND DISCUSSION

The green inhibitory substances, which have been investigated for their corrosion protection properties, are shown in Figure 1.

| 150



Figure 1. The shape of fenugreek (a); persea americana (b); grape (c); green tea (d) and ocimum basilicum (e).

In the theoretical part of this study, using a quantum theoretical method, the structural analysis of guaifenesin was conducted, and the results, including the highest occupied molecular orbital (E_{HOMO}), energy of the lowest unoccupied molecular orbital (E_{LUMO}), energy gap (ΔE) between LUMO and HOMO, and Mulliken charges on the backbone atoms, were depicted in Figure 2,3,4,5,6. The Mulliken electronic properties and frontier molecular distribution of inhibitor molecules have a significant impact in its inhibition performance. Especially the gap between HOMO and LUMO energy (ΔE) has a significant role in its stability.

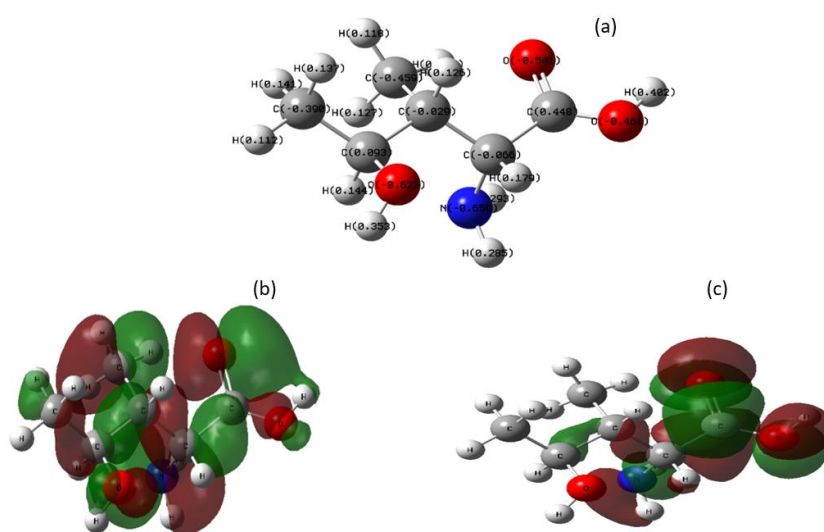


Figure 2. The Mulliken charges (a); HOMO (b) and LUMO (c) of active ingredient of Fenugreek

Figure 2 illustrated that large HOMO on the whole molecule and large LUMO on the carboxylic acid which improved molecules' capacity for adsorption. The obtained HOMO and LUMO values were -6.34 and -1.22 eV, respectively. The dipole moment was 3.3096 Debye. Due to dipole-dipole interactions between molecules and metal surfaces, the increased dipole moment may result in an increase in inhibition.

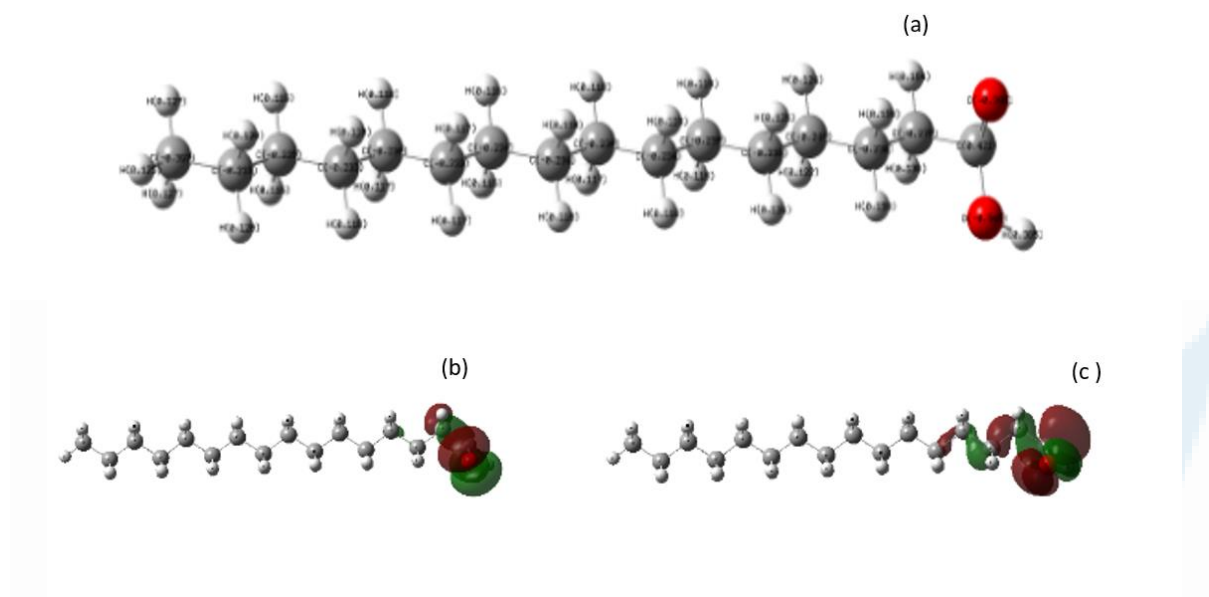


Figure 3. The Mulliken charges (a); HOMO (b) and LUMO (c) of palmitic acid in *Persea Americana*

Figure 3 illustrated that large HOMO and LUMO on the carboxylic group that improved molecules' capacity for adsorption. The obtained HOMO and LUMO values were -7.02 and -3.06 eV, respectively. The dipole moment was 2.9809 Debye. Due to dipole-dipole interactions between molecules and metal surfaces, the increased dipole moment may result in an increase in inhibition.

Figure 4 illustrated that large HOMO on the phenyl group and large LUMO on the alcohol group improved molecules' capacity for adsorption. The obtained HOMO and LUMO values were -6.71 and -1.70 eV, respectively. The dipole moment was 2.3579 Debye. Due to dipole-dipole interactions between molecules and metal surfaces, the increased dipole moment may result in an increase in inhibition

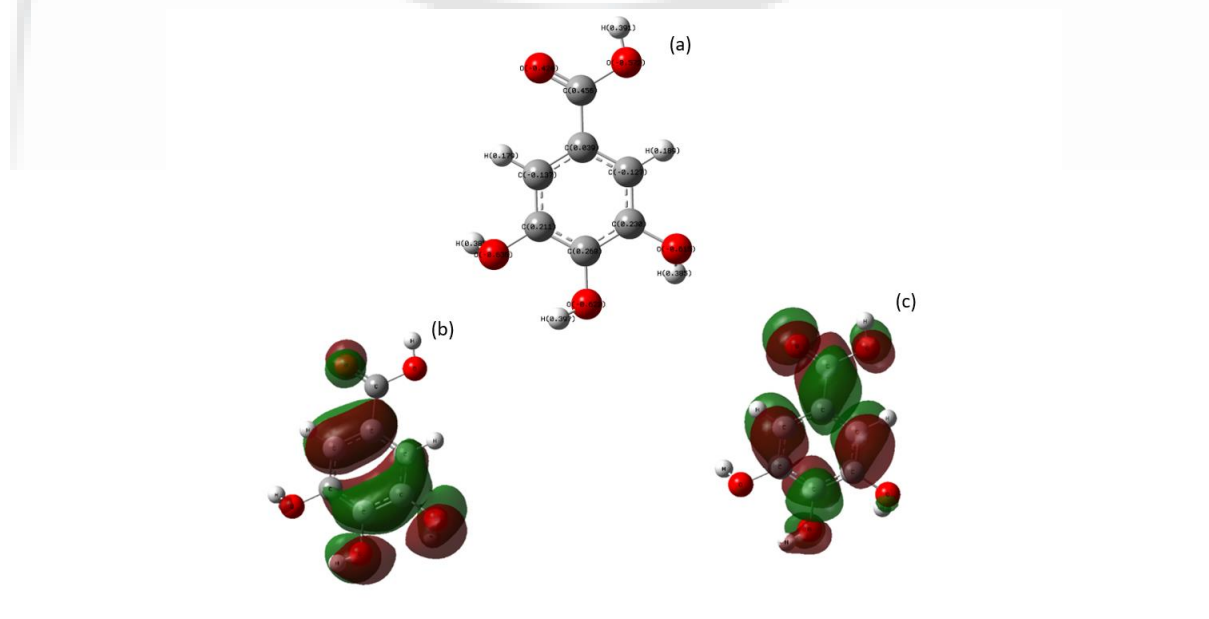


Figure 4. The Mulliken charges (a); HOMO (b) and LUMO (c) of gallic acid in grape.

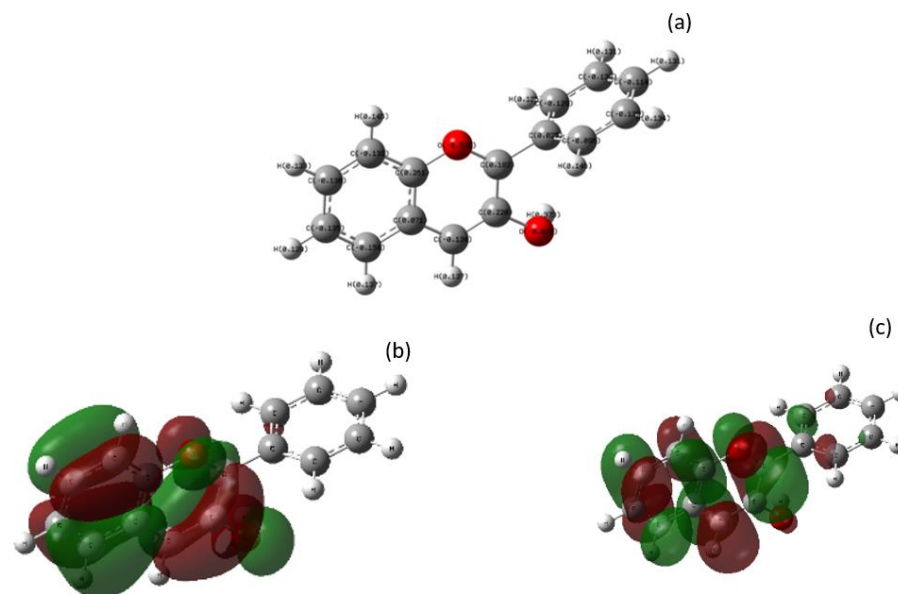


Figure 5. The Mulliken charges (a); HOMO (b) and LUMO (c) of flavan-3-ols in green tea

Figure 5 illustrated that large HOMO and LUMO on the biphenyl group which improved molecules' capacity for adsorption. The obtained HOMO and LUMO values were -6.46 and -1.65 eV, respectively. The dipole moment was 1.4749 Debye. Due to dipole-dipole interactions between molecules and metal surfaces, the increased dipole moment may result in an increase in inhibition.

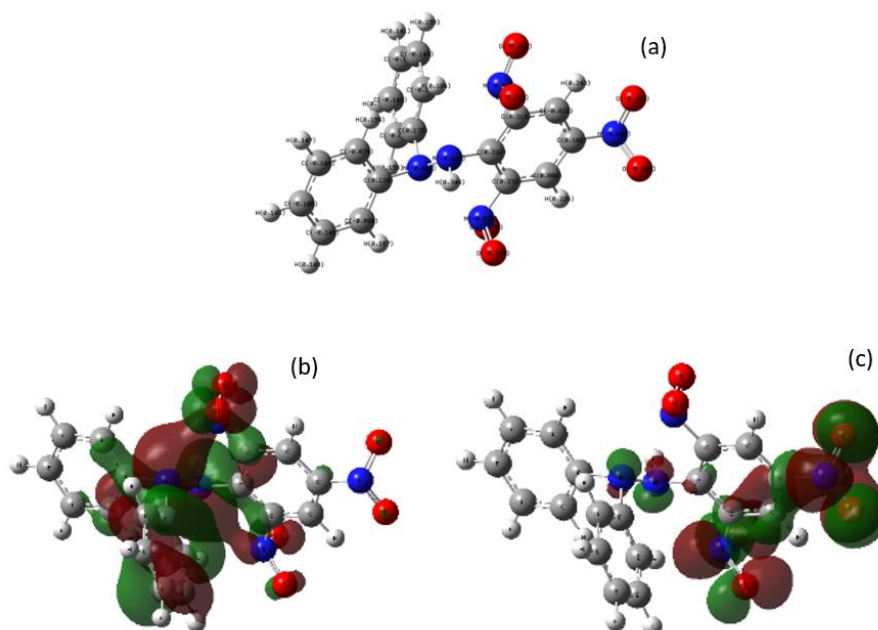


Figure 6. The Mulliken charges (a); HOMO (b) and LUMO (c) of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl in ocimum basilicum

Figure 6 illustrated that large HOMO and LUMO on the picrylhydrazyl group improved molecules' capacity for adsorption. The obtained HOMO and LUMO values were -6.59 and -5.30 eV, respectively.

The dipole moment was 7.4193 Debye. Due to dipole-dipole interactions between molecules and metal surfaces, the increased dipole moment may result in an increase in inhibition.

4.CONCLUSION

The corrosion protection effectiveness of natural seeds (fenugreek, persea americana, grape, green tea, and ocimum basilicum) was evaluated in this work using quantum theoretical analysis. The Gaussian 03 program package was operated and Density Functional Theory (DFT) was used with the B3LYP/6-31G basis level set. Findings were exhibited concerning molecules that underwent optimization. Based on the acquired data, it was observed that electronegative atoms located within the molecular structures such as nitrogen (N) and oxygen (O), as well as the presence of multiple bonds, serve to impede corrosion reactions by acting as active centers for adsorption. Due to the prevailing of physical molecular adsorption, inhibitor molecules displace by water molecules. Through the involvement of positively charged regions, charged species might amass within the initial inhibitor layer, potentially forming connections that arise primarily from the protonated segments of the molecule. This phenomenon attracts other inhibitor molecules through interactions involving negatively charged atoms, resulting in the formation of a layered accumulation on the surface. According to obtained results; the highest occupied molecular orbital (HOMO) energy values were -6.34; -7.02; -6.71; -6.46 and -6.59 eV for the main components of seeds (fenugreek; persea americana; grape; green tea and ocimum basilicum), respectively. The least unoccupied molecular orbital (LUMO) energy values were -1.22; -3.06; -1.70; -1.65 and -5.30, respectively. The other important parameter is the dipole moment of inhibitor molecules which influences their adsorption onto metal surfaces and the creation of structured protective barriers. Molecules having greater dipole moments interact with metal surfaces more strongly, increasing their ability to inhibit corrosive processes. The obtained values were 3.3096; 2.9809; 2.3579; 1.4749 and 7.4193 Debye for the main components of seeds, respectively. Consequently, the dipole moment influences charge transfer processes and interactions with corrosive chemicals, adding to the overall effectiveness of the inhibition process. Therefore these seeds have higher protection ability against corrosion.

REFERENCES

- [1] Belghiti, M. E., Echihi, S., Mahsoun, A., Karzazi, Y., Aboulmouhajir, A., Dafali, A., & Bahadur, I. (2018). Piperine derivatives as green corrosion inhibitors on iron surface; DFT, Monte Carlo dynamics study and complexation modes. *Journal of Molecular Liquids*, 261, 62-75.
- [2] Chen, X., Chen, Y., Cui, J., Li, Y., Liang, Y., & Cao, G. (2021). Molecular dynamics simulation and DFT calculation of "green" scale and corrosion inhibitor. *Computational Materials Science*, 188, 110229.
- [3] Damej, M., Hsissou, R., Berisha, A., Azgaou, K., Sadiku, M., Benmessaoud, M., & Labjar, N. (2022). New epoxy resin as a corrosion inhibitor for the protection of carbon steel C38 in 1M HCl. experimental and theoretical studies (DFT, MC, and MD). *Journal of Molecular Structure*, 1254, 132425.
- [4] Kumar, D., Jain, V., & Rai, B. (2022). Integrating experiments, DFT and characterization for comprehensive corrosion inhibition studies—a case for cinnamaldehyde as an excellent green inhibitor for steels in acidic media. *Corrosion Science*, 208, 110623.
- [5] Obayes, H. R., Al-Amiery, A. A., Alwan, G. H., Abdullah, T. A., Kadhum, A. A. H., & Mohamad, A. B. (2017). Sulphonamides as corrosion inhibitor: experimental and DFT studies. *Journal of Molecular Structure*, 1138, 27-34.
- [6] Obot, I. B., Macdonald, D. D., & Gasem, Z. M. (2015). Density functional theory (DFT) as a powerful tool for designing new organic corrosion inhibitors. Part 1: an overview. *Corrosion Science*, 99, 1-30.
- [7] Roque, J. M., Pandiyan, T., Cruz, J., & García-Ochoa, E. (2008). DFT and electrochemical studies of tris (benzimidazole-2-ylmethyl) amine as an efficient corrosion inhibitor for carbon steel surface. *Corrosion Science*, 50(3), 614-624.

- [8] Saraswat, V., Yadav, M., & Obot, I. B. (2020). Investigations on eco-friendly corrosion inhibitors for mild steel in acid environment: Electrochemical, DFT and Monte Carlo Simulation approach. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 599, 124881.
- [9] Verma, D. K., Kazi, M., Alqahtani, M. S., Syed, R., Berdimurodov, E., Kaya, S., ... & Haldhar, R. (2021). N-hydroxybenzothioamide derivatives as green and efficient corrosion inhibitors for mild steel: Experimental, DFT and MC simulation approach. *Journal of Molecular Structure*, 1241, 130648.
- [10] Zhang, W., Nie, B., Wang, M., Shi, S., Gong, L., Gong, W., ... & Wu, Y. C. (2021). Chemically modified resveratrol as green corrosion inhibitor for Q235 steel: Electrochemical, SEM, UV and DFT studies. *Journal of Molecular Liquids*, 343, 117672.



Makale id= 9

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-3570-0915

| 155

Doğal Taşınım ve Zorlanmış Taşınım Şartlarında Dairesel Formlu Soğutucuda Sıcaklık Dağılımının İncelenmesi**Dr. Öğretim Üyesi Birkut Güler¹**¹Giresun University

Özet: Çalışmada, zorlanmış taşınım ve doğal taşınım şartlarında soğutucu geometrisinin soğutma performansı üzerine üzerindeki etkileri ortaya koyulmuştur. Doğal taşınımın, sıcak havanın yükselip soğuk havanın alçaldığı bir akış olduğu ve bu doğal taşınım etkisiyle sıcaklık dağılımının değişebileceği bilinmektedir. Zorlanmış taşınımın da soğutmada önemli bir rol oynadığı çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Bir fan kullanılarak kanala hava üflendiğinde, hava akışı ve ortama geçen ısı transferi miktarı artmaktadır. Zorlanmış taşınımın etkili olduğu bölgelerde, yani fana daha yakın bölgelerde, soğutucuda daha düşük sıcaklıklar oluşmuştur. Çalışmada 120 mm çapında ve 35 mm yüksekliğinde dairesel bir soğutucu kullanılmıştır. Bu geometri pratikte daha fazla yüzey alanı ve ısı transferi sağlamak için kullanılabilir. Soğutucunun dairesel yapısının hava akışının etrafında dolaşmasına destek olduğu ve doğal taşınım durumunda daha etkili soğutma sağladığı söylenebilir. Çalışmada kapalı bir kanalda dairesel bir soğutucu kullanılarak doğal taşınım ve zorlanmış taşınım durumunda sonuçlar incelendiğinde, doğal taşınımın sıcaklık dağılımı üzerinde etkili olduğu, fan kullanılarak oluşturulan zorlanmış taşınım şartlarında hava akışının hızlandığı, soğutucu geometrisinin de soğutmada önemli bir parametre olduğu ortaya koyulmuştur. Bu çalışma sonucunda daha verimli bir ısı transferi sağlamak ve soğutucunun performansını artırmak için soğutucu geometrisinin ve kanal tasarımının optimize edilmesi gerektiğini görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taşınım, Zorlanmış Taşınım, Soğutma

Investigation of Temperature Distribution in Circular Form Heat Sink With Natural Convection and Forced Convection Conditions

Abstract In the study, the effects of the geometry of the cooler on the cooling performance under forced convection and natural convection conditions were revealed. It is known that natural convection is a flow in which hot air rises and cold air descends, and the temperature distribution may change with this natural convection effect. Studies have shown that forced convection also plays an important role in cooling. When air is blown into the duct using a fan, the air flow and the amount of heat transfer to the environment increase. In regions where forced convection is effective, that is, closer to the fan, lower temperatures have occurred in the cooler. A circular cooler with a diameter of 120 mm and a height of 35 mm was used in the study. This geometry can be used in practice to provide greater surface area and heat transfer. It can be said that the circular structure of the cooler helps the air flow to circulate around it and provides more effective cooling in case of natural convection. When the results were examined in the case of natural convection and forced convection using a circular cooler in a closed duct in the study, it was revealed that natural convection was effective on temperature distribution, air flow accelerated under forced convection conditions created by using a fan, and the geometry of the cooler was an important parameter in cooling. As a result of this study, it was seen that the geometry of the cooler and the duct design should be optimized in order to provide a more efficient heat transfer and increase the performance of the cooler.

Keywords: Natural Convection, Forced Convection, Cooling

1. INTRODUCTION

Heat conduction is the transfer of energy from one substance to another through interactions between molecules or atoms. There are generally three different methods of heat conduction: conduction,

convection and radiation. Heat conduction takes place due to temperature difference. Atoms in a hot region move faster, while atoms in a cold region move slower. These different velocities of the particles enable the transfer of heat energy through interaction. Heat conduction is at the core of many different applications and studies. Heat conduction is an important field of study in areas such as thermal insulation, effective use of heat sources, energy saving and design of air conditioning systems. Heat dissipation is an important factor in the design and continuity of electronic systems. Especially when high-powered and intensely working electronic equipment cannot remove the heat on it quickly, their performance decreases and their lifespan is shortened. Therefore, it is important to use an effective method of heat dissipation. As a general use in the design, the equipment made of high heat conduction material and connected by a plate generally uses a fin-shaped heat spreader to dissipate the heat. The fins transfer and dissipate heat away from the components, thereby lowering the temperature of the equipment. In this way, the equipment works more stably and has a long life. In the study, an analysis was made about the use of a circular heat sink to dissipate the heat generated from an electronic component using the ANSYS Fluent package program. The heat sink, made of copper, has a structure that will take the heat from the component under it and spread it to the environment. In this analysis, it is examined how the circular heat sink works, how it dissipates heat and how it lowers the temperature of the component, focusing on the heat conduction mechanism.

2. PROBLEM DESCRIPTION

A circular geometry pin fin heat sink made of aluminum material is used to dissipate the heat generated from an electronic component to which it is connected by a copper plate. A schematic representation of the problem is given in Figures 1 and 2.

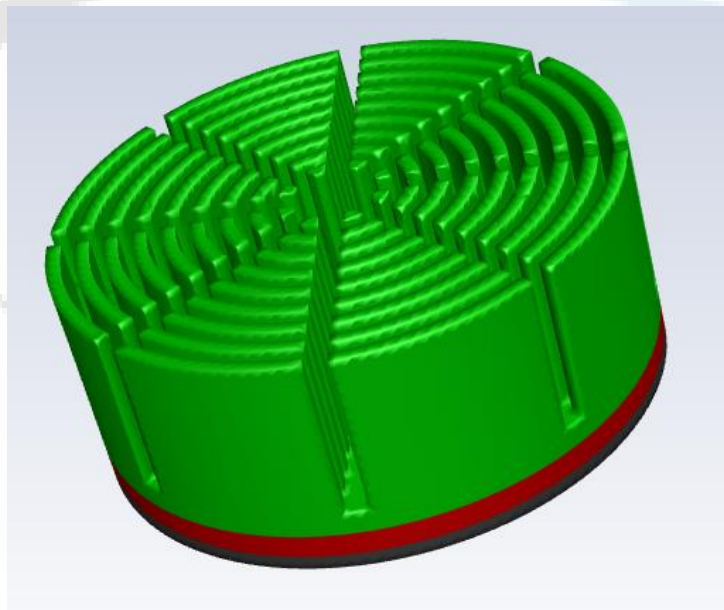


Figure 1. Schematic representation of the problem

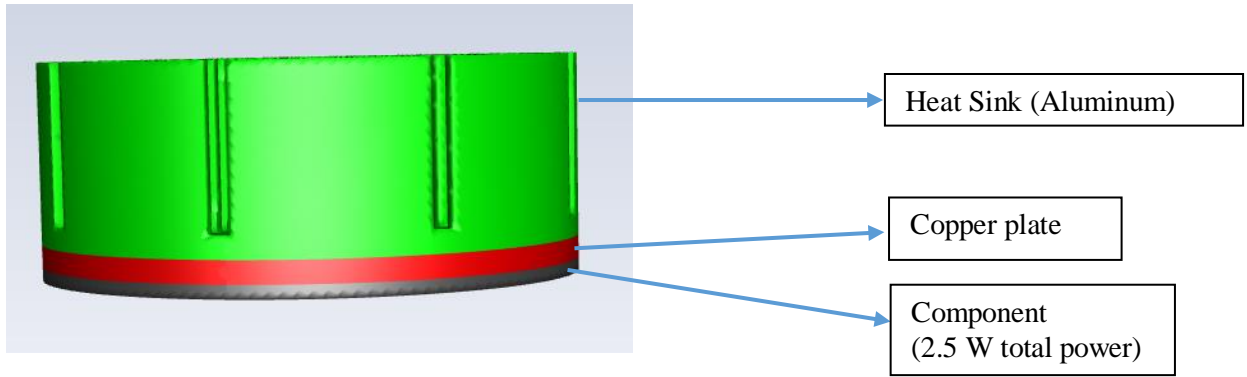


Figure 2. Representation of the elements in the problem

2.1. Mesh information for study

Table 1 and Figure 3 contain numerical data and schematic representation of the mesh structure.

Table 1. Mesh Information for study

Domain	Nodes	Elements
Copper	15676	3131
Component	8335	1742
Enclosure	777516	353786
Fin Heat Sink	108187	23386
All Domains	909714	382045

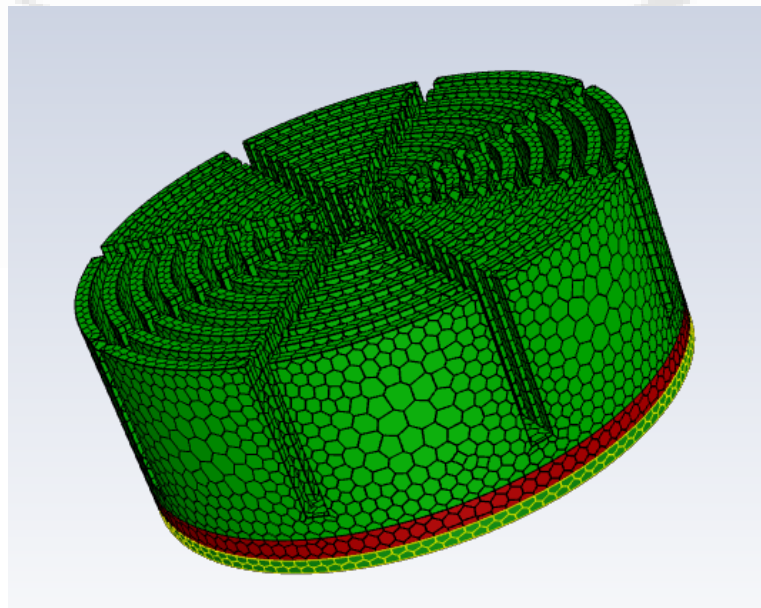


Figure 3. Mesh image for study

3. DIFFERENT CASES

3.1. Natural Convection Effects are Neglected.

In the first analysis, the effects of natural convection were neglected and it was assumed that there was no forced convection. Some important factors were not taken into account in the heat conduction analysis.

In the following heat conduction analysis, natural convection effects are neglected and it is assumed that there is no forced convection. This approach means that some important factors are not taken into account in the analysis. While natural convection includes heat transfer mechanisms such as convection and radiation, forced convection refers to the presence of a fluid and convection under the influence of the fluid. Analyzes without considering these factors may not provide complete accuracy in real-world conditions. Therefore, for a more accurate approach, models including factors such as natural convection and forced convection were also used.

Figure 4 shows the situation where the natural convection effect is neglected. In cases where natural convection is neglected, a stagnation may occur, especially in regions where the fluid heats up and its density decreases. This means that motion caused by temperature differences is not taken into account. As a result, heat from the hot zone cannot be effectively transferred to the cold zone, causing the middle of the hot zone to remain cold.

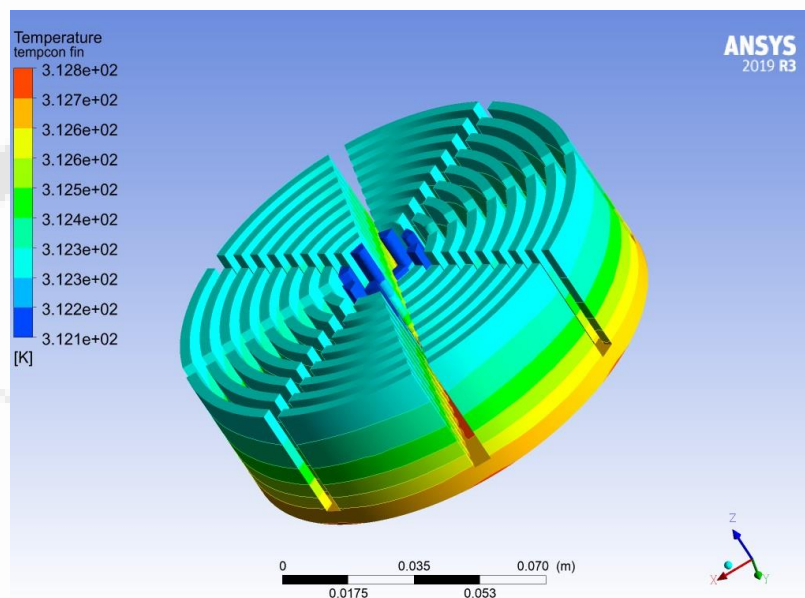


Figure 4. Temperature distribution when natural convection effects are neglected

3.2. Heat Conduction Under the Effect of Natural Convection in an Environment Open to the Atmosphere

Since a circular heat sink is used, the heat transfer varies depending on the surface area. The heat concentrated in the middle parts tends to accumulate because it has a smaller surface area. Therefore, the middle parts stay hot while the outer sides stay at a lower temperature due to the larger surface area. On the other hand, natural convection takes place by convection and heat transfer is provided by fluid movement. Since a circular heat sink is used, fluid movement is more intense in the middle parts. This condensation of the fluid causes the temperature in the middle parts to be higher. Figure 5 shows the heat distribution under the effect of natural convection.

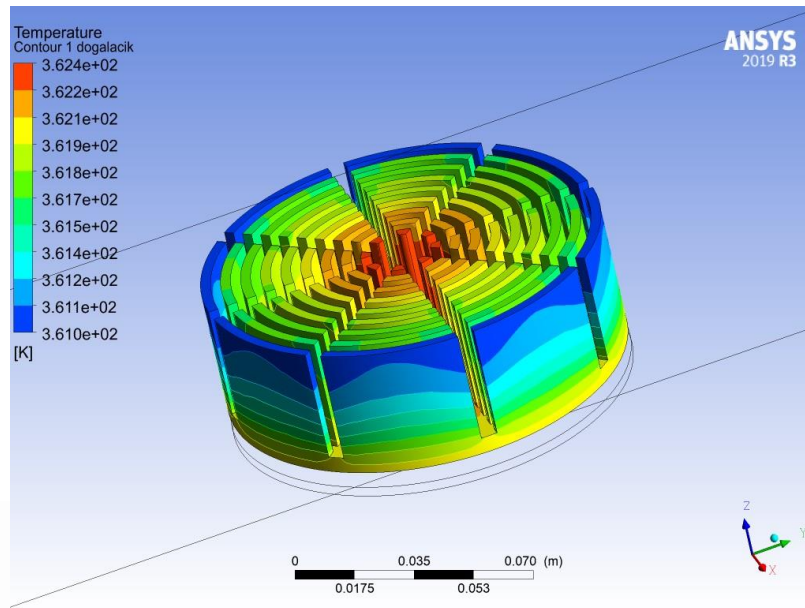


Figure 5. Temperature distribution under the effect of natural convection

3.3. Heat conduction under the effect of natural convection in open channel

In case the front and back sides of the channel are open, fluid movement can occur freely and the convection mechanism can be more effective. This can ensure that the heat transfer takes place more evenly between the front and the rear. Opening the front and back of the duct allows the air flow to be more free. This, in turn, can accelerate the movement of the fluid and increase heat transfer.

As a result, for a heat conduction problem in the duct, good heat transfer can be achieved if the duct dimensions are large enough when the analysis is made by taking into account the natural convection effects. Figure 6 shows the heat dissipation under the effect of natural convection in the open channel.

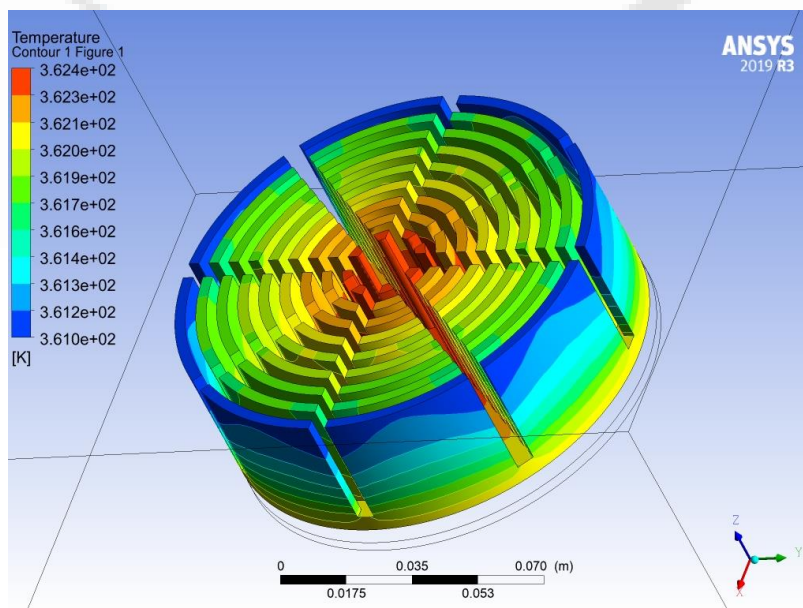


Figure 6. Temperature distribution under the effect of natural convection in open channel

3.4. Investigation of heat conduction under the effect of natural convection in a closed channel

In the analysis of the electronic component in a closed channel in the study; steady state has not occurred. The temperature is on a continuous increasing trend. For this reason, 350 iterations were performed and the results were obtained.

The closure of the duct affects the natural convection effect and causes the temperature of the heat sink to increase continuously. If the duct is closed, the air movement inside is restricted and a limited space is provided for convection. Natural convection is a process in which air molecules move due to temperature difference. In a closed channel, air molecules are trapped in a confined space and are prevented from moving freely. This leads to restriction of transport flow and reduced efficiency.

Although the heat sink, when placed over electronic equipment, tries to provide cooling by absorbing the heat and spreading it over a larger surface, in a closed duct, the restriction of natural convection and the limited air movement reduce the effect of the heat sink. As the temperature increases, the air molecules rise and cannot circulate around the heat sink and the convection speed becomes insufficient. In this case, the heat sink is prevented from adequately transferring the heat and the temperature continues to rise. Figure 7 shows the heat dissipation under the effect of natural convection in the closed channel.

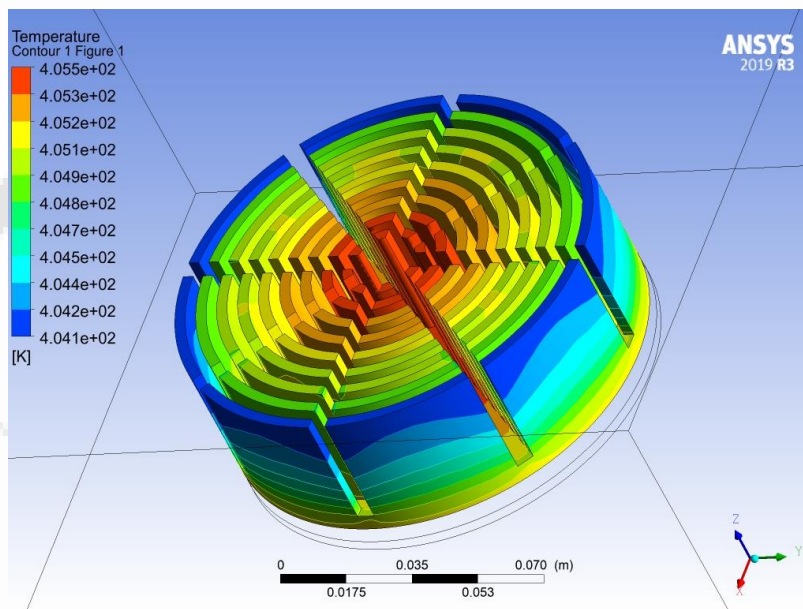


Figure 7. Temperature distribution under the effect of natural convection in closed channel

3.5. Heat conduction problem in an open top channel under forced convection conditions

The different behaviors of natural convection and forced convection cause the temperature distribution to be different in different regions. Natural convection is a form of flow in which a temperature difference causes a density difference. In this case, while the warm air rises, the cold air descends to the bottom. Therefore, the temperature may be higher in regions where natural convection is effective. Forced convection is a flow generated by an external source such as a fan. In this case, the air blown by the fan moves over the heat sink and speeds up the heat transfer. In areas where forced convection is effective, that is, in areas close to the fan, the temperature may be lower because the air blown by the fan is directed to these areas. Therefore, far from the fan, the temperature is higher in regions where the effect of forced convection is less. These differences indicate that they are related to different methods of air flow and heat transfer. In regions where natural convection is dominant, the temperature is higher as the warm air rises and the cold air descends. In regions where forced convection is effective, the temperature is lower since the air flow is more intense over the heat sink. Figure 8 shows the heat dissipation under the effect of natural convection in the open top channel.

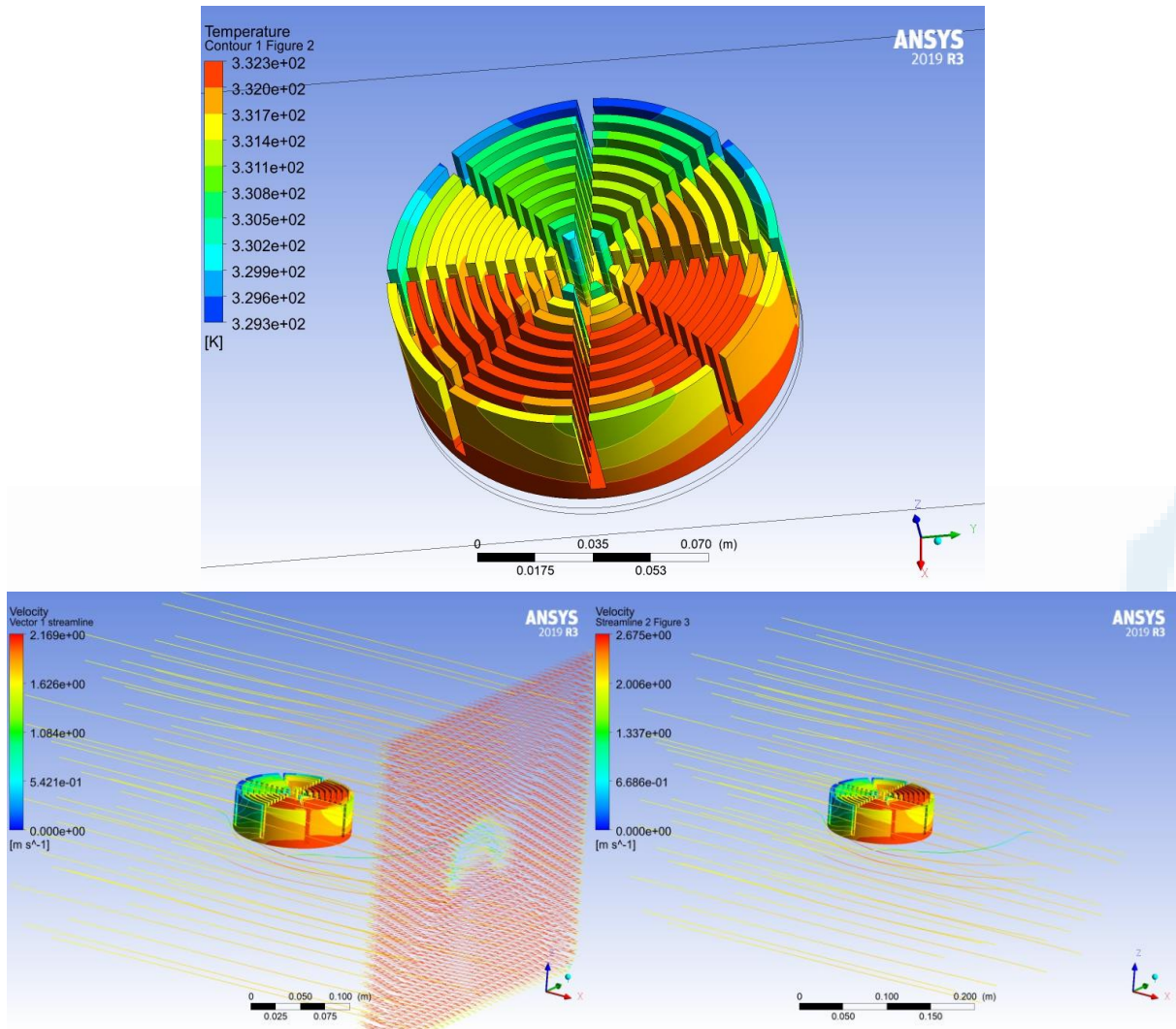


Figure 8. Heat dissipation, velocity vectors and stream line in open top channel

3.6. Heat conduction problem in covered duct under forced convection conditions

Covering the duct allows directing and limiting the airflow. This allows the airflow to circulate more effectively over the heat sink and increase heat transfer. Also, a closed top ensures less mixing of the airflow with the surrounding environment, resulting in more efficient cooling.

A closed top ensures that the airflow is more intense and focused. This helps keep the temperature on the heat sink lower. The heat sink is cooled more effectively by the air flow formed at the closed top and the temperature distribution is lower.

Also, a closed top can limit the return of airflow. This prevents hot air from accumulating on the heatsink and temperature rise. As a result, having the duct covered provides a more concentrated and directed airflow, allowing the heatsink to cool more effectively. This ensures that the temperature distribution is lower. Figure 9 shows the heat dissipation under the effect of forced convection in the closed channel.

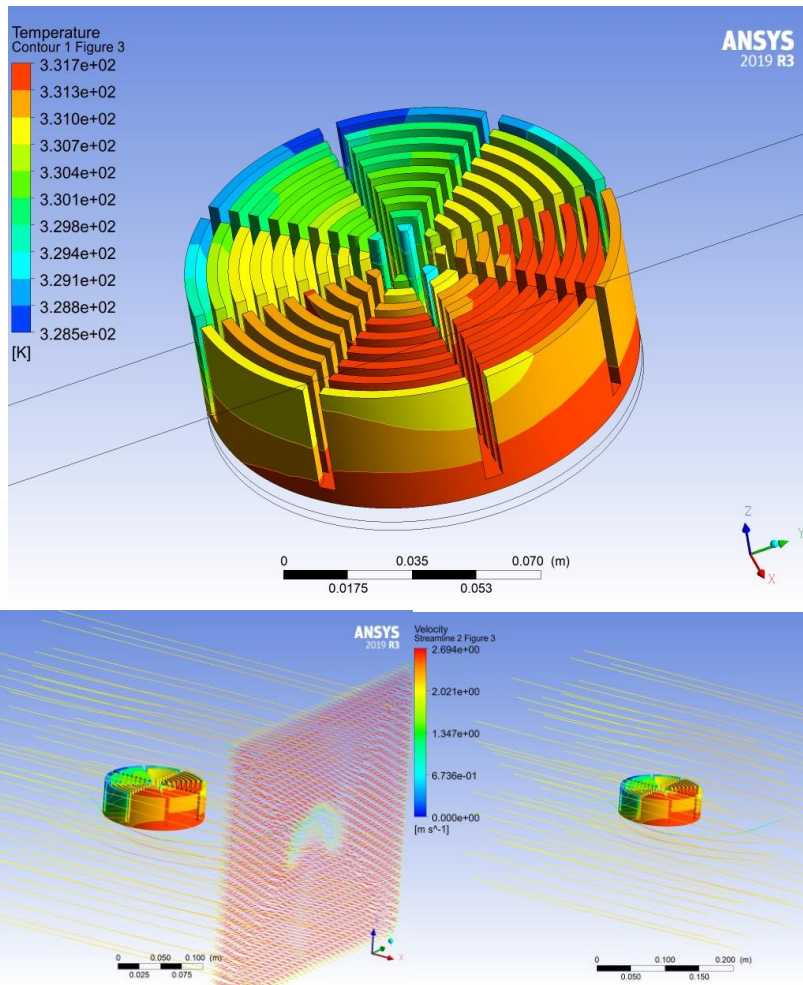


Figure 9. Heat dissipation, velocity vectors and stream line in open closed channel

4. RESULTS

Natural convection and forced convection are different methods of heat transfer and each has different effects. Natural convection is a form of flow in which a temperature difference causes a density difference. When the duct is open, warm air rises and cold air descends to the bottom. Therefore, the temperature may be higher in regions where natural convection is effective. Forced transport is a flow created by an external source. The airflow blown by a device such as a fan is an example of forced convection. The speed and intensity of the airflow affect the effectiveness of the heatsink. The air blown over the heat sink makes more contact with the surface of the heat sink, accelerating the heat transfer. Therefore, the temperature may be lower in regions where forced convection is effective. Heat sink geometry, airflow and duct design significantly affect cooling efficiency. More fin count, fin height and a large surface area provide more effective heat transfer. Also, having the duct closed allows the airflow to be limited and directed, resulting in a more effective cooling effect. As a result, as you observed in your analysis, the temperature may be lower in regions where forced convection is effective in a closed channel. This shows that a better cooling effect can be achieved by optimizing the geometry of the heat sink and the duct design. It is important to consider factors such as the number of fins, height and surface area to increase the effectiveness of the heat sink. Also, directing and limiting the airflow can affect the temperature distribution.

5. REFERENCES

- [1] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2006). Fundamentals of heat and mass transfer. John Wiley & Sons.

- [2] Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Education.
- [3] Kreith, F., & Bohn, M. S. (2017). Principles of heat transfer. Cengage Learning.
- [4] Taler, D., & Fabbri, L. (Eds.). (2017). Heat Transfer Enhancement with Nanofluids. CRC Press.
- [5] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons.



Makale id= 12

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0006-7001-9120

| 164

Kiraz Yapraklarında Hastalık Tespitinde Transfer Öğrenme Yöntemlerinin Kıyaslanması**Araştırmacı Hazel Bozcu¹, Dr. Öğretim Üyesi Burakhan Çubukçu¹**¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Corresponding author: Hazel Bozcu

Özet: Bu çalışma, veri setindeki hastalıklı ve sağlıklı yaprakların tespiti için öğrenme temelli transfer yaklaşımlarına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bitki hastalıklarının zamanında ve doğru tespiti, tarımsal üretimdeki en önemli endişelerden biridir. Kiraz yaprak hastalıkları ürün kalitesini doğrudan etkiler. Hastalıkların erken teşhisi ve tedavisi ve etkili kontrol önlemleri verimliliği artırır. Yaprakları etkileyen hastalıklar aynı zamanda dalları ve meyveleri de etkiler. Hastalıklı yapraklara sahip bitkiler daha yavaş büyür ve bu da daha küçük ve daha düşük kaliteli meyvelerle sonuçlanır. Kiraz yetiştiriciliği Türkiye'de önemli bir tarımsal faaliyettir. Kiraz yaprağı hastalıklarının tespiti için derin öğrenme teknikleri kullanılarak tarım ekonomisine katkı sağlanabilir. Çiftçiler, hastalık yönetiminde kullanılan kimyasalların kullanımını azaltabilir, böylece kimyasalların doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirebilir. Bu çalışmadaki deneylerde PlantVillage veri setinden kiraz yaprağı örnekleri kullanılmıştır. AlexNet, VGG-16, MobileNet-V2, ResNet-50 ve Inception-V3 dahil olmak üzere transfer öğrenme teknikleri doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1 puanı gibi performans ölçütleri kullanılarak karşılaştırıldı. MobileNet-V2, %99 doğruluk oranı, %18 kayıp oranı, %99 kesinlik oranı ve %99 geri çağırma oranı ile başarı oranı en yüksek model olarak belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Cnn, Derin Öğrenme, Kiraz Yaprağı, Transfer Öğrenme

A Comparison of Transfer Learning Methods In Disease Detection On Cherry Leaves

Abstract: This study aims to contribute to transfer learning-based approaches for detecting diseased and healthy leaves in the dataset. Timely and accurate detection of plant diseases is one of the key concerns in agricultural production. Cherry leaf diseases directly impact the quality of the product. Early diagnosis and treatment of diseases and effective control measures enhance productivity. Diseases affecting the leaves also have implications for the branches and fruits. Plants with diseased leaves exhibit slower growth, resulting in smaller and lower-quality fruits. Cherry cultivation is an important agricultural activity in Turkey. By utilizing deep learning techniques to detect cherry leaf diseases, contributions can be made to the agricultural economy. Farmers can reduce the use of chemicals used in disease management, thereby minimizing the adverse effects of chemicals on the natural environment. The experiments in this study utilized cherry leaf samples from the PlantVillage dataset. Transfer learning techniques, including AlexNet, VGG-16, MobileNet-V2, ResNet-50, and Inception-V3, were compared using performance metrics such as accuracy, precision, recall, and F1 score. MobileNet-V2 was identified as the model with the highest success rate, achieving an accuracy rate of 99%, a loss rate of 18%, a precision rate of 99%, and a recall rate of 99%.

Keywords: Cnn, Deep Learning, Cherry Leaf, Transfer Learning.

1.GİRİŞ

Gıda, ilaç, hammadde gibi ihtiyaçlarımızı sağlayan sektörlerden biri olan tarım, nüfusumuza iş olanakları sağlayan önemli alanlardandır. Bitki hastalıkları tarımsal alanda çiftçilerimizin pek çok

zorluklarla karşılaşmasına neden olmaktadır. Bu hastalıkların artıp diğer bitkileri sarmadan önce tespit edilip hızlı aksiyon almak önem arz etmektedir. Hastalıkların önlenmesi için çiftçilerimiz genellikle kimyasal ürünleri ilaçlama amacıyla kullanmaktadır. Bu hem doğal çevreye zarar vermekte hem de ekonomik olarak karşılanması zor bir süreçtir. Sosyo-ekonomik açıdan birçok etki yaratan kimyasal ilaçlama yöntemi, bitki zararlılarına işlem yaparak verim artışını sağlayabilir. Ancak bunun yanı sıra çevre ve insan sağlığı açısından da zararlı etkileri olabilmektedir. Kimyasal ilaçlama toprak ve su ekosistemine de zarar verebilir. İlaçlama işlemlerini yapan çiftçilerimize de gerekli tedbirleri almazlarsa olumsuz etkilerle karşılaşabilirler.

Bu nedenlerle derin öğrenme tabanlı çalışmaların tarım alanında genişlemesi önemli bir konudur. Sosyo-ekonomik olarak kimyasal ilaç kullanımını azaltmak, hastalık tespitlerini otomatikleştirip alternatif tarım yöntemlerini kullanmak önemlidir. Evrişimli sinir ağları (CNN) kimyasal kullanımına göre daha az zararlı alternatifler sunabilir. Bunun yanı sıra bitki hastalıklarının erken teşhisi için yapılan çalışmalar sayesinde bitki hastalıklarıyla doğru mücadele yöntemleri bulunabilir. Bitkilerin büyüme ve gelişimi takip edilerek verim artırıcı çalışmalar yapılabilir (Bharman vd., 2022).

Çıplak gözle hastalık tespiti emek-yoğun işlerdir. CNN modelleri kullanılarak sınıflandırma, görüntü analizi gibi işlemler hem zamandan tasarruf hem de birçok olası senaryo örneği sunması açısından önerilen yöntemler arasındadır. Daha sağlıklı ürünler elde edebilmek için yapılan çalışmalar vardır. Bu çalışmalar, bitkini hasta olup olmadığını, eğer hasta ise hastalığın türünü tespit edebilir (Chellapandi vd., 2021). Literatürde bitkilerdeki hastalıkları derin öğrenme tabanlı çalışmalarla tespit eden çalışmalar bulunmaktadır.

Ekin yaprak hastalıklarının tespit edilmesi amacıyla literatürde transfer öğrenme tekniği kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Paymode ve diğerleri yaptığı çalışmada VGG-16 modelinin son katmanları değiştirilerek önerilen modelde bitki hastalık tespiti amacıyla eğitilen bir sınıflandırıcı sunulmuştur. Çalışmada veri artırma ve görüntü ön işleme teknikleri VGG16 modeline uygulanmıştır. Sonuç olarak VGG16 modeli etkili bir yaprak hastalık tespiti yaklaşımı olarak sunulmuş. Yapılan testler modelin yüksek doğruluk oranı elde ettiğini göstermektedir (Paymode ve Malode, 2022).

Domates yaprakları üzerinde yapılan başka bir çalışmada 9 farklı yaprak hastalık türü ile sağlıklı yaprakların karşılaştırılması yapılmış. İlgili bu çalışmada transfer öğrenme modelleri kullanılarak performans ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir (Ecemiş ve İlhan, 2022).

Derin topluluk sinir ağları (DENN) kullanılarak yapılan çalışmada otomatik bir bitki hastalık tespiti önerilmiştir. Transfer aktarım tekniğinden yararlanılmıştır. Fazla uydurmanın üstesinden gelmek amacıyla veri artırma, veri büyütme, döndürme, ölçeklendirme fazla uydurmanın üstesinden gelmek amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen DENN modelinin performansının, çalışmada kullanılan önceden eğitilmiş modellerden daha iyi sonuç verdiği söz edilmiştir (Vallabhajosyula vd., 2022). Yapılan çalışmalarda etkin olarak AlexNet, VGG-16, MobileNet-V2, Inception-V3, Resnet-50 modelleri eğitilmiş. Bu modellere veri artırma, veri seti ön işleme, renk eşikleme teknikleri uygulandığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada kiraz yaprak hastalıklarının transfer öğrenme yöntemleri ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan AlexNet, VGG-16, MobileNet-V2, Inception-V3, Resnet-50 gibi birbirinden farklı modeller üzerinde veri seti deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar üzerinde performans metriklerine göre karşılaştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hastalıklı yapraklar %99'a varan oranda doğrulukla tespit edilebilmiştir. Bitki sağlığı açısından ve çiftçinin ekonomik açıdan da tasarruf edebilmesi için bu çalışmada çeşitli transfer aktarım yöntemleri performans ölçümleri sunulmuştur.

2.METHODOLOJİ

Bu bölümde kullanılan transfer öğrenme yöntemleri ve veri seti detayları verilmiştir. Sağlıklı ve hasta yaprakları içeren PlantVillage veri seti Kaggle den indirilmiştir. Eğitim sınıfında 1826 sağlıklı yaprak ve 1683 hasta yaprak bulunurken, doğrulama sınıfında ise 456 sağlıklı yaprak ve 421 hasta yaprak içeren toplamda 877 adet yaprak görüntüsü kullanılmıştır. İlk adımda veri ön işleme yapılmıştır. Görüntüler, OpenCV Kütüphanesi kullanılarak okunmuştur ve boyutları 224x224 piksele yeniden boyutlandırılmıştır. Görüntülerin piksel değerleri normalize edildi (0-1 aralığına ölçeklendirildi) ve veri seti eğitim, doğrulama ve test olarak ayrılmıştır. AlexNet (Krizhevsky vd., 2012), MobileNetV2

(Sandler vd., 2018), InceptionV3 (Szegedy vd., 2014), VGG16 (Simonyan ve Zisserman, 2015), Resnet-50 (He vd., 2016) transfer öğrenme mimarileri temel alınarak yeni modeller oluşturuldu. Modellerde evrişimli, tam bağlantı katmanları kullanılmıştır. Dropout(bırakma) ve Batch Normalization (topak normalleştirme) düzleştirme teknikleri kullanılmıştır. Modellerde bazı katmanlar üzerinde ekleme çıkarma işlemleri yapılarak modelin karmaşıklık ve derinlik tanımları yapılandırılmaya çalışılmıştır. Modelin derinlik ve karmaşıklık seviyesi, Conv2D, MaxPooling2D, Dense ve Dropout gibi katmanların yapılandırılmasıyla belirlenir. Bu katmanlar, modelin mimarisini ve karmaşıklığını tanımlar. Örneğin, daha fazla Conv2D ve MaxPooling2D katmanları eklemek, modelin derinliğini ve karmaşıklığını artırırken, Dropout ve BatchNormalization gibi düzleştirme katmanlarının eklenmesi, aşırı uydurma riskini azaltabilir. Eğitim veri seti üzerinde veri artırma tekniği uygulanmıştır. Görüntülere rastgele dönüşüm, kaydırma, parlaklık değişimi, kesme, yakınlaştırma ve yatay düzlemde çevirme gibi işlemler uygulanmıştır. Bu sayede modelin genelleme yeteneğini arttırmak, aşırı uydurma riskini azaltmak amaçlanmıştır.

Model eğitim veri seti üzerinde eğitilmiştir. Eğitilen model doğrulama veri seti üzerinde değerlendirilmiştir. Sınıflandırma algoritmalarının performans değerlendirmesi yapılırken yaygın olarak kullanılan metrikler; hassasiyet(precision), duyarlılık(recall), F1 puanı (F1score) 'dur (Selvi, 2019). Bu çalışmada da Eşitlik 1-3 de verilen modelin doğruluk, F1 puanı, hassasiyet, başarı metrikleri üzerinde performans değerlendirmesi sunulmuştur. Eşitliklerde TP: Doğru pozitif (True Positive), doğru şekilde pozitif olarak tahmin edilen örneklerin sayısını, FP: Yanlış pozitif (False Positive), yanlış şekilde pozitif olarak tahmin edilen örneklerin sayısı, FN: Yanlış negatif (False Negative), yanlış şekilde negatif olarak tahmin edilen örneklerin sayısını ifade etmektedir.

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad (2)$$

$$\text{F1 Score} = 2 \times (\text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall}) \quad (3)$$

Çok sınıflı sınıflandırma işlemlerinde, performans metriklerinin hesaplanmasında kullanılan "average" parametresi (Sokolova ve Lapalme, 2009), metriklerin sınıf bazında mı yoksa toplu olarak mı hesaplanacağını belirler. Average parametresine değer verildiğinde, bu formüller ilgili sınıf veya tüm sınıflar üzerinde hesaplanır. Örneğin: "binary" average, iki sınıflı bir problemde pozitif sınıf üzerinde hesaplanır. "micro" average, tüm sınıfların toplam TP, FP ve FN değerlerine dayanarak hesaplanır."macro" average, her sınıfın ayrı ayrı hassasiyet, duyarlılık ve F1 puanı hesaplayarak ortalamasını alır."weighted" average, sınıfların örnek sayılarına göre ağırlıklı bir ortalama hesaplar."samples" average, her örneğin ayrı ayrı sınıflandırıldığı kabul edilerek hesaplanır (Sokolova ve Lapalme, 2009). Bu çalışmada sınıflandırma problemlerine bakılırken average parametresine 3 farklı değer verilerek kıyaslanmıştır.

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada PlantVillage (Mohanty, vd., 2016) veri seti kullanılmıştır. Kiraz yaprakları üzerinde hastalık tespiti 2 sınıf üzerinde değerlendirildi. PlantVillage veri seti, külleme (Sengar vd., 2018). hastalığına sahip ve sağlıklı kiraz yapraklarından oluşuyor. Eğitim sınıfı 1826 sağlıklı,1683 hasta yaprak olmak üzere toplam 3509 yaprak görüntüsü içermektedir. Doğrulama sınıfında 456 sağlıklı, 421 hasta yaprak olmak üzere toplamda 877 kiraz yaprak görüntüsü bulunmaktadır.

2.2. AlexNet

2012 yılında ImageNet ILSVRC yarışmasında birinci olan bir evrişimli sinir ağı modelidir. Modelde 5 evrişim katmanı 3 tam bağlantı katmanı kullanılmıştır. Bunların yanı sıra bırakma (dropout), havuzlama katmanları kullanılırken, aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU kullanılmıştır (Krizhevsky vd.,2012).

Bu çalışmada önerilen sistemde kullanılan modelin çıktısı 2 sınıfın hasta ya da sağlıklı olma olasılığını tahmin etmeye çalışmaktadır. İlk katmanda 11x11 boyutlu görüntünün 96 tane filtre kullanılarak işlenmesinin ardından girdinin boyutunu küçültmek için 3x3 boyutunda olan havuzlama katmanına geçilmektedir. İkinci katman 5x5 boyutunda 256 adet filtre kullanır. Yeniden boyutlandırmak için bir max-pooling katmanı daha kullanır. Birkaç evrişim ve düzleştirme (flatten) katmanı sonra, son katmanda 2 nörona sahiptir ve softmax aktivasyonu ile iki sınıfın olasılıklarını hesaplar.

2.3.VGG-16

VGG-16 mimarisi 16 katmandan oluşan her katmanında 3x3 boyutlu filtreler kullanılan bir evrişimli sinir ağı mimarisidir. ImageNet kümesi üzerinde görüntü sınıflandırma yarışmasında (ILSVRC-2014) başarılı sonuçlar elde etmiştir. Evrişim katmanları, ReLU aktivasyon fonksiyonu, 2x2 boyutlu havuzlama katmanı, tam bağlantı katmanları kullanılmaktadır. Literatürde transfer öğrenme için oldukça yaygın kullanılmaktadır (Simonyan ve Zisserman, 2015).

Çeşitli sınıflandırma problemlerinde VGG16 mimarisi TensorFlow Keras kütüphanesinden kullanılabilir. Bu çalışmada önceden eğitilmiş VGG16 modeli “weights” parametresi “imagenet” olarak yüklenir. Girdi katmanı, flatten katmanı, tam bağlantı katmanları eklenir. 2 nöronlu softmax aktivasyonu içeren çıkış katmanı tanımlanır. Model derlenir. Eğitim sonrasında kayıp fonksiyonu ve doğruluk metriklerine göre kıyaslamalar yapılır.

2.4.MobileNet-V2

MobileNet-V1 den sonra geliştirilen MobileNet-V2, V1’den daha yüksek doğruluk oranı hedeflemiştir. Dar kıvrımlı evrişim bloklarına sahip olması temel özelliklerindedir. Parametre sayısını azaltan ve çıktı boyutunu azaltan bu bloklar modelin daha hafif bir hale gelmesini sağlar. Dropout(bırakma) ve çıkış aktivasyon tekniklerini kullanır. Bu teknikler aşırı uyumu(overfitting) önlemeye çalışır. Çok sayıda katmandan oluşan Mobilenet-v2 çeşitli tiplerde evrişim katmanları, aktivasyon katmanları, dar boğaz katmanları, normalizasyon ve yoğun katmanlardan oluşur (Sandler vd., 2018).

2.5.Inception-V3

Büyük veri setlerinde yüksek doğruluk oranı elde edebilen bir CNN modelidir. Önceki inception modellerine kıyasla daha az hata yaptığı gözlemlenmiştir. Birçok katmandan oluşan bu mimari evrişim katmanları, havuzlama, tam bağlantı katmanları, dropout, normalizasyon ve aktivasyon katmanları içerir. Birden fazla inception modülünü paralel olarak kullanır (Szegedy vd., 2014).

2.6.ResNet-50

Microsoft tarafından geliştirilmiş olan bu model 50 katmandan meydana gelir. Sahip olduğu özgün ağları sayesinde derinliği bir yandan artırırken, aşırı öğrenmeyi azaltarak iyi sonuçlar elde etmeyi hedefler. Bu CNN modeli birbiriyle bağlantılı farklı tiplerde evrişim katmanlarından oluşur. Boyutları büyük olan veriler üzerinde doğruluk oranı yüksek değerler elde edilebilir. Residual Connection adı verilen kalan bağlantı tekniğiyle özgündür. Bu bağlantılar modeli derinleştirerek gradientlerin akmasını kolaylaştırır. Öğrenme verimliliğini artırır[4].Resnet-50 Imagenet veri setinde eğitilmiştir. Görüntü sınıflandırma, yüz tanıma, özellik çıkartma, nesne tespiti gibi birçok farklı uygulamada kullanılabilir. Transfer öğrenme tekniği ile önceden eğitilmiş ağırlıkları kullanılarak tahminlerde bulunulabilir.

3.TRANSFER ÖĞRENME YÖNTEMLERİ İLE KIRAZ YAPRAKLARINDA HASTALIK TESPİTİ

3.1. Veri arttırma (Data augmentation)

Bu çalışmada transfer öğrenme modeli ile birleştirilmiş veri artırma tekniğine dayalı bir sinir ağı kullanılmıştır. Çalışmadaki algoritma veri arttırma yöntemi ile modelin genelleştirme yeteneğini iyileştirmek üzere tasarlanmıştır. Modelin genelleştirilmesindeki amaç, eğitim verilerine geniş bir perspektif kazandırarak farklı örnekleri doğru şekilde tanımayı öğrenmesini sağlamaktır. Transfer öğrenmeye dayalı bir evrişimli sinir ağı modeli oluşturularak modelin eğitiminde kullanılır. Veri setindeki örnek çeşitliliğini artırma işlemi sayesinde model farklı görüntüleri tanıyarak daha genelleştirilmiş bir şekilde öğrenir ve aşırı uyumu(overfitting) önleyebilir. Veri arttırma sayesinde, eğitim verilerine rastgele dönüşümler, kaydırmalar, rastgele parlaklıklar verebilir (Pandian vs., 2022).

Bu çalışmada Tensorflow keras kütüphanesinden ImageDataGenerator sınıfı kullanılarak verilere rastgele döndürme açısı, rastgele yatay kayma, rastgele dikey kayma, rastgele parlaklık, rastgele kesme, rasgele yakınlaştırma ve veri normalizasyon işlemleri uygulanmıştır. Görüntülerin her bir piksel değeri 0-255 aralığından 0-1 aralığına ölçeklendirilip verinin daha kolay işlenebilmesi için normalize edilmiştir. Kullanılan parametreler rotation_range (dönüş aralığı), width_shift_range (genişlik kaydırma aralığı), height_shift_range (yükseklik kaydırma aralığı), brightness_range (parlaklık aralığı),

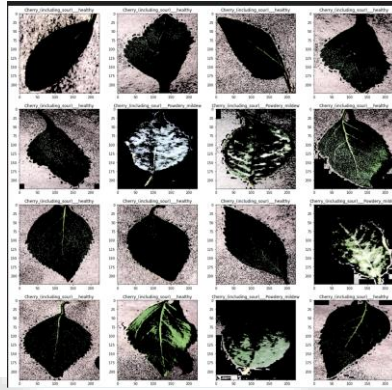
shear_range (eğim aralığı), zoom_range (yakınlaştırma aralığı), horizontal_flip (yatay çevirme), rescale (ölçeklendirme) = 1/255.0'dir. Çalışmadaki görüntüleri 25 dereceye kadar döndürme, genişlik ve yükseklik açısından %20 oranında kaydırma, parlaklık aralığını [0.4,1.5] aralığında değiştirme, yana doğru %20 oranında kesme, %20 oranında yakınlaştırma, yatay olarak yansıtma ve ölçeklendirme gibi değerler verilmiştir.

3.2. Görüntü Ön İşleme

Görüntü ön işleme, görüntü segmentasyonu, nesne tanıma ve daha birçok alan da kullanılan yaygın bir işlemdir. Külleme hastalığına sahip yaprak yüzeylerindeki belirli alanlar açık renklidir. Bu çalışmada görüntü ön işleme yöntemlerinden olan renk eşikleme kullanılarak açık renkli alanlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Görüntü ön işleme tekniklerinden olan histogram eşikleme ile hastalıklı yüzeylerin aydınlık olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada birden fazla ön işleme adımı uygulanarak deneyler yapılmıştır.

3.3. Renk eşikleme

Renk eşikleme görüntü ön işleme yöntemlerindedir. Öncelikle görüntü HSV(ton, doygunluk ve değer) formatına dönüştürülür. Ardından belirlenmiş alt üst sınır değerleri arasında kalan piksellerin olduğu maske oluşturulur. Bu maske eşikleme sonrasında ayrılacak pikselleri belirler. Bu maske ile orijinal görüntü üzerinde bir başka maskeleme işlemi yapılır. Belirlenen piksellerin kaldığı görüntü elde edilir. Bu işlem belirlediğimiz aralıktaki renklerin vurgulanmasını sağlar. Bu çalışmada önerilen sistemde belirlenen aralıktaki pikselleri 1(beyaz), diğer pikselleri 0 (siyah) yaparak renkler vurgulanmıştır. HSV renk uzayı kullanılarak ölçülen yaprakların hastalıklı olan yaprakların vurgulandığı gözlemlenmiştir (Patil ve Bodhe, 2011). Külleme hastalığına sahip yapraklar. Şekil 1. 'de görüldüğü gibi açık renklidir.



Şekil 1. Renk eşikleme uygulanmış eğitim sınıfı örnek görüntüleri

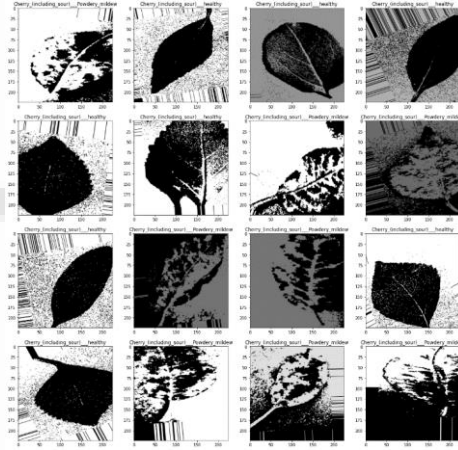
3.4. Histogram Eşikleme Ve Gri Seviye Segmentasyonu

Tarımsal sektörde yaprak hastalık tespiti önemli uygulama alanıdır. Histogram eşikleme gibi yapay zeka teknikleri yaprak hastalıklarının tespitinde kullanılmaktadır. Bu sayede önceden belirlenmiş özellikleri analiz ederek, sağlıklı yaprakları hastalıklı yapraklardan ayırt edebilir. Histogram eşikleme görselin histogramını analiz eder ve belirlenmiş eşik değerinin altında ve üstünde kalan pikselleri ayırır. Bu işlem sonrasında örneklerin aydınlık karanlık bölgeler arasındaki farklılıklar netleşir (Türkoğlu, 2019).

Bu çalışmada geliştirilen sistemde renkli renk uzayından gri renk uzayına dönüşüm yapıldı. Elde edilen gri görüntü üzerinde histogram eşikleme işlem gerçekleştirilerek siyah beyaz görüntü elde edildi. Bu işlem eğitim verilerine OpenCV kütüphanesi kullanılarak uygulandı. Döngü kurularak gri seviye dönüşüm fonksiyonu ile görüntüler dönüştürüldü. Eşikleme değerinin belirlenmesinde otsu eşikleme algoritması kullanıldı. Histogram eşikleme ile görüntüdeki piksellerin dağılımında dengelemeler yaparak görüntüyü netleştirmesi amaçlanmıştır. Gri seviye segmentasyonu ile görüntüdeki nesnelere daha iyi tanıtmaya yardımcı olması amaçlanmıştır (Karhan, 2011).



Şekil 2. Histogram Eşikleme Ve Veri Arttırma Uygulanmış Eğitim Sınıfı Örnek



Şekil 3. Histogram Eşikleme Ve Gri Seviye Segmentasyonu Uygulanmış Eğitim Sınıfı Örnek Görüntüleri

4.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada veri setine uygulanan veri artırma, histogram ve renk eşikleme teknikleri ve AlexNet, VGG-16, MobileNet-V2, Inception-V3, Resnet-50 mimarisini kullanan modeller ile gerçekleştirilen görüntü sınıflandırma deneyinde, eğitim ve doğrulama veri setlerinde başarılı sonuçlar elde edildi. Eğitim sürecinde kullanılan erken durdurma ve öğrenme hızı azaltma gibi geri çağırma işlevleri sayesinde modelin genel performansı iyileştirildi. En iyi performansa ulaşan model kaydedildi ve ilgili metrikler üzerinde test veri setiyle değerlendirme yapıldı.

Renk eşikleme tekniği uygulanmadan önce en iyi doğruluk oranı 0.97 iken renk eşikleme ile birlikte aynı modelde deney yapıldığında performans oranı 0.99'a yükselmiştir. Çeşitli parametreler üzerinde rastgele değişiklikler yapılarak örneğin öğrenme oranının veri setinin boyutuna, modelin derinliğine ve olası başka parametrelere bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmüştür. İlgili veri setinde yaklaşık 3500 örnek eğitim görüntüsüne uygulanan eğitim sırasında öğrenme (learning_rate) oranını azaltmak doğruluk oranını arttırmıştır. ResNet50 modelinde renk eşikleme uygulanmadan önce doğruluk 0.59 çıkarken, renk eşikleme işlemi sonrasında doğruluk oranı 0.90 seviyesine kadar artmıştır. Transfer öğrenme aktarımında resnet50 modelinin son 5 katmanını hariç tutarak diğer katmanları eğitilemez olarak ayarladık. Eğitilebilir katman sayısında değişiklikler yapmak deney sonucumuzu olumsuz etkileyerek 5 katmanda karar kılmamıza neden oldu, bu önceden eğitilmiş ağırlıkları koruma amacıyla yapıldı. Çıktıları düzleştirme uygulandı. 1024 nöronlu tam bağlantı katmanı ekleyerek model üzerinde özelleştirme işlemi yapıldı. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU kullanıldı. Sinir ağının genelleştirmek için dropout (bırakma) fonksiyonu kullanıldı. Yapılan deneyde son katmanlar değiştirilerek modelin özelleştirilmesi doğruluk oranını pozitif olarak etkiledi. Aynı modelde renk eşikleme uygulamadan önce

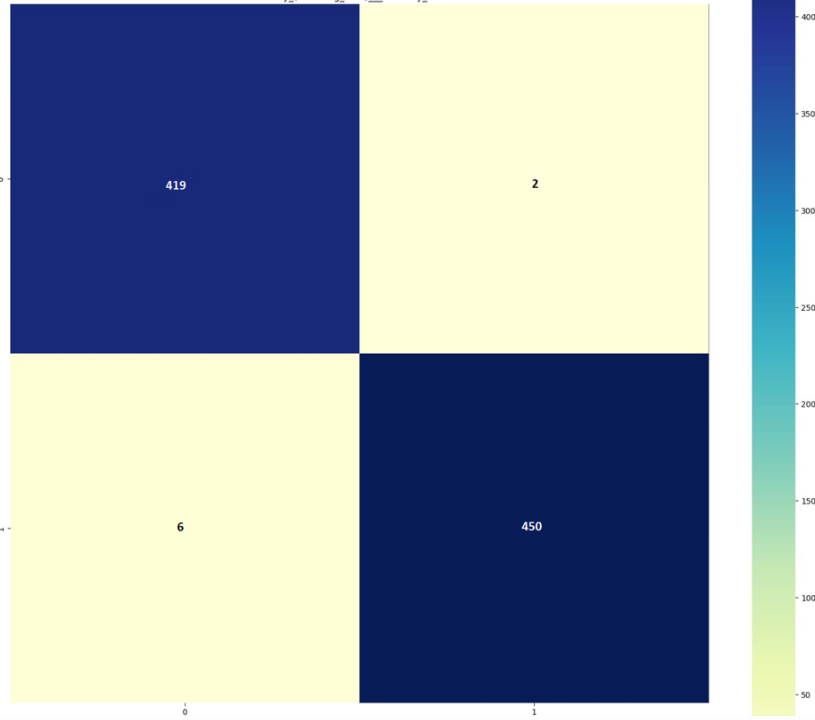
çıkan sonuçlara göre renk eşikleme uygulanmış sonuçlar arasındaki fark veri ön işlemenin modelin hızına ve performansına doğrudan etki ettiğini gösteriyor. Tablo 1 de görünen Precision (Kesinlik), Recall (Duyarlılık), F1Score (F1 Puanı) değerleri average parametresine weighted değeri verilerek hesaplanmış sonuçlardır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Tüm Modellerin Performans Sonuçları

	AlexNet	VGG-16	MobileNet-V2	Inception-V3	Resnet50
Loss	0.692933	0.575958	0.186793	0.596128	0.657336
Accuracy	0.529076	0.882554	0.990878	0.898518	0.591790
Precision	0.704912	0.903284	0.990922	0.900766	0.771322
Recall	0.529076	0.882554	0.990876	0.898518	0.591790
F1Score	0.377689	0.880405	0.990879	0.898192	0.498355

Tablo 1'de, doğrulama sınıfı performans metrik sonuçlarını bulabilirsiniz. Bu metrikler, farklı derin öğrenme modellerinin performansını ölçmek için kullanılmaktadır. MobileNet-V2 modeli, en düşük kayıp değeri olan 0.186793'e sahiptir, bu da modelin gerçeğe yakın tahminlerde bulunduğunu gösterir. Ayrıca, doğru tahmin etme oranı 0.990878'dir. Precision (hassasiyet) metriği, yanlış pozitif tahminlerin ne kadar düşük olduğunu gösterir ve MobileNet-V2 modeli, en yüksek hassasiyet değeri olan 0.990922'yi elde etmiştir. Recall (hatırlatma) değeri ise gerçekten pozitif olan örneklerin model tarafından doğru bir şekilde tahmin edilme oranını gösterir ve MobileNet-V2 modeli için bu değer 0.990876'dır. Yanlış negatif tahminlerin azlığını gösteren B değeri ise MobileNet-V2 modelinde en yüksektir. Precision ve recall değerlerinin harmonik ortalaması olan f1 skoru değeri de MobileNet-V2 modelinde en yüksektir. Sonuç olarak, elde edilen sonuçlara göre, Resnet-50 ve AlexNet düşük performans oranlarına sahipken, MobileNet-V2 modeli en yüksek performans oranına ulaşmıştır.

MobileNet-V2 diğer modeller arasında en iyi performansı sergiledi. Görüntü ön işleme adımında değişiklik yapmadan farklı modeller uyguladığımızda ortaya çıkan sonuç yine MobileNet-V2 modelinin daha iyi sonuçlar elde edeceği yönündedir. Şekil 5'te verilen karışıklık matrisinde görüldüğü gibi 1 değerine karşılık gelen sağlıklı görüntülerin 450 tanesini doğru tahmin ederek sağlıklı olduğu sonucunu göstermiştir. 0 değerine karşılık gelen hasta yaprakların 419 tanesini doğru bir şekilde hasta olarak tahmin edilip 2 tanesini yanlış tahmin etmiştir.



Şekil 4. En İyi Performans Sonucu Veren Mobilenet-V2 Modelinin Karışıklık Matrisi Görseli

Tablo 2,3,4'te sunulan sonuçlar, farklı derin öğrenme mimarileri (AlexNet, VGG-16, MobileNet-V2, Inception-V3, ResNet50) kullanarak elde edilen sınıflandırma performansını göstermektedir. Sonuçlar, üç farklı "average" parametresi değeri ("weighted", "macro", "binary") için hesaplanmıştır.

İlk olarak, "weighted" average parametresi değeri kullanıldığında elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Bu parametre değeri, sınıf dengesini dikkate alarak her bir sınıfın önemini hesaplar. Precision, Recall ve F1-Score değerlerine bakıldığında, MobileNet-V2 ve Inception-V3 modellerinin yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Bu modeller, yüksek hassasiyet (Precision) ve hatırlama (Recall) değerlerine sahiptir. AlexNet ve ResNet50 modelleri ise diğer modellere kıyasla daha düşük performans sergilemektedir. İkinci olarak, "macro" average parametresi değeri kullanıldığında elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Bu parametre değeri, her sınıfın eşit öneme sahip olduğunu varsayar. Precision, Recall ve F1-Score değerlerine bakıldığında, VGG-16 ve Inception-V3 modellerinin en yüksek performansı sergilediği görülmektedir. Bu modeller, diğer modellere göre daha yüksek hassasiyet ve hatırlama değerlerine sahiptir. AlexNet ve Resnet50 modelleri ise diğer modellere göre daha düşük performans göstermektedir.

Tablo 2. Avarage Parametresine "Weighted" Değeri Verildiğinde Sonuçlar

	AlexNet	VGG-16	MobileNet-V2	Inception-V3	Resnet50
Precision	0.704912	0.903284	0.990922	0.900766	0.771322
Recall	0.529076	0.882554	0.990876	0.898518	0.591790
F1Score	0.377689	0.880405	0.990879	0.898192	0.498355

Tablo 3. Avarage Parametresine "Macro" Değeri Verildiğinde Sonuçlar

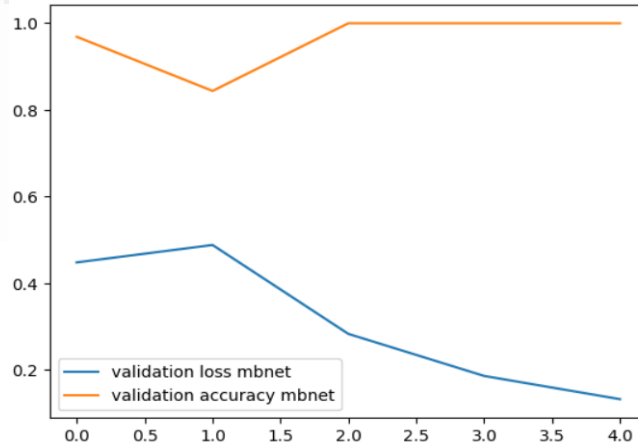
	AlexNet	VGG-16	MobileNet-V2	Inception-V3	Resnet50
Precision	0.712399	0.906876	0.990728	0.901889	0.780098
Recall	0.509592	0.877764	0.991046	0.896761	0.574822
F1Score	0.364797	0.87966	0.990867	0.897867	0.489220

Tablo 4. Avarage Parametresine "Binary" Değeri Verildiğinde Sonuçlar

	AlexNet	VGG-16	MobileNet-V2	Inception-V3	Resnet50
Precision	0.524798	0.816876	0.995575	0.873727	0.560196
Recall	0.997807	0.997807	0.986842	0.940789	1.0
F1Score	0.687831	0.898321	0.991189	0.906019	0.718110

Son olarak, "binary" average parametresi değeri kullanıldığında elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Bu parametre değeri, sınıflandırma sonuçlarını birleştirerek tek bir sınıf gibi ele alır. Precision, Recall ve F1-Score değerleri incelendiğinde, MobileNet-V2 ve Inception-V3 modellerinin yüksek performans sergilediği görülmektedir. Bu modeller, diğer modellere göre daha yüksek hassasiyet ve hatırlama değerlerine sahiptir. AlexNet ve Resnet50 modelleri ise diğer modellere göre daha düşük performans göstermektedir.

Bu sonuçlar "average" parametresinin sınıflandırma performansını etkilediğini göstermektedir. Farklı parametre değerleri sınıfların önemini ve dengesini farklı şekillerde hesapladığından dolayı modelin performansı üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır.

Şekil 5. En İyi Performans Sonucu Veren Mobilenet-V2 Modelinin Doğruluk Grafiği

5. DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, transfer öğrenme yöntemleri kullanılarak PlantVillage veri seti üzerinde yaprak sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın metodoloji bölümünde, veri seti detayları ve kullanılan yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. AlexNet, MobileNetV2, InceptionV3, VGG16 ve Resnet-50 transfer öğrenme mimarileri temel alınarak yeni modeller oluşturulmuştur. Eğitim veri seti üzerinde veri artırma tekniği kullanılmıştır. Görüntülere rastgele dönüşüm, kaydırma, parlaklık değişimi, kesme,

yakınlaştırma ve yatay düzlemde çevirme gibi işlemler uygulanarak modelin genelleme yeteneği artırılmıştır. Eğitilen model doğrulama veri seti üzerinde değerlendirilmiştir.

Performans değerlendirmesi için doğruluk, F1 puanı, hassasiyet ve başarı metrikleri kullanılmıştır. Bu metrikler, farklı derin öğrenme modellerinin performansını ölçmek için kullanılan yaygın metriklerdir. Ayrıca, "average" parametresi kullanılarak sınıf bazlı veya toplu olarak metriklerin hesaplanması sağlanmıştır. Sonuç olarak, farklı "average" parametresi değerleri kullanıldığında elde edilen sonuçlar modellere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Hangi parametre değerinin kullanılacağı, sınıflandırma probleminin gereksinimlerine ve veri setinin özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir. Çalışmada doğruluk metriği baz alındığı durumda, en yüksek doğruluk değerine sahip ağırlık parametresi en iyi performansı sağlamış oldu. Sonuçlara baktığımızda, "Average Parametresine 'weighted' değeri verildiğinde MobileNet-V2 modelinin Precision, Recall ve F1-Score metriklerinde en yüksek değerlere sahip olduğunu görüyoruz. Bu nedenle, weighted ağırlık parametresi MobileNet-V2 modeli için en iyi performansı sağlamış gibi görünmektedir.

Colab ortamından yararlanılarak çalıştırılan proje toplam bellek kapasitesinin %96'sını kullandı. Toplam bellek kapasitesi 15360.0 MB'tır. Kullanılan 14799.1875 MB'tır. %23 oranında CPU kullanılmıştır. Ek olarak yapılan çalışmada en düşük başarı oranına sahip modeller arasında Resnet50 modelini seçerek, bu modele renk eşikleme uygulandığında doğruluk oranının yüzde 59'dan yüzde 99 oranına yükseldiği görüldü. Yapılan çalışmada renk eşikleme uygulanmış görüntüler kullanıldığında, doğru tahmin edilen görsel sayısının arttığı gözlemlendi. Birbirinden farklı modeller üzerinde deneyler yapılarak derin öğrenme tabanlı çalışmalara katkı sunmayı amaçlamıştır. Gelecekte Eskişehir Kozlu köyünde bulunan kiraz bahçelerinden toplanmış kiraz yaprakları ile birden fazla modeli üzerinde çalışma yapılarak hastalık tespiti yapmayı amaçlıyoruz.

KAYNAKLAR

- [1] Bharman, P., Ahmad Saad, S., Khan, S., Jahan, I., Ray, M., & Biswas, M. (2022). Deep Learning in Agriculture: A Review. *Asian Journal of Research in Computer Science*, February, 28–47. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2022/v13i230311>
- [2] Chellapandi, B., Vijayalakshmi, M., & Chopra, S. (2021). Comparison of pre-trained models using transfer learning for detecting plant disease. *Proceedings - IEEE 2021 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems, ICCIS 2021*, 383–387. <https://doi.org/10.1109/ICCCIS51004.2021.9397098>
- [3] Ecemiş, İ. N., & O. İlhan, H. (2022). Domates yapraklarında hastalık tespiti için önerilen hafif evrişimli sinir ağı ile önceden eğitilmiş ağların performans karşılaştırması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2, 693–705. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1003730>
- [4] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016-Decem*, 770–778. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90>
- [5] Karhan, M. (2011). İmge işleme yöntemleri ile kayıslarda yaprak delen hastalığı sonucu oluşan lekelerin tespiti (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- [6] Krizhevsky, B. A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks.
- [7] Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7(September), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>
- [8] Pandian, J. A., Kumar, V. D., Geman, O., Hnatiuc, M., Arif, M., & Kanchanadevi, K. (2022). Plant Disease Detection Using Deep Convolutional Neural Network. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/app12146982>
- [9] Patil, S. B., & Bodhe, S. K. (2011). Leaf disease severity measurement using image processing. *International Journal of Engineering and Technology*, 3(5), 297–301.

- [10] Paymode, A. S., & Malode, V. B. (2022). Transfer Learning for Multi-Crop Leaf Disease Image Classification using Convolutional Neural Network VGG. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2021.12.002>
- [11] Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., & Zhmoginov, A. (2018). MobileNetV2 : Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. 4510–4520.
- [12] Sengar, N., Dutta, M. K., & Travieso, C. M. (2018). Computer vision based technique for identification and quantification of powdery mildew disease in cherry leaves. *Computing*, 100(11), 1189–1201. <https://doi.org/10.1007/s00607-018-0638-1>
- [13] Seveli, O. (2019). Göğüs Kanseri Teşhisinde Farklı Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Performans Karşılaştırması Performance Comparison of Different Machine Learning Techniques in Diagnosis of Breast Cancer. 16, 176–185. <https://doi.org/10.31590/ejosat.553549>
- [14] Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 – Conference Track Proceedings, 1–14.
- [15] Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing and Management*, 45(4), 427–437. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>
- [16] Szegedy, C., Vanhoucke, V., & Shlens, J. (2014). Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision.
- [17] Türkoğlu, M. (2019). Görüntü işleme tabanlı bitki türleri ve hastalıkları tanıma. *Ayaa*, 8(5), 55.
- [18] Vallabhajosyula, S., Sistla, V., & Kolli, V. K. K. (2022). Transfer learning-based deep ensemble neural network for plant leaf disease detection. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 129(3), 545– 558. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00465-8>

Makale id= 15

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-7233-3475, 0009-0005-0945-3860, 0009-0009-2307-7143, 0009-0009-8996-3148, 0000-0001-7478-9882

| 175

Fren Kampanalarının Talaşlı İmalatında Verimliliği Artırmaya Yönelik Aparat Tasarımı**Araştırmacı Gazican Özkan¹, Araştırmacı Yasin Görgün¹, Araştırmacı Hüseyin Eroğlu¹, Araştırmacı Emre Öztürk¹, Dr. Öğretim Üyesi Tuğçe Yağcı²**¹Şafak Döküm Makina Parça San. ve Tic. A.Ş.²Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Corresponding author: Gazican Özkan

Özet: Kampanalı fren sistemi kampana, tekerlek fren silindiri, pistonlar, pabuçlar, balatalar, geri getirme yayları ve el freni mekanizmasından meydana gelmektedir. Sistemin parçalarından biri olan kampana, araçta bijonlarla tekerlek göbeğine monte edilmekte ve tekerlekle birlikte dönmektedir. Lamel grafitli dökme demir kullanılarak, kum kalıba döküm yöntemiyle üretilen kampanalar, nihai ölçülerine talaşlı imalat ile ulaşmaktadır. İşleme prosesinde, delik delme, kılavuz çekme, fatura açma, frezeleme, havşalama işlemlerinin yapılabildiği bir dikey tezgah kullanılmaktadır. Tezgahın ölçüleri, özel geometriye sahip kampanaların işlenmesi için yeterli değildir. Bu çalışmada tasarlanan, üretilen ve dikey işleme tezgahına monte edilen bir aparat yardımıyla, kılavuzlama operasyonu için işleme boyu 70 mm'den 270 mm'ye kadar artırılmıştır. Bu sayede, endüstriyel olarak istenilen boyutsal toleranslarda kampana üretimi yapabilmek için işleme koşullarının optimizasyonun sağlanmıştır. Diğer yandan, iş parçasının geometrisinden ötürü delik delme ve kılavuz çekme işlemleri iki istasyonda yapılırken, tasarlanan aparat ile, kampananın tek istasyonda işlenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, üretimin en önemli maliyet parametrelerinden olan zaman ve işçilikten sağlanan kazanç da, bu çalışmanın çıktıları arasındadır.

Anahtar Kelimeler: Fren Kampanası, Talaşlı İmalat, Kılavuzlama, Proses Verimliliği

Apparatus Design to Increase Efficiency in Machining of Brake Drums

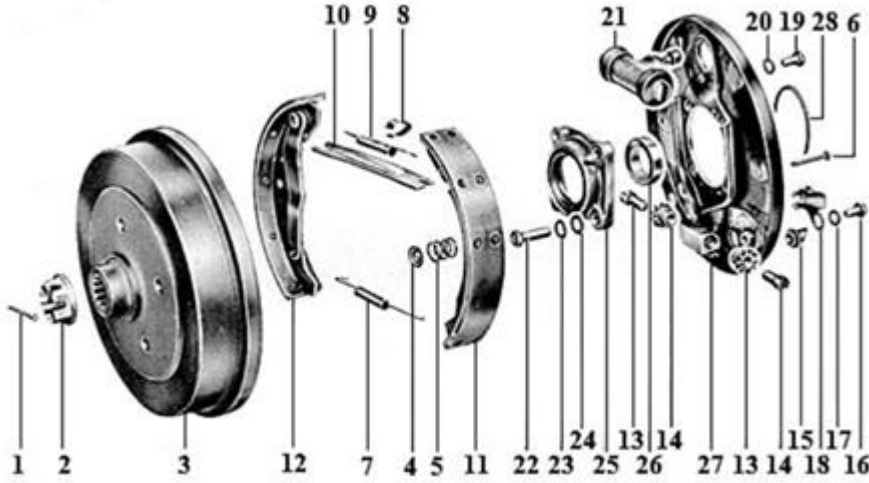
Abstract: Drum brake system consists of drum, wheel brake cylinder, pistons, shoes, linings, return springs and handbrake mechanism. The drum, which is one of the parts of the system, is mounted on the wheel hub with bolts in the vehicle and rotates with the wheel. The drums, which are produced by sand casting method from lamellar graphite cast iron, reach their final dimensions by machining. In the machining process, a vertical bench is used, where drilling, tapping, grooving, milling, countersinking operations can be performed. The dimensions of the bench are not sufficient for processing drums with special geometry. In this study, the machining length for the tapping operation was increased from 70 mm to 270 mm with the help of an apparatus designed, manufactured and mounted on the vertical machining center. In this way, the optimization of processing conditions has been achieved in order to produce drums with industrially desired dimensional tolerances. On the other hand, while drilling and tapping operations are performed in two stations due to the geometry of the workpiece, the drum is processed in a single station with the designed apparatus. In addition, time and labor savings, which are the most important cost parameters of production, are among the outputs of this study.

Keywords: Brake Drum, Machining, Tapping, Process Efficiency

1. GİRİŞ

Günümüzde ağır ticari araçlar ve römorklarda kampanalı fren sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemin alt bileşenleri Görsel 1'de gösterilmiş olup kampana, araçta bijonlarla tekerlek göbeğine monte edilmekte

ve tekerlekle birlikte dönmekte olan ve pabuçların bastırılması ile üzerinde sürtünme kuvveti oluşturulan silindirik parçadır. Aracın sürücüsü tarafından fren pedalına basıldığında, basınçlı hidrolik fren yağı, fren tablasındaki tekerlek fren silindirinde yer alan pistonları iki tarafa doğru açarak, fren pabuçlarını kampanaya doğru itirmektedir. Pabuçların dış kısmında bulunan fren balataları, kampananın iç yüzeyine sürtünerek frenleme işleminin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu esnada sürtünmeden kaynaklı sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Ayrıca, yüzey aşınması ve plastik deformasyon sebebiyle, fren kampanalarının mekanik dirençlerinin, ısı iletkenliklerinin ve ısı kapasitelerinin yüksek olması, ısı genleşmelerinin ise düşük olması beklenmektedir. Bir diğer yandan kampanalar, uygun bir temas yüzeyi ile yüksek bir sürtünme katsayısına erişebilme imkânı sağlamalı ve hafif olmalıdır [1]. Kampanalar genel olarak özel tip ısı dayanımlı ve aşınma dirençli dökme demirlerden üretilir [2].



Görsel 1. Kampanalı fren sistemi parçaları[3].

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Kamalı pim | 16. Cıvata takviye plakası |
| 2. Tepeli somun | 17. Kilit yıkayıcı |
| 3. Kampana | 18. El freni kablosu takviye plakası |
| 4. Yay tutucu | 19. Cıvata, |
| 5. Yay | 20. Pul |
| 6. Pim | 21. Fren silindiri |
| 7. Alt geri getirme yayı | 21. Kilit yıkayıcı |
| 8. Klips | 22. Porya sabitleme civatası |
| 9. Üst geri getirme yayı | 23. Pul |
| 10. Basınç levyesi | 24. Yaylı rondela |
| 11. Fren pabucu | 25. Tekerlek poryası |
| 12. El freni levyeli fren pabucu | 26. Tekerlek rulmanı |
| 13. Ayar vidası | 27. Fren siper tablası |
| 14. Ayar somunu | 28. Takviye plakası |
| 15. Kauçuk tapa | |

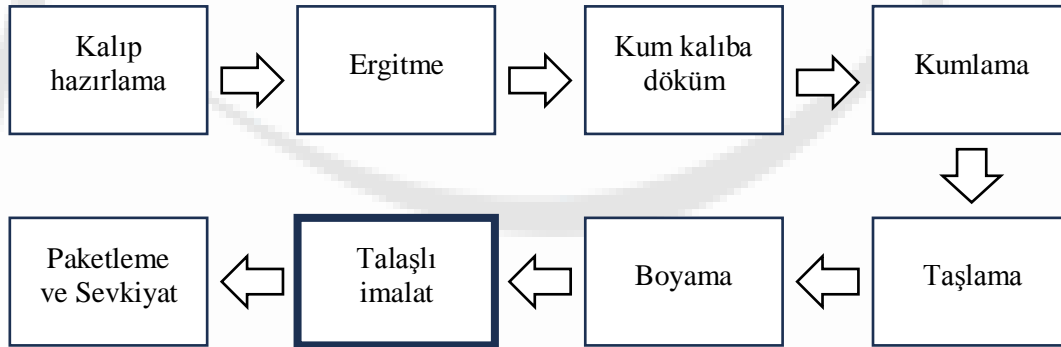
Fren kampanaları, Şafak Döküm A.Ş. bünyesinde, EN-GJL-250 kalite lamel grafitli dökme demir malzeme kullanılarak, mikro yapıda homojen olarak dağılmış ve rastgele yönelmiş A tipi grafit elde

edilecek şekilde (Görsel 2), geleneksel döküm teknolojilerinden kum kalıba döküm tekniği ile üretilmektedir.



Görsel 2. ASTM standartlarına uygun olarak şematize edilen A tipi grafit yapısı [4].

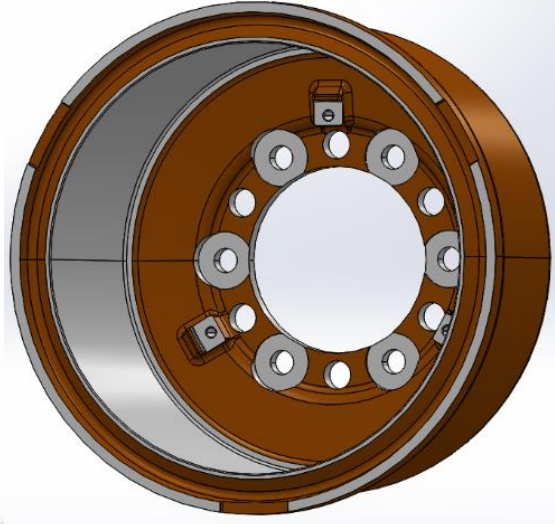
Görsel 3'te fren kampanasının üretim süreci şematize edilmiştir. Teknik resimden oluşturulan üç boyutlu çizim ile model ve kalıp tasarımı işlemleri sonrasında otomatik kalıplama hattı ile kalıpların hazırlanması ile başlayan üretim süreci, ergitme ve kampana tasarımına bağlı olarak çoğunlukla maçasız gerçekleştirilen kum kalıba döküm ile devam etmektedir. Dökümden çıkan iş parçası, yüzey temizlik işlemlerinin yapılması amacıyla askılı bilyalama ile kumlama işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlemi, taşlama, boyama ve talaşlı imalat (işleme) aşamaları takip etmekte, ölçü ve kalite kontrolü yapılan nihai ürün paketlenerek sevkiyata hazır hale getirilmektedir. Üretilen kampanalar, müşteriye sevk edilmeden evvel nihai ölçülerine, dikey işleme merkezleri kullanılarak gerçekleştirilen talaşlı imalat prosesi ile ulaşmaktadır. Dolayısıyla, fren kampanalarının üretim sürecinde iyileştirme yapılabilecek aşamalardan biri de talaşlı imalattır.



Görsel 3. Fren kampanasının üretim akış şeması.

Fren kampanalarının talaşlı imalat işlemlerinin gerçekleştirildiği dikey işleme merkezine monte edilerek kullanılan standartlara uygun çeşitli ölçülerde kılavuzlar bulunmaktadır. Tezgahın halihazırda kullandığı kılavuzların işleme boyları, Görsel 4'te gösterilen kampana iş parçasının geometrisinden ötürü alt delik işlemlerinde yetersiz kalmakta ve bu yetersizlik, kampananın delik açma ve kılavuzlama işlemlerinin ayrı ayrı tezgahlarda yapılma zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Kampanadaki delik açma işlemleri, dikey işleme tezgahında yapılabilirken, kılavuzlama işlemi için parçalar farklı bir istasyona taşınmaktadır. Bu durum, her parça için üretim süreç ve işçilik maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmada, firma bünyesinde üretilen Görsel 4'teki fren kampanasının geometrisinden ötürü, talaşlı imalat prosesinde iki istasyonda gerçekleştirilen delik delme ve kılavuz çekme işlemlerinin, tek istasyona düşürülmesi amacıyla, bir aparat tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu aparatın talaşlı imalat işlemine dahil edilmesinin ardından, mevcutta uygulanan ve araştırma-geliştirme çalışmaları sonrası erişilen proses verimlilikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Görsel 4. Aparat tasarlanan fren kampanasının üç boyutlu çizimi.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Söz konusu çalışma kapsamında geliştirilen aparat için tasarım, malzeme seçimi, aparatın üretimi ve işleme tezgahına montajı olmak üzere 3 farklı faaliyet adımı gerçekleştirilmiştir.

2.1. Tasarım Faaliyetleri

Dikey işleme merkezinde kullanılmak üzere, tezgah kol boyu ve işleme mesafesine uygun olacak şekilde aparatın uzunluğu ve kalınlığı belirlenmiştir. Kılavuzu tutmak ve tezgah koluna montaj için gerekli kriterler tasarım aşamasında dikkate alınmıştır. Aparatın 3 boyutlu tasarımı (Görsel 5) Solidworks programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Görsel 5. Aparatın Solidworks programı aracılığıyla gerçekleştirilen üç boyutlu tasarımına ait görseli.

2.2. Malzeme Seçimi

Tüm işleme proseslerinde kullanılan takımların aşınması doğal bir olgudur. Buna karşın yüksek işleme hızı ve verimliliğe yönelik talep artışı da söz konusudur. Endüstride çeşitli alternatif çözümler geliştirilerek işleme maliyetlerinin düşürülmesi ve buna bağlı olarak kuru işleme ile çevre kirliliğinin azaltılması, rekabetçi ve kârlı kalmanın ana anahtarıdır [5].

Tasarımı gerçekleştirilen aparat için, 22Mn6 (DIN EN) kalite (ISO 683-3:2019) sementasyon çeliği seçilmiştir. Yaklaşık 230-235 HB sertliğe sahip olan bu çelikler, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı

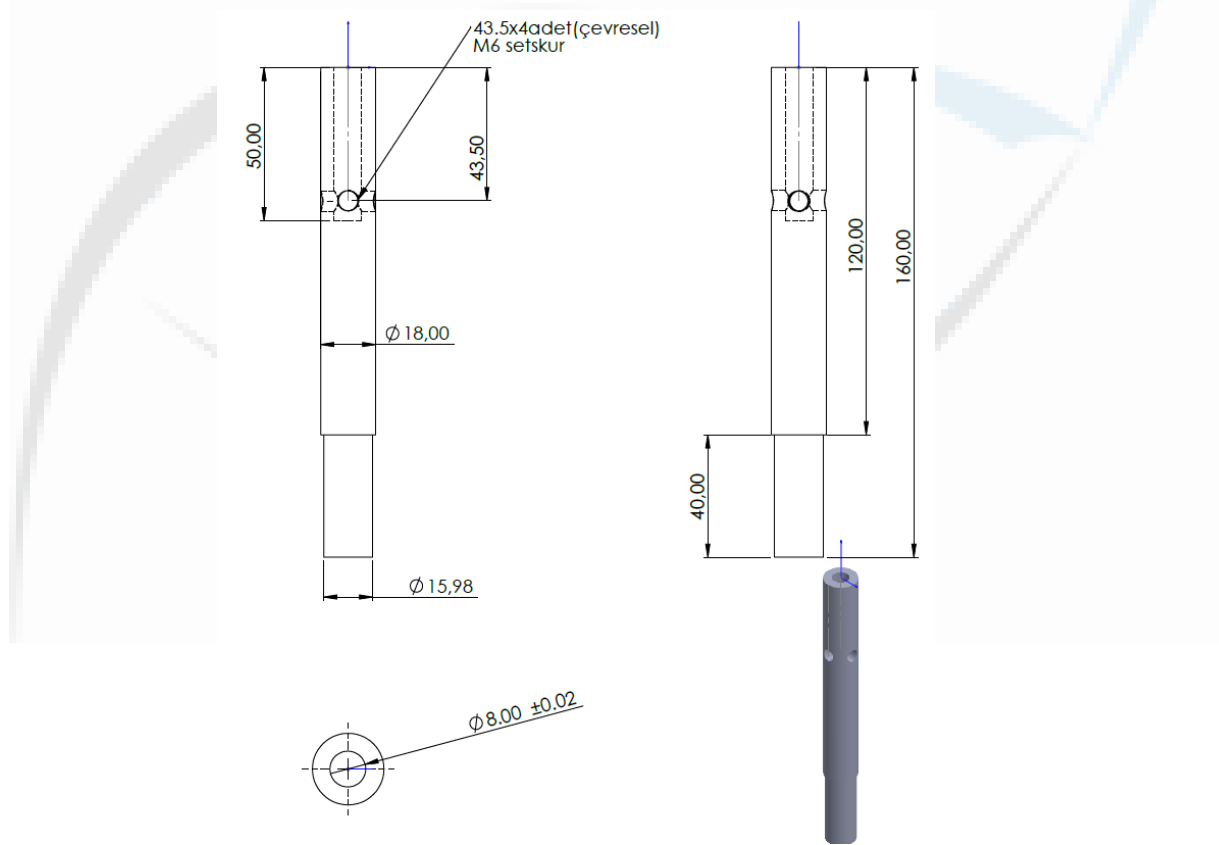
parçaların imalatında kullanılan, düşük karbonlu, alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir[6]. Ayrıca, ısıl işleme sertleştirilebilmektedir. Seçilen alaşımın standartta belirtilen kimyasal kompozisyonu ve temin edilen malzemeye ait optik spektrometre analizinden elde edilen bilgiler Çizelge 1’de verilmektedir.

Çizelge 1. Standart 22Mn6 kalite çeliğe ait kimyasal kompozisyon bilgisi (%ağ.) [7].

Element (%ağ.)	C	Si	Mn	P	S	Fe
Teorik veriler	0,18-0,25	0,15-0,30	1,30-1,70	0,035	0,035	Kalan
Spektral analiz	0,207	0,224	1,398	0,013	0,026	Kalan

2.3. Aparatın Üretimi ve İşleme Tezgahına Montajı

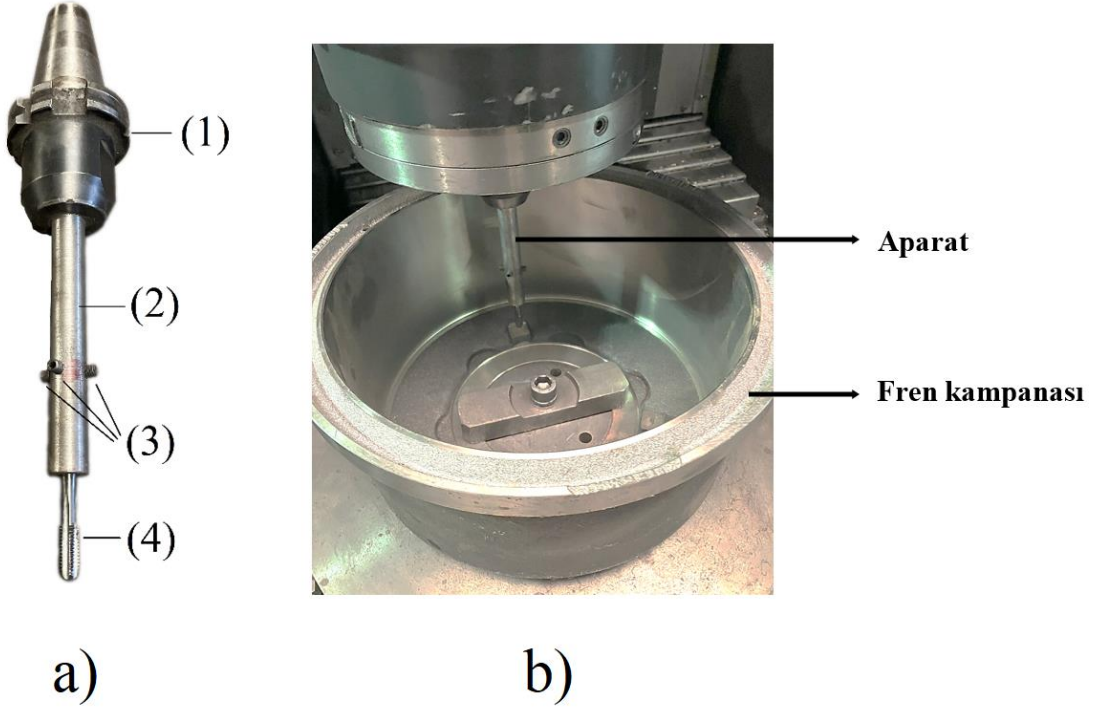
Tasarım faaliyetleri ve malzeme seçiminin ardından, aparatın prototip imali için işleme adımları tasarlanmıştır. 22Mn6 kalitesinde ve uygun ölçülerde temin edilen malzeme, universal torna tezgahında iki punta arasında belirlenen teknik resme (Görsel 6) uygun olarak işlenmiştir.



Görsel 6. Geliştirilen aparatın teknik resmi.

Aparatta yer alan deliklerin açılması ve kılavuz işlemleri universal matkapta gerçekleştirilmiştir. Aparat, bir veldon tutucuya bağlanarak, dikey işleme merkezine monte edilmiş ve fren kampanası işleme prosesinde delik delme ve kılavuzlama amaçlı kullanılmıştır. M8 metrik standartlardaki kılavuz setskur

cıvatalar ile aparata tutturulmuş ve veldon tutucuyla tezgaha bağlanmış ve ilgili fren kampanasını işleme anındaki görüntüsü Görsel 7’de verilmiştir.



Görsel 7. a) Aparat ve bağlantı elemanlarının görünümü (1) veldon tutucu, (2) aparat, (3) setskur cıvatalar (4) M8 kılavuz b) aparatın dikey işleme merkezine monte edilmiş halinin görünümü.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, fren kampanalarının talaşlı imalat sürecinde kullanılmak üzere tasarlanan bir aparat sayesinde, proses verimliliğinde artış görülmüştür. Belirlenen fren kampanalarının talaşlı imalatında, sırasıyla dik tornalama, oyma, üst delik ve alt delik işlemleri uygulanmaktadır. Tasarım faaliyetleri öncesi bu iş parçası için delik delme operasyonu, alt delik işlemlerinden birinci tezgahta (dikey işleme merkezi), 3 delik delme ve bu 3 delik için havşa açma işlemleri, universal delik delme tezgahında ise, başka bir operatör tarafından 3 delik için kılavuz çekme işlemleri yapılmaktadır. İkinci tezgahta gerçekleştirilecek işlemler için iş parçası üretim sahası içinde farklı bir işçi tarafından transpaletle tezgaha taşınmaktadır. İlk tezgahta işlemler otomatik olarak gerçekleşirken, ikinci tezgahta operatöre bağlı el ile işlem yapıldığından, parçanın fireye ayrılması, kılavuz ucunun kırılması vb. problemler ortaya çıkabilmektedir. Belirtilen bu işlemler için işlem süre yaklaşık olarak 320 saniyedir.

Tasarım faaliyetleri sonrasında geliştirilen aparat yardımıyla, tüm işleme adımları otomatik tezgahta gerçekleştirilmekte ve yukarıda bahsi geçen üretim hatalarının oluşma riskinin azaltılmasına bağlı olarak, talaşlı imalat proses kalitesi de artmaktadır. Ayrıca, geliştirilen aparat ile tüm talaşlı imalat işlemleri tek bir tezgahta yapıldığından alt delik işlem adımları için işlem süresi 65 saniyeye kadar düşmekte ve sadece bir operatör tarafından kolaylıkla takip ve kontrol edilebilmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

İlgili çalışma kapsamında tasarlanan aparat ile,

- Dikey işleme tezgahının kılavuzlama boyu 200 mm uzatılmıştır. Bu sayede, fren kampanalarının alt taraftan işlenmesinde iki farklı tezgah kullanımına olan gereksinim ortadan kaldırılmış ve tüm talaşlı imalat süreci tek istasyona indirgenmiştir. Bu noktada, üretim sürecinin kontrolünde görev alan operatör sayısının azalmasıyla, işçilik maliyetlerinden kazanç

sağlandığını da vurgulamak gerekmektedir. Sürecin tamamının otomatik işleme tezgahında olmasından dolayı operatör kaynaklı fire ve kılavuz kırılması riski de azaltılmıştır.

- Kampana üretiminde talaşlı imalat proses süresi yaklaşık 255 saniye düşürülmüş ve üretimin en önemli girdilerinden olan zaman ve maliyetten kazanç sağlanmıştır.

Belirtilen genel sonuçlar ve değerlendirmelerin yanı sıra, çalışmanın gerçekleştirildiği firma bünyesinde yeni ürünlerin devreye alınması sürecinde, tasarlanan aparatın fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Genç, B., Binek Araçlarda Kullanılan Kampana Fren Sisteminin Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Tasarımının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Manisa, 2018.
- [2] Kumara, D., Ram Mohan M. Design and Fabrication of Lathe Fixture for Brake Drum (Cargo) Machining, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 7, July, 2014 (ISSN 2250-3153)
- [3] T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Motorlu Araçlar Teknolojisi. Fren Sistemleri. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 2013, 158 s.
- [4] Tekin, E. Çelikler ve Dökme Demirler İçin Uygulamalı Metalografi, Nadir Kitap, İstanbul, 2013.
- [5] Lahres, M., Doerfel, O., Neumüller, R., Applicability of different hard coatings in dry machining an austenitic steel, Surface and Coatings Technology 120–121, 687–691, 1999.
- [6] Liu Y., Wang M., Shi J., Hui W., Fan G., Dong H., Fatigue properties of two case hardening steels after carburization, International Journal of Fatigue Volume 31, Issue 2, February 2009, Pages 292-299
- [7] <https://pauely-stahlhandel.com/en/din-en/22mn6> (Erişim tarihi: 28.07.2023)

Makale id= 27

Sözlü Sunum

ORCID ID:

| 182

Optimum SKNK Parametrelerinin Belirlendiği Poliamid 6 Malzemesinde Kopma Bölgelerinin Optik Mikroskop İle İncelemesi**Dr. Öğretim Üyesi Şenol Mert¹, Araştırmacı Aydın Üçüncü², Inst. Öğr. Gör. Dr Sevda Mert¹**¹Düzce Üniversitesi²Balıkesir Organize Sanayi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

*Corresponding author: Aydın Üçüncü

Özet: Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) işlemi, direnç nokta kaynağının sınırlamasını aşan yeni bir tekniktir. Son zamanlarda SKNK, geleneksel kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi zor olan polimerlerin kaynağı için kullanılmaktadır. Polimer ürünlerin ulaşımda ve hemen hemen tüm sektörlerde artan kullanımı, içinde bulunduğumuz on yılın ayırt edici bir göstergesidir. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı yöntemi, sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yönteminden türetilmiş ve son zamanlarda sadece otomobil sektöründe değil aynı zamanda diğer endüstri kollarında da oldukça dikkat çeken yeni bir kaynak yöntemidir. Yöntem sayesinde, kısa işlem zamanı ile etkili bindirme bağlantıları elde edilebilir. Yöntemin, SKK yönteminde kullanılan kaynak takımına benzer bir takımla, dalma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç kademedan oluşan bir uygulaması vardır. Bu deneysel çalışmada, SKNK ile birleştirilen Poliamid 6 numunelerin kopma bölgeleri optik mikroskop ile incelenmiştir. Numunelerin kopma bölgelerindeki uzama liflerinin ve sünek tip kırılma davranışının dayanım değerleri ile yakından ilgisi olduğu belirlenmiştir. Kaynak sıcaklığı için optimum bir devir sayısı belirlenmesinin gerekliliği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Poliamid 6, Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı, Silindirik Uçlu M10 Takım, Kopma Bölgeleri, Optik Mikroskop İncelemesi.

Examination With Optical microscope of Rupture Zones in Polyamide 6 Material Determined of Optimum Fssw Parameters

Abstract: The friction stir spot welding (FSSW) process is a novel technique that overcomes the limitation of resistance spot welding. Recently, FSSW used for welding of polymers which are difficult to be joined by traditional welding processes. The increasing use of polymer products in transportation and almost all sectors is a distinctive sign of the current decade. The friction stir spot welding method is a derivative of the friction stir welding (FSW) process, which is a new process that recently has received considerable attention from the automotive and other industries. Thanks to the method, the effective overlapping joints can be obtained a short processing time. The FSSW process consists of three phases of plunging, stirring and retraction with the FSSW tool similar to the FSW tool. In this experimental study, the rupture regions of Polyamide 6 specimens joining with FSSW were examined with an optical microscope. It has been determined that the elongation fibers and ductile type fracture behavior of the specimens in the rupture regions are closely related to the strength values. The necessity of determining an optimum rotational speed for the welding temperature has been demonstrated.

Keywords: Polyamide 6, Friction Stir Spot Welding, Cylindrical Tip M10 Tool, Rupture Regions, Optical Microscope Examination.

1. GİRİŞ

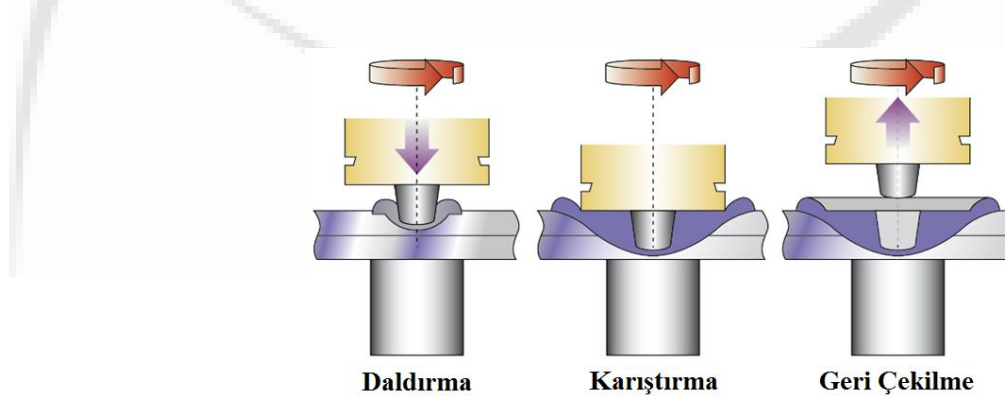
Polimer ürünlerin ulaşımda ve hemen hemen tüm sektörlerde artan kullanımı, içinde bulunduğumuz on yılın ayırt edici bir göstergesidir [1]. Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemi, direnç nokta kaynağının sınırlamalarını aşan yeni bir kaynak yöntemidir. Geleneksel kaynak yöntemleriyle

birleştirilmesi zor olan polimerlerin kaynağı için son zamanlarda SKNK yöntemi kullanılmaktadır [2]. Sürtünme karıştırma nokta kaynak uygulamalarında kaynak mukavemetini, kaynak performansını sağlayan ve kaynakta oluşabilecek kusurlara neden olan bazı faktörler vardır. Bu faktörler arasında makine parametreleri ve kaynak takımı tasarımının birbiri ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu faktörlerin uygun şekilde seçilmemesi durumunda kaynak istenilen kalitede olmayacaktır [3].

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı (SKNK) yöntemi 1993 yılında Mazda tarafından icat edilmiş, tamamen yeni ve ergime olmaksızın bindirme bağlantısı gerçekleştirilen bir katı faz kaynak yöntemidir [4-13]. SKNK, sürtünme karıştırma kaynağından (SKK) türetilmiştir ve otomotiv sektöründe oldukça dikkat çekmektedir [14-16]. SKNK ile plastikler üzerine yapılan ilk çalışmalar neticesinde, bu yöntemin polimer esaslı malzemelere de uygulanabilirliği kanıtlanmıştır [4, 8, 11, 17]. Sonrasında ise çeşitli polimer malzemelerin SKNK yöntemi ile birleştirilerek optimum parametrelerin saptanabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. SKNK yönteminin metal malzemelere ilaveten plastik malzemelere de uygulanabilmesi, yönetime önemli bir avantaj kazandırmıştır [6-8, 14, 17-27].

Plastik malzemelerin laboratuvar şartlarında istenilen özelliklerinin geliştirilmesindeki sınırsızlık, bu malzemelere geleceğin mühendislik malzemeleri olma özelliğini kazandırmıştır. Metalik malzemelere göre mekanik özelliklerinin daha düşük olmasına rağmen plastik yapıya çeşitli katkı maddelerinin ilave edilmesiyle (cam, karbon, talk, fiber vb.) fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olabilmektedir [4]. Poliamid yüksek dayanım, sertlik, iyi elektriksel ve kimyasal özelliklere sahip hafif ve birçok türü olan bir termoplastiktir [28]. Poliamid 6 mühendislik polimerleri sınıfında olup diğer geleneksel polimerler ile karşılaştırıldığında, üstün mekaniksel özellikleri nedeniyle elektrik/elektronik, otomotiv, ambalaj ve tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanım alanı bulan yüksek performanslı termoplastik bir polimerdir. Ancak, poliamid 6 polimerinin düşük ısı sapma sıcaklığı, yüksek su emme özelliği ve ölçüsel kararsızlığı daha geniş uygulama alanlarında kullanımını sınırlandırmaktadır [29].

Sürtünme karıştırma nokta kaynağı, çevre dostu, yüksek verimli bir katı hal kaynak tekniğidir [30]. SKNK yöntemi, sürtünme karıştırma kaynağının nokta halinde dikiş üreten bir versiyonudur. SKNK tekniği, geleneksel ergitmeli kaynak teknikleri ile karşılaştırıldığında en önemli avantajlarından biri, ana metalin ergimeden kaynak işleminin gerçekleşmesidir [31]. Yeni bir kaynak yöntemi olan SKNK, otomotiv, havacılık ve diğer sektörlerdeki uygulamaları için üzerinde çalışılmıştır [32-34]. SKNK yönteminin, SKK yönteminde kullanılan kaynak takımına benzer bir takımla, daldırma, karıştırma ve geri çekilme olarak belirtilen üç kademede gerçekleştirilen bir uygulaması vardır [5, 6, 18, 20, 35-39]. Bu üç aşama sırasıyla aşağıdaki gibidir Şekil 1 [40].



Şekil 1. Sürtünme karıştırma nokta kaynak yönteminin üç aşaması [40]

Daldırma, belirli bir devirde dönen kaynak takımı uç kısmının birleştirilecek parçaların üst yüzeyine temas etmesiyle başlayıp omuz kısmının üst parçaya temas etmesiyle biter. Bu ilerleme sırasında uç ile malzeme arasında ortaya çıkan sürtünme nedeniyle oluşan ısı malzemenin yumuşamasına yol açar [11, 39, 41]. Takımın özellikle omuz kısmının da sürtünmeye katılmasıyla, daha geniş bir bölgede daha yüksek bir kaynak sıcaklığına ulaşılır [20]. Kaynak takımının omuz tabanına ait yüzey alanının sürtünme ısını önemli oranda etkilediği bilinmektedir [42]. Bundan sonra başlayan karıştırma aşamasında, omuz kısmının da oluşturduğu sürtünme ile kaynak bölgesinde daha fazla ısı meydana gelir. Isıyla birlikte yumuşayan malzeme çifti, dönen takımın dönme yönünde yumuşamış bir malzeme akışı gerçekleştirir.

Ayrıca, takım ucunun vida dişleri nedeniyle, aksenal yönde de bir yumuşamış malzeme akış hareketi söz konusudur [11, 39]. Böylelikle, yumuşayan her iki parça malzemesi takım ucu etrafında karıştırılarak, aralarında bağ kurulur. Birleştirme tamamladığında, kaynak takımının kaynak bölgesinden uzaklaştırılması ile geri çekilme olarak adlandırılan son aşama tamamlanmış olur [11, 43].

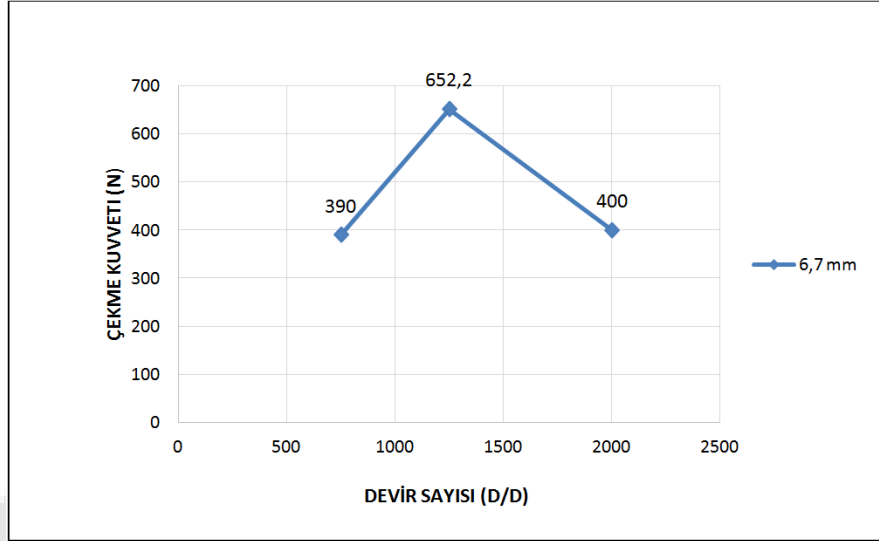
Ucuna metrik 10 vida dişi açılmış silindirik kaynak takımı kullanılarak, Poliamid 6 malzemeye SKNK yöntemi uygulanan ve en yüksek çekme kuvvetinin elde edildiği numunelerin kopma bölgeleri optik mikroskop ile incelenmiştir. Bu deneysel çalışmada numunelerin kopma bölgelerinden farklı yerlerden optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Çekme deneyi sonrasında meydana gelen kopma yüzeylerinde ve farklı bölgelerde yapılan incelemeler ile gözlemlenen çekme liflerinin yoğunluğu ve sünek kırılma oranının yüksekliği, ulaşılan dayanım değerleri ile birlikte yorumlanmıştır. Numunelerin kopma bölgelerindeki uzama liflerinin ve sünek tip kırılma davranışının, dayanım değerleri ile ilgisi araştırılmıştır. Böylece, optik mikroskop ile kırılma yüzeylerinde yapılan incelemenin, elde edilen çekme kuvveti değerlerinin yorumlanmasındaki katkıları ortaya konmuştur. Ayrıca farklı devir sayılarında kaynaklı bağlantılar oluşturulduğunda, malzemenin yumuşaması ve hamur haline gelmesi, sonuç olarak kaynağa elverişli hale gelmesi için sürtünme sonucu gerekli kaynak işlemi sıcaklığına parçalarda ulaşıp ulaşılmadığı da, çekilen optik mikroskop görüntülerinden faydalanılarak ve malzemenin akış özelliklerine bakılarak değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA ve DENEYSEL SONUÇLAR

Ucuna metrik 10 vida dişi açılmış silindirik kaynak takımı kullanılarak, farklı devir sayılarında ve farklı bekleme süresi değerlerinde, SKNK yönteminin uygulandığı Poliamid 6 malzemede en yüksek çekme kuvveti değerlerinin elde edildiği numunelerin kopma bölgeleri, bu deneysel çalışmada optik mikroskop altında incelenmiş ve bu kopma bölgeleri mühendislik açıdan yorumlanmıştır. Belirli bir dalma derinliği ve dalma hızı için, farklı devir sayısı ve farklı bekleme süresi değerleri kullanılarak, çekme kuvvetini maksimum yapan optimum kaynak parametrelerinin belirlendiği numunelerin, ortaya çıkan kopma bölgelerinin optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, elde edilen çekme kuvveti değerlerini destekleyen nitelikte olduğu belirlenmiştir.

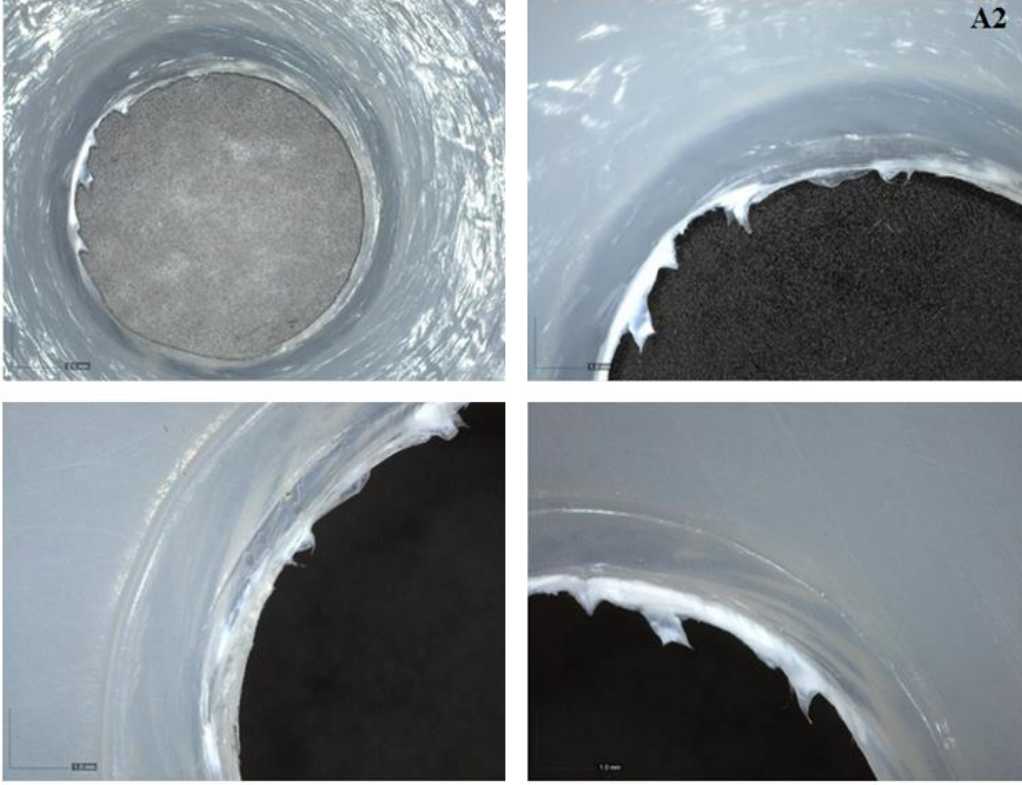
Yapılan çalışmalar neticesinde, kullanılan parametrelere bağlı olarak, çekme deneyleri sonrasında farklı devir sayılarında oluşturan kaynaklı bağlantılarda en yüksek çekme kuvveti değerleri elde edilen numuneler üzerinde farklı birçok bölgeden optik mikroskop görüntüleri alınarak üzerinde incelemeler yapılmıştır. Devir sayısının, çekme kuvvetine olan etkisi incelendiğinde, çekme kuvvetinin belirli bir devir sayısı değerine kadar düzenli olarak arttığı, sonrasında ise düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. 750 d/d, 1250 d/d ve 2000 d/d devir sayılarında ve farklı bekleme sürelerinde tekrarlanan çok sayıda deneylerde, 750 d/d'da, 1250 d/d'da ve 2000 d/d'da elde edilen çekme kuvveti değerleri öncelikle kendi içinde değerlendirilmiş ve her bir devir sayısında ulaşılan maksimum çekme kuvveti değeri ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmada, maksimum çekme kuvveti elde edilen bu numunelerin farklı bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri ile, kırılmaya karşı direncinde bir işareti olan ve adeta malzemenin kopmaya karşı direndiğini gösteren uzama lifleri ve sünek kırılma gösteren bölgeler taranmıştır. Bu üç devir sayısında elde edilen maksimum çekme kuvvetlerinin kendi içindeki karşılaştırması yapılmış ve böylece çekme kuvvetini maksimum yapan optimum devir sayısı değeri 1250 d/d olarak elde edilmiştir. Belirli bir dalma derinliği için, çekme kuvveti üzerine takım devir sayısının etkisi Şekil 2'de görülmektedir. Seçilen parametrelere bağlı olarak, yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında, özellikle 1250 d/d devir sayısı, kaynak takımı için dönme hızı olarak kullanıldığında, sürtünme sonucunda kaynak için gerekli olan ve sürtünme ile ulaşılan sıcaklığın, malzemede kaynak için gerekli olan optimum bir akıcılığa ulaşmayı sağladığı, böylece kaynağa çok daha elverişli bir yumuşamanın elde edildiği tespit edilmiştir. Fakat seçilen parametrelere bağlı olarak, yapılan bu çalışmada kaynak takımı için 2000 d/d devir sayısı seçildiğinde ise sürtünme nedeniyle kaynak sıcaklığının çok arttığı, malzemenin gerekenden çok daha fazla yumuşadığı ve malzemedeki akıcılık özelliklerinin istenenden daha fazla olması nedeniyle, kaynak havuzundan dışarı doğru bölgeden malzeme kaçışına neden olduğu, bununda dayanım değerlerine olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Oysa kaynak bölgesinden kaçan bu malzeme kaynak havuzu içinde kalmış olsa direkt dayanım değerlerine katkı sağlayacağından elde edilen çekme kuvveti değerleri 2000 d/d devir sayısı kullanıldığında da yüksek elde edilebilirdi. SKNK yöntemi bir katı faz kaynak yöntemidir ve malzemenin bu yöntemde yumuşaması ve de akıcı olması istenmektedir fakat malzemenin çok akıcı

olması ve gereğinden fazla yumuşaması bölgeden malzeme kaçışına neden olduğundan dayanım değerlerine olumsuz etki yapmaktadır. Sıcaklığı çok artıracak şekilde çok yüksek devir sayısı değerlerinde kaynak takımını çalıştırarak, daha fazla sürtünme ve kaynak bölgesinde daha fazla sıcaklık değerlerine ulaşmanın, oluşturulan kaynaklı bağlantı dayanımına katkı sunmadığı belirlenmiştir. 750 d/d devir sayısı, kaynak takımı için dönme hızı olarak kullanıldığında ise, sürtünme sonucunda kaynak için gerekli olan ve sürtünme ile ulaşılan sıcaklığın, malzemede kaynak için gerekli bir akıcılığa ulaşmada yeterli olmadığı, kaynak işlemi sırasında malzemenin yumuşaması ve hamur haline gelmesi için sürtünme sonucu gerekli sıcaklığa yeterince ulaşılamadığı, bu nedenle de dayanım değerlerine olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir.

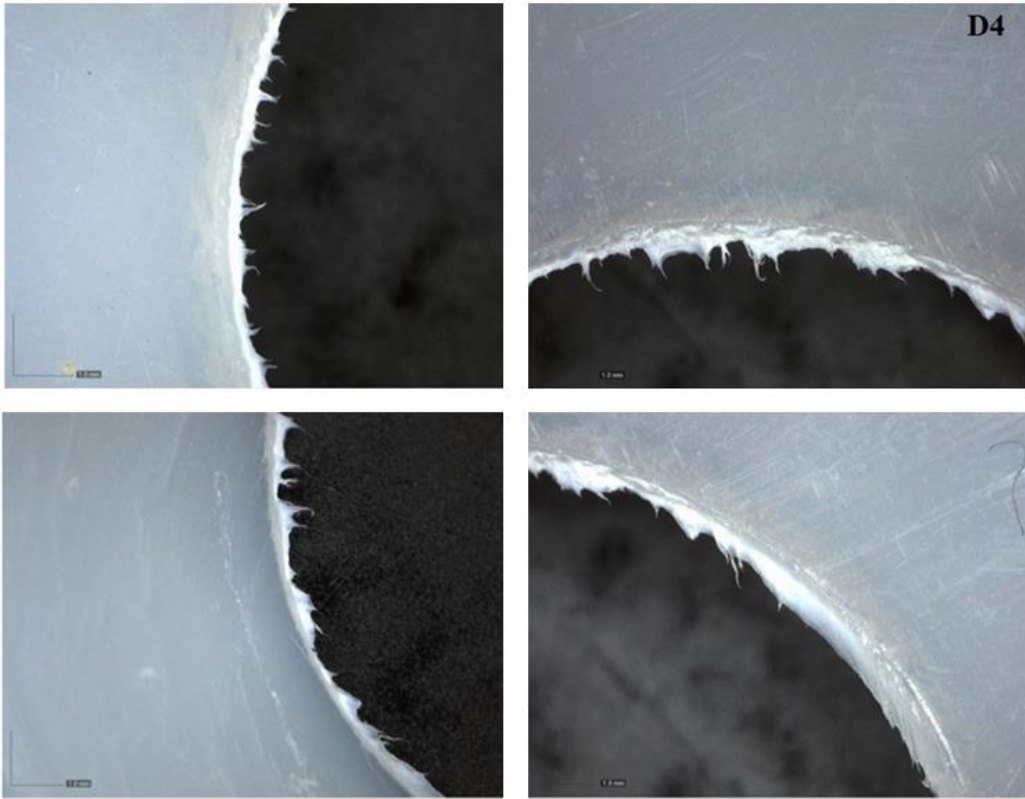


Şekil 2. Çekme kuvveti üzerine takım devir sayısının etkisi

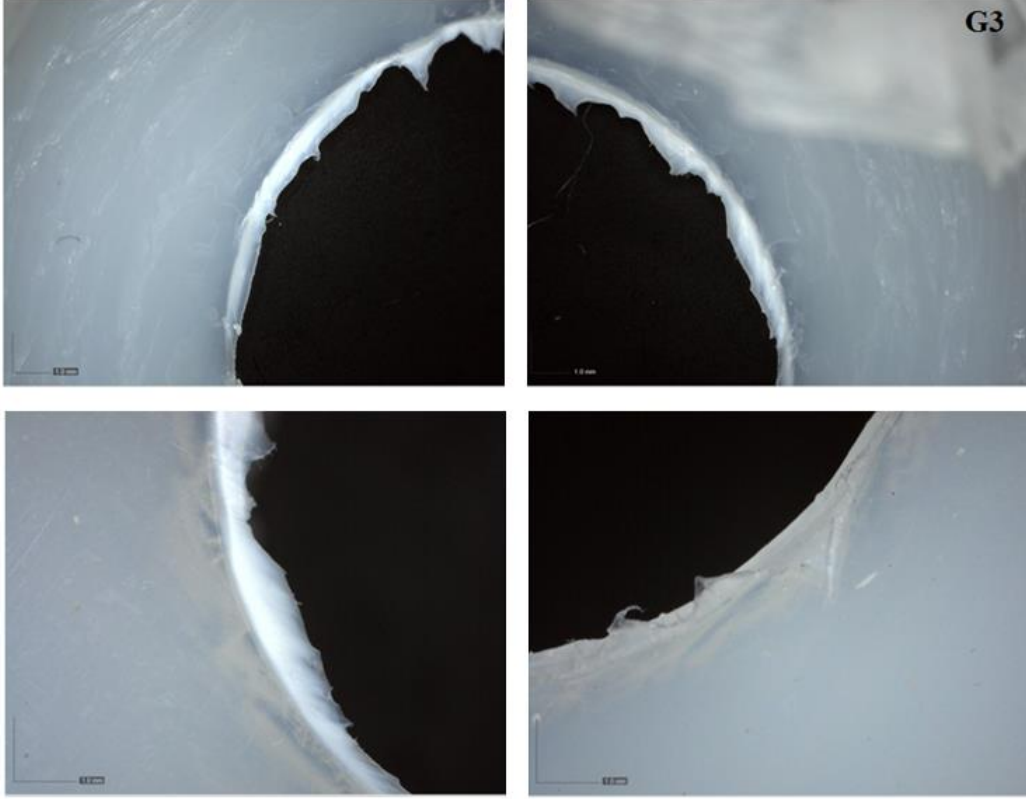
750 d/d, 1250 d/d ve 2000 d/d farklı devir sayılarında, farklı bekleme süreleri ile tekrarlanan deneyler sonucunda en yüksek çekme kuvveti değerlerinin elde edildiği, A2 (750 d/d), D4 (1250 d/d) ve G3 (2000 d/d) kodlu SKNK numunelerinin çekme deneyi sonrası kopma bölgelerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Ucuna metrik 10 vida dişi açılmış silindirik kaynak takımı kullanılarak, Poliamid 6 malzemeye SKNK yöntemi uygulanarak en yüksek çekme kuvvetinin elde edildiği numunelerin kopma bölgeleri, bu deneysel çalışmada optik mikroskop altında incelendiğinde, numunelerin farklı bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntülerinde, kopma bölgelerindeki uzama liflerinin ve sünek tip kırılma davranışının yoğunluğu, dayanım değerleri ile yakından ilgisi olduğu belirlenmiştir. Özellikle D4 kodlu numunenin diğer numuneler ile karşılaştırıldığında kopma bölgesinde yoğunlaşan uzama lifleri ve yüksek oranda sünek kırılma davranışı, dayanım değerlerinin yüksek çıkmasını desteklemektedir. Numunelerin kopma bölgelerinin optik mikroskop altında incelenmesi, çekme kuvveti değerlerinin yorumlanmasında önemli katkılar sunmaktadır. Yapılan incelemede, optimum kaynak parametrelerine ulaşılan, 6,7 mm dalma derinliği ve 100 mm/dak dalma hızı sabit tutularak yapılan deneylerde, elde edilen 652,2 N'luk en yüksek çekme kuvveti değeri, 1250 d/d devir sayısı, 150 sn bekleme süresi parametrelerinin kullanıldığı D4 kodlu numunede çekme deneyi sonrası çekme liflerinin ve sünek kırılma oranının fazlalığı dikkat çekicidir ve bu durum kopmaya karşı direnci ve dayanım değerlerinin yükselmesindeki etkiyi açıkça göstermektedir. Çekme deneyi sonrasında meydana gelen kopma yüzeyleri, optik mikroskop ile incelendiğinde, gözlemlenen çekme liflerinin yoğunluğunun ve sünek kırılma oranının 1250 d/d devir sayısı ve 150 sn bekleme süresi parametreleri ile oluşturulan kaynaklı bağlantıda, diğer numunelere kıyasla daha fazla olması, optimum kaynak parametrelerinin elde edildiği numunedeki ulaşılan çekme kuvvetinin, diğer numunelerden daha yüksek olmasını mühendislik açıdan net bir şekilde açıklamaktadır.



Şekil 3. A2 kodlu numunenin optik mikroskop görüntüleri



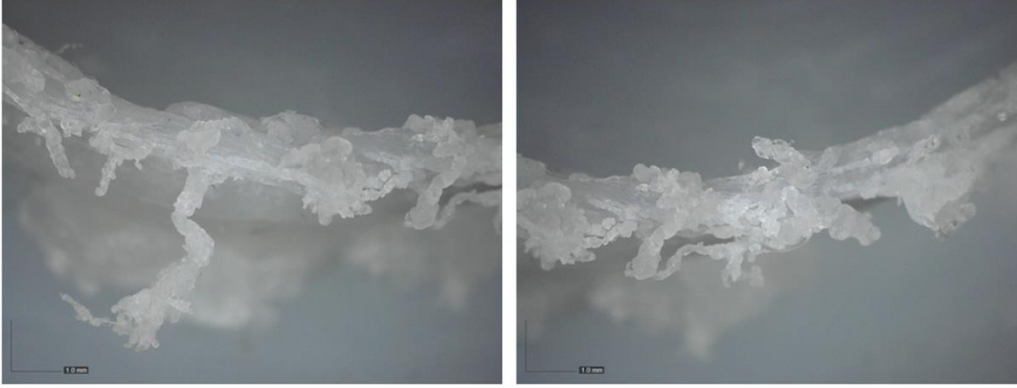
Şekil 4. D4 kodlu numunenin optik mikroskop görüntüleri



Şekil 5. G3 kodlu numunenin optik mikroskop görüntüleri

G3 kodlu numune için kaynak takımının etrafını saran ve kaynak bölgesinden kaçan yumuşamış malzemenin optik mikroskop görüntüleri Şekil 6'da verilmiştir. G3 kodlu numunede kaynaklı bağlantı, 2000 d/d devir sayısı kullanılarak oluşturulmuştur. Yüksek olarak seçilen bu takım dönme hızında, sürtünme arttığı için sıcaklıkta artmıştır, bu nedenle malzeme istenenden daha fazla yumuşamış ve çok akıcı hale gelmiştir. Bu çok yumuşayan ve kaynak bölgesinin dışına çıktıktan sonra katılaştıran malzeme, akış özellikleri ile ilgili bize önemli bilgiler verdiği gibi, ayrıca kaynak bölgesinde kalmayıp kaynak havuzunun dışına çıkış yaparak dayanım değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Malzemenin gereğinden fazla yumuşayarak çok fazla akıcı hale gelmesi ve kaynak bölgesi dışına kaçması, sonrasında da kaynak havuzu dışında katılaşmasının, dayanım değerlerine olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. SKNK sırasında, takımın malzemeye sürtünmesi sonucu oluşan ısı ile yumuşayan malzemenin görüntüsü, malzemenin akışı ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Farklı devir sayılarında kaynaklı bağlantılar oluşturulduğunda, malzemenin yumuşaması ve hamur haline gelmesi, sonuç olarak kaynağa elverişli hale gelmesi veya yüksek devir sayılarında sürtünme nedeniyle sıcaklığın istenenden fazla artması nedeniyle malzemenin istenenden fazla yumuşaması, çekilen optik mikroskop görüntülerinden faydalanılarak ve malzemenin akış özelliklerine bakılarak değerlendirilebilir. Malzemenin kaynak için yeterince yumuşadığı ve adeta hamur haline geldiği akıcılık özelliği sayesinde de kullanılan malzemenin kaynağa elverişli olup olmadığı anlaşılabilir. Bu çalışmada özellikle 1250 d/d devir sayısında kaynak için ulaşılan sıcaklığın malzemede optimum bir akıcılığa ulaşmayı sağladığı, 2000 d/d'da ise sürtünme nedeniyle kaynak sıcaklığının çok arttığı ve akıcılık özelliklerinin istenenden daha fazla olması nedeniyle bölgeden malzeme kaçışına neden olduğu bunun da dayanım değerlerine olumsuz etki yaptığı, 750 d/d'da ise kaynak işlemi sırasında malzemenin yumuşaması ve hamur haline gelmesi için sürtünme sonucu gerekli kaynak sıcaklığına yeterince ulaşılamadığı bu nedenle de dayanım değerlerine olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Devir sayısının artması kaynak için gerekli ısının artması anlamına gelmektedir. Böylece malzemenin yumuşaması ve daha kolay akması mümkün hale gelir. Fakat devir sayısının çok düşük kalması veya çok fazla artması ise akıcılık özelliklerini olumsuz yönde etkilediği bunun da dayanım değerlerine düşüş yönünde etki yaptığı belirlenmiştir. Bu durum, kaynak sırasında optimum bir devir sayısının kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Devir sayısı çok düşük kalırsa, sürtünme ile ulaşılan kaynak sıcaklığının malzemenin istenilen akıcılığa sahip olması için gereken yumuşamaya ulaşamadığı belirlenmiştir. Devir sayısının çok yüksek seçilmesinin ise sürtünme

ile ulaşılan kaynak sıcaklığının malzemenin istenilen akıcılık özelliklerinin çok artması ile kaynak bölgesinin dışına malzeme kaçışına neden olduğu, bununda dayanım değerlerine katkı sağlayacak malzemenin kaynak havuzunun dışına kaçmasına neden olduğu belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmada 1250 d/d devir sayısının ise optimum devir sayısı olarak malzemenin yumuşaması ve akıcılık özelliklerinde istenilen optimum seviye ulaşıldığını ortaya koymuştur. Seçilen parametrelere bağlı olarak 1250 d/d devir sayısında, kaynak işleminde malzemenin yumuşaması ve hamur haline gelmesi, sonuç olarak kaynağa elverişli hale gelmesi için sürtünme sonucu gerekli kaynak işleminde sıcaklığına parçalarda ulaşıldığını göstermiştir.



Şekil 6. G3 kodlu numune için kaynak takımının etrafını saran ve kaynak bölgesinden kaçan yumuşamış malzemenin optik mikroskop görüntüleri

3. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada, numunelerin kopma bölgelerinin ve kaynak sırasında takımın sürtünmesi sonucu yumuşayıp sonrasında katılaşan malzemenin optik mikroskop altında incelenmesi, çekme kuvveti değerlerinin yorumlanmasında önemli katkılar sunmuştur. Numunelerin kopma bölgelerindeki uzama liflerinin ve sünek tip kırılma davranışının dayanım değerleri ile yakından ilgisi olduğu belirlenmiştir. Sürtünme ile ulaşılacak kaynak sıcaklığı için optimum bir devir sayısı belirlenmesinin gerekliliği ortaya konmuştur. Optimum kaynak parametrelerine ulaşılan D4 kodlu numunede çekme deneyi sonrasında meydana gelen kopma bölgeleri optik mikroskop ile incelendiğinde, D4 kodlu numunede gözlemlenen çekme liflerinin yoğunluğunun, diğer numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum, optimum kaynak parametrelerinin elde edildiği numunedeki ulaşılan çekme kuvvetinin, diğer numunelerden daha yüksek olmasını net bir şekilde açıklamaktadır. Özellikle D4 kodlu numunenin diğer numuneler ile karşılaştırıldığında kopma bölgesinde yoğunlaşan uzama lifleri ve yüksek oranda sünek kırılma davranışı, dayanım değerlerinin yüksek çıkmasını desteklemektedir. Bu deneysel çalışmada özellikle 1250 d/d devir sayısında kaynak için ulaşılan sıcaklığın malzemede optimum bir yumuşamaya ve akıcılığa imkan sağladığı, sonuç olarak malzemenin kaynağa elverişli hale gelmesi için sürtünme sonucu gerekli kaynak işleminde sıcaklığına parçalarda ulaşıldığını belirlenmiştir ve bu durum dayanım değerlerine olumlu yönde etki yapmıştır. 2000 d/d'da ise sürtünme nedeniyle kaynak sıcaklığının çok arttığı ve akıcılık özelliklerinin istenenden daha fazla olması nedeniyle çok fazla yumuşayan malzemenin bölgeden kaçışına neden olduğu bununda dayanım değerlerine olumsuz etki yaptığını belirlenmiştir. 750 d/d'da ise kaynak işleminde malzemenin yumuşaması ve hamur haline gelmesi için sürtünme sonucu gerekli sıcaklığa yeterince ulaşılamadığı bununda dayanım değerlerine olumsuz etki yaptığını belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Al-Sabur, R., Serier, M., and Siddiquee, A. N., (2023). Analysis and construction of a pneumatic-powered portable friction stir welding tool for polymer joining, *Advances in Materials and Processing Technologies*, <https://doi.org/10.1080/2374068X.2023.2173769>
- [2] Mishra, A., Potnis, M. S., Sapre, M. S., and Jatti, V. S., (2023). Fracture analysis of friction stir spot welded acrylonitrile butadiene styrene sheet in butt configuration, *Materials Research Express*, <https://doi.org/10.1088/2053-1591/acd1d6>

- [3] Kaştan, A., (2023). Investigation of welding defects in friction stir spot welding of plastics, *Journal of Elastomers & Plastics*, <https://doi.org/10.1177/00952443231158779>
- [4] Mert, Ş., (2010). Polipropilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Feng, Z., Diamond, S., Santella, M. L., Pan, T. Y., and Li, N., (2004). High Strength Weight Reduction Materials - Friction Stir Welding and Processing of Advanced Materials, Oak Ridge National Laboratory Report, DE-AC05-00OR22725, 101-108.
- [6] Feng, Z., Santella, M. L., David, S. A., Steel, R. J., Packer, S. M., Pan, T., Kuo, M., and Bhatnagar, R. S., (2005). Friction Stir Spot Welding of Advanced High-Strength Steels-A Feasibility Study, SAE World Congress, Detroit, Michigan, USA.
- [7] Mitlin, D., Radmilovic, V., Pan, T., Chean, J., Feng, Z., and Santella, M. L., (2006). Structure Properties Relations in Spot Friction Welded (Also Known as Friction Stir Spot Welded) 6111 Aluminum, *Materials Science and Engineering*, vol. 441, pp. 79-96.
- [8] Arıcı, A. A., ve Mert, Ş., (2007). Polipropilen Malzemenin Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı ile Birleştirilmesi, *PAGEV Plastik Dergisi*, 95, Sayfa 152-162.
- [9] Lin, P. C., Pan, J., and Pan, T., (2008). Failure Modes And Fatigue Life Estimations of Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens of 6111-T4 Sheets. Part 1: Welds Made by a Concave Tool, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 74-89.
- [10] Lin, P. C., Pan, J., and Pan, T., (2008). Failure Modes and Fatigue Life Estimations of Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens of 6111-T4 Sheets. Part 2: Welds Made by a Flat Tool, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 90-105.
- [11] Mert, Ş., ve Arıcı, A. A., (2008). Friction Stir Spot Welding Method Using in Polypropylene Sheet Materials Joining, 12th International Materials Symposium, Pamukkale University, pp 1150-1156, Denizli.
- [12] Tran, V. X., Pan, J., and Pan, T., (2008). Fatigue Behavior of Aluminum 5754-O and 6111-T4 Spot Friction Welds in Lap-Shear Specimens, *International Journal of Fatigue*, vol. 30, pp. 2175-2190.
- [13] Tran, V. X., Pan, J., and Pan, T., (2009). Effects of Processing Time on Strengths and Failure Modes of Dissimilar Spot Friction Welds Between Aluminum 5754-O and 7075-T6 Sheets, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, pp. 3724-3739.
- [14] Mert, Ş., ve Mert, S., (2013). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 26-35.
- [15] Mert, Ş., ve Mert, S., (2013). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı Yönteminde Kullanılan Makina ve Ekipmanların İncelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi (Journal of Advanced Technology Sciences)*, Cilt 2, Sayı 3, Sayfa 121-129.
- [16] Mert, Ş., ve Mert, S., (2015). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Yönteminin Otomotiv Sektöründeki Yeri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3, Sayfa 432-438.
- [17] Arıcı, A. A., and Mert, Ş., (2008). Friction Stir Spot Welding of Polypropylene, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 27 (18), pp. 2001-2004.
- [18] Kawasaki Heavy Industries Ltd., (2006 and 2013). A New Method For Light Alloy Joining - Friction Spot Joining - Kawasaki Robot, Japan, www.kawasakirobot.com, visit date: 18 March 2006 and 28 March 2013.
- [19] J. Hinrichs, (2006). Friction Stir Spot Welding, *Friction Stir Link Inc.*, www.frictionstirlink.com, visit date: 21 March 2006.
- [20] Mert, Ş., and Arıcı, A. A., (2011). Design of Optimal Joining for Friction Stir Spot Welding of Polypropylene Sheets, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 16(6), pp. 522-527.

- [21] Yusof, F., Miyashita, Y., Seo, N., Mutoh, Y., and Moshwan, R., (2012). Utilising Friction Spot Joining for Dissimilar Joint Between Aluminium Alloy (A5052) and Polyethylene Terephthalate, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 17, pp. 544-549.
- [22] Bilici, M., K., and Yukler, A. I., (2012). Effects of Welding Parameters on Friction Stir Spot Welding of High Density Polyethylene Sheets, *Materials and Design*, vol. 33, pp. 545-550.
- [23] Bilici, M., K., and Yukler, A. I., (2012). Influence of Tool Geometry and Process Parameters on Macrostructure and Static Strength in Friction Stir Spot Welded Polyethylene Sheets, *Materials and Design*, vol. 33, pp. 145-152.
- [24] Mostafapour A., and Asad, F. T., (2016). Investigations on Joining of Nylon 6 Plates Via Novel Method of Heat Assisted Friction Stir Welding to Find the Optimum Process Parameters, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 21 (8), pp. 660-669.
- [25] Yan, Y., Shen, Y., Zhang, W., and Guan, W., (2017). Effects of Friction Stir Spot Welding Parameters on Morphology and Mechanical Property of Modified Cast Nylon 6 Joints Produced by Double-Pin Tool, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, pp. 2511-2523.
- [26] Çakır, G., Mert, Ş., ve Mert, S., (2017). CNC Tezgahta Polipropilen Malzemeye Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağının Uygulanması ve Optimum Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, ISMSIT 2017, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Tokat, Turkey.
- [27] Çakır, G., Mert, Ş., ve Mert, S., (2017). Polipropilen Malzemeye Uygulanan Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağında Takım Geometrisinin Bağlantı Dayanımına Etkisinin İncelenmesi, ISMSIT 2017, 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Tokat, Turkey.
- [28] Palabıyık, İ. M., (2000). Poliamid 6 (PA6) ve Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Düzenleyici Katkılı ve Katkısız Karışımlarının Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29] Ünal, H., ve Yetgin, S. H., (2016). Poliamid 6 Polimeri ile Poliamid 6/Vaks Karışımının Kendi Üzerlerinde Çalışması Durumundaki Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(2), 457-463.
- [30] Pradhan, D., K., Sahu, B., Bagal, D., K., Barua, A., Jeet, S., and Prahhan, S., (2022). Application of progressive hybrid RSM-WASPAS-grey wolf method for parametric optimization of dissimilar metal welded joints in FSSW process. *Materials Today: Proceedings*, vol. 50, part 5, pp. 766-772.
- [31] Bilici, M. K., Bakır, B., Bozkurt, Y., ve Çalış, İ., (2016). Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynak Tekniği ile Birleştirilen Farklı Alüminyum Levhaların Taguchi Analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(1), 17-23.
- [32] Buffa, G., Fanelli, P., Fratini, L., and Vivio, F., (2014). Influence of Joint Geometry on Micro and Macromechanical Properties of Friction Stir Spot Welded Joints, 11th International Conference on Technology of Plasticity, *Procedia Engineering*, 81 (2014) 2086 - 2091.
- [33] Venukumar, S., Yalagı, S., and Muthukumaran, S., (2013). Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Conventional and Refilled Friction Stir Spot Welds in AA 6061-T6 Using Filler Plate, *Transactions Nonferrous Metals Society China*, 23(2013) 2833-2842.
- [34] Malafaia, A. M. S, Milan, M. T., Oliveira, M. F., and Spinelli, D., (2010). Evaluation of Dynamic Defect Detection in FSSW Welded Joints Under Fatigue Tests, *Procedia Engineering*, 2 (2010) 1823-1828.
- [35] Rosendo, T., Mazzaferro, J., Mazzaferro, C., Tier, M., Ramos, F., Reguly, A., Strohaecker, T., dos Santos, J. (2013). Friction Spot Processes - FSSW and FSpW, http://www.hzg.de/imperia/md/content/gkss/institut_fuer_werkstoffforschung/wmp/poster-apresentacao-gkss2.pdf, visit date: 28 March 2013.

- [36] Smith, C. B., Hinrichs, J. F., and Ruehl, P. C., (2006). Friction Stir and Friction Stir Spot Welding, *Friction Stir Link Inc*, www.frictionstirlink.com, visit date: 21 March 2006.
- [37] Gerlich, A., Su, P., North, T. H., and Bendzsak, G. J., (2005). Friction Stir Spot Welding of Aluminum and Magnesium Alloys, *Materials Forum* 29, 290-294.
- [38] Awang, M., Mucino, V. H., Feng, Z., and David, S. A., (2005). Thermo-Mechanical Modeling of Friction Stir Spot Welding (FSSW) Process: Use of an Explicit Adaptive Meshing Scheme, *SAE International*, 2005-01-1251.
- [39] Lathabai, S., Painter, M. J., Cantin, G. M. D., and Tyagi, V. K., (2006). Friction Spot Joining of an Extruded Al-Mg-Si Alloy, *Scripta Materialia*, 55, 899-902.
- [40] Process phases of friction stir spot welding (2023). *Metal Working World Magazine*, visit date: 09 July 2023. https://www.metalworkingworldmagazine.com/friction-stir-spot-welding-applied-to-tp-aa6061-t4-sheet-metals/lam_2014_001_ricerca1_1/
- [41] Gerlich, A., Su, P., and North, T. H., (2005). Tool penetration during friction stir spot welding of Al and Mg alloys, *Journal of Materials Science*, vol. 40 (24), pp. 6473-6481.
- [42] Mishra, R. S., and Ma, Z. Y., (2005). Friction stir welding and processing, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, vol.50 (1), pp. 1-78.
- [43] Su, P., Gerlich, A., and North T., (2005). Friction stir spot welding of aluminum and magnesium alloy sheets, *SAE International*, 2005-01-1255.

Makale id= 38

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-8964-2792

| 192

Çelik Malzemelerde Kimyasal Bileşimin Kaplamaya ve Korozyona Etkisinin İncelenmesi**Araştırmacı Saliha Doğdu¹**
¹SİMETRİKPRO

Özet: Günümüzde sanayide aktif olarak kullanılan malzemeler çeliklerdir. Çeliklerin kullanım alanının yaygın olması ve maliyeti diğer malzemelere göre daha düşük olmasının yanında paslanma özelliğinin de göz önüne alınması önem arz etmektedir. Paslanma problemine karşılık malzemelerin kaplanabilirliği çalışmaları yapılarak, sektörde çeliklerin kaplanması ile ilgili bir çok yöntem geliştirilmiştir. Sıklıkla kullanılan metal kaplama yöntemlerinden biri olan elektrogalvaniz kaplama yöntemi ile malzemeler anot ve katot uç bulunan bir çinko havuzunda kaplanabilmektedir. Uygulanan çinko kaplama yöntemi ile malzemelerin korozyon dayanımı artmaktadır. Her malzemenin kaplanabilirliğe ve korozyona karşı gösterdiği davranış aynı olmamakla birlikte, malzemenin iç yapısı kaplanabilirliği önemli derecede etkilemektedir. Kaplamanın korozyona doğrudan etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada farklı kimyasal bileşime sahip çelik malzemelerin elektrogalvaniz ile kaplanabilirliği ve kaplama sonrası malzemelerin korozyon dayanım standartlarında belirtilen sürelerde uygulanan tuz testine karşı gösterdikleri davranışların incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada kimyasal bileşimin kaplanabilirliği ve korozyon dayanımına etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrogalvaniz Kaplama, Korozyon, kimyasal Bileşim, Çelik

Investigation of the Effect of Chemical Composition On Coating and Corrosion in Steel Materials

Abstract: Today, the materials actively used in the industry are steels. In addition to the widespread use of steel and its lower cost compared to other materials, it is important to consider its rusting feature. In response to the rusting problem, studies on the coatingability of materials have been carried out, and many methods have been developed for the coating of steels in the sector. With the electrogalvanized coating method, which is one of the frequently used metal coating methods, materials can be coated in a zinc pool with anode and cathode tip. The corrosion resistance of the materials increases with the zinc coating method applied. Although the behavior of each material against platability and corrosion is not the same, the internal structure of the material significantly affects platability. It is known that the coating has a direct effect on corrosion. In this study, it is aimed to examine the ability of steel materials with different chemical compositions to be electrogalvanized and the behavior of the materials after coating against the salt test applied at the times specified in the corrosion resistance standards. In this study, the effect of chemical composition on coatingability and corrosion resistance was investigated.

Keywords: Electrogalvanize Coating, Corrosion, Chemical Composition, Steel

1. GİRİŞ

Metallerin günümüzde kullanımının yaygınlaşması sonrası çeliklerde paslanma problem ile de karşı karşıya kalınmıştır. Bir çok sektörde kullanılan çelik malzemelerin farklı yöntemler ile paslanmaya karşı dayanımını arttırmak için çeşitli çalışmalar yapılmış olup, malzemelerin kaplanabilirliği incelenmiştir. Kaplama prosesi kimyasal bir etkileşim olmasından dolayı, malzeme iç yapısı ve kimyasal bileşimi proses esnasındaki davranışı etkilemektedir.

- Çelikler maksimum %2,06 C içeren demir karbon alaşımlarıdır.

- Çelikler ısıtılma işlem sonrası istenilen dayanımları sağlayabilir.
- Sıcak ve soğuk şekillendirmeye uygundur.
- İşlenebilirliği ve kullanılabilirliği uygundur.
- Çeliğin içine farklı alaşım elementlerinin farklı oranlarda dahil edilmesiyle, çeliğe istenilen farklı özellikler kazandırılabilir.
- Çeliğin içine farklı alaşım elementlerinin farklı oranlarda dahil edilmesiyle, çeliğe istenilen farklı özellikler kazandırılabilir. Çelik içinde Mangan (Mn), Fosfor (P),Kükürt (S) ve Silisyum (Si) en yaygın **kullanılan elementlerdir**.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ															
ALAŞIM	SERTLİK	DAYANIM	AKMA NOKTASI	UZAMA	KESİT DARALMASI	DARBE DİRENCİ	ELASTİKİYE	YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIM	SÖĞÜTME HIZI	KARBÜR OLUŞUMU	AŞINMA DİRENCİ	DÖVÜLEBİLİRLİK	İŞLENEBİLİRLİK	OKSİTLENME	KOROZYON DİRENCİ
Si	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	-
Mn*	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~	↓	~	↓↓	↑	↓	~	-
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	-	-	-	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	-
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑↑
Ni	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓↓	-	↓↓	↓	↓	↓	-
Ni**	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	-	↑↑↑	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓	-	↓↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	~	-	↑↑↑	↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	-
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	~	↓	-
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	-	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	-
S	-	-	-	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑

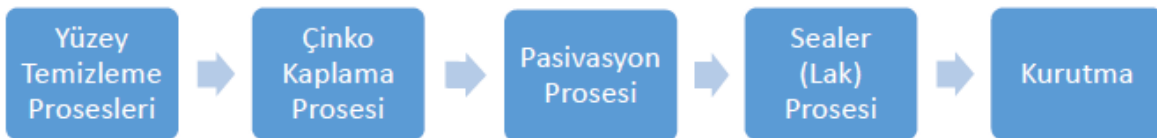
* Perlitik çeliklerde
** Östenitik çeliklerde

↑ Arttırır ↓ Azaltır ~ Değiştirmez - Önemsiz yada bilinmiyor

Şekil1.1. Alaşım elementlerinin çeliğe etkisi

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çinko Kaplama Prosesi



Şekil 2.1. Çinko kaplama aşamaları

1. Yağ alma işlemi: Malzeme yüzeyinde yer alan imalat yağları, koruyucu yağlar ve yağ atıklarını temizlemek için uygulanan işlemdir.

2. Asit ile temizleme işlemi: Yağ alma işleminde temizlenemeyen, yüzeydeki pas ve oksit tabakaların temizlenmesi için uygulanan işlemdir. Yüzeyde çok fazla pas ve atık varsa asit temizlemeye yetmez ve mekanik bir işlem gerektirir.

3. Elektrikli yağ alma işlemi: Malzemede bulunan mikro yapıdaki boşlukları temizlemek için uygulanan temizleme aşamasıdır. Banyodaki su elektroliz olarak hidrojen gazı çıkarır ve böylece malzeme yüzeyindeki yağ temizlenmektedir.

4. Durulama işlemi: Uygulanan temizleme işlemlerinden sonra malzemenin aşınmasını engellemek için durulama banyosuna daldırılmaktadır. Böylece banyolar arasındaki kimyasal taşınımı minimize edilmektedir. Durulama banyolarının temizliği bu açıdan önem taşımaktadır.

5. Kaplama işlemi: Çinko kaplama, sanayide en çok tercih edilen kaplama çeşididir. Malzemenin mekanik özelliklerini değiştirmeden malzemeyi korozyona karşı koruyan bir kaplama çeşidi olduğu bilinmektedir. Düşük maliyet ve parlak görüntüsü tercih edilme sebepleri arasında yer almaktadır. Kaplama kalitesini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Banyonun çalışma parametreleri, sıcaklığı, kaplama süresi gibi faktörler kaplama dağılımını ve görüntüsünü aynı zamanda kaplama kalınlığını etkilemektedir. Kaplama kalınlığı banyoya verilen akım değeri ve kaplama süresi ile doğrudan orantılıdır. Çelik malzeme katodik, çinko elementi anodik davranmaktadır. Kaplama işlemi asidik ve bazik olmak üzere iki farklı yöntemle yapılmaktadır.

6. Pasivasyon işlemi: Çinko kaplanmış malzemenin yüzeyi yumuşaktır. Yüzeyi pasif hale getirmek ve beyaz pas oluşumunu azaltmak amacıyla pasivasyon işlemi uygulanmaktadır. Aynı zamanda malzeme görünümünü de iyileştirmeye katkı sağlamaktadır. İçerdiği formülasyonların farklılığı ile çinko kaplamada 3 çeşit pasivasyon rengi bulunmaktadır. Beyaz pasivasyon, sarı pasivasyon ve siyah pasivasyon olmak üzere farklı tipleri mevcuttur. Farklı pasivasyon türlerinin korozyona karşı etkileri de farklı olduğu bilinmektedir.

7. Lak işlemi: Pasivasyon işlemi sonrası ekstra koruyuculuk sağlayan işlemdir. Bu işlem isteğe bağlı uygulanan bir koruma tabakasıdır.

8. Kaplama prosesi tamamlanan malzemeler 80-120 °C’de kurutma fırınında kuruyana dek bekletilmektedir. Malzemenin yeterince kurumaması çeşitli problemlere yol açabilmektedir. Bu nedenle son işlem olan kurutma prosesi önem kazanmaktadır.

2.2. Korozyon

Çelik malzemelerin yüzeyi oksijen ile temas ettiğinde malzeme özelliklerinin etkilendiği ve pas oluşuma neden olan durum korozyon görülmeye başlamaktadır. Kaplama işlemi ile malzeme yüzeyinde koruyucu bir çinko tabakası oluşmaktadır. Koruyuculuğu arttırmak için çinko kaplı katmanın üzerine pasivasyon ve lak işlemi uygulanmaktadır. İlk önce oksijen pasive edilmiş yüzey ile karşılaşarak pas oluşturmamaktadır. Zamanla oksijen çinko tabakasına ulaşmaktadır. Çinko tabakası ulaşan oksijen Zn elementi ile ZnO_2 oluşturarak beyaz pas oluşturmaktadır. Çinko tabakasını aşan oksijen demir esaslı ana malzeme ile karşılaştığında FeO_2 tabakası oluşturarak kırmızı pas oluşturmaktadır.



Şekil2.2. Çinko kaplanmış malzemenin şematik görünümü

Korozyon dayanımını ölçmek için özel cihazlar geliştirilmiştir. Tuz püskürtme testi 1898 yılında Charles Benjamin Dudley öncülüğünde tasarlanan korozyon test cihazı ASTM B117 standardına göre çalıştırılmaktadır. Tuz püskürtme cihazı, parça yüzeyine etkileyebilecek parametre değerlerini sabit tutarak yüzeye tuz püskürtme olarak kapalı bir kabin içerisinde gerçekleştirilmektedir. %5 NaCl tuzu ile hazırlanmış saf suyun bulunduğu kabin 35 °C' ve doyma kabin sıcaklığı 45 °C'de tutulmaktadır. Çözelti pH değeri 6,5-7,2 arasındadır. Verilen hava basıncı 10-20 psi olup, sis yoğunluğu 1,5 ml/h'dir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada 6 farklı malzemeden kesilmiş çap şeklindeki numune malzemeler kullanılmıştır. AISI standardına göre 1050 imalat çeliği, O2 soğuk takım çeliği, 4140 ıslah çeliği, D2 takım çeliği, 1020 karbon çeliği ve 4340 ıslah çeliği malzemelerinden elde edilen numunelere sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaraları verilmiştir. Seçilen malzemelerin kimyasal bileşimleri birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.1. 1 nolu numune AISI 1050 malzemenin kimyasal bileşimi

MALZEME		AISI 1050		
Malzemenin kimyasal bileşimi				
% C	%Si	%Mn	%P	%S
0,42-0,60	0,15-0,35	0,50-0,80	0,045	0,045

Çizelge 4.2. 2 nolu numune AISI O2 malzemenin kimyasal bileşimi

MALZEME		AISI O2		
Malzemenin kimyasal bileşimi				
% C	%Si	%Mn	%P	%S
0,85-0,95	0,10-0,40	1,90-2,10	0,03	0,03
%Cr	%V			
0,20-0,50	0,05-0,15			

Çizelge 4.3. 3 nolu numune AISI 4140 malzemenin kimyasal bileşimi

MALZEME		AISI 4140		
Malzemenin kimyasal bileşimi				
% C	%Si	%Mn	%P	%S
0,38-0,45	0,15-0,40	0,50-0,80	0,035	0,035
%Cr	%Mo			
0,90-1,2	0,15-0,30			

Çizelge 4.4. 4 nolu numune AISI D2 malzemenin kimyasal bileşimi

MALZEME		AISI D2		
Malzemenin kimyasal bileşimi				
% C	%Si	%Mn	%P	%S
1,45-1,60	0,10-0,60	0,20-0,60	0,03	0,03
%Cr	%Mo	%V		
11,0-13,0	0,60-0,80	0,90-1,10		

Çizelge 4.5. 5 nolu numune AISI 1020 malzemenin kimyasal bileşimi

MALZEME		AISI 1020		
Malzemenin kimyasal bileşimi				
% C	%Si	%Mn	%P	%S
0,15-0,24	0,10-0,30	0,30-0,60	< 0,040	< 0,050
%Cr	%Mo	%V		
11,0-13,0	0,60-0,80	0,90-1,10		

Çizelge 4.6. 6 nolu numune AISI 4340 malzemenin kimyasal bileşimi

MALZEME		AISI 4340		
Malzemenin kimyasal bileşimi				
% C	%Si	%Mn	%P	%S
0,30-0,38	0,15-0,40	0,40-0,70	0,035	0,035
%Cr	%Mo	%Ni		
1,40-1,70	0,15-0,30	1,40-1,70		

Numunelerin Kaplanması

Numuneler elektrogalvaniz yöntemi ile askıya asılarak çinko kaplanmıştır. Mevcut firmada bulunan askı üretim hattı yarı otomasyona sahip olup, çinko ve çinko nikel kaplama işlemi yapmaktadır. Askı hattında 5 adet alkali çinko kaplama banyosu ve 3 adet alkali çinko nikel kaplama banyosu bulunmaktadır. Askı hattında yapılan çalışmada çinko kaplama üzerine beyaz pasivasyon işlemi uygulanmıştır.

Numune parçalar askıya asıldıktan sonra üretim hattına alınmıştır. İlk aşama olarak yüzey temizleme işlemleri sırasıyla sıcak yağ alma, asidik yağ alma ve elektrikli yağ alma işlemleri uygulanmıştır. Sıcak yağ alma işleminde Hakupur 10-2 kimyasalı kullanılmakta olup, %4,2 konsantrasyonunda ve 55 °C sıcaklıkta proses uygulanmıştır.

Yüzey temizliği sağlanmış numuneler çinko kaplanmak üzere kaplama banyosunda 90 dakika süre ile tutulmuştur. Kaplama banyosunda kimyasal Galvano mondo- Invicta400 kimyasalı kullanılmıştır. Banyo değerleri Zn 8,7 %, NaOH 120% ve 25 °C sıcaklıkta iken kaplama prosesi uygulanmıştır.

Kaplama için belirlenen kaplama süresi tamamlandığında, malzemenin kaplamasına renk veren ve korozyona karşı dayanımı arttıran pasivasyon işlemi uygulanmıştır. Sanayide ağırlıklı olarak kullanılan beyaz pasivasyon tercih edilmiştir. Freeblue 3502 kimyasalı kullanılmakta olup, 2,2 Ph değerinde proses uygulanmıştır.

Kaplama işlemi tamamlanan malzemeler kurutulmak üzere banyolardan çıkarılmıştır. 100°C’de 10 dk süre ile kurutma fırınında ekleyerek kurutma işlemi tamamlanmıştır.

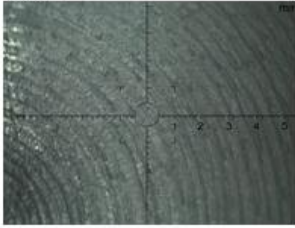


Şekil 3.1. Numunelerin kaplandığı askı kaplama hattı

Kaplama Kalınlığı Ölçümü

Kaplanan numunelerin kaplama kalınlıklarını ölçmek için Fischer marka X-ray cihazı kullanılmıştır. Bu yöntem ile malzemelerde nokta atışı ölçüm yapılabilen olup, hata oranı oldukça düşüktür. Yapılan ölçüm sonuçları ile malzemeler belirlenen kaplama süresinde kaplama kalınlığı 8-12 μ aralığında ölçülmüştür.

Canli

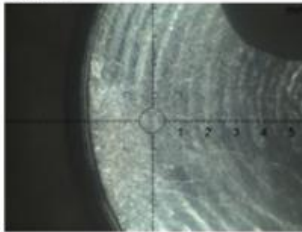


Ortalama	8.97 μ m
Standard deviation	0.765 μ m
C.O.V. (%)	8.53
Range	1.52 μ m
Number of readings	3
Min. reading	8.17 μ m
Max. reading	9.69 μ m
Measuring time	5 sec

n=	1	Zn 1 =	9.69 μ m
n=	2	Zn 1 =	8.17 μ m
n=	3	Zn 1 =	9.06 μ m

Şekil 3.2. Numune 1 X-ray kalınlık ölçümü

Canli

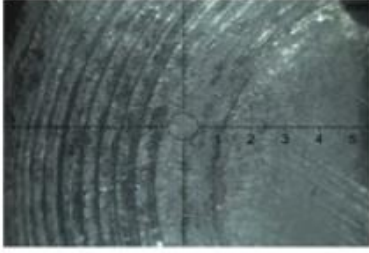


Ortalama	10.4 μ m
Standard deviation	0.289 μ m
C.O.V. (%)	2.78
Range	0.58 μ m
Number of readings	3
Min. reading	10.1 μ m
Max. reading	10.7 μ m
Measuring time	5 sec

n=	1	Zn 1 =	10.4 μ m
n=	2	Zn 1 =	10.1 μ m
n=	3	Zn 1 =	10.7 μ m

Şekil 3.2. Numune 2 X-ray kalınlık ölçümü

Canli

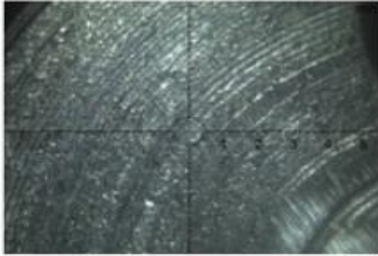


Ortalama	8.53 μm
Standard deviation	0.531 μm
C.O.V. (%)	6.22
Range	0.94 μm
Number of readings	3
Min. reading	7.92 μm
Max. reading	8.85 μm
Measuring time	5 sec

n=	1	Zn	1 =	8.85 μm
n=	2	Zn	1 =	7.92 μm
n=	3	Zn	1 =	8.81 μm

Şekil 3.3. Numune 3 X-ray kalınlık ölçümü

Canli

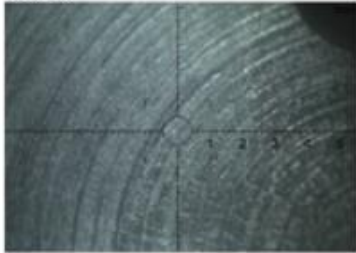


Ortalama	9.63 μm
Standard deviation	0.166 μm
C.O.V. (%)	1.72
Range	0.33 μm
Number of readings	3
Min. reading	9.46 μm
Max. reading	9.79 μm
Measuring time	5 sec

n=	1	Zn	1 =	9.65 μm
n=	2	Zn	1 =	9.46 μm
n=	3	Zn	1 =	9.79 μm

Şekil 3.4. Numune 4 X-ray kalınlık ölçümü

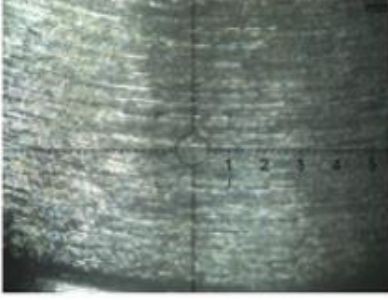
Canli



Ortalama	9.02 μm
Standard deviation	0.477 μm
C.O.V. (%)	5.29
Range	0.93 μm
Number of readings	3
Min. reading	8.49 μm
Max. reading	9.42 μm
Measuring time	5 sec

n=	1	Zn	1 =	9.15 μm
n=	2	Zn	1 =	8.49 μm
n=	3	Zn	1 =	9.42 μm

Şekil 3.5. Numune 5 X-ray kalınlık ölçümü

Canlı

Ortalama	6.86 μm
Standard deviation	0.129 μm
C.O.V. (%)	1.88
Range	0.23 μm
Number of readings	3
Min. reading	6.71 μm
Max. reading	6.95 μm
Measuring time	5 sec

n=	1	Zn 1 =	6.95 μm
n=	2	Zn 1 =	6.71 μm
n=	3	Zn 1 =	6.93 μm

Şekil 3.6. Numune 6 X-ray kalınlık ölçümü

Tuz Testi Uygulanması

Çinko beyaz kaplanan numune malzemelerin korozyon dayanımını belirlemek için, numuneler tuz testi kabini içinde teste tabii tutulmuştur. Otomotiv sanayinde belirlenen kaplama şartnamelerine göre çinko beyaz kaplanan malzemelerde istenilen tuz testi dayanımı 480 saat olarak belirlenmiştir. İstenilen genel müşteri şartnamelerine göre numuneler 480 saat tuz testinde bekletilmiştir. 24 saat periyotlar ile tuz testi kontrolleri sağlanmıştır.



Şekil 3.7. Numunelerin tuz testi yerleşimi

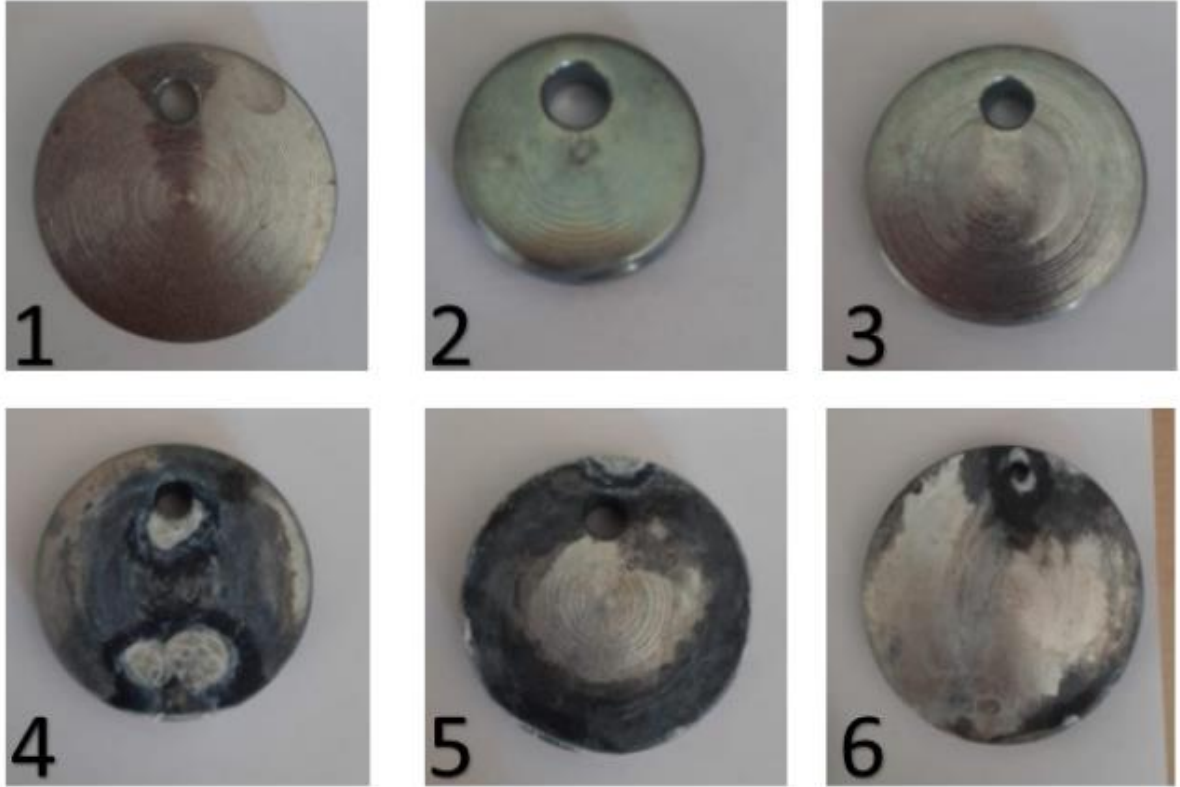
24 saat periyotlar ile yapılan kontroller sonucunda 4 nolu numunede beyaz pas başlangıcı 240 saat sonunda görülmüştür. 5 ve 6 nolu numunelerde beyaz pas mevcut iken, 240 saat sonunda diğer numunelerde paslanma görülmemiştir.

24 saat periyotlar ile yapılan kontroller sonucunda 4 nolu numunede beyaz pas başlangıcı 240 saat sonunda görülmüştür. 5 ve 6 nolu numunelerde beyaz pas mevcut iken, 240 saat sonunda diğer

numunelerde paslanma görülmemiştir. 5 nolu numunede beyaz pas başlangıcı 288 saat sonunda görülmüştür. 288 saat sonunda 1, 2 ve 3 nolu numunelerde paslanma hala görülmemiştir.

Belirlenen test süresi boyunca parçalardaki paslanma süreci incelenmiştir. Parçaların 360 ve 384 saat sonraki görüntüsü şeklindeki gibidir. Beyaz pas olan 4, 5 ve 6 nolu numunelerde pas ilerleyişi devam etmektedir. 360 saat sonunda 1 nolu numune de paslanma başlamıştır. Diğer numunelerde beyaz pas görülmemiştir.

Tuz testi 480 saat sonunda tamamlanmış olup, numuneler testten çıkarılmıştır. Testten çıkan numunelerdeki pas oranları tek tek incelenerek gerekli görseller alınmıştır. Test sonucunda 2 ve 3 nolu numunelerde pas görülmemiştir. En erken paslanan 6 nolu numune olurken, daha sonra 5 nolu numune ve 4 nolu numunede, en son 1 nolu numunede paslanma görülmüştür.



Şekil 3.8. 480 saat sonra test bitiminde numunelerin paslanma durumu

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan kaplama çalışması sonucunda aynı üretim parametrelerine sahip numuneler arasında kaplama kalınlığı en fazla olan numune AISI O2 malzemeden üretilmiş 2 nolu numunedir. Kaplama kalınlığı 3 ölçüm noktasından alınan ortalama değere göre 10,4 μ olarak ölçülmüştür.

Yapılan kaplama çalışması sonucunda aynı üretim parametrelerine sahip numuneler arasında kaplama kalınlığı en düşük olan numune AISI 4340 malzemeden üretilmiş 6 nolu numunedir. Kaplama kalınlığı 3 ölçüm noktasından alınan ortalama değere göre 6,86 μ olarak ölçülmüştür.

Yapılan tuz testi çalışması sonucunda aynı anda tuz testine atılan numuneler arasında pas başlangıcı en erken olan numune 192 saat sonunda AISI 4340 malzemeden üretilmiş 6 nolu numunedir.

Yapılan tuz testi çalışmasında 240 saat sonunda AISI D2 malzemeden üretilmiş 4 nolu numunede pas başlangıcı gözlenmiştir. 280 saat sonunda AISI 1020 malzemeden üretilmiş 5 nolu numunede pas

başlangıcı gözlenmiştir. 360 saat sonunda AISI 1050 malzemeden üretilmiş 1 nolu numunede pas başlangıcı gözlenmiştir.

Yapılan tuz testi çalışmasında 480saat sonunda test bitiminde AISI O2 malzemeden üretilmiş 2 nolu numune ve AISI 4140 malzemeden üretilmiş 3 nolu numunede paslanma gözlenmemiştir.

Vanadyum elementi kaplama prosesini olumlu etkilediği gözlemlenmiştir. Vanadyum alaşımı bulunan malzemelerin aynı üretim parametrelerinde daha kalın bir kaplama kalınlığına sahip olduğu görülmüştür.

Nikel elementi kaplama prosesini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Nikel alaşımı içeren çelik malzemelerin çinko kaplamasında nikel elementinin çinko çekme özelliğinin zayıf olmasından kaynaklı, düşük kaplama kalınlığı ve düşük korozyon dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Krom elementinin korozyona karşı olumsuz etkide bulunduğu gözlemlenmiştir. Görünüm olarak kaplama prosesine olumlu cevap vermiş gibi gözükse de istenilen dayanımlarda problem yaşanma ihtimali bulunmaktadır.

Molibden elementi kaplama prosesini olumlu etkilediği gözlemlenmiştir. Bu olumlu etkiye karşılık molibden alaşımı korozyona karşı da dayanımı arttırdığı düşünülebilir.

Fosfor ve kükürt elementinin kaplamayı etkilediği daha önceki yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Malzemelerin içerdiği kimyasal bileşime ve deney sonucu yapılan gözlemlere göre malzemede bulunan kükürt ve fosfor korozyon dayanımını olumlu etkilediği gözlemlenmiştir.

Mangan elementi kaplama prosesini olumlu etkilediği gözlemlenmiştir. Kaplama kalınlığı en yüksek olan numunede mangan oranı en fazladır. Yüksek oranda mangan alaşımı içeren çelik malzemelerin korozyona karşı dayanımının yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Akgün, Ş. Ö.2010. Çelik Kimyasal Kompozisyonunun Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama Kalınlığına Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [2] Çetinkaya, E. 2006. Çinko-Nikel Alaşım Kaplamalarının Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [3] Elkoca, O. 1996. Silisyum İçerikli Çeliklerde Mekanik Yüzey İşlemlerinin Sıcak Daldırma Kaplama Davranışına Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 1996/2.
- [4] Frazier, S. K.1964.Progress, Problems and Potential in Hot Dip Galvanizing. 7th International Galvanizing Conference, 437-444.
- [5] Foct, J., Perrot, P., Reumont, G. 1993. Interpretation of The role of Silicon on the Galvanizing Reaction Based on Kinetics, Morphology and Thermodynamics. ScriptaMetallurgica et Materialia, 28, 10, 1195-1200.
- [6] Gülçelik, A.G. 2019. Elektrolitik Çinko Kaplamalı Plakalarda Hızlandırılmış Korozyon Testi Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Ve İmalat Anabilim Dalı, İstanbul.
- [7] Habraken, L. 1979. Contribution To A Scientific Explanation Of The Metallurgical Phenomena Occuring In The Iron-Zinc Reaction, 12th Int. Galv. Conf., 121-129.
- [8] İspartalı, H. 2020. AISI 4140 Çeliğinin Sıcak Daldırma Galvaniz, Çinko Lamelli ve elektro Galvaniz Kaplama Uygulaması Sonrasında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- [9] İçin, K., 2019. Çeliklerin Sınıflandırılması. 2019, <https://avesis.ktu.edu.tr> / Çeliklerin sınıflandırılması.pdf

- [10] Kardeş, F.B. 2020. Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama Özelliklerine Etki Eden Faktörlerin Pilot Bir Firmada İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.
- [11] Pektaş, İ. 2018. Galvanizcinin El Kitabı, Adana, Türkiye, 61.
- [12] Yaluk, D. 2009.Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Adana.



Makale id= 45

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-6755-1013

| 202

A Graph Database Model for Rule Based Credit Card Fraud Prevention System

Researcher Bahadır Esad Demir^{1,2}, Dr. Öğretim Üyesi Veysel Harun Şahin²

¹Department of Computer and Information Engineering, Institute of Natural Sciences, Sakarya University, Sakarya, Türkiye

²Architect Information Systems, Istanbul, Türkiye

³Department of Software Engineering, Faculty of Computer and Information Sciences, Sakarya University, Sakarya, Türkiye

*Corresponding author: Bahadır Esad Demir

Abstract: Credit card fraud, refers to fraudulent activities or scams in credit card transactions, where unauthorized or deceptive means are used to attempt to gain financial gain by using someone else's credit card information. With the increasing number of credit card transactions each day, many banks and institutions are conducting studies to detect and prevent fraud cases. Recently, numerous methods have been proposed using machine learning algorithms related to this issue, but most banks and institutions prefer and use rule-based systems. In rule-based fraud detection and prevention systems, cases that occur are analyzed, and the rules are written to record the incoming transaction in the system for the authorized personnel's examination based on whether the transaction is suspicious or not. By analyzing this data in the system, fraud transactions and patterns can be detected, and rules can be enriched accordingly. While performing these analyses, Graph databases that can highlight the relationships of suspicious transactions instead of relational databases can be used. In this study, a model has been proposed to examine a credit card fraud dataset in the Neo4j application, and based on this model, sample queries have been executed to provide an additional metric to rule-based systems.

Keywords: Graph Database, Rule Based Fraud Systems, Fraud Detection and Prevention

1. INTRODUCTION

Fraud can be defined as the trick applied to gather some kind of benefit such as money. It can be applied by a single person or a group of people. There are several types of frauds such as insurance fraud, financial fraud, and e-commerce fraud. This paper focuses on financial fraud. A detailed survey on financial fraud works can be found in (Mangala & Soni, 2023).

Fraud detection is of critical importance in banking sector like in other sectors. Currently there are numerous different fraud detection approaches for financial systems (Hilal et al., 2022). However, emerging technologies, increasing transaction counts, variety of transaction channels, and new methods developed by scammers make it harder to detect and prevent fraud. Therefore, scientists and engineers must continue to work on these systems and try to develop new methods, introduce new approaches, and find new ways to increase the effectiveness of fraud detection and prevention systems in the face of new developments.

A financial fraud detection system can be developed using different methods and technologies. Today, rule-based methods are widely used in banking sector. Rule-based systems can be configured and run rapidly. One of the important aspects of rule-based systems is human. Qualified employers write the rules for these systems. Nowadays, machine learning techniques, and graph databases are also being

integrated into fraud detection systems. This paper focuses on the usage of graph databases in fraud detection systems.

Graph database is a NoSQL type database. As its name implies, it is based on graphs. The data is represented using edges, nodes, and their properties. Relationships between nodes are of critical importance. Relationship between data is a physical connection in graph databases. They are useful for applications such as social networking systems, recommendation engines, and fraud detection and prevention systems.

| 203

Because the relationships between data is stored as physical connections in graph databases it can be said that they can be effective in uncovering the fraud rings and transaction networks. Therefore, they can help the fraud detection process of fraud detection and prevention systems. Rule-based fraud detection and prevention systems are actively used today. Graph databases can be integrated into these systems to improve the efficiency of fraud detection. For this purpose, banking information related to fraud detection and prevention, must be stored in these databases.

In this paper, we present a data model to represent banking information in graph databases. With the help of this model, relevant graph databases can be created, and hence then can be integrated into rule-based systems. This may lead to an increase in effective fraud detection on these systems.

2. RELATED WORK

There are survey studies on frauds and fraud detection. Mangala et al. provides a systematic literature review on frauds in banking sector in (Mangala & Soni, 2023). Hilal et al. presents a review of the several anomaly detection techniques applied to detect financial fraud in (Hilal et al., 2022). Abdallah et al. provides a systematic overview on the issues that affect the performance of fraud detection systems in (Abdallah et al., 2016). Pourhabibi et al. presented a systematic literature review graph-based anomaly detection approaches for fraud detection in (Pourhabibi et al., 2020).

Correa Bahnsen et al. focused on extracting features for credit card fraud detection by expanding transaction aggregation strategy in (Correa Bahnsen et al., 2016). Carcillo et al. presented a hybrid technique that combines supervised and unsupervised techniques to improve the credit fraud detection accuracy in (Carcillo et al., 2021). Ceronmani Sharmila et al. presented a credit card fraud detection approach based on local outlier factor (LoF) and isolation forest algorithm in (Ceronmani Sharmila et al., 2019). Huang et al. developed a financial fraud detection framework namely CoDetect, that leverages both transaction network information and the feature information of the entities in the networks in (Huang et al., 2018).

Vorobyev and Krivitskaya introduced a rule generation framework for a fraud-detection system for dealing with high number of false positives in rule-based fraud detection in (Vorobyev & Krivitskaya, 2022). The framework generates automatic rules using decision tree, random forest, and gradient boosting algorithms. Gianini et al. used game theory to manage the rules for fraud detection in (Gianini et al., 2020).

Ozcan and Genc focused on the transaction fraud detection from the machine learning viewpoint in (Ozcan & Genc, 2022). They introduced a deep learning model that consists of an auto-encoder and classifier. Yuksel et al. proposed a new approach that utilizes neighborhood component analysis dimensionality reduction to for credit card fraud detection in (Yuksel et al., 2020). Van Vlasselar et al. introduced a credit card fraud detection approach named APATE, that combines several features of customers and networks in (Van Vlasselaer et al., 2015).

Jing et al. introduced a graph-based semi supervised fraud detection framework in (Jing et al., 2019). They translated the structured data to graph format and used GraphSAGE algorithm. In (Prusti et al., 2021) Prusti et al. proposed a fraud detection system by getting help from graph database. They extracted the graph features using Neo4j tool. Molloy et al. focused on cross channel fraud detection in (Molloy et al., 2017). In their presented approach they used graphs to extract features to help fraud detection. Kurshan et al. investigated the implementation difficulties of graph computing for fraud detection systems in (Kurshan et al., 2020). Çavşi Zaim et al. focused on the usage of graph database and machine learning techniques in fraud detection systems in (Çavşi Zaim et al., 2021). In (Van Belle et al., 2022) Van Belle et al. looked at the inductive graph representation learning techniques from the viewpoint of

fraud detection and evaluated the capability of GraphSAGE and Fast Inductive Graph Representation Learning in a fraud detection setting. In (Henderson, 2020) Henderson gave information about the properties and benefits of graph databases from the viewpoint of financial fraud detection.

3. MATERIALS AND METHODOLOGY

3.1. Graph DB and Neo4j

Graph databases store entities with nodes connected physically by edges, whereas RDBs store entities as rows and columns in tables and combine different tables using JOIN when needed. Data size does not pose a problem for graph databases. They can efficiently handle large datasets. One of the most well-known graph database applications is Neo4j (Neo4j, 2023). Neo4j is a graph database application that stores and manages data in the form of nodes and relationships, enabling efficient and flexible querying and analysis of complex, interconnected data.

Query languages used vary depending on the database technology and data format. While RDBs use SQL as the query language, graph databases use different languages like Cypher (*Neo4j Cypher Query Language*, n.d.) and SparQL (*SPARQL Query Language for RDF*, n.d.). Cypher, developed by Neo4j, is designed for effectively retrieving data from graph databases.

3.2. Dataset and Data Preparation

In this study, the BankSim dataset (Lopez-Rojas & Axelsson, 2014a, 2014b) from Kaggle was used. The BankSim dataset was synthetically created based on fraud patterns in a bank's customer payments, with the purpose of being used in academic research. Real personal information is not included in the dataset to ensure data security. The numerical details of this dataset, created with a 180-day sampling, are shown in Table 2. Additionally the columns in the BankSim dataset and their details and features are presented in Table 3.

Table 1 Fraudulent And Non-Fraudulent Transaction Counts In The BankSim Dataset

Total	Non-Fraudulent	Fraudulent
594643	587443	7200

Table 2 Column Details In The BankSim Dataset

Column	Description
Step	The BankSim dataset is a 180-day synthetic dataset. The "Step" column represents the day information.
Customer	Field representing the customer who makes the bank payment.
Age	Information about the customer's age group. '0' represents individuals under the age of 18, while '1' represents the age range of 19-25.
Gender	Information about the customer's gender.
Zipcode	Zip code information for the location where the payment is made by the customer.
Merchant	Field representing the merchant where the payment is made by the customer.
ZipMerchant	Zip code information for the relevant merchant.
Category	Category of the payment business.
Amount	Field for the payment/transaction amount.
Fraud	Field indicating whether the payment is a fraud transaction.

Considering the volume of data in our proposed model, it is not necessary to know the exact amount information. Instead, dividing the amounts into more functional and defined groups will make our model and query outputs more meaningful.

Therefore, our primary task is to find the most suitable number of Class Intervals based on our data. There are multiple methods for this. While Sturge's Rule (Sturges, 1926) is used to find the number of groups for symmetric and non-skewed datasets, Doane's Rule (Doane, 1976) is used for skewed and non-symmetric datasets. The formula for Doane's Rule is shown in Equations 1 and 2. With this formula, our optimal number of groups is 21.

$$k = 1 + \log_2(n) + \log_2\left(1 + \frac{|g_1|}{\sigma_{g_1}}\right) \quad (1)$$

$$\sigma_{g_1} = \sqrt{\frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)}} \quad (2)$$

After determining the number of groups, we need to group the data accordingly. The amount information in our dataset does not contain symmetric data. As we can see in the histogram graph, the amount information is concentrated in a certain range. If we create a frequency table by dividing the data into equal intervals based on the number of groups, our frequency table will be less functional.

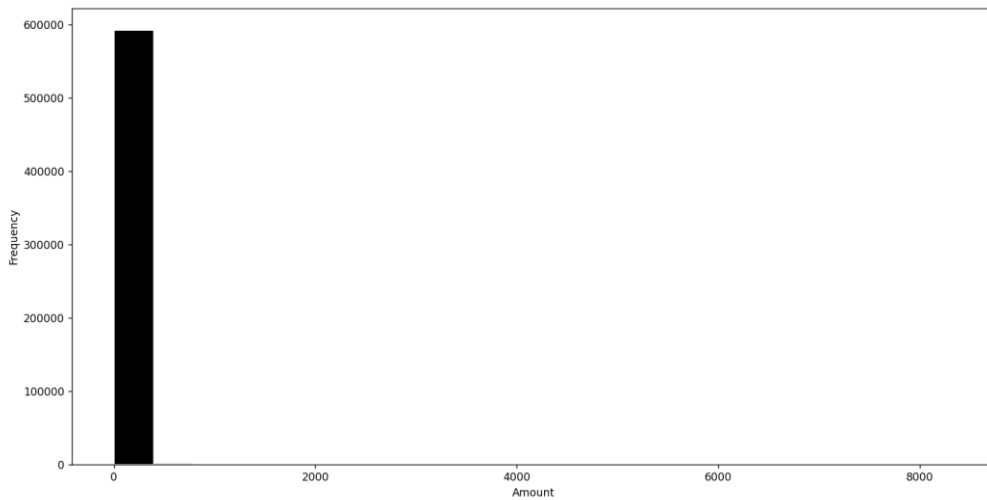


Fig. 1 Histogram Of Amount Before Grouping

Therefore, for grouping non-symmetric, highly skewed, and scattered datasets, we use the Jenks Natural Breaks method (Jenks, George F., 1967), which is a mathematical method used for grouping data. This method maximizes the similarity within each class (minimizes the sum of squared deviations) while maximizing the dissimilarity between classes.

$$SSD = \sum (x_i - \mu)^2 \quad (3)$$

$$SSW = \sum (x_i - \bar{x}_i)^2 \quad (4)$$

$$\chi^2 = (SSD - SSW) / SSW \quad (5)$$

Based on these calculations and differentiations, a new histogram graph and updated BankSim dataset with basic columns are shared as an example below. A more suitable and functional grouping is established for the model we need.

Table 3 Data Set Sample After Amount Group Enrichment

Step	Customer	Merchant	Category	Amount	Fraud	AmountGroup
66	'C1659350842'	'M1823072687'	'es_transportation'	0	0	1
169	'C1156808163'	'M1535107174'	'es_wellnessandbeauty'	23.4	0	2
103	'C1883962820'	'M480139044'	'es_health'	69.52	0	5
153	'C616715154'	'M732195782'	'es_travel'	6110.23	1	20

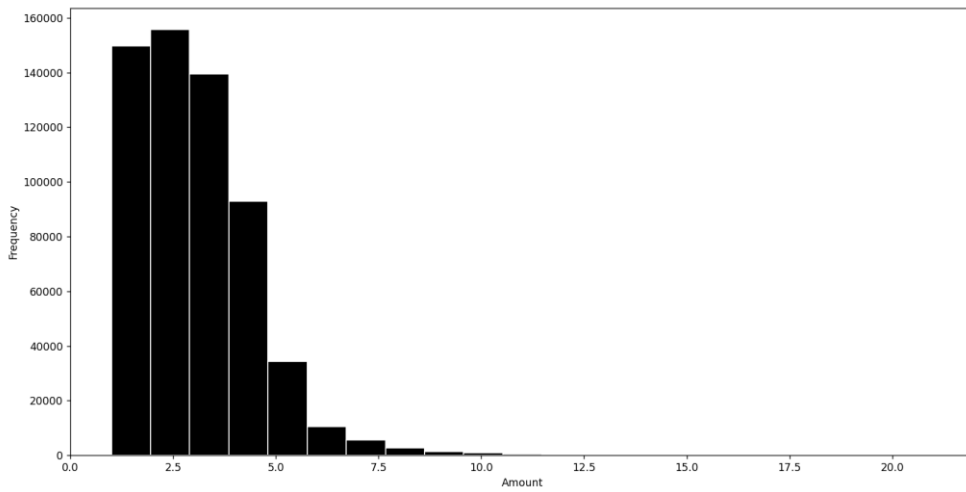


Fig.2 Histogram Of Amount Group

3.3. Model

In this study, the addition and utilization of the BankSim dataset into a graph database are presented, and the model we propose is shown in Fig. 6. With this model, customer performing the transaction, merchant of the transaction, amount group to which the transaction amount belongs, category of the transaction, and the transaction itself are represented as nodes. Additional information is added as properties to these nodes. By increasing the number of nodes, clearer and more defined queries can be performed.

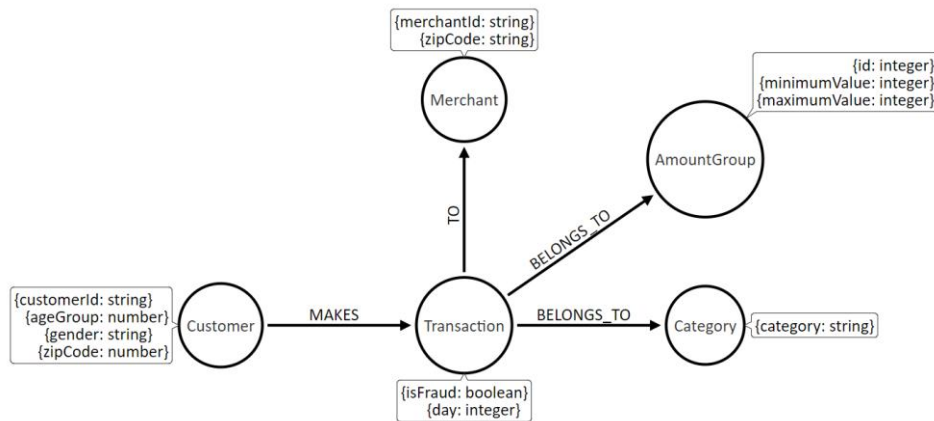


Fig.3 The Proposed Graph Database Model

After data set enrichment and determining the graph database model, the data set in 'CSV' format was imported into the model specified in Fig. 4 using the Cypher language through the Neo4j desktop application.

3.4. Sample Queries and Outputs

After importing our data into the database, when queried for example categories and amount groups related to fraud transactions, the resulting output is shown in Fig. 8.

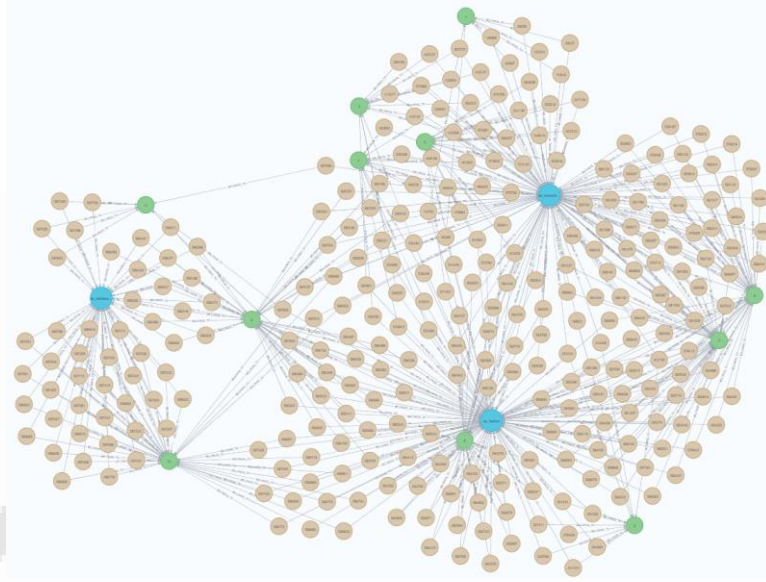


Fig. 4 General Node View Of A Model

The range of maximum and minimum values of the amounts for suspicious transactions made in a specific category constitutes a rule. For instance, when we execute the following query for a transaction in the "es_fashion" category, we obtain the output shown in Table 8. Here, a rule can be written for the group with the highest occurrence of fraudulent transactions based on the amount.

```
MATCH (c:Category)<--(t:Transaction)--> (a:AmountGroup)
WHERE c.category="es_fashion" AND t.isFraud=1
RETURN c.category as CategoryName ,
        count(t) as FraudCount,
        a.groupId as AmountGroup,
        a.maximumValue as MaximumValue,
        a.minimumValue as MinimumValue
ORDER BY count(t) DESC
```

Table 4 The Amount Groups Of Fraud Transactions In A Specific Category

CategoryName	FraudCount	AmountGroup	MaximumValue	MinimumValue
"es_fashion"	22	8	335.07	227.73
"es_fashion"	19	9	479.75	335.21
"es_fashion"	19	6	149.65	94.63

By writing the following rule on Equation 6, based on the data related to transactions that occurred as fraud, an additional metric will be provided to determine whether the transactions are suspicious or not.

$$f(\text{Category}, \text{Amount}) = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Category} = \text{"es_fashion"} \wedge (335.07 \geq \text{Amount} \geq 227.73) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

In another example, we can access information about the top 3 merchants with the highest occurrences of fraud transactions in a specific amount group which is '3'. The Cypher code that provides the relevant output is as follows.

```
MATCH (m:Merchant)<--(t:Transaction)-->(a:AmountGroup)
WHERE t.isFraud=1 AND a.groupId = 3
RETURN m.merchantId as Merchant ,
        count(t) as FraudCount
ORDER BY count(t) DESC
LIMIT 3
```

Table 5 Top 3 Merchants With The Highest Fraud Transactions in a Category

Merchant	Fraud Count
M480139044	46
M980657600	36
M855959430	18

If the output of this example is to be used as an additional suspicion metric in the rule-based system, a rule can be written as shown in Equation 7.

$$f(\text{Merchant}, \text{Amount}) = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{Merchant} = \text{"M480139044"} \wedge (42.4 \geq \text{Amount} \geq 27.65) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

4. Conclusion

In this study, a graph database model has been proposed in the Neo4j application to examine suspicious transactions in rule-based credit card fraud detection and prevention systems. The BankSim dataset was used in the relevant model. Cypher commands executed in the Neo4j application produced sample outputs for transaction reviews in the rule-based system. Additionally, suggestions were made for adding new rules based on the analysis results. Graph Database usage has been proposed as an alternative to relational databases in such systems.

5. References

- [1] Abdallah, A., Maarof, M. A., & Zainal, A. (2016). Fraud detection system: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 68, 90–113. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.04.007>
- [2] Carcillo, F., Le Borgne, Y.-A., Caelen, O., Kessaci, Y., Oblé, F., & Bontempi, G. (2021). Combining unsupervised and supervised learning in credit card fraud detection. *Information Sciences*, 557, 317–331. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.05.042>
- [3] Çavşı Zaim, H., Yolaçan, E. N., & Gülbandır, E. (2021). Banka Ödemelerinde Dolandırıcılığın Çizge Madenciliği ve Makine Öğrenimi Algoritmalarıyla Tespiti. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 615–625. <https://doi.org/10.24012/dumf.1002110>

- [4] Ceronmani Sharmila, V., R., K. K., R., S., D., S., & R., H. (2019). Credit Card Fraud Detection Using Anomaly Techniques. *2019 1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology (ICIICT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICIICT1.2019.8741421>
- [5] Correa Bahnsen, A., Aouada, D., Stojanovic, A., & Ottersten, B. (2016). Feature engineering strategies for credit card fraud detection. *Expert Systems with Applications*, *51*, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.12.030>
- [6] Doane, D. P. (1976). Aesthetic Frequency Classifications. *The American Statistician*, *30*(4), 181–183. <https://doi.org/10.1080/00031305.1976.10479172>
- [7] Gianini, G., Ghemmogne Fossi, L., Mio, C., Caelen, O., Brunie, L., & Damiani, E. (2020). Managing a pool of rules for credit card fraud detection by a Game Theory based approach. *Future Generation Computer Systems*, *102*, 549–561. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.08.028>
- [8] Henderson, R. (2020). Using graph databases to detect financial fraud. *Computer Fraud & Security*, *2020*(7), 6–10. [https://doi.org/10.1016/S1361-3723\(20\)30073-7](https://doi.org/10.1016/S1361-3723(20)30073-7)
- [9] Hilal, W., Gadsden, S. A., & Yawney, J. (2022). Financial Fraud: A Review of Anomaly Detection Techniques and Recent Advances. *Expert Systems with Applications*, *193*, 116429. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116429>
- [10] Huang, D., Mu, D., Yang, L., & Cai, X. (2018). CoDetect: Financial Fraud Detection With Anomaly Feature Detection. *IEEE Access*, *6*, 19161–19174. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2816564>
- [11] Jenks, George F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. In *International Yearbook of Cartography* 7 (pp. 186–190).
- [12] Jing, R., Zheng, X., Tian, H., Zhang, X., Chen, W., Wu, D. D., & Zeng, D. D. (2019). A Graph-Based Semi-Supervised Fraud Detection Framework. *2019 4th IEEE International Conference on Cybernetics (Cybconf)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/Cybconf47073.2019.9436573>
- [13] Kurshan, E., Shen, H., & Yu, H. (2020). Financial Crime & Fraud Detection Using Graph Computing: Application Considerations & Outlook. *2020 Second International Conference on Transdisciplinary AI (TransAI)*, 125–130. <https://doi.org/10.1109/TransAI49837.2020.00029>
- [14] Lopez-Rojas, E. A., & Axelsson, S. (2014a). *Banksim: A bank payments simulator for fraud detection research*. 144–152. <https://www.kaggle.com/datasets/ealaxi/banksim1>
- [15] Lopez-Rojas, E. A., & Axelsson, S. (2014b). *Synthetic data from a financial payment system / Kaggle*. Synthetic Data from a Financial Payment System. <https://www.kaggle.com/datasets/ealaxi/banksim1>
- [16] Mangala, D., & Soni, L. (2023). A systematic literature review on frauds in banking sector. *Journal of Financial Crime*, *30*(1), 285–301. <https://doi.org/10.1108/JFC-12-2021-0263>
- [17] Molloy, I., Chari, S., Finkler, U., Wiggerman, M., Jonker, C., Habeck, T., Park, Y., Jordens, F., & van Schaik, R. (2017). Graph Analytics for Real-Time Scoring of Cross-Channel Transactional Fraud. In J. Grossklags & B. Preneel (Eds.), *Financial Cryptography and Data Security* (Vol. 9603, pp. 22–40). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54970-4_2
- [18] Neo4j. (2023). *Neo4j Documentation*. Neo4j Documentation. Neo4j Documentation
- [19] *Neo4j Cypher Query Language*. (n.d.). Neo4j Cypher Query Language. <https://neo4j.com/product/cypher-graph-query-language/>
- [20] Ozcan, F., & Genc, Y. (2022). Increasing Transaction Fraud Prediction Ability by Using Multi-Task Learning and Pruning. *2022 30th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SIU55565.2022.9864949>
- [21] Pourhabibi, T., Ong, K.-L., Kam, B. H., & Boo, Y. L. (2020). Fraud detection: A systematic literature review of graph-based anomaly detection approaches. *Decision Support Systems*, *133*, 113303. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2020.113303>

- [22] Prusti, D., Das, D., & Rath, S. K. (2021). Credit Card Fraud Detection Technique by Applying Graph Database Model. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(9), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05682-9>
- [23] *SPARQL Query Language for RDF*. (n.d.). SPARQL Query Language for RDF. <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>
- [24] Sturges, H. A. (1926). The Choice of a Class Interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21(153), 65–66. <https://doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>
- [25] Van Belle, R., Van Damme, C., Tytgat, H., & De Weerd, J. (2022). Inductive Graph Representation Learning for fraud detection. *Expert Systems with Applications*, 116463. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116463>
- [26] Van Vlasselaer, V., Bravo, C., Caelen, O., Eliassi-Rad, T., Akoglu, L., Snoeck, M., & Baesens, B. (2015). APATE: A novel approach for automated credit card transaction fraud detection using network-based extensions. *Decision Support Systems*, 75, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2015.04.013>
- [27] Vorobyev, I., & Krivitskaya, A. (2022). Reducing false positives in bank anti-fraud systems based on rule induction in distributed tree-based models. *Computers & Security*, 120, 102786. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2022.102786>
- [28] Yuksel, B., Bahtiyar, S., & Yilmazer, A. (2020). *Credit Card Fraud Detection with NCA Dimensionality Reduction*. 1–7. <https://doi.org/10.1145/3433174.3433178>

Makale id= 47

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0009-0004-8401-2638

| 211

Pem Yakıt Pillerinde Membranların Kalınlığının Isıl Verime Etkisi

**Araştırmacı Zeynep Erdem¹, Araştırmacı Şevval Tuna¹, Araştırmacı Nisa Nur Atak¹,
Doç.Dr. Battal Doğan¹**
¹Gazi Üniversitesi

*Corresponding author: Nisa Nur Atak

Özet: Geleceğin alternatif enerji kaynaklarından biri olarak yakıt pilleri, yüksek verimlilikleri ve çevreye olan az zararlı etkileri nedeniyle öne çıkmaktadır. Yakıt pilleri, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek çalışmaktadır ve bu nedenle kimyasal reaksiyondan en üst düzeyde güç elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu araştırmada, 303 K sıcaklık ve 3 atm basınç altında çalışan 50 cm² yüzey alanına sahip PEM (Proton Değişim Membran) yakıt hücresinin performans parametreleri için bir teorik analiz yapılmıştır. Çalışmada, dört farklı kalınlığa sahip Nafion membranlar (0.0051 cm, 0.0089 cm, 0.0127 cm ve 0.0183 cm) incelenmiştir. Yapılan analizde, hidrojen ve oksijen kısmi basınçları, membran öz direnci, iç direnç, aktivasyon, omik ve konsantrasyon kayıpları, hücre voltajı ve ısı verim değerleri hesaplanmıştır. Yakıt hücresinde kullanılan polimer membranın kalınlığının, omik kayıplar üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür. Aynı malzeme özelliğine sahip membranda kalınlığının artması omik kayıpları yükselmesine neden olmuştur. Ayrıca membran iç direnci de olumsuz etkilenmiştir. Tüm bu değişimler, yakıt hücresinin ısı veriminin düşmesine yol açmıştır. Çalışma sıcaklığının 303 K, akım yoğunluğunun 1 A/cm² ve sabit basınç koşullarında kalınlıkları 0.0051 cm ve 0.0183 cm olan iki membran için (NF-112, NF-117) ısı verim değerleri sırasıyla %39.5 ve %22.5 olarak hesaplanmıştır. Bu durum polimer membran kalınlığının artışı, PEM yakıt hücresinin ısı verimini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, PEM yakıt hücresindeki akım yoğunluğunun azaltılmasının ısı veriminde olumlu bir etkiye yol açtığı gözlenmiştir. Örneğin, sabit sıcaklık ve basınçta, NF-1135 membranında 0.02 A/cm² akım yoğunluğunda %60.89 olan ısı verim, 0.8 A/cm² akım yoğunluğunda %38.52'ye düşmüştür. Yakıt pilleri alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır, bu yüzden verimliliklerinin artırılması için yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pem Yakıt Pili, Membran, Isıl Verim

Effect of Membranes Thickness On Thermal Efficiency in Pem Fuel Cell

Abstract: Fuel cells, as one of the alternative energy sources of the future, stand out due to their high efficiency and less harmful effects on the environment. Fuel cells work by converting chemical energy into electrical energy, and therefore it is aimed to obtain the highest level of power from the chemical reaction. In this research, a theoretical analysis was made for the performance parameters of a PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell with a surface area of 50 cm² operating under 303 K temperature and 3 atm pressure. In the study, Nafion membranes with four different thicknesses (0.0051 cm, 0.0089 cm, 0.0127 cm and 0.0183 cm) were examined. In the analysis, hydrogen and oxygen partial pressures, membrane resistivity, internal resistance, activation, ohmic and concentration losses, cell voltage and thermal efficiency values were calculated. It has been observed that the thickness of the polymer membrane used in the fuel cell has a significant effect on the ohmic losses. The increase in the thickness of the membrane with the same material properties caused the ohmic losses to increase. In addition, the membrane internal resistance was adversely affected. All these changes have led to a decrease in the thermal efficiency of the fuel cell. Thermal efficiency values for two membranes (NF-112, NF-117) with thicknesses of 0.0051 cm and 0.0183 cm at operating temperature of 303 K, current density of 1 A/cm² and constant pressure conditions were calculated as 39.5% and 22.5%, respectively. This indicates that the increase in polymer

membrane thickness negatively affects the thermal efficiency of the PEM fuel cell. In addition, it has been observed that reducing the current density in the PEM fuel cell has a positive effect on the thermal efficiency. For example, at constant temperature and pressure, the thermal efficiency of the NF-1135 membrane, which was 60.89% at 0.02 A/cm² current density, decreased to 38.52% at 0.8 A/cm² current density. Fuel cells occupy an important place among alternative energy sources, so studies to increase their efficiency are of great importance.

Keywords: Pem Fuel Cell, Membrane, Thermal Efficiency

1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesiyle enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmıştır. İhtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmakta ve bunun sonucunda çevre kirliliği problemi oluşmaktadır. Fosil kökenli yakıtların kullanımı, sera gazı emisyonlarının da artmasına neden olmuştur. Günümüzde sera gazı emisyonları küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarının yakın gelecekte tükenmesi sonucunda enerji krizleri yaşanabilir. Bu nedenle bilim insanlarını yeni enerji arayışlarına yöneltmiştir [1]. Yakıt hücreleri sera gazları oluşturmadan elektrik üretimi sağlarlar. Sessiz çalışmaları, çeşitli elektrolitlere ve yakıt türlerine karşı esneklikleri ile çalışabilirlikleri yakıt pillerini ön plana çıkaran özelliklerdir. Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı yakıt hücresi sistemi, tepkimeye girenlerin kimyasal enerjisini elektriğe dönüştürmektedir [2]. Yakıt pillerinin şarj edilememeleri, geleneksel pillerden onları ayıran en büyük farktır. Bunun sebebi yakıt beslendikçe yakıt pillerinde sürekli olarak enerji üretilmesidir [3]. Şu anda mevcut olan birkaç yakıt hücresi arasında, proton değişim membranlı (PEM) yakıt hücreleri, kısa başlatma süreleri, minimum emisyonları ve kullanılabilir atık ısıları nedeniyle en fazla ilgiyi çekmektedirler [2]. PEM yakıt hücrelerinde performansın ve verimliliğin artırılması, elektrot reaksiyonları, proton değişimi, yakıt ve hava beslemesi, su yönetimi ve ısı transferi gibi etkenlere bağlıdır. Dolayısıyla protonların taşınmasını sağlayan membranlar hücre performansını etkilemektedir [4].

Literatürde membranların yakıt pili performansına etkisi hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Ding ve ark. [5], PEM yakıt hücrelerinde dalgalı gaz akış kanalının performansına olan etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada üç boyutlu, iki fazlı ve izotermal olmayan bir PEM yakıt pili kullanılmıştır. 0.4 mm genlik ve 2 mm dalga boyunda akım yoğunluğu dalgalı gaz akış kanalında dalgasız kanala kıyasla %10.40 artmıştır. Dalgalı kanallar oksijen konsantrasyon gradyanını ve sürtünmeyi artırır. Bu da entropinin artmasına neden olur. Yapılan araştırma ile küçük dalga boylarında ve büyük genliklerde entropinin arttığı belirtilmiştir. Chiang ve ark [6], farklı frekanslarda (40, 80 ve 120 kHz) ve zamanlarda (0, 60, 120 ve 180 dakika) ultrasonik karıştırmaya tabi tutulan platin kaplamalı inorganik bir dağıtıcı (montmorillonit) ve bir organik dağıtıcının (AS-1164) PEM yakıt pilinin performansına olan etkilerini araştırmışlardır. Platin kaplama, yüksek frekanslarda düşük frekanslara göre daha düzgün dağılmış ve PEM yakıt pilinin güç yoğunluğu, inorganik dağıtıcılarda organiklere göre %21.51 daha fazla olduğu bulunmuştur.

Shimpalee ve ark. [7] tarafından yürütülen araştırmada Nafion membran ve sülfonatlı aromatik hidrokarbon membranın PEM yakıt hücresindeki etkilerini incelenmiştir. Yüksek bağıl nemlerde hidrokarbon membran, Nafion membrana göre daha az su taşıyarak daha iyi bir performans sergilemiştir. Lakin protonun daha iyi iletilmesi için membranın daha fazla hidrasyona ihtiyaç duyduğu düşük bağıl nemlerde Nafion membran daha iyi bir performans sergilemiştir. Kompozit membranların ve florlu membranların PEM pilinde kullanımının etkileri üzerine yapılan bir çalışmada [8] yüksek sıcaklıklarda (95°C gibi) kompozit membranlar hücre voltajını %11'e kadar artırmakta ve kuru hidrojen koşullarında hücrenin performansını %17'ye kadar yükseltmektedir. Kısmen flora sahip membranlar güzel bir mekanik stabiliteye sahip olmakla birlikte pahalıdır. Ayrıca 100°C'nin altında optimum performansına ulaştıkları için kullanımları sınırlıdır.

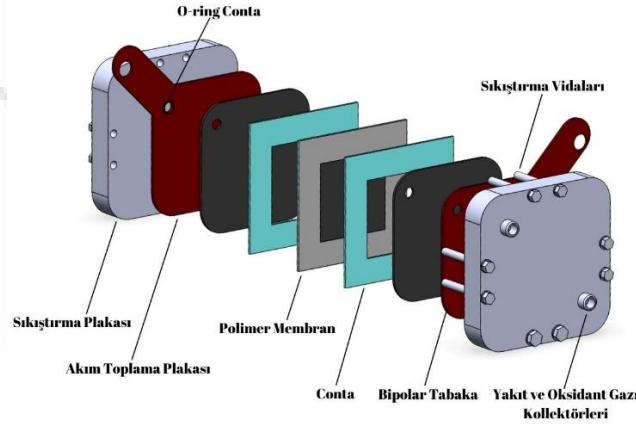
Nishimura ve ark. [9], mikro gözenekli katmanın (MPL) polimer elektrolit membran üzerindeki etkisini incelemiştir. Sıcaklık ve nem koşullarından bağımsız olarak yüksek akım yoğunluklarında PEM yakıt pillerinde MPL ile sağlanan voltaj düşüşü MPL'siz olana göre daha fazla olduğu ve MPL ile düzlem içi sıcaklık dağılımlarının daha geniş olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Metal iyonları kontaminasyonunun (kirlilik) proton değişim membranlı yakıt hücresi performansına ve ömrüne olan etkisini inceleyen çalışmada [10] Perflorosülfonik asitli (PFSA) membranına 100 ppm Fe+3 iyonları

dahil edilmiştir. Bunun sonucunda dayanıklılığın ve PEM yakıt pilinde performans kaybı olmadan kontaminasyon toleransı arttığı gözlenmiştir.

Askaripour [11] yaptığı çalışmada, daha yüksek sıcaklıklarda olan giriş gazı PEM yakıt pilinde su buharının üretimini güçlendirir. Su buharının miktarının artması membranın direncini azaltır ve azalan direnç ile omik kayıp azalır sonucunu elde etmiştir. Toghyani ve diğ. [12] tarafından yapılan çalışmada omik kayıpları en aza indirmek için membranın içerdiği su miktarı artırılır. Artan su miktarı iletkenliği yani hidrojen iyonun karşıya geçmesine karşı olan direnci azaltır ve iletkenliği artırır. Tang ve diğ. [13] yaptıkları çalışmada iyonomer membranların su içeriği, oksijenin difüzyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuştur. Yüksek su içeriği, membranın yapısını şişirir ve membran içindeki suyun hareketini kısıtlayabilir. Bu durumda, oksijenin membrandan geçişi zorlaşır ve difüzyon hızı düşer. İyonomer membranların su içeriği düşükse, sıvı suyun membran üzerindeki film tabakası olarak hareket etmesi zorlaşır.ani, düşük su içeriği membranda oksijen difüzyonunu zorlaştırabilir. Literatürde PEM yakıt pillerinin performansına yönelik deneysel, sayısal ve teorik araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada PEM yakıt pilinde membran cinsinin ve kalınlığının ısıl verime etkisi değişik boyutlarda incelenmiştir.

2. YAKIT PİLLERİ

Enerji üreten sistemlerin çoğunluğunda yanma reaksiyonu gerçekleştiği için atmosfere zararlı emisyonlar atılmaktadır. Yakıt pillerinde yanma olmamasından kaynaklı çevreye zarar düşüktür [14]. Yakıt pillerinde yakıt kaynağı olarak yüksek verim sağladığı için genellikle hidrojen kullanılmakla birlikte metan, etanol gibi gazlarda tercih edilebilir [15]. Şekil 1' de PEM yakıt hücresinin bileşenleri gösterilmektedir. Bir yakıt pilinde ilk olarak hidrojen ve oksijen ayrı ayrı gaz kanallarına girip gözenekli yüzeye dağılmaktadırlar. Daha sonra gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya proton ve elektronlar çıkmaktadır. Ayrıca şekilde görevleri gösterilen her bir bileşen birbiriyle uyumlu bir şekilde çalışmalıdır. Dolayısıyla bileşenlerin malzeme seçimine de dikkat edinilmelidir. Örneğin, görevi ısıyı ve elektriği iletmek olan bipolar plakalar, hafif ama mukavemetli bir malzemeden seçilmelidir. Aynı şekilde gazların dağılmasını sağlayan gaz difüzyon tabakaları da yakıt pilinin açığa çıkardığı su ile gözeneklerin tıkanmamasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır [16].



Şekil 1. PEM yakıt hücresi bileşenleri

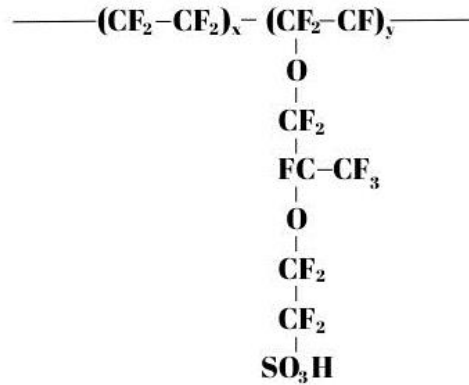
Yakıt pilleri, yakıt ve oksitleyicisine, yakıtın veriliş biçimine (doğrudan veya dolaylı olabilir), elektrot ve elektrolit cinsine, çalışma sıcaklığına [17] ve basıncına, membrandan taşınan iyon türüne bağlı ayrı ayrı sınıflandırılmaktadır. Tablo 1'de yakıt hücreleri elektrolit cinsine göre sınıflandırılmış ve bunların sergiledikleri özellikler belirtilmiştir.

Tablo 1. Yakıt Pili Türleri [18]

Yakıt Pili	Operasyon Sıcaklığı(°C)	Yük Taşıyıcısı	Güç Yoğunluğu (W/kg)	Elektriksel Verim (%)
Alkali Yakıt Pili	90-100	OH ⁻	10-100	60
Fosforik Asit Yakıt Pili	150-200	H ⁺	50-1000	>40
Katı Oksit Yakıt Pili	600-1000	O ⁻	<1-3000	35-43
PEM Yakıt Pili	50-100	H ⁺	<1-250	53-58
Erimiş Karbonat Yakıt Pili	600-700	CO ₃ ⁻	<1-1000	45-47

3. POLİMER MEMBRANIN BİLEŞENLERİ VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

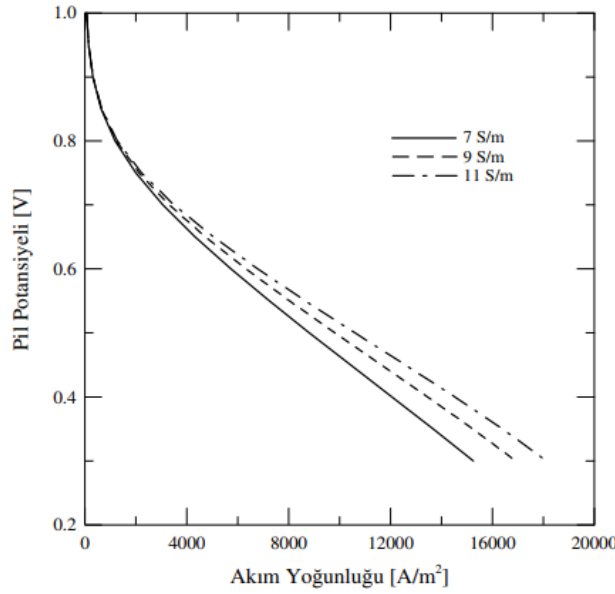
Polimer malzemeden üretilmiş proton iletken membran, her iki tarafında gözenekli elektrotlar bulunduran bir yakıt hücresi bileşenidir. Elektrotların gözenekli bir yapıya sahip olmasının nedeni gazların membrana ulaşabilmesini sağlamaktır. Katalizörler elektrokimyasal reaksiyonları hızlandırır ve üretim yöntemine bağlı olarak elektrotun veya membranın üzerinde konumlanabilirler. Bipolar plakalar gazların hücre içi akışını sağlayan elektrik iletken yapılardır. Ayrıca bipolar plakalar birden fazla yakıt hücresi yığınlarında kullanılmaktadır. Bir membranda hidrojen ve oksijenin birbirine karışmasının engellemesi, proton iletiminin fazla olması ve son olarak kimyasal ve fiziksel kararlılık sergilemesi gereklidir. Günümüzde PEM yakıt pilleri membranları bu özellikler doğrultusunda üretilmektedir. Genellikle PEM yakıt hücreleri için üretilen membranlar perflorakarbon sülfonik asit iyonomer (PSA) yapısından oluşmaktadır. Endüstride en çok Dupont tarafından geliştirilen NafionTM membran kullanılmaktadır. Şekil 2' de NafionTM'un kimyasal yapısı gösterilmektedir. Zincirin sonunda bulunan SO₃H hidrofilik (su tutan) bir karaktere sahiptir. TeflonTM ise hidrofobik (su tutmayan) bir karaktere sahiptir. Anottan katoda H⁺ iyonlarının taşınması ortamdaki suyun varlığına bağlıdır. Dolayısıyla NafionTM'un yüksek seviyede iletkenlik göstermesi için suya doymuş olması gerekmektedir [16].



Şekil 2. Nafion membranlarının yapıları [7]

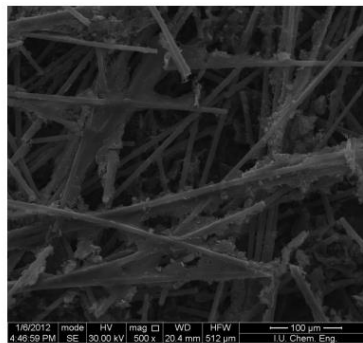
Membranların en önemli görevi yüksek seviyede proton iletkenliği sağlamalarıdır ve iletkenlik ise membranın su tutabilme derecesine bağlıdır. Literatürdeki çalışmalara göre, membran içindeki su arttıkça proton iletiminin de paralel olarak arttığı görülmüştür. NafionTM membran içerisinde ortalama bir SO₃H grubuna karşılık 22 sıvı su molekülü vardır ve bu sıcaklığın artışı ile (buhar fazında) 14 su molekülüne düşmektedir [16]. Artan sıcaklıkla beraber membranın kuruması ve proton iletiminin durması söz konusudur. Dolayısıyla çalışma koşullarındaki sıcaklık değişimleri hücre performansını doğrudan etkilemektedir. Membran seçimi yapılırken yakıt hücresi yığınının çalışma basıncı, sıcaklığı ve ömrü dikkate alınmalıdır. Üretilen membranların kalınlığı da hücre performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Kalın ve ince membranlar karşılaştırıldığında ince membran ile aynı pil potansiyeli için daha yüksek akım yoğunluğu elde edilmektedir. Membran kalınlığı azaldıkça membranda oluşan direnç kayıpları ve membranın suya olan ihtiyacı azalmaktadır. Bunun nedeni daha ince membran kullanımı ile anottan katoda geçen su miktarı artmasıdır [19].

Membran iletkenliğinin artırılması, yakıt pilinin performansını düşüren membran direnç kaybını azaltır. Dolayısıyla yüksek miktarda su tutabilen (Membranın tutabildiği su miktarı arttıkça iletkenlik artar) ve daha ince membranların (Membran kalınlığı azaldıkça direnç kayıpları azalır) kullanımı yakıt pillerinin verimini artıracaktır [19].

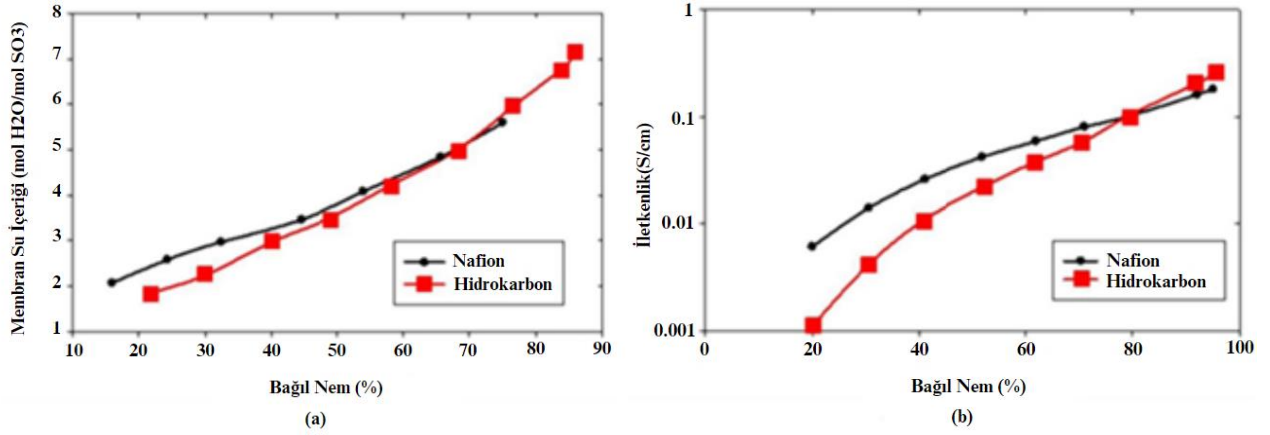


Şekil 3. Membran iletkenliğinin polarizasyon eğrisine etkisi (S/m: membran iletkenlik değeri) [19]

Nafion membranda taşıyıcı ve yapısal mekanizma olmak üzere iki tip proton iletim transferi söz konusudur. Taşıyıcı mekanizmada proton bir su molekülü üzerinde anottan katoda doğru taşınmaktadır. Yapısal mekanizma içerisinde de protonlar zayıf hidrojen bağları aracılığıyla bir su molekülünden diğerine sıçrayarak elektrolit boyunca taşınma gerçekleştirirler. [7]

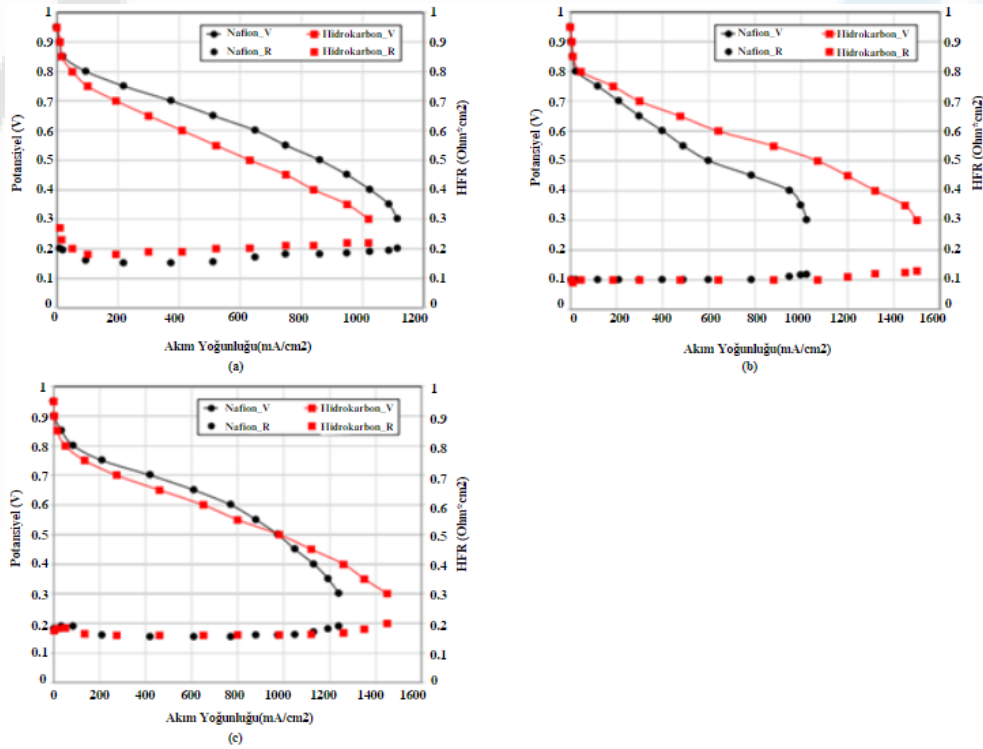


Şekil 6. 250 psi basınç ile hazırlanmış MEY'e (Membran-Elektrot Yığını) ait yüzey SEM fotoğrafı [20]



Şekil 4. (a) Membran su içeriği ve (b) membranın proton iletkenliği [7]

Farklı membranların su alım dereceleri bağlı nem değerlerine göre değişebilir. Şekil 4'te %65 bağlı nem değerinin altında Nafion membran, hidrokarbon membrana kıyasla daha fazla su içeriğine sahipken, %65 bağlı nemin üzerinde hidrokarbon membranın su içeriği daha fazladır. Ayrıca su içeriği arttıkça difüzyon farkı azaldığı için membranların arasındaki fark giderek azalmıştır. Bu sonuçlar dolayısıyla yakıt pillerinde performansı daha iyi hale getirmek için membranların; su tutma kapasitesine, su içeriğine, tipine ve difüzyon katsayılarına dikkat etmek gereklidir.



Şekil 5. Farklı nem koşullarında hidrokarbon ve Nafion zarı arasındaki polarizasyon eğrilerinin karşılaştırılması. (a) %50/50 BN (Anot: %50 BN, Katot: %50 BN), (b) %95/95 BN (Anot: %95 BN, Katot: %95 BN) ve (c) %100/50 BN (Anot: %100 BN, Katot: %50 BN) (BN: Bağlı Nem) [7]

Daha kuru nem seviyelerinde (Şekil 5a) PEM yakıt pili performansı, hidrokarbonlu PEM yakıt pilinde elde edilen direnç kayıpları nedeniyle Nafion membranda daha yüksektir. Yüksek nem seviyelerinde

(Şekil 5b) durum tam tersidir. Nafionlu PEM yakıt pilinde yaşanan polarizasyon kayıplarından dolayı hidrokarbonlu membranın performansı daha iyidir. Katodun anota göre kısmen daha düşük nem seviyesine sahip olduğu durumda (Şekil 5c) ise 1 A/cm² akım yoğunluğundan sonra Nafionlu membranın sergilediği performans, hidrokarbonlu membran karşısında daha düşüktür.

Anot ile katot elektrotları arasındaki iyon iletimi, membran içindeki su moleküllerinin etkileşimiyle gerçekleşir. Bu iletim süreci, Grotthuss mekanizması adı verilen bir yöntemle işler. Bu mekanizma, protonların su molekülleri üzerinde hızla ilerleyerek anottan katoda doğru taşınmasını içerir. Moleküler difüzyon sayesinde su molekülleri üzerinden proton taşınırken, iyonlar da osmotik geçişle hareket ederler. Membran içerisindeki su miktarının değişkenliği, farklı bölgelerin farklı direnç seviyelerine sahip olmasına neden olur. Yüksek su tutma kapasitesine sahip bölgelerde proton geçişi yoğundur. Bu durum proton iletkenliğini artırır. Fakat membranın belirli bir sınıra kadar su alabilmesi, bu noktadan sonra şişmeye başlamasına yol açar. Membranın şişmesi ise protonların daha uzun bir yol katetmesine sebep olur. Bu yüzden proton iletiminde direnç oluşur ve sonuç olarak proton iletkenliği azalır. Membran içine az veya fazla su alınması bazı durumlara sebep olur. Az su alımı proton iletimini yavaşlatır ve bu da direncin artmasına neden olur. Fazla su alımı ise osmotik direncin ortaya çıkmasına sebep olup proton iletkenliğinin düşmesini sağlayacaktır. Bu nedenle membranın su tutma kapasitesi, yüksek olmalı ancak aynı zamanda membranın şişme ve fazla difüzyon direnci sorununa yol açmaması için dengeli olmalıdır. Sonuç olarak, yakıt hücrelerinde membranın su tutma kapasitesi, proton iletkenliği ve performans açısından büyük bir önem taşır. Membranın su tutma kapasitesi, doğru bir şekilde ayarlanmalıdır ki bu da yüksek proton iletimini ve düşük direnci desteklesin. Bu denge, yakıt hücresinin etkin ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için hayati önem taşır [21].

Şişme özelliği membranın %100 nemlilikte test edilmesi ve kalınlık ölçer cihazı ile ölçüm yapılması sonucu bulunan bir değerdir.

$$\text{Şişme (\%)} = \frac{\text{Kalınlık(ıslak)} - \text{Kalınlık(kuru)}}{\text{Kalınlık(kuru)}} \times 100 \quad (1)$$

Kalınlık_(kuru): Membranın kuru kalınlığı (µm), Kalınlık_(ıslak): Membranın yaş kalınlığı (µm)

Su tutma kapasitesi membranın kuru ve %100 nemlilikteki ağırlıklarının ölçülmesi ile bulunmaktadır.

$$\text{Su Tutma (\%)} = \frac{\text{Ağırlık(yaş)} - \text{Ağırlık(kuru)}}{\text{Ağırlık(kuru)}} \times 100 \quad (2)$$

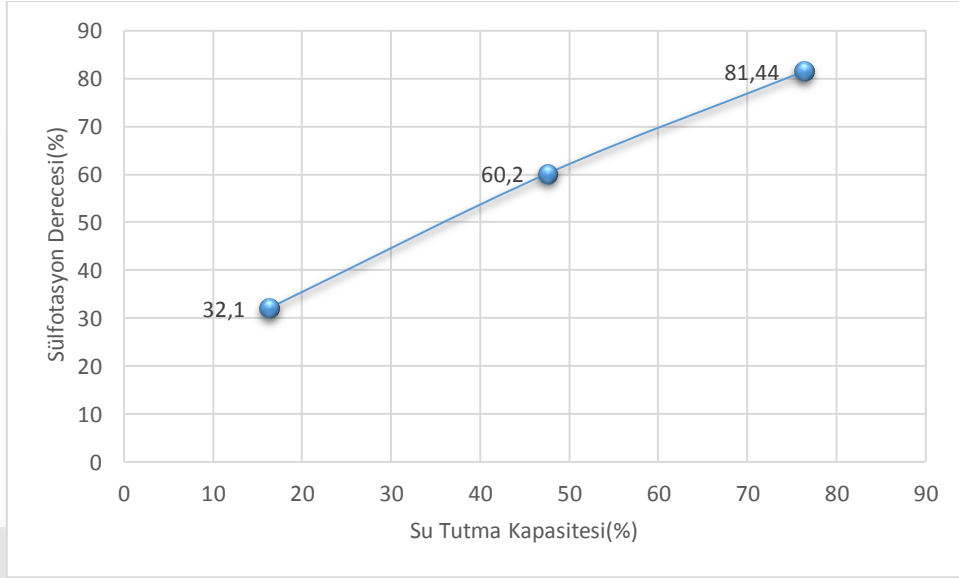
Ağırlık_(kuru): Membranın kuru ağırlığı (g), Ağırlık_(yaş): Membranın yaş ağırlığı (g)

Yılmazoğlu [22] tarafından yürütülen bir çalışmadaki üç farklı numunenin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü üzere sülfonasyon derecesinin sülfon polimer membranların su tutma kapasitesi üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Sülfonasyon derecesi arttıkça, su tutma kapasitesi de artmaktadır. Örneğin, sülfonasyon derecesi en düşük olan sPEEK-1 polimer membran en düşük su tutma kapasitesi sahipken, sülfonasyon derecesi en yüksek olan sahip sPEEK-3 polimer elektroliti için bu değer daha yüksek olarak ölçülmüştür. Sülfonasyon derecesinin artışı, polimer membranlardaki polimer zincirlerinin hareketliliğini artırmıştır. Bu durum, yapıdaki sülfonik asit gruplarının yoğunluğunu artırarak membranın hidrofilik özelliklerini güçlendirmiştir. Sülfonik asit grupları su molekülleriyle etkileşime girme eğilimindedir, bu da membranın su emme kapasitesini artırır. Bu durum, yakıt hücresi performansını olumlu yönde etkileyebilir, çünkü proton taşınımı ve membranın fiziksel dayanıklılığı su içeriğiyle yakından ilişkilidir. Sonuç olarak, sülfonasyon derecesinin artırılması, polimerik membranların su tutma kapasitesini artırarak yakıt hücresi performansını optimize etmeye yardımcı olabilir. Bu tür çalışmalar, yakıt hücresi teknolojisinin geliştirilmesinde su yönetimi ve membran özelliklerinin önemli bir rol oynadığını vurgular.

Tablo 2. Farklı numunelerin özellikleri [22]

Numune	Ağırlık _{kuru} (g)	Ağırlık _{yaş} (g)	Su Tutma Kapasitesi (%)	Sülfonasyon Derecesi (%)
sPEEK-1	0,03216	0,0374	16,29353	32,10
sPEEK-2	0,05593	0,08255	47,59521	60,20
sPEEK-3	0,02903	0,05119	76,33483	81,44

| 218

**Şekil 7.** Polimer membranlara ait su tutma kapasitesinin sülfotasyon derecesi ile değişimi

Malzemelerin elektriksel ve ara yüzey özelliklerini belirlemek için empedans analizi yapılmalıdır. Membrana ait direnç yapısının gözlenmesini sağlayarak membranı etkileyen dirençlerin anlaşılmasını sağlamaktadır. Omik kayıplar (v_{ohm}) aşağıdaki eşitlikten bulunmaktadır.

$$v_{ohm} = -IR^{int} \quad (3)$$

Burada R^{int} iç direnç [$\Omega \text{ cm}^2$] ve I akımdır [A]. R^{int} aşağıdaki eşitlikten bulunmaktadır.

$$R^{int} = \frac{r_M L}{A} \quad (4)$$

Burada r_M zar öz direnci [$\Omega \text{ cm}$], L polimer kalınlığı [cm] ve A aktif hücre alanıdır [cm^2].

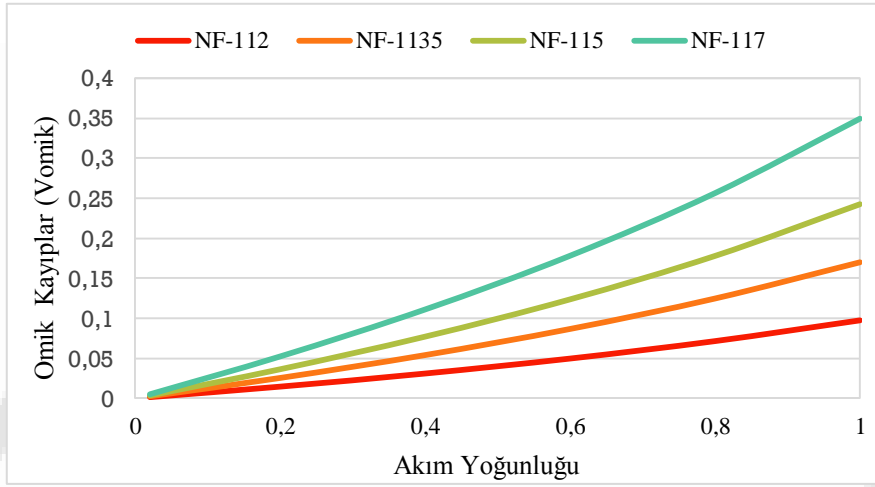
Nafion öz direnci çalışma sıcaklığı T, aktif hücre alanı ve akıma bağlı olarak eşitlik 5 ile belirlenmiştir.

$$r_M = \frac{181.6 \left[1 + 0.03 \left(\frac{L}{A} \right) + 0.062 \left(\frac{T}{303} \right)^2 \left(\frac{L}{A} \right)^{2.5} \right]}{\left[14 - 0.634 - 3 \left(\frac{L}{A} \right) \right] \exp \left(4.18 \left[\frac{T-303}{T} \right] \right)} \quad (5)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

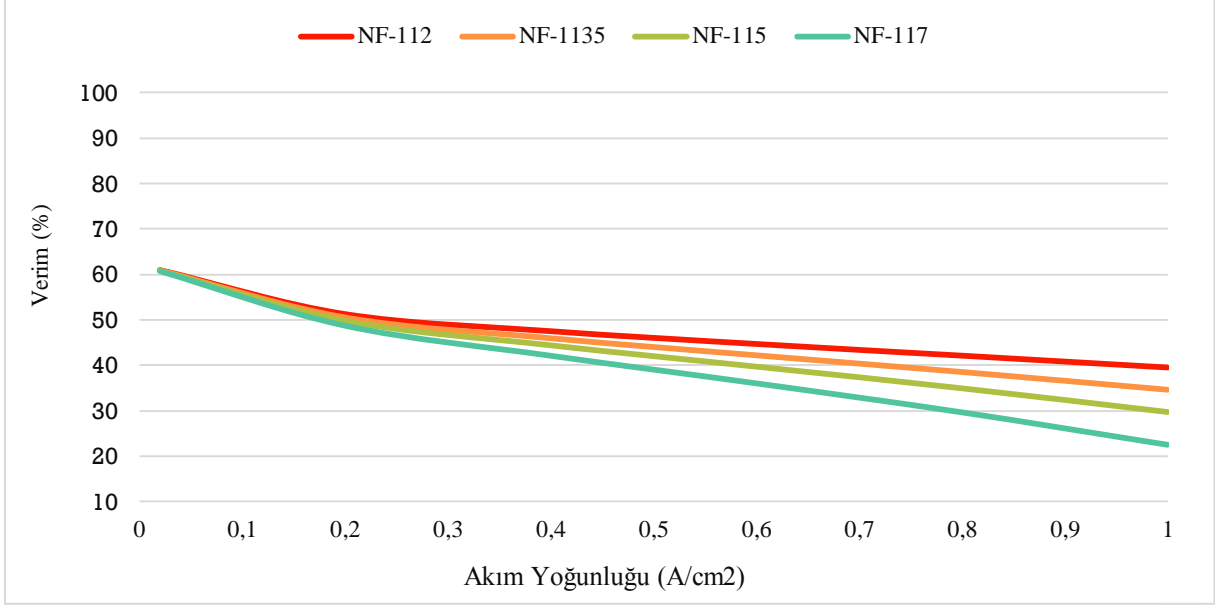
Çalışmada yakıt hücresi üzerine yapılan teorik hesaplamalarda, sabit bir sıcaklık (303 K) ve sabit anot ve katot basıncı ($P_a=P_c=3$ atm) altında, farklı membran kalınlıklarının etkileri incelenmiştir. PEM yakıt pilinin 4 farklı membran tipi (NF-112, NF-1135, NF-115 ve NF-117) ve 4 farklı kalınlıkta (0.0051 cm, 0.0089 cm, 0.0127 cm ve 0.0183 cm) omik dirence etkisi belirlenmiştir. Şekil 7'de gösterildiği gibi, PEM yakıt hücresinin omik kaybı (v_{ohm}), membran kalınlığının artmasıyla birlikte artış göstermektedir. Bunun nedeni omik kayıpların iç dirence bağlı olmasıdır. Omik kayıplar, elektrik akımının direnci nedeniyle enerji kaybına yol açmaktadır. Daha kalın bir membran, iyonların hareket etmesi için daha uzun bir mesafe gerektirir ve bu da dirençli bir yol oluşturarak elektrik akımını kısıtlamaktadır. Akım yoğunluğunun 0.2 A/cm^2 olduğu, çalışma membarlarının NF-112, NF-1135 ve NF-115 olması durumunda omik hücre kayıpları sırasıyla 0.0145 V, 0.0254 V ve 0.0363 V olarak bulunmuştur.

| 219



Şekil 7. Yakıt pilinde farklı akım yoğunluklarında omik hücre kayıpları ($P_a= P_c=3$ atm)

Yakıt pilinde verim; akım yoğunluğu, hücre gerilimi ve polimer membran kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 8'de yakıt pilinin farklı membran kalınlıklarında verim değerleri gösterilmektedir. Çalışma sıcaklığının 303 K, akım yoğunluğunun 1 A/cm^2 ve sabit basınç koşullarında membran kalınlığının yaklaşık olarak iki katına çıkması ile (NF-1135=0.0089, NF-117=0.0183) ısı verim değeri % 12.11 düşüş göstermiştir. Polimer membran kalınlığının artışı, PEM yakıt hücresinin ısı verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumun nedeni kalın bir membranın ısı iletimini yavaşlattığı ve bu yüzden ısı kayıplarının artmasıdır. Ayrıca ince bir membranda iyon iletimi hızlıyken membranın kalınlaşması ile proton iletimi yavaşlamaktadır. Bu sonuçlar, membran kalınlığının yakıt hücresinin verimliliğini belirlemede kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Akım yoğunluğunun artışı ile verim düşmektedir. Daha yüksek bir akım yoğunluğu, membran içindeki iyon hareketini kısıtlayarak elektrokimyasal reaksiyon hızını düşürmekte ve bu da sonuç olarak verim düşüşüne neden olmaktadır. NF-115 polimer membranında akım yoğunluğunun 0.02 A/cm^2 ve 1 A/cm^2 olması durumunda sırasıyla ısı verimleri % 60.82 ve % 29.71'dir.



Şekil 8. Yakıt pilinde farklı akım yoğunluklarında verim ($P_a = P_c = 3 \text{ atm}$)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada sabit sıcaklık ve basınç altında, yüzey alanı 50 cm^2 olan dört farklı membran kalınlığının test edildiği PEM yakıt pili kullanılmıştır. Akım yoğunluğunun 0.2 A/cm^2 olduğu durumda NF-112 ve NF-117 membranlarının sergilediği omik hücre kayıpları sırasıyla 0.0145 V ve 0.4603 V olarak bulunmuştur. Daha kalın (NF-117) olan membranın daha ince (NF-112) olan membrana göre omik hücre kaybı yaklaşık 32 kat daha fazladır. Aynı akım yoğunluğunda NF-112 ve NF-117 membranlarının gösterdiği verim değerleri sırasıyla %51.26 ve % 48.71 olarak hesaplanmıştır. Membranların temel görevi proton iletimini sağlamaktır ve membran kalınlığı bu iletim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Membran kalınlığı arttıkça protonlar daha uzun bir mesafeden geçerler ve bu da iç direncin artmasına sebep olur. İç direncin artması omik kayıpların artmasına yol açmaktadır. Bu durum PEM yakıt pilinde ısı veriminin düşmesiyle sonuçlanır. Membranın içindeki su içeriği, proton iletkenliğini büyük ölçüde etkiler. Su molekülleri, protonların hareketini kolaylaştırarak membranın iletkenliğini artırmaktadır. Bu nedenle, membranın içerdiği su miktarının artırılmasıyla protonların daha hızlı ve verimli bir şekilde taşınması sağlanabilir. Eğer kalın bir membran seçimi durumunda, omik kayıplarını azaltmak için membranın içerdiği su miktarı artırılabilir. Bu, protonların iletilmesine karşı olan direnci azaltacak ve membranın iletkenliğini artıracaktır. Ancak, su içeriğinin aşırı artırılmasının membranın mekanik ve kimyasal dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkileri olabileceği unutulmamalıdır. Su içeriğinin optimum seviyede tutulması, hem proton iletimi açısından avantajlar sağlamak hem de membranın uzun süre dayanıklılığını sürdürmek açısından büyük önem taşımaktadır.

6. Kaynakça

- [1] S. Hafeez, S. M. Al Salem, G. Manos ve A. Constantinou, «Fuel production using membrane reactors: a review,» *Environmental Chemistry Letters*, cilt 18, p. 1477–1490, 2020.
- [2] D. Yu, C. Duan ve B. Gu, «Design and evaluation of a novel plan for thermochemical cycles and PEM fuel cells to produce hydrogen and power: Application of environmental perspective,» *Chemosphere*, cilt 334, 2023.
- [3] R. B. Ferreira, D. F. Santos, A. M. Pinto ve D. S. Falcao, «Development and testing of a PEM fuel cell stack envisioning unmanned aerial vehicles applications,» *International Journal of Hydrogen Energy*, 24 May 2023.
- [4] Selman İLBEYOĞLU, Hüseyin GÜRBÜZ ve Mutlucan BAYAT, «Hidrojen PEM Yakıt Hücresinin Performansını Etkileyen Faktörler ve Genel Bir Değerlendirme,» *1 st International Conference on Pioneer and Innovative Studies*, 2023.

- [5] Q. Ding, K. Q. Zhu, J. H. Xu, B. X. Zhang, Y. R. Yang, C. Yang, Y. L. Wang, D. J. Lee, Z. M. Wan ve X. D. Wang, «Evaluation,» *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 48, no. 6, pp. 2328-2340, , 2023.
- [6] W. H. Chiang, S. J. Lin ve J. S. Wu, «On the Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells with a Catalyst Layer Fabricated Using an Inorganic Dispersant with Various Ultrasonic Mixing,» *ACS Omega*, cilt 7, no. 25, pp. 21370-21377, 2022.
- [7] S. SHIMPALEE, V. LILAVIVAT, H. XU, J. R. ROWLETT, C. MITTELSTEADT ve J. W. VAN ZEE, «The Effect of Membrane Properties on Performance and Transports inside Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells,» *Journal of The Electrochemical Society*, cilt 165, no. 11, 2018.
- [8] E. Ogungbemi, O. Ijaodola, F. N. Khatib, T. Wilberforce, Z. El-Hassan, J. Thompson, M. Ramadan ve A. G. Olabi, «Fuel cell membranes-Pros and cons,» *Energy*, cilt 172, pp. 155-172, 2019.
- [9] A. Nishimura, T. Okado, Y. Kojima ve E. Hu, «Impact of Microporous Layer on Heat and Mass Transfer in a Single Cell of Polymer Electrolyte Fuel Cell Using a Thin Polymer Electrolyte Membrane and a Thin Gas Diffusion Layer Operated at a High-Temperature Range,» *ACS Omega*, cilt 6, no. 22, pp. 14575-14584, 2021.
- [10] N. Zhao, Z. Xie, F. Girard ve Z. Shi, «Tolerance of membrane with additive to iron contamination in PEM fuel cell,» *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023.
- [11] H. ASKARİPOUR, «Effect of operating conditions on the performance of a PEM fuel cell,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt 144, no. 118705, Aralık 2019.
- [12] S. Toghyani, E. Afshari ve E. Baniyasi, «A parametric comparison of three fuel recirculation system in the closed loop fuel supply system of PEM fuel cell,» *International Journal of Hydrogen Energy*, cilt 44, no. 14, pp. 7518-7530, 15 March 2019.
- [13] X. Tang, Y. Zhang ve S. Xu, «Temperature sensitivity characteristics of PEM fuel cell and output performance improvement based on optimal active temperature control,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, cilt 206, 1 June 2023.
- [14] G. ŞEFKAT ve M. A. ÖZEL, «PEM YAKIT PİLİNİN SİMULİNK MODELİ ve ANALİZİ,» *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, cilt 23, no. 2, 30 Temmuz 2018.
- [15] B. F. DALĞIÇ, *PEM YAKIT HÜCRESİNDE HİDROJEN GAZINDAKİ NEM ORANINA BAĞLI OLARAK ELEKTRİK ÜRETİMİNDEKİ DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ*, Batman, 2019.
- [16] G. YALIN, «İNSANSIZ HAVA ARACI İÇİN POLİMER ELEKTROLİT MEMBRAN YAKIT HÜCRESİ YIĞINI GELİŞTİRİLMESİ,» Eskişehir, 2015.
- [17] Y. DAŞDEMİRLİ, *PEM YAKIT PİLLERİNDE ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN PERFORMANSA ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ*, KARABÜK, Haziran 2019.
- [18] S. MEKHİLEF, R. SAİDUR ve A. SAFARİ, «Comparative study of different fuel cell technologies,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 16, no. 1, pp. 981-989, 2012.
- [19] M. AYDIN, «PEM YAKIT PİLİNİN İKİ BOYUTLU MODELLEMESİ,» *İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, ENERJİ ENSTİTÜSÜ, YÜKSEK LİSANS TEZİ*, 2007.
- [20] T. GÜMÜŞOĞLU, «PEM YAKIT HÜCRESİ PERFORMANSINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU,» *İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, YÜKSEK LİSANS TEZİ*, 2012.
- [21] T. N. KARAMETE, «BORİK ASİT KATKILI SPEEK/PVA KOMPOZİT MEMBRANI SENTEZLENMESİ VE KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI,» *YÜKSEK LİSANS TEZİ*, pp. 43-48, Temmuz 2019.
- [22] M. YILMAZOĞLU, «PEM Yakıt Hücreleri için Sülfone Polieter Eter Keton (sPEEK) Elektrolitlerin Sentezi ve Karakterizasyonu: Sülfonasyon Derecesi Etkisi,» *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, Yalova, 2020.

Makale id= 65

Sözlü Sunum

ORCID ID:

| 222

Mikromobilitede Otonom Dengeleme İçin Jiroskopik Stabilizasyon Modülü Tasarımı**Araştırmacı Ülker Betül Yavuz¹, Dr. Öğretim Üyesi Gazi Akgün¹, Doç.Dr. Uğur Demir¹**¹Marmara Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü

*Corresponding author: Ülker Betül Yavuz

Özet: Mikromobilitenin popülerleşmesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte otonom mikromobilité araştırma konusu haline gelmiştir. İnsansız hava, kara, deniz vb. araçlarda yapılan çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Fakat otomobillere kıyasla mikromobilitede, özellikle düşük hızlarda denge problemi yaşanmaktadır. Bu sebeple bisiklet, scooter gibi tek hatlı araçlar sadece insansız sürüşü değil aynı zamanda otonom dengelemeyi de gerektirmektedir. Kendi kendini dengeleyen iki tekerlekli bir araç elde etmenin birçok yolu vardır. Bu projede, daha önce yapılan araştırmalar ışığında; yüksek miktarda jiroskopik tork sağlaması, tepki süresinin kısa olması ve araç hareketsizken bile sistemin stabil kalabilmesi nedeniyle jiroskopik stabilizatör olarak da bilinen Kontrol Momenti Jiroskopu (CMG) dengeleme yöntemi ele alınmıştır. Sistem, Fırçasız Doğru Akım (BLDC) motoruyla dönen bir rotor ve rotorun açısız momentumuna eğim veren bir gimbal (yalpa) ekseninden oluşmaktadır. Sistemin devrilme torku ile serbest konumdaki gimbal ekseninde bir açı oluşmakta ve bu sebeple rotorun açısız momentumunun yönünde değişim olmaktadır. Dönen rotorun açısız momentumda oluşan bu değişiklik ile sistemin eğimine karşı koymaya çalışan, "presesyon" olarak bilinen jiroskopik bir reaksiyon torku oluşur. Araç dik konumda stabilize etmek için bu presesyon torku kullanılır. Araç tekrar denge konumuna gelene kadar bu döngü devam eder. MATLAB simülasyonları ve deneysel çalışmalar ile rotorun eylemsizlik momenti, hızı vb. değişkenlerin presesyon torkuna etkileri incelenmiş ve sistemi dengede tutabilecek uygun tasarım gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol Momenti Jiroskopu (CMG), otonom dengeleme, stabilite kontrolü, jiroskopik stabilizasyon, mikromobilité

Design of Gyroscopic Stabilization Module for Self-Balancing On micromobility

Abstract: With the growing popularity of micromobility and advancements in technology, autonomous micromobility has emerged as a prominent research area. This encompasses unmanned aerial, land, and sea vehicles, among others. Substantial progress has been achieved in vehicle research across these domains. However, when compared to conventional automobiles, micromobility faces a distinctive challenge maintaining balance, especially at low speeds. Consequently, single-track vehicles like bicycles and scooters require not only autonomous navigation but also autonomous balancing. Various approaches exist to achieve self-balancing for two-wheeled vehicles. In this project, building upon prior research, we delve into the Control Moment Gyro (CMG) balancing method, commonly referred to as the gyroscopic stabilizer. This approach offers a substantial amount of gyroscopic torque, quick response times, and the ability to maintain stability even when the vehicle is stationary. The system comprises a rotor driven by a Brushless Direct Current (BLDC) motor, coupled with a gimbal axis that manages the rotor's angular momentum. The system utilizes the tilting torque to create an angle in the gimbal axis's free position, thereby inducing a change in the rotor's angular momentum direction. This change generates a gyroscopic reaction torque known as "precession," which acts to counteract the system's tilt. This precession torque effectively stabilizes the vehicle in an upright position. This feedback loop persists until the vehicle regains equilibrium. Through MATLAB simulations and experimental studies, factors such as the rotor's moment of inertia and speed were investigated, evaluating their effects on the precession torque. Subsequently, a suitable design was devised to maintain system balance.

Keywords: Control Moment Gyroscope (CMG), self-balancing, stability control, gyroscopic stabilization, micromobility

1. GİRİŞ

Mikromobilite, çevre dostu ve hafif olması avantajları nedeniyle iyi bir ulaşım aracıdır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte otonom mikromobilite araştırma konusu haline gelmiştir. Birçok kurum ve kuruluş; insansız hava, kara, deniz ve su altı araçlarında yapılan çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Fakat otomobillere kıyasla küçük boyutları ve iki tekerlekli yapısı nedeniyle mikromobilitede, özellikle düşük hızlarda denge problemi yaşanmaktadır. (He & Zhao, 2015) Bu sebeple bisiklet, scooter gibi tek hatlı araçlar sadece insansız sürüşü değil aynı zamanda otonom dengelemeyi de gerektirmektedir. Ayrıca kendinden dengeli bir bisiklet ya da scooter, yeni öğrenenler ve çocuklar için düşme sorununu azaltarak aracı güvenli bir şekilde sürmelerine yardımcı olacaktır. Kendi kendini dengeleyen iki tekerlekli bir araç elde etmenin birçok yolu vardır.

1.1. İki Tekerlekli Araç Dengeleme Yöntemleri

İki tekerlekli bir araç doğası gereği dengesizdir ve uygun bir yöntem olmadan kontrol edilemez, dengelenemez. Geçmişte iki tekerlekli araçların dengelenmesi için birkaç farklı yöntem üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

- 1998'de Beznos ve arkadaşları (Beznos, ve diğerleri, 1998), 1999'da Gallaspy tarafından jiroskopik stabilizasyon yöntemi (Gallaspy, 1999)
- 2002 yılında Lee ve Ham tarafından ağırlık merkezinin hareket ettirilmesi ile kütle dengeleme yöntemi (Lee & Ham, 2002)
- 2004'te Tanaka ve Murakami tarafından direksiyon kontrolü yöntemi (Tanaka & Murakami, 2004)
- Murata tarafından 2005 yılında geliştirilen kendi kendini dengeleyen bisiklet Murata Boy'da ise dengeleme için reaksiyon çarkı yöntemi kullanılmıştır. (Lam, 2011)

Çalışmalar sonucunda kendi kendini dengeleyen iki tekerlekli bir araç elde etme yöntemleri temel olarak dört tipte sınıflandırılır:

Kontrol Momenti Jiroskopu (CMG): CMG yöntemi büyük bir tork sağlayabilir, ancak rotor sürekli döndüğü için CMG'nin enerji tüketimi çok yüksektir. (He & Zhao, 2015)

Kütle Dengeleme: Kütle dengelemenin mekanik yapısı basittir, ancak bu yöntemin sağlayabileceği tork küçüktür. Getz ve Marsden, 1995'te büyük bir top ile salınım yaparak bisikleti dengelemiştir. (Getz & Marsden, 1995)

Direksiyon Kontrolü: Direksiyon kontrolünün enerji tüketimi düşüktür ancak araç düşük hızda ilerlerken denge sağlanamaz. J. Fajans, 1999'da direksiyon kontrolü teorisini tanıtmıştır. (Fajans, 2000)

Reaksiyon Çarkı: Tepki süresi kısadır ve çıkış torku sınırlıdır, bu nedenle daha çok küçük bir bisikletin dengesi için uygundur. Murata Manufacturing, bisikleti dengelemek için bir reaksiyon çarkı kullanmıştır. (Murata Manufacturing Co. Ltd., 2005)

Genellikle ilk akla gelen yöntemler kütle dengeleme ve CMG olur ancak kütle dengeleme çok verimli bir yaklaşım değildir. Çünkü sistem bir kez dengeleme noktasına yaklaştığında ağırlıkların daha hızlı değiştirilmesi gerekmektedir, yani tepki süresi iyi olmalıdır ki bu da ağırlık rayı mekanizmasıyla yapılamaz. Ayrıca ağırlık rayı mekanizmasında ağırlıkların hareket yönü aniden değiştirildiği için önemli miktarda sarsıntıya neden olmaktadır. (Sharma, Singh, & Gulati, 2019) Daha önce yapılan araştırmalar ışığında; yüksek miktarda jiroskopik tork sağlaması, tepki süresinin kısa olması ve araç hareketsizken bile sistemin stabil kalabilmesi nedeniyle jiroskopik stabilizatör olarak da bilinen CMG'lerin kullanılmasının daha sağlıklı bir seçim olduğu görülmektedir. CMG, dönen bir rotordan ve rotorun açılma momentumuna eğim veren bir veya daha fazla motorlu gimbal (yalpandan) oluşur. (Lam, 2011) Rotor eğilirken açılma momentumunda oluşan değişiklik, "presesyon" olarak bilinen jiroskopik bir reaksiyon torkuna yol açar. Bu presesyon torku genellikle, salınım yapan yapılarda gerekli dengeyi sağlamak için kullanılır. (Sharma, Singh, & Gulati, 2019)

1.2. Literatür Araştırması

Yapıları gereği stabil olmayan araçların otonom stabilizasyonuna yönelik girişimler 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. 1903'te, İrlandalı-Avustralyalı mucit Louis Brennan, jiroskopik dengelemenin patentini alan ilk kişi oldu. (Sawant, Devrukhkar, Karpe, & Solanki, 2020) 1905'te Louis Brennan, çeşitli mekanizmalar ve mekanik sensörlerin pasif olarak çalıştırılmasıyla kontrol edilen CMG sistemini kullanarak bir Jiroskopik Monoray inşa etmiştir. Monoray, dairesel bir yol boyunca 50 yolcu taşıyan test sürüşlerini başarıyla gerçekleştirmiştir. (US Patent No. 796893, 1905) Ancak sensörlerin ve kontrolörlerin sınırlı doğruluğa sahip olduğu o zamanlar, iki raylı sistem kullanmak daha pratikti. 1909 ve 1911'de benzer projeler Scherl ve Shilovsky tarafından denenmiştir. (US Patent No. 1137234, 1915) Rus mucit Dr. Pyotr Shilovsky'nin tekerlekleri tandem olarak yönlendirilmiş iki tekerlekli aracı, debriyajla etkinleştirilen bir CMG sistemi ile manuel olarak stabilize edilebiliyordu. Bu da araçtaki yolcunun, CMG'nin rotorunda yalpa açısı vermek için debriyajı uygun şekilde çalıştırmasını gerektiriyordu. Ancak doğru açısız konum, hız ve hızlanma geri bildirimi için sensörlerin olmaması, bu erken girişimleri sınırlamıştır. (Yetkin & Ozguner, 2013)

Şekil 1: a) Breannan'ın Jiroskopik Monorayı, b) Shilovsky'nin Cayro Aracı (Kalouche, 2014)



(a)



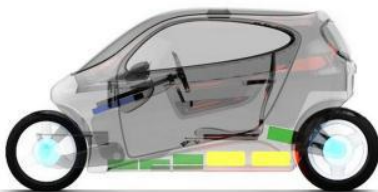
(b)

Bilgisayar destekli programların ve mikro denetleyicilerin ortaya çıkmasıyla birlikte, iki tekerlekli araçların kendi kendini dengelemesi üzerine daha fazla araştırma yapılmıştır. Bisiklet dinamikleri ve kontrolü Sharp tarafından detaylı olarak incelenmiştir. (Sharp, 1971) Bu çalışmaların çoğu, sabit bir hızla ilerleyen bisikletin aktif olarak oluşturduğu dinamik stabilizasyonu kullanarak dengeyi sağlamayı kapsar. Ancak bu girişimler statik bir bisikleti stabilize etmede başarısız olmuştur. (Yetkin & Ozguner, 2013)

Günümüzde sensör teknolojisinde, motor teknolojisinde, kontrol yöntemlerinde ve CMG ile stabilize edilen otonom kontrolörlerde çok ilerleme kaydedilmiştir. San-Francisco'da Lit Motors adlı şirket, kapalı bir motosikleti otonom olarak dengelemek için ters yönlere dönen 2 adet tek eksenli cayro kullanarak elektrikli araç çalışmaları yapmaktadır. Honda CES (Consumer Electronics Show) 2017'de kendi kendini dengeleyen bisikletin en iyi örneği ve çalışan modeli olan 'Riding Assist' teknolojisini tanıtmıştır. (Sawant, Devrukhkar, Karpe, & Solanki, 2020)

Şekil 2: a) LIT MOTORS Motosiklet Konsepti, (Kalouche, 2014)

b) HONDA CES Motosiklet (Sharma, Singh, & Gulati, 2019)



(a)



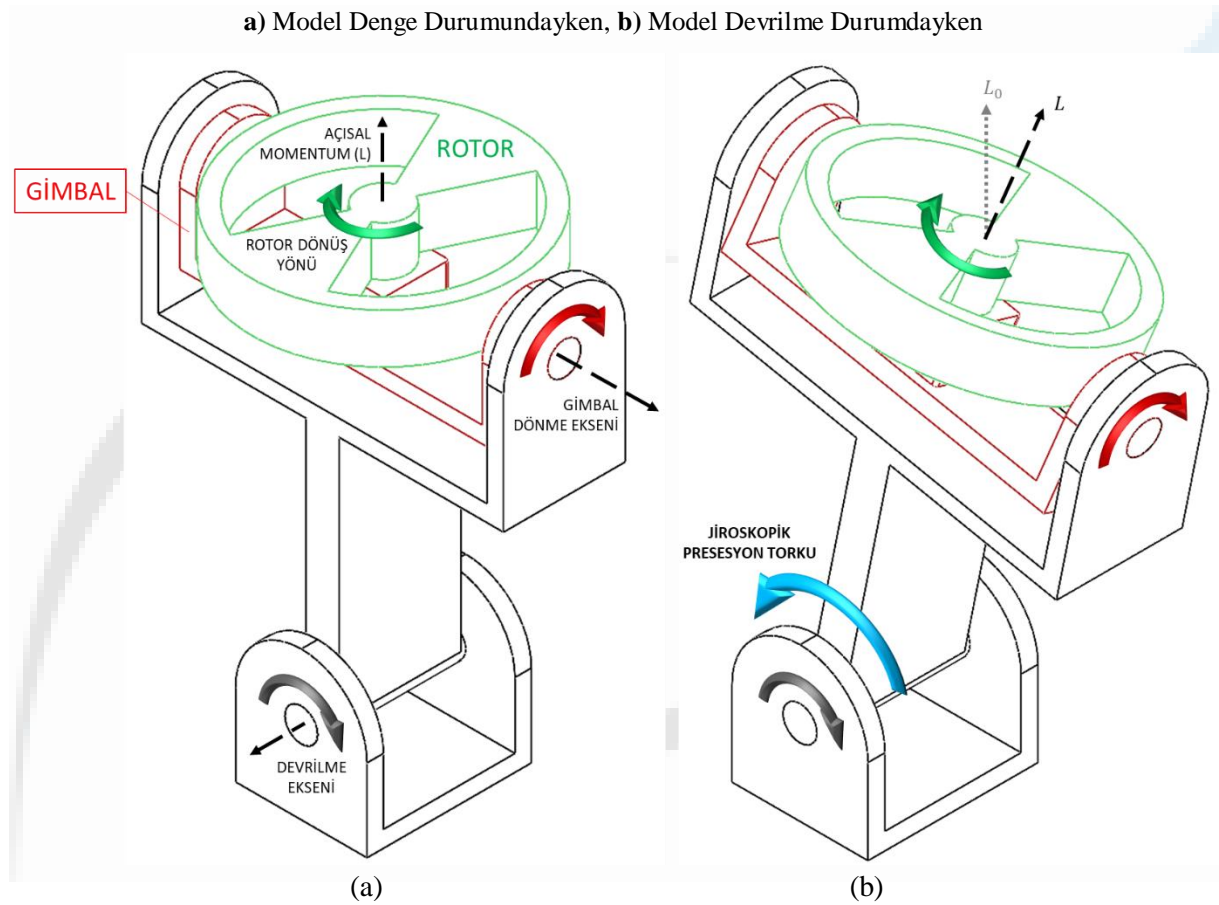
(b)

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu projede, iki tekerlekli bir aracın kendi kendine dengede durmasını sağlayacak jiroskopik bir modül tasarımı yapılacaktır. Bu konsept, ihtiyaç duyulan torka göre dönüş ekseninin değiştirilebileceği tek eksen gimbal bir rotorun kendi kendine dengede duramayan bir sisteme monte edilmesiyle uygulanacaktır. Rotorun sürekli dönüşünü sağlamak için kullanılacak olan elektrikli motor tipi BLDC motordur. Sistemin devrilme torku ile serbest konumdaki gimbal ekseninde bir açı oluşmakta ve bu sebeple rotorun açısal momentumunun yönünde değişim olmaktadır. Dönen rotorun açısal momentumda oluşan bu değişiklik ile sistemin eğimine karşı koymaya çalışan, “presesyon” olarak bilinen jiroskopik bir reaksiyon torku oluşur. Aracı dik konumda stabilize etmek için bu presesyon torku kullanılır. (Kacar, Eroglu, & Yalcin, 2021)

| 225

Şekil 3: CMG Tarafından Üretilen Jiroskopik Presesyon Torku Kullanılarak Ters Sarkaç Modelinin Dengelenmesi



3. SİSTEMİN MODELLENMESİ

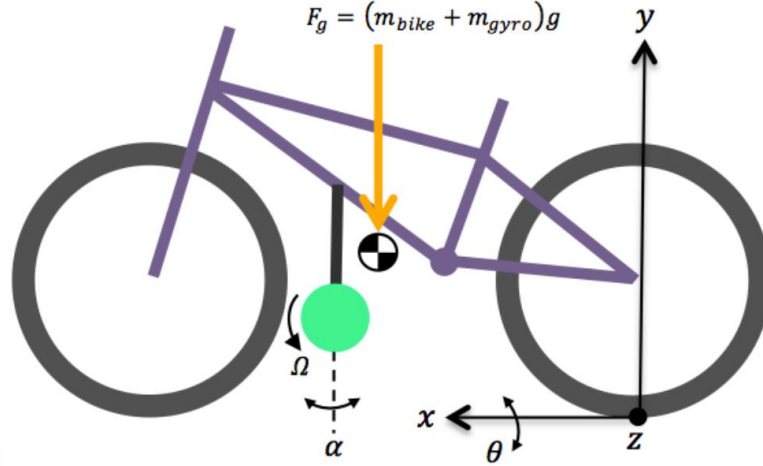
Bisiklet bir ters sarkaç olarak, rotor ise sabit genişlikte bir disk olarak modellenebilir. Sistem 3 serbestlik derecesine sahiptir;

Teta (θ): Bisikletin devrilme açısı

Alfa (α): Rotorun bağlı olduğu gimbal eksenin açısal onumu

Omega (Ω): Rotorun dönme eksenindeki dönme serbestlik derecesi. (Kalouche, 2014)

Şekil 4: Üç Serbestlik Dereceli Bisiklet Modeli (Kalouche, 2014)



| 226

Sistemin kinetik ve potansiyel enerji denklemleri Denklem (1) ve Denklem (2) 'de gösterildiği gibi çıkartılır.

$$T = \text{kinetik} = \frac{1}{2} I_b \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} \int_{\text{cayro}} dm (\dot{\vec{x}}_c)^2 \quad (1)$$

$$V = \text{potansiyel} = (M_b * h_b + M_c * R) g * \cos \theta \quad (2)$$

Burada; T toplam kinetik enerjiyi, I_b bisiklet için atalet momentini, $\dot{\theta}$ bisikletin devrilme açısal ivmesini, $(\dot{\vec{x}}_c)$ jiroskopun rotorunun x eksenindeki çizgisel hızını, V toplam potansiyel enerjiyi, M_b bisikletin kütlesini, g yerçekimi ivmesini, h_b bisikletin ağırlık merkezinin yerden yüksekliğini, M_c jiroskopun kütlesini, R rotorun merkezinin gimbal bağlantısına olan uzaklığı, θ ise devrilme açısını ifade etmektedir. Sistemdeki toplam enerjinin tam olarak türetilmesinden sonra elde edilen Euler-Lagrange denklemleri şu şekildedir;

$$L(\theta, \alpha) = T - V \quad (3)$$

Burada; α gimbal ekseninin açısal konumunu ifade etmektedir. Teta (θ), devrilme açısı için;

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) \quad (4)$$

$$0 = \left(I_b + M_c R^2 + \frac{1}{4} M_c r_r^2 (1 + \sin^2 \alpha) \right) \ddot{\theta} + \frac{1}{2} M_c r_r^2 \dot{\alpha} \dot{\theta} \sin \alpha \cos \alpha - \frac{1}{2} M_c r_r^2 \Omega \frac{d(\sin \alpha)}{dt} - V_0 \sin \theta \quad (5)$$

Burada; r_r rotorun yarıçapını, $\dot{\alpha}$ gimbal ekseninin açısal hızını (yalpalama hızı), V_0 başlangıçtaki potansiyel enerjiyi ifade etmektedir. Alfa (α), gimbal eksenini açısal konumu için;

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} \right) \quad (6)$$

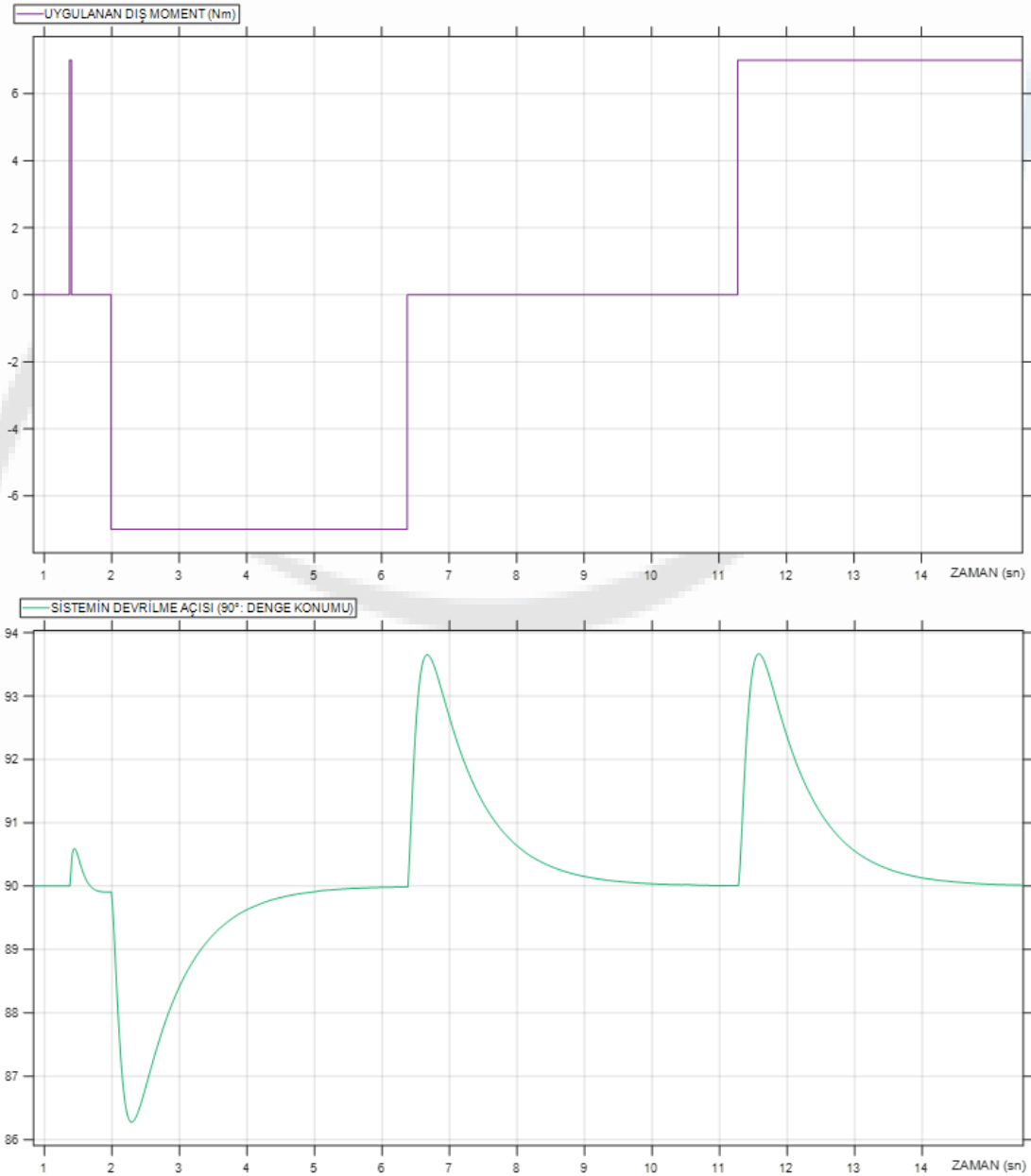
$$0 = \ddot{\alpha} - \sin \alpha \cos \alpha \dot{\theta} + 2\Omega \dot{\theta} \cos \alpha \quad (7)$$

Simülasyon sonucunda, uygulanan dış torka göre sistemin denge konumunu ve tepkisi görebilmek için, manuel uygulanan tork ve sistemin devrilme açısı çıktı olarak Grafik 1’de paylaşılmıştır. Bu grafik incelendiğinde sisteme dışarıdan tork uygulandığında devrilme açısında ani bir değişim olduğu ve devrilmeye yöneldiği görülmektedir. Fakat sistemin devrilme açısındaki bu değişim gimbal eksenindeki açıda da değişime sebep olur ve açısal momentum yönü değişen rotor presesyon torku üretir. Bu presesyon torku sayesinde dış tork uygulanmaya devam edildiği halde sistemin zamanla denge konumuna döndüğü gözlemlenmektedir.

| 228

Sisteme uygulanan tork kaldırıldığında anlık olarak presesyon torkunun devamı sebebiyle ters yönde ani bir açı değişimi ve devrilme eğilimi olduğu görülmektedir. Fakat daha sonra presesyon torku da ortadan kalktığı için sistem tekrar denge konumuna gelmektedir. Buradaki bu ani değişimleri kontrol edebilmek, daha hızlı stabilizasyon sağlayabilmek için modelin devrilme açısı sistemin girdisi ve gimbal açısı da sistemin çıktısı olacak şekilde bir kontrol stratejisi uygulanabilir.

Şekil 6: Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Devrilme Açısı Değerleri ile Uygulanan Dış Momentin Karşılaştırılması



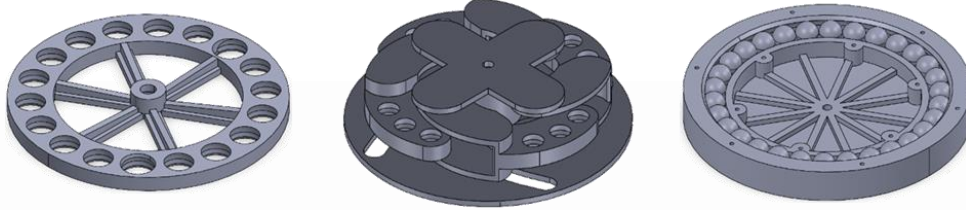
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tek eksen gimbal CMG tasarımı, çeşitli mekanizmalardan ve montaj yapılarından oluşur. CMG'nin etkisini en üst düzeye çıkarmak için birden çok parametrenin optimize edilmesi gerekir. Elde edilen tork denkleminde açıkça görülmektedir ki, CMG tarafından üretilen reaktif tork, başta rotorun kütlesi ve yarıçapı olmak üzere birkaç tasarım parametresine bağlıdır.

Gerçekleştirilen tasarımlarda rotorun eylemsizlik momentini artırmak için, rotor ağırlığı olabildiğince dış çapa yakın konumlandırıldı. Rotor çevresine demir bilyeler eklenerek eylemsizlik momenti ve kütlesinde artış sağlandı.

| 229

Şekil 7: Farklı Rotor Tasarımı Çalışmaları



3B yazıcıda basılan farklı ölçülerdeki rotorlar ile kendi kendine dengede duramayan tek hatlı küçük bir model üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Farklı rotor tasarımları ile denemeler sonucunda; atalet momenti yüksek olan rotor ile sistemin kısa süreli dengede durduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 8: Demir Bilyelerin Eklendiği 3B Yazıcıdan Basılan Rotorlar



5. SONUÇLAR

Bu projede, kendi kendine dengede duramayan tek hatlı, iki tekerli araçların dengelenmesi için jiroskopik stabilizasyon yöntemi kullanılmıştır. CMG olarak da bilinen bu yöntem için tek gimbal eksenli BLDC motorla dönme hareketi verilen rotor kullanılmıştır. Rotorun açısal momentumunu koruma isteği ile oluşan presesyon torku kullanılarak sistemin dengede durması sağlanmıştır. Presesyon torkuna etkili parametreler incelenerek rotor tasarımı gerçekleştirilmiştir. Rotor tasarımının otonom dengelemeye etkileri gözlemlenmiştir. Rotor kütlesi ve atalet momenti arasındaki ilişki incelenerek daha yüksek jiroskopik tork üretmek için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Simülasyon çalışmalarında; eylemsizlik momenti yüksek olan tasarımların, sistemi yerçekimine karşı dengede tutabildiği buna ek olarak uygulanan dış torklara karşı da küçük sarsılmalar sonucu sistemi dengede tutmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Fakat deneysel çalışmalarda dış tork uygulandığında sistem dengesini kaybetmektedir ve dış tork olmadığında sadece yer çekimine karşı da uzun süreli dengede kalamadığı görülmüştür. Bu durumun önüne geçebilmek için çift CMG kullanılarak jiroskopik torkun etkisi artırılabilir veya rotorun ağırlığı ve eylemsizlik momenti arasında iyi bir optimizasyon çalışması yapılarak tek CMG ile jiroskopik tork etkisinin artırılması planlanmaktadır.

Ayrıca simülasyon çalışmaları sırasında dışarıdan tork uygulandığında veya uygulanmakta olan tork geri çekildiğinde sistemin salınım yaptığı gözlemlenmiştir. Bu salınımın azaltılması için devrilme açısına göre gimbal ekseninin kontrol edileceği geri beslemeli bir kontrol yöntemi kullanılabilir.

Bir sonraki çalışmalarda;

- Daha yüksek presesyon torku üretebileceğimiz rotor için tasarım parametrelerinin optimizasyon çalışması yapılması,
- Sistemin devrilme açısı girdi, gimbal eksen açısı çıktı olacak şekilde kontrol algoritması oluşturulması,
- Sistemin otonom 2 tekerlekli bisiklete entegre edilmesi planlanmaktadır.

6. KAYNAKÇA

- [1] Beznos, A. V., Formal'sky, A. M., Gurfinkel, E. V., Jicharev, D. N., Lensky, A. V., Savitsky, K. V., & Tchesalin, L. S. (1998). Control of Autonomous Motion of Two- Wheel Bicycle with Gyroscopic Stabilisation. *International Conference on Robotics & Automatlon* (s. 2670-2675). Leuven, Belgium: IEEE.
- [2] Brennan, L. (1905). US Patent No. 796893.
- [3] Fajans, J. (2000, Temmuz). Steering in Bicycles and Motorcycles. *American Journal of Physics* 68(7), s. 654-659.
- [4] Gallaspy, J. (1999). *Gyroscopic Stabilization of an Unmanned Bicycle*. Auburn Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- [5] Getz, N. H., & Marsden, J. E. (1995). Control for an Autonomous Bicycle. *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (s. 1397-1402). Nagoya, Japan: IEEE.
- [6] He, J., & Zhao, M. (2015). Control System Design of Self-Balanced Bicycles by Control Moment Gyroscope. *Proceedings of the 2015 Chinese Intelligent Automation Conference*.
- [7] Kacar, İ., Eroglu, M. A., & Yalcin, M. K. (2021). Design and Development of an Autonomous Bicycle. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, s. 364-372.
- [8] Kalouche, S. R. (2014). Control Moment Gyroscope Stabilization and Maneuverability of Inherently Unstable Vehicles and Mobile Robots. *Lisans Tezi*. The Ohio State University – Department of Mechanical and Aerospace Engineering.
- [9] Lam, P. Y. (2011). Gyroscopic Stabilization of a Kid-Size Bicycle. *IEEE 5th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS)*.
- [10] Lee, S., & Ham, W. (2002). Self Stabilizing Strategy in Tracking Control of Unmanned Electric Bicycle With Mass Balance. *International Conference on Intelligent Robots and Systems* (s. 2200-2205). Lausanne, Switzerland: IEEE.
- [11] *Murata Manufacturing Co. Ltd.* (2005, Eylül 29). Murata Boy: https://corporate.murata.com/en-eu/more_murata/robots/mboy adresinden alındı
- [12] Sawant, S., Devrukhkar, O., Karpe, H., & Solanki, M. (2020). Design and Development of Inline Two Wheeler Self-Balancing Electric Bike. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9(3), 550-553.
- [13] Schilowsky, P. (1915). *US Patent No. 1137234*.
- [14] Sharma, P., Singh, M., & Gulati, V. (2019, September 17). Design and Development of Self Balancing Bike. *Think India Journal*, s. 1428-1438.
- [15] Sharp, R. S. (1971). The Stability and Control of Motorcycles. *Mechanical Engineering Society*, 13(5), 316-329.

- [16] Tanaka, Y., & Murakami, T. (2004). Self Sustaining Bicycle Robot with Steering Controller. *The 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control* (s. 193-197). Kawasaki, Japan: IEEE.
- [17] Yetkin, H., & Ozguner, U. (2013). Stabilizing Control of an Autonomous Bicycle. *2013 9th Asian Control Conference (ASCC)*. Istanbul, Turkey.



Makale id= 76

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-0091-3606

| 232

Altın Fiyatının Tahmini İçin Deniz Yırtıcıları Algoritması ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemine Dayanan Bir Yöntemin Geliştirilmesi**Dr. Öğretim Üyesi Ceren Baştemur Kaya¹**¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü

Özet: Altın fiyatının tahmininde yoğun kullanılan yapay zekâ tekniklerinden biri de adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemidir. Adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin en önemli aşamalarından biri eğitim sürecidir. Literatür incelendiğinde bu eğitim sürecinde farklı meta-sezgisel algoritmaların yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, güncel meta-sezgisel algoritmalarından biri olan deniz yırtıcıları algoritması kullanılarak altın fiyatının kısa vadeli tahmini için adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Yani, deniz yırtıcıları algoritması ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi tabanlı hibrit bir yöntem önerilmiştir. Altın fiyatlarının tahmini için 2023 yılına ait ilk altı aylık günlük veriler kullanılmış ve zaman serisi analizi gerçekleştirilmiştir. Etkili sonuçlar elde edebilmek için farklı üyelik fonksiyonları değerlendirilmiş, eğitim ve test hata değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları altın fiyatının tahmininde önerilen hibrit yöntemin etkili olduğunu göstermiştir. İlgili problemin çözümünde deniz yırtıcıları algoritmasının performansı yapay arı kolonisi algoritması, kelebek optimizasyon algoritması ve çiçek tozlaşma algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, altın fiyatının tahmini için gerçekleştirilen adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi eğitimi deniz yırtıcıları algoritmasının performansının diğer algoritmalarından daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz Yırtıcıları Algoritması, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi, Anfis, Altın Fiyatının Tahmini, Zaman Serisi Analizi

Development Of A Method Based On Marine Predators Algorithm And Adaptive Network Based Fuzzy Inference System For Predicting Gold Price

Abstract: One of the artificial intelligence techniques used extensively in the prediction of gold price is the adaptive network based fuzzy inference system. One of the most important stages of an adaptive network based fuzzy inference system is the training process. When the literature is examined, it is seen that different meta-heuristic algorithms are used extensively in this training process. Within the scope of this study, training of adaptive network based fuzzy inference system was realized by using the marine predators algorithm, which is one of the current meta-heuristic algorithms, for the short-term prediction of gold price. Namely, a hybrid method based on the marine predators algorithm and an adaptive network based fuzzy inference system was proposed. For the prediction of gold prices, daily data belonging to the first six months of 2023 were used and time series analysis was performed. In order to obtain effective results, different membership functions were evaluated and, training and test error values were analyzed. The results of the analysis have shown that the proposed hybrid method is effective in predicting the gold price. In solving the related problem, the performance of the marine predators algorithm was compared with the artificial bee colony algorithm, butterfly optimization algorithm and flower pollination algorithm. The results have shown that the performance of the marine predators algorithm is generally more successful than the other algorithms in the training of the adaptive network based fuzzy inference system for the prediction of gold price.

Keywords: Marine Predators Algorithm, Adaptive Network Based Fuzzy Inference System, ANFIS, Prediction of Gold Price, Time Series Analysis

1. GİRİŞ

Altın günümüzde pek çok yatırımcı tarafından tercih edilen önemli bir finansal yatırım aracıdır. Altının rezervinin sınırlı olması ve değerinin her geçen gün artması, yatırımcılar tarafından tercih edilmesinde büyük bir etken olmuştur. Bu nedenle altın fiyatlarının tahmini için çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Altın fiyatının tahmininde yapay zekâ tekniklerinin yoğun kullanıldığı görülmektedir. Yapay sinir ağları (YSA), meta-sezgisel algoritmalar ve adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) bu yöntemlerden bazılarıdır. Meta-sezgisel algoritmalar doğadan ilham alınarak oluşturulan optimizasyon algoritmalarıdır. Verimli arama işlemi yapabilmeleri ve daha hızlı bir şekilde optimum çözüme ulaşmaları bu algoritmalara yönelimi artırmıştır. Meta-sezgisel algoritmalarla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Alameer ve ark. [1] çalışmalarında uzun vadeli aylık altın fiyat dalgalanmalarını tahmin etmek için çok katmanlı algılayıcı YSA ile balina optimizasyon algoritmasını hibritleyerek yeni bir model önermişlerdir. Önerilen modelin sonuçlarını klasik YSA ve meta-sezgisel algoritma tabanlı farklı YSA modelleriyle karşılaştırmışlardır. Önerdikleri modelin daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Dash ve ark. [2] altın fiyatının gelecekteki artışını tahmin etmek için karga arama algoritması (CSA) ile Pi-Sigma yapay sinir ağını eğiterek bir model sunmuşlardır. Önerilen model parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve diferansiyel gelişim (DE) algoritması ile eğitilen Pi-Sigma yapay sinir ağı ile karşılaştırılmıştır. Önerdikleri modelin daha iyi sonuçlar verdiğini rapor etmişlerdir. Lu ve ark. [3] destek vektör regresyon (SVR) modeli ile gri kurt algoritmasına (GWO) dayalı hibrit bir model geliştirerek altın fiyatının tahmini üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Önerilen modelin karmaşık sistemlerin yapısını makine öğrenimi teknikleri ile birleştirerek yüksek frekanslı özellikleri analiz etmeyi ve karmaşık doğrusal olmayan sorunları çözmeyi daha uygun hale getirdiğini belirtmişlerdir. Mamoudan ve ark. [4] değerli metaller piyasasında teknik analiz göstergelerinden elde edilen sahte sinyalleri tespit etmek için, evrişimli sinir ağını ve ateş böceği algoritmasının (FA) kullanıldığı hibrit bir model önermektedir. Hedef değişkenler üzerindeki en etkili değişkenleri belirlemek amacıyla güve-alev optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır. Model performansını belirlemek için literatürdeki hibrit derin öğrenme ve makine öğrenme yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Önerilen yöntemin yatırımcılar için karar destek aracı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Hafezi ve Akhavan [5] gelecekteki altın fiyatlarını tahmin etmek için yapay sinir ağına yarıya algoritması (BA) ile eğitiminin yapıldığı hibrit model önermişlerdir. Tasarlanan modelin başarısını belirlemek amacıyla sonuçları farklı yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Önerdiklerini modelin hem geleneksel hem de modern tahmin modellerinden daha iyi performans gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Meta-sezgisel algoritmalarla yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı yöntemlerle hibritlendiği görülmektedir [1-5]. Bu yöntemlerden biri de ANFIS'tir. ANFIS yapay sinir ağına ve bulanık mantığın üstün özelliklerinin birleştirildiği bir yapay zeka tekniğidir [6]. Yapay sinir ağına öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın çıkarım yapma özelliklerinin birleşimine dayalıdır. ANFIS'in meta-sezgisel algoritmalarla eğitildiğinde başarılı sonuçlar verdiği yapılan çalışmalarla desteklenmiştir [7]. KangaraniFarahani ve Mehralian [8] altın fiyatını tahmin etmek için yapay sinir ağı ile ANFIS'in karşılaştırmasını yapmışlardır. Sonuç olarak ANFIS'in daha başarılı sonuçlar verdiğini rapor etmişlerdir. Boyacioglu ve Avcı [9] ANFIS ile borsa getirisinin öngörülebilirliğini araştırmışlardır. Altı makroekonomik değişken ve üç endeks kullanarak modelledikleri ANFIS'in borsa tahmini için başarılı sonuçlar ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Makridou ve ark. [10] ANFIS kullanarak altın fiyatını tahmin etmek amacıyla çalışmalarını yürütmüşlerdir. Tahmin doğruluğu belirlemek için farklı yöntemlerle karşılaştırma yapmışlardır. ANFIS'in karşılaştırılan tüm yöntemlerden daha üstün performans gösterdiğini rapor etmişlerdir. Yazdani-Chamzini ve ark. [11] altın fiyatının modellenmesi için ANFIS, YSA ve ARIMA modellerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ANFIS'in diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Ghashami ve Kamyar [12] genetik algoritma ile eğitilmiş ANFIS modelini ABD'de en çok takip edilen endekslerden olan NASDAQ borsa endeksini tahmin etmek için kullanmışlardır. Araştırma sonucunda modelin başarılı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Literatür incelendiğinde özellikle altın fiyatının tahmininde ANFIS ve meta-sezgisel algoritmaların kullanılmasının başarılı sonuçlar verebileceği görülmektedir. Performansı yüksek olan yeni meta-sezgisel algoritmalarından bir tanesi de deniz yırtıcıları algoritmasıdır (MPA) [13-15]. Yeni bir algoritma

olduğu için farklı alanlarda kullanımına ihtiyaç vardır. ANFIS eğitiminde kullanılmasını içeren sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada MPA kullanılarak altın fiyatının kısa vadeli tahmini için ANFIS eğitimi gerçekleştirilmiştir. Önerilen hibrit modelde, altın fiyatının tahmini için 2023 yılına ait ilk altı aylık günlük veriler kullanılarak zaman serisi analizi gerçekleştirilmiştir. Önerilen hibrit modelin performansının karşılaştırılması için yapay arı kolonisi algoritması (ABC), kelebek optimizasyon algoritması (BOA) ve çiçek tozlaşma algoritması (FPA) ile eğitilen ANFIS modelleri kullanılmıştır.

2. YÖNTEMLER

2.1. Deniz Yırtıcıları Algoritması (MPA)

Deniz Yırtıcıları Algoritması (MPA), Faramarzi ve ark. tarafından geliştirilen, doğadan ilham alan sürü tabanlı bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır [16]. Okyanustaki yırtıcı hayvanlar arasındaki yiyecek arama stratejisinden ilham alınarak geliştirilmiştir. MPA'da Lévy ve Brownian hareketlerinden yola çıkılarak hem avcı hem de avı içeren optimum karşılaşma oranı stratejisi kullanılmıştır.

Hayvanlar yiyecek arama eğilimindeyken rastgele yürüyüş stratejisini kullanırlar. Lévy, rastgele yürüyüş stratejisinin optimum arama algısına dayanan bir türüdür. Başka bir rastgele yürüyüş stratejisi Brownian'dır. Düşük av konsantrasyonunda Lévy, çok sayıda av içeren ortamda Brownian kullanılır. Lévy ve Brownian hareketleri, avcılar tarafından optimal yiyecek arama amacıyla tercih edilen ikili stratejilerdir. Av yoğunluğuna bağlı olarak kullanım oranları değişen bu ikili stratejilerin, bir avcı tarafından hemen hemen eşit yüzdede kullanıldıkları söylenebilir. Olağan dışı durumlarda (girdap, balık toplama cihazları vb.) av arama stratejilerini değiştirebilirler.

MPA'da ilk çözüm diğer popülasyon tabanlı meta-sezgisel algoritmalara benzer şekilde arama uzayına yayılır. Av ve avcının pozisyonlarını betimleyen ve avcının avını bulmasını sağlayan Elite ve Prey adında iki boyutlu matrisler oluşturulur. Elite en iyi yırtıcıyı bulmak için güncellenir. MPA'da optimizasyon süreci, avcının avına olan hız oranlarının (v) dikkate alındığı üç fazdan oluşur. MPA'ya ait akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiş ve MPA'nın faz süreçleri aşağıda özetlenmiştir:

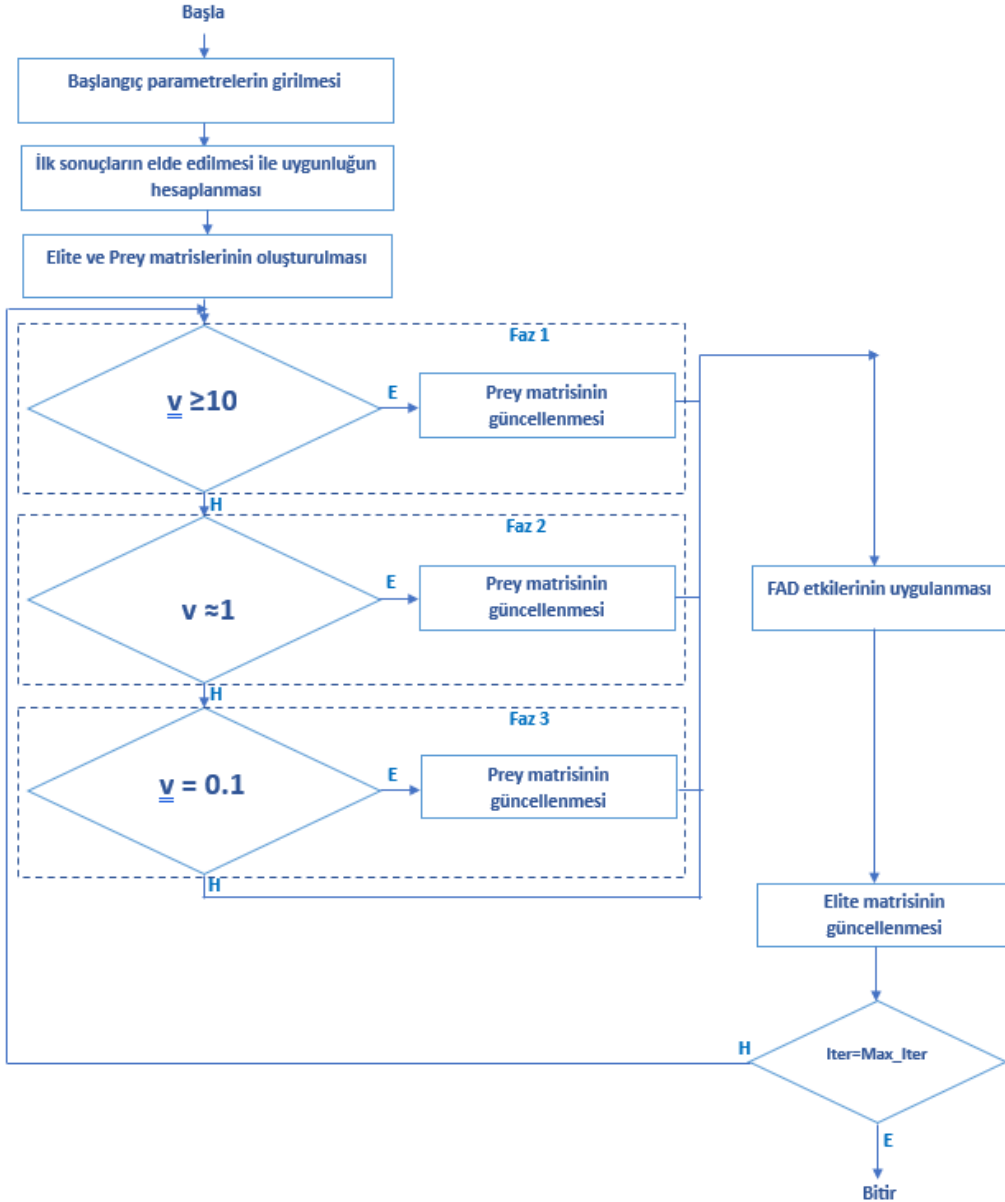
Faz 1: Avcı avdan daha hızlı hareket ettiğinde gerçekleşir (Yüksek hız oranı). Bu fazda avcı için en iyi strateji hareket etmemektir.

Faz 2: Avcı ve av neredeyse aynı hızla hareket ettiğinde gerçekleşir (Birim hız oranı). Av Lévy'de hareket ederken avcı Brownian ile hareket etmelidir. Avcı keşiften sorumluyken, av sömürüden sorumludur.

Faz 3: Avcı avdan daha yavaş hareket ettiğinde gerçekleşir (Düşük hız oranı). Avcı için en iyi strateji Lévy'dir.

Bu hareketlerin dışında deniz yırtıcılarının davranışını etkileyen önemli unsurlardan bir tanesi girdap oluşumu, balık toplama cihazları (FAD) gibi çevresel faktörlerdir. MPA'da FAD etkisi de göz önünde bulundurulmaktadır.

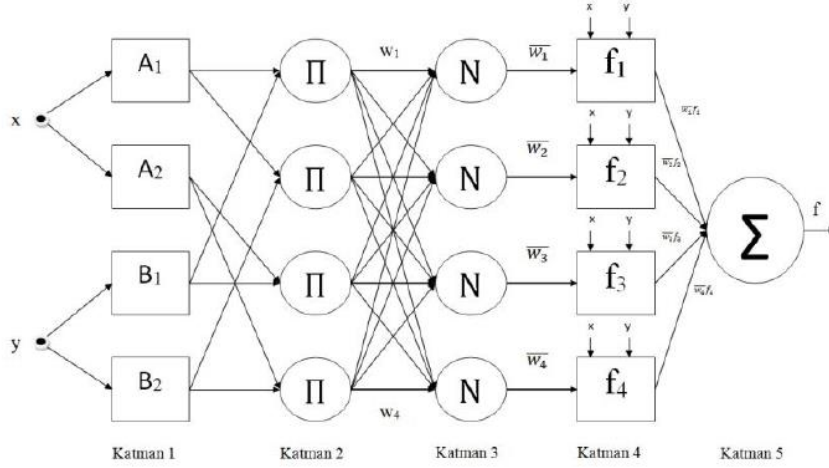
Deniz yırtıcıları, yiyecek aramada başarılı oldukları yeri hatırlama konusunda iyi bir hafızaya sahiptir. Bu durum MPA'da bellek tasarrufu ile simüle edilir. Prey'i güncelledikten ve FAD etkisi uyguladıktan sonra, sonuçlar Elite'i güncellemeye uygunluk açısından değerlendirilir ve en iyi sonuç bulunana kadar süreç bu şekilde devam eder.



Şekil 1. MPA Süreçlerinin Gösterildiği Akış Diyagramı

2.2. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS)

Jang tarafından geliştirilen ANFIS, yapay sinir ağının öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın çıkarım özelliklerinin bir araya gelmesi ile oluşturulan yapay zeka tekniklerinden biridir [6]. Başlangıç ve sonuç olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. If-Then kuralı ile bölümler birbirine bağlanır. ANFIS, 5 katmandan oluşmaktadır ve her katmanda hesaplamalar gerçekleştirilerek çıkış elde edilmektedir. İki giriş ve bir çıkıştan oluşan örnek bir ANFIS yapısı Şekil 2’de sunulmuştur. ANFIS’e ait katman yapısı ise aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 2. İki Giriş ve Bir Çıkışlı Örnek Bir ANFIS Yapısı

Katman 1, bulanıklaşma katmanıdır. Üyelik fonksiyonları aracılığı ile girdilerden bulanık kümeler elde edilir. Üyelik fonksiyonlarının yapısında parametreler bulunmaktadır. Başlangıç parametreleri olarak adlandırılan bu parametrelerin sayısı her üyelik fonksiyonunda farklı olabilir ve üyelik fonksiyonlarının şeklinin belirlenmesini sağlamaktadır. Üçgen, yamuk, sigmoid, gauss ve çan gibi üyelik fonksiyonları vardır. Her fonksiyon farklı sayıda parametreden oluşmaktadır. Bu parametrelerle girişlere ait üyelik değerleri hesaplanır.

Katman 2, kural katmanıdır. Katman 1’de elde edilen üyelik değerleri ile her kural için ateşleme seviyesi hesaplanır. Ateşleme seviyesi girişlere ait üyelik değerlerinin çarpımıyla hesaplanmaktadır.

Katman 3, normalizasyon katmanıdır. Katman 2’de elde edilen ateşleme seviyeleri kullanılarak normalize edilmiş ateşleme seviyeleri hesaplanır.

Katman 4, durulaştırma katmanıdır. Normalize edilmiş ateşleme seviyesi ile birinci dereceden bir polinomun çarpılmasıyla kuralların çıkışları hesaplanır.

Katman 5, toplam katmanıdır. Katman 4’de tüm kurallar için elde edilen çıkışlar toplanır ve ANFIS’in sonuç çıkışı elde edilir.

3. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında altının ons fiyatının tahmini için MPA kullanarak ANFIS eğitimi gerçekleştirilmiştir. Veri seti olarak 2023 yılının ilk altı aylık günlük verileri kullanılmıştır. Veri setindeki günlük altın değerlerinin büyük olması sebebiyle [0,1] arasında ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Buradaki veriler zaman serisi şeklindedir. Bu verilerin ANFIS’e uygulanabilmesi için giriş ve çıkış verilerinden oluşan bir sete dönüştürülmesi gerekmektedir. Bir sonraki güne ait altın fiyatının tahmini için önceki iki güne ait değerler kullanılmıştır. Yani $y(t)$ bir sonraki güne ait altın fiyatını ifade etmekte ve veri setinin çıkışını oluşturmaktadır. $y(t-1)$ ve $y(t-2)$ ise önceki iki güne ait altın fiyatlarına karşılık gelmekte ve veri setinin giriş değerlerini oluşturmaktadır. Bu yaklaşımdan yola çıkarak, ilgili belirtilen zaman serisi 130 adet giriş çıkış çiftinden oluşan veri setine dönüştürülmüştür. Bu verilerin %80’i eğitim süreci için kalanlar ise test süreci için kullanılmıştır. ANFIS eğitiminde iki farklı üyelik fonksiyonu üzerinde çalışılmıştır. Bunlar genelleştirilmiş bell (Gbellmf) ve Gaussian (Gaussmf) fonksiyonlarıdır. Her giriş için 2, 3 ve 4 üyelik fonksiyonu kullanılarak sonuçlar elde edilmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. MPA’nın popülasyon büyüklüğü ve maksimum iterasyon sayısı sırasıyla 20 ve 2500 alınmıştır. Hata metriği olarak ortalama karesel hata (MSE) kullanılmıştır. İstatistiksel sonuçların elde edilmesi amacıyla her uygulama rastgele başlangıç popülasyonu ile başlamış ve 30 kere çalıştırılmıştır. Bu şekilde ortalama hata değerleri elde edilmiştir.

Tablo 1. Önerilen Yöntem ile Elde Edilen Eğitim Sonuçları

Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Sayısı	Sonuçlar			
		En İyi (MSE)	Ortalama (MSE)	En Kötü (MSE)	Standart Sapma
Gbellmf	2	0.003798	0.004176	0.004506	0.000210
	3	0.003553	0.004067	0.004490	0.000278
	4	0.003469	0.004058	0.004456	0.000275
Gaussmf	2	0.004128	0.004479	0.004738	0.000125
	3	0.003991	0.004392	0.004718	0.000198
	4	0.003638	0.004332	0.004746	0.000219

| 237

Altın fiyatlarının kısa vadeli tahmini için MPA kullanılarak gerçekleştirilen ANFIS eğitime ait eğitim sonuçları Tablo 1’de sunulmuştur. Tablo 1’de görüldüğü gibi en iyi hata değeri 0.003469 olarak 4 Gbellmf ile elde edilmiştir. Aynı şekilde en iyi ortalama hata değeri de 4 Gbellmf ile bulunmuştur. Bulunan ortalama hata değeri 0.004058’dir. Eğitim sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Gbellmf ile bulunan sonuçların Gaussmf’ten daha iyi olduğu görülmüştür. Her iki üyelik fonksiyonunda, üyelik fonksiyonu sayısının artması sonuçları iyileştirmiştir. Standart sapma değerleri genel olarak iyi olmakla birlikte Gaussmf’te daha iyi olduğunu görülmektedir.

Tablo 2. Önerilen Yöntem ile Elde Edilen Test Sonuçları

Üyelik Fonksiyonu Tipi	Üyelik Fonksiyonu Sayısı	Sonuçlar			
		En İyi (MSE)	Ortalama (MSE)	En Kötü (MSE)	Standart Sapma
Gbellmf	2	0.003979	0.005751	0.020660	0.002857
	3	0.004193	0.005290	0.006874	0.000639
	4	0.004048	0.005294	0.008304	0.000856
Gaussmf	2	0.003819	0.005038	0.012722	0.001485
	3	0.003817	0.004871	0.007486	0.000862
	4	0.003897	0.004998	0.010622	0.001259

Önerilen hibrit yöntem ile elde edilen test sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. Tablo 2 incelendiğinde en iyi hata değerinin 3 Gaussmf ile 0.003817 olarak elde edildiği görülmektedir. Benzer şekilde en iyi ortalama hata değeri de 3 Gaussmf ile bulunmuştur. Bunun değeri ise 0.004871’dir. En iyi hata değerleri ve en iyi ortalama hata değerleri incelendiğinde Gaussmf ile bulunan sonuçların Gbellmf ile bulunan sonuçlardan daha iyi olduğu görülmektedir. Hem Gaussmf’de hem de Gbellmf’de 3 üyelik fonksiyonu ile, ilgili üyelik fonksiyonun en iyi ortalama hata değerleri elde edilmiştir. Test sonuçlarının standart sapma değerlerinde, en iyi ortalama hata değerleri ile benzer olarak 3 üyelik fonksiyonu kullanılarak en iyi sonuçlar bulunmuştur. En iyi standart sapma değeri 3 Gbellmf ile 0.000639 olarak elde edilmiştir.

Önerilen yöntemin performansı; ABC algoritması, BOA ve FPA ile karşılaştırılmıştır. MPA tabanlı ANFIS’in eğitim ve test sonuçlarını veren Tablo 1 incelendiğinde, en iyi ortalama hata değerinin 4 Gbellmf ile elde edildiği görülmektedir. Bu yüzden tüm algoritmalar için 4 Gbellmf ile sonuçlar bulunmuştur. Adil bir karşılaştırma olması amacıyla tüm algoritmalarda popülasyon büyüklüğü 20 ve

maksimum iterasyon sayısı 2500 olarak alınmış ve 30 kere çalıştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Önerilen Yöntem ile Farklı Meta-Sezgisel Algoritmalar Kullanılarak Elde Edilen En İyi Ortalama Hata Değerlerinin Karşılaştırılması

Algoritmalar	Eğitim Ortalama (MSE)	Test Ortalama (MSE)
ABC	0.004257	0.005338
BOA	0.005484	0.005562
FPA	0.004607	0.005088
Önerilen (MPA)	0.004058	0.005293

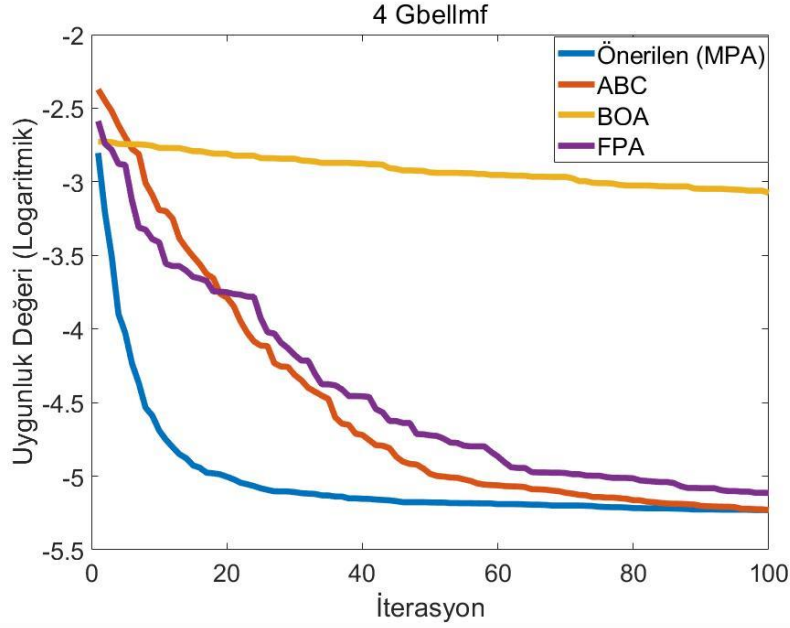
| 238

Tablo 3 incelendiğinde eğitim sonuçlarında en iyi ortalama hata değeri önerilen yöntemle 0.004058 olarak elde edilmiştir. Önerilen yöntemi 0.004257 ile ABC, 0.004607 ile FPA ve 0.005484 ile BOA takip etmektedir. Test sonuçlarında en iyi ortalama hata değeri sırasıyla 0.005088 ile FPA, 0.005293 ile önerilen yöntem, 0.005338 ile ABC ve 0.005562 ile BOA kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Algoritmaların Eğitim ve Test Sonuçlarına Göre Başarı Sıralamalarının Karşılaştırılması

Algoritmalar	Başarı Sıralaması (Eğitim)	Başarı Sıralaması (Test)	Toplam
ABC	2	3	5
BOA	4	4	8
FPA	3	1	4
Önerilen (MPA)	1	2	3

Eğitim ve test sonuçlarına göre algoritmaların başarı sıralaması Tablo 4'te sunulmuştur. Tablo 4 incelendiğinde önerilen yöntem eğitim sürecinde birinci, test sürecinde ise ikinci sırada yer almaktadır. Bu durumda önerilen yöntemin skoru üçtür. Başarı sıralamasında önerilen yöntemi sırasıyla FPA, ABC ve BOA izlemektedir. Tablo 3 ve Tablo 4 birlikte değerlendirildiğinde, altın fiyatının kısa vadeli tahmininde önerilen yaklaşımın daha etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Algoritmaların Yakınsama Grafiklerinin Karşılaştırılması

Algoritmaların genel başarısını göstermek için, elde edilen sonuçların yanı sıra yakınsama grafikleri de önemlidir. Araştırmada kullanılan modellerin yakınsama grafiği Şekil 3'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan algoritmaların kısa sürede başarılı çözüme ulaşma durumlarını belirlemek amacıyla 100 iterasyona göre bir grafik oluşturulmuştur. Görüldüğü gibi MPA kısa sürede başarılı çözümlere ulaşabilmektedir. Bu durum yakınsama hızının MPA'nın güçlü yanlarından biri olduğunu ortaya koymaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada altının ons fiyatının kısa vadeli tahmini için MPA kullanılarak ANFIS eğitimi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte ilgili problemin çözümünde üyelik fonksiyonlarının etkisini incelemek amacıyla iki farklı üyelik fonksiyonu üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, önerilen yöntemin performansı farklı meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şunlardır:

- Altın fiyatının kısa vadeli tahmininde MPA ve ANFIS tabanlı yöntemin başarılı olduğu görülmüştür.
- İlgili problemin çözümü için gerçekleştirilen ANFIS eğitiminde üyelik fonksiyonu ve sayısının performansı etkilediği gözlemlenmiştir.
- İlgili problemin çözümü için gerçekleştirilen ANFIS eğitiminde, MPA'nın performansının genel olarak karşılaştırılan diğer algoritmalarından daha iyi olduğu değerlendirilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Alameer, Z., et al., Forecasting gold price fluctuations using improved multilayer perceptron neural network and whale optimization algorithm. Resources Policy, 2019. **61**: p. 250-260.
- [2] Dash, R., et al., Designing an efficient predictor model using PSNN and crow search based optimization technique for gold price prediction. Intelligent Decision Technologies, 2021. **15**(2): p. 281-289.
- [3] Lu, W., et al., International Gold Price Forecast Based on CEEMDAN and Support Vector Regression with Grey Wolf Algorithm. Complexity, 2022. **2022**.

- [4] Mamoudan, M.M., et al., Hybrid neural network-based metaheuristics for prediction of financial markets: a case study on global gold market. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2023: p. qwad039.
- [5] Hafezi, R. and A. Akhavan, Forecasting gold price changes: Application of an equipped artificial neural network. *AUT Journal of Modeling and Simulation*, 2018. **50**(1): p. 71-82.
- [6] Jang, J.-S., ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 1993. **23**(3): p. 665-685.
- [7] Karaboga, D. and E. Kaya, Adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS) training approaches: a comprehensive survey. *Artificial Intelligence Review*, 2019. **52**: p. 2263-2293.
- [8] KangaraniFarahani, M. and S. Mehralian. Comparison between artificial neural network and neuro-fuzzy for gold price prediction. in 2013 13th Iranian Conference on Fuzzy Systems (IFSC). 2013. IEEE.
- [9] Boyacioglu, M.A. and D. Avci, An adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) for the prediction of stock market return: the case of the Istanbul stock exchange. *Expert Systems with Applications*, 2010. **37**(12): p. 7908-7912.
- [10] Makridou, G., et al., Gold price forecasting with a neuro-fuzzy-based inference system. *International Journal of Financial Engineering and Risk Management* 2, 2013. **1**(1): p. 35-54.
- [11] Yazdani-Chamzini, A., et al., Forecasting gold price changes by using adaptive network fuzzy inference system. *Journal of Business Economics and Management*, 2012. **13**(5): p. 994-1010.
- [12] Ghashami, F. and K. Kamyar, Performance evaluation of ANFIS and GA-ANFIS for predicting stock market indices. *International Journal of Economics and Finance*, 2021. **13**(7): p. 1-1.
- [13] Al-Betar, M.A., et al., Marine Predators Algorithm: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2023: p. 1-31.
- [14] Mugemanyi, S., et al., Marine predators algorithm: A comprehensive review. *Machine Learning with Applications*, 2023. **12**: p. 100471.
- [15] Rai, R., et al., An inclusive survey on marine predators algorithm: variants and applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2023: p. 1-40.
- [16] Faramarzi, A., et al., Marine Predators Algorithm: A nature-inspired metaheuristic. *Expert systems with applications*, 2020. **152**: p. 113377.

Makale id= 90

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-8732-5718

| 241

Quaternion Neural Networks

Assoc. Prof. Dr. Kübra Gül¹

¹Kafkas Üniversitesi

Abstract: *Quaternion neural network has become an important and active research direction in deep learning over recent years. The reason of the increasing interest is noticeable improvements over real-valued neural networks on real world tasks such as image, speech and signal processing. Quaternion neural networks have been demonstrated better performance than the real-valued neural networks in many fields. Quaternion neural networks combine both the low-level ability to control and represent transformations in three and four dimensional spaces, and the high-level abstraction capabilities of neural networks on certain tasks. The aim of this research is to conduct a literature review of quaternion neural networks and their applications in different domains.*

Keywords: *Quaternion Neural Networks, Deep Learning*

1. Introduction

In the last few years, deep neural networks (DNN) have encountered a wide success in different domains due to their capability to learn highly complex input to output mapping. One of the most popular approaches in artificial intelligence research is deep learning.

In this paper, we provide an overview of quaternion applications in neural networks, one of the most exciting areas of artificial vision research that also holds great promise for a number of other areas. The purpose of this article is to clarify advances in Quaternion neural network design and to guide future research.

The majority of real-valued neural network models can learn any nonlinear function, but typically struggle with geometrical transformations, such as affine transformations in two or three dimensions. Some researchers (Xibilia et al., 1998) have showed that the use of complex-valued neural networks results in improved performance on such transformation problems.

These results inspired the Quaternion neural network model in (Tomoaki et al., 2002), which is trained by a BP learning algorithm. Such models employ neurons in which all computations are based on quaternions. It is seen that the quaternion neural model learns 3D affine transformations very well. Then, in (Isokawa et al., 2003), the authors have applied a quaternion BP learning algorithm on a color image compression problem, which is a problem in which the fidelity of colors is only preserved when the affine transformations in color space are correct. They, also, have obtained experiments which show improved performance of their quaternion scheme as compared to real-valued BP.

Quaternion neural networks (QNNs) recently became an active field of research (Gaudet and Maida 2018; Parcollet et al. 2018b; Takahashi et al. 2017; Ogawa 2016; BayroCorrochano et al. 2018). Quaternions are hyper-complex numbers that contain a real and three separate imaginary components, fitting perfectly to three and four dimensional feature vectors, such as for the (R, G, B) channels in image processing or three dimensional features for robotic. QNNs were first introduced by Arena et al. (1994), with a specific backpropagation algorithm to efficiently learn QNNs in the same manner as real-valued neural networks. Following this proposal, many works investigated the basics properties of QNNs, focusing on each core components, such as activation functions (De Leo and Rotelli 1997), loss

functions (Nitta 1995), parameters initialization (Gaudet and Maida 2018) or developing new architectures to better tackle real world multidimensional data.

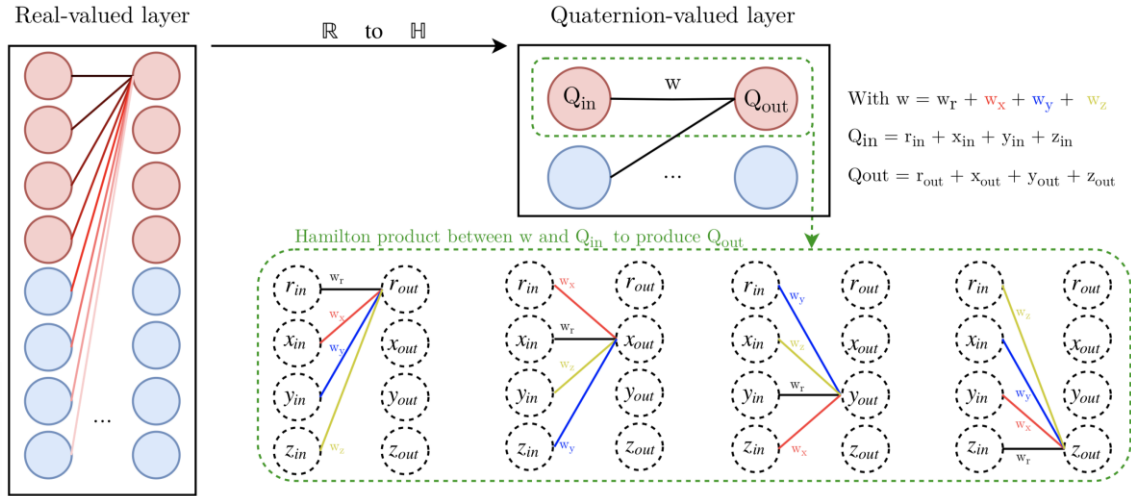


Figure 1: In figure, illustration of the input features (Q_{in}) latent relations learning ability of a quaternion-valued layer (right) due to the quaternion weight sharing of the Hamilton product, compared to a standard real-valued layer (left) (Parcollet et al. 2018a)

Figure shows that the multiple weights required to code latent relations within a feature are considered at the same level as for learning global relations between different features, while the quaternion weight w codes these internal relations within a unique quaternion Q_{out} during the Hamilton product (right).

2. Quaternion Algebra

Quaternions were invented by Irish mathematician W. R. Hamilton (1805-1865) as an extension to the complex numbers. Quaternion algebra, recently has played a significant role in several areas of science such as the quantum physics, computer science, analysis and differential geometry (Agrawal, 1987), (Adler, 1995). Quaternions form a four-dimensional non-commutative associative algebra. In (Hamilton, 1866), Hamilton introduced the set of quaternions which can be represented as

$$H = \{q: q = q_0 + q_1i + q_2j + q_3k, q_s \in \mathbb{R}, s = 0,1,2,3\}$$

where i, j, k quaternionic units which satisfy the following rules:

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1 \text{ and } ij = k = -ji, jk = i = -kj, ki = j = -ik.$$

Also, the quaternion q can be written as follows:

$$q = s + u = q_0 + q_1i + q_2j + q_3k$$

where $u = q_0 + q_1i + q_2j + q_3k$. s is called the scalar part of the quaternion q and u is called the vector part of the quaternion q . q can be summarized as:

$$q = (s, u).$$

The conjugate of the quaternion q is denoted by \bar{q} and $\bar{q} = q_0 - q_1i - q_2j - q_3k$. For the quaternions $q, p \in H$, the following properties hold:

$$\overline{q + p} = \bar{q} + \bar{p}, \overline{qp} = \bar{p}\bar{q}$$

The norm of the quaternion q is defined by

$$|q| = \sqrt{q\bar{q}} = \sqrt{(q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2)}.$$

For the quaternions $q, p \in H$ we can write

$$|pq| = |p||q|.$$

If two quaternions $q, q' \in H$ are congruent, then for some quaternion $w \neq 0$, we have $q' = wqw^{-1}$, written $q' \sim q$. For $q \in H$, denote the set $[q] = \{q' \in H: q' \sim q\}$.

The product of two quaternions q, p is given by product rules of the quaternionic units and the distributive law as follows:

$$qp = q_0p_0 - q_1p_1 - q_2p_2 - q_3p_3 + (q_0p_1 + q_1p_0 + q_2p_3 - q_3p_2)i + (q_0p_2 + q_2p_0 + q_3p_1 - q_1p_3)j + (q_0p_3 + q_3p_0 + q_1p_2 - q_2p_1)k.$$

The multiplicative inverse of q is given by

$$q^{-1} = \frac{\bar{q}}{|q|^2}.$$

A normalized quaternion or unit quaternion \hat{q} can be easily expressed as

$$\hat{q} = \frac{q}{|q|}.$$

It is important to note that $q^{-1} = \bar{q}$ if q is a unit quaternion. Also, the polar form of a quaternion can also derived as:

$$q = |q|(\cos\theta + n\sin\theta) = |q|e^{n\theta},$$

with

$$\cos\theta = \frac{s}{|q|}, \sin\theta = \frac{u}{|q|}, n = \frac{u}{|u|}.$$

Let be t a quaternion. the quaternion $t = r + xi + yj + zk$ can be represented by using 2×2 complex matrix as follow:

$$\begin{bmatrix} r + xi & y + zi \\ -y + zi & r - xi \end{bmatrix}.$$

Using 4×4 real matrices, the quaternion can be represented by

$$\begin{bmatrix} r & -x & -y & -z \\ x & r & -z & y \\ y & z & r & -x \\ z & -y & x & r \end{bmatrix}.$$

3. Applications of Quaternion Neural Networks

Quaternion neural networks combine both the low-level ability to manipulate and represent transformations in the three and four dimensional spaces, and the high-level abstraction capabilities of neural networks on specific tasks. Therefore, it is acceptable to use them in situations when these abilities are needed in the real-world. In this section, it is presented precisely relate and described some the applications of QNNs to computer science related tasks such as computer graphics, computer vision, signal processing, and robotics.

3.1. Computer graphics

Quaternion numbers provide a natural representation for computer graphics. QNNs thus give an adequate solution to Machine Learning (ML) related tasks in this area. As a starting point, (Matsui et al. 2004) have compared a spinor QMLP to a MLP in three different tasks of dilatation, translation and rotation. In each benchmark, a set of input points with their corresponding transformed coordinates are fed to the neural network at training time.

3.2. Computer vision

Quaternion numbers are usefull to enable machines to perceive their environment as a three-dimensional space. As a consequence, QNNs have been widely applied to the field of computer vision, such as for facial expression recognition. Indeed, (K. Takahashi, S. Takahashi, et al. 2014) have merged the recent approach of Histograms of Oriented Gradients (HOG) for human detection (Dalal and Triggs 2005), with the quaternion representation to determine human facial expression. HOGs are a feature descriptor that allows a representation of the shape or edges of an object within an image, based on the direction of the gradients. Since, HOG features are known to be high-dimensional, they are first reduced trough a Principal Component Analysis

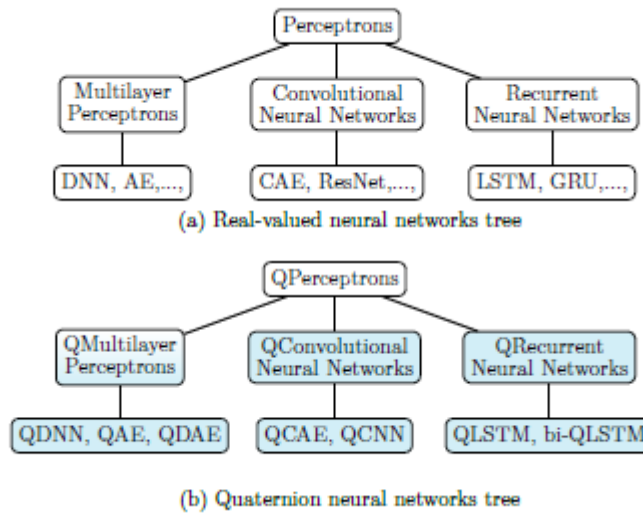
(PCA) (Jolliffe, 2011) before composing a quaternion input vector. Then, a standard QMLP is used to recognize the facial expressions. The results show that the QMLP outperforms MLPs due to the better high-dimensional representation of HOG.

3.3. Signal processing

Signal processing is a wide domain with various applications of quaternion numbers. As an example, quaternion algebra offers a natural way to express and process multidimensional input features as single entities. Such definition fits particularly well to the image processing sub-field. Indeed, pixels are the basic elements employed during the image processing, and these pixels are usually defined by the R,G,B components. Quaternions efficiently code each pixel as a whole element by composing quaternion-valued pixels as $Q = 0 + Ri + Gj + Bk$. In particular, and based on the spinor QMLP first introduced by (Buchholz and Sommer, 2000), (Isokawa et al., 2003) have proposed a modified spinor QMLP to learn a compact representation of the R, G, and B values of pixels that compose a color image.

3.4. Robotics

Robots would not be able to evolve in the three-dimensional space without a proper representation of their environment. For 3D motions, quaternion numbers provide the most natural embedding. A comparison of real-valued neural networks and quaternion ones to predict motions seemed natural as shown in (Fortuna et al., 2001). The compared models have first introduced in (Fortuna et al. 1996). Results underline that QNNs offer a reduced complexity and a higher accuracy over traditional real-valued approaches. An interesting remark on the observed results is the extrapolation ability of the quaternion-based approach.



It's note that quaternion models always have fewer neural parameters than real-valued ones, making them a useful substitute for the latter in situations with constraints.

3.5. Quaternion convolutional neural networks

As a powerful feature representation method, convolutional neural networks (CNNs) have been widely applied in the field of computer vision. One key module of CNN model is the convolution layer, which extracts features from high-dimensional structural data efficiently by a set of convolution kernels. When dealing with multi-channel inputs (e.g., color images), the convolution kernels merges these channels by summing up the convolution results and output one single channel per kernel accordingly, as Figure (a) shows.

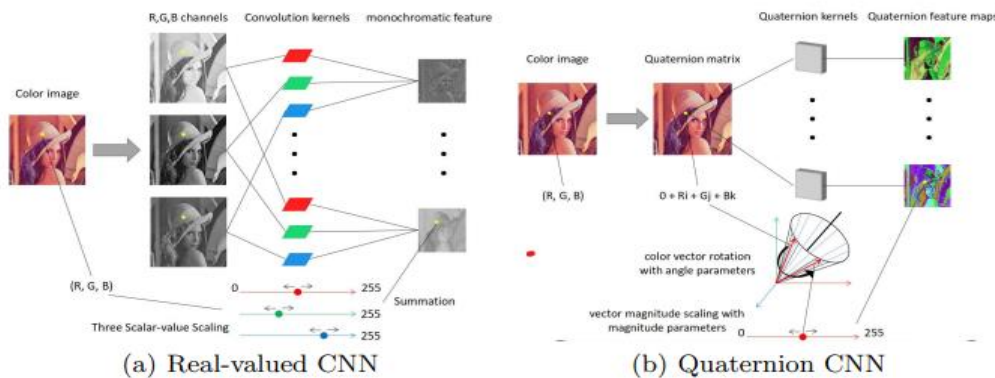


Figure 2. Illustration of the difference between CNN and QCNN on convolution layers

Quaternion convolutional neural network (QCNN) model represents color image in the quaternion domain. Above figure illustrates the scheme of QCNN model. In particular, each color pixel in a color

image (i.e., the yellow dot in Figure 2) is represented as a quaternion, and accordingly, the image is represented as a quaternion matrix rather than three independent real-valued matrices.

Taking the quaternion matrix as the input of our network, the researchers have designed a series of basic modules, e.g., quaternion convolution layer, quaternion fully-connected layer. While the traditional real-valued convolution is only capable to enforce scaling transformation on the input, specifically, the quaternion convolution achieves the scaling and the rotation of input in the color space, which provides us with more structural representation of color information. Moreover, they have studied the relationship between their QCNN model and existing realvalued CNNs and find a compatible way to combine them together in a same algorithmic framework (Zhu et al., 2018).

3.6. Quaternion recurrent neural networks

In (Parcollet et al. 2018a), the authors have proposed a novel quaternion recurrent neural network (QRNN), alongside with a quaternion long-short term memory neural network (QLSTM), that take into account both the external relations and these internal structural dependencies with the quaternion algebra. Similarly to capsules, quaternions allow the QRNN to code internal dependencies by composing and processing multidimensional features as single entities, while the recurrent operation reveals correlations between the elements composing the sequence. It is seen that both QRNN and QLSTM achieve better performances than RNN and LSTM in a realistic application of automatic speech recognition.

3.7. Quaternion Graph Neural Networks

The researchers have recently become increasingly interested in deep learning on graphs (Cui et al. 2018, Wu et al. 2019, Zhang et al. 2020). Graph Neural Networks (GNNs) are the most efficient learning framework among them for handling a variety of tasks across a wide range of application fields. The readers can find more information about the Graph neural networks (GNNs) in (Wu et al. 2022).

In order to learn graph representations in the Quaternion space, in (Nguyen and Phung, 2021), the authors have suggested using Quaternion Graph Neural Networks (QGNN). Their proposed QGNN obtains state-of-the-art accuracies on well-known benchmark datasets for node classification and graph classification.

4. References

- [1] Isokawa, T., Kusakabe, T., Matsui, N., & Peper, F. (2003). Quaternion neural network and its application. In *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems: 7th International Conference, KES 2003, Oxford, UK, September 2003. Proceedings, Part II 7* (pp. 318-324). Springer Berlin Heidelberg.
- [2] Nguyen, T. D., & Phung, D. (2021, November). Quaternion graph neural networks. *Asian conference on machine learning* (pp. 236-251). PMLR.
- [3] Xibilia, M. G., Arena, P., Fortuna, L., & Muscato, G. (1998). *Neural Networks in Multidimensional Domains: fundamentals and new trends in modelling and control*.
- [4] Tomoaki, K., Teijiro, I., Noriaki, K., & Nobuyuki, M. (2002). A Study of Neural Network Based on Quaternion. *SICE Annual Conference Program and Abstracts*.
- [5] Gaudet CJ, Maida AS (2018) Deep quaternion networks. In: 2018 International joint conference on neural networks (IJCNN). IEEE, pp 1–8
- [6] Parcollet T, Zhang Y, Morchid M, Trabelsi C, Linares G, de Mori R, Bengio Y (2018a) Quaternion convolutional neural networks for end-to-end automatic speech recognition. In: *Interspeech 2018, 19th Annual conference of the international speech communication association, Hyderabad, India, 2–6 September 2018*, pp 22–26
- [7] Takahashi K, Isaka A, Fudaba T, Hashimoto M (2017) Remarks on quaternion neural network-based controller trained by feedback error learning. In: *2017 IEEE/SICE International symposium on system integration (SII)*, pp 875–880

- [8] Ogawa T (2016) Neural network inversion for multilayer quaternion neural networks. *Comput Technol Appl* 7:73–82
- [9] Bayro-Corrochano E, Lechuga-Gutiérrez L, Garza-Burgos M (2018) Geometric techniques for robotics and hmi: Interpolation and haptics in conformal geometric algebra and control using quaternion spike neural networks. *Robot Auton Syst* 104:72–84
- [10] Arena P, Fortuna L, Occhipinti L, Xibilia MG (1994) Neural networks for quaternion-valued function approximation. In: 1994 IEEE International symposium on circuits and systems, ISCAS'94, vol 6. IEEE, pp 307–310
- [11] De Leo S, Rotelli P (1997) Local hypercomplex analyticity. arXiv preprint arXiv:9703002 [funct-an]
- [12] Nitta T (1995) A quaternary version of the back-propagation algorithm. In: IEEE International conference on neural networks, 1995. Proceedings, vol 5. IEEE, pp 2753–2756
- [13] Parcollet T, Ravanelli M, Morchid M, Linares G, Trabelsi C, Mori RD, Bengio Y (2018a) Quaternion recurrent neural networks. arXiv preprint arXiv:1806.04418
- [14] Adler S. L., *Quaternionic Quantum Mechanics and Quantum fields*, Oxford University Press, Oxford, UK, 1995.
- [15] Fortuna, L, G Muscato, and MG Xibilia (1996). An hypercomplex neural network platform for robot positioning. *Circuits and Systems, 1996. ISCAS'96., Connecting the World., 1996 IEEE International Symposium on. Vol. 3. IEEE*, pp. 609–612.
- [16] Agrawal O. P., *Hamilton operators and dual-number-quaternions in spatial kinematics, Mechanism and Machine Theory*, vol. 22, no. 6, pp. 569–575, 1987.
- [17] Hamilton W. R., *Elements of Quaternions*, Longmans Green & Co, Harlow, UK, 1866
- [18] Matsui N, Isokawa T, Kusamichi H, Peper F, Nishimura H (2004) Quaternion neural network with geometrical operators. *J Intell Fuzzy Syst* 15(3, 4):149–164
- [19] Cui P, Wang X, Pei J, Zhu W (2018) A survey on network embedding. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 31(5):833–852
- [20] Wu Z, Pan S, Chen F, Long G, Zhang C, Yu PS (2019) A comprehensive survey on graph neural networks.
- [21] Zhang Z, Cui P, Zhu W (2020) Deep learning on graphs: A survey. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* pp 1–1, DOI 10.1109/TKDE.2020.2981333
- [22] Wu, L., Cui, P., Pei, J., Zhao, L., & Guo, X. (2022, August). Graph neural networks: foundation, frontiers and applications. *Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 4840-4841).
- [23] Zhu, X., Xu, Y., Xu, H., & Chen, C. (2018). Quaternion convolutional neural networks. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)* (pp. 631-647).
- [24] Fortuna, Luigi, Giovanni Muscato, and Maria Gabriella Xibilia (2001). A comparison between HMLP and HRBF for attitude control. *IEEE transactions on neural networks* 12.2, pp. 318–328.
- [25] Buchholz, Sven and Gerald Sommer (2000). Quaternionic spinor MLP.
- [26] Dalal, Navneet and Bill Triggs (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on. Vol. 1. IEEE*, pp. 886–893.
- [27] Jolliffe, Ian (2011). Principal component analysis. In: *International encyclopedia of statistical science*. Springer, pp. 1094–1096.

- [28] Takahashi, Kazuhiko, Sae Takahashi, et al. (2014). Remarks on computational facial expression recognition from HOG features using quaternion multi-layer neural network. *International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*. Springer, pp. 15–24.



Makale id= 91

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-3438-6872, 0000-0002-7965-1919

| 249

Optik Mikroskop Görüntüleme ve Makine Öğrenmesi Tabanlı Plastik Tür Sınıflandırması**Dr. Ulaş Yurtsever¹⁻³, Doç.Dr. Meral Yurtsever²⁻³**¹Sakarya Üniversitesi, Adapazarı MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Sakarya, Türkiye²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye³Sakarya Üniversitesi Araştırma Geliştirme ve Uygulama Merkezi (SARGEM), Disiplinlerarası Yapay Zeka Laboratuvarı, Esentepe Kampüsü, 54050 Sakarya, Türkiye

Corresponding author: Ulaş Yurtsever

Özet: Plastikler günümüzde mevcut tüm alanlarda (sanayi, tıp, elektronik, otomotiv, gıda, vb.) kullanılan bir malzeme olmakla beraber plastiklerin atıkları, toprak, deniz, göl ve okyanuslarda biriken bir kirletici durumundadır. Atık geri dönüşümünde plastik atıkların diğer organik-inorganik atıklarla karışması istenmez. Aynı zamanda plastik atıkların birbirleriyle de karışması istenmez çünkü bir plastiğin geri dönüşüm akışında az miktarda başka bir plastik türünün bulunması bile geri dönüştürülen saf reçineyi bozabilir. Dolayısıyla bu plastik atıkların hangi tür plastikler olduğunun tespit edilmesi, plastik tür kirliliğinin ortaya konulması ve ayrılması açısından önemlidir. Bu çalışma kapsamında bir iklimlendirme kabini içinde sıcaklık, nem, UV ve tuz ile yaşlandırma yapılan PE, PVC, PP, PS vb. 9 farklı plastik malzemenin optik mikroskop görüntüleri üzerinden makine öğrenmesi algoritmaları ile plastik tür sınıflaması yapılmıştır. Her bir plastik türü sınıfı için yaklaşık 1800 adet olmak üzere toplamda 16125 mikroskop görüntüsü kullanılmıştır. Makine öğrenmesi algoritmaları olarak Bagging, Rastgele Orman ve Karar Ağacı olmak üzere üç farklı sınıflama algoritması kullanılmış olup, bu algoritmalar farklı hiperparametreler ile eğitilerek en iyi model belirlenmiştir. Model performansları, doğruluk, keskinlik, duyarlılık ve f1-skor metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir. Sırasıyla algoritmaların doğrulukları; Bagging %90.85, Rastgele Orman %82.39 ve Karar Ağacı için %71.32 olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda plastik tür sınıflandırması için en doğru sınıflandırma performansı Bagging algoritması ile elde edilmiştir. Teşekkür: Bu çalışma 220M024 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, Plastik, Optik Mikroskop

Plastic Types Classification Via Optical Microscope Imaging and Machine Learning-Based Methods

Abstract: Although plastics are a material used in all fields (industry, medicine, electronics, automotive, food, etc.), the wastes of plastics are a pollutant that accumulates in soil, seas, lakes, and oceans. In waste recycling, it is undesirable for plastic waste to mix with other organic-inorganic wastes. It is also undesirable to mix plastic wastes with each other because even the presence of a small amount of another type of plastic in the recycling stream of plastic can spoil the recycled pure resin. Therefore, it is essential to determine which types of plastics these plastic wastes are in order to reveal and separate plastic pollution. Within the scope of this study, plastic-type classification was performed with machine learning algorithms on optical microscope images of 9 different plastic materials such as PE, PVC, PP, PS, etc., which were aged with temperature, humidity, UV, and salt in an air conditioning cabinet. A total of 16125 microscope images were used, approximately 1800 for each plastic type class. Three different classification algorithms, Bagging, Random Forest, and Decision Tree, were used as machine learning algorithms, and the best model was determined by training these algorithms with different hyperparameters. Model performances were evaluated based on accuracy, precision, sensitivity, and f1-score metrics. The algorithms' accuracy was calculated as 90.85%, 82.39%, and 71.32% for Bagging, Random Forest, and Decision Tree, respectively. Acknowledgement: This study was supported by TUBITAK project number 220M024.

Keywords: Artificial Intelligence, Machine Learning, Plastic, Optical Microscope

1. GİRİŞ

İnsan gözünün görme sınırı 200 µm civarındır. Bu boyutlara kadar rahat görebilirken daha küçük nesnelere zorlanmaya başlar. 17. yüzyılda optik mikroskopun icadıyla birlikte, gözle görülemeyecek kadar küçük cisimlerin incelenmesi mümkün hale gelmiş ve sonrasında yeni nesil mikroskoplar geliştirilmiştir (Masters, 2008). Bu sayede günümüzde, çıplak gözle ayırt etmenin mümkün olamayacağı cisim veya canlılardaki bir çok özellik, hızlı ve pratik bir şekilde ortaya çıkarılarak fotoğraflanabilmektedir.

Çeşitli malzemelerin mikro boyutlardan makro boyuta kadar yapılarını, kimyasal ve fiziksel özelliklerini, davranışlarını ve üretim süreçlerinin geliştirilmesini içeren geniş kapsamlı bir bilim dalı olan malzeme bilminde görsel değerlendirme yapabilmek için sıklıkla mikroskopiye (optik mikroskop, SEM, TEM) başvurulur (Jelle, 2012). Optik mikroskopunun ayırt etme gücü 0.2 µm, elektron mikroskopunun ayırt etme gücü 0.1 nm civarındır (Karakoç vd., 2016). Işık mikroskopları olarak da adlandırılan optik mikroskoplar, hücre, doku veya malzeme morfolojisini ayırt etmek için oldukça elverişli olabilmektedir. Bir aydınlatma kaynağı olarak görünür ışığı kullanan optik mikroskop tekniği basit ve ucuzdur. Optik mikroskopun aksine, elektron mikroskopu aydınlatma kaynağı olarak elektron ışınlarını kullanır ve daha yüksek çözünürlüğe sahiptir, optik mikroskop kullanılarak görüntülenebilenden daha küçük yapıları gözlemlemek için kullanılabilir, ancak daha komplike ve pahalıdır (Xu vd., 2020).

Optik (ışık) veya elektron mikroskopuyla görüntüleme ile malzeme yüzeyindeki tüm mikro-nano boyuttaki morfolojik özellikler görüntülenebilir (Li vd., 2020). Nesnelerin mikroskop yardımıyla elde edilen görüntüleri, konuyla ilgili uzmanlar tarafından ele alınarak değerlendirilir. Bu değerlendirmeler, konunun uzmanı tarafından yapılmadığında veya uzman tarafından gereken dikkat verilmediğinde, ortaya oldukça subjektif sonuçlar çıkabilir. Dolayısıyla mikroskopide deneysel ve bilimsel bulguları değerlendirmede insan yanılma faktörünü ortadan kaldırmak, hata oranını minimuma indirmek için yapay zeka ile yapılmış bilgisayar tabanlı uygulamalardan istifade etmek mümkündür.

Ucuzluk, hafiflik ve dayanıklılık gibi özellikleri bir arada barındırması ve dikkate değer çok yönlülüğü ile kullanışlılığı sayesinde plastikler, II. Dünya Savaşı sonrası nüfus, endüstri ve kaynak kullanımında sözde "Büyük Hızlanmanın" başlangıcından itibaren teknolojik devrimin gelişimi için çok önemli hale gelmiştir (Porta, 2021). Çoğunlukla petrolden üretilen plastikler, ilk olarak 1940'larda yaygınlaşmış ve ardından moderniteye kesin geçişin bir sembolü olarak, her alanda kullanılan malzemeler şeklinde insan yaşamını yıldan yıla aşamalı olarak dönüştürmüştür.

Plastikler çok çeşitlidir, en yaygın kullanılanları PE, PP, PET, PVC, PS, PA'dır ve çoğu plastik türü, doğada yüzyıllar boyunca bozulmadan kalabilmektedir (Cooper and Corcoran, 2010). Ancak, plastik malzemelerin zamanla parçalanmasında, dışarıdan belirgin bir görsel bozulma görülmezken, malzemenin yüzey alanında veya ağırlığında da önemli bir azalma olmadan nano-mikro ölçekte parçalanmalar olabilmektedir. Başka bir deyişle, ürünler üzerinde çıplak gözle herhangi bir deformasyon görülmemesi onların aşınmadığı anlamına gelmez ve mikroskopik incelemelerle bu durum ortaya çıkarılabilir. Plastik yüzeyindeki oluşan mikroskopik düzeydeki bu aşınma görüntüleriyle, makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak anlamlı sonuçlar elde edilebilir.

Literatürde plastik malzemelerin sınıflandırılması konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde kısa dalga kızılötesi hiperspektral veriler üzerinde makine öğrenmesi tabanlı çalışmalar (Henriksen, vd., 2022), lazer kaynaklı arıza spektrumlarının ve temel bileşen analizi kullanılarak plastiklerin sınıflandırılması (Unnikrishnan, vd., 2013), RGB plastik şişe görüntüleri üzerinden PET ve PET olmayan şeklinde sınıflandırma (Srigul, vd., 2016), yine büyük plastik atıkların renkli görüntülerinden derin öğrenme tabanlı sınıflandırılması (Bobulski ve Kubanek, 2021), taramalı elektron mikroskopu ile elde edilen görüntüler üzerinde yapay sinir ağları kullanılarak plastik sınıflaması (Höppener, vd., 2023) çalışmaları bulunmaktadır. Bizim yaptığımız bu çalışmada ise farklı şartlarda yaşlandırma işlemine maruz kalmış PE (normal, oxo.), PP, PET, PS, PVC gibi dokuz farklı plastik malzemenin optik mikroskop görüntüleri üzerinden türlerinin tespiti amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, satın alınan yeni plastik ürünler iklimlendirme test kabineye yerleştirilerek farklı UV ışık, nem ve sıcaklık değerlerinde muamele edilmiştir. Bu işlemlerin ilk başlangıcından sonuna kadar malzemeleri mikroskopik araçlarla izleyebilmek, malzeme üzerindeki değişimi ve deformasyonu anlayabilmek, makine öğrenmesi için veri seti oluşturabilmek açısından oldukça önemlidir. Ancak, buradaki incelemelerin yapılmasından çok yorumlanması uzmanlık isteyen ve insan kaynaklı hataları içerisinde barındıran bir işlemdir. Bu çalışmada, oldukça subjektif olabilen bu işlemlerin yüksek bir doğrulukla yapay zeka tabanlı bir model ile gerçekleştirilebilmek, elde edilen görüntülerin değerlendirilmesi sırasında insan faktörünü ortadan kaldırarak daha objektif sonuçları sağlayabilmek, yapay zeka tabanlı bilgisayar teknolojileri sayesinde insan değerlendirmesinde oluşabilecek hata oranını minimuma düşürebilmek ve bu sayede ilgili alanlardaki klasikleşen bilgiye ve algıya yeni alternatiflerle farklı bir bakış açısı getirebilmek amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Veri Seti Oluşturma ve Ön İşlem

Plastikler son derece dayanıklı ve çeşitli malzemelerdir, ancak UV maruziyeti başta olmak üzere, sıcaklık değişimleri, tuzluluk, su ortamının fizikokimyasal özellikleri, sudaki ve topraktaki topluluklar gibi birçok mekanizma da plastiklerin eskime ve yaşlanmasında etkili olmaktadır (Liu vd., 2020). Bu sebeple bu çalışmada, LDPE poşet (N1), %100 oxo-bozunur PE (N2), Biyo-bozunur PLA-1 (N3), Biyo-bozunur PLA-2 (N4), Lamine LDPE (N5), polistiren köpük-EPS (N6), polistiren (N7), UV stabilize PE (N8) ve PVC (N9) türü film yapısındaki plastikler kullanılmıştır. PE, PP, PS, PLA, ve PVC türü plastikten imal edilmiş olan bu tek kullanımlık ürünler alınarak iklimlendirme test kabinlerinde sırasıyla 168'er saat süresince farklı sıcaklık (-10 °C, 20 °C, 60 °C), nem (%80, %50, %20), ışık (UV ışığı) ve %35 tuz konsantrasyonu değerlerine tabi tutulmuştur. Oluşturulan numune setleri, özellikleri ve yapılan işlemler aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 1). Tüm numunelere standart şekilde muamele olmasını sağlamak gerektiğinden dolayı numuneler 3.5x10 cm ebatlarında kesilerek ve muameleler sırasında karışmasını önlemek için platform üzerine sabitlenerek yerleştirilmiştir (Lambert ve Wagner, 2016). 3 ayrı set halinde sırayla gerçekleştirilen işlemlerden sonra alınan numuneler mikroskop altında incelenerek her bir numuneden en az 120 mikrograf (4x büyütme) alınarak, her bir plastik numuneden yaklaşık 1800'er görüntü olmak üzere toplam 16125 görüntü olacak şekilde bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti makine öğrenmesi uygulamasında kullanılmıştır.

Tablo 1. Test kabinlerindeki koşullar ve numune setleri

1. Aşama (İklimlendirme kabini)				İnceleme için geri alınan numune seti	2. aşama (UV kabini)	İnceleme için geri alınan numune seti	3. Aşama (Tuzluluk kabini (%35))	İnceleme için geri alınan numune seti
Süre	Sıcaklık	Işık	Nem		UV (süre)		Süre	
168 saat	60	Açık	80	1.set	168 saat	2.set	168 saat	3.set
168 saat	60	Açık	50	1.set	168 saat	2.set	168 saat	3.set
168 saat	60	Açık	20	1.set	168 saat	2.set	168 saat	3.set
168 saat	20	Açık	80	1.set	168 saat	2.set	168 saat	3.set
168 saat	20	Açık	50	1.set	168 saat	2.set	168 saat	3.set
168 saat	20	Açık	20	1.set	168 saat	2.set	168 saat	3.set
168 saat	-10	Açık	-	1.set	168 saat	2.set	168 saat	3.set

Görüntülerin işlenmesinde oluşacak hesaplama yükünü ve hesaplama karmaşıklığını azaltmak için 1600x1200 çözünürlükteki görüntüler 256x256 boyutuna ölçeklendirilmiştir. Tüm görüntülerin piksel değerleri vektörleştirilmiş ve oluşturulan veri seti öncelikle normalleştirilme işlemine tabi tutulmuştur.

2.2. Sınıflandırma Algoritmaları

2.2.1. Karar Ağacı Algoritması

Karar Ağacı (Decision Tree) algoritması, veri madenciliğinde, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan denetimli makine öğrenmesi algoritmalarından biridir. Karar ağaçları oluşturmak için en iyi bilinen algoritmalar ID3, C4.5 ve CART algoritmalarıdır (Breiman, vd., 1984; Quinlan, 1986; Quinlan, 1996). Karar ağacı algoritması, bir kararın olası her sonucunu göstermek için dallanma tekniğini kullanarak, hiyerarşiye dayalı olarak özelliklerin ve kararların birleştiği grafik veya ağaç yapısı oluşturmaktadır (Das ve Behera, 2017). Bu yapıda dallar ve yapraklar ağaç yapısını oluşturmakta ve her bir nitelik bir düğüm tarafından temsil edilmektedir.

Karar ağaçları bir çok problemin çözümünde sıklıkla kullanılan algoritmalarından olmakla birlikte bu algoritmanın önemli sorunlardan birisi dallanmanın nasıl yapılacağıdır. Bu dallanma kriterleri entropiye dayalı, sınıflandırma ve regresyon ağaçlarına dayalı ID3, C4.5 CART gibi farklı algoritmalar ile temsil edilmektedir (Aning ve Przybyła-Kasperek, 2022). Karar ağacı algoritmasında karşılaşılan diğer önemli sorun ise aşırı öğrenme (overfitting) problemidir (Bramer, 2007). Aşırı öğrenme probleminin üstesinden gelmek için de genellikle pre-pruning ve post-pruning yaklaşımları kullanılmaktadır. Kullanılan diğer yöntemlerden biri de yine çok sayıda karar ağacı kullanan Rastgele Orman algoritmasıdır.

2.2.2. Rastgele Orman Algoritması

Rastgele Orman (Random Forest) algoritması (Breiman, 1999; Breiman 2001) sınıflandırma ile ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılan en temel makine öğrenmesi algoritmalarından biridir. Rastgele Orman algoritması, aynı özelliklere sahip birden fazla karar ağacının (decision tree) bir araya gelerek bir orman oluşturduğu yani birçok ağaç sınıflandırıcıyı birleştiren bir algoritma olarak tanımlanmaktadır. Bu algoritma ile bir girdi vektörünü sınıflandırmak için, her ağaç sınıflandırıcı, ağaçtaki en yaygın sınıf için bir birim oy üretir (Cengiz, vd., 2023).

Rastgele Orman algoritması k sayıda karar ağacının bir araya getirilerek bir tahmin yapmaktadır.

Bu işlem Denklem 1'de tanımlanan formül ile hesaplanmaktadır.

$$H(x) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k h_i(x, \theta_i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

Burada $H(x)$, x veri noktası için Rastgele Orman algoritması tahmin sonucunu, x eğitim veri kümesinin girdi özellik vektörünü, $h_i(x, \theta_i)$ i 'nci karar ağacının tahmini, k kullanılan ağaç sayısını, θ_i ise bağımsız ve aynı şekilde dağıtılmış rastgele bir vektördür ve ağacın büyüme sürecini ifade etmektedir (Chen, vd., 2016).

2.2.3. Bagging Algoritması

Genellikle önemli kararlar alındığında farklı görüşler alınarak bu görüşlerin bir araya getirilmesi sonucunda daha güvenilir bir karar verilebilmektedir. Aynı mantıkla makine öğrenmesinde de farklı makine öğrenmesi algoritmalarını bir araya getiren model topluluk öğrenmesi (ensemble learning) ile daha kararlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu topluluk öğrenmesi algoritmalarından biri de Bagging algoritmasıdır. Breiman tarafından önerilen ve Bagging (Bootstrap Torbalama) algoritması olarak isimlendirilen bu yöntem orta ve büyük ölçekli verilerde sınıflandırma ve regresyon için kullanılan yöntemlerden biridir (Breiman, 1996). Algoritmanın temel amacı aynı öğrenme algoritmasını birden fazla modeli eğitmek amacıyla kullanarak farklı alt veri kümeleri üzerinde çalıştırıp, sonuçları bir araya getirilerek varyansı düşürmek ve tahminlerin doğruluğunu arttırmaktır. Sonuçlar bir araya getirilirken sayısal sonuçların tahmininde sonuçlarının ortalaması, sınıf tahmininde ise çoklu oylama ile genel bir tahmin sonucu elde edilmektedir (Almomani, vd., 2023). Ortalama alma nedeniyle de varyans azalmıştır. Böylelikle daha stabil, yüksek doğrulukta ve genelleştirilebilir tahminler elde edilmesi amaçlanmaktadır (Sutton, 2005).

2.3. Model Performans Ölçütleri

Sınıflandırma model performansını nicel olarak değerlendirebilmek için sıklıkla modellerin karışıklık matrisi oluşturulmakta ve doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skor metrikleri hesaplanmaktadır. Bu çalışmamızda da tüm model performans değerlendirmeleri bu metriklere göre yapılmıştır. Bu model performans metrikleri (2)-(5)'de verilen denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP+DN}{DP+YP+DN+YN} \quad (2)$$

$$\text{Hassasiyet} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (3)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (4)$$

$$\text{F1 Skor} = 2 \times \frac{\text{Hassasiyet} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Hassasiyet} + \text{Duyarlılık}} \quad (5)$$

3. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında farklı sıcaklık, nem, UV ışığı ve tuz konsantrasyon şartlarına tabi tutularak yaşlandırılmış plastik türlerinin karar ağaçları, rastgele orman ve bagging makine öğrenmesi algoritmaları ile polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polilaktikasit (PLA), polivinilklorür (PVC) gibi dokuz farklı plastik ürün türü olarak sınıflandırılması ve plastik türlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında her bir plastik numuneden yaklaşık 1800' er görüntü olmak üzere toplam 16125 görüntü olacak şekilde bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti 3225 adet görüntü test verisi ve 12900 adet görüntü de eğitim verisi olarak ayrılmıştır.

Kullanılan tüm sınıflandırma algoritmaları için farklı hiperparametreler ile python RandomizeGridSearchCV kullanılarak yaklaşık 1000 farklı model eğitimi yapılmıştır. Böylelikle her algoritma için en yüksek sınıflama doğruluğuna sahip modeller ve parametreleri belirlenmiştir. Bu model ve parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Sınıflandırma algoritmaları ve hiperparametre değerleri

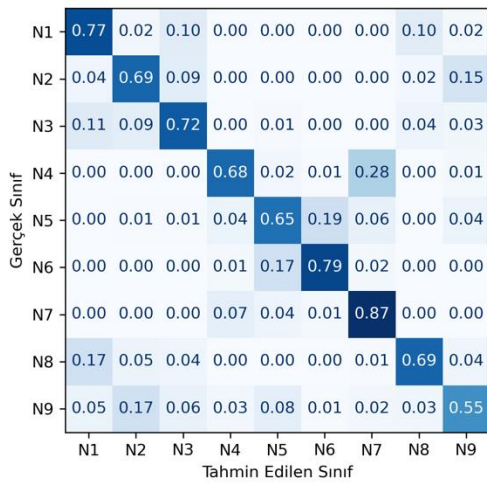
Algoritma	En İyi Parametre
Karar Ağacı	min_samples_split: 2, min_samples_leaf: 5, max_features: None, max_depth: 10, criterion: gini
Rastgele Orman	n_estimators: 72, min_samples_split: 5, min_samples_leaf: 2, max_features: log2, max_depth: 8, criterion: entropy
Bagging	n_estimators: 103, max_samples: 1.0, max_features: 10

Çalışma kapsamında plastik malzemelerin mikroskop görüntüleri kullanılarak geleneksel makine öğrenmesi yaklaşımları ile sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmada kullanılan algoritmaların test veri seti üzerindeki sınıflandırma performansları Tablo 3'te verilmiştir.

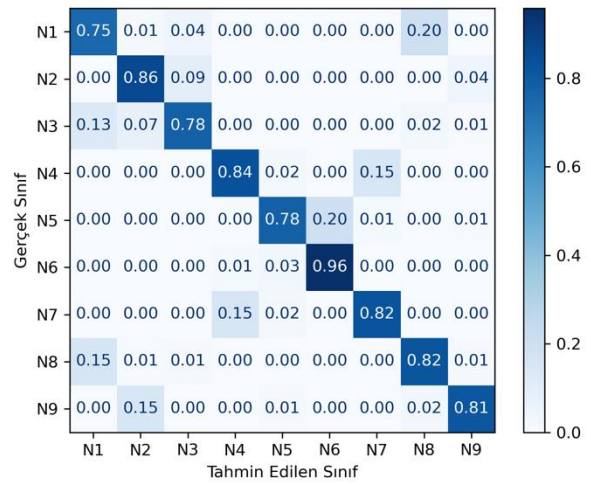
Tablo 3. Sınıflandırma algoritmaları performans sonuçları

Algoritma	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1 Skor
Karar Ağacı	0,7132	0,7160	0,7132	0,7118
Rastgele Orman	0,8239	0,8275	0,8239	0,8238
Bagging	0,9085	0,9105	0,9085	0,9084

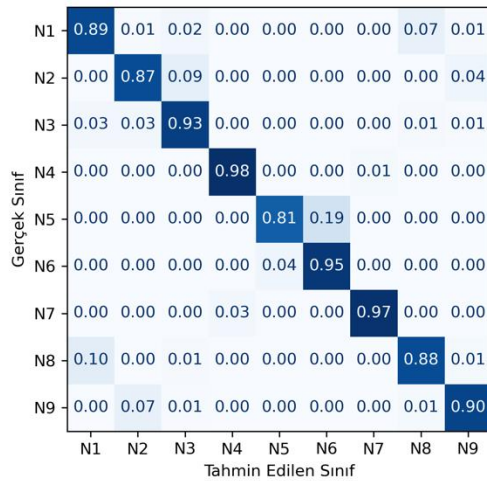
Tablo 3'te algoritmaların doğruluk, hassasiyet, duyarlılık ve f1 skor değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Verilerimizde veri sayısı olarak sınıflar bazında dengesizlik olmadığı için bu değerler birbirine yakın çıkmıştır. Algoritmaların karışıklık matrisleri incelendiğinde ise çok düşük bir oranla da olsa, N8 ile N1 numaralı plastik türleri, N9 ile N2 numaralı plastik türleri ve N5 ile N6 numaralı plastik türlerinin birbirine karıştırılarak yanlış tahmin edildiği görülmüştür. Karar Ağacı algoritması karışıklık matrisi sonuçları Şekil 1'de, Rastgele Orman algoritması karışıklık matrisi sonuçları Şekil 2'de, Bagging algoritması karışıklık matrisi sonuçları da Şekil 3'te verilmiştir.



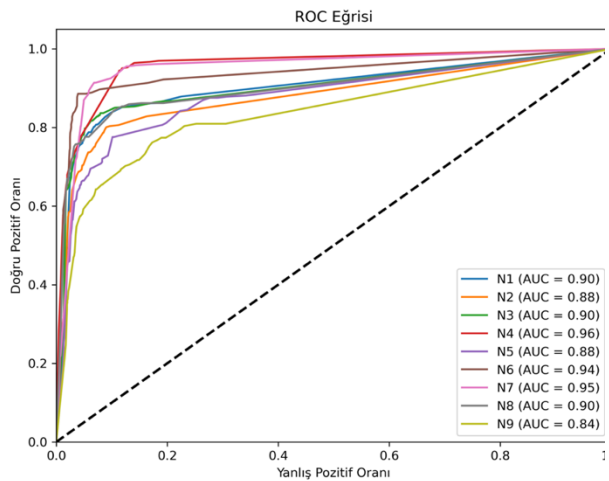
Şekil 1. Karar Ağacı algoritması karışıklık matrisi



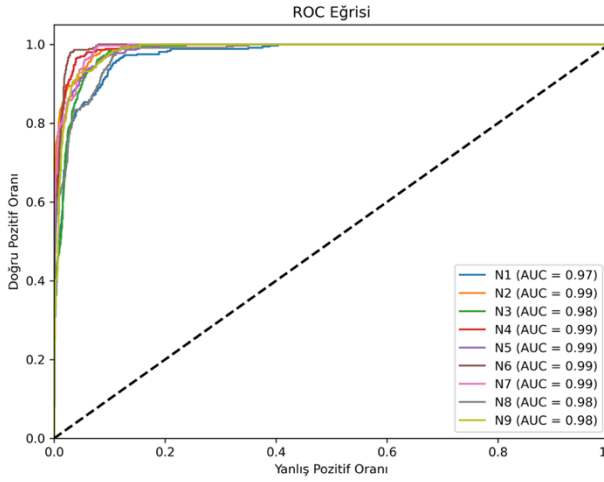
Şekil 2. Rastgele Orman algoritması karışıklık matrisi



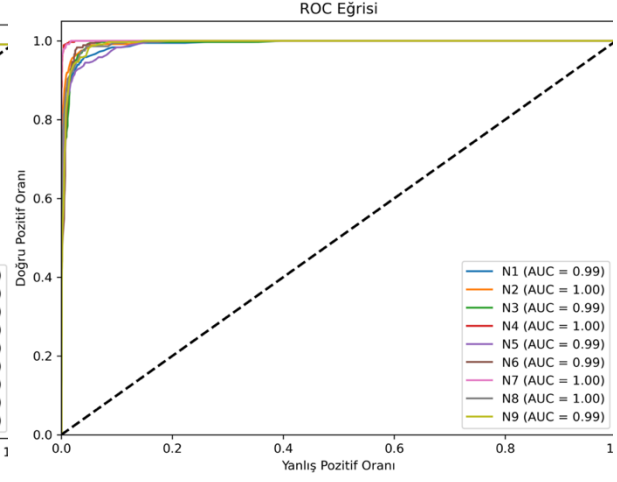
Şekil 3. Bagging algoritması karışıklık matrisi



Şekil 4. Karar Ağacı algoritması ROC eğrisi

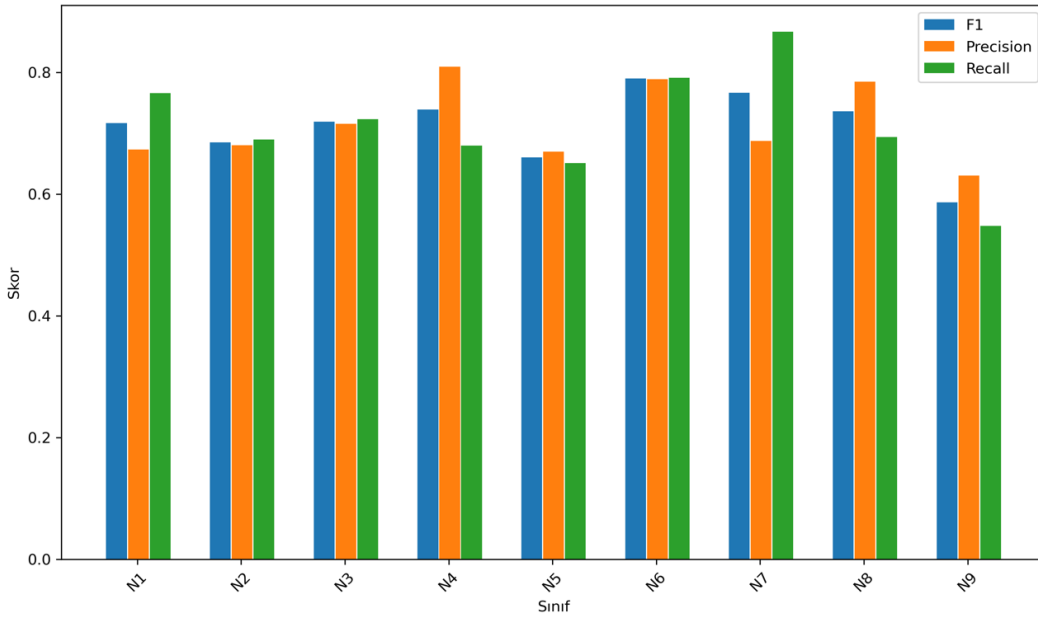


Şekil 5. Rastgele Orman algoritması ROC eğrisi

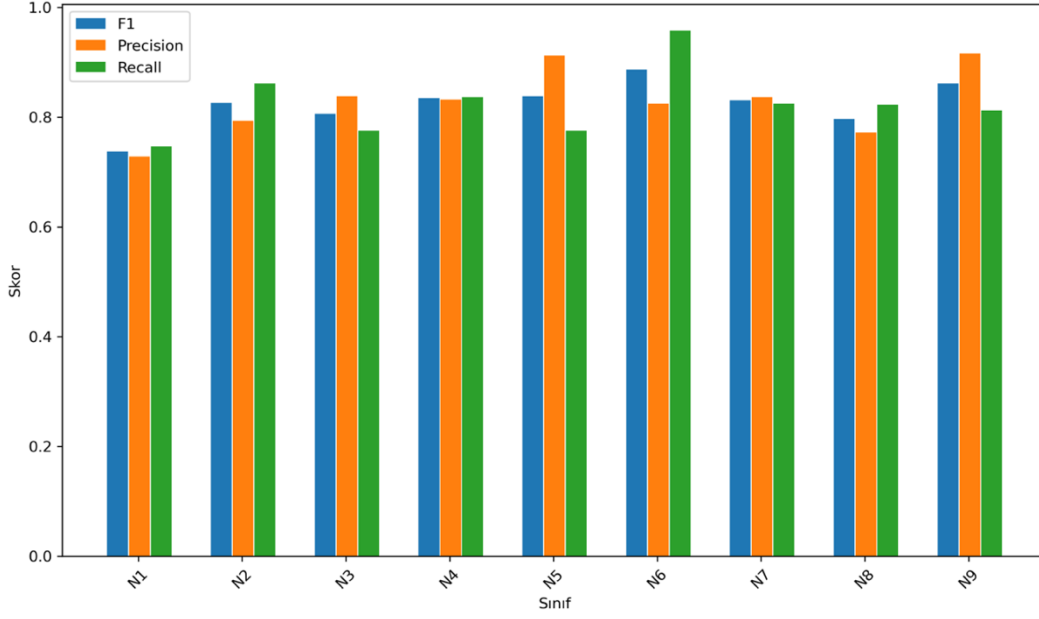


Şekil 6. Bagging algoritması ROC eğrisi

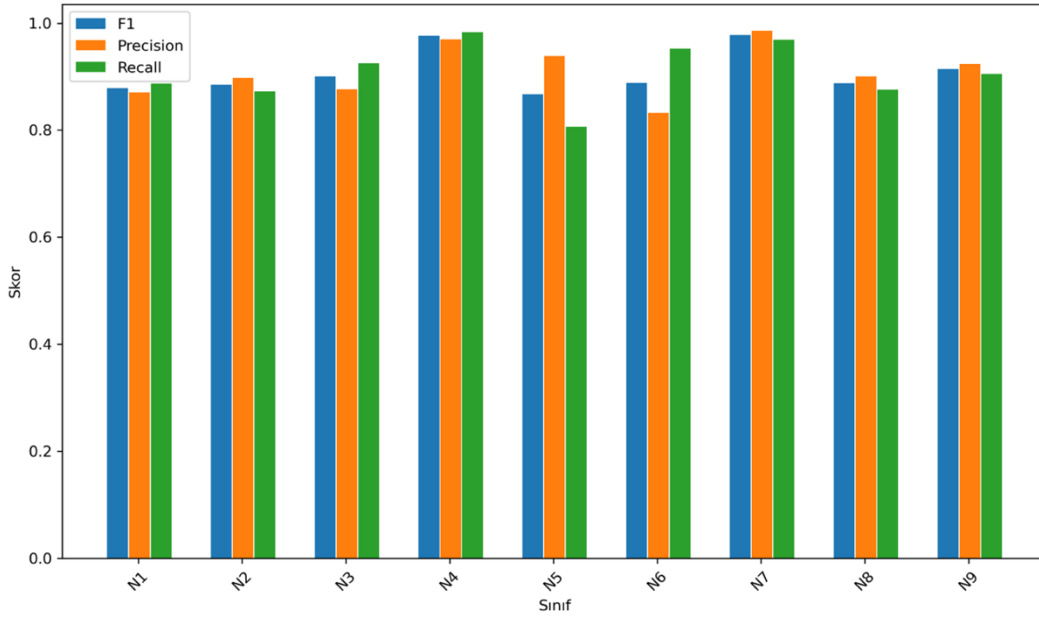
ROC eğrisi ve AUC (ROC eğrisi altında kalan alan) değeri sınıflandırma çalışmalarında modellerin performansını değerlendirmek ve sınıfları ayırtma yeteneğini ölçmek için kullanılan etkili araçlardan biridir. Şekil 4'te Karar Ağacı algoritması ROC eğrisi, Şekil 5'te Rastgele Orman algoritması ROC eğrisi ve Şekil 6'da Bagging algoritması ROC eğrisi verilmiştir. Algoritmaların ROC eğrisi altında kalan alan olan AUC değerleri incelendiğinde algoritmaların sınıfları ayırtma yeteneklerinin yüksek olduğu fakat Bagging algoritmasının diğer algoritmalara göre daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Karar Ağacı algoritması sınıf bazlı performans metrikleri



Şekil 8. Rastgele Orman algoritması sınıf bazlı performans metrikleri



Şekil 9. Bagging algoritması sınıf bazlı performans metrikleri

Tablo 3'te verilen algoritmaların performans metrikleri Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da sınıf bazında verilmiştir. Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da görüldüğü gibi, sınıf bazlı performans metrikleri şekilleri incelendiğinde, Bagging algoritmasının sınıf bazında daha yüksek ve dengeli performans metriklerine sahip olduğu görülmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bilgisayar bilimlerinde son yıllarda popüler olan ve geleceğe yön vereceği düşünülen büyük veri (big data) ve yapay zeka gibi yeni teknolojiler, algoritmalar ve modeller kullanılarak birçok alandaki deneysel veriler daha da anlamlandırılabilir ve böylece klasik değerlendirme ve yorumlamanın üzerine çıkılabilir. Yıllarca laboratuvarlarda yapılan analizlerin sonuçları, grafikler, şekiller, tablolar, bilim insanlarının önerdiği ve klasikleşmiş temel bilimsel formülleriyle değerlendirilip yorumlanmasının yanı

sıra, farklı bakış açılarını da içeren, alternatif olabilecek ve belki de daha fazla efektif bulgular doğurabilecek yeni yöntemlerle denenmelidir. Büyük veriler içinden anlamlı sonuçlar çıkaracak tahmin ve sınıflama yapacak bilgisayar teknolojilerinin kullanılması bu açıdan büyük önem arz etmektedir.

Çalışmada, iklimlendirme kabinlerinde sıcaklık, nem, UV ve tuz ile eskitme uygulanan PE, PVC, PP, PS gibi farklı plastik malzemelerin optik mikroskop görüntüleri kullanılarak makine öğrenmesi algoritmaları ile plastik tür sınıflandırması yapılmıştır. Doğruluk, keskinlik, duyarlılık ve fl-skor metrikleri üzerinden model performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca modellerin karışıklık matrisleri, ROC eğrileri ve sınıf bazlı performans metrikleri değerlendirilmiştir. Algoritmaların doğrulukları ve performans metrikleri karşılaştırıldığında Bagging algoritması %90,85, Rastgele Orman algoritması %82,39 ve Karar Ağacı algoritması için %71,32 model doğruluğu hesaplanmış ve Bagging algoritması ile en yüksek model performansı sağlandığı görülmüştür. Tablo 3 incelendiğinde tüm performans metrikleri olarak Bagging algoritmasının daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca algoritmaların ROC eğrileri incelendiğinde tüm algoritmalar için sınıf bazında AUC değerlerinin 0,9 ile 1 arasında olduğu görülmüş ve yine Bagging algoritmasının sınıf bazında auc değerlerinin 1'e yakın olduğu ve bu da yüksek duyarlılık ve özgüllük değerlerine sahip başarılı bir model olduğunu göstermiştir. Buna ilaveten Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9 sınıf bazında performans metrikleri grafiği incelendiğinde modellerin sınıf bazında performans değerlerinin dengeli olduğu görülmektedir. Yapılan çalışma sonucunda tüm performans metrikleri incelendiğinde plastik tür sınıflandırması için en doğru sınıflandırma performansı Bagging algoritması ile elde edildiği ve diğer algoritmalara göre daha yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 220M024 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir. Çalışmanın gerçekleşmesinde desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz. Ayrıca çalışmaların gerçekleştirilmesinde Sakarya Üniversitesi, Araştırma Geliştirme ve Uygulama Merkezi (SARGEM), Disiplinlerarası Yapay Zeka Laboratuvarı'nın mevcut imkanları kullanılmıştır. Desteklerinden dolayı SAÜ, SARGEM'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Almomani, A., Alweshah, M., Alomoush, W., Alauthman, M., Jabai, A., Abbass, A., ... & Gupta, B. B. (2023). Age and Gender Classification Using Backpropagation and Bagging Algorithms. *Computers, Materials & Continua*, 74(2).
- [2] Aning, S., & Przybyła-Kasperek, M. (2022). Comparative Study of Twoing and Entropy Criterion for Decision Tree Classification of Dispersed Data. *Procedia Computer Science*, 207, 2434-2443.
- [3] Bobulski, J., & Kubanek, M. (2021). Deep learning for plastic waste classification system. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2021, 1-7.
- [4] Bramer, M. (2007). Avoiding overfitting of decision trees. *Principles of data mining*, 119-134.
- [5] Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning*, 24, 123-140.
- [6] Breiman, L. (1999). Random forests. Technical Report. UC Berkeley,
- [7] Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- [8] Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R., & Stone, C. (1984). Classification and regression trees. *Wadsworth Int. Group*, 37(15), 237-251.
- [9] Cengiz, A. V. C. I., Budak, M., Yağmur, N., & Balçık, F. (2023). Comparison between random forest and support vector machine algorithms for LULC classification. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(1), 1-10.
- [10] Chen, J., Li, K., Tang, Z., Bilal, K., Yu, S., Weng, C., & Li, K. (2016). A parallel random forest algorithm for big data in a spark cloud computing environment. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 28(4), 919-933.

- [11] Cooper, D. A., Corcoran, P. L. (2010). Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii. *Marine pollution bulletin*, 60(5), 650-654.
- [12] Das, K., & Behera, R. N. (2017). A survey on machine learning: concept, algorithms and applications. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 5(2), 1301-1309.
- [13] Henriksen, M. L., Karlsen, C. B., Klarskov, P., & Hinge, M. (2022). Plastic classification via in-line hyperspectral camera analysis and unsupervised machine learning. *Vibrational Spectroscopy*, 118, 103329.
- [14] Höppener, E. M., Shahmohammadi, M. S., Parker, L. A., Henke, S., & Urbanus, J. H. (2023). Classification of (micro) plastics using cathodoluminescence and machine learning. *Talanta*, 253, 123985.
- [15] Jelle, B. P. (2012). Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory. *Journal of materials science*, 47(18), 6475-6496.
- [16] Karakoç, Z., KETANİ, M. A., Ketani, Ş. (2016). Mikroskopların çalışma mekanizması ve çeşitleri. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, (1), 1-6.
- [17] Lambert, S., Wagner, M. 2016. "Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene", *Chemosphere*, 145, 265-268.
- [18] Li, Y., Huang, W., Li, Y., Chiu, W., Cui, Y. (2020). Opportunities for cryogenic electron microscopy in materials science and nanoscience. *ACS nano*, 14(8), 9263-9276.
- [19] Liu, P., Zhan, X., Wu, X., Li, J., Wang, H., Gao, S. 2020. "Effect of weathering on environmental behavior of microplastics: Properties, sorption and potential risks", *Chemosphere*, 242, 125193.
- [20] Masters, B. R. (2008). History of the optical microscope in cell biology and medicine. eLS.
- [21] Porta, R. (2021). Anthropocene, the plastic age and future perspectives. *FEBS Open Bio*, 11(4), 948-953.
- [22] Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine learning*, 1, 81-106.
- [23] Quinlan, J. R. (1996). Improved use of continuous attributes in C4. 5. *Journal of artificial intelligence research*, 4, 77-90.
- [24] Srigul, W., Inrawong, P., & Kupimai, M. (2016, June). Plastic classification base on correlation of RGB color. In 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) (pp. 1-5). IEEE
- [25] Sutton, C. D. (2005). Classification and regression trees, bagging, and boosting. *Handbook of statistics*, 24, 303-329.
- [26] Unnikrishnan, V. K., Choudhari, K. S., Kulkarni, S. D., Nayak, R., Kartha, V. B., & Santhosh, C. (2013). Analytical predictive capabilities of laser induced breakdown spectroscopy (LIBS) with principal component analysis (PCA) for plastic classification. *Rsc Advances*, 3(48), 25872-25880.
- [27] Xu, M., Liu, J., Sun, J., Xu, X., Hu, Y., Liu, B. (2020). Optical microscopy and electron microscopy for the morphological evaluation of tendons: A mini review. *Orthopaedic Surgery*, 12(2), 366-371.

Makale id= 21

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-7731-5524

| 259

Polimer Çarpışma Kutularının Darbe Yükleme Altındaki Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesiAraştırmacı Merve Akman¹¹SimetrikPro

Özet: Günümüzde otomobil sayısının artmasıyla birlikte yolculuk esnasında meydana gelen trafik kazaları da artış göstermektedir. Olası kaza durumunda hem araç hem de yolcu güvenliğini sağlayabilmek amacıyla araçta aktif ve pasif güvenlik elemanları kullanılmaktadır. Pasif güvenlik elemanlarından biri olan çarpışma kutuları, kaza anında ortaya çıkan çarpışma enerjisini sönmüleyerek güvenliğini sağlamaktadır. Son zamanlarda kullanım alanları giderek artan polimer malzemeler, otomobillerde de hafifliği ve özellikle de yakıt tasarrufu konusunda sağladığı üstün özelliklerle sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, mühendislik polimerlerinden biri olan takviyesiz polyamid PA66 ve %35 oranında cam elyaf takviyeli PA66-GF35 malzemesi ile hazırlanan kübik yapıya sahip çarpışma kutuları deneysel olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda takviyeli çarpışma kutusunun takviyesiz olana kıyasla daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Boş çarpışma kutuları ile poliüretan köpük ve 301 paslanmaz çelik sac takviyesi yapılmış çarpışma kutularının, mekanik performansını karşılaştırmak amacıyla düşürme testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda cam elyaf takviyeli çarpışma kutusunun takviyesiz olana göre daha fazla enerji sönmülediği görülmüştür. Poliüretan köpük takviyesinin cam elyaf takviyeli çarpışma kutularında pek etkisi olmadığı, takviyesiz kutuda ise deformasyon davranışı ve enerji emilimi yönünden avantajlar sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çarpışma Kutusu, Polimer, Cam Elyaf Takviyesi, Poliüretan Köpük, Paslanmaz Çelik Sac, Düşürme Testi

Experimental Investigation of the Mechanical Behavior of Polymer Crash Boxes Under Impact Loading

Abstract: Today, with the increase in the number of automobiles, traffic accidents that occur during travel also increase. Active and passive safety elements are used in the vehicle in order to ensure both vehicle and passenger safety in case of a possible accident. Crash boxes, which are one of the passive safety elements, provide safety by absorbing the collision energy that occurs in the event of an accident. Polymer materials, whose usage areas have been increasing recently, have started to be used frequently in automobiles with their lightness and especially superior properties about fuel economy. In this study, crash boxes with cubic structure prepared with non-reinforced polyamide PA66, which is one of the engineering polymers, and 35% glass fiber reinforced PA66-GF35 material were experimentally investigated. As a result of the examinations, it was seen that the reinforced crash box had higher strength compared to the non-reinforced one. Drop tests were conducted to compare the mechanical performance of empty crash boxes and crash boxes made of polyurethane foam and 301 stainless steel sheet reinforcement. As a result of the tests, it was seen that the glass fiber reinforced crash boxes absorbs more energy than the non-reinforced one. It was concluded that the polyurethane foam reinforcement did not have much effect in glass fiber reinforced crash boxes, while it provided advantages in terms of deformation behavior and energy absorption in the unreinforced box.

Keywords: Crash Boxes, Polymer, Glass Fiber Reinforcement, Polyurethane Foam, Stainless Steel Sheet, Drop Test

1.GİRİŞ

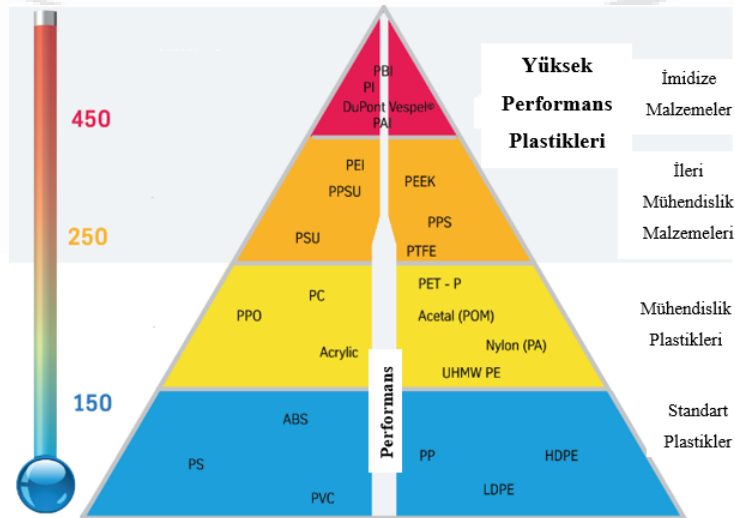
İcadıyla birlikte ulaşımda çığır açan otomobiller, geçmişten günümüze kadar insan ve yük taşımacılığında kullanılan en temel vasıtalarından biri olması nedeniyle toplumda ve dünya otomotiv sanayinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Sosyal, ekonomik ve kültürel anlamda gelişime olan büyük ölçüdeki katkısıyla her geçen gün önemi giderek artmakta ve otomotiv sektörünün büyümesini sağlamaktadır. Bu artış kullanıcılar ve toplum tarafından yeniliklere ve gelişime olan ihtiyacı da beraberinde getirmektedir. Günlük hayatta çok önemli bir yere sahip olan otomobillerin, sürücüler tarafından her geçen gün artan yeni talepleri arasında; daha az maliyetli, daha yüksek performanslı ve daha kaliteli olması, yakıt tasarrufu sağlaması, çevreci olması, hafif ve kullanışlı bileşenler içermesi, kaza durumunda daha az hasar alması ve güvenilir sürüş sağlaması, daha konforlu ve ergonomik olması, farklı dizayn ve estetik tasarımın iyi olması gibi çeşitli özellikler yer almaktadır.

Otomotiv endüstrisindeki en önemli tasarım kriterlerinden biri kaza anında çarpışma güvenliğini sağlamaktır. Çarpışma güvenliğini sağlamak amacıyla araçlarda aktif ve pasif güvenlik sistemleri kullanılmaktadır. Aktif güvenlik sistemleri kazaların oluşmasını önlemek amacıyla kullanılan sistemler iken, pasif güvenlik sistemleri kazanın etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Pasif güvenlik sistemlerinden biri olan çarpışma kutuları, kazanın kaçınılmaz olduğu durumlarda devreye girmekte ve hayati önem taşımaktadır.

Kaza esnasında meydana gelen çarpışmada, ön tampon; hem yolcuları hem de aracı koruyan sistem olarak görev almaktadır. Araç ön tamponu; ön tampon rayı ve çarpışma kutusu olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Çarpışma kutuları, çarpışma anında açığa çıkan enerjinin bir kısmını üzerine alarak sönmüleyici bir rol oynamakta ve bu enerjinin otomobil içerisine en az seviyede iletilmesini sağlamaktadır (Nakazawa ve diğerleri, 2005).

2.MÜHENDİSLİK PLASTİKLERİ VE POLİMER MALZEMELER

Yapısında bulunan çok sayıdaki atomun birbirlerine kimyasal bağlarla bağlanmasıyla oluşan uzun zincirli moleküller, polimer olarak adlandırılmaktadır. Polimer malzemeler; termosetler, termoplastikler ve elastomerler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadırlar. Fiziksel ve mekanik özelliklerine göre ise endüstride polimer malzemeler; plastikler, kauçuklar ve fiberler olmak üzere yine üç grupta incelenmektedirler. Günümüzde pek çok alanda karşımıza çıkan polimerik malzemelerden, kauçuk ve plastiklerin tümünün de polimer esaslı olduğu görülmektedir (Savaşçı ve diğerleri, 2002).



Şekil 2.1. Yüksek performanslı plastik malzeme grupları (Park 2002'den değiştirilerek alınmıştır)

Yüksek performanslı plastik malzeme grupları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Plastik malzemeler, karbon elementinin ametaller elementler (N, H, Cl, O gibi) ile oluşturduğu büyük moleküllü organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Sentetik polimerler olarak da bilinen plastikler doğada hazır bulunmamakta

ve çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mühendislik plastikleri ise termoplastikler grubu içerisinde ele alınmaktadır. Bu plastikler, ısının etkisiyle yumuşayarak kolay şekil almaktadırlar ve geri dönüştürülebilir olmaları sayesinde tekrar tekrar kullanılmaktadırlar. Artan sıcaklıkla birlikte ilk olarak viskoz sıvı daha sonrasında ise sıvı hale geçmektedirler ve genellikle lineer yapıda oldukları görülmektedir. Darbelere ve ısıya dayanıklı olması, kimyasallara karşı direnç göstermesi, yüksek sıcaklıklarda çalışmaya imkân sağlaması gibi pek çok özellikler termoplastik malzemeleri üstün kılmaktadır (Park, 2002).

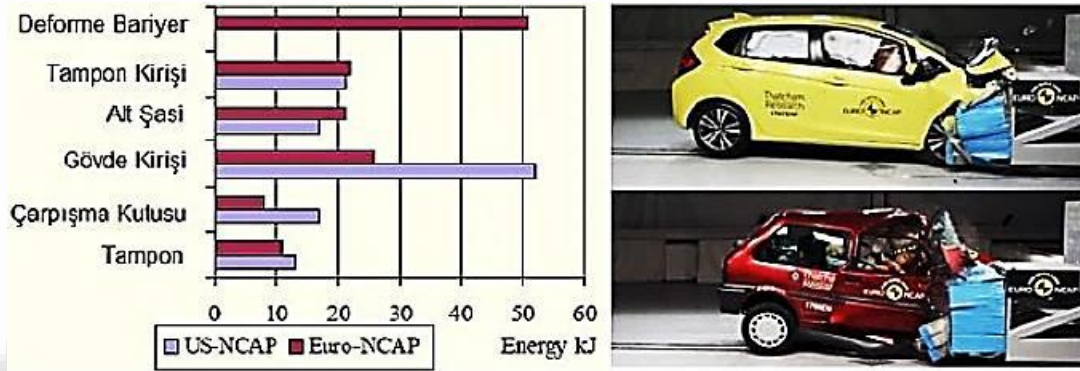
Çizelge 2.1. Bazı polimer malzemelerin özellikleri ve uygulama alanları

Polimer Malzemeler	Özellikler	Uygulama Alanları
Polietilen (PE)	Yüksek ve Alçak yoğunluk olarak iki türü vardır; LDPE, HDPE. Ucuz ve hafiftirler. Farklı yoğunluklara, kaba bir yapıya ve iyi kimyasal dayanıma sahiptir.	Film, çanta, torba, buzdolabı kutuları, endüstriyel kovalar, kablo, tel yalıtımı
Polipropilen (PP)	Aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Ucuz ve yapısal olarak kabadır. Isı dayanımı ve yüzey sertliği fazladır. Bazı solventlere karşı hassas olmalarına rağmen elektriksel özellikleri iyidir.	Otomobil parçaları, oyuncaklar, sandalye, hastane gereçleri
Poliamid (PA)	Naylon adıyla da bilinmektedir. Toksik değildir. Yüksek ısı performansını sahiptir ve sürtünmeden az etkilenirler. Mekanik özellikleri iyidir. Mekanik dayanımı daha fazla artırmak için cam ile güçlendirilebilirler.	Perde bağlantı parçaları, takım kutuları, konektörler, fan kapakları
PA6	Bu yarı kristalli termoplastik, mukavemet, sertlik ve kimyasal dirençte iyi dengelenmiş özellikler sağlayarak en yaygın kullanılan mühendislik termoplastiklerinden biridir.	Motor kapakları, terminal blokları, ambalaj filmleri, jant kapakları
PA 66	Çok iyi mekanik özellikler (mukavemet, sertlik, darbe emilimi) ve ısı / kimyasal direnç dengesi sunar. Bu nedenle PA 66, çoğu zaman metal yerine ikame için olağanüstü bir malzeme olarak kabul edilir.	Hava giriş manifoldları, hava kanalları, vites dişlileri, kapı tutamakları
Polikarbonat (PC)	Son derece yüksek darbe direncine sahip şeffaf bir termoplastiktir. Yüksek performans özellikleri, onu yüksek çalışma sıcaklıkları ve güvenlik özellikleri gerektiren çeşitli uygulamalar için üstün bir plastik yapmaktadır.	Lamba gövdeleri, konektörler, elektrik/elektronik buzdolabı kapakları
Polivinilklorit (PVC)	Aşınmaya ve kimyasallara karşı dayanımları yüksek olan bir gruptur. Çok geniş alanlarda çeşitli şekillerde kullanılabilir. Ucuz ve şeffaf türleri de bulunmaktadır.	Paketleme, film, şişe, eldiven kaplama, ayakkabı, duvar kaplama

2.2. Çarpışma Kutusu

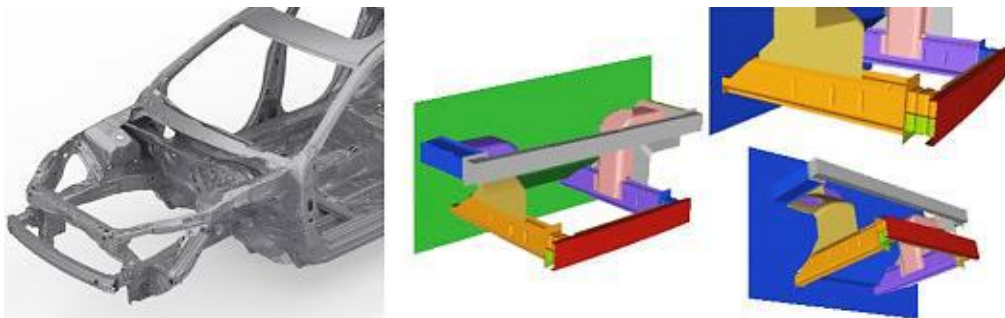
Otomobiller, icadı ile birlikte bize sundukları yararlılardan ve sağladığı pek çok kolaylıklardan dolayı hayatımızda önemli bir yere sahip olmaktadır. En temel ulaşım aracı olan ve toplumun her kesimine hitap eden otomobiller, hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olarak yerini yüzyıllardır korumaktadır. Temel ihtiyaç olan otomobillerin kullanımının artması beraberinde trafik kazalarına da sebep olmaktadır. Yapılan araştırmalara göre dünya genelinde yapılan trafik kazalarının büyük bir kısmı önden çarpma şeklinde meydana gelmektedir. Bunun sonucunda otomobillerdeki en büyük darbelerin de aracın ön kısmında olduğu görülmektedir. Kaza anında bu darbe ile ortaya çıkan çarpışma enerjisini absorbe ederek araç ve yolcu güvenliğini sağlayan çarpışma kutuları, her açıdan ciddi bir öneme sahip olmaktadır. Çarpışma kutuları hasar etkisinin derecesini minimum düzeylere düşürerek, sadece araç içindeki yolcuları korumakla kalmayıp yayalara, diğer araçlara ve çevreye olan zararı da en aza indirmektedir. Ayrıca kaza sonrası oluşan ciddi maddi kayıpların da önüne geçmeyi sağlamaktadır.

Şekil 2.3'de dünya genelinde en güvenilir verilere sahip olan US-NCAP ve EURO-NCAP'ın yapmış oldukları çarpışma testi sonuçları, otomobillerde kaza anında açığa çıkan enerjinin parçalar üzerindeki dağılımları hakkında fikir vermektedir (Griškevičius ve diğerleri, 2002). Testler sonucunda çarpışma kutularının enerjii önemli bir ölçüde absorbe ettiği görülmektedir (Altın, 2017).



Şekil 2.3. Kaza durumunda parçalar üzerindeki enerji dağılımı (Altın 2017'den değiştirilerek alınmıştır)

Bir binek otomobilde, enerjii emecek şekilde tasarlanmış yapılar, ön tampon ile yolcu bölmesi arasına yerleştirilmektedir. Şekil 2.4 'de ön yapı genellikle, aracın her iki tarafı için iki tane olmak üzere dört uzunlamasına ince duvarlı kirişten oluşmaktadır; ikisi motor bölmesinin üst kısmında, kaputun hemen altında ve ikisi, genellikle daha büyük boyutlarda, tamponun arkasında bir ara yükseklikte konumlandırılmaktadır. Son araçlarda, bu iki ana kirişin ön ucunda, her iki tarafta birer tane olmak üzere iki çarpışma kutusu yerleştirilmektedir (Altın, 2017). Bu çarpışma kutuları, düşük hızda darbe durumunda enerjii emecek şekilde tasarlanmaktadır. Böylece, ön yapının diğer kısımlarında büyük yapısal hasarlardan kaçınılmaktadır. Ön tamponun hemen arkasında, tamponu konumlandırma ve destekleme görevine sahip bir enine kiriş vardır ve uçlarında uzunlamasına ana kirişlere bağlanmaktadır.



Şekil 2.4. Bir aracın ön tampon grubu (Altın 2017'den değiştirilerek alınmıştır)

3. MALZEME SEÇİMİ VE NUMUNE ÜRETİMİ

Bu çalışmada kullanılmak üzere amit bağları ile bağlanmış uzun zincir bir polimer olan polyamid malzeme seçilmiştir (Şekil 3.1). Polyamidler, ergime sıcaklıkları yüksek olduğu için yüksek sıcaklıklarda sertliklerini korurlar. Ayrıca yüksek kimsayal dayanım, sürtünme katsayısının düşük olması, ısıl deformasyona karşı gösterdiği direnç, kolay şekillendirme, tokluk, sünme ve yorulma dayanımı gibi üstün özellikleri de bulunmaktadır (Yılmaz, 2018).

| 264



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan hammaddeler a) Polyamid 66 (PA66) b) %35 cam elyaf takviyeli polyamid 66 (PA66-GF35)

Çizelge 3.1’ de bu çalışmada kullanılan polyamid hammaddelerin (PA66 ve PA66-GF35) mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan hammaddelerin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	PA66	PA66-GF35
Yoğunluk (g/cm ³) Density	1,1	1,418
Katkı Oranı (%) Ash Content	-	35,12
Nem (%) Moisture Content	2,4-3,0	0.11
Esneklik Modülü (MPa) Elastic Modulus Tension	1587-2795	8000-11000
Kopmadaki Çekme Direnci (MPa) Tensile Stress At Break	60	160-180
Kopmadaki Uzama (%) Tensile Strain At Break	40	>2
Sertlik (Shore-D) Hardness	-	83
Erime Noktası (°C) Melting Point	260	260
Yanmazlık Sınıfı Flammability	HB	HB
Çentikli İzod Darbe (kJ/m ²) Notched Izod Impact Strenght	16	8

Polimer malzeme gruplarının üretiminde pek çok farklı üretim metodu bulunmaktadır. Termoplastik malzemelerin çok rijit bir yapısı olmaması, ısıtıldıklarında viskozitelerinin düşmesi ve böylece akışkan bir hale gelmeleri nedeniyle enjeksiyon kalıplama bu malzeme grubunda oldukça yaygın olarak kullanılan bir imalat yöntemidir (Lewis & Gertsakis, 2001).

Enjeksiyon kalıplamada çalışma prensibi şu şekildedir: Polimer hammadde yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak eriyik hale getirilir ve ardından yüksek basınç ile birlikte kalıp boşluğuna itilir. Belirli bir süre sonra katılaştan parça, itici sistem yardımıyla kalıptan çıkarılır. Kalıplama çevrim süresi parçanın yapısı, şekli ve kullanılan hammaddeye göre 10 saniyeden yaklaşık 2 dakikaya kadar çıkmaktadır.

Bu çalışmadaki numuneleri basmak için kullanılan enjeksiyon makinesi Şekil 3.2’ de gösterilmektedir.



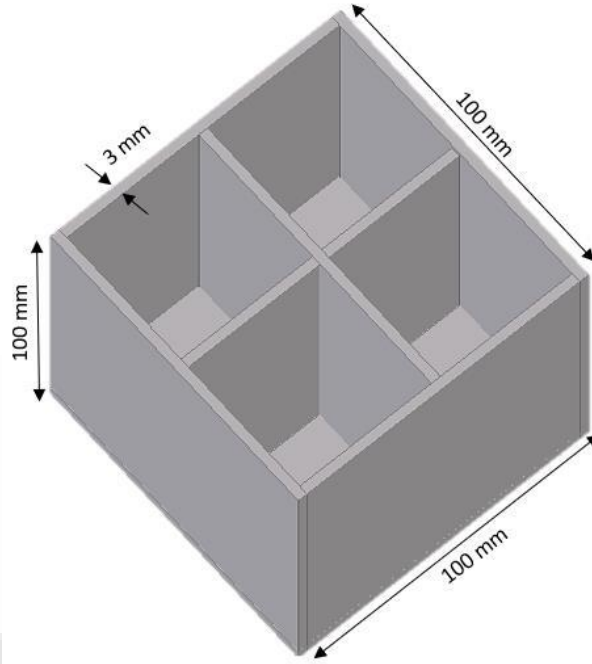
Şekil 3.2. Plastik enjeksiyon makinesi

Malzemeye öncelikle 120°C’de 3 saat boyunca fırınlama işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.3). Ardından plastik enjeksiyon makinesinde her birinin çevrimi yaklaşık 2 dakika olmak üzere 300°C sıcaklıkta basılmışlardır. Deneylerde, üretimi ABV Kalıp ve Plastik San. Tic. Ltd. Şti’de yapılan 6 adet PA66 GF35 (takviyeli polimer) ve 6 adet PA66 (takviyesiz polimer) malzemeden yapılan içi boş çarpışma kutuları kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Fırınlama işlemi

Deneylerde kullanılan çarpışma kutuları boyutları 10*10*10 cm ve ortalama et kalınlığı 3 mm olan içi boş kübik bir kutu Őeklinindedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Numunenin 3B teknik resmi

Takviyesiz kutu kütlesinin yaklaşık 251 g, cam elyaf takviyeli kutu kütlesinin yaklaşık 330 g olduğu görülmektedir (Şekil 3.5).



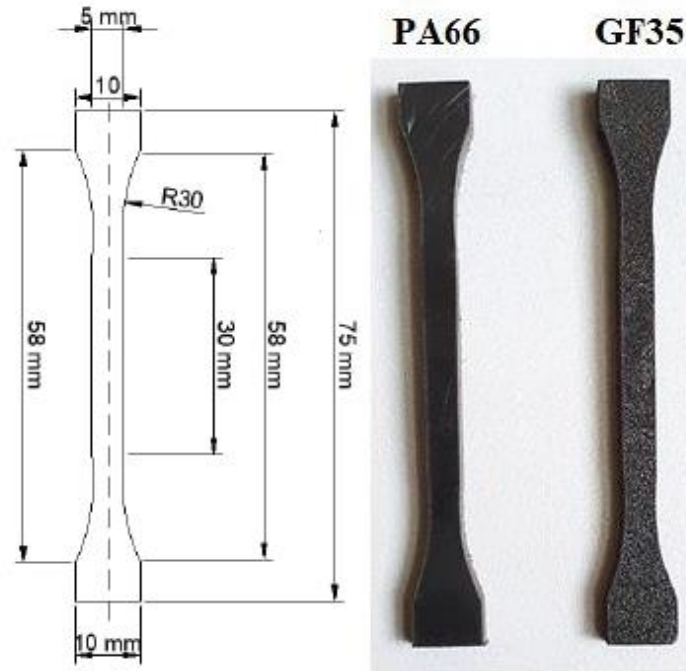
Şekil 3.5. Takviyesiz ve takviyeli numune kütleleri

Numunelere basma ve çekme testi uygulayabilmek için su jeti ile kesim yapılarak standartlara uygun ölçülerde parçalar alınmıştır. İleri teknolojinin bir ürünü olan su jeti; en verimli kesme yöntemlerinden biri olarak bilinmektedir. Hiç aşınmayan, köşelerde hiç çapak bırakmayan, kesme sırasında malzemeyi deformasyona uğratacak kuvvetler oluşturmayan, sıcaklık etkisi olmayan böylelikle; yapısal bozulma, kararma, çarpılma, erime, damlama oluşması ve yanma sorunları asla söz konusu olmayan bir kesici takım olan su, en karışık biçimleri dahi, yüksek hassasiyet ve çok temiz kesim kenarları ile elde edilebilmektedir (Haylock, 1987).

| 267

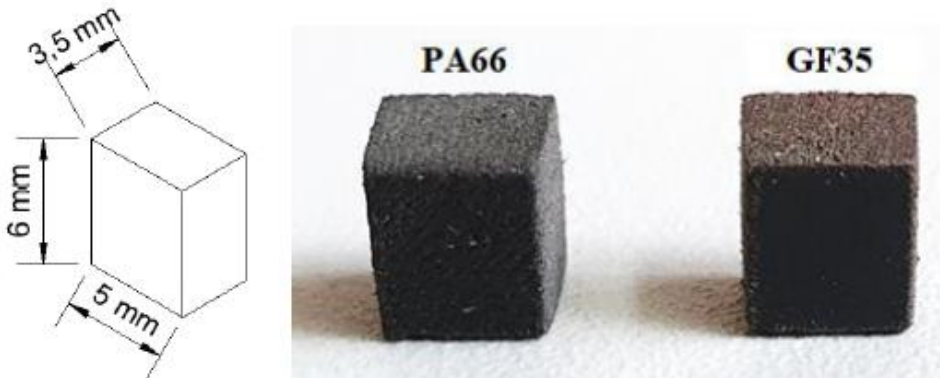
Bu teknolojinin en büyük avantajı yüksek sıcaklıkların oluştuğu bir kesme işlemi olmamasıdır. Böylelikle kesilen malzemelerde ısıl gerilmeler oluşmama dolayısıyla işleme sonrası bir gerilme giderme işlemine gerek duyulmamaktadır. Tüm malzemeler sıcaklık oluşmadan kesilebilmektedir (Hunziker, 1990).

Deneyde ISO 527 “Plastiklerde çekme testi” standardı uygulanmıştır. Standart numune (1A/1B) boyutunda tercih edilen numune kalınlığı 4 mm, çalışmadaki kalıptan çıkan numunelerin et kalınlığı 3 mm olduğu için Tip 1BA küçük numune boyutları kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Çekme testi için hazırlanan numuneler

Basma testi numuneleri ISO 604 standardına uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Basma testi için hazırlanan numuneler

3.1. Poliüretan köpük ilavesi

Poliüretan malzemeler, üretim yöntemlerindeki avantajlar ve gösterdikleri üstün mekanik ve termal özelliklerden dolayı son zamanlarda daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Poliüretan köpük tek komponentli, havadaki nem ile kürleşen, kürleşirken genleşen, aerosol formunda yarı sert bir montaj, derz dolgu ve izolasyon malzemesidir (Şekil 3.8).

| 268



Şekil 3.8. Deneyde kullanılan poliüretan köpük

İçi boş numune testlerinin ardından yukarıda saydığımız poliüretan köpük malzemenin faydalarından dolayı, boş numunelerin içerisine malzeme dayanımını artırmak amacıyla poliüretan köpük sıkılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Poliüretan sıkılmış numune

3.2. Poliüretan köpük ilaveli düşürme test numunelerine çelik sac ilavesi

Kuvvetleri biraz daha kararlı hale getirmek ve ayrıca daha yüksek enerji sönümleyebilmek amacıyla numunelerin içerisine poliüretan köpük ile 100*100 mm boyutlarında 0,2 mm kalınlığında 301 paslanmaz çelik sac, silindirik hale getirilerek çarpışma kutusunun 4 gözünün her birine takviye elemanı olarak ilave edilmiştir.

İçi boş olan takviyeli ve takviyesiz polimer kutuların içerisine hazırlanan çelik saclar ilave edilerek ağırlık ölçümleri yapılmıştır. İçerisine çelik sac yerleştirilen kutulara tekrar poliüretan köpük takviyesi yapılmıştır (Şekil 3.10). Yapılan düşürme darbe testlerinde 2 adet PA66 ve 2 adet PA66-GF35 (cam elyaf takviyeli) kutu kullanılmıştır.

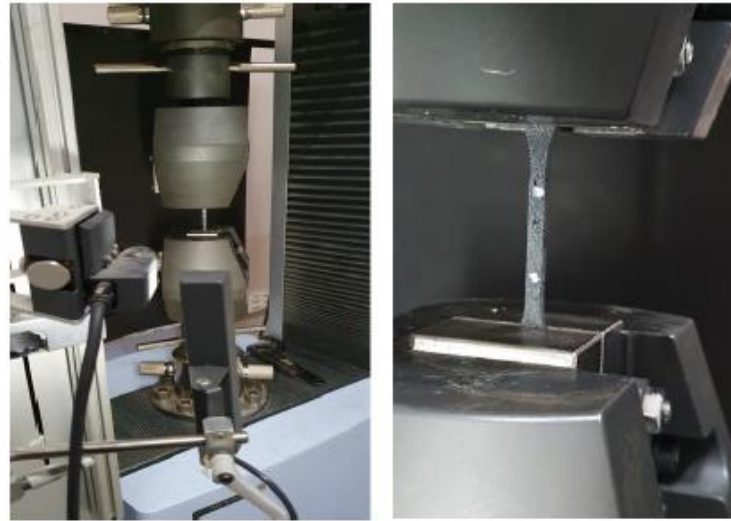
| 269

Şekil 3.10. Çelik sac ve poliüretan köpük ilaveli kutular



3.4. Çekme Test Cihazı

Malzemelerin çekme yüklemesi altındaki mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çekme testleri yapılmıştır. Testler, SHIMADZU Üniuersal Test cihazında 250 kN kapasiteli yük hücresi ve video ekstansometre (Şekil 3.11) kullanılarak yapılmıştır. Test öncesinde, numuneler üzerinde uzamanın ölçüleceği ölçüm alanı beyaz kalemle işaretlenmiştir. Ölçülen değerler ile mühendislik gerilmesi ve birim şekil değiştirme, test cihazının yazılımı tarafından hesaplanmaktadır.



Şekil 3.11. Video ekstansometre ve numune üzerinde ölçüm aralığının işaretlenmesi

3.5. Basma Test Cihazı

Bu deneyde Şekil 3.12’de gösterilen UTEST üniversal test cihazı ve 250 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Basma testlerinin yapıldığı üniversal test cihazı ve basma plakaları

Hazırlanan numuneler basma testi cihazının çeneleri arasına konumlandırılan paralel çelik plakalar arasına yatay olarak yerleştirilmiştir. Test standardında belirtildiği gibi basma hızı sırasıyla 2, 10 ve 50 mm/dk olarak ayarlanmış ve tüm toplam numune boyunun %70’ine kadar basmaya maruz bırakılmıştır. Basma testi başlamadan numunelerin plakalarla düzlemsel olarak temasın sağlandığına emin olmak amacıyla 0,02 kN gibi düşük bir ön yükleme uygulanmıştır.

3.6. Düşürme Test Cihazı

Polimer malzemeler yüksek özgül dayanımlarıyla beraber düşük üretim maliyetleri sayesinde otomotiv ve uçak sanayinde yaygın kullanılmaktadır. Polimer malzemelerin kullanım alanlarının artmasıyla birlikte çalışma şartlarında maruz kaldıkları yüklerin çeşitliliğini artış göstermektedir. Polimerlerin maruz kaldıkları düşük veya yüksek hızlı darbeler sonrası yapılarında ortaya çıkan hasar mekanizmalarını tespit etmek ve nedenleriyle sonuçlarının deneysel incelemeleri, bu malzemelerden imal edilen parçaların darbe-yorulma ömrü, darbe direnci gibi olguların anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Polimer malzemelerin darbe dayanıklılığını ölçmek için öncelikle cisme şok ya da darbe şeklinde tesir eden yüklere karşı cisimde oluşan darbe direnci değerinin bulunması gerekmektedir. Polimer malzemelerin darbe özellikleri pek çok farklı yöntemle belirlenebilir.

Düşük hızlardaki darbe uygulamaları esnasında üretimdeki kayıpların önüne geçmek ve üretim parametrelerini iyileştirmek adına polimer malzemelerde meydana gelen değişimler ve darbe yüklemesinin ardından ürünün iç yapısında görülen hasar mekanizmalarının tespitinin öneminin son derece yüksek olduğu belirtilmektedir. Polimer malzemelerde en önemli hususlardan biri darbe yüklemelerine karşı dirençli olmasıdır.

Bir cismin uygulanan kuvvetlere karşı göstermiş olduğu tepki, mekanik davranış olarak tanımlanmaktadır. Bu davranış biçimini malzemenin mekanik özellikleri belirler.

Düşürme test cihazı ile çeşitli malzemelerin darbe dirençleri belirlenebildiği gibi, çarpma anından darbenin enerjisinin sönmüldüğü zamana kadar dijital ortamda verileri kayıt altına alarak grafiksel sonuçlar gösterebilmektedir. Belli bir yükseklikten serbest olarak bırakılan ağırlık sonucu çarpma başlığı üzerindeki kuvvet ve deplasman sensörleri yardımıyla çarpışma kutusu ile çarpan kütle arasında ortaya çıkan kuvveti ve kutunun ezilme miktarını (deplasman) kaydetmektedir. Bu çalışmada Şekil

3.13’de görülen düşürme test cihazı kullanılmaktadır ve numunelerin üzerine 267 kg yük düşürülerek numunelerin 3 kJ enerjiyi sönmlemesi beklenmektedir.



Şekil 3.13. Düşürme test cihazı

Düşürme testinde kullanılan tüm numunelerin kütleleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Düşürme testinde kullanılan numuneler ve kütleleri

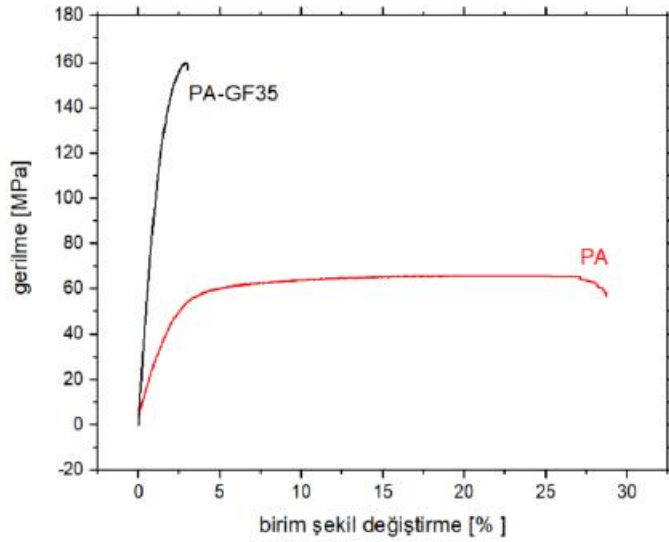
Numune	Kütle [g]
PA66	251
PA-GF35	330
PA66+PU	266
PA-GF35+PU	349
1-PA66+PU+SS	363
2-PA66+PU+SS	352
1-PA66-GF35+PU+SS	439
2-PA66-GF35+PU+SS	433

4. BULGULAR

Çarpışma kutularından alınan numunelere tek eksenli çekme, basma ve düşürme testleri uygulanmıştır.

4.1. Çekme Testi Sonuçları

Çekme testi sonucunda elde edilen takviyeli PA-GF35 ve takviyesiz PA numunelerin gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri Şekil 4.1 'de verilmiştir. Cam elyaf takviyeleri sürekli ve çekme doğrultusunda yönlendirilmiştir.



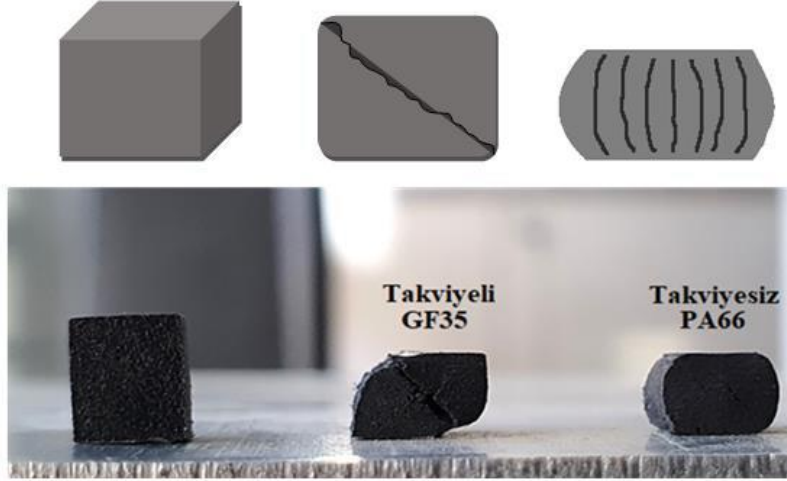
Şekil 4.1. PA ve PA-GF35 için elde edilen mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri ve PA için kırılmış örnek bir numune

Eğriler incelendiğinde takviyesiz PA66 malzemenin takviyeliye göre sünek davranış gösterdiği, %35 karbon elyaf takviyesinin ise mukavemeti arttırmakla beraber malzemeyi oldukça kırılgan hale getirdiği açıkça görülmektedir. Malzemelerin üreticisinden sağlanan teknik datalarda PA için çekme mukavemeti 60 MPa ve maksimum birim şekil değiştirme %40 olarak, PA-GF35 için ise maksimum gerilme 160-180 MPa ve kırılma birim şekil değiştirmesi ise %2 olarak belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen eğrilerin bu değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir.

4.2. Basma Testi Sonuçları

Farklı hızlarda ortalama eğriler incelendiğinde deformasyon hızı arttıkça pekleşmenin arttığı dolayısıyla akma gerilmesinin de arttığı görülmüştür. Çekme test sonuçlarına benzer şekilde cam elyaf takviyesi malzemeyi daha mukavim fakat kırılgan hale getirmiştir.

Basma testlerinde, numunenin basma plakaları ile temasta olduğu alt ve üst yüzeylerde sürtünme kuvvetleri nedeniyle, deformasyon numune yüksekliği boyunca eşit değildir. Numune temas noktalarında rahatça yer değiştiremezken, orta noktada yanlara doğru rahatça akabilir. Bu sebeple numunenin sünekliğine bağlı olarak, az ya da çok bir şişkinlik yani fıçılama meydana gelir. Fıçılama arttıkça yan yüzeylerdeki çekme gerilmeleri oluşur ve eğer bu gerilmeler belli bir değere ulaştığında malzemede kuvvet doğrultusunda çatlaklar oluşur. Kırılgan malzemelerde, daha az deforme olmayan numune içerisinde malzeme çevreleyen malzemeye kayar ve numunenin orta kısmında çok yüksek kesme gerilmeleri sağlar. En büyük kesme gerilmeleri, basınç gerilmesi yönüne 45°'lik bir açıda meydana geldiğinden, gevrek numuneler genellikle bu yön boyunca kırılır.



Şekil 4.2. Basma testi sonrası takviyeli ve takviyesiz numune görüntüleri

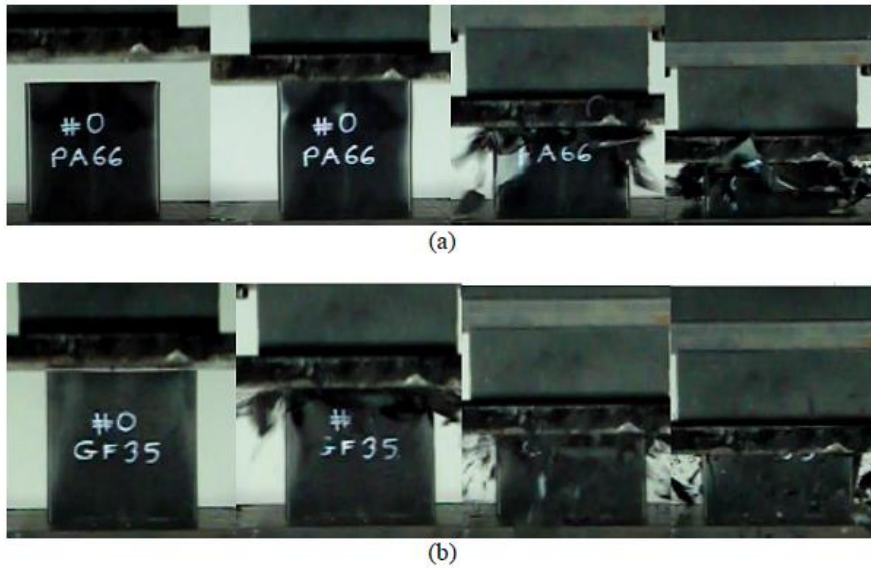
Şekil 4.2’de test öncesi ve sonrası numune görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde daha sünek PA’da daha yüksek fiçlaşma ve gevrek davranan PA-GF malzemesinde ise bahsedildiği gibi 45°’lik bir açıda oluşan kırılma görülmektedir.

4.3. Düşürme Testi Sonuçları

Polimer çarpışma kutularının darbe yüklemesi altındaki mekanik davranışlarını incelemek amacıyla hazırlanan numunelere, 267 kg’lık yük düşürülmüştür.

4.3.1. Boş kutular

Düşürme testi esnasında cam elyaf takviyeli ve takviyesiz içi boş numunelerin deformasyon davranışlarının görüntüsü Şekil 4.3’de verilmektedir. İdeal bir çarpışma kutusundan beklenen, hem istenilen dayanıma sahip olması hem de belli bir süneklığe sahip olarak düzenli bir şekilde yani katlanarak deformasyona uğramasıdır. Deformasyon görüntülerine bakılırsa, her iki malzemenin de bu şekilde deforme olmadığı, daha çok parçalanarak hasara uğradığı görülmektedir. Daha önce çekme ve basma testlerinde de statik şartlar altında da gözlemlendiği üzere PAGF35(takviyeli) numune darbe esnasında PA66 (takviyesiz)’ya göre daha gevrek davranmış, gerçekleşen kırılmalar daha fazla ve daha küçük parçalar halinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3. Düşürme testi deformasyon davranışları a) PA66 test görüntüsü b) GF35 test görüntüsü

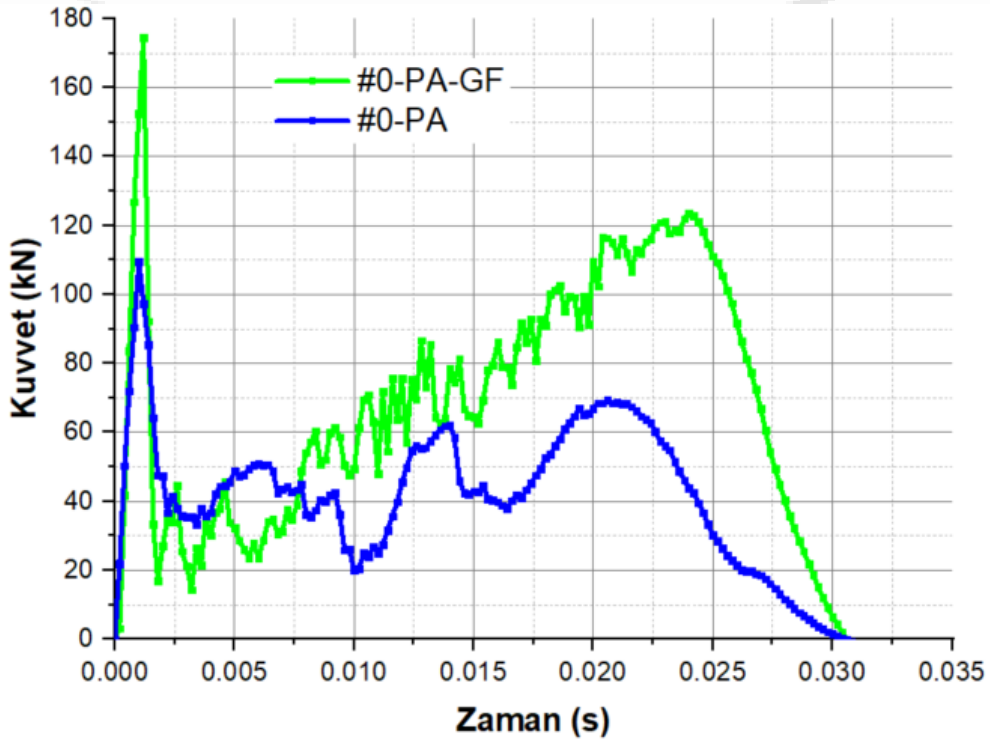
Düşürme testi sonrası cam elyaf takviyeli ve takviyesiz içi boş numunelerin görüntüsü Şekil 4.4’de görülmektedir.



| 274

Şekil 4.4. Düşürme testi sonrası numunelerin son görüntüsü

Şekil 4.5’de takviyesiz (PA66) ve takviyeli (PA66-GF35) kutuların test sonrası elde edilen kuvvet-zaman grafiği verilmiştir. Elde edilen grafik incelendiğinde, genel olarak takviyesiz kutunun takviyeli kutuya göre daha düşük dayanıma sahip olduğu sonucuna varılabilir. Takviyeli kutunun daha rijit davrandığı dolayısıyla daha yüksek bir ilk çarpışma kuvveti ve ortalama kuvvete sahip olduğu görülmektedir. Aynı zamanda takviyeli kutu daha gevrek davrandığı için daha fazla lokal kırılmalar oluşmakta, bu da kuvvet değerlerinde daha sık iniş-çıkışlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Çarpışma süresi her iki kutu için benzer 0,030 s civarında olmuştur.



Şekil 4.5. Takviyeli ve takviyesiz polimer kutuların kuvvet-zaman grafiği

4.3.2. Poliüretan köpük ile doldurma

Düşürme darbe testleri poliüretan köpük ve çelik sac ilavesi yapılan numunelere de uygulanmış ve sonuçlar yeniden değerlendirilmiştir.

Cam elyaf takviyeli çarpışma kutusunda poliüretan köpük ilavesi performansı neredeyse değiştirmemiştir. Poliüretan takviyeli numunelerin düşürme testi öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Gevrek olan takviyeli kutuda, poliüretan ile doldurma da lokal kırılmaların azalmasına sebep vermemiş, kutu katlanmadan küçük parçalar halinde kırılarak deformeler oluşmuştur.

| 275



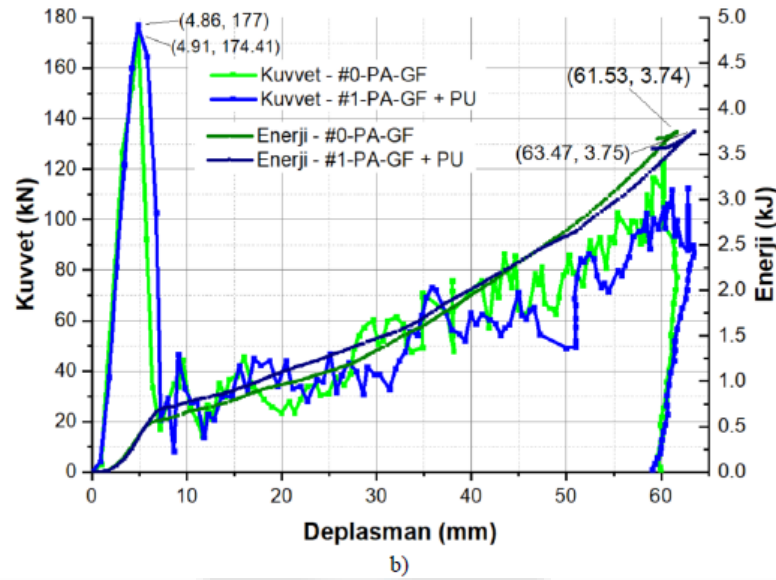
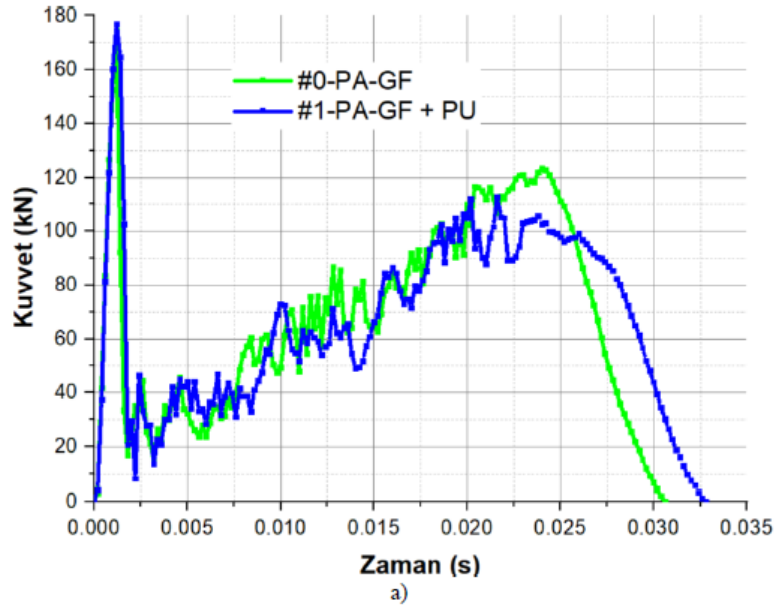
(a)



(b)

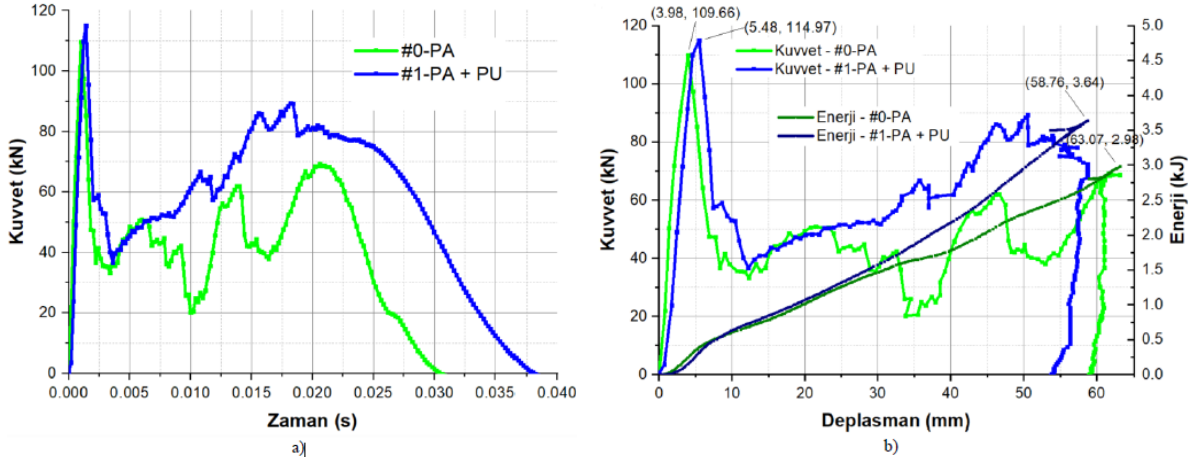
Şekil 4.6. PU takviyeli numunelerin görüntüleri a) Üstten çapraz görünüş b) Önden görünüş

Şekil 4.7' de poliüretan köpük ilaveli cam elyaf takviyeli çarpışma kutusunun kuvvet-zaman ve kuvvet, enerji – deplasman grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.7. PU köpük ilaveli PA-GF takviyeli çarpışma kutusunun a) kuvvet-zaman b) kuvvet, enerji – deplasman grafikleri

Cam elyaf takviyesiz çarpışma kutusunda poliüretan köpük ilavesi çarpışma performansını artırmıştır. Şekil 4.8’ de poliüretan köpük ilaveli takviyesiz çarpışma kutusunun kuvvet-zaman grafiği verilmiştir. Takviyesiz kutunun daha sünek olması sebebiyle büyük parçalar halinde kırılarak deforme olmuştur. İlk çarpışma kuvvet değerlerinde bir fark olmamakla beraber, ortalama kuvvet değerinin poliüretan köpük ilavesiyle bir miktar arttığı görülmektedir. Bu sebeple sönmölen enerji değeri de artmıştır. Çarpışma süresi de poliüretan köpük ilavesiyle 0,038 s’ye çıkmıştır. Toplam deplasman miktarı ise köpüğün direncinin eklenmesiyle azalmıştır.



Şekil 4.8. PU köpük ilaveli PA takviyesiz çarpışma kutusunun a) kuvvet-zaman b) kuvvet, enerji – deplasman grafikleri

Gevrek olan takviyeli malzemede poliüretan köpük takviyesi etkili olmamıştır. Bu, poliüretan malzemenin tek başına direnç gösteremediğine anlamına gelmektedir. Gevrek malzemenin kullanıldığı kutuda plastik çeper kırılmıştır, poliüretan köpük tek başına kalarak direnç gösterememiştir.

Daha sünek olan takviyesiz malzemede poliüretan köpük takviyesi etkili olmuştur. Çeperin kırılmaması bunun sebebi olabileceği düşünülmüştür. Deformasyonun son bölgelerinde (Poliüretan köpüğün yoğunlaştığı kısım), poliüretan köpük takviyesi kuvvetleri artırmış ve dolayısıyla enerji emilimini de artırmıştır.

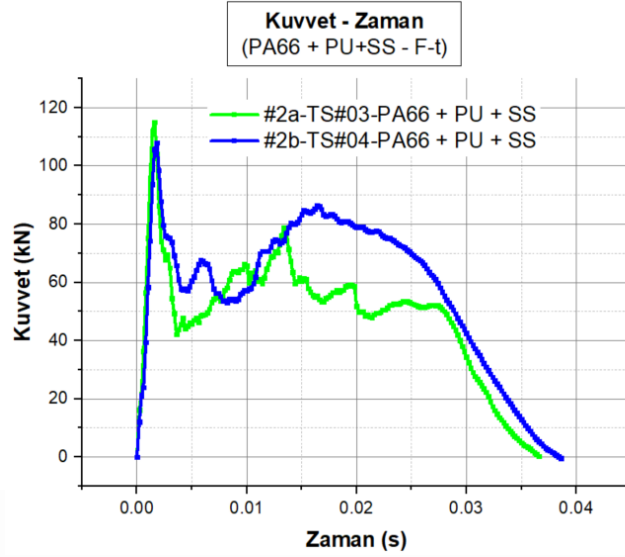
4.3.3. Paslanmaz çelik sac ilavesi

Poliüretan köpük ve paslanmaz çelik sac ilavesi yapılmış 2 adet cam elyaf takviyeli ve 2 adet cam elyaf takviyesiz kutuların düşürme darbe testi sonrası görüntüleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



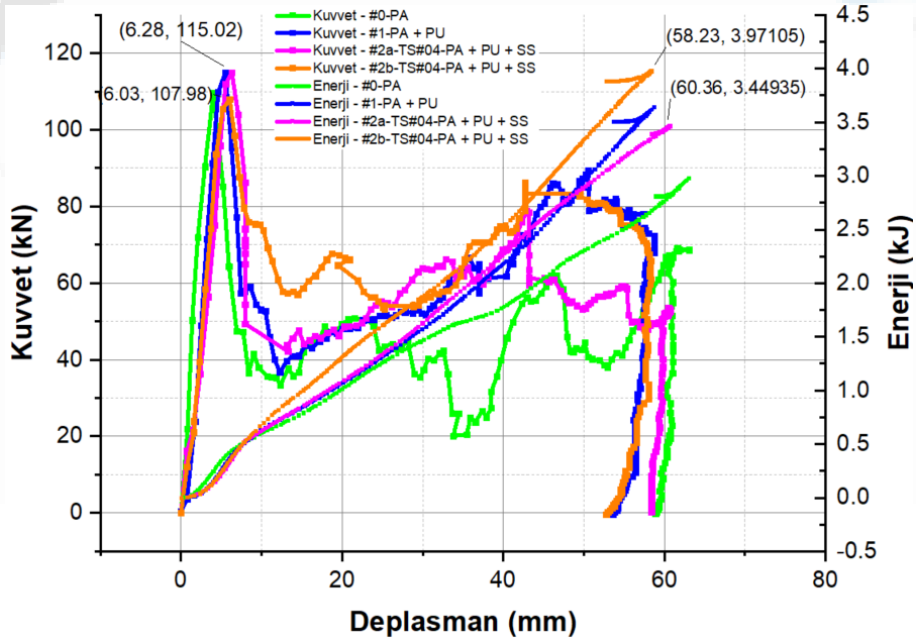
Şekil 4.9. Numunelerin test sonrası görüntüleri

Sadece poliüretan köpük ilavesinin aksine, paslanmaz çelik (SS) sac ilavesi, çeper kırılrsa da etkili olmuştur. SS sac ilavesi, deformasyonun ilk bölgelerinde, hem takviyeli (PA-GF35) hem takviyesiz (PA66) malzemede kuvvetleri yaklaşık 20 kN artırmıştır. İlk bölgelerdeki bu artış, enerji emilimine de yansımıştır.



Şekil 4.10. PU köpük ve SS sac ilaveli takviyesiz kutu kuvvet-zaman grafiği

Paslanmaz çelik sac ilavesi yapılmış takviyesiz (PA66) kutuların düşürme testi sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir. Çeper, kırılma yerine yırtılmaya uğramıştır. Bu yırtılmanın durumuna göre, deney tekrarlarında kuvvetlerde farklılaşmalar olmuştur. Paslanmaz çelik sac ilavesi, kuvvetleri daha kararlı hale getirmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. PU köpük ve SS sac ilaveli takviyesiz kutu kuvvet-deplasman-enerji grafiği

Enerji sönmüleme performansı değerlendirilirken, sönmülenen enerjinin yanı sıra ortalama kuvvet (Fort) ve çarpışma kuvveti verimliliği (ÇKV) gibi kriterler göz önüne alınır. Ortalama çarpışma kuvveti, Denklem 4.1'deki gibi, sönmülenen enerjinin deplasmana oranı olarak hesaplanır. Bu çalışmada, Fort hesaplandıktan sonra, maksimum çarpışma kuvveti belirlenerek ortalama kuvvetin bu kuvvete oranıyla Denklem 4.2'de ÇKV değeri bulunmuştur. Bu değer 1'e yakın olması arzu edilir. Bu değere yaklaşılması, çarpışma kuvvetlerinde ani artışların, yani ani ivmelenmelerin olmadığı ideal çarpışma halini temsil eder (Çakan ve ark, 2021).

Fort=Enerji Emilimi/Deplasman (4.1)

ÇKV=Fort/Fmaks (4.2)

Düşürme testi sonrasında elde edilen eğrilerden hesaplanan, enerji sönümlenme performansına ait sonuçlar Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

| 279

Çizelge 4.1. Düşürme testi sonrası elde edilen değerler

Deney No	Numune	Fmaks [kN]	Deplasman [mm]	Enerji [kJ]	Özgül Enerji Sönümlenme [kJ/kg]	Fort [kN]	ÇKV
#0	PA	109,66	63,07	2,98	11,87	47,2	0,43
#0	PA-GF	174,41	61,53	3,74	11,33	60,8	0,35
#1	PA+PU	114,97	58,76	3,64	13,68	61,9	0,54
#1	PA-GF+PU	177	63,47	3,75	10,74	59,1	0,33
#2a#TS	PA-GF+PU+SS	176,63	44,26	3,37	7,67	76,1	0,43
#2b#TS	PA-GF+PU+SS	196,7	51,69	3,88	8,96	75,1	0,38
#2a#TS	PA+PU+SS	115,02	60,36	3,45	9,50	57,2	0,50
#2b#TS	PA+PU+SS	107,98	58,23	3,97	11,28	68,2	0,63

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında deneysel yöntemler kullanılarak polimer çarpışma kutularının darbe yüklemesi altındaki mekanik davranışları incelenmiştir.

Düşürme testleri esnasında deney numunelerindeki tepki kuvveti, deplasman ve zaman verileri kaydedilmiştir. Bu veriler sonucunda numuneler takviyeli ve takviyesiz, içi boş ve içi poliüretan köpük ilaveli olarak ve son olarak hem paslanmaz çelik sac hem de poliüretan köpük ilaveli olarak karşılaştırılmıştır.

Takviyesiz (PA) ve Cam Elyaf Takviyeli (PA-GF) kutu karşılaştırması:

Tüm durumlarda PA’dan yapılan kutularda PA-GF’ye göre çok daha düşük maksimum kuvvet meydana gelmektedir. Örneğin içi boş olan kutular değerlendirildiğinde PA yerine PA-GF kullanılması maksimum kuvveti %60 arttırmaktadır. Bu oran PU takviyeli durumda %54, PU+SS takviyeli durumda ise %67 civarında olmaktadır. Yani her durumda PA-GF malzemeden yapılan kutular PA kutulara göre ilk çarpışma anında daha rijit davranmıştır. İçi boş olan kutularda maksimum kuvvet açısından GF takviyesi olumsuzluk oluştursa da ortalama kuvvetin daha yüksek olması sebebiyle sönümlenen enerjiyi yaklaşık %25 arttırmıştır. Fakat yine maksimum kuvvetin, ortama kuvvete oranı daha düşük olduğu için ÇKV açısından PA numune daha iyi performans sergilemiştir. Deplasman değerlerinde fark maksimum kuvvete göre çok kayda değer değildir. Sadece PA-GF’nin PU+SS takviyesinin diğer kutulara göre daha düşük (47,96 mm) bir deplasman sergilediği görülmektedir.

PU Takviyesi:

PA malzemeye PU takviyesinin maksimum kuvveti %5 kadar arttırsa da enerji oranını önemli oranda arttırdığı (%22) ve ortalama kuvvetin %31 arttırdığı böylece ÇKV değerinin 0,43’ten 0,54’e yani %26 arttığı görülmektedir. PU takviyesiyle kutunun kütledeki artış sadece 15 g yani %5 kadar olmuştur. Bu sebeple PA’ya PU takviyesinin olumlu sonuç verdiği söylenebilir. PA-GF malzemeye de PU takviyesi ilk çarpışma kuvveti yani maksimum kuvveti olumsuz etkilememiş sadece %1,5 gibi bir artış

olmuştur. Her iki durumda da sıkışma miktarı ve sönmölenen enerjiler benzer olmuştur. Yani PA malzemesindeki gibi enerji, ortalama kuvvet ve son olarak da ÇKV değerlerinde bir artış gözlemlenmemiştir. PU ilavesiyle kutuda ölçölen kütle artışı 19 g yani %6 olmuştur. Sonuç olarak PA-GF'ye için PU ilavesinin çarpışma davranışına belirgin bir etkisi olmamıştır.

SS Takviyesi:

PA için SS takviyesinin, maksimum kuvveti PA'ya göre %1,68 arttırdığı, PA+PU'ya göre %3 azalttığı, sıkışma miktarının PA+PU'ya göre çok değişmemekle beraber farkın boş PA ile en fazla olduğu onun da %6'da kaldığı görölmektedir. Bunun yanında sırasıyla PA ve PA+PU'ya göre sönmölenen enerji miktarı %24 ve %2 olmuştur. ÇKV değerleri ele alınırsa yine PA ve PA+PU'ya göre bu değerdeki artış %33 ve %5,5 olmuştur. Yani sönmölenen enerji ve ÇKV değerinin artışında SS takviyesinden çok PU takviyesi daha etkili olmuştur. Kütle artışı PA'ya göre %42, PA+PU'ya göre %34 olmuştur. Bu sebeple kütle artışı ve maliyet göz önüne alınırsa SS takviyesinin PA kutusu için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. PA-GF'ye gelince SS takviyesinin, maksimum kuvveti PA-GF'ye göre %7, PAGF+PU'ya göre %5 arttırdığı hesaplanmıştır. Bununla beraber sıkışma miktarının PAGF'ye göre %22, PA-GF+PU'ya göre %24 azalttığı görölmektedir. SS takviyesinin sıkışma miktarının PA'ya kıyasla PA-GF'nin değerlerini önemli oranda azaltmıştır. Sonuç olarak enerji değerlerine göre PA-GF ve PA-GF+PU'ya göre sönmölenen enerji miktarı yaklaşık olarak %3 azalmıştır. Bu da toplam sıkışma miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır. SS ilavesiyle, ortalama kuvvet değeri diğer 2 duruma göre yaklaşık olarak %26 yükselmiştir. Bu da ÇKV değerine yansımış, ÇKV değeri sırasıyla PA-GF ve PA-GF+PU'ya göre %17, %24 olarak artış göstermiştir. Kütle artışı da yine sırasıyla PAGF ve PA-GF+PU'ya göre %32 ve %25 olmuştur. Yine önemli bir kütle artışı olmuştur. Bu sebeple bu malzeme için SS ilavesi PA'ya göre çarpışma performansını daha belirgin olarak arttırsa da kütle ve maliyet artışı da göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKÇA

- [1] Nakazawa, Y., Tamura, K., & Yoshida, M. Development of crash-box for passenger car with high capability for energy absorption. *VIII. International Conference on Computational Plasticity*,2005.
- [2] Savaşçı, A., Uyanık, N., & Akovalı, G. Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi. Pagev Yayınları,2002.
- [3] Park, S. High-Performance Polymer TFTs Printed on a plastic substrate. *IEEE Transactions On Electron Devices*,2002.
- [4] Szeteiova, K. Automotive materials plastics in automotive markets today. Slovak University of Technology,2010.
- [5] Yaşar, H. Plastikler Dünyası. MMO Yayınları, 2001;3-132.
- [6] Griškevičius, P., & Ziliukas, A. The crash energy absorption of the vehicles front structures. *Transport*, 2003;97-101.
- [7] Altın, M., Halis, S., & Yücesu, H. Investigation of the Effect of Corrugated Structure on Crashing Performance in Thin-Walled Circular Tubes. *International Journal of Automotive Science and Technology*,2017; 1-7.
- [8] Yılmaz, İ. N. Cam elyaf katkılı poliamid 66/poliiftalamid karışımlarının hazırlanması ve otomotiv sektöründe kullanımı. Master's thesis,2017.
- [9] Lewis, H., & Gertsakis, J. Design + environment : a global guide to designing greener goods. Greenleaf,2001.
- [10] Haylock, R. Waterjet Cutting – A Technology of A float On a Sea of Potential. *Manufacturing Engineering*, 1987;37-41.

Makale id= 56

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1960-1992, 0000-0002-5512-3652, 0000-0001-7920-6914

| 281

3D Modeling of Gebze Technical University Electronics Engineering Building with UAV Photogrammetry Method for Integration to Smart City Applications

Assoc. Prof. Cumhur Sahin¹, Assoc. Prof. Bahadır Ergun¹, Res. Assist. Furkan Bilucan^{1*}

¹Gebze Technical University, Engineering Faculty, Department of Geomatics Engineering, 41400, Kocaeli, Turkey

*Corresponding author: Furkan Bilucan (f.bilucan2020@gtu.edu.tr)

ABSTRACT: In recent years, smart cities have become a prevalent concept and strategic choice to address the challenges brought about by urbanization. The smart city applications need to simulate possible alternative futures of a city as three-dimensional (3D). In this context, 3D spatial data play an essential role, in particular 3D city models. One of the methods for collecting data is unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry technology which has provided opportunities to generate large-scale 3D city models at relatively low cost. The objective of this research is to produce a high-quality 3D model of the Electronics Engineering building located at Gebze Technical University. In the study, DJI Phantom 3 Advance and DJI Mavic Mini were used to acquire the UAV image. 608 images were acquired and the images were processed using Agisoft Metashape photogrammetric software. The total root mean square error was calculated as 0.78 cm. In conclusion, it was revealed that a high-accurate 3D model for integration into smart city applications can be created by employing the UAV photogrammetric method.

Keywords: UAV, Photogrammetry, Smart City, Digital Twin, 3D modeling

1. INTRODUCTION

The world population is rapidly increasing and expected to double by 2050 (Mohamed et al., 2020). The rapid increase in the world population will cause many problems for cities' administrators striving to maintain or enhance the cities' services and the residents' quality of life. The concepts of smart cities and digital twin have emerged as a way to overcome these challenges. Smart cities, an innovative concept, and urban development model, are important in ensuring sustainable urban management and development (Camero and Alba, 2019). In literature, there are several definitions of smart city. The definitions' variety ranges from what elements a city requires to encompass to be deemed as smart, what characteristics it requires to present and what are the smart city's aims and scope (Toli and Murtagh, 2020). In general, the smart city is the most used terminology in literature to point out the smartness of a city (Cocchia, 2014).

In the last two decades, the development of smart city and digital twin concepts have become more popular in scientific literature and international policies (Albino et al, 2015; Lehner and Dorffner, 2020). To understand the concepts, it is important to recognize why cities are considered key elements for the future. Cities play an essential role in social and economic aspects worldwide, as well as having a vital impact on the environment (Saisana and Philippas, 2012).

Digital representation of the real world is a fundamental task in smart city applications. Currently, city digital twins are essential for the sustainable development of cities and the development of detailed 3D models of cities (Kikuchi et al., 2022).

One of the most important elements that form cities is universities. Universities are centers of learning and development and they have made a great contribution to human improvement through the ages (Berrett et al., 2021). Smart building automation systems, which will help university campuses transform into sustainable and comfortable campuses, have many advantages such as increasing energy efficiency, ensuring safety, and facilitating management. Therefore, 3D models have become the main data source for building automation applications. In addition, 3D building automation systems generated for smart campuses can be transformed into an ideal information platform for buildings located on campus.

In recent years, it has become more possible to produce high-accuracy 3D representative models of buildings employing the UAV photogrammetry methods. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry is the production of photogrammetric data from photographs taken during UAV flights. Unlike conventional piloted aircraft and satellites, UAVs are frequently preferred because of their low-cost, operational flexibility, and better spatial and temporal resolution (Agüera-Vega et al., 2017).

The objective of this study is to produce a high-accuracy 3D model of the Electronics Engineering building located at Gebze Technical University (GTU). In this context, 23 control points on the building were established. 608 images were taken using UAV and terrestrial photogrammetry techniques. The images and control points were processed in Agisoft, which is a photogrammetric software, and a high-accuracy 3D model of the building was successfully created to integrate into smart campus applications.

2. METHODOLOGY

2.1. Study Area

In the study, the Electronic Engineering building of Gebze Technical University was 3D modeled. GTU campus is located in the Gebze District of Kocaeli Province. The building is located in the southern part of the university, as shown in Figure 1.

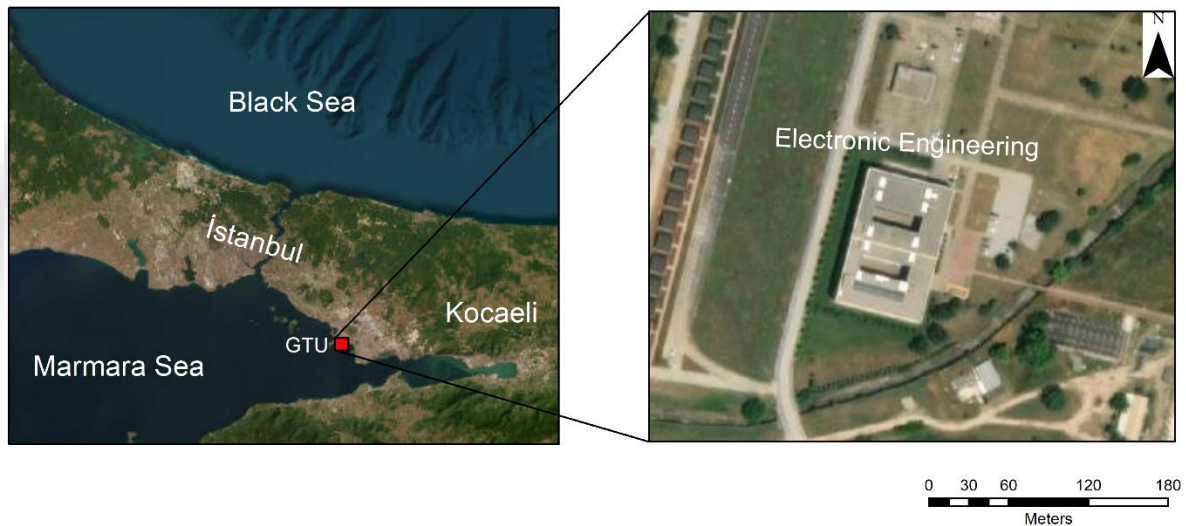


Figure 1. The Location of the Study Area.

2.2. Field Work

A reconnaissance survey was conducted to identify a method to be followed before starting the flights and measurements. A closed traverse network was planned by establishing eight ground control points (GCP) around the building in a way that they would see each other. The GCPs coordinates were measured by ten epochs in TUREF/TM30 coordinate system using the CHC i80 GNSS receiver

(measuring precision of RTK mode, horizontal: 8 mm + 1 ppm, vertical: 15 mm + 1 ppm). Then, traverse measurements in the local coordinate system were performed by the total station device. In the adjustment process, the coordinate calculation performed with the total station device measurements was evaluated as a reference because it provides millimeter-level precision. The aim of the process is to minimize the GNSS receiver error. A total of 23 distinct points on the building facades were identified to create a high-quality 3D model of the building. Coordinate measurements of the points were performed from GCPs using the total station Geomax Zoom25 device (Measuring precision: 2 mm + 2 ppm). The equipment used in the fieldwork is shown in Figure 2.

| 283

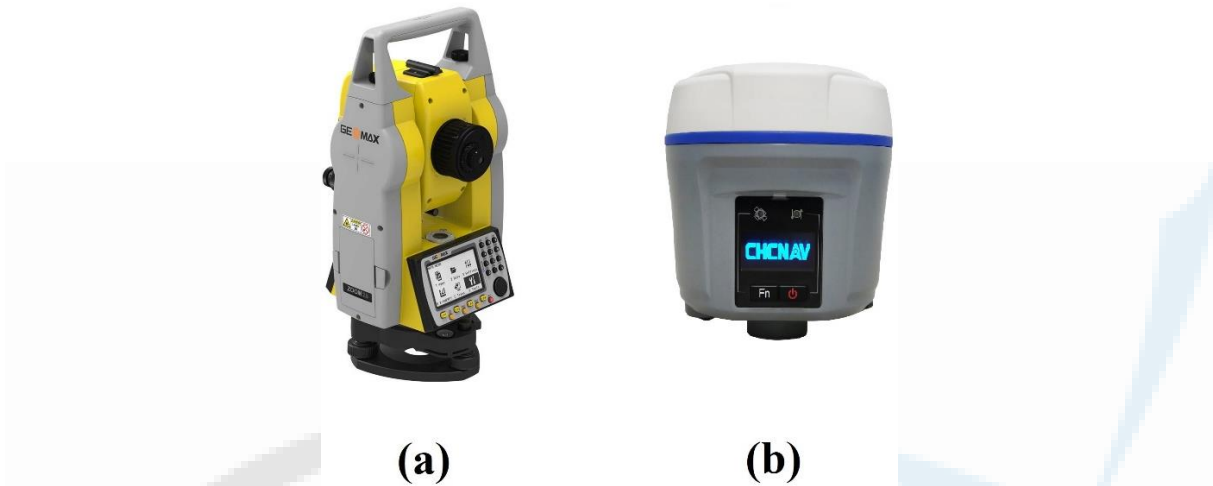


Figure 2. The Measurement Equipments used in the study (a) Geomax Zoom25, (b) CHC I80 GNSS Receiver

After the establishment and measurement of the control points, the UAVs were prepared to acquire images as the last step of the fieldwork. Within the scope of the study, the flight plans were created on PIX4Dcapture software. DJI Phantom 3 Pro and DJI Mavic Mini drones were used for the UAV and terrestrial photogrammetry method (Figure 3). The specifications of the drones are shown in Table 1. After the flights, a total of 608 aerial images were acquired. Some of the 608 images are shown in Figure 4.



Figure 3. The UAVs Used in The Study (a) DJI Phantom 3 Advanced, (b) DJI Mavic Mini

Table 1. Specifications of Used UAV Devices

Specification	DJI Phantom 3 Advanced	DJI Mavic Mini
Sensors	1/2.3" CMOS Effective pixels: 12.4	1/2.3" CMOS Effective Pixels: 12 MP
Lens	FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞	FOV: 83° 35 mm Format Equivalent: 24 mm Aperture: f/2.8 Shooting Range: 1 m to ∞
Max Flight Time	23 minutes	30 minutes
Focal Length	3.61 mm	4.27 mm
Image Size	4000×3000	4:3: 4000×3000 16:9: 4000×2250



Figure 4. Images Taken by the UAVs.

2.3. Office Work

In order to create the 3D model of the building, aerial images and measured coordinates of the control points were performed in Agisoft Metashape photogrammetric software. First of all, aerial images were aligned in the highest quality and then control points were marked for all imagery. 573 of the 608 images were used by the software in align process. The software in today's technology primarily creates a sparse point cloud with images. Then, the sparse point cloud is increased by georeferencing. In the study, a dense point cloud was produced in ultra-high quality based on the sparse point cloud produced after aligning process. Then, build mesh, build texture and build tiled model procedures were performed. After all procedures, a 3D textured mesh model was generated (Figure 5).

After completing the processes, total root mean square error (RMSE) were calculated as 0.78 cm. RMSE value shows how far the predictions are from the actual values measured using Euclidean distance (Equation 1). A small value of RMSE indicates that the predicted values are closer to the mean values of the target.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (33)$$

where n is the number of measured points, y_i and \hat{y}_i represent the measured point and its corresponding prediction at point i , respectively.



Figure 5. Produced a 3D Textured Mesh Model of the Building.

3. RESULT and CONCLUSION

Information technologies have become an integral part of modern society. Innovative data collection and analysis techniques are gradually replacing well-established mechanisms of city management. Also, the digital twin concept provides the development and support of virtual models of real-world objects and processes. Many important cities around the world have launched plans to build digital twin cities. Creating the 3D digital twin simulation model of the cities is a prerequisite for realizing smart city applications. In addition, decision-makers or users could utilize the 3D digital twin simulation model to interact with the real world.

In this case study, the 3D model of the Electronic Engineering building located on GTU was created for use in smart city applications. The total RMSE value was calculated as 0.78 cm. As a result of this study, it has been seen that a high-accuracy 3D building model can be created using UAV photogrammetry for integration into smart city applications. In a nutshell, it has been revealed that UAV photogrammetry, which is a low-cost method, can be used successfully in 3D building modeling studies required for smart city applications, compared to expensive methods.

References

- [1] Agüera-Vega F, Carvajal-Ramírez F, Martínez-Carricondo P. (2017). "Accuracy of digital surface models and orthophotos derived from unmanned aerial vehicle photogrammetry", *Journal of Survey Engineering*, 143(2);04016025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000206](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000206).
- [2] Albino V, Berardi U, Dangelico RM. (2015). "Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives", *Journal of Urban Technology*, 22(1);3-21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>.
- [3] Berrett BE, Vernon CA, Beckstrand H, Pollei M, Markert K, Franke KW, Hedengren JD. (2021). "Large-scale reality modeling of a university campus using combined UAV and terrestrial photogrammetry for historical preservation and practical use", *Drones*, 5(4);136. <https://doi.org/10.3390/drones5040136>.

- [4] Camero A, Alba E. (2019). “Smart City and information technology: A review”, *Cities*, 93;84-94. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.014>.
- [5] Cocchia A. (2014). “Smart and Digital City: A Systematic Literature Review”, In: Dameri, R., Rosenthal-Sabroux, C. (eds) *Smart City, Progress in IS*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06160-3_2.
- [6] Kikuchi N, Fukuda T, Yabuki N. (2022). “Future landscape visualization using a city digital twin: Integration of augmented reality and drones with implementation of 3D model-based occlusion handling”, *Journal of Computational Design and Engineering*, 9(2);837-856. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwac032>.
- [7] Lehner H, Dorffner L. (2020). “Digital geoTwin Vienna: Towards a digital twin city as Geodata Hub”, *PFJ-Journal Photogramm Remote Sensing Geoinformation Science*, 88;63-75. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00101-4>.
- [8] Mohamed N, Al-Jaroodi J, Jawhar I, Idries A, Mohammed F. (2020). “Unmanned aerial vehicles applications in future smart cities”, *Technological Forecasting and Social Change*. 153;119293. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.05.004>.
- [9] Saisana M, Philippas D. (2012). “Sustainable Society Index (SSI): Taking societies’ pulse along social, environmental and economic issues”, *Environmental Impact Assessment Review*. 32;94-106. <https://doi.org/10.2788/6330>.
- [10] Toli AM, Murtagh N. (2020). “The concept of sustainability in smart city definitions”, *Frontiers in Built Environment*. 2020;6;77. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00077>.

Makale id= 59

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-2271-6926

| 287

Mimarlıkta Biyomateryalizasyon Stratejisi ve Çevresel Kazanımlar Açısından Değerlendirilmesi**Araştırmacı Fatma Müge Baysal¹, Prof.Dr. Ahmet Vefa Orhon¹**¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü

*Corresponding author: Fatma Müge Baysal

Özet: Günümüzde üretim ve tüketim süreçlerimiz çevre sorunlarının temel sebeplerinden biridir. Mimari alanda malzeme seçimi ve temininden başlayarak tüm yapım-kullanım süreçlerini ve yıkım sonrası atık süreçlerini kapsayan yapıların yaşam döngüsü büyük oranda çevresel sorumluluk taşımadan gerçekleşmektedir. Mimari üretim yöntemlerimiz ile çevreye verdiğimiz zararı yine mimari üretim yöntemlerimiz ile tamir edebiliriz. Bu bağlamda günümüzde mimari alanda tartışılan yeni izlencelerden biri olan biyoyararlanma izlencesi mimari süreçlerde canlı organizmalardan yararlanmayı önermektedir. Yeni bir izlençe olan biyoyararlanma izlencesinde, geniş çalışma alanı ve canlı organizmaların kullanılması sebebiyle belirli stratejiler üzerinden ilerleme ihtiyacı doğmuştur. Bu kapsamda makalede biyoyararlanma izlencesi içinde yer alan çalışma kollarından biri olan biyomateryalizasyon stratejisi tanımlanmıştır. Tanımlama bu strateji ile yapılan çalışmalar ve bunların üretim yöntemleri, yararlanılan canlıların çalışma mekanizmaları üzerinden yapılmıştır. Literatürde bu alandaki uygulamalara ait verilen bilgiler ortak çalışma prensipleri ile incelenerek stratejiye ait örnekler bir araya getirilmiştir. Bunun sonunda bu stratejinin uygulanması ile çevresel sorunlara karşı sağlanan olumlu geri dönüşler değerlendirilmiş ve çevre sorunlarının çözümü için gelecek vadettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyoyararlanma, Biyomateryalizasyon, Çevresel Kazanımlar, Sürdürülebilir Mimarlık***Biomaterialization Strategy in Architecture and Its Evaluation in Terms of Environmental Gains***

Abstract: Today, our production and consumption processes are one of the main causes of environmental issues. The life cycle of structures, which covers all construction-use processes and post-demolition waste processes, starting from material selection and procurement in the architectural field, takes place largely without environmental responsibility. We can repair the damage that we cause to the environment with our architectural production methods, again with our architectural production methods. In this context, one of the new approaches discussed in the architectural field is the bio-utilization, which proposes using living organisms in architectural processes. Due to the broad scope of this new paradigm and the utilization of living organisms, there is a need to progress through specific strategies. Within the framework of the article, biomaterialization strategy which is one of the study branches in the bio-utilisation, is defined. The definition of this strategy is carried out based on the works within the bio-utilization paradigm and their production methods, using the working mechanisms of the utilized living organisms. The definition is made through the studies conducted with this strategy and their production methods, based on the working mechanisms of the utilized living organisms. As a result, the positive feedback obtained from the implementation of this strategy in terms of solving environmental problems is evaluated, and it is seen to hold promising potential for solving environmental issues in the future.

Keywords: Bio-Utilization, Biomaterialization, Environmental Gains, Sustainable Architecture

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi ardından değişen üretim ve tüketim süreçleri günümüzde dünyanın doğal kaynaklarının geleceğini tehlikeye atacak boyutlara ulaşmıştır. Doğal kaynakların aşırı ve sonuçları düşünülmeden bilinçsizce tüketimi, toprak, hava ve suyun kirlenmesi, iklim değişikliği gibi çevresel sorunları beraberinde getirmiştir. Yapı endüstrisi dünyanın üretim ve tüketim döngülerinde büyük bir paya sahiptir. Bu yüzden mimari alanda kullanılacak yenilikçi ve sürdürülebilir yöntemler çevresel sorunlar için bir çözüm yolu olabilir.

| 288

Bu süreçte mimari tasarım anlayışımızda bir paradigma değişikliğine gitmek gerekmektedir. 20. yüzyılın doğayı kontrol eden ve ondan izole olmuş tasarım anlayışına karşın bugün doğa ile aramızdaki sınırların kaldırıldığı bir tasarım anlayışına yönelme ihtiyacımız doğmuştur. Myers, bu tasarım anlayışını sadece doğadan ilham alan tasarımların ötesinde doğal sistemler ile çalışıp ürettiğimiz ve canlı organizmaların tasarımın ana bileşeni olduğu bir anlayış olarak tanımlamaktadır (Myers, 2018).

Mimari üretim, kullanım ve yıkım süreçlerinin çevreye verdiği zararı, yine bu süreçlerin yeniden düşünülmesi ile çevresel kazanımlara dönüştürülmesi mümkündür. Mimari üretim ile amaçlanan çevresel kazanımlar makale kapsamında; biyokütle kazanımı, biyoçözünürlük, enerji verimliliği ve biyosağaltım olarak belirlenmiştir. Bu çevresel kazanımları amaçlayan sürdürülebilir mimarlık izlenceleri arasında yer alan biyoyararlanma canlı organizmaları tasarımda kullanmayı amaçlayan bir yaklaşımdır (Montana-Hoyos ve Fiorentino, 2016). Biyoyararlanma yaklaşımına ait çalışmaları belirli stratejiler içinde inceleyen biyoyararlanma stratejileri kavramı ise, mikro/makro organizmalar aracılığıyla uygun canlı mekanizmaları kullanılarak yapı/kullanım süreçlerinde yapıya fayda sağlayacak biyomalzeme üretimini esas almaktadır. Biyoyararlanma stratejileri, yararlanılan canlıların çalışma ve malzeme üretme-geliştirme yöntemleri incelenerek belirli ana stratejilere ayrılmaktadır. Bu çalışmada, canlıların malzeme üretme yeteneğine odaklanan biyomateryalizasyon stratejisi tanımlanacaktır. Üretim yöntemleri incelenerek, literatürde yer almış uygulamalar üzerinden çevresel kazanımlarının değerlendirilmesi yapılacaktır.

2. MİMARLIKTA BİYOMATERYALİZASYON STRATEJİSİ

Materyalizasyon kavramı, maddesel olarak var olmayı tanımlamaktadır (Oxford Learner's Dictionaries, 2023). Morfogenez ise bir hücre, doku veya organizmanın gelişme ve şekil oluşturma süreci olarak ifade edilmektedir (Wikipedia, 2021). Doğada gerçekleşen materyalizasyon ve morfogenez süreçleri birbiri ile yakından ilişkilidir. Bu süreçler sonucunda oluşan biyolojik malzeme oluşumunun mimari alanda kullanımının araştırılması ise ilginç alternatifler sunmaktadır (Menges, 2015).

Biyomateryalizasyon kavramından mimari literatürde ilk kez Dade-Robertson vd. (2017) tarafından bahsedilmiştir. Kavram, canlı organizmaların manipülasyonu yoluyla onların kendi kendini inşa etme yeteneklerini yönlendirmeye dayanan bir tasarım anlayışını açıklamaktadır. Biyomateryalizasyon kavramı, esas olarak yapı üretim tarihinde çok eskiye dayanan bir yapı üretim yöntemidir. Ağaçların malzeme üretme yeteneği ile oluşturulan kök köprüleri buna iyi bir örnektir. Hindistan'da bulunan ve 500 yaşından büyük olan bu kök köprüler, ağaçların ikincil köklerinin büyümesinin yönlendirilmesi ile bir köprü yapısı oluşturacak şekilde büyütülmüştür (Myers, 2018).

Resim 1 Meghalaya Kök Köprüleri (Meyers, 2018)

Makalede biyomateryalizasyon kavramının bir biyoyararlanma stratejisi olarak tanımlanması ve bu doğrultuda genişletilerek, yetiştirme yöntemlerinin incelenmesi ile biyomateryalizasyon stratejisinden yararlanma şekilleri netleştirilecektir. Stratejiden yararlanma ile elde edilen çevresel kazanımlar olan biyokütle kazanımı, biyoçözünürlük, enerji verimliliği ve biyosağaltım incelenen yapı örnekleri ile birlikte değerlendirilecektir. Biyomateryalizasyonun bir biyoyararlanma stratejisi olarak tanımlanması ile çevresel kazanımlarına ulaşma süresinde bir yöntem belirlemiş olunacaktır. Bu bilgiler doğrultusunda canlı biyolojik malzeme üretimi olarak tanımlanan biyomateryalizasyon stratejisi, mimaride canlı sistemler tarafından üretilen ya da üretilmeye ve büyütülmeye devam eden malzemeleri önermektedir. Bu yaklaşım, malzemenin ilk üretiminden sonra da canlı kalabileceği ve büyümeye devam edebileceği yapısal seçenekleri kapsamaktadır.

Dade-Robertson vd. (2017), makalelerinde biyomateryalizasyon üzerine yapılan deneyleri üç temel başlıkta tanımlamışlardır. Bir canlı organizma ya da sistem tarafından üretilen malzemenin yapısal kullanım olanaklarını; doğrudan malzeme deneyleri üzerine vurgu, malzeme performansı ve form yapısının birleşimi ve malzemelerin doğal hesaplama yöntemlerinin tanınması olarak tanımlamıştır (Dade-Robertson, Ramirez-Figueroa ve Herrnan, 2017).

3. YETİŞTİRME YÖNTEMLERİ

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, canlı organizmaların malzeme üretme yeteneklerini mimaride kullanmak için çeşitli üretim yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, organizmanın bir yapı parçasına dönüşmesini sağlar. Canlı organizmalardan yararlanan bu üretim teknikleri, tek tek yapı parçalarının üretiminden başlayarak tüm yapının üretimine kadar geniş bir şekilde kullanılabilir. Bu yöntemleri iki ana başlıkta sınıflayabiliriz.

3.1. Kalıp İçinde Yetiştirme Yöntemi

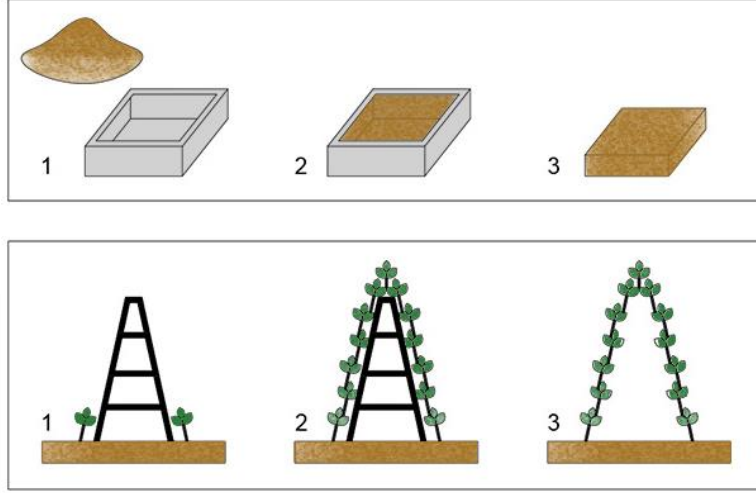
Kalıp içinde yetiştirme yöntemi, canlı organizmanın uygun bir besi ortamı ve yardımcı malzemeler ile bir kalıbın içinde büyüyerek kalıbın şeklini almasını içerir. Yapı malzemesi olarak kullanılan malzeme, canlı haliyle ya da belirli işlemler yoluyla öldürülerek kullanılabilir. Mantar miselyumlarının kullanıldığı çalışmalarda, yapı malzemesini oluşturduktan sonra canlı miselyum karışımları ısıtma işlemi yoluyla öldürülür ve malzeme sabitletlenir. Bununla birlikte, miselyumların öldürülmeden yapı içinde canlı kalarak büyüme yeteneğine sahip olduğunu gösteren çalışmalar da vardır.

3.2. İskele Üzerinde Yetiştirme Yöntemi

Bu yöntem, canlı organizmaların destekleyici bir iskele üzerinde şekillendirilip büyütüldüğü bir üretim süreci olarak tanımlanabilir. İskele ile üretilen malzemelerin performansını artırmak için ipek böceklerinin kullanıldığı uygulamalar bir örnektir. Sabit bir iskele formu üzerinde ipek böceklerinin koza örme yeteneklerinden yararlanır. İskele üzerinde büyütülerek, normal koşullarda yapısal bir formu olmayan bir malzemeye yapısal form verilir. Bitkilerin yük taşıyan sistemler olarak mimaride

kullanılması da, ağaçların inşa zekası olarak bilinen yeteneklerinden yararlanılarak gerçekleştirilen uygulamalardır. Myers'a (2018) göre, kendi malzemesini kendi üreten ve yetiştiren bu üretim fikri, zaman içinde yapısal olarak yük taşıyabilecek mimarilerin yetiştirilmesini sağlayacaktır.

Şekil 1 Kalıp içinde yetiştirme ve iskele üzerinde yetiştirme yöntemlerine ait görselleştirme (Yazar)



| 290

4. MİMARLIKTAKİ BİYOMATERYALİZASYON UYGULAMALARI VE ÇEVRESEL KAZANIMLAR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Almanya Stuttgart Üniversitesi tarafından 2009 yılında uygulamaya başlatılan bir proje olan Baubotanik, bitkileri yük taşıyan sistemler olarak yapı üretiminde kullanmayı amaçlamaktadır. Ağaçların inşa zekasından (constructive intelligence) yararlanan yöntem, büyümelerini bir iskele ile yönlendirilerek onları birer yapıya dönüştürmeyi planlanmaktadır. Bu inşa yöntemi ile 5-10 yıl sürede yapılar inşa etmek mümkündür (Myers, 2018). Projede bitkilerin büyüme metabolizmaları sonucu elde ettikleri biyokütleleri taşıyıcı eleman olarak kullanılmıştır. Üretilen malzeme biyoçözünür özelliktedir. Yapının üretim ve geri dönüşüm süreçlerini kendi malzeme üretme yeteneği ile üretmesi ve biyoçözünür yapıda olması sebebiyle verimliliği sağlanmıştır. Yapının üretim ve kullanım süreçlerinde bitkilerin fotosentez yapma yeteneği sayesinde çevre üzerinde biyosağaltım etkisi sağlanmaktadır.



Şekil 2 Baubotanik Görselleri (Myers, 2018), Yapısal Özellik ve Çevresel Kazanımlar Tablosu

	Bitki	Taşıyıcı yapı elemanı

Güney Kore’de 2017 yılında üretilen MycoTree projesi, mantar miselyumları kullanılarak birer yapı bileşeni şeklinde üretilen blokların uygun geometride bir araya getirilmesi ile taşıyıcı sisteme dönüştürülmesi üzerine yapılan bir çalışmadır. Lifli atık ürünlerinin canlı mantar miselyumları ile kalıplar içinde birleştirilmesinin ardından kurutulma işlemi ile bloklar üretilmiştir. Üretilen bloklar taşıyıcı özellik kazanacak şekilde bir geometride bir araya getirilmiştir (Frearson, 2017; Heisel ve diğer., 2017). Bu uygulamada canlı organizma, organik atıklar ile etkileşime girerek biyoçözünür özellikte yeni bir biyokütle oluşturmuştur. Yapının üretim ve geri dönüşüm süreçlerinde dışarıdan enerji kullanma ihtiyacı düşük seviyededir. Bu çevresel kazanımlar sayesinde dolaylı olarak çevre üzerinde biyosağaltım etkisi sağlanmaktadır.

| 291

Şekil 3 MycoTree Görselleri (Frearson, 2017), Yapısal Özellik ve Çevresel Kazanımlar Tablosu

			
		Mantar	Taşıyıcı yapı elemanı
			
	Biyokütle Kazanımı	Biyosağaltım	Enerji Verimliliği

Büyüyen Pavyon, 2019 Hollanda Tasarım Haftasında sergilenen mantar miselyumlarından yetiştirilmiş cephe panelleri ile kaplanmış bir yapı örneğidir. Miselyum paneller, ahşap kalıplar içerisine tarımsal artık ürünlerden oluşan bir karışıma ve mantar tohumlarının eklenmesi hazırlanmıştır. Karışım belirli bir süre kalıplarda bekletilerek karışımın içindeki mantar miselyumlarının büyümesi sağlanmıştır. Yeterli büyümenin ardından kalıplardan çıkarılan miselyum paneller fırınlanarak sabitlenmiştir (Berg ve Konings, 2019). Organik atıklar ve mantar miselyumlarından meydana gelen biyokütle biyoçözünür özelliktedir. İncelenen diğer mantar temelli biyomalzemelerle paralel olarak üretim ve yıkım süreçlerinde enerji verimliliğini sağlamak ve dolaylı olarak biyosağaltım kazanımı sağlamaktadır.







Şekil 4 Büyüyen Pavyon Görselleri (Pownall, 2019), Yapısal Özellik ve Çevresel Kazanımlar Tablosu

			
		Mantar	Modüler yapı elemanı
			

| 292

Protomycokion, 2020 yılında İsveç'te tasarlanan bir miselyum kolon prototipi projesidir. Geri dönüştürülmüş lifler ve mantar miselyumlarından oluşan bir malzeme karışımının 3 boyutlu yazıcılar ile basılması ile üretilmiştir. Miselyumlar kolon üretildikten sonra üretilen yapı elemanı içerisinde büyüerek kolonu güçlendirmiştir (Distributed Design, 2023). Üretilen yapı malzemesi biyokütle, biyoçözünürlük, enerji verimliliği ve biyosağaltım çevresel kazanımlarını sağlamaktadır.

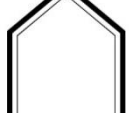

Şekil 5 Protomycokion (Distributed Design, 2023), Yapısal Özellik ve Çevresel Kazanımlar Tablosu

			
		Mantar	Taşıyıcı yapı elemanı
			

2013 yılında ABD'de gerçekleştirilen birinci İpek Pavyonu projesi, ipek böceklerinin 3 boyutlu koza örme yeteneklerinden mimaride yararlanmayı hedeflemektedir. İçinde 3 boyutlu yazıcılar ile örülmüş ipek liflerinin bulunduğu metal profiller bir araya getirilerek bir iskele üretilmiştir (Oxman, Laucks, Kayser, Duroroyo ve Uribe, 2014). Oluşturulan iskelenin üzerine 6500 adet ipek böceği bırakılarak 10 gün süre içinde iskelenin üzerine ikinci bir örgü katmanı oluşturmaları beklenmiştir. 10 günün sonunda

ipek böceklerinin ördüğü katman iskeleden ayrılmıştır. Elde edilen örgü katmanın mimaride yapı kabuğu olarak kullanma potansiyellerinin geliştirilmesi üzerine çalışılmaktadır (Oxman ve ark. 2014).



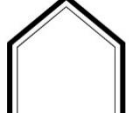

Şekil 6 İpek Pavyonu Görselleri (MIT Media Lab, 2013), Yapısal Özellik ve Çevresel Kazanımlar Tablosu

		
	Hayvan (İpek Böceği)	Yapı kabuğu
		

| 293

2020 yılında projenin devamı niteliğinde gerçekleştirilen İpek Pavyonu II projesi, ipek böceklerinin dönme hareketi yapan bir iskeleden üzerine bırakılması ile koza örme yeteneklerini geliştirmeyi amaçlamaktadır (MIT Media Lab, 2020). İskeleden yaptığı dönme hareketi sayesinde ipek böceklerinin oluşturduğu katman daha homojen bir yapıya kavuşmuştur ve mimari yapı elemanı olarak geliştirilme potansiyeli arttırılmıştır (Oxman, 2020).

Şekil 7 İpek Pavyonu II Görselleri (MIT Media Lab, 2020), Yapısal Özellik ve Çevresel Kazanımlar Tablosu

		
	Hayvan (İpek Böceği)	Yapı kabuğu
		

Projeler sonunda elde edilen ve yapı kabuğu olmak üzere geliştirilerek kullanılması amaçlanan dokuma biyoçözünür özelliktedir bir biyokütle kazanımıdır. Yapı elemanın üretim ve geri dönüşüm süreçleri canlı organizmaların doğal süreçleri ile gerçekleştirildiği için enerji verimliliği sağlanmaktadır ve bu süreçlerde fazladan atık oluşturan kirletici sanayi ürünleri ortaya çıkmadığı için biyosağaltım kazanımı da görülmektedir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çevresel sorunlara bir çözüm önerisi olacak seçeneklerden biri olan mimaride biyoyararlanma stratejilerinden biyomateryalizasyon stratejisi bildiride incelenmiştir. Canlı organizmalar aracılığıyla mimaride kullanılmak üzere üretilen biyomalzemeler, uygulamalar üzerinden değerlendirilmiştir. Mantarlardan yararlanılarak üretilen biyomalzemeler mimari taşıyıcı eleman olarak kullanılmak üzere geliştirilme potansiyeli taşımaktadır. Bitkilerden yararlanılarak üretilen kök köprüleri ve Baubotanik gibi projeler ise kullanımı deneyimlenmeye başlanmış örneklerdir. Yapıda kullanılmak üzere üretilen modüler elemanlar ve ipek böceklerinin ürettiği yapı kabuğu çalışmaları da yapıda kullanıma dair diğer alternatifleri göstermektedir.

Şekil 8 İncelenen Tüm Örneklerin Yapısal Özellik ve Çevresel Kazanımlar Açısından Değerlendirilmesi

	YAPIDA KULLANIM			ÇEVRESEL KAZANIMLAR			
	Taşıyıcı Yapı Elemanı	Modüler Yapı Elemanı	Yapı Kabuğu	Biyokütle Kazanımı	Biyoçözünürlük	Enerji Verimliliği	Biyosağaltım
Baubotanik Kulesi	O			O	O	O	O
MycoTree	O			O	O	O	C
Büyüyen Pavyon		O		O	O	O	C
Protomycokion	O			O	O	O	C
İpek Pavyonu I			O	O	O	O	C
İpek Pavyonu II			O	O	O	O	C

İncelenen çalışmaların tamamında canlı organizmalar vasıtasıyla biyokütle üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyokütlenin, biyoçözünürlük özelliğe sahip olması nedeniyle yapının yapı elemanın kullanım ömrü sonucunda doğaya geri dönüşü ek enerji gerektirmeden gerçekleşmektedir. Ayrıca yapıların üretim, kullanım ve tüketim süreçlerinde çevre kirliliğine sebep olacak zararlı atıklar ortaya çıkmamaktadır. Aksine bu süreçlerde canlı organizmaların gerçekleştirdiği fotosentez mekanizması ile çevre üzerinde biyosağaltım etkisi gözlemlenmektedir. Fotosentez mekanizmasına sahip olmayan diğer canlıların da yapı üretimi ve yapının doğada çözünme süreçleri, doğal döngünün işleyişine katkıda bulunması ve ek kirliliğe sebep olmaması sebebiyle biyosağaltım mekanizmasına dolaylı yoldan katkıda bulunmuş olmaktadır.

Sonuç olarak, biyomateryalizasyon kavramının bir biyoyararlanma stratejisi olarak tanımlanması ve bu doğrultuda genişletilerek, detaylı olarak incelenmesi ile biyomateryalizasyon stratejisinden yararlanma yolları netleştirilmiştir. Canlı organizmalardan mimaride yararlanırken biyomateryalizasyon stratejisinin uygulanmasının çevresel kazanımlara ulaşmada etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmaların mimaride uygulama alanı genişledikçe elde edilen çevresel kazanımlar da artacaktır.

Stratejinin uygulanması ile mimari üretim süreçlerinin etkili çevresel kazanımlara dönüştürülmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Berg, J. ve Konings, B. (2019). The growing pavillion. *Material atlas*. Amsterdam: Company New Heroes.
- [2] Dade-Robertson, Ramirez-Figueroa ve Hernan, (2017). Biomaterialism: Experiments in biological material computation. *Proceedings of the 3rd Biennial Research Through Design Conference, 22-24 March 2017, Edinburgh, UK, Article 19*, 292-307.
- [3] Distributed Design, (2023). *Protomycokion*. 16 Mayıs 2023, <https://distributeddesign.eu/awards/entries/protomycokion/>.
- [4] Frearson, A. (2017). *Tree-shaped structure shows how mushroom roots could be used to create buildings*. 16 Mayıs 2023, <https://www.dezeen.com/2017/09/04/mycotree-dirk-hebel-philippe-block-mushroom-mycelium-building-structure-seoul-biennale/#/>.
- [5] Heisel, F., Lee, J., Saedi, N., Hebel, D. E., Schlesier, K., Rippmann, M., Javadian, A. Ve Block, P. (2017). Design of a load-bearing mycelium structure through informed structural engineering: The MycoTree at the 2017. *Seoul Biennale of Architecture and Urbanism*.
- [6] Media Mit Edu, (2013). *Silk Pavilion*. 16 Mayıs 2023, <https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion/overview/>.
- [7] Media Mit Edu, (2020). *Silk Pavilion II*. 16 Mayıs 2023, <https://www.media.mit.edu/projects/silk-pavilion-ii/overview/>.
- [8] Menges, A. (2015). Fusing the Computational and the Physical: Towards a Novel Material Culture. *Architectural Design*, 85(5), 9-15.
- [9] Montana-Hoyos, C. ve Fiorentino, C. (2016). Bio-utilization bio-inspiration and bio- affiliation in design for sustainability: Biotechnology, biomimicry and biophilic design. *The International Journal of Designed Objects*, 10 (3).
- [10] Myers, W. (2018). *Biodesign: Nature + science + creativity*. Londra: Thames&Hudson.
- [11] Oxman, N., Laucks J., Kayser, M., Duroroyo J. Ve Uribe G. (2014). *A case study in fibre- based digital fabrikation*. Fabricate 2014, UCL Press, sf 248-255.
- [12] Pownall, A. (2019). *Pavilion grown from mycelium acts as pop-up performance space at Dutch Design Week*. 16 Mayıs 2023, <https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/>.
- [13] Wikipedia The Free Encyclopedia, (2021). *Materialization*. 02 Mart 2023, <https://en.wikipedia.org/wiki/Materialization> (08:16, 30 Aralık 2021).

Makale id= 66

Sözlü Sunum

ORCID ID:

| 296

Mikro Vorteks Üreteçlerinin İz Bölgelerinin Karakteristikleri Üzerine Bir Çalışma**Araştırmacı Muhiddin Tuğrul Akpolat¹, Arş.Gör. Buğrahan Öztürk¹, Araştırmacı Abdelrahman Hassanein¹, Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Perçin²**¹Havacılık ve Uzay Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi²Havacılık ve Uzay Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi & Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (RÜZGEM)

Corresponding author: Muhiddin Tuğrul Akpolat

Özet: Bu çalışma, düşük ses-altı bir akış rejiminde Mikro Vorteks Üreteçlerinin (MVG'ler) iz bölgesi karakteristiklerini araştırmaktadır. İlk olarak, farklı h/δ oranlarına sahip üç rampa tipi MVG tarafından üretilen iz bölgeleri deneysel olarak iki boyutlu iki bileşenli parçacık görüntü hızölçer (2D2C PIV) tekniği kullanılarak karakterize edilmiştir. Deneysel sonuçlar, 0.18 ile 0.54 arasında değişen beş farklı h/δ oranı için üç boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonlarıyla tamamlanmıştır. En küçük üreteç için deneysel sonuçlar kullanılarak, rampa tipi bir MVG tarafından oluşturulan iz bölgesinin genel karakteristikleri sıkıştırulamayan akış rejiminde açıklanmıştır. HAD sonuçları ile birlikte elde edilmiş olan beş farklı MVG üzerinden MVG boyutları hız bileşenleri ve üretilen vorteks çiftinin konumları üzerinden karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikro Vorteks Üreteçleri, Akış Kontrolü, Deneysel Aerodinamik, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

Giriş

Sınır tabaka kontrolü akış alanına eklenen çeşitli süreksizliklerle gerçekleştirilir ve birçok mühendislik uygulamasında ayrılmayı önleme, kaldırma kuvvetini artırma, karşımı artırma, ısı transferini artırma ve gürültü azaltma gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Sınır tabaka kontrolü aktif (emme ve üfleme, akustik kontrol vb.) ve pasif (hava tahliye sistemleri, yüzey pürüzlülüğü, girdap üreteçleri vb.) olarak ikiye ayrılır [1]. Aktif sınır tabaka kontrolü yöntemleri kullanılmamaları gerektiği durumlarda, ya da tasarım dışı koşullarda, basitçe kapatılabilirken aynısı pasif sınır tabaka kontrolü yöntemlerinde geçerli değildir. Bu nedenle pasif sınır tabaka kontrolünde kullanılan cihazların/araçların eklenen sürüklenme kuvvetini düşürmek amacıyla olabildiğince küçük olmaları kritiktir.

Bu çalışmanın da konusu olan girdap üreticileri ilk olarak Taylor [2] tarafından 1947 yılında önerilmiştir. Geleneksel girdap üreteçlerine kıyasla daha küçük boyutlarda, sınır tabaka yüksekliğinden de küçük boyutlarda, olan Mikro Girdap Üreteçleri (MGÜ) ise Keuthe [3] tarafından gürültü azaltmak amacıyla kullanılmıştır. MGÜ'ler genel olarak sınır tabakanın içine gömülü, pasif sınır tabaka kontrol araçları olarak tanımlanmaktadır. MGÜ'lerin amacı sınır tabaka içindeki tabakalar arasındaki karşımı artırmaktır, böylece duvara yakın bölge ile serbest akışa yakın bölge arasındaki momentum transferi artarak düşük momentuma sahip duvara yakın bölgenin momentumu artırılmak amaçlanmaktadır. Bu da daha enerjik ve ayrılmaya karşı daha dayanıklı bir sınır tabaka anlamına gelmektedir. Rao ve Kariya [4] tarafından yapılan çalışmada yükseklik-sınır tabaka oranı (h/δ) 0.625 olan bir MGÜ geleneksel girdap üreteçleri ile karşılaştırılmıştır ve MGÜ'lerin geleneksel girdap üreteçlerinin performanslarını yakaladığı ve hatta bazı koşullarda geçtiği görülmüştür. MGÜ'ler rüzgar enerjisi alanında da kullanılmaktadır. Bunun bir örneği Yan vd. tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada MGÜ'lerin bir

kanat profili ve dikey eksenli rüzgar türbini performansına etkileri araştırılmıştır. MGÜ uygulaması ile kaldırma kuvveti-sürüklenme kuvveti oranında artış ve perdövites (*Ing. stall*) açısında 2° artış kaydedilmiştir.

Bu çalışmada rampa tipi bir MGÜ'nin iz bölgesi 2-boyutlu 2-bileşenli parçacık görüntülemeli hızölçer (*Ing. Particle Image Velocimetry, PIV*) tekniği kullanılarak karakterize edilmiştir. Deneysel sonuçlar, 0.18 ile 0.54 arasında değişen beş farklı h/δ oranı için üç boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonlarıyla tamamlanmıştır. En küçük üreteç için deneysel sonuçlar kullanılarak, rampa tipi bir MGÜ tarafından oluşturulan iz bölgesinin genel karakteristikleri sıkıştırılmayan akış rejiminde açıklanmıştır. HAD sonuçları ile birlikte elde edilmiş olan beş farklı MGÜ üzerinden MGÜ boyutları hız bileşenleri ve üretilen girdap çiftinin konumları üzerinden karşılaştırılarak tartışılmıştır.

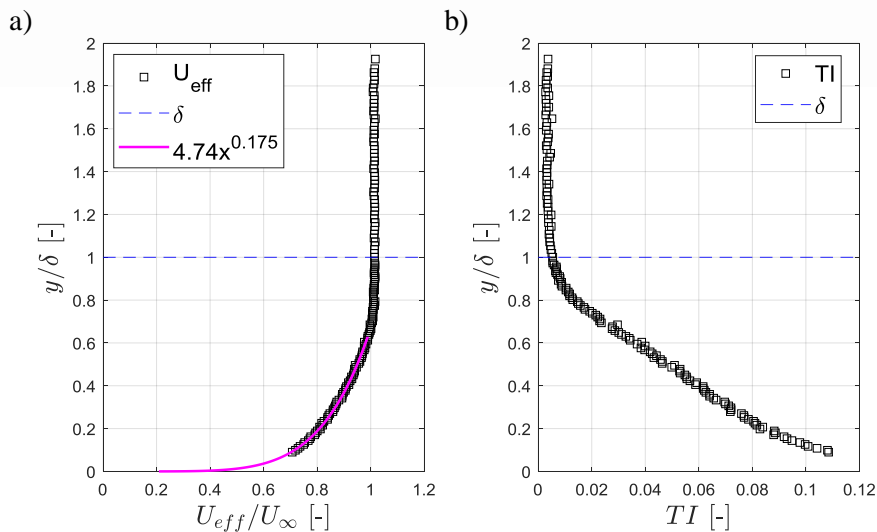
Deney Düzeneği

Deneyler ODTÜ Rüzgar Enerjisi Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (RÜZGEM) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan rüzgar tüneli *Şekil 9*'de verilmiştir. Bu rüzgar tüneli en fazla 25 m/s hız üretebilmektedir ve yaklaşık %0.35 türbülans yoğunluğuna sahiptir. Rüzgar tüneli 10.1 m/s sabit hızda çalıştırılarak deneyler yapılmıştır.



Şekil 9. ODTÜ RÜZGEM'de konuşlu rüzgar tüneli.

Daha yüksek sınır tabaka kalınlığı oluşturabilmek için MGÜ tünel girişinden 6.2 m uzağa konuşlandırılmıştır. Yapılan sıcak-tel anemometrisi deneyleri sonrasında MGÜ önündeki sınır tabaka kalınlığı 111.31 mm olarak hesaplanmıştır. Bu deneylere ait hız ve türbülans yoğunluğu profilleri *Şekil 10*'de verilmiştir.



Şekil 10. a) Hız profili, b) Türbülans yoğunluğu profili.

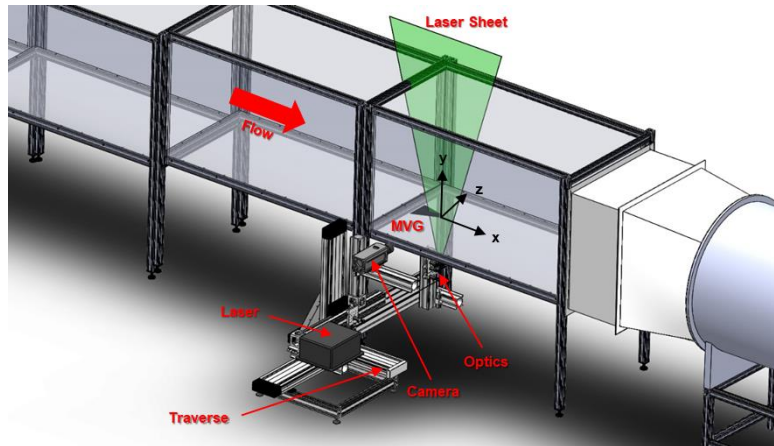
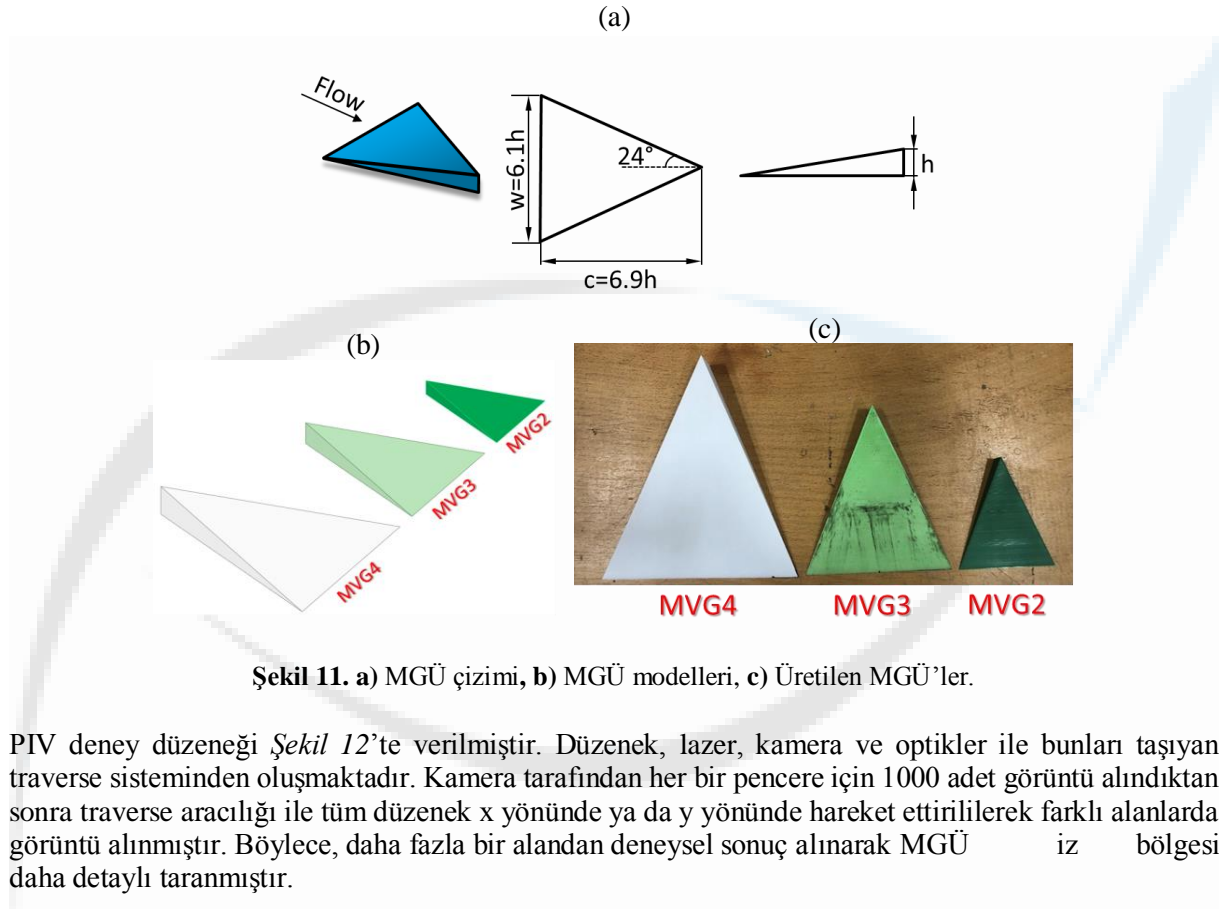
Sınır tabaka kalınlığının bilinmesi ile birlikte üç farklı yüksekliğe sahip MGÜ üretilmiştir. Bunların tasarımı ve ölçüleri h/δ oranları ile birlikte

Tablo 1'de verilmiştir. Tasarım parametreleri ve üretilen MGÜ'ler Şekil 11'te görülmektedir.

Tablo 1. Üretilen MGÜ'ler, tasarımları ve boyutları

MGÜ	h	w	c	α	h/δ
Tasarım	-	6.1h	6.9h	24°	-
MGÜ2	20 mm	122 mm	138 mm	24°	0.18
MGÜ3	30 mm	183 mm	207 mm	24°	0.27
MGÜ4	40 mm	244 mm	276 mm	24°	0.36

| 298

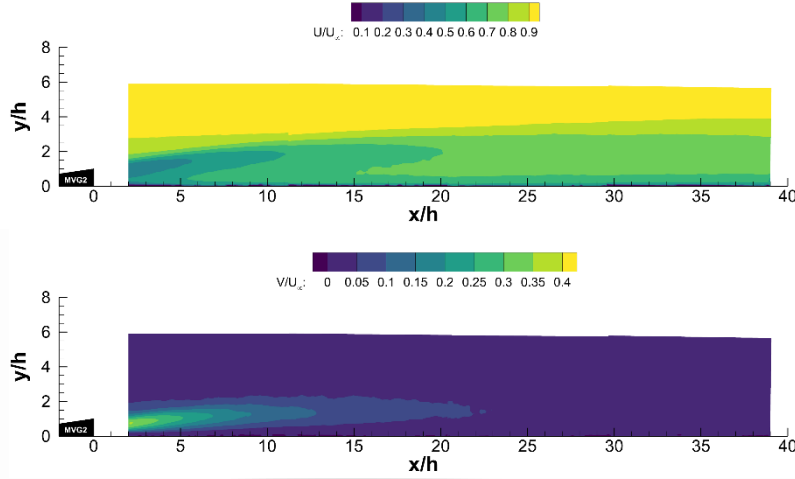


Şekil 12 PIV deney düzeneği.

Deneyel Sonuçlar

MGÜ2 olarak adlandırılan ve 20 mm yükseklik ile $0.18 h/\delta$ oranına sahip olan MGÜ'ye ait akış yönünde (U) ve akışa dik yöndeki (V) hız bileşenlerinin kontürleri boyutsuz olarak Şekil 13'te verilmiştir. Bu kontürler MGÜ tarafından üretilen girdap çiftinin iz bölgesindeki yükselişini açıkça göstermektedir.

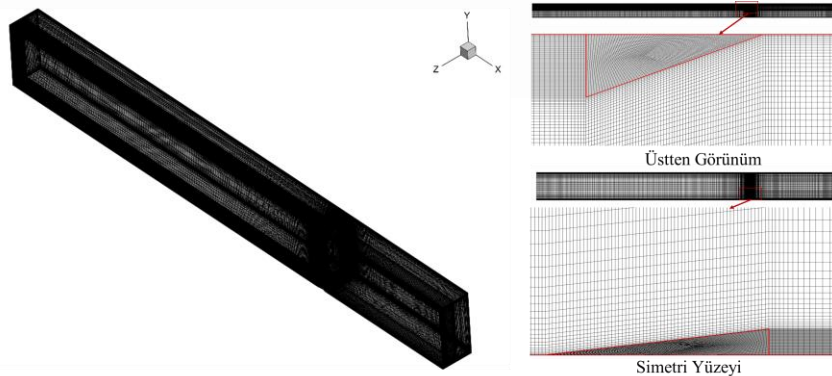
| 299



Şekil 13. MGÜ2'ye ait hız kontürleri.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Çalışmaları

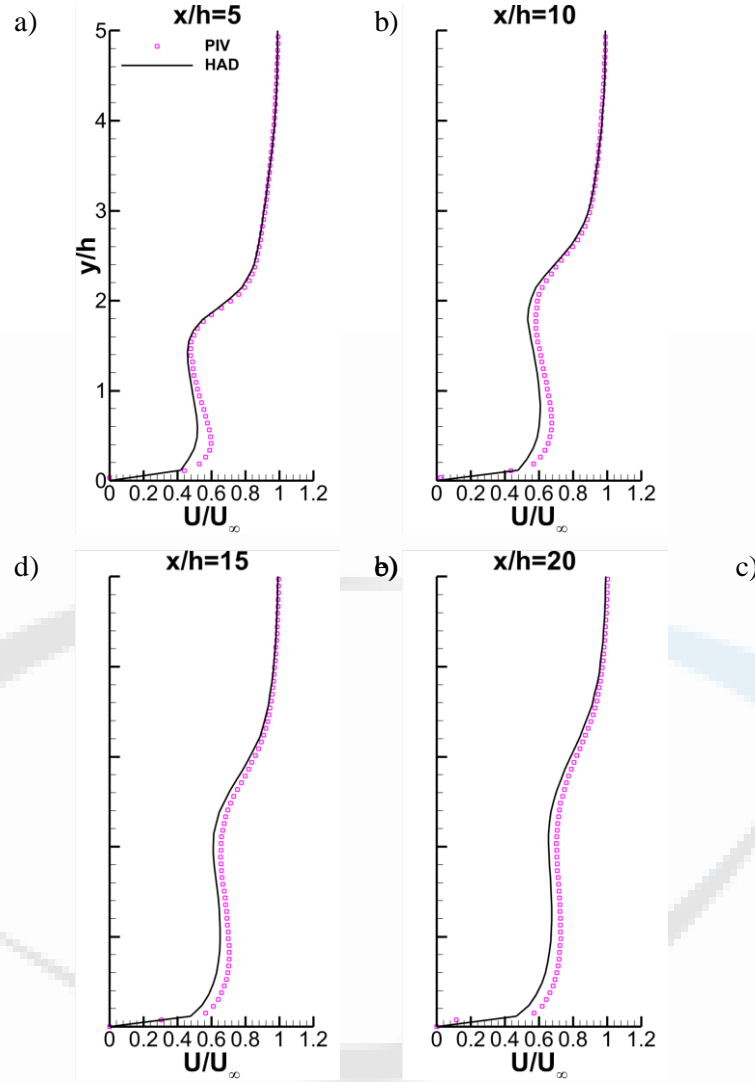
ANSYS-Fluent yazılımı kullanılarak kararlı nümerik simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri $k-\omega$ SST türbülans modeli ile çözülmüştür. Bu türbülans modeli, duvara yakın bölgelerde akışın gelişimini iyi bir şekilde tahmin edebilmektedir. Nümerik çözümlerde MGÜ'lerin ve ürettikleri akışın simetrik olması nedeniyle çözüm süresini azaltabilmek amacıyla yarım modeller kullanılmıştır. Simülasyonlarda tüm rüzgar tüneli modellenerek sınır tabaka kalınlığının gelişmesine izin verilmiştir. Tamamen düzenli bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Simülasyonlarda kullanılan ağ yapısı üstten görünüm ve simetri yüzeyinin görünümü ile birlikte Şekil 14'te verilmiştir. Buradan da görülebileceği üzere duvara ve MGÜ'ye yakın bölgelerde daha sık ağ uygulanmıştır; duvara ve MGÜ'ye bitişik bölgelerdeki ağ y^+ değeri 1 olacak şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 14. Simülasyonlarda kullanılan ağ yapısı.

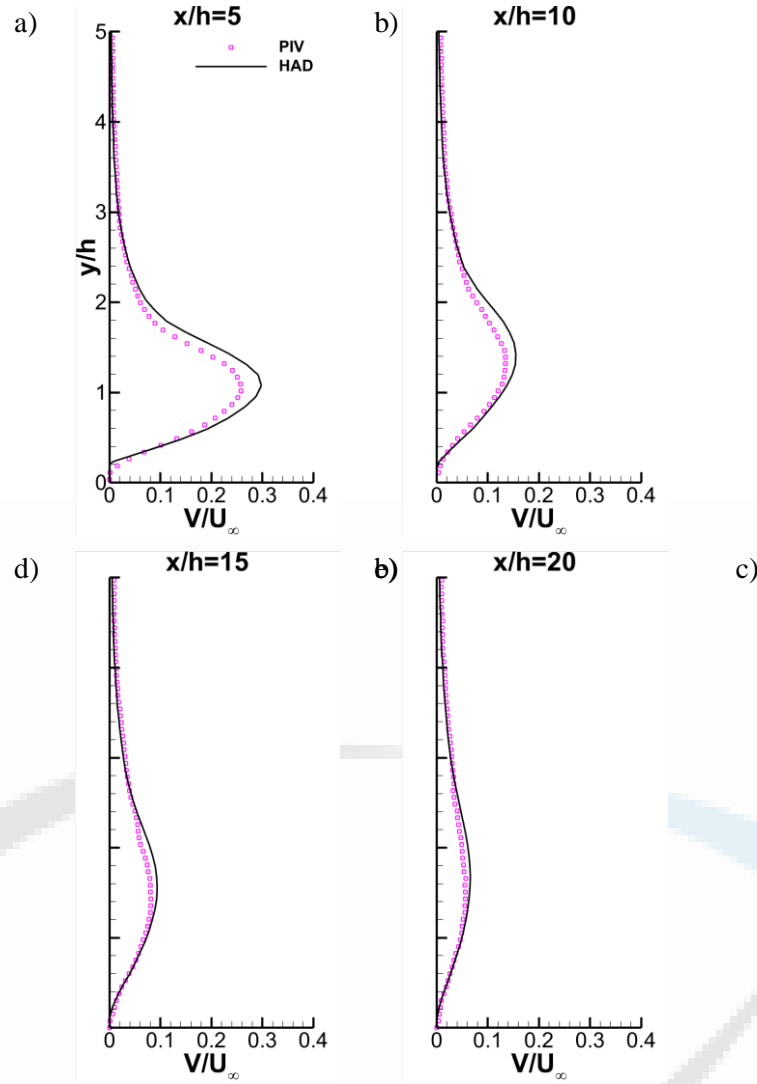
HAD sonuçları MGÜ2 için deney sonuçları ile akış yönündeki ve akışa dik yöndeki hızlar üzerinden karşılaştırılarak valide edilmiştir. Validasyon için yapılan çalışma sonucu ortaya çıkan akış yönündeki

hız profilleri boyutsuz mesafe cinsinden (x/h) 4 farklı konumda Şekil 15’de verilmiştir. Bu karşılaştırmada HAD analizleri ile, her ne kadar $y/h=1$ ’den daha düşük bölgelerde bir miktar farklılık olsa da, deney sonuçlarına yeterli bir oranda yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür.



Şekil 15. Deneysel sonuçların HAD sonuçları ile akış yönündeki hız bileşeni cinsinden karşılaştırılması.

HAD analiz sonuçları akışa dik yöndeki bileşen için deneysel sonuçlar ile Şekil 16’de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan da görüldüğü üzere HAD analizleri ile alınan sonuçlar deney sonuçlarına yeterli bir oranda yakındır. Ancak, dikkat edilirse HAD analizlerinin sonuçları akış yönündeki hız bileşenindeki sonuçlardan bir miktar daha fazladır. Her iki hız bileşeni için de MGÜ2 için HAD analizleri ile deney sonuçlarının arasındaki farklar minimum akış yönündeki hız (U_{\min}) ve pozisyonu ($y/h_{U_{\min}}$) ile maksimum akış yönündeki hız (V_{\max}) ve pozisyonu ($y/h_{V_{\max}}$) cinsinden **Tablo 2**’de verilmiştir.



Şekil 16. Deneysel sonuçların HAD sonuçları ile akışa dik yöndeki hız bileşeni cinsinden karşılaştırılması.

Tablo 2. HAD ve deneysel sonuçların farklı pozisyonlardaki farkları.

Pozisyon	Parametre	Fark
$x/h=5$	U_{\min}	-4%
	$(y/h)_{U_{\min}}$	3%
	V_{\max}	15%
	$(y/h)_{V_{\max}}$	1%
$x/h=10$	U_{\min}	-4%
	$(y/h)_{U_{\min}}$	1%
	V_{\max}	15%
	$(y/h)_{V_{\max}}$	1%
$x/h=15$	U_{\min}	-4%
	$(y/h)_{U_{\min}}$	1%
	V_{\max}	13%
	$(y/h)_{V_{\max}}$	2%
$x/h=20$	U_{\min}	-3%
	$(y/h)_{U_{\min}}$	1%
	V_{\max}	15%
	$(y/h)_{V_{\max}}$	1%

MGÜ Yüksekliğinin Akış İz Bölgesine Etkisi

Validasyonu tamamlanmış HAD yönteminde kullanılan ağ yapısı ekstrapole edilerek 5 farklı MGÜ'nin HAD çözümleri yapılmıştır. Bu MGÜ'lerin özellikleri

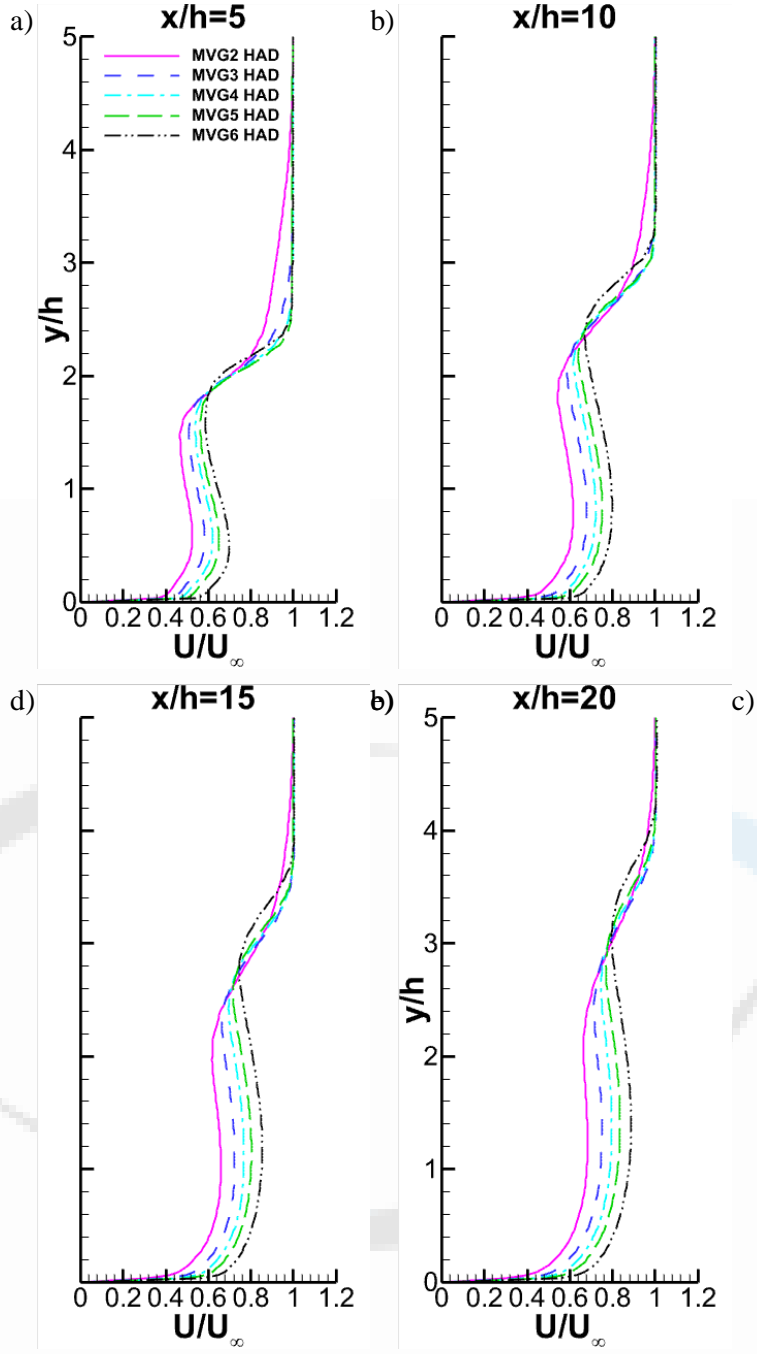
Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. HAD analizlerinde kullanılan MGÜ'ler ve özellikleri.

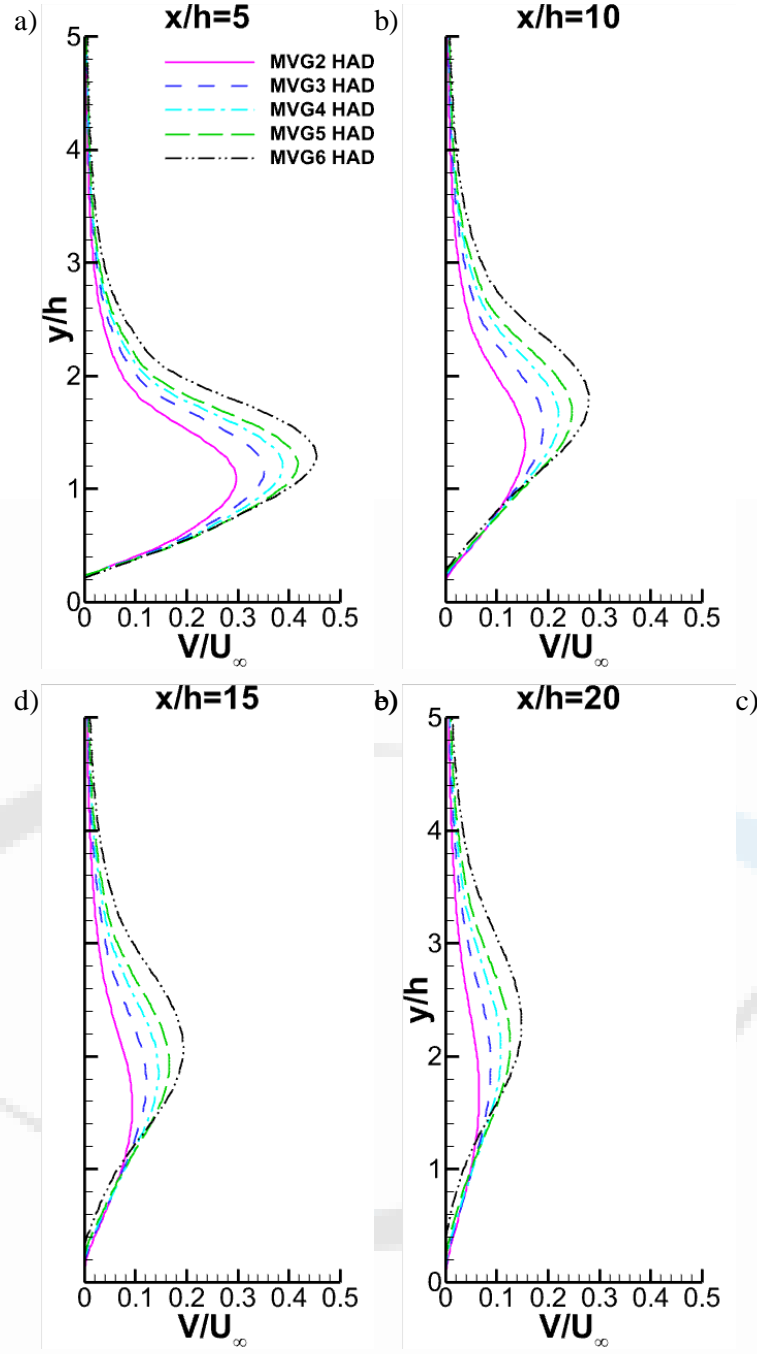
MGÜ	h	w	c	α	h/ δ
Tasarım	-	6.1h	6.9h	24°	-
MGÜ2	20 mm	122 mm	138 mm	24°	0.18
MGÜ3	30 mm	183 mm	207 mm	24°	0.27
MGÜ4	40 mm	244 mm	276 mm	24°	0.36
MGÜ5	50	305	345	24	0.45
MGÜ6	60	366	414	24	0.54

Bu beş farklı MGÜ için gerçekleştirilen HAD çözümlerinin akış yönündeki hız bileşenleri cinsinden karşılaştırılması **Şekil 17**'de ve akışa dik yöndeki hız bileşenleri cinsinden karşılaştırılması ise **Şekil 18**'de hız profilleri olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmalar MGÜ2 için verilmiş olan deneysel sonuçlarla uyumlu olarak iz bölgesi ilerledikçe MGÜ'ler tarafından üretilen girdap çiftinin yükselmesini göstermektedir. Ancak dikkat edilmelidir ki daha büyük MGÜ'ler tarafından üretilen girdap çiftlerinin daha çok yükseldikleri görülmektedir. Bunu örneklemek gerekirse minimum akış yönündeki hız değerinin pozisyonu MGÜ2 için MGÜ6'ya kıyasla her pozisyonda daha düşüktür. Benzer bir karşılaştırma minimum akış yönündeki hız değeri ile de yapılabilir. Bu karşılaştırma MGÜ boyutu büyüdükçe bu hız değerinin arttığını, yani üretilen girdap çiftinin daha güçlü olduğunu göstermektedir. Örneğin, $x/h=5$ pozisyonunda MGÜ2'ye ait minimum akış yönündeki hız değeri MGÜ6'ya ait aynı değerin %79.5'i kadardır. Ancak akış ilerledikçe bu farkın azaldığı görülmüştür; aynı değer $x/h=20$ pozisyonunda %83.5 olarak kaydedilmiştir. Bu da farklı boyuttaki MGÜ'ler tarafından üretilen girdapların bozunum hızlarının farklı olduğunu göstermektedir.

Yukarıdakine benzer bir tartışmayı akışa dik yöndeki hız bileşeni (**Şekil 18**) için de yapmak mümkündür. Akışa dik yöndeki hız bileşeninin maksimum olduğu değerler MGÜ'ler arasında kıyaslandığında MGÜ boyutunun artmasıyla bu değer de arttığı görülmektedir. Bu değer, aynı zamanda MGÜ'ler tarafından üretilen girdap çiftinin akış iz bölgesindeki yükselişini göstermektedir. Yani, görülmüştür ki, MGÜ boyutu artıkça girdap çiftinin akış iz bölgesindeki yükselişinin artması beklenmektedir. Farklı boyuttaki MGÜ'ler karşılaştırıldığında, MGÜ2 için maksimum akışa dik yöndeki hız değeri $x/h=5$ 'te serbest akış hızının %30'u kadarken $x/h=10$ 'da serbest akış hızının %15'i kadardır. Aynı pozisyondaki yüzdeler MGÜ6 için ise %45 ve %28'dir. Bu değerlerin akış ilerledikçe azalması akışın bozunumunu göstermektedir.



Şekil 17. Beş farklı yüksekliğe sahip MGÜ'nin akış yönündeki hız bileşenlerinin karşılaştırılması.



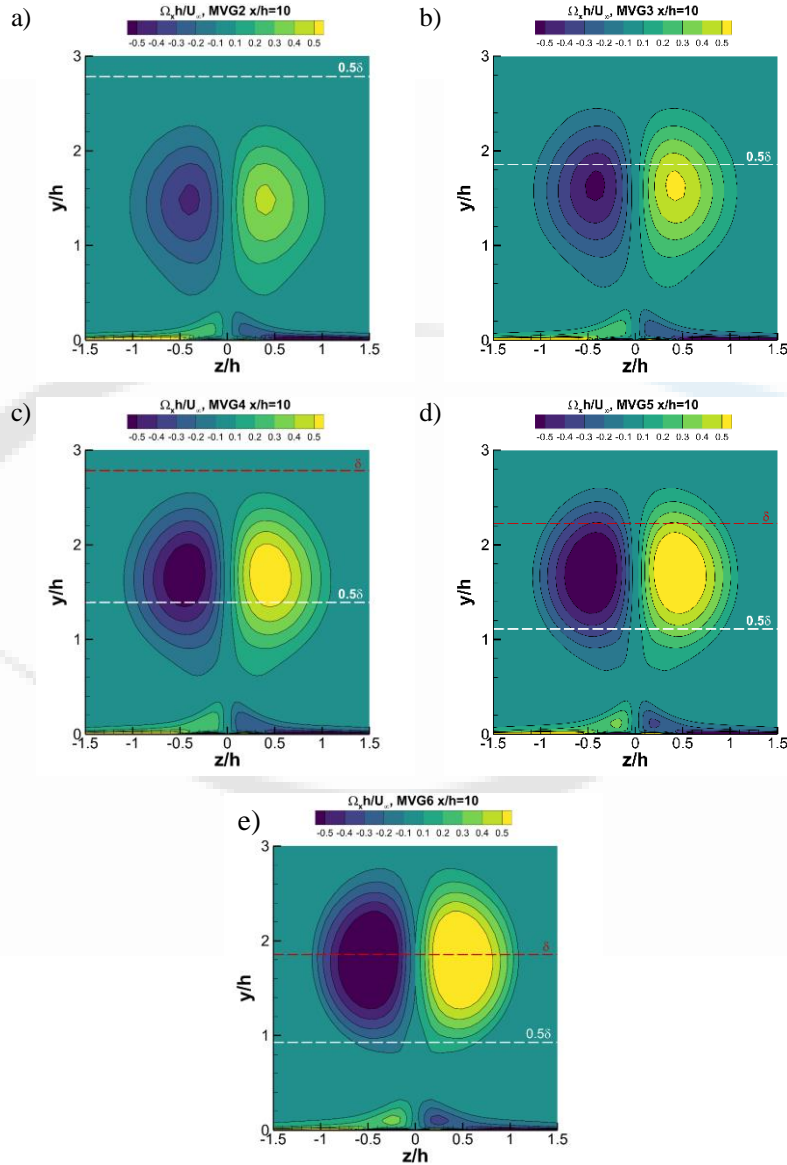
Şekil 18. Beş farklı yüksekliğe sahip MGÜ'nin akışa dik yöndeki yönündeki hız bileşenlerinin karşılaştırılması.

Farklı boyuttaki MGÜ'ler tarafından üretilen girdaplerin akış iz bölgesindeki yükselme oranlarının farklı olduğu hız bileşenlerinden gösterilmiştir. Ancak, bu oranları 3-boyutlu olarak incelemek amacı ile akış yönündeki yüzeyler üzerine çizdirilen akış yönündeki vortisite kontürleri kullanılmıştır. Bu kontürler $x/h=10$ pozisyonu için Şekil 19'de verilmiştir. Kontürler üzerine sınır tabaka kalınlığı ve sınır tabaka kalınlığının yarısı işaretlenmiştir. Kontürlerden de takip edilebileceği üzere daha büyük MGÜ'ler tarafından üretilen girdap çiftleri daha fazla yükselmektedir. Hatta, özellikle daha büyük MGÜ'lerde üretilen girdap çiftinin sınır tabaka kalınlığını aştığı görülmüştür. Bu durum ise MGÜ'ler kullanılarak yapılacak olan akış kontrolün başarılması sonrasında üretilmiş olan girdapların halen bozulmayacağını ve akışı halen etkileme potansiyellerinin olduğunu göstermektedir. MGÜ'ler tarafından üretilen sürüklenme katsayıları Şekil 20'de verilmiştir. Beklendiği üzere ve Şekil 20'de de görüldüğü gibi MGÜ boyutu arttıkça MGÜ'ler tarafından üretilen ve sisteme eklenen sürüklenme kuvveti de fazla bir şekilde artmaktadır.

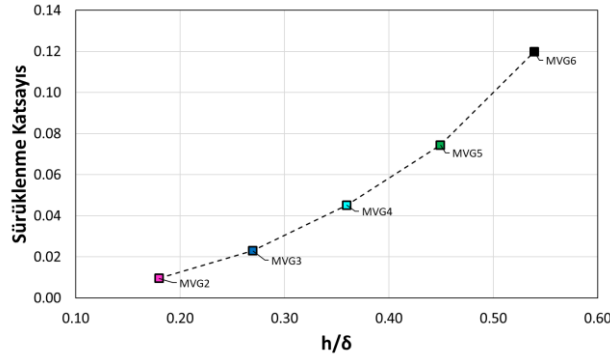
Sonuç

Bu çalışmada PIV yöntemi kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar ile valide edilen bir HAD yöntemi ile beş farklı boyuttaki rampa tipi MGÜ'nin üç boyutlu iz bölgesi sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlar daha sonra MGÜ boyutlarının iz bölgesine etkilerini araştırmak için kullanılmıştır. MGÜ boyutunun artışıyla MGÜ'ler tarafından üretilen girdap çiftinin daha güçlü olduğu ve iz bölgesi içinde yükselme oranının arttığı görülmüştür. Yükselme oranı MGÜ boyutu arttıkça o kadar artmaktadır ki üretilen girdap çifti daha büyük MGÜ'ler için sınır tabaka kalınlığının dışına çıkmaktadır. Bu da akış kontrolü sağlandıktan sonra girdap çiftinin etkisinin devam ettiğini göstermektedir. Büyük MGÜ'lerin bu dezavantajına ek olarak ürettikleri sürüklenme kuvvetinin de daha küçük MGÜ'lere göre çok daha fazla olduğu sürüklenme kuvveti katsayıları ile gösterilmiştir.

| 305



Şekil 19. Beş farklı yüksekliğe sahip MGÜ'lerin $x/h=10$ pozisyonundaki akış yönündeki vortisite kontürleri.



Şekil 20. Beş farklı yüksekliğe sahip MGÜ tarafından üretilen sürüklenme kuvveti katsayıları.

Kaynaklar

- [1] M. Gad-El-Hak, Flow Control: Passive, Active, and Reactive Flow Management, Cambridge University Press, 2000.
- [2] H. D. Taylor, "The Elimination of Diffuser Separation By Vortex Generators," United Aircraft Corporation, Report No. R-4012-3, June, 1947.
- [3] A. M. Kuethe, "Effect of streamwise vortices on wake properties associated with sound generation," Journal of Aircraft, vol. 9, no. 10, pp. 715-719, 1972.
- [4] D. Rao and T. Kariya, "Boundary-layer submerged vortex generators for separation control - An exploratory study," in 1st National Fluid Dynamics Conference, 25-28 July, Cincinnati, OH, 1988.
- [5] Y. Yan, E. Avital, J. Williams and J. Cui, "CFD analysis for the performance of micro-vortex generator on aerofoil and vertical axis turbine," Journal of Renewable and Sustainable Energy, vol. 11, p. 043302, 2019.

Makale id= 67

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-7908-976X

| 307

Comparing Permeability Between Architectural Design Schemes for the Final Product

Arş.Gör.Dr. Gencay Çubuk¹
¹Trakya University

Abstract: *The aim of the study is to create a strategic framework for examining the effect of permeability between architectural design schemes on the final product. The scope of the study consists of theoretical approaches on how the permeability effect in different architectural schemes develop solutions for themes and usage patterns. In this context, the method of the study consists of a literature review covering the works of leading theoretical figures who examine the effect of permeability on advantageous and disadvantageous solutions in architectural design schemes and how this effect changes the final product. The findings of the study demonstrate that the permeability between architectural design schemes provides significant advantages to the final product in key areas such as efficiency, flexibility, sustainability and cost-of-use optimization. As a result, it is concluded that the implicit strategies in the works of the leading figures should be evaluated together and integrated into the architectural institutional culture, architectural offices and architectural education institutions in order to ensure development among the architectural usage schemes.*

Keywords: *Architectural Permeability, Architectural Design, Architectural Production*

Introduction

According to the architectural processes, the benefits of permeability-oriented approaches are of great importance both in architectural design education, in urban planning, and in re-planning and developing the relationship of technological developments with architecture. From this point of view, the final architectural product manifests itself sometimes as a completed design, sometimes as an unfinished process, in which permeability steps are intertwined. Sequential permeability processes are based on being flexible between different ideas and processes and transforming related themes into a combination in the most appropriate way, both for the architectural product and the designer. In order to construct the relationship between architectural permeability and architectural production efficiently, it is necessary to develop sequential permeability schemes that can be used in all fields of study, from architectural education to the use of technology in the architectural market. Permeability, as a more complex definition than flexibility, stands out as an architectural concept that includes inter-theme adaptability and transformability scenarios and has a higher tolerance value than similar approaches.

Architectural Permeability for Architectural Production

The starting point to see the effects of architectural permeability processes in practice is how much permeability strategies are used in architectural education. The most basic parameter of flexibility in architecture education is based on the ability to unlock creative problem-solving skills in any difficulty. While elaborating a thematic analysis, it provides an effective problem solving process by triggering self-criticism and productive behaviors towards flexible attitude and willingness to start in students with a skeptical nature. Through an interpretative qualitative approach that combines different data collection methods, defined and complex problems are tackled by architecture students and challenging themes are unlocked through exercises to find new ideas. It should be understood that the most fundamental basis of flexibility in architectural education is the correlation between idea generation techniques and creative problem solving skills. The desire to solve a new problem and the effort to grasp the dynamics that create that problem should be seen as parallel efforts and should be supported by pedagogical

initiatives (Khalil, 2021). As one of the subjects addressed in architectural education, kinetic structural elements find their place as elements that provide permeability and functional diversity practically in architectural transport. Practical, efficient, applicable kinetic building elements help students revise their notions about a contemporary and transformable architectural structure by changing the expectations of the architect from the spaces. This approach necessitates that the different functional expectations required by the design should be handled together with the specific physical solutions and sustainability concerns. Students develop specific strategies for integrated kinetic building elements and establish new plans to evaluate existing technologies and exemplary design visualizations, allowing flexibility to be considered as one of the main themes, not a lateral support, in architectural education (İnan and Yildirim, 2021). The use of MATLAB education in architectural design education is a preferable method as it contributes to the flexibility in choosing office workspaces and furnishings. Computational applications made through MATLAB are included in the architectural plan production process in order to present students or designers for accurate and flexible evaluation in their work at different levels, and the computational approach architecture is directly used in these (Mohamed and Youssef, 2022).

| 308



Image 1. Voyer, Niamh McGeoghegan, Course: BA Interior Architecture and Design, Masa Ruane Bratusa and Fiona Harte (URL 1).

Similarly, in architectural education, it is positive to try some prototyping methods about the architectural applications of the problems that may be encountered in the future. Utilizing parametric design to facilitate the mathematical analysis of criteria can be used as a basic competence tool in three-dimensional object design and updating architectural elements. Examining the impact of digital technology on parametric design contributes to the development of contemporary architecture and mediates the incorporation of irregular surfaces and topical forms into architectural terminology as design tools. The use of information technology to generate similar design ideas may impose some constraints on architectural permeability. On the other hand, it is flexible enough to develop a design method that can be updated in line with the requirements of the era, rather than adopting a unique design tool for free tones and modifications in specific areas such as creating three-dimensional prototypes for facade design. Instead of creating a singular system for design development, it is necessary to rank systems that can be integrated and transformed, in order to relate parametric design to the architecture of the near future (Gouda et al., 2020). One of the most basic examples of addressing flexibility in architectural education is the set of approaches that deal with landscape biomorphic activities related to sustainability. Integration of sustainability and ecological solutions into architecture is inevitable in order to deal with architectural and landscape problems together in a wide scale ranging from urban

areas to residential courtyards. In order to consider the architectural environment as a whole in relation to the natural environment, it is of great importance to benefit not only from professional architects but also from the flexible vision of architectural students in the landscape development of public space. Student initiatives include an approach that aims flexibility and comfort in spaces, away from geometric rigidity, including more preferences and solution suggestions to the public. At Komsomolsk-on-Amur State University, which is taken as an example, silhouettes created by students were included in the landscaping. Landscaping inspired by natural objects and the natural skates used in the design of parked you provide strong evidence that we can benefit architecture students in improving public spaces (Galkina and Grinskug, 2020).

| 309



Image 2. Permeability Housed, Seksyen 17, Petaling Jaya, Selangor, Malaysia, 2021, Tangu ARCHITECTURE Sdn Bhd, Lead Architect: Tang Hsiao Seak, Design Development: Steven Ngu Ngie Woon, Photo: Tang Hsiao Seak, URL 2.

When permeability is examined as a strategy in terms of urban environment, it is seen that cities offer good case studies and the most efficient examples in terms of permeability. Challenges in implementing design in the City of Helsinki are a strong example of flexibility in this regard. It has been seen that the main problems in public administration and the lack of being customer-oriented present problems in the efficiency of cooperation between public institutions and designers. The success of the design on paper or sketch cannot provide any reference to its real-life success. Therefore, at this point, the importance of the integration between public institutions and designers is understood (Pirinen et al., 2022). there is a lot of data. The guidelines created for the activity contain very important outputs in terms of the quality of use of the space and increasing the level of assimilation of the relevant function in the space by the users (Brittin et al, 2015).

In the studies on architecture and urban planning, it is seen that the development of the antithesis both in the creation of plastic funds and in the arrangement of the interior space makes the design processes flexible. A formula- and principle-based antithesis development process implies an autonomous design system that can manage the self-criticism process. The design system realized through this autonomous criticism helps shaping paradigms to work in coordination and thus to benefit from the concept of nested structures in the creation of plastic forms (Vologdina and Dubasova, 2023). The most successful examples of solutions for architects to evaluate the urban environment and technological opportunities together have been seen during the pandemic process. During the pandemic process, architects had to

produce a series of strategies on how to transform the moments experienced by considering the design inputs together with the crisis moments. The suitability of living spaces to the current situation and their potential to transform are not only related to the necessity of controlling the spread of the epidemic, but also to being flexible, healthy, and aesthetically sustainable for after-life (Alhusban et al., 2021).

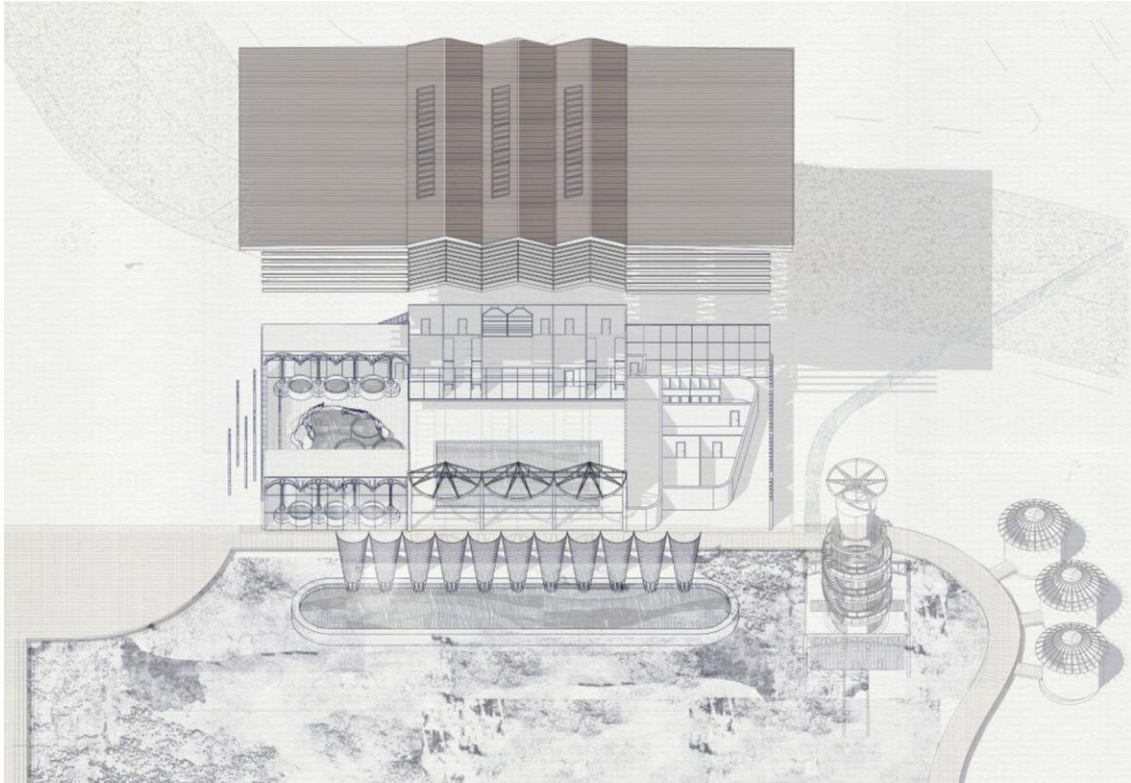


Image 3. Salt Commons, Luxmi Nanthakumar, Course: Master of Architecture, Tutors: Lisa Harmeay and Gavin Finnan, URL 3.

Permeability is not just a pedagogical formation, but a core strategy inherent in many technological innovations. In both structural elements and financial and information systems, permeability finds its place as a very powerful metaphor and enables systems to be revised, strengthened and revised in a way that adapts to the requirements of the age. One of the most successful examples of this is the use of flexible formwork in reinforced concrete structures. There are many concerns that aesthetics and flexibility should be considered together in construction in order to meet new architectural requirements. At this point, the use of nano flexible molds can be made with smart materials that can change from flexible mold to scale, so that the structure can act like a nano flexible shell. The fact that flexibility has such an important place in structural elements, it is seen that flexibility offers effective solutions both in terms of resistance to natural disasters such as earthquakes and in the context of transformable solutions that require urgent installation in the structural solutions of the future and in my structural trials (Bemanian et al., 2012). The use of flexibility in the field of informatics, on the other hand, can give an idea to many disciplines, including architecture, not only as a metaphor, but also in terms of maximizing the interaction between models. A time and speed savings are achieved when library models are flexibly constructed in the synthesis of integrated circuit architectures. While providing module flexibility, the design database also provides tools to expand the module Library and perform architectural manipulation, helping to speed up autonomous solutions in the engine control unit (Hald, 2023). As can be seen, the permeability of the subpopulation sites and the permeability of contemporary architectural tools provide a very similar architectural manipulation and library expansion. The self-arbitration situation encountered here provides strong evidence that the autonomous systems of the future are directly related to the contemporary design approach. One of the main advantages of autonomous systems is that they feed directly on architectural pluralism and redesign the identity of the sustainable

and pluralistic architecture of the future at every step by matching building styles and designs in updated contemporary architecture libraries. Since permeability in architecture and pluralism in architecture are directly related concepts, it becomes important to develop case studies with a pluralism principle that covers both construction styles and process designs in defining flexible spaces to cope with social changes (Aly and Lofti, 2023).

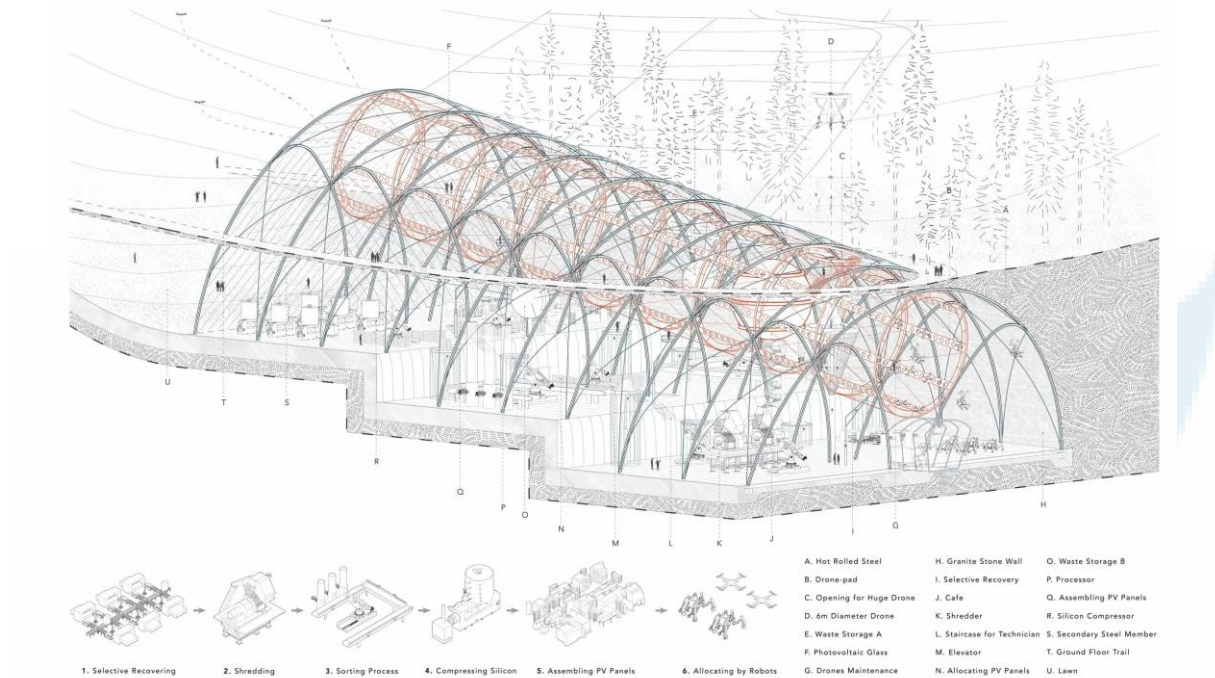


Image 4. The Renewable Energy Landscape of Mourne by Louis Shing, Queen's University Belfast, Course: MArch, Tutors: Professor Tom Jefferies, Dr Laura Coucill and Dr Amber Roberts

Many similar topics point to important topics about how the evaluation of architecture and flexibility together increases the efficiency of contemporary architectural products. The steps of thinking, drawing, modeling and presenting, which are expected to be done in architectural design competitions, actually encourage students to use the stretching areas of architectural design competitions in basic areas such as ecology consumption. Understanding that working rules, which seem like limits, are actually a bit of an executive in platforms such as competitions, where the products of competitors and other participants make sense, helps us to understand the impact of flexible resource use on creativity and its triggering power in finding new ideas (Li et al, 2023).

When all these are evaluated together, it is understood that permeability strategies cannot be shaped by mere freedom or autonomy in architectural education or in the architectural sector. On the other hand, making the current curriculum flexible with contemporary workshops, addressing it together with transformable learning schemes and organizational approaches that will facilitate the integration of architecture students into architectural productions in the near future makes it possible and sustainable for the mass adoption of architectural education and architectural practices. The fact that each student and user has a different speed of acquiring knowledge, their reactions to the flow that has been created piecemeal and gradually verified through practice, and the strategies they develop during the process of finding solutions to architectural problems are different from each other, the students who will be licensed practitioners of architectural design and the users who will experience these designs. requires careful study of their curriculum. An effective architecture school is expected to not only provide students with a solid theoretical foundation, but also prepare them to be resilient to the problems, design problems and challenging dualities of the future (Gubba et al, 2019).

Conclusion

In order to develop kinetic building elements, public activities based on creative problem-solving skills should be designed. In these activities, the level of appreciation of the users in terms of building physics and housing comfort should be examined and it should be determined which of the building physics solutions made through the creative problem-solving skills of family members are found most efficient. Prototyping should be one of the main working areas of city councils. Artifacts within the scope of cultural heritage, marked by conservation boards and framed by all the necessary procedures for their protection by organizations such as UNESCO, and annexes to these artifacts should be rehearsed through a comprehensive prototyping study.

Discussion of the concept of permeability in urban design and architecture is most frequently seen in system details and plan drawings. On the other hand, one of the areas where flexibility is most fundamentally reflected is the areas where children's pedagogy is reflected in the spaces. In this context, the ways in which the solutions in children's pedagogy can be solved directly in the spaces should be followed and thus pedagogically correct children's and adult spaces should be designed. In order for cities to produce their antitheses, they should be asked to regularly report on the negatives in the city from the cultural things of foreign countries. These reports can be prepared with a free, innovative and pluralistic perspective. The biggest criterion in this is that cultural ambassadors from different countries evaluate the problems in the country they are visiting based on the variables and problematic parameters of their own countries and offer more impartial solutions. In this way, the cultural ambassador of each country compares the innovations and problems in their country with the country they host in order to help cities produce their antitheses and thus improve themselves, and regularly transfers this to the other party in presentations through graphs, deep analyzes and data science.

In architectural organizational charts, dividing the working processes into three levels, namely management, boundaries and permeability, provides great clarity and convenience to designers in terms of strict rules and flexible design areas. In this direction, a unity of approach is formed in which architectural offices can create a language unity among each other by adhering to a common set of rules in building designs related to permeability, and that includes a common modulation setup in terms of both prototyping and accessibility. Design guides designed for urban designers to use, creating a language unity between cities, common equipment, the use of greenery, and the relationship between waterfronts help the masses to develop strategies to increase the level of satisfaction. When viewed in this direction, it is understood that the permeability issue of design guides is not only a matter of time, but also a strategy planning for which points of the city will show more intense interest to the users of the city.

References

- [1] Alhusban, A., Alhusban, S., Alhusban, M. (2021). How the COVID 19 pandemic would change the future of architectural design. *Journal of Engineering, Design and Technology*. ahead-of-print. 10.1108/JEDT-03-2021-0148.
- [2] Aly, T., Lotfi, Y. (2023). Sustainable Architectural Pluralism Through Contemporary Architectural Design. *MSA Engineering Journal*. 2. 193-217. 10.21608/msaeng.2023.291870.
- [3] Bemanian, M., Mahdavinejad, M., Karam, A., Rezaei, S. (2012). Architectural Application of Smart Materials for Non-Flexible Structures Made by Flexible Formworks. *Applied Mechanics and Materials*. 232. 132-136. 10.4028/www.scientific.net/AMM.232.132.
- [4] Brittin J., Sorensen D., Trowbridge M., Lee KK., Breithecker D., Frerichs L., et al. (2015) Physical Activity Design Guidelines for School Architecture. *PLoS ONE* 10(7): e0132597. doi:10.1371/journal.pone.0132597
- [5] Galkina, H., Grinkrug, N. (2020). Unity of Natural and Architectural Space in Landscape Design of Komsomolsk-on-Amur. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 459. 032081. 10.1088/1755-1315/459/3/032081.

- [6] Gubba, N., Yadav, M., Clifford J., Kiruba E. (2019). Architectural Pedagogy: An Observation on Mid Stage Architectural Design Studio and Presentation Development. 10.33422/2nd-icetl.2019.04.234.
- [7] Gouda, A., Alarnous, S., Radwan, A. (2020). The Impact of Digital Development of parametric design on designing Architectural Ceramics units. 10.12816/mjaf.2019.16667.1315.
- [8] Hald, B. (2023). Architectural synthesis using flexible library modules. IEEE Xplore. DOI: 10.1109/ISSS.1995.520607. | 313
- [9] Inan, N., Yildirim, T. (2021). Outer Shell Flexibility in Kinetic Architectural Design and Utilization of Integrated Systems. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry. 5. 10.46519/ij3dptdi.987324.
- [10] Khalil, M. (2021). Idea Generating Techniques in Architectural Design Education: Exploring Students' Perceptions. International Journal of Engineering Education. 37. 65–85.
- [11] Li, L., Yang, X., Xiang, X., Kong, L., Dai, J., Zeng, Q. (2023). Integrating Sustainable Manufacturing into Architectural Design Teaching through Architectural Design Competitions. Buildings. 13. 1023. 10.3390/buildings13041023.
- [12] Mohamed, R., Youssef, A. (2022). A computational framework for supporting architectural education of spaces' furnishing design. International Journal of Architectural Computing. 20. 346-377. 10.1177/14780771221097683.
- [13] Pirinen, A., Savolainen, K., Hyysalo, S., Mattelmäki, T. (2022). Design enters the City: Requisites and points of friction in deepening public sector design. *International Journal of Design*, 16(3), 1-19. <https://doi.org/10.57698/v16i3.01>
- [14] Singh, J., Chaudhary, N. (2022). OAuth 2.0 : Architectural design augmentation for mitigation of common security vulnerabilities. Journal of Information Security and Applications. 65. 103091. 10.1016/j.jisa.2021.103091.
- [15] Vologdina, N., Dubasova, A. (2023). Principles of Architectural Design in the Shaping Paradigm. Innovative Project. 6. 83-89. 10.17673/IP.2021.6.12.10.

URL 1. <https://www.futurarc.com/project/permeability-housed/>

URL 2. <https://www.dezeen.com/2023/05/02/atlantic-technological-university-sligo-design-architecture-projects-dezeen-schoolshows/>

URL 3. <https://www.dezeen.com/2022/07/21/cardiff-university-architecture-masters-projects-schoolshows/>

URL 4. <https://www.allcaddblocks.com/queens-university-belfast-presents-ten-student-architecture-projects/>

Makale id= 79

Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-2109-107

| 314

Talas Tarihi Kent Alanı ve Mimari Unsurların İncelenmesi**Araştırmacı Gökçe Nur Dağlı Akkaya¹, Prof.Dr. Abdullah Kelkit¹**¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Corresponding author: Gökçe Nur Dağlı Akkaya

Özet: Tarihi kentler ve kentsel alanlar toplumların ve toplumlara ait kültürel kimliklerin değişimini gösteren mekânsal oluşumlardır. Tarihi kentler ve kentsel alanlar; bölgenin içi ve çevresindeki peyzaj uygulamaları, arkeolojik kalıntılar ve mimari unsurlar gibi somut öğelerden ve tarihi görenekler, gelenekler, işlevsel özellikler, anılar ve kültürel kaynaklardan oluşan soyut öğelerden oluşurlar. Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı döneminden izler taşıyan Talas; İç Anadolu Bölgesinde, Kayseri ilinin güneydoğusunda yer alır. Erciyes Dağı'nın eteklerinde kurulu olan Talas ilçesi başta Türkiye olmak üzere tüm dünya için önemli tarihi belleğe ve iki bin yıllık geçmişe sahip bir ilçedir. Bu çalışmada Talas'ın tarihi ve geleneksel doku anlamında en zengin olduğu alan olan Eski Talas bölgesi sahip olduğu tarihi yapılar ölçeğinde incelenmiştir. Bu inceleme ile) Tablakaya, Han, Harman, Kışıköy bölgelerindeki geleneksel dokuya katkıda bulunan bazı mimari unsurlara (dini yapılar, hamamlar, konutlar, çeşmeler ve okullar) dikkat çekilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında yapılan incelemeler geleneksel dokunun sürdürülebilirliğinin sağlanması için Talas'ın tarihi bölgelerinin koruma ve canlandırma uygulamaları açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir

Anahtar Kelimeler: Tarihi Kent, Kentsel Alan, Geleneksel Doku, Mimari Unsur

Talas Historical City Area and Investigation of Architectural Features

Abstract: Historical cities and urban areas are spatial formations that show the change of societies and cultural identities of societies. Historical cities and urban areas; consist of concrete elements such as landscape practices, archaeological remains and architectural elements in and around the region, and intangible elements consisting of historical customs, traditions, functional features, memories and cultural resources. Talas bearing traces of Roman, Byzantine, Seljuk and Ottoman periods is located in the southeast of Kayseri province in the Central Anatolia Region. Talas district, which is established on the skirts of Erciyes Mountain, is a district with an important historical memory and a history of two thousand years for the whole world, especially Turkey. With this study, it is aimed to draw attention to some architectural elements (religious buildings, baths, residences, fountains and schools) that contribute to the traditional texture in Tablakaya, Han, Harman, Kışıköy regions. The examinations made in the study area show that the historical regions of Talas should be considered in terms of conservation and revitalization practices in order to ensure the sustainability of the traditional texture.

Keywords: Historical City, Urban Area, Traditional Texture, Architectural Element.

1. GİRİŞ

Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemine ait izler taşıyan Talas; İç Anadolu Bölgesinde, Kayseri ilinin güneydoğusunda, Erciyes Dağı'nın eteklerinde kurulu olan başta Türkiye olmak üzere tüm dünya için önemli tarihi belleğe ve iki bin yıllık geçmişe sahip zamanında Rum, Ermeni ve Türklerin bir arada yaşadığı ve hala o dönemlerin kentsel izlerini barındıran, kültür zenginliğinin olduğu bir ilçedir (Yılmaz, 2005; Öner, 2019). Ancak endüstrileşmenin ve hızlı nüfus artışının etkisiyle plansız kentleşme hızı da giderek artmakta bu durum kentlere ait tarihi dokuya zarar vermektedir. Zamanın ve yanlış kentsel

planlamaların etkisi ile görünürlüğünü, işlevselliğini, sürdürülebilirliğini kaybetmekte bununla birlikte kent belleğinden silinme tehlikesiyle karşılaşmaktadır.

Tarihi kentler ve kentsel alanlar toplumların ve toplumlara ait kültürel kimliklerin değişimini gösteren mekânsal oluşumlardır. Tarihi kentler ve kentsel alanlar; bölgenin içi ve çevresindeki peyzaj uygulamaları, arkeolojik kalıntılar ve mimari unsurlar gibi somut ve tarihi görenekler, gelenekler, işlevsel özellikler, anılar ve kültürel kaynaklardan oluşan soyut öğelerden oluşurlar (Anadolu Ajansı, 2018). Talas tarihi kent dokusu incelendiğinde Talas'ta "Kayseri Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kurulu" tarafından 3 farklı sit alanı tescili yapıldığı görülmektedir. Sit alanı olarak tescil edilen en büyük bölge kentsel sit alanı olup camiler, kiliseler ve konutlardan meydana gelmektedir. İkinci sit alanı ise dik bir yamaç olup Talas'ı aşağı ve yukarı Talas olmak üzere iki bölgeye ayıran alandır. Üçüncü sit alanı ise yer altı şehirlerinin bulunduğu bölgedir (Öner, 2019). Bu çalışmada Talas tarihi kent alanındaki geleneksel dokuya katkıda bulunan ait bazı mimari unsurlara dikkat çekilmesi amaçlanmıştır.

2. TALAS TARİHİ KENT ALANINA AİT GELENEKSEL DOKU VE TARİHİ YAPILAR

2.1. Geleneksel Doku

Çoğu kentsel sit alanı içerisinde bulunan anıtsal yapılar, ilçede geleneksel dokuyu oluşturan en önemli kentsel öğelerdir.

Talas ilçesinin coğrafi özellikleri bağlamında barınma ve savunma ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla insanlar yamaç ve vadileri seçtikleri için geleneksel doku yüksek yamaçlara kurulmuştur. Talas sit alanı içerisinde yer alan geleneksel konutlar, genel olarak taş malzeme ile ve iki katlı evler şeklinde inşa edilmiştir. Arazinin eğimli olması nedeniyle evlerin konumlandırılmasında manzara yönelimi de dikkate alındığından yerleşim daha çok yamaç üzerine kurulmuştur (Öner, 2019).

Erciyes Dağı'nın volkanik faaliyetleri sonucu püsküren lavlar bölgede tuf kayaların varlığına neden olmuştur. İşlenebilirliği kolaylığı sağlaması açısından eski dönemlerde yaşayan insanlar konut olarak kaya oyma mekanlar oluşturmuşlardır. Kentsel doku incelendiğinde taş işçiliğinin gelişmiş olduğu görülmektedir. Kentsel sit alanına ait öğeler aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir.

Şekil 1'de Talas tarihi kentinin geleneksel dokusuna ait örnekler verilmiştir.



Şekil 1. Talas tarihi kentine ait geleneksel doku örnekleri

2.1.1. Sokak Dokusu

Kentsel doku içerisinde yer alan sokakların düz veya kıvrımlı oluşu, ada boyut ve biçimleri, sokak köşelerinin özellikleri, çıkmaz sokaklar, sokak ve meydanların mekânsal ilişkilerinin yanı sıra sokakların yapıların cephe oranları ile peyzaj donatı elemanları ve bitkisel dokuyla oluşturdukları bütünlük kentsel kimliğe karakter veren özelliklerdendir (Erdoğan vd., 2021). Şekil 2’de Talas ilçesine ait sokak dokularından örnekler verilmiştir.

| 316



Şekil 2. Talas tarihi kentine ait sokak dokusu örnekleri

2.2. Tarihi Yapılar

Tarihte birçok farklı etnik kökene sahip insanlar Talas sınırları içerisinde birlikte yaşamışlardır. Müslüman ve gayrimüslimlerin bir arada yaşaması anıtsal yapılarda da çeşitlilik oluşmasına neden olmuştur. Sivil mimari yapılar ile bütünleşen anıtsal yapılar Talas’ı tarihi mekân haline getirmiştir. Tarihi yapı örneklerinden dini yapılar, çeşmeler, hamamlar, okullar ve konutlar başlıklar halinde irdelenecektir.

2.2.1. Dini Yapılar

Müslümanların ve gayrimüslimlerin bir arada yaşadığı farklı kültürlere ev sahipliği yapan Talas ilçesinde farklı inançların gereksinmelerini karşılayacak nitelikte yapılar inşa edilmiştir (Büyükmihçi vd., 2009).

2.2.1.1. Talas Yeni-Yaman Dede Camii

Şekil 3’te görülen Yaman Dede Camii Tablakaya mahallesi Karabey sokakta yer almaktadır. 1886 yılında Osmanlılar zamanında Sultan Abdülhamit döneminde Metropolit İonnis tarafından Rum kilisesi olarak inşa edilen yapı Rumların mübadele ile şehirden ayrılmasından sonra 1925 yılında camiye çevrilerek ibadete açılmıştır (Büyükmihçi vd., 2009; Türkiye Kültür Portalı, 2022). Panaya Rum Kilisesi

olarak bilinen yapıya, camiye dönüştürülmesinin ardından Yaman Dede Camii adı verilmiştir (Türkiye Kültür Portalı, 2022).



Şekil 3. Talas Yeni – Yaman Dede Camii

Güney yönünde mihrap ve minber eklenerek camiye çevrilen ve haçvari plan şemasına sahip olan ibadethanenin üzeri yüksek kasnaklı merkezî bir kubbe ile örtülmüştür. Cephe biçimlenişinin ve plan şemasının özgün olduğu bilinen yapının giriş kapısının üzerinde bulunan kitabe günümüze ulaşmamıştır (Büyükmihçi vd., 2009, Kültür Portalı, 2022). Günümüzde kültürel işlevsel kazandırılmak amacıyla caminin teras kısmının altında tol biçiminde düzenlenmiş dükkanlar bulunmaktadır (Türkiye Kültür Portalı, 2022).

2.2.1.2. Talas Han Camii

Şekil 4’te görülen 1899 yılında Sultan Abdülhamid tarafından yaptırılan Han Camii Tablakaya mahallesinde eğimli bir arazi üzerine inşa edilmiştir.



Şekil 4. Han Camii

Eğimli arazi üzerine konumlandırılması nedeniyle kesme taştan ve iki katlı olarak inşa edilen caminin girişi üçgen alınlıklı düz lentolu bir kapıdır (Büyükmihçi vd., 2009; Han Camii, 2022). Yapının giriş kapısı üzerinde iki mısralık yedi satırdan oluşan mermer üzerine celi sülüs yazılı bir kitabe bulunmaktadır (Han Camii, 2022). Kare plan tipine sahip olan cami, sivri kemerler üzerine oturan bir kubbe ile örtülüdür. Yapı geçirdiği restorasyonlar sonucu malzeme ve yapım tekniği açısından özgünlüğünü büyük oranda yitirmiş olsa da plan şemasını halen korumaktadır (Büyükmihçi vd., 2009).

2.2.1.3. Talas Harman Camii

Şekil 5’te görülen ve dikdörtgen plan şemasına sahip olan ve kesme taştan yapılan Harman Camii’nin yapım tarihi kesin olarak bilinmemektedir (Büyükmihçi vd., 2009). Harman Meydanı’nda yer alan caminin giriş kapısı üzerinde Sultan Abdülmecid’in tuğrası bulunan ve mor zemin üzerine altın yaldızla

beş satırlık talik yazılı kitabesi vardır. Caminin kitabesinden 1860 yılında Sultan Abdülmecit döneminde onarıldığı bilgisine ulaşılmaktadır (Türkiye'nin Tarihi Eserleri 2019a). Avlu, revak ve harim kısımlarından oluşan yapının üst örtü sistemi olarak kubbe kullanılmıştır (Büyükmihçi vd., 2009).

Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından yapılan restorasyon çalışması sırasında caminin önündeki üç kubbeli son cemaat yerinin kubbeleri kaldırılmış ve üzeri beton bir tavanla kapatılmıştır. Son cemaat yeri dört sütunlu ve yuvarlak kemerlidir. Caminin dörtgen kaide üzerine oturan yuvarlak gövdeli ve tek şerefeli minaresi vardır. Minare yakın zamanlarda yenilenmiştir (Türkiye'nin Tarihi Eserleri, 2019a). Tarihsel süreçte birtakım onarımlar geçiren caminin malzeme özgünlüğü korunamamış olsa da mekânsal özgünlüğünün korunduğu görülmektedir (Büyükmihçi vd., 2009).



Şekil 5. Harman Camii

2.2.1.4. Ali Saib Paşa Camii

Ali Saib Paşa Caddesi üzerinde yer alan ve Osmanlı paşalarından Ali Saib Paşa tarafından yaptırılan Ali Saib Paşa Camii dikdörtgen plan şemasına sahip olup kesme taş kullanılarak inşa edilmiştir (Şekil 6). Avlu kapısının üzerinde bir kitabe yer alan ve 1887 yılında inşa edilen yapıya girmek için döneminin bezeme üslubunu yansıtan ve içinde Osmanlı ordusunun üslubunu yansıtan üçgen alınlıklı bir kapı kullanılmıştır.



Şekil 6. Ali Saib Paşa Camii

Ali Saib Paşa Camii yüksek kasnaklı kubbe üst örtüsüne sahiptir. Kubbeyi dört yuvarlak kemer taşımaktadır. Sütunların üç nefe ayırdığı camide orta nef yan neflerden daha geniştir. Ali Saib Paşa Camisi'nin ön ve arka duvarlarda dikdörtgen biçimli ikişer, yan duvarlarda ise üçer penceresi mevcuttur. Güzel bir ağaç işçiliği yapılmış minbere sahip olan caminin döşemesi ahşaptır. Kubbenin dışında kalan üst örtü kalaslarla kapatılmıştır. Caminin dikdörtgen planlı son cemaat yeri ve avlunun doğu ucundaki iki küçük odası sonradan yaptırılmıştır (Türkiye'nin Tarihi Eserleri, 2019b). Günümüze kadar yapılan onarım çalışmaları sebebiyle özgünlüğünü büyük oranda kaybeden yapının plan şeması ve giriş kapısı alınlığı korunmuştur (Büyükmihçi vd., 2009).

2.3. Çeşmeler

2.3.1. Salih Ağa Çeşmesi

Dört buçuk metre yüksekliğe, 2,58 metre genişliğe ve 0,88 metre derinliğe sahip olan Salih Ağa Çeşmesi plan ve mimari özellikleri açısından incelenecek olursa; tek kemerli ve üçgen alınlıklı olarak düzenlendiği, çeşme nişini örten profilli yuvarlak kemerin yanlarda bulunan ayaklara oturduğu görülmektedir. Kemerin oturduğu ayakların başlıklarının altında kabartma rozetler bulunmaktadır. Kemerin kilit taşı dairesel geçme şeklinde yapılmıştır (Kayseri Taşınmaz Kültür Varlıkları Envanteri, 2023) (Şekil 7).

| 319



Şekil 7. Salih Ağa Çeşmesi

Salih Ağa Çeşmesi'nin üçgen alınlığının ortasında bulunan ve beyaz mermerden yapılan dairesel formdaki kitabe kiremit rengi taşlarla çerçeveslendirilmiştir. Kitabesinden eserin Balcı Halil oğlu Salih Ağa tarafından 1926 yılında yaptırıldığı anlaşılmaktadır (Kayseri Taşınmaz Kültür Varlıkları Envanteri, 2023).

2.3.2. Harman Çeşmesi

Talas tarihi kentinde bulunan bir diğer önemli çeşme Harman Çeşmesi'dir (Şekil 8).



Şekil 8. Harman Çeşmesi

Harman mahallesinde bulunan, düzgün kesme taştan yapılan ve halen kullanılmakta olan yapı, Harman Camisi'nin kuzeydoğu köşesinde yer almaktadır. Yapım tarihi net olarak bilinemesi de yapısal benzerliği olan diğer çeşmelerle birlikte değerlendirildiğinde 19. yüzyıl sonları veya 20. yüzyılın başlarında inşa edildiği düşünülmektedir.

Dikdörtgenler prizmasını andıran ve tek kemerli olarak inşa edilen yapı üçgen alınlıklıdır. Çeşme kitabesinin iki yanına gülbezek motifleri yerleştirilmiştir. Üçgen alınlığın yüzeyinde ise herhangi bir süsleme bulunmamaktadır (Türkiye'nin Tarihi Eserleri, 2019c).

2.3.3. Ali Saib Paşa Çeşmesi

Ali Saib Paşa Çeşmesi (Şekil 9), Ali Saib Paşa Camii'nin avlu duvarıyla birlikte inşa edilmiştir. Kemerli ve nişi olmayan çeşmenin cephesi duvar içine gömülmüş pilasterlerle sınırlandırılmıştır. Nesih hatla iki mısralı üç satır olarak düzenlenen çeşme kitabesinde hicri 1305 (M. 1886-87) tarihinde Ali Saib Paşa tarafından yaptırıldığı okunmaktadır (Türkiye'nin Tarihi Eserleri, 2019b).

| 320



Şekil 9. Ali Saib Paşa Çeşmesi

2.4. Hamamlar

2.4.1. Ali Saib Paşa Hamamı

Ali Saib Paşa Camii ile aynı dönemlerde yapıldığı düşünülen ve inşa yılına dair net bir bilgiye ulaşılamayan, günümüzde de aktif olarak kullanılan Ali Saib Paşa Hamamı (Şekil 10), Harman Mahallesi Erhan Caddesi üzerinde bulunmaktadır.

Kesme taş malzemeden inşa edilen, soğukluk ve sıcaklık mekanlarından oluşan yapının kubbeli ve merkezî konumu olan sıcaklık kısmı tek eyvan ve dört köşe halvet içermektedir. Kubbe üzerine açılmış olan on üç ışık gözü ile hamamın aydınlatma ihtiyacı sağlanmıştır (Büyükmihçi vd.,). Hamama giriş, kuzey cephesinde yer alan mekânın ortasına açılan düz lentolu bir kapı ile sağlanmıştır (Türkmen, 1997).



Şekil 10. Ali Saib Paşa Hamamı

Yapıldığı dönemde, hamamın su ihtiyacını karşılamak için kullanılan toprak altındaki künkler günümüzde şehir suyunun kesik olduğu zamanlarda vanası açılarak hamamın su ihtiyacını karşılamak için devreye sokulmaktadır. Zaman içerisinde gerçekleştirilen değişiklikler yapıyı özgünlüğünden uzaklaştırmıştır (Büyükmihçi vd., 2009).

2.5. Okullar

2.5.1. Talas Rüştüye Mektebi

Talas/Harman Mahallesi, Kemal Timuçin Meydanının güneyinde yer alan ve Harman Camiinin batısına konumlandırılmış 1869 yılında Sultan Abdülaziz Han'ın emri ve Talaslıların katkıları ile yapılan Talas Rüştüye Mektebi (Şekil 11) restore edilerek ve kütüphane olarak hizmete sunulmuştur.

| 321



Şekil 11. Talas Rüştüye Mektebi

Kuzey-güney doğrultuda düzgün kesme taşlardan dikdörtgen bir mekân şeklinde inşa edilen eserin bodrum ve zemin olmak üzere iki katı mevcuttur. Ters T biçiminde düzenlenen yapının giriş kapısı kuzey cephede bulunmaktadır. Kuzey taraftaki odaların doğu ve batı yönlerine doğru çıkıntı yaptığı gözlenmektedir. Toprak sıvalı duvarlar kireç kullanılarak badana yapılmıştır. Yapının aydınlatılması için kuzey ve doğu cephelerinde dörder, batı cephesinde ise üç tane olmak üzere toplam 11 pencere kullanılmıştır. Üst kısmı yuvarlak kemer şeklinde tasarlanmış ve düz profilli bir silme kuşağıyla çerçevenilmiş olan pencereler yapının batı ve kuzey cephelerinde bulunmaktadır. Silme kuşağı ise caminin saçak seviyesini üç yönden dolaşacak şekilde yapılmıştır. Kitabesi barok tarzı yuvarlak kemerle çevrelenmiş olup giriş eyvanının üst kısmında yer almaktadır (Türkmen, 2000).

2.5.2. Talas Amerikan Koleji

1871'de kız, 1882 yılında ise erkek okulu olarak açılan ve 1968'de kapatılan Talas Amerikan Koleji (Şekil 12), 1976'dan itibaren Kayseri ili Gençlik ve Spor Müdürlüğü tarafından kullanılmaktadır.



Şekil 12. Talas Amerikan Koleji

Kayalık bir zemin üzerinde tepede yer alan ve kesme taştan yapılan okul üç katlıdır. Ortada merdiven, merdivenin sağ ve solunda odaların açıldığı salonlardan oluşan yapının 2 kapısı bulunmaktadır. Arka cephenin solunda, yapıya bitişik ve ayrı girişi olan misafirhane bulunmaktadır. Ön cephede ise yuvarlak

cepheli, yapıdan kopuk bir bölüm ile avluda ve tek katlı, kesme taştan bir yapı daha yer almaktadır ve bu kısım yemekhane olarak kullanılmaktadır. Yapı, 1974 yılında restore edilmiştir (Çalışır Hovardaoğlu ve Hovardaoğlu, 2011).

2.6. Konutlar

Arazi verileri ve demografik varyasyonlar yapıların mekânsal kurgularını etkilediğinden Talas tarihi kentinde yer alan konutların plan şemaları dolayısıyla yapı tipleri farklılık arz etmektedir. Bu farklılık özellikle ev-sokak bağlantıları bağlamında gözlenmektedir. Konutlar parsel kullanımı açısından incelendiğinde, bitişik ve ayrık düzen olmak üzere iki farklı tip plan şeması ile karşılaşılmaktadır. Hem bitişik hem ayrık parsel kullanımında genellikle taş malzeme ve yığma tekniğiyle eğimli arazi üzerine konumlandırılan yapılarda genellikle kaya oyma mekanlar kullanılmıştır. Alanda yer alan konutlar çoğunlukla iki katlıdır. Yapılar taş ile inşa edilmiş olup herhangi bir cephe kaplama malzemesi kullanılmamıştır. Yapılarda taş ve ahşap malzemeler uyum içerisinde kullanılmıştır. İklim koşulları ve mahremiyet gözetilerek, yapıların zemin katlarında özellikle sokağa bakan cephelerde küçük pencere açıklıkları veya sağır duvarlar yapılmıştır. Konutlarda en çok kullanılan cephe elemanı genellikle taş konsollar tarafından taşınan çıkmalardır. Nadiren ahşap elibögründelere de çıkma taşıyıcısı olarak rastlanılabilmektedir. Konutların giriş kapıları genellikle çift kanatlı, düz lentolu veya kemerli olup ahşaptan yapılmıştır. Malzeme kullanımı ve ölçekleri ile geleneksel dokunun önemli bir bileşeni olan konut cepheleri, Talas'ın doğal yapısıyla bütünleşerek kent kimliğinin oluşumuna katkı sağlamıştır (Büyükmihçi vd., 2009).

Aşağıda Talas tarihi kentini yansıtan konutlara örnekler verilmiştir.

2.6.1. Okutan Konağı

19. yüzyıla tarihlendirilen ve orta sofalı tipte inşa edilen Okutan Konağı (Şekil 13)'nin giriş cephesi üç kemerlidir.



Şekil 13. Okutan Konağı

Sütunlarla hareketlendirilmiş barok merdivenleri ve giriş düzenlemesi ile farklılaşan konak günümüzde restoran ve kültür evi olarak hizmet vermektedir (Türkiye'nin Tarihi Eserleri, 2019d).

2.6.2. Yaman Dede Konağı

Muammer Bey Caddesi'nde yer alan ve 1850 yılında geleneksel Türk evi tarzında inşa edilen yapı 19. yüzyılın sonlarında gayrimüslim bir vatandaş tarafından satın alınarak onarılmıştır.

Taş, ahşap ve kalem işçiliklerinin estetik örnekleri içeren, barındırdığı geleneksel nitelikleri ve tarihi konumu ile Talas için çok önemli bir kültürel değer olan Yaman Dede Konağı (Şekil 14) mübadele sonrasında hazineye devredilmiş, sonrasında Alaybeyzade Osman Ağa tarafından satın alınarak uzunca bir süre konak olarak kullanılmıştır. 1979 yılında tescillenen ve Talas Belediyesi tarafından 2007 yılında kamulaştırılan konağın restorasyon çalışmaları 2011 yılında tamamlanmıştır (Türkiye Kültür Portalı, 2021).



Şekil 14. Yaman Dede Konağı

2.6.3. Ali Saib Paşa Konağı

Kiçiköy mahallesi, Gölbaşı Meydanı'nda yer alan ve kitabesinde 19. yüzyıl öncesinde aşamalı olarak inşa edildiği bildirilmiştir. Kesme taştan iki katlı olarak yapılan konak korunması gerekli kültürel miras olarak değerlendirilmiştir. Ali Saib Paşa Konağı'nın yeniden sosyo-kültürel hayata kazandırılması için belediye tarafından gerekli çalışmalar yürütülmektedir (Şekil 15) (Talas Belediyesi, 2021).



Şekil 15. Ali Saib Paşa Konağı

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çeşitli kültürlerle ev sahipliği yapmış olan Talas tarihi kent alanı ve mimari unsurları incelendiğinde; konutlar, cami ve kiliseler, han ve hamamlar, çeşmeler gibi geleneksel dokuları barındıran yörenin doğal, tarihi ve arkeolojik özellikleri bakımından özgün bir miras değerine sahip olduğu görülmektedir.

Talas ilçesini Kayseri için önemli hale getiren önemli unsurlar; içerdiği tarihi dokunun birçoğunun günümüze kadar ulaşabilmiş olması sebebiyle geçmişle günümüz arasında bir köprü görevi yapması, kent merkezine yakınlığı ve ulaşımın kolay sağlanabilmesi, Erciyes ve Kayseri Üniversitesi'ne yakınlığı gibi faktörlerdir. Bu faktörler özellikle genç kullanıcıların alana sıklıkla uğramasını sağlamaktadır. Ancak Talas bölgesinin uzun yıllardır dikey mimari açıdan gelişmesi mevcut tarihi dokuların ve geleneksel karakterinin bozulmasına neden olmaktadır. Geleneksel dokunun sürdürülebilirliğinin sağlanması için Talas'ın tarihi bölgelerinin koruma ve canlandırma uygulamalarının açısından dikkate alınmasını gerektirmektedir. Koruma çalışmaları bütüncül bir yaklaşım ile ele alınmalı, sadece yapı ölçeğinde değil, çevresiyle birlikte peyzaj öğelerini de içine alacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Diğer taraftan tarihi dokunun sürdürülebilirliği için bölgede yaşayan bireylerin de bilinçlendirilmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] ANADOLU AJANSI (2018). “Medeniyetleri Buluşturan Mistik İlçe: Talas”, <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/medeniyetleri-bulusturan-mistik-ilce-talas/1269392#>, 12.11.2022
- [2] BÜYÜKMIHÇI, G., BAKIR, N. Y. ve ELDEK, H. (2009). “Talas Kayseri Kentsel Kültür Varlıkları Envanteri 2007 - 2009”, TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi, (7): 25-44, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tubaked/issue/57427/813976>
- [3] ÇALIŞIR HOVARDAOĞLU, S., HOVARDAOĞLU, O. (2011). “Kayseri Bağ Yerleşmelerinin Özgün Sosyo-Mekansal Yapısının Tarihsel Çözümlemesi - Yukarı Talas Örneği”, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Araştırma Sonuç Raporu, Kayseri.
- [4] ERDOĞAN, R., OKTAY, H. ve SELİM, C. (2021). “Tarihi Çevre Yenileme Çalışmalarının Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi: Muratpaşa Cami Örneği.” Journal of Architectural Sciences and Applications, 6 (1): 195-205.
- [5] HAN CAMİİ (2022). <https://www.talasta.com/han-camii/> 22.11.2022
- [6] KAYSERİ TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARI ENVANTERİ (2023). “Kayseri Taşınmaz Kültür Varlıkları Envanteri” ss:1200, <http://kutuphane.kayseri.bel.tr/Content/ebook/3-cilt/files/basic-html/page194.html>, 04.01.2023
- [7] ÖNER, B. (2019). Kayseri Talas Tarihi Kent Dokusunun Peyzaj Mimarlığı Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- [8] TALAS BELEDİYESİ (2021). “Ali Saib Paşa Konağı”, <https://www.talas.bel.tr/tr/proje/ali-saip-pasa-konagi-restorasyon-projesi#:~:text=1928%20tarihli%20kitabesi%20bulunan%20yap%C4%B1,sosyal%2Dk%C3%BClt%C3%BCrel%20hayata%20kazand%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1%20ama%C3%A7lanm%C4%B1%20C5%9Ft%C4%B1r>, 15.12.2022
- [9] TÜRKİYE KÜLTÜR PORTALI (2022). “Yaman Dede Camii”, <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/kayseri/gezilecekyer/yaman-dede-camii-panaya-kilisesi>, 04.11.2022
- [10] TÜRKİYE’NİN TARİHİ ESERLERİ. (2019a). “Talas Harman Camii (Kilise Cami)”, <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=2097>, 14.10.2022
- [11] TÜRKİYE’NİN TARİHİ ESERLERİ (2019b). “Ali Saib Paşa Camii ve Çeşmesi”, <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=140>, 04.11.2022
- [12] TÜRKİYE’NİN TARİHİ ESERLERİ (2019c). “Talas Harman Camisi Çeşmesi”, <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=2119>, 04.11.2022
- [13] TÜRKİYE’NİN TARİHİ ESERLERİ (2019d). “Talas Okutan Konağı”, <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=2098>, 08.11.2022
- [14] TÜRKMEN, K. (1997). “Talas’ta Türk Devri Yapıları.”, Vakıflar Dergisi, 26: 153-192. Erişim adresi: <http://www.vgm.gov.tr/vgmdergi/dergiindex.aspx?Id=1>
- [15] TÜRKMEN, K. (2000). “Talas Rüştüye Mektebi.”, Sanatsal Mozaik, Nisan 2000: 38-4.
- [16] YILMAZ, N. (2005). Kent Merkezlerindeki Kentsel Sit Alanlarında Değişim Sürecinin Değerlendirilmesi. Kayseri Kentsel Sit Alanı ve Talas Kentsel Sit Alanları Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Makale id= 84

Sözlü Sunum

ORCID ID:

| 325

Lineer Kamusal Mekanlarda Yürünebilirlik Üzerine Bir AraştırmaAraştırmacı Gülşah Çavuşoğlu¹, Assoc.prof.Dr. Abdullah Kelkit¹¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Corresponding author: Gülşah Çavuşoğlu

Özet: İnsanın yaşadığı kent ile bağ kurma yöntemlerinden biridir yürümek. Kent tarihi incelendiğinde sanayi devrimi sonrası yaşanan kent gelişim ve yayılımıyla motorlu taşıtların bir ulaşım şekli olarak gündelik hayatımıza dahil olması kent sakinlerinin yaşadıkları mekan ile kurduğu bu bağa zarar vermiş ve otomobil odaklı kentlerin getirdiği ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlarla karşılaşmıştır. XIX. yüzyıla ait sürekli değişim ve ilerleme fikri bugünün kentleri için istikrar ve denge sorununu ortaya çıkarmış, araçlara ayrılmış alanlar sebebiyle yaşam alanlarımız hızla bir otopark kenti haline gelmiştir (Mumford, 2007). Tarih boyunca kentlerin yayılımını engellemiş olan sınırlayıcı koşullar bulunduğumuz yüzyılda artık yok olmuştur. Brundtland Raporu ile yaşamımıza dahil olan "sürdürülebilirlik" kavramı hedef ve çerçevesinde farklı meslek disiplinlerinin ortak çalışma alanı olan kent tasarım ve planlarında akıllı teknolojiler, maliyeti ve sosyal adaletten uzak olması sebebiyle kentleşme kaynaklı sorunlara tek başına çözüm önerisi getirememektedir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına aşırı bağımlılığın azaltılması, kentsel alanların yaşanabilirliğini ve dayanıklılığını artırmak, iklim değişikliğine dirençli hale getirmek için akıllı kent, 15 dakikalık kentler, arabasız (car free) kentler, yeşil ekonomi gibi farklı kent planlama çalışmalarında kentsel yaşanabilirliği artırmak için lineer kamusal alanlar önemli bir tasarım ve planlama aracı olarak görülmüştür. (Southworth, 2005)'e göre; yollar, ulaşım ihtiyacını karşılamak adına inşa edilmelerinin yanı sıra kentsel peyzajın bir parçası olarak kullanıcı deneyimini geliştiren önemli birer kentsel öğedirler. Kentsel yayılımı dikkat çekici hızla ulaşan Çanakkale kentinin yürünebilirlik kriterleri doğrultusunda mevcut durumunun ortaya konması ve Peyzaj mimarlığı meslek disiplini çerçevesinde; sahip olduğu boğaz koridorunun yanı sıra kent içinde sürdürülebilir hareketliliği sağlayacak fikirler geliştirerek kentsel yaşanabilirliği artırmak hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çanakkale Kent Merkezi, Yürünebilirlik, Kentsel Sürdürülebilirlik, Lineer Kentsel Mekanlar, Kentsel Tasarım, Planlama

A Study On Walkability in Linear Public Spaces

Abstract: Walking is one of the methods of connecting with the city where people live. When the history of the city is examined, the development and spread of the city after the industrial revolution and the inclusion of motor vehicles as a mode of transportation in our daily lives have damaged the bond that the residents of the city have established with the place they live in, and the economic, social and environmental problems brought by automobile-oriented cities have been encountered. XIX. The idea of continuous change and progress belonging to the century has revealed the problem of stability and balance for today's cities, and our living spaces have quickly become a parking lot city due to the spaces reserved for vehicles (Mumford, 2007). The concept of "sustainability" cannot offer solutions to urbanization-related problems on its own, due to its cost and distance from social justice, and smart technologies in urban design and plans, which are the common working area of different professional disciplines. In order to reduce excessive dependence on non-renewable energy sources, to increase the livability and durability of urban areas, to make them resistant to climate change, linear public spaces are an important design to increase urban livability in different urban planning studies and as a planning tool. According to (Southworth, 2005); Roads are important urban elements that improve the user experience as a part of the urban landscape, as well as being built to meet the transportation needs. To reveal the current situation of the city of

Çanakkale, whose urban expansion has reached a remarkable speed, in line with the walkability criteria and within the framework of the landscape architecture professional discipline; In addition to the Bosphorus corridor it has, it is aimed to increase urban livability by developing ideas that will provide sustainable mobility in the city.

Keywords: Çanakkale City Center, Walkability, Urban Sustainability, Linear Public Spaces, Urban Design, Planning

1. Giriş

Kent, tarımsal üretim ve yerleşik hayata geçiş ile ortaya çıkan insanlık tarihinin ilk dönemlerinde var olmayan bir yerleşim şeklidir. Kentleşmeye geçişte ilk dikkat çeken veri, nüfus artışı ve bölgesel yayılmadır. Fakat bir yerleşimin kent olarak adlandırılması için bunlar yeterli değildir [1]. Kent, toplum yapısında artan oranda örgütlenme, iş bölümü ve uzmanlaşma yaratan, insan davranış ve ilişkilerinde değişikliklere yer açan nüfus birikim sürecidir [2].

Kent nüfusunun hızlı artışı, kent yayılımları, kent içi hareketlerin, günlük ihtiyaçların ve kamu hizmetlerinden (iş, okul, ev, sağlık) yararlanmanın bile motorlu araçlar ile gerçekleştirilmesi, algılanabilir insan ölçeğinden çıkan kentlerin, geçirimsiz yüzeylerin; kent sakinleri üzerinde ekonomik, ekolojik, sağlık ve sosyo-psikolojik zararları olmuştur. Bu zararlardan kaynaklanan mekânsal ve sosyal çözülmenin etkilerini anlayabilmek ve etkili plan kararları alabilmek için öncelikle kent tarihinde sosyo-ekonomik ve düşünsel hayatın mekanı nasıl biçimlendirdiğine hakim olmak gerekir. Kent tarihine baktığımızda kamusal mekan anlayışını ve kent yayılımını şekillendiren 6 temel aşama olduğundan bahsedebiliriz (Şekil 1).



Şekil 1. Kent tarihinde kamusal mekan anlayışının değişimine sebep olmuş dönemler.

Mumford, ilk kentlerin kuruluşu ile alakalı temel gelişmelerin yazılı tarihten önce olduğunu “kent açık seçik görünür olmaya başladığında çoktan eskimişti” diyerek belirtmiştir. İlk kentler bir yerden bir yere kolayca yürünebilecek veya bir uçtan bir uca sesin kolayca duyulabileceği mesafeden fazla büyümemiş; kentin yayılımı, uzak bölgelerdeki insanlara ve kaynaklara hükmetme olanağı tanıyan ulaşım ve taşımacılık gelişmeleriyle paralel gerçekleşmiştir [1].

Zaman içerisinde kent içindeki iş bölümü ve üretimsel uzmanlaşma toplumu geçimlik ekonomiden bolluk ekonomisine geçirmiştir ve kent insanı güç ve çevresel denetim alanındaki devasa büyümenin karşılığını kişisel hayatındaki daralmayla ödemiştir. Fakat bolluk ekonomisi bu olumsuz durumun yanı sıra spor, drama, şiir, heykel, resim, mantık, matematik ve felsefe gibi zihinsel ve tinsel alanda gelişmeleri başlatmıştır. Kentsel mekana etkisi olarak ise; atletik müsabakaların gerçekleştirilebileceği, spor yapanların tüm ihtiyaçlarını karşılayabilecekleri spor alanları; sosyal ve sanatsal hayatın zenginleşmesi bir tepenin yamacında bulunan oyuk, yarım daire biçimindeki amfi tiyatroların inşa edilmesi, herkese açık kemerli yürüyüş yolları oluşturulması örnek olarak verilebilir [1].

Yunan medeniyetinde, kentsel mekân, agorayı ve onun etrafında şekillenen odeon, hamam vb. gibi o kentin kutsal tanrısı/tanrıçası için yapılan tapınağın arasında kurulan yol bağıyla tanımlanmaktadır. Yunan medeniyetinde sosyal ve politik ilişkiler ana kentsel mekânları oluştururken, Roma medeniyetindeki mekânlarda ise düzen ve gücün bir arada denetlendiği, askeri/politik görüşlerin birbirleriyle rekabet halinde olduğu, devamlı gerilimin/değişimin olduğu görülmektedir [3]. Helenistik kentlerden farklı olarak Roma kentleri; kuzeyden güneye doğru uzanan ‘cardo’ ile doğudan batıya doğru uzanan ‘decumanus’ olarak bir omurga üzerinde planlanmışlardır. Roma’da nüfus artışı bir tekerlekli araç trafiği talebi yaratır yaratmaz trafik sıkışıklığı dayanılmaz hale geldi [1].

| 327

Rönesans döneminin kamusal alanlara katkısı ise; taş ve tuğla yol döşemeleri, taş merdivenler, heykelli çeşmeler ve anıt heykeller gibi sokak mobilyalarıydı. Takip eden süreçte barok kentinin en önemli simgesi ve temel unsuru bulvarlar kamusal alanlar olarak gelişti. Bu dönemlerden, XVII. yüzyıla kadar kentin açık ve kamusal alanları kökten bir değişim geçirmemiş, yeni bir biçim kazanmamıştır. Kamusal mekanlar açısından tipik orta çağ kenti, kent sakinlerine yüksek bir standart sunmuştur [1].

Sanayi öncesi kentlerinin sokakları zorunlu olarak yürünebilirdi, ticaret ve iş alanları arasında ulaşım yürüyerek veya atlı ve yük arabaları ile sağlanmaktaydı. Aktif kullanımlar konut yoğunluğu yüksek ve kent içindeki tüm alanlar sürekliliği sağlanmış yaya yollarıyla birbirine bağlanmıştır [4]. Sanayileşme, o güne kadar görülen en yoz kent ortamının oluşmasına neden oldu. Kentte aşırı nüfus artışına neden olan etkenlerden biri dünya piyasası için üretim yapan fabrikalar, bir diğeri ise 1830’dan sonraki demiryolu ulaşım sistemidir [1]. Ulaşım teknolojisindeki her gelişme kent içindeki yaya ortamı üzerinde negatif etki oluşturmuştur. Yürünebilir kentler 1920’lerde otomobilin ortaya çıkışıyla birlikte sona ermiştir. Yüksek hızlı trafik akışı için serbest yaya dolaşımına engeller getirilmiş, yaya deneyimini görmezden gelen sokak, samimi ölçeğini ve şeffaflığını kaybetmiştir. Sokak kamusal yaşamdan yoksun, sadece bir servis yolu haline gelmiştir [4].

2. Kentsel Sürdürülebilirlik ve Yürünebilirlik

Sürdürülebilir gelişme, bugünkü kuşakların ihtiyaçlarının karşılanmasında, gelecek kuşakların ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir dengenin kurulmasını öngören bir gelişme biçimidir [4]. Sürdürülebilir kent ise; “insan gereksinimlerine günümüz kentlerinden daha iyi yanıt veren ve kent sistemlerinin gelecek kuşakların gereksinimlerinin karşılanmasını engellemeyecek bir biçimde geliştirilmesini sağlayan kent” olarak tanımlanmıştır [6].

Motorlu araçlar kent içinde kısa zamanda kat edilen mesafeyi artırmaları ile kent gelişim süreçlerini doğrudan etkileyerek kentsel yayılımı artıran bir ivme ile artırmışlardır. Sosyalliğini kaybeden sokak ve caddeler geleneksel mahalle anlayışının zayıflamasına, bireyin yalnızlaşmasına sebep olacak şekilde toplum yapısının değişmesine; hareketliliğin azalmasına, insan sağlığını tehdit eden hava kirliliği, temiz gıda ve temiz su kaynaklarına erişim problemlerinin ortaya çıkmasına, yapıların insan ölçeğinden uzaklaşmasına sebep olmuştur.

1972 BM İnsan ve Çevresi Konferansı’nda başlayan uluslararası toplantılar kentsel planlama politikalarını etkilemiştir. Bunun sonucunda 21. yüzyılda kent planlamanın temel ilkesi; sürdürülebilir kentsel yaşamı sağlamak olmuştur.

Sağlık, güvenlik, memnuniyet, refah ve fiziksel çevre gibi farklı alanlara ilişkin politika geliştirilmesine yönelik araştırmalarda, sürdürülebilirlik kavramıyla birlikte çevresel kalite, yaşanabilirlik ve yaşam kalitesi gibi farklı kavramlar da kullanılmaktadır [7]. Yaşanabilirlik ve yaşam kalitesi kavramları ise kentsel hareketlilik ile doğrudan ilişkilidir.

Nietzsche; “Mümkün merteye az oturmalı; açık havada yürürken doğmayan, şenliğine kasların da katılmadığı hiçbir düşünceye güvenmemeli” demiştir [8]. Oysa makinaların hızlanması ve yaşamın makinalara ayak uydurması insanın atılaşmasına neden olmuştur. Görüp hissedilen beden ile yaşayan beden arasındaki fark giderek açılmakta, duran birey, beden ve zihnin birlikte çalışabileceğini, düşünmenin fiziksel ve ritmik olabileceğini unutmaktadır [9].

Vermont Eyaleti Ulaşım Ajansı’nın yayınladığı Vermont Yaya ve Bisiklet Yolu Planlama ve Tasarım Kılavuzu 2002’ de “Herkes yayadır; yürümek her yolculuğun bir parçasıdır” şeklinde tanımlanmaktadır [10]. Boulder 2019 Ulaşım Planı’nda yürünebilirlik kavramı içerisine; tekerlekli sandalye kullanıcısının ulaşım sistemi içerisinde güvenli ve rahat bir şekilde hareket edebilmesi ifadesi girmiştir [11].

Yürüme, her yaşta insan için sağlıklı ve basit bir ulaşım şeklidir [12]. Yapılan araştırmalar, düzenli yürüyüş yapan insanlarda, kalp-damar hastalıkları, hipertansiyon, felç, şeker hastalığı, obezite ve kanserin daha az görüldüğünü; yürüyüşün insanı birçok akıl ve ruhsal hastalıktan, yalnızlık ve depresyondan koruduğunu; bireyin toplumsallaşmasını, kendisine olan güvenini ve yaşam kalitesini artırdığını; böylece toplum sağlığına çok yönlü katkılarda bulunduğunu göstermektedir [13]. Yürüyüş literatürde ağırlıklı olarak rekreasyonel bir hareket olarak tanımlansa da; son on yılda trafik kaynaklı problemlerin çözümünde yeşil bir ulaşım şekli olarak ulaşım ve kent planlama projelerinde sosyal adalete uygun bir yaklaşım olarak yerini almıştır.

| 328

Yürünebilirlik, bireyin bir yerden bir yere yürüebilme olanağıdır. Bu olanağı sağlayan koşullar, kentsel mekânda varsa bu mekân yürünebilirdir [14]. Yürünebilirlik, mekanın fiziksel özelliklerinin yanı sıra kullanıcının yürümeyi tercih etmesi ile alakalı bir kavramdır. Bireysel tercihler, kültürel değerler ve iklim gibi faktörlerde yürüme eğilimini etkiler. Yürünebilirlik algısını; kentsel yapı çevrenin fiziksel ve algısal niteliği (tasarım ölçütleri) ile bireysel özellikler olmak üzere iki temel faktör etkilemektedir [15]. Yürünebilirlik terimi, kentsel sorunlara bütünsel bir çözüm sağlayan birden fazla ölçülebilir boyuttan oluşan daha iyi bir kentsel mekan için tasarım aracı olarak kullanılmaktadır [16]. Yürünebilirlik, sürdürülebilir kentlerin temelidir. Yürünebilirlik, çekiciliği ve canlılığı yüksek, çeşitlilik ve farklılıkları barındıran kamusal mekânların üretilmesinde yeni kent planlama ve tasarım akımlarında bir strateji olarak kullanılmaktadır (Şekil 2).

Otomobil Odaklı Kentler	Sürdürülebilir Hareketlilik Kentleri	Mekânlardan Oluşan Kentler
Yol yapımı Araç park etme Düşük yoğunluk Yayılm	Toplu taşıma Bisiklet ve yaya ağları Yol alanının yeniden tahsis	Kamusal alan Sokak etkinlikleri Trafik kısıtlaması Karma kullanım

Şekil 2. Avrupa Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları Platformu, Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SUMP) Hazırlama Ve Uygulama Rehberi II. Baskı, 2019'a göre otomobil odaklı kentler ve sürdürülebilir hareketli kentler [17].

3. Yüksek Yürünebilirlikli Çevre Kriterleri

Yürünebilirlik, kentsel alanlarda yürüme kabiliyetini test etmek için kullanılan bir tür performans göstergesidir. İnsanı, mekanın ve tasarımın merkezine yerleştirirken, temelde insan deneyimini etkileyen kentsel mekanların çevresel niteliklerine odaklanır [18]. Yürünebilirlik, fiziki mekânda ölçülebilir bir kavramdır. Kamusal mekânın yürünebilirlik kapasitesini değerlendirmek için bir dizi niteliksel ve niceliksel kentsel tasarım ölçütü tanımlanabilir. Çekicilik ve rahatlık, güvenlik ve yaya yolu ağının niteliği, kamusal mekânın niteliği, yaya erişim ağının farklı türleriyle doğrudan bağlantılı olması, sokak dokusunun niteliği, yol ağı bağlanabilirliği, açık alan sistemleri arasındaki bağlantılar, erişilebilirlik, ulaşım ve dolaşım sisteminin niteliğiyle ilgili ölçütlerdir (Şekil 3) [19].

			Çekicilik Rahatlık
		Dumansız Hava	Güvenlik
		Konut	Bağlantılılık
		Yoğunluk	Sokak Dokusu
		Toplum Güvenliği	Yol Ağı Bağlanabilirliği
	Sürdürülebilirlik	Ulaşım	Açık Alan Sistemleri
	Canlılık	Yürünebilirlik	Yaya Yolları Niteliği
YAŞAM KALİTESİ	Yaşanabilirlik	Açık/Yeşil Alanlar	Erişilebilirlik
	Keyif Alma	Karşılabilirlik	
	Eşitlik	Gürültü Kirliliği	
	Refah-Zenginlik	Çeşitlilik	

Şekil 3. Yaşanabilirlik ve yaşam kalitesi bağlamında yürünebilirlik kriterleri [19].

Mekânın çekiciliği ve rahatlığı ölçütüne göre yürünebilir çevreler, yaya yollarının, kaldırımların bakımlı ve temiz olduğu; kamusal mekânda yayaların ilgisini çekecek peyzaj, manzara, sanat eserleri, tarihi binalar ya da eserlerle donatılmış; ilgi çekici sokak sahneleri ve varış yerlerinin bulunduğu mekânlardır [20].

Yürünebilir bir çevrede yayaların güvenliği; fiili ve algılanan güvenlik olmak üzere iki ayrı başlık altında incelenebilir. Güvenli sokaklar, insanları yürümeye teşvik eder ve mekânın canlılığını artırır [21]. Fiili güvenlik; mekânın fiziki öğeleri aracılığıyla yaya güvenliğinin artırılmasını amaçlar. Lambert 2005'e göre, araç trafik hızını sınırlayacak kasislerinin yollara yerleştirilmesi, yaya geçitlerinin yükseltilmesi ve güvenli yaya geçitlerinin oluşturulması, gerekli yerlerde yol şeritlerinin daraltılması, araç ve yaya trafiğinin ayrılması gibi uygulamalar fiziki mekânın doğrudan güvenliğini artırır [4]. Algılanan güvenlik ise yayanın bulunduğu mekânda kendini ne kadar güvende hissettiğiyle alakalı bir kavramdır. Araç trafiğinin yoğun, gürültü düzeyinin ve suçluluk oranlarının yüksek olduğu bölgeler, genelde yayaların kendilerini güvende hissetmediği alanlardır; bu tür alanlarda yürüme oranlarının düşük olduğu gözlemlenebilir [21]. Kamusal mekânların canlılığını yitirmesi, kamusal mekân üzerinde doğal gözetleme (eyes on the street) olasılıklarının azalmasına ve çevrenin suç işlemeye daha uygun hale gelmesine neden olur [22] Yürünebilir mekânlarda canlılık artacağı için yürünebilirlik kavramının kent içi fiili ve algılanan güvenliği artırdığı çıkarımını yapabiliriz. Yürünebilirlik ile güvenlik arasında doğru orantı vardır.

Sokak dokusu ve yaya yolu niteliği, kamusal mekânda yayanın rahatını artırmayı amaçlayan fiziksel tasarım kalitesidir. Her yaşta ve yetenekte insanın kesintisiz ve herhangi bir engelle karşılaşmadan yürüyebilme kapasitesini ifade eden engelsiz erişimde sokak dokusu niteliğinin bir bileşenidir. Dezavantajlı gruplar da dahil olmak üzere bütün yayaların, güvenli ve engelsiz yürüme için gereken tüm tasarım özelliklerinin bulunması, kamusal mekân ağının yayanın ihtiyaçlarına yönelik donatı ve hizmet alanlarıyla (sokak mobilyaları, tuvaletler, çocuk emzirme alanları, yaya geçitleri) tamamlanması, kaldırım genişliği, yol döşeme niteliği, sokak mobilyaları, tabela ve trafik işaretleri, sokak aydınlatması, ağaçlar, çiçek saksıları gibi peyzaj öğelerinin konumları, yaya yolu ağının kalitesini etkiler [4]. Mekansal niteliklerin dışında, banklarda ve kafelerde oturan insanların varlığı sokak ve caddelerin yürünebilirliğini artıran nitelikler; bina ve dükkanların büyük ve cephe tasarımlarının kapalı, bloklar halinde olması olumsuz nitelikler olarak tespit edilmiştir. Kaldırım genişlikleri, sokağın nerede

olduğuna, yaya ve araç trafiğinin yoğunluğuna, kaldırımı çevreleyen kentsel kullanımlara ve bu kullanımların konumlarına, ayrıca kullanıcı tercihlerine bağlı olarak belirlenir [23].

Açık/yeşil alan sistemleri yaşanabilir ve yürünebilir çevreler için önemli bir ölçüttür ve yeşil alanlara erişim yürünebilirlikle doğrudan ilişkilidir [24]. Kaldırımlardaki ağaçların birbirine yakın dikilmiş olması, sokağın görsel olarak daha dar algılanmasını, trafiğin yavaşlatılmasını, yaya güvenliğinin artırılmasını ve görsel olarak sokağın güzelleşmesini sağlar [25].

Kentsel mekânda yönelimin sağlanabilmesi, tercih edilebilirliği sağlamak için, geçirgenlik ve okunabilirlik gereklidir. Geçirgenlik, bir çevrenin insanlara bir yerden diğerine ne kadar fiziksel ve görsel erişim imkanı sağladığını gösterir; okunabilirlik ise, insanın bir kentsel çevrenin planını ne kadar algılayabildiğini ve bilişsel olarak anlayabildiğini gösterir. Eğer kent sakinleri mekânın zihinsel haritasını kentsel öğeleri kullanarak çıkarabiliyorsa, o mekân yönelimler açısından başarılı demektir [26]. Kolody, 2002'ye göre; kısa ve doğrudan erişim sağlayan güzergâh seçenekleriyle oluşturulan sokak örüntüleri, hem geçirgenliği, hem de okunabilirliği yüksek olan mekân örüntüleri sunarlar [19]. Bağlanabilirlik oranı (Bo), iki kesişim (kavşak) arasındaki yol sayısının, kesişim sayısına bölünmesiyle bulunur [$Bo = \text{Yol sayısı} / \text{kesişim sayısı}$]. Geleneksel ızgara planında Bo, 1.65'tir. Bu oran, yüksek düzeyde bağlanabilirliği gösterirken, eğrisel sokak dokuları daha düşük Bo'lara sahiptir (Şekil 4). Bo arttıkça, yapı adaları küçülür; daha detaylı bir sokak dokusu oluşur; bir noktadan diğerine varış için alternatif yollar arttığından dolayı bu tür kentsel çevreler daha yürünebilir kabul edilir [4].

	Gridiron (c. 1900)	Fragmented Parallel (c. 1950)	Warped Parallel (c. 1960)	Loops and Lollipops (c. 1970)	Lollipops on a Stick (c. 1980)
Street Patterns					
Intersections					
Lineal Feet of Streets	20,800	19,000	16,500	15,300	15,600
# of Blocks	28	19	14	12	8
# of Intersections	26	22	14	12	8
# of Access Points	19	10	7	6	4
# of Loops & Cul-de-Sacs	0	1	2	8	24

Şekil 4. Sokak gelişim desenleri ve bağlanabilirlik düzeyleri [4].

4. Lineer Kamusal Mekanlar

Kamusal alanlar; sokak, meydan, park ve bunları çevreleyen binaları kapsayan, kamuya ya da özel sektöre ait sosyal hayatı destekleyen ve sosyal etkileşime olanak sağlayan mekanlardır. İyi tasarlanmış, yaya öncelikli, kullanımları gündelik hayatı destekleyen kamusal alanlar çevre ve sağlık sorunlarının çözümü için imkan sağlarlar. Kent sakinlerinin kamusal hizmetlere ulaşabilmesi temel haklardan, ulaşılabilirlik ise kentsel yaşanabilirliği etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Kentlinin sokağı kullandığı, sakinlerin birbirine aşına olduğu bir sosyal mahalle kent içinde algılanan güvenliği artırır. Farklı yaş gruplarının bir arada vakit geçirebileceği çok fonksiyonlu mekânsal çözümler nesiller arası teması artırarak sosyal sürdürülebilirliği sağlar.

Düzenlenmiş yaya alanları (parklar, rekreasyon ve spor alanları vb.), alışveriş alanları (pazar yerleri, alışveriş caddeleri vb.), transit alanlar (sokaklar, yollar, ulaşım aksları, kaldırımlar vb.) ve zonlar

(meydanlar) olmak üzere dört farklı gruba ayrılan kamusal mekanlardan; sokaklar, caddeler ve bulvarlar gibi ulaşım koridorları, tanımlı kentsel bütünlüğü oluşturan en temel mekanlardır [27].

Kentsel sistem içerisinde, hareketin alışlagelmiş ya da potansiyel hatlarının ağı, yani yollar, bütünü düzenlendiği en etkili araçtır. Sirkülasyon hattı temel kentsel işlevlerden birinin sembolüdür. Yollar; kenarlar/sınırlar, bölgeler, düğüm/odak noktaları, işaret öğeleri ile birlikte kent imgesinin bir bileşenidir. Giderek büyüyen kentlerimizde algılanabilirlik için kent imgesini oluşturan bu bileşenlerin bütüncül orkestrasyonu şarttır. Renk, doku, malzeme, zemin, ölçek, cepheler, ışıklandırma, bitkilendirme ve silüet gibi parçaların anlamlı olarak bir araya gelmesi mekanın bütünleşme özelliğini artırır [26].

Kent merkezini diğer yaşam bölgelerine bağlayan çok şeritli yollar yürünebilirlik potansiyeline sahiptir bu sebeple araştırma ve güçlendirme çalışmaları ile odak noktası olarak değerlendirilebilirler [28]. Koridorlar kent imgesinin iskeletidir. Kenti yollar ve yollar arasındaki ilişkilere göre algularız [26].

Kentsel koridorlar aynı zamanda kentsel alan ağını birbirine bağlayan bir bağlantı şeklidir. Bu sebeple çeşitli faaliyetlerin gerçekleştiği bir kentsel hareket alanıdır. Bu tanımlardan yola çıkarak bir kentsel koridorun iki temel özelliğinden söz edilebilir. Bunlardan biri kent içi faaliyetler için bir 'alan' olma, diğeri ise farklı alanları birbirine bağlayan bir 'bağlantı' olma. Başarılı bir koridor; toplulukların uzun vadeli hedeflerini destekleyen, çeşitli arazi kullanımlarını içeren, çeşitli ve bağlantılı bir ulaşım seçeneği sunmalıdır [29].

5. Materyal ve Yöntem

Gelibolu yarımadası ve bir su koridoru olma özelliği taşıyan Çanakkale Boğazı, kentin bugünkü kimliğinin oluşmasında etkili olmuştur (Şekil 5). Tarımsal gücü, etkin peyzaj özellikleri, ekolojik çeşitliliği, tarihi dokusu ve kültürel çeşitliliği, coğrafi konumu ile gelişim ve yeniliğe açık bir geçiş bölgesi olması sebebiyle yaşadığı büyüme baskısı karşısında Çanakkale kent merkezi hızlı bir yayılım göstermektedir. Bu hızlı yayılım ve büyüme ile sahip olduğu kentsel değerleri ve insan ölçeğini kaybetme riski sebebiyle sürdürülebilirliği tartışma konusu haline gelmiştir.



Şekil 5. Çanakkale kent merkezi.

Çalışma kapsamında, Çanakkale kenti yayılımının kentin sahip olduğu değerlere ve insan ölçeğine zarar vermesi probleminden yola çıkarak, kentsel gelişim sürecindeki sürdürülebilir ve yaşanabilirliği sağlayabilmek için lineer kamusal mekanlarında kentsel hareketliliği artıracak yaklaşımlar üzerinde çalışılmıştır. Kente ait ilk uydu görüntüleri üzerinden Çanakkale Kent Merkezinin çeperlerindeki değişim ve kentsel yayılımı incelenmiştir. Yayılım yönü ve yayılım aksları göz önüne alınarak bugünkü kent omurgasını oluşturan lineer kamusal alanlar tespit edilmiştir. Yürünebilirliğin değerlendirilebilmesi için bu alanlar arasından farklı kullanım nitelikleri gösterenler seçilerek bir test yürüyüşü rotası

oluşturularak yürünebilirlik deneyimlenmiş, rota boyunca geniş görüş açısı sağlayan noktalarda duraklanarak, yaya hareketleri gözlenmiştir. Çalışma konusu ile alakalı yapılmış literatür çalışmalarına dayanarak belirlenen yürünebilirlik değerlendirme kriterlerine (Tablo 1) uygun veriler not edilmiştir.

Tablo 1. Çalışma konusu ile ilgili literatür çalışmalarına dayanarak belirlenen yürünebilirlik değerlendirme kriterleri

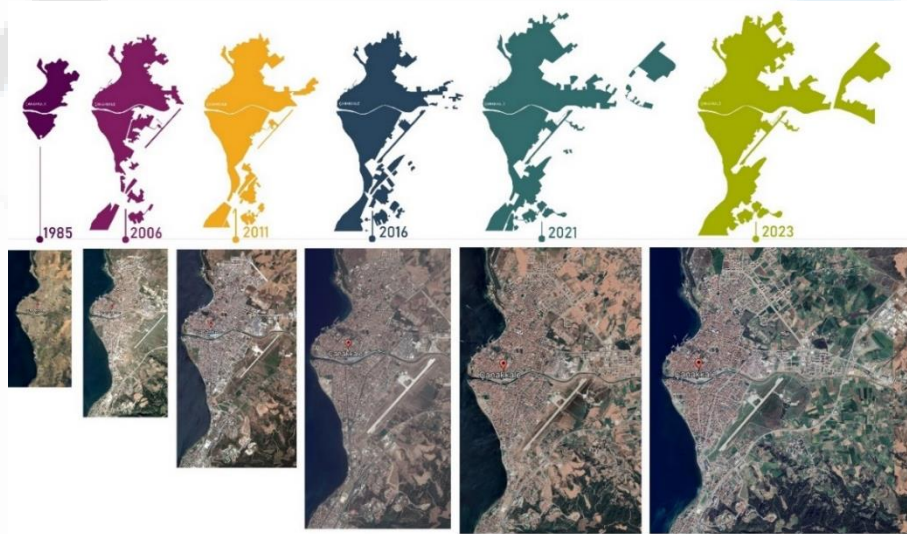
Çekicilik	Ölçek	İnsanların fiziksel ihtiyaçlarına uygun, psikolojik ve kültürel özellikleri dikkate alınarak tasarlanmış sokaklar ve az katlı binalar
	Estetik	Yaya yolu ve diğer yapısal elemanların görsel kalitesi
		Ön bahçe, hareketli zemin katlar, şeffaflık (balkon, kaldırım yeme içme aktiviteleri, çok sayıda kapı ve pencere bulunması)
Güvenlik	Trafik güvenliği	Dezavantajlı gruplarda dahil olmak üzere bütün kent sakinlerinin bir arada bulunabileceği kentsel mekan özellikleri
		Trafik yavaşlatma uygulamaları
		Yaya geçidi ve yaya öncelikli yol uygulamaları
	Algılanan güvenlik	Araç trafiğine kapatma uygulamaları
		Dengeli insan yoğunluğu
		Uygun aydınlatma
Sokak peyzajı ve Yaya yolu niteliği	Sokak temizliği	
	İhtiyacı karşılayacak nitelikte ve sayıda oturma birimlerinin bulunması	
	Kaldırım sürekliliği ve uygun kaldırım genişliği	
	Koridorun niteliğine uygun kullanımı artıracak sayıda ve nitelikte aydınlatma elemanları	
	Dezavantajlı grupların kullanıma uygun sokak tasarımı	
	Olumsuz iklim koşullarını (Yağış, sıcak, rüzgar) yumuşatacak bitki varlığı	
	Çevresel estetiği destekleyecek bitki varlığı	
	Cephe ve yapı yoğunluğunu yumuşatacak bitki varlığı	
Algılanan güvenliği destekleyecek bitki varlığı		
Açık/yeşil alan	Koridor boyunca ve yakın çevresinde açık yeşil alan varlığı	

Erişilebilirlik	Farklı kullanımlar arası yürünebilir mesafelerin olması
	Bağlanabilirlik oranı, sokak ağlarının sıklığı
Kullanımların ve ulaşımın çeşitliliği	Gündelik yaşam ihtiyaçlarının bir arada karşılanabileceği mekanların bir arada olması
	Kentsel yayılımı engelleyici kompakt arazi kullanımı (Konut, ticaret, servis, rekreasyon alanlarının iç içe olması)
	Toplu ulaşım erişilebilirlik
	Bisiklet yolu ve park alanları

| 333

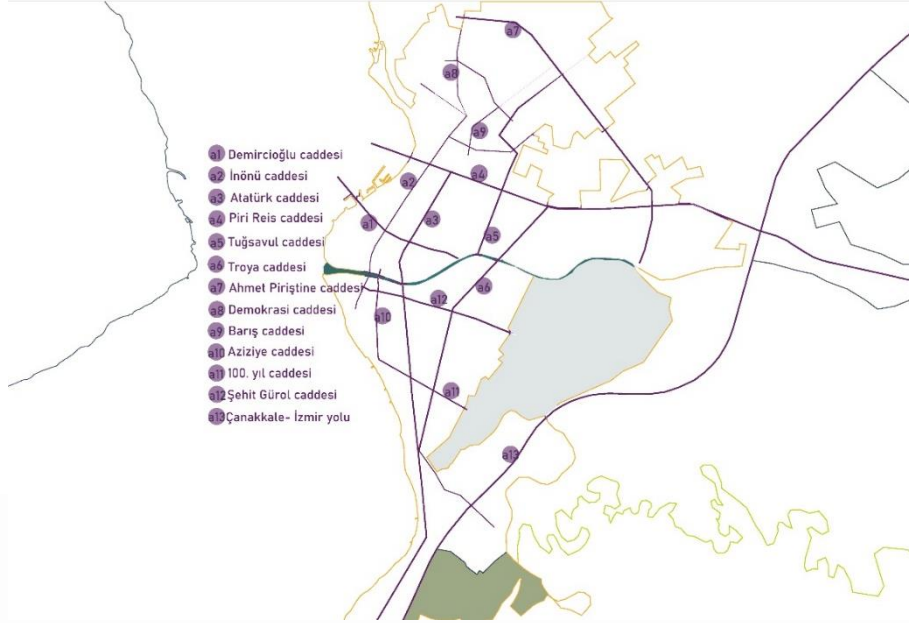
6. Araştırma Bulguları ve Sonuç

İlki 1985 yılına ait Çanakkale kenti uydu görüntülerinin ikincisi 2006 yılına aittir ve bu yıldan günümüze kadar olan zaman sürecinde her seneye ait birden fazla görüntü mevcuttur. Çanakkale kent merkezi yayılımı üzerine yorum yapılabilmesi için çalışma kapsamında 5'er yıllık aralıklarla görülen değişimler yeterli ve okunabilir bulunarak 1985, 2006, 2011, 2016, 2021 yıllarına ait görüntüler ve son olarak güncel uydu görüntüsü incelenerek haritalandırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çanakkale kent merkezi uydu görüntüleri ve kent yayılımı haritaları.

Kentin gelişim yönleri göz önüne alınarak tespit edilen ana ulaşım aksları (Şekil 7) üzerinde çalışılmış ve kentin bu akslar çevresinde sıçrama yaparak yayılan bir kent görünümüne sahip olduğu tespit edilmiştir. Batıda kentin doğal sınırı Çanakkale boğazıyken, doğuda havaalanı sınırını zamanla aşmıştır. 2000'li yıllarda kentin çeperlerinde yer alan havaalanı bugün neredeyse yerleşimlerin ortasında kalmıştır. Kent çeperlerine yaklaştıkça merkezdeki yoğun, kompakt, dar yapı adaları yerini; yoğunlukların azaldığı, arazi kullanımlarının birbirinden ayrık olarak gruplandığı, ulaşım için otomobil bağımlılığının arttığı geniş yapı adalarına bırakmaktadır.



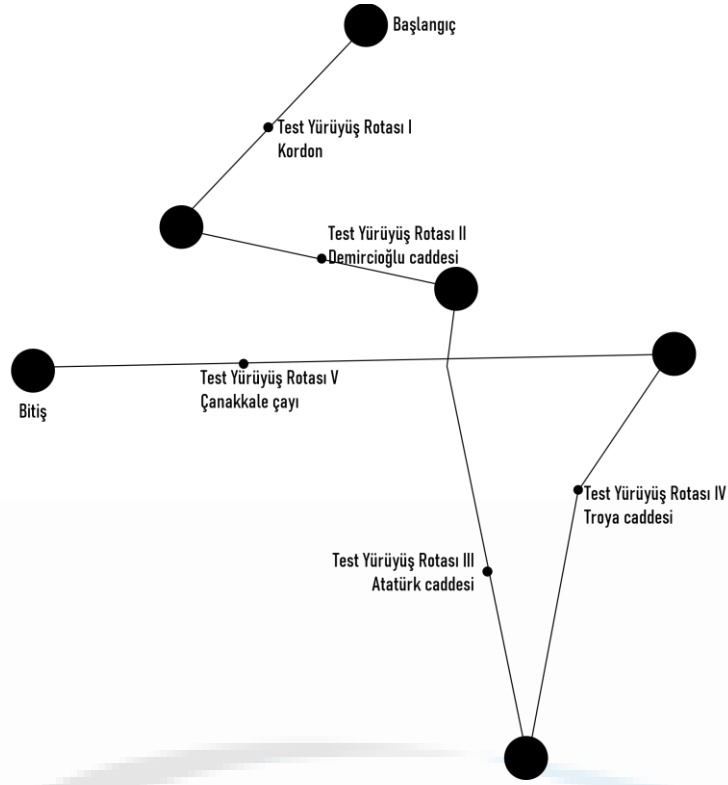
Şekil 7. Çanakkale kent merkezi başlıca ulaşım aksları.

Linear kamusal mekanlar; kent hayatında sosyal ve fiziksel hareketliliğin omurgasıdır. Bu sebeple Çanakkale Kent Merkezi yerleşimleri ve kent yayılım haritaları dikkate alınarak ulaşım akslarının nitelikleri doğrultusunda yürünebilirliğin değerlendirilebilmesi için Kordondan başlayarak bir test yürüyüş rotası oluşturulmuştur (Şekil 8).



Şekil 8. Çanakkale Kent Merkezi test yürüyüş rotası için tercih edilen lineer kamusal mekanlar.

Kordon boyunca devam eden ve 'test yürüyüş rotası I' olarak adlandırılan aks, Demircioğlu caddesinin Feribot iskelesine ulaştığı noktada sonlandırılmış ve bu kesişim 'test yürüyüş rotası II'nin başlangıç noktası kabul edilmiştir. Demircioğlu caddesinin Atatürk caddesi ile kesişmesiyle rota III, Troya caddesi ile kesişim noktasında ise rota IV başlamıştır. Troya caddesinin Çanakkale çayı ile kesiştiği, Troya köprüsünde olduğu noktadan çayın Boğaza açıldığı aks boyunca ise Rota V olarak adlandırılmış ve değerlendirilmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Test Yürüyüş Rotaları birbirlerine bağlanma noktaları

Kent merkezinin, boğaza komşu alanı olan Rota I, diğer rotalardan farklı olarak yaya odaklı kamusal bir alan olarak planlanmıştır (Şekil 10). Yaklaşık 1000 m uzunluğunda ki rota boyunca yapılar konut bölgesi özelliğini kaybetmiş ve zemin katları açık mekanda yeme içme imkanı sunan servis alanlarına dönüşmüştür.



Şekil 10. Test Yürüyüş Rotası I genel görünüm

Demircioğlu caddesi, Çanakkale kent merkezinden Gelibolu yarımadasına deniz ulaşımının sağlandığı Feribot iskelesine doğrudan araç ulaşımının olduğu tek aks olması sebebiyle önem taşımaktadır. Aks uzunluğu yaklaşık 1250 m'dir ve çift şerit gidiş, çift şerit dönüş olmak üzere birer şeritlerin otopark problemi sebebiyle kullanılmadığı ve trafik kaynaklı problemlerin yoğun yaşandığı, otomobil odaklı bir alışveriş caddesi niteliğindedir (Şekil 11).



Şekil 11. Test Yürüyüş Rotası II genel görünüm

Havalimanı ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi'ne ulaşımın sağlandığı en geniş aks olarak Atatürk caddesi Demircioğlu caddesi ile kesiştiği noktadan Çanakkale çayını aşarak kentin önemli yayılım bölgelerinden biri olarak Güney yönünde kent boyunca devam etmekte, Üniversite Merkez Yerleşkesi yakınında bir başka önemli aks olan Troya caddesi ile kesişmektedir (Şekil 12). Troya caddesi, Atatürk caddesi ile birlikte kent için bir ana ulaşım iskeleti görevi görmektedir.



Şekil 12. Test Yürüyüş Rotası III-IV genel görünüm

Troya caddesinin Çanakkale çayı ile kesiştiği noktadan başlayarak, Çayın boğaza açıldığı noktaya kadarki aks ise diğer ulaşım akslarından farklı olarak sahip olduğu sulak alan değeri ile kent için önemli bir açık yeşil ala potansiyeli, korunması ve geliştirilmesi gereken alan olarak değerlendirilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Test Yürüyüş Rotası V genel görünüm

Tüm bu çalışmalar sonucunda Rota I'den V'e kadar olan yürüyüş hattında yapı adaları giderek uzamış, yapılaşma insan ölçeği sınırlarını zorlama aşamasına gelmiş, caddeler genişlemiş ve sosyal mekan özelliğini kaybettiği gözlenmiştir. Rota III' den itibaren insan fiziksel ve psikolojik özelliklerine uygun olmamasının yanı sıra Çanakkale kent sakinlerinin geliştirdikleri yaşayış kültürüne uygun olmayan denizle görsel ve işlevsel bağı tamamen kopmuş bir kent gelişimi söz konusudur. Yapı adalarının genişliği uzamış kent merkezinde ortalama 50-60 m olan ada uzunluğu 110 m ortalamasına kadar çıkmıştır. Sokak ağı sıklığı azalmış, bağlanabilirlik oranı düşmüştür.

Akslar boyunca yaya erişimi için kaldırım kesintisizliği büyük oranda sağlanmış olsa da yaya yolları estetik niteliklerden uzaklaşarak, hızlı yayılan kentin alt yapı ihtiyacına cevap verme kaygısıyla görsel kaliteden uzak, kentle ortak bir mimari dil oluşturamayan yerinde çözümler dikkat çekmektedir. Bu da mekanların estetik cazibesine zarar vermektedir.

Yürünebilirliği destekleyen kaldırım ile bütünleşen ön bahçelerin, farklı işlevlere sahip bina zemin katlarının, saydamlığı sağlayan vitrinlerin, balkonların yerini binaların birer duvar niteliği kazandığı, ikamet edenler dışındakilerin göremediği, kullanmadığı, kapalı toplumsal özelliklere sahip geniş otoparklı site bahçeleri almıştır. Gerek malzeme seçimi gerekse araç kullanımını kısıtlayarak sağlanan trafik yavaşlatma uygulamalarının yerini var olan yaya geçitlerinin bile erişilirliğini engelleyerek kesintisiz trafik akışı sağlayacak uygulamalar almıştır. Trafik hızlanmış, yaya önceliği kaybolmuştur.

Sokak aydınlatmaları, yükselerek otoyol aydınlatmasına dönüşmüş, oturma birimleri gibi mekanda zaman geçirmeyi teşvik edici, yaya konforu sağlayan kent mobilyaları kaybolmuştur. Bu durum algılanan güvenliği olumsuz etkilemiş, Rota III ve IV boyunca insan yoğunluğu azalmıştır. İnsan yoğunluğunun azalması da bir başka algılanan güvenliği olumsuz etkileyen etmen olarak devreye girmesine sebep olmuştur.

Açık ve yeşil alan sistemi tamamen kaybolmuştur. Rota II-III ve IV'ü destekleyecek, besleyecek bir yeşil alan sistemi yoktur. Yeşil alanlar yerine kaldırım ve refüjlerdeki soliter kullanımlar vardır. Bu durum açık yeşil alanların; ölçeği algılanabilir seviyeye çekme, yapısal elemanları yumuşatma, doğal bir malzeme ile mekanı bölme, yaya hareketini yönlendirme, farklı iklimsel koşulları yumuşatarak her koşulda yaya hareketini destekleme, geçirimsiz yüzey oluşturma, gürültü, görüntü ve hava kirliliği bariyeri oluşturma gibi estetik ve işlevsel faydalarından yararlanılamamasına sebep olmuştur.

Farklı kullanımların bir arada olduğu, gündelik ihtiyaçların kısa mesafeler kat edilerek karşılandığı, kentsel yayılımı, otomobil bağımlılığını azaltacak kompakt kent modeli kent çeperlerine doğru ilerledikçe kaybolmuştur.

6. Öneriler

Kentler; genişletilmiş bulvarlar, ekspres yollar, viyadükler, park yerleri ve garajların yapımına ayrılmasına rağmen içinde hareket edilecek yer sıkıntısı azalmadı. Artık kent içinde dolaşmak için her türlü imkan mevcuttu fakat kentte dolaşmak için hiçbir geçerli neden kalmamıştı. Kent toplumsal hayata özgü keyiflerin birçoğundan mahrumdu [1]. Kanadalı müzisyen Joni Mitchell'ın 1970 yılı "Ladies of the Canyon" albümünde yer alan 'big yellow taxi' şarkısının sözlerindeki gibi 'They paved paradise, put up a parking lot', cenneti asfaltladılar ve otopark yaptılar. Bu sebeple daha yaşanabilir kentler için yürünebilirliğin ön planda olduğu kentsel tasarım ve planlama kararları etkili olmalıdır. Bunun mümkün olmadığı kentlerde ise kent sakinlerinin kendileri için mümkün olduğunca erişilebilir mesafelerde gündelik ihtiyaçların karşılanabileceği 15-20 dakikalık yaşam çemberi oluşturarak kent yaşamlarını çevresel, sosyal ve psikolojik açıdan sürdürülebilir hale getirmeleri gerekmektedir.

7. Kaynaklar

- [1] Mumford, L. (2007). Tarih Boyunca Kent Kökenleri, Geçirdiği Dönüşümler ve Geleceği. (G. K. TOSUN, Çev.) Ayrıntı Yayınları.
- [2] Keleş, R. (2015). Kentleşme Politikası (14. Baskı b.). Ankara: İmge Kitabevi.
- [3] Yazıcıoğlu Halu, Z. (2010). Kentsel Mekân Olarak Caddelerin Mekânsal Karakterinin Yürünebilirlik Bağlamında İrdelenmesi Bağdat Caddesi Örneği. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- [4] Southworth, M. (2005). Designing the walkable city. Journal of Urban Planning and Development (131), 246-257.
- [5] WCED. (1987). Brundlandt Report. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press.
- [6] Ertürk, H. (1996). Sürdürülebilir Kentler. Yeni Türkiye Habitat II Özel Sayısı, s. 174-178.
- [7] Ceylan, A. (2007). Yaşam Kalitesinin Arttırılmasında Kentsel Yeşil Alanların Önemi ve Kentsel Dönüşüm İle İlişkilendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- [8] Nietzsche, F. (2009). Ecce Homo. Kişi Nasıl Kendisi Olur. (C. Alkor, Çev.) İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- [9] Solnit, R. (2016). Yürümenin Tarihi. (E. Kıvılcım, Çev.) İstanbul: Encore yayıncılık.
- [10] State of Vermont Agency of Transportation 2002, Vermont pedestrian and bicycle facility planning and design manual. (2022, 10 Ekim). Erişim adresi: https://fpr.vermont.gov/sites/fpr/files/doc_library/VTrains-Pedestrian-and-Bicycle-Facility-Design-Manual.pdf
- [11] Boulder Transportation Master Plan, 2019. (2022, 10 Ekim). Erişim adresi: <https://bouldercolorado.gov/sites/default/files/2021-02/bouldertmpv15webplan.pdf>
- [12] Hutabarat Lo, R. (2009). Walkability: What is it? Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability(2), 145-166.
- [13] Victoria Transport Policy Institute, 2014. (2022, 10 Ekim). Erişim adresi: <https://www.vtpi.org/documents/walking.php>
- [14] Özalp, Y. (2016). Mekansal kalitenin yürünebilirlik üzerindeki etkisi: Ankara-Atatürk bulvarı örneği, Yüksek Lisans tezi, Şehir Bölge Planlama Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [15] Tekel, A., Özalp, Y. (2016). Mekanın Fiziksel ve Algısal Niteliğinin Yürünebilirliğe ve Mekanda Yürümeden Duyulan Memnuniyete Etkisi: Ankara Atatürk Bulvarı Örneği. TMMOB Şehir Plancıları Odası PLANLAMA Dergisi, 26(1), 40-50
- [16] Forsyth, A. (2015). What is a walkable place? The walkability debate in urban design. Urban Design International 20(4), 274-292.

- [17] Avrupa Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları Platformu, Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SUMP) Hazırlama Ve Uygulama Rehberi II. Baskı, 2019. (2022, 10 Ekim). Erişim adresi: <https://www.surdurulebilirhareketlilik.org/skhprehberi/>.
- [18] Özcan Aktan, T., Özyavuz, M. (2022). Criteria of Walkability: As a Sense of Urban Experiment. *Journal of Balkan Science and Technology*, 1(1), 73-80.
- [19] Akkar Ercan, M., & Belge, Z. S. (2017). Daha Yaşanabilir Kentler İçin Mikro Ölçek Bir Yürünebilirlik Modeli. *METU Journal of the Faculty of the Architecture*, 34(1), 231-265.
- [20] Krambeck, H. ve Shah, J. (2006). The Global Walkability Index: Talk The Walk And Walk The Talk, Better Air Quality Conference.
- [21] Appleyard, D. (1981). *Liveable Streets*. Berkeley: University of California Press.
- [22] Jacobs, J. (2011). *Büyük Amerikan Şehirlerinin Yaşamı ve Ölümü*. (B. Doğan, Çev.) İstanbul: Metis Yayınları.
- [23] GDOT- Georgia Department of Transportation Yaya ve Sokak Tasarım Rehberi
- [24] Ewing, R., Handy, S., Brownson, R., Clemente, O., & Winston, E. (2006). Identifying and measuring urban design qualities related to walkability. *Journal of Physical Activity and Health*, 3(1), 223-240.
- [25] Gehl, J. (2010) *Cities for People*, Island Press, Washington.
- [26] Lynch, K. (2011). *Kent İmgesi*. (İ. Başaran, Çev.) İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- [27] Gökçür, P. (2017). *Kentsel Mekanda Kamusal Alanın Yeri*. İstanbul: Bağlam Yayıncılık.
- [28] Pisano, C. (2020). Strategies for Post-COVID Cities: An Insight to Paris En Commun and Milano. *Sustainability*, 12(15).
- [29] Michaelson, J., Toth G. ve Espiau, R. (2008). *Great Corridors, Great Communities, The Quiet Revolution In Transportation Planning*, Project for Public Spaces, Inc