ANKARA BİLİM ÜNİVERSİTESİ

The 13th International Scientific Research Congress

Science and Engineering

13. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi

Full Text Book

Tam Metin Kitabı

11-12 MARCH

UBAK

UBAK 2022

www.ubaksymposium.org

13. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi

- Fen ve Mühendislik Bilimleri-

the 13th International Scientific Research Congress

- Science and Engineering-

(UBAK)

11 – 12 Mart 2022

Online / Ankara

-Fen ve Mühendislik Bilimleri-

- Science and Engineering-

- Bildiri Tam Metin Kitabı-

- Proceeding Book -

-

Editor

Prof. Dr. Bahri Bayram

asos YAYINLARI

Ankara 2022

YayınYönetmeni / General Publishing Director •
Muhammet ÖZCAN

Editör / Edited by •
Bahri Bayram

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

KapakTasarım / Cover Design
Bülent POLAT

İçTasarım / Interior
Emre UYSAL

BirinciBasım / First Edition• ©
Mart 2022 // March 2022-Ankara

ISBN: 978-625-7501-67-5

ASOS YAYINEVİ
1st Edition / 1.baskı: Mart/March 2022
Address / Adres:ÇaydaçıraMah. HacıÖmerBilginoğlu Cad. No: 67/2-4/Merkez/Elazığ

Mail:asos@asosyayinlari.com

Web:www.asosyayinlari.com
İnstagram:https://www.instagram.com/asosyayinevi/
Facebook: https://www.facebook.com/asosyayinevi/
Twitter: https://twitter.com/Asosyayinevi

Ankara 2022

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 Üniverstesi
Doç. Dr. M. Kerim GÜLLAP, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Adem KAYA, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Rıdvan KOÇYİĞİT, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Sinan KOPUZLU, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Selda ÖRS, Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Handan AKKAŞ, Ankara Bilim Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Aziz BALCI, Ankara Bilim Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Hilal Ürüşan ALTUN, Atatürk Üniversitesi

Congress Scientific Committee / Bilim Kurulu

Prof. Dr. Sebahat AÇIKSÖZ, Bartın Üniversitesi
Prof. Dr. Canan B. AKTAŞ, Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Ömer AKTÜRK, Kırıkkale Üniversitesi
Doç. Dr. Ali Akın AKYOL, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi,
Prof. Dr. Yerlan ANDEASBAYEV, Zhetysu State University, Kazakhstan
Prof. Dr. Muhammet ARICI, Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Levent AYDIN, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
Prof. Dr. Bahri BAYRAM, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Zübeyde BAYSAL, Dicle Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Nurcan BERBER, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Doç. Dr. Ayhan BİNGOLBALİ, Yıldız Technik Üniversitesi
Doç. Dr. M. Murat CENGİZ, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. 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. Alİ ÇINAR, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK, Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Bünyamin DEMİR, Mersin Üniversitesi
Doç. Dr. Nuray DEMİR, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Okan DEMİR, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Aslıhan DEMİRDÖVEN, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Prof. Dr. Marziyeh EBRAHİMİ, University of Tabriz
Doç. Dr. Nurhayat DALKIRAN. Uludağ Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Ayşe DEMİRHAN, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Nurcan DOĞAN, Gebze Technik Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Sevgi Güneş DURAK, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi
Prof. Dr. Selma ERAT, Mersin Üniversitesi
Prof. Dr. Nurinisa ESENBUĞA, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Gülbin FİRİDİN, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Nimet Sema GENÇER, Bursa Uludağ Üniversitesi
Doç. Dr. Olcay GENÇYILMAZ, Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğretim Üyesi Derviş GÖK, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Doç. Dr. Başak GÜÇYETER, Eskisehir Osmangazi Üniversitesi
Doç. Dr. M. Kerim GÜLLAP, Atatürk Üniversitesi
Doç. Dr. Necat GÖNENTAŞ, Van Yüzüncüyıl 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
Prof. Dr. Nilgül KARADENİZ, Ankara 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. İlkay KOCA, Ondokuz Mayıs 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. ELİF ÖRNEK, Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Özlem ÖTER, Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Memiş ÖZDEMİR, Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Doç. Dr. Erkan PEHLİVAN, Ankara Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin POLAT, Aksaray Üniversitesi
Doç. Dr. Berrin TOPUZ, Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan SADIKOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesı
Doç. Dr. Meryem SEFERİNOĞLU, Sinop Üniversitesi

Doç. Dr. Filiz ŞEKERDEN, İskenderun Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Oleg SYNYUK, Khmelnitsky National University, Ukreine
Prof. Dr. Akbar TAGHİZADEH, University of Tebriz
Prof. Dr. Taha TAŞKIRAN, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Prof. Dr. Erkin TOKPANOV, Zhetysu State University, Kazakhstan
Doç. Dr. Selda Kapan ULUSOY, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Vedide Rezan USLU, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Prof. Dr Viliana VASİLEVA, Institute of Forage Crops, Pleven
Doç. Dr. Pelin Köse YAMAN, Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Övgü Ceyda YELGEL, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Prof. Dr. Güngör YILMAZ, Yozgat Bozok Üniversitesi
Doç. Dr. Müge Sarı YİLMAZ, Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Mithat ZEYDAN, İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Sekretary / Sekreterya

Dr. Esra TÜRE
Dr. A. Mutlu YAĞANOĞLU

CONTENTS - İÇİNDEKİLER

B O R A D S / K U R U L L A R ..... **IV**

Supporting Institutions / Destekleyen Kurumlar ..... **IV**

Honor Board / Onur Kurulu ..... **IV**

Chairman of the Organizing Committee / Düzenleme Kurulu Başkanı ..... **IV**

Congress Organizing Committee / Düzenleme Kurulu ..... **IV**

Congress Scientific Committee / Bilim Kurulu ..... **IV**

Sekretary / Sekreterya ..... **VI**

DC Ark Arızasının Tespiti ve Yerinin Belirlenmesi **2**

Li-P Nanokümelerin Elektronik ve Yapısal Özellikleri **8**

Seismic Performance of a Typical Self-Anchored Industrial Liquid Storage Tank **14**

TRM İle Güçlendirilmiş Döşemelerin Çarpma Yükü Altındaki Davranışının Sayısal Analizi ... **23**

Karbon Tekstille Takviye Edilmiş Döşemelerin Çarpma Etkisi Altında Test Edilmesi ve Ankraj Etkisinin İncelenmesi **36**

Tekstil Takviyeli Betonlar ve Uygulama Alanları **47**

Hazır Giyim Tercihlerinin Markov Zincirleri Analizi ile İncelenmesi **58**

Çoklu Bağıntı ve Ridge, Liu, Zaman Serisi Kestiricisiyle Türkiye'nin İhracat Modeli İçin Bir Uygulama **73**

İki Boyutlu Burgers Denkleminin Bir Nümerik Çözümü **82**

Koruyucu Giysilerde Birleştirme Yöntemleri **90**

COVID-19 Erken Teşhisi İçin Çok Sınıflı Derin Öğrenme Modeli **99**

Sea Water Temperature Estimation Using Long-Short-Term-Memory Networks in Turkey Coasts **105**

Şehir İçi Kullanıma Uygun Yeni Nesil Çelik Bisiklet Tasarımı ve Geliştirilmesi **117**

Türkiye'de Yapılmış Akuaponik Sistem Çalışmaları **122**

Kaolin Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Renk Değişimi ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması **131**

Land-Use Mapping Using Orthophoto Obtained From SenseFly EbeeX UAV Images and Object-Based Support Vector Machine **139**

Derin Öğrenme Mimarileri Kullanılarak Uydu Görüntülerinden Bina Bölge Tespiti ve Çatı Sınıflandırması **147**

Algal Biyokütlenin Atık Su Arıtımı, Biyoyakıt, Aktif Karbon ve Biyoürünlerde Kullanılması **156**

Çevre Dostu, Çapraz Bağlı Kitosan/ Sodyum Aljinat/ Vermikülit Çift Ağ Hidrojelinin Hazırlanması **169**

AQP- Bazlı Biyomimetik Membranlar İçin Yeni Aquaporin (AQP) Proteinlerinin Keşfi **179**

Derin Öğrenme İle Trafik İşaretlerinin Tespiti **189**

En Küçük Kareler Yöntemi İle Fire Oranlarının Azaltılması: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama 197

Bir Tasarım Projesi: Kanola Tohumlarından Biyodizel Üretimi 206

Havalimanı Terminal Binalarında Farklı Aydınlatma Armatürlerinin Ekonomik ve Çevresel Analizi 213

Dokuma Kumaşların Renklendirilmesinde Biyomimetik Yaklaşımlar 221

Kokulu Nevresimlerin Performans ve Haslık Özelliklerinin İncelenmesi 231

Gazlı İçecek Şişeleme Makinesi Üreten Bir İşletmede Üretim Çizelgeleme 236

Kırsal Alandaki Endüstri Mirası ve Koruma Sorunları: Değirmenler 242

Evsel Atık Yönetim Çözümlerinin Kente Entegre Edilmesi 261

Kullanıcı Odaklı Tasarım Uygulamalarında Yapay Gün Işığı Sistemleri: Standard Dose Mağaza Örneği 294

Hava Kalitesinin Mekânsal Dağılımının İncelenmesi: Ankara Kent Merkezi Örneği 303

Survival Analysis and Cox Regression 315

Implementation of a Software System for the Placement of the Whole University (Undergraduate and pre-license) Courses with the Monte Carlo Method 329

Bazalt Tekstil Katkılı Harç ile Güçlendirilmiş Plakların Çarpma Yükü Etkisi Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi 336

Yer Karolarında Mat Sır Uygulaması İçin Reçete Geliştirmesi 345

Exopolysaccharide from Multiple Enzyme Producer *Bacillus licheniformis* 7G1A; Production On Citrus Waste Pretreated with Dilute Acid Hydrolysis and Rheological Evaluation Via Intrinsic Viscosity 351

Çift Girişli Tek Çıkışlı Bir DA-DA Dönüştürücü Tasarımı 360

AML'DE İfadesi Değişen circRNA Ve miRNA'ların Biyoinformatik Analizi 369

ITS2 (Internal Transcribed Spacer 2) Bölgesinin Yapısal Özelliklerinin Bazı *Aethionema* W.T.Aiton Türlerinde Taksonomik Açıdan Kullanımı 377

Kurtuluş ÖZGİŞİ 377

Otomatik Test Sistemlerinde Gürültü Figürü Ölçümü 385

Developing Antimicrobial Nanocomposite Scaffolds for Wound Dressing Applications 394

Savunma Amaçlı Balistik Koruyucu Malzemeler ve Sayısal Bir Analiz 403

Sıcaklık Stresine Dirençli Sığır Irkı Islah Etme Stratejileri İçin HSP90AA1 Geninin Ayrıntılı Değerlendirmesi 415

On Roman Domination and It's Variants 423

TAM METİNLER

PROCEEDING

Presentation ID / Sunum No= 38

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-0722-5988

DC Ark Arızasının Tespiti ve Yerinin Belirlenmesi

Yüksek Elektrik Elektronik Mühendisi Kerim Kaya[1]
[1]*Yeşilırmak Elektrik Dağıtım A.Ş., Atakum/Samsun, E-Mail: Kerim.Kaya@yedas.com*

Özet

DC elektrik arkı rüzgar enerji santralleri, güneş enerji santralleri, enerji depolama sistemleri ve mikro şebekelerde çok sık yaşanan arıza türüdür. Burada arızalı-arızasız durum karşılaştırılırsa oluşan ark özellikleri modellenebilir ve ark davranışı etkin bir şekilde belirlenebilir. Bu çalışmadaki veriler laboratuvar ortamında gerçek deneysel kuruluma dayanmaktadır. Çalışmada, DA hattında ark arızası oluşturularak arızalı durum ile arızasız durum karşılaştırılmıştır. Veri toplama kartı ile 1 Mhz örnekleme sıklığıyla ark gerilimi ve ark akımı örneği elde edilmiştir. Sonrasında ise hat başında, ortasında ve sonunda adım motoru kullanılarak ark arızası oluşturulup hat üzerindeki yerinin belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Ark arızası olup olmadığını ayırt edebilmek ve arıza var ise hattın başında mı, ortasında mı, sonunda mı olduğuna Diferansiyel Eşitlik Algoritması (DEA), Belirleyici İstatistiklerden (Bİ) oluşan melez bir yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan melez algoritma ile DA hattı üzerinde arızasız ve arızalı durum ayırt edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Seri Ark, Ark Arızası, Doğru Akım, Diferansiyel Eşitlik Algoritması, Ark, DA ARK, Belirleyici İstatistik

Detection and Location of DC Arc Failure

Abstract

DC electric arc is a very common type of malfunction in wind power plants, solar power plants, energy storage systems, and microgrids. If the defective-defective situation is compared here, the arc properties that occur can be modeled and the arc behavior can be effectively determined. The data in this study are based on an actual experimental setup in a laboratory setting. In the study, arc failure was created on the DA line and the defective state and the defective state were compared. An arc voltage and arc current sample were obtained with a sampling frequency of 1 Mhz using a data acquisition card. After that, an arc fault was created using the step motor at the beginning, middle, and end of the line, and its location on the line was studied to determine. A hybrid method consisting of a Differential Equality Algorithm (DEA), Determinant Statistics (BI) was used to distinguish whether there is an arc fault or not, and whether there is a fault at the beginning, middle, or end of the line if there is a fault.

With the hybrid algorithm used in this study, it is possible to distinguish between defective and defective status on the DA line.

Keywords: Series Arc, Arc Failure, Direct Current, Differential Equality Algorithm, ARC, DC ARC, Determinative Statistics

1.GİRİŞ

Yenilenebilir enerji teknolojisinin artması ile birlikte fosil kaynaklar olarak bilinen doğal gaz, kömür ile elde edilen enerji zaman içerisinde yerini yenilenebilir kaynaklar olarak bilinen güneş, rüzgar ve jeotermal ile elde edilen enerjiye bırakmıştır.

Artan enerji talebine orantılı olarak şebekeye bağlanan GES gibi yenilenebilir enerji santrallerinin sayıları da artış göstermektedir. GES sayılarının artmasıyla birlikte GES'de meydana gelebilecek arızalarda artmaktadır. Teknik kalite ve güvenlik açısından GES'in kararlı ve güvenli bir şekilde çalışması elektrik şebekeleri için çok önemlidir. Çünkü GES'de meydana gelebilecek herhangi bir arıza elektrik şebekesinde kesintilere ve çeşitli malzeme hasarlarına neden olabilmektedir. DA şebekelerde en sık rastlanan arıza tipi ark arızalarıdır.

Yenilenebilir enerji santrallerinde tespit edilememiş ark arızaları sistemden daha fazla enerji sarfiyatı yapmaktadır ve oluşan yüksek akımlar neticesinde çok ciddi hasarlar oluşturabilmektedir. GES'in ortalama akımları 100A-400A, gerilimleri ise 1000V-1500V aralığında olup fiderler UL1699B standardın da korunmaktadır (Fendrychova & Fiedler, 2016).

Bu çalışmada DA ark arızaları; belirleyici istatistik, DEA içeren melez yönteme dayanarak araştırılmıştır. DA kaynak gerilimi, iletken ve yük kullanılarak oluşturulan deney düzeneğinde mikrodenetleyicili adım motoru ile DA ark oluşturulmuştur. Ark mesafesi 3 mm ve toplam test süresi her test için 3 sn'dir. Örnekleme Sıklığı 1 MHz olarak ayarlanmıştır. Önerilen yöntem, ark arızalarını hat üzerindeki konumlarına göre ayırt etmede etkilidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

DA şebekeleri ark arızalarından korumak oldukça önemlidir. Önerilen çalışmada melez ark arıza tespit ve konum algoritmasında sinyal işleme ve istatistiksel yaklaşımlar kullanılmaktadır.

2.1. Diferansiyel Eşitlik Algoritması

Çevrim içi parametre kestirim yöntemlerinden biri olan DEA, hattaki arıza durumlarında hat direncini ve endüktansını hesaplamak için önerilmektedir. Bu teknik bir yük empedansı ile sonlandırılan Pi, T veya L hat modellerine dayanmaktadır. Ayrıca harmonik yükler altında çok daha etkilidir ve akım-gerilim dalgalarına bağlı değildir (Yildiz, Karagol, Nokta, & Euler, 2015)(Lian, Salama& Chikhani,1998).

DEA yönteminde şebekede oluşan olası faz-toprak, iki faz-toprak, üç faz ve iki faz arıza tipleri için farklı şekillerde düzenleme yapılabilir. DEA yönteminde:

a) Hat modeli kısa iletim hattı kabul edilir ve arıza sonucunda oluşan empedans ve hareketli dalgalar dahil edilmez.
b) Gerilim ve akım ölçümünde kullanılan ölçü transformatörleri 50-300 Hz aralığında en uygun seviyede çalıştığı kabul edilir.
c) Yük üzerinden geçen akım göz ardı edilir.
d) Arıza oluşan yerdeki direnç çok küçük olduğunda yok sayılır.
e) Hat çaprazlaması en iyi şekilde yapıldığı varsayılır ve çaprazlama yapılmadığı durumlarda oluşan etkenler göz ardı edilir.
f) Hat aralarında oluşan sığa etkisi yokmuş kabul edilir.

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2}(i_{m+1}+i_m) & (i_{m+1}-i_m) \\ \frac{\Delta t}{2}(i_{m+2}+i_{m+1}) & (i_{m+2}-i_{m-1}) \\ \frac{\Delta t}{2}(i_{m+3}+i_{m+2}) & (i_{m+3}-i_{m-2}) \\ \frac{\Delta t}{2}(i_{m+4}+i_{m+3}) & (i_{m+4}-i_{m-3}) \\ \frac{\Delta t}{2}(i_{m+5}+i_{m+4}) & (i_{m+5}-i_{m-4}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{2}(v_{m+1}+v_m) \\ \frac{\Delta t}{2}(v_{m+2}+v_{m+1}) \\ \frac{\Delta t}{2}(v_{m+3}+v_{m+2}) \\ \frac{\Delta t}{2}(v_{m+4}+v_{m+3}) \\ \frac{\Delta t}{2}(v_{m+5}+v_{m+4}) \end{bmatrix} \quad \textbf{(2.1)}$$

2.2. Zaman Sabiti

DEA sonucu oluşan direnç ve endüktans değerleri incelendiğinde zaman sabiti ark olmayan bölge ve ark oluşumundan sonraki bölgede değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle zaman sabitinin hesaplanması ark arızasının belirlenmesi ve konumu için oldukça önem arz etmektedir.

2.3. Öznitelik Vektörü

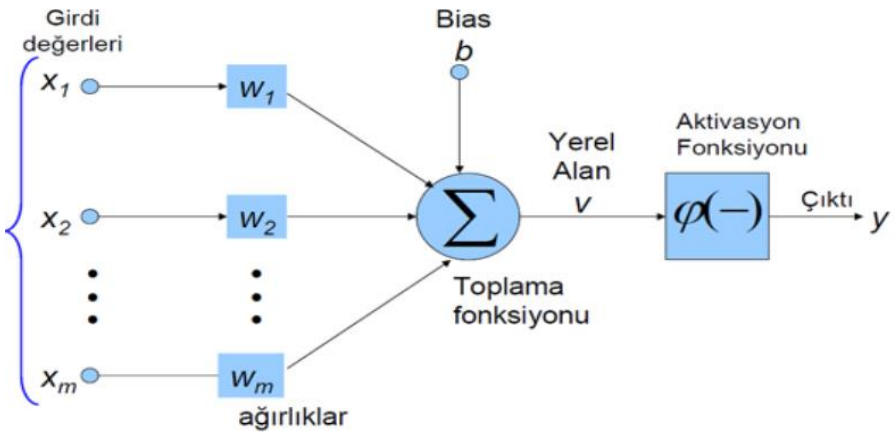
Öznitelik vektörlerinin hesaplanması için bazı belirleyici istatistikler kullanılmıştır. Bu Bİ, arkın olmadığı durumlar ile arkın hat başında, ortasında ve sonunda olduğu durumlarda kullanılarak ark arızasının tespiti ve konumunun belirlenmesinde öznitelik vektörlerini oluşturmaktadır.

2.4.Yapay Sinir Ağları

YSA günümüz teknolojisinde insan anatomisinde bulunan beynin biyolojik sinir yapısına benzetilerek nöron algılayıcılarıyla öğrenilmiş veya sınıflara ayrılmış verileri kullanarak güncel bilgiler üreten ve karar verme algoritması olan programlardır. Tahmin yapma, optimizasyon, karar mekanizmaları, sinyal ve görüntü işleme gibi birçok alanda YSA oldukça fazla kullanım alanına sahiptir (Keskenler & Keskenler, 2017).YSA doğrusal olmayan sinyal ve sistemlerde de kullanılabilmektedir. Doğrusal olan sistem modellerinde önemli detay bilgileri anlayabilir ve çözümleyebilirse olumlu sonuçlarda elde edilir (Zhang, Eddy Patuwo, & Y. Hu, 1998). YSA verilen girdi bilgiler ile bunlara karşılık gelen Şekil 2.1 görüldüğü gibi anlamlı çıktılar oluşturabilmektedir. Çıkan sonuçların anlamlı bir veri içermesi için YSA eğitilmektedir.

2.4.1.Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı

RTYSA, üç katmandan oluşan özel YSA modellerinden biridir. Gizli katmandaki radyal bazlı aktivasyon işlevi (gauss, üstel) girdileri dönüştürmeyi sağlar. YSA'a girdi olarak uygulanan öznitelik vektörleri gizli tabakadaki sinirlerin aktivasyon işlevlerinden geçirilerek her bir sinir için bir çıkış üretilir. Çıkış katmanında bulunan doğrusal aktivasyon işlevleri sayesinde de ağırlıklandırılıp ilgili öznitelik vektörü için nihai çıkış oluşturulur (Doğan & Korürek, 2009)

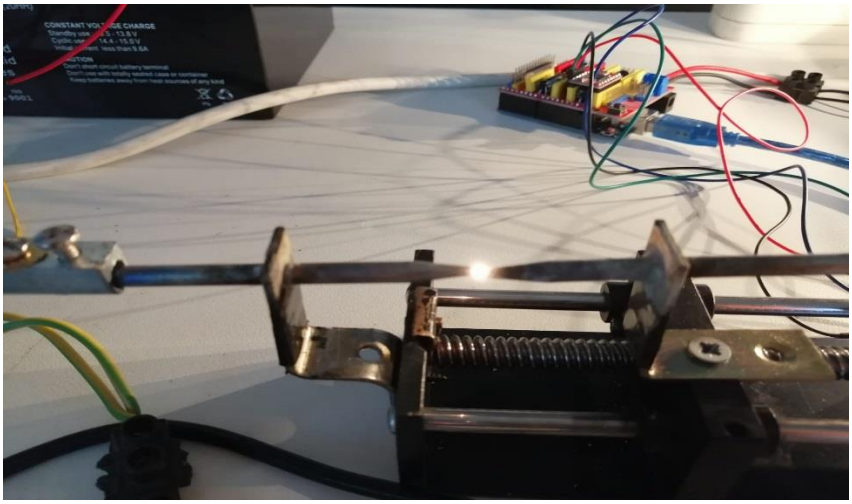


Şekil 2.1. YSA örneği

YSA girdi değerlerine karşılık gelen çıktı değerleri verilerek YSA girdi-çıktı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanılır ve bu şekilde ağın eğitimi gerçekleştirilmiş olur (Hamzaçebi & Kutay, 2004).

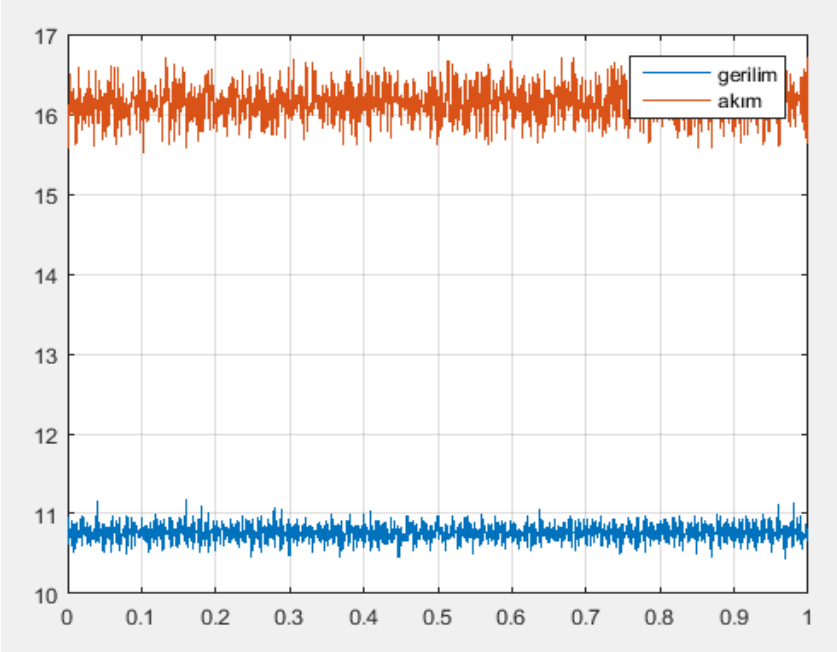
3.BULGULAR

Çalışmada ilk olarak ark oluşturma düzeneği kuruldu ve sonrasında arklı durum ile arksız durum sonucunda oluşan akım-gerilim sinyali incelendi.



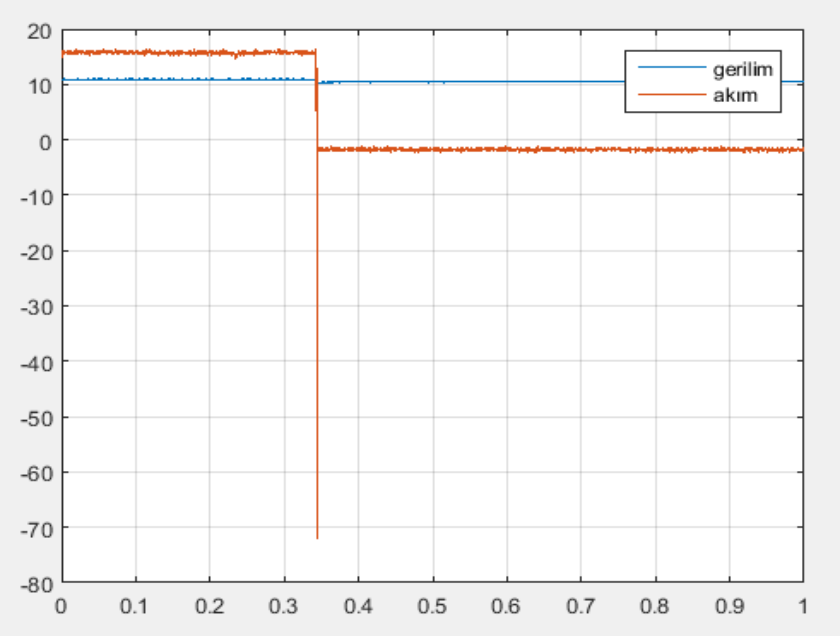
Şekil 3.1. Deney Düzeneği

3.1.Arızasız Durum Akım-Gerilim Eğrisi



Şekil 3.2. Arızasız durum

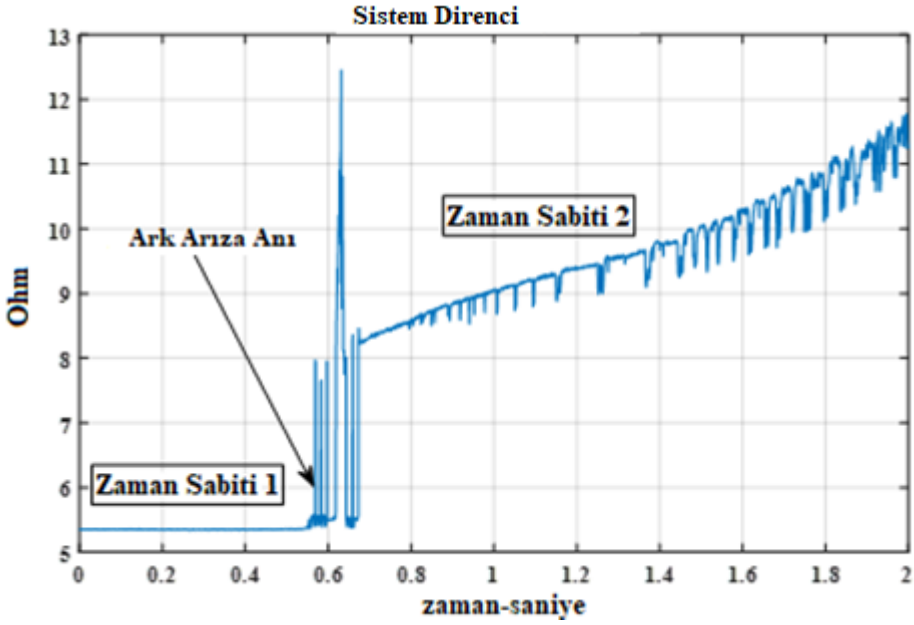
3.2.Arızalı Durum Akım-Gerilim Eğrisi



Şekil 3.3. Arızalı durum

Yapılan çalışma ile normal çalışan bir sistem ile arıza oluşan bir sistemi kıyasladığımızda sistemdeki akım değişimini inceleyerek arıza olup olmadığını ayırt edebilmekteyiz.

Deney düzeneğimiz ile elde ettiğimiz akım gerilim örnekleri kullanılarak sistemdeki direnç ve endüktans değişimini hesapladık.



Şekil 3.4. Zaman sabitinin bölgelerinin belirlenmesi

Oluşturulan ark öncesi ve ark sonrası zaman sabitleri DA ark arızalarının algılanması ve yer tespiti için oldukça önemlidir.

Arkın olup olmadığına ve arkın konumunun tespit edilmesi RTYSA kullanılmıştır. Arıza yerlerini bulmak ve başarımını ölçmek için RTYSA'da aşağıdaki hedef matrisi kullanılmıştır.

$$Hedef\ Matris = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.1)}$$

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, DA şebekelerinde meydana gelebilecek DA arıza durumlarının ayırt edilebilmesi ve yerinin tespit edilebilmesi için direnç-endüktans değişimine dayalı DA ark arıza tespiti ve konum algoritmasını sunmaktadır.

Çalışmamızda örnekleme sıklığı 1Mhz alınmış olup arızalı ve arızasız durum kıyasında direnç ve endüktans değişimleri incelenmiştir. İstastiksel yaklaşımlar ve yapay sinir ağı kullanılarak arızanın olup olmadığı tespit edilmiş ve ilgili ark arızası var ise arızanın konum tespiti başarı ile belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

Fendrychova, M., & Fiedler, P. (2016). Challenges in Arc Fault Detection for High Power DC applications. *IFAC-PapersOnLine*, *49*(25), 552–556. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.093

Yildiz, D., Karagol, S., Nokta, O., & Euler, İ. (2015). Çevrim İçi İletim Hattı Parametrelerinin ve Arıza Yerinin Hesaplanması Amacıyla Farklı Diferansiyel Eşitlik Algoritmalarının Kullanımı The Use of Different Differential Equation Algorithms to Calculate Online Transmission Line Parameters and Fault Locatio. *2015 23nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1–4. https://doi.org/10.1109/SIU.2015.7163175

Bao Lian, M.M.A. Salama, A.Y. Chikhani, "A Time domain differential equation approach using distributed parameter line model for transmission line fault location algorithm", Electric Power System Research, vol.46 , pp. 1-10, July 1998.

Zhang, G., Eddy Patuwo, B., & Y. Hu, M. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. International Journal of Forecasting, 14(1), 35–62. https://doi.org/10.1016/S0169-2070(97)00044-7

Doğan, B., & Korürek, M. (2009). EKG vurularini siniflamada radyal tabanli fonksiyon yapay sinir ağinin performans değerlendirmesi. Proceedings of 2009 14th National Biomedical Engineering Meeting, BIYOMUT 2009, 0–3. https://doi.org/10.1109/BIYOMUT.2009.5130286

Hamzaçebi, C., & Kutay, F. (2004). Yapay sinir ağlari ile Türkiye elektrik enerjisi Tüketiminin 2010 yilina kadar tahmini. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 19(3), 227–233.

Presentation ID / Sunum No= 86

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-0632-2150

Li-P Nanokümelerin Elektronik ve Yapısal Özellikleri

Dr. Öğretim Üyesi Eşe Akpınar[1]

[1]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tıbbı Hizmetler ve Teknikler Bölümü,Isparta, [*](eseakpinar@gmail.com)

Özet

Nanokümeler atomlar ile hacimli yapılar arası bir geçiş formudur ve boyutlari 10nm'ye kadar uzanır. Kendisini olusturan atomların üç boyutlu hallerine göre farklı ozellikler sergileyebilirler. Örneğin soygazlar kadar inaktif olan altin, nanoboyutlara inildiğinde tam tersine katalitik etkiler göstermektedir. Bu nedenle malzemeleri kuantum boyut etkilerinin ortaya çıktığı nanoölçekte incelemek son yıllarda gelişen nanoteknoloji açısından önem kazanmaktadır. Biz bu calışmamızda lityum (Li) ve fosfor (P) atomlarından oluşan nanokümeleri ve bu kümelerin elektronik ozelliklerini araştırdık. En düşük enerjili LixPy nanokümelerini belirleyerek yapısal ozelliklerini inceledik. LixPy nanokümeleri elektronegativitesi yuksek P atomu ve yük vermeye meyilli Li atomu nedeniyle güçlü bağlanmış ve yüksek kohesif enerji sergileyen nanokümeler oluşturmustur. P4 yalın nanokümeler arasında, 3.64 eV ile, Li3P2 ise alaşım nanokümeler arasında 2.80 eV ile en yüksek kohezyon enerjisi sergiler. Li3P2 kumesi ise 0.43 eV ile en düşük kohesif enerji değerine sahiptir. Ayrıca herbir LixPy nanokümesinin en yüksek dolu moleküler orbitali (HOMO) ve en düşük dolmamış moleküler orbitali (LUMO) seviyeleri belirlenmiş ve enerji aralıkları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanokümeler, Li-P, Malzeme Bilimi, Yoğunluk Fonksiyonel Teori, Kohesif Enerji

Electronic and Structural Properties of Li-P Nanoclusters

Abstract

Nanoclusters are a transitional form between atoms and bulk structures which extend up to 10nm in size. Nanoclusters can show different properties from their bulk counterparts. For instance, gold which is as inactive as noble gases exhibits the catalytic effects when it is reduced to nano dimensions. Therefore, it is important to study materials at the nanoscale, where quantum size effects occur, from a nanotechnological point of view. In this study, we investigated nanoclusters consisting of lithium (Li) and phosphorus (P) atoms and the electronic properties of these clusters. We have determined the lowest energy LixPy (x+y=5) nanoclusters and analyzed the structural properties. LixPy nanoclusters formed

strongly bonded nanoclusters with high cohesive energy due to P atom with high electronegativity and Li atom that tends to give charge. P4 exhibits the highest cohesion energy of 3.64 eV among bare nanoclusters, while LiP3 exhibits the highest cohesion energy of 2.80 eV among alloy nanoclusters. However Li3P2 cluster has the lowest cohesive energy with 0.43 eV value. In addition, the highest occupied molecular orbital (HOMO) and lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) levels of each LixPy nanocluster were determined and their energy ranges were discussed.

Keywords: Nanoclusters, Li-P, Material Science, Density Functional Theory, Cohesive Energy

1. GİRİŞ

Son yıllarda nanoteknoloji ve nanobilim alanında gerçekleşen ilerlemeler, nanokümelerin çok çeşitli alanlarda kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir .Nano yapılar bulk yapılardan farklı karakteristik özellikler gösterirler.

Şarj edilebilir batarya teknolojisinde Li yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Lityum-ion bataryalar taşınabilir elektronik cihazlardan, sıfır emisyonlu araç ve temiz enerji üretim teknolojilerine kadar pek çok alanda yer bulmaktadır. Bu avantajlarının yanısıra Li-ion piller, maliyet, kullanım ömrü, düşük sıcaklık performansı ve güvenlik gibi bazı dezavantajlara da sahiptirler. Bu dezavantajlar, Li bataryalara alternatif arayışlarına yöneltmiştir. Son yılarda monolayer fosfor ya da fosforen elektronik, optoelektronik ve kendine has anizotropik özeliklerinden dolayı bilimsel çalışmalarda ilgi gören bir konu olmuştur. Elektronik ve mekanik özellikleri nanotransistörler ve fotokatalizörler gibi alanlarda kullanım alanlarda potansiyeli olduğu bilinmektedir (Sa et al., 2015)(Noormohammadbeigi et al., 2021).Bu alanlara ek olarak batarya teknolojilerindeki kullanım potansiyelleri de araştırılmaktadır (Mao et al., 2020)

Bu çalışmada, Li_xP_y nanokümelerin elektronik ve yapısal özellikleri araştırılmıştır. Li_xP_y(x+y=5) nanokümelerinin en kararlı geometrik yapıları belirlenmiştir. Bu kararlı yapıların, kohesif enerjileri, band aralıkları ve HOMO- LUMO seviyeleri hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada yoğunluk fonksiyonel teorisi kullanılarak en kararlı nanokümeler belirlenmiştir. Hesaplamalar SIESTA paket programı ile yapılmıştır. SIESTA, elektronik yapı hesaplamalarını ve moleküllerin ve katıların Ab-initio moleküler dinamik simülasyonlarını gerçekleştirmek için kullanılan bir bilgisayar programı ve araştırma yöntemidir (Artacho et al., 2008).

Hesaplamalarda genelleştirilmiş gradyan yaklaşımı (GGA) kapsamında, değişim-korelasyon fonksiyoneli olarak Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) fonksiyoneli kullanılmıştır. Hesaplamalar Gama noktasında yapılmış ve kesme kinetik enerjisi 300 Ry olarak alınmıştır. Yoğunluk matrisindeki tolerans değeri 10^{-5} kullanılmıştır. Tüm hesaplamalarda spin polarizasyonu yapılmıştır. Kohesif enerji (E_c) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$E_c = \frac{E_{nanoküme} - xE_{Li} - yE_P}{x + y}$$

Burada $E_{nanoküme}$ en kararlı nano yapının toplam enerjisi, x, Li atomlarının nanokümedeki sayısı, E_{Li} izole edilmiş Li atomunun enerjisi, y; P atomlarının küme içindeki sayısı ve E_P izole edilmiş P atomunun enerjisidir.

3. BULGULAR

Bu çalışmada Li_xP_y nanokümelerinin elektronik ve yapısal özellikleri incelenmiştir.Farklı Li ve P sayılarına göre olası birçok kompozisyon ve şekil denenmiştir. Bu Li-P nanokümeleri atom sayısına göre sınıflandırılmış, mümkün olan geometrik yapılardan minimum enerjili olan (en kararlı) yapı belirlenmiştir. Kararlı nanokümelerin elektronik ve yapısal özellikleri detaylı olarak araştırılmıştır.

Li-Li, P-P ve Li-P atomları arasındaki bağ uzunlukları ve kohesif enerjileri hesaplanmıştır. Bağ uzunluklar sırasıyla 2.80 Å, 1.93 Å , 2.34 Å dür. Kohesif enerji değerleri ise sırasıyla, -0.77, -2.72 ve -0.97 eV olarak belirlenmiştir. Dimerlerin manyetik özellikleri incelendiğinde ise Li-Li P-P manyetik momente sahip değilken bu değer LiP de $\mu=1\mu_B$ özellikte olduğu belirlenmiştir.

Dimer yapılardan başlamak üzere nanokümelerdeki Li ve P atomlarının sayısı arttırılarak daha fazla atom sayısına sahip kümeler oluşturulmuştur.

$\mu=1\mu_B$ magnetik momente sahip olan nanokümeler Li_2P, LiP_2, P_3, Li_4P, Li_3P_2, Li_2P_3, LiP_4, P_5' tir. Lip ve LiP_3 yapılarının magnetik momenti 2 μ_B dir. Bununla birlikte Li_3P, Li_2P, Li_2P_2, Li_4, Li_5 yapıları herhangi bir magnetik momente sahip değildir.

Nanokümelerin kararlı yapıları Şekil 1'de verilmiştir. Bu kümelerin minimum bağ uzunlukları ise Tablo 1'de listelenmiştir.

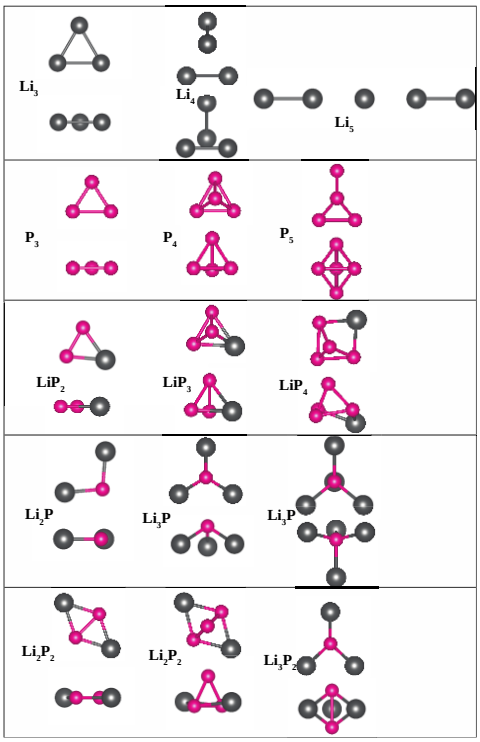
Li_x nanokümelerinde, Li-Li bağ uzunluğu 2.72 Å olarak bulunmuştur, P_y nanokümelerinde P-P bağ uzunluğu 2.02 Å olarak görülmüştür. Li_xP_y nanokümelerinde ise Li-P bağ uzunluğu ortalama 2.33 Å olarak hesaplanmıştır.

Kararlı nanokümelerin dolu olan en yüksek moleküler orbital seviyesi (HOMO) ile dolmamış en düşük moleküler orbital seviyesi (LUMO) arasındaki fark E_{HLG} Tablo 1 de verilmiştir. Li_3P nanokümesi 1.70 eV ile en yüksek HLG değerine sahip nanokümedir. Bununla birlikte Li_3P_2 nanokümesi 0.60 eV ile en düşük HLG değerine sahiptir.

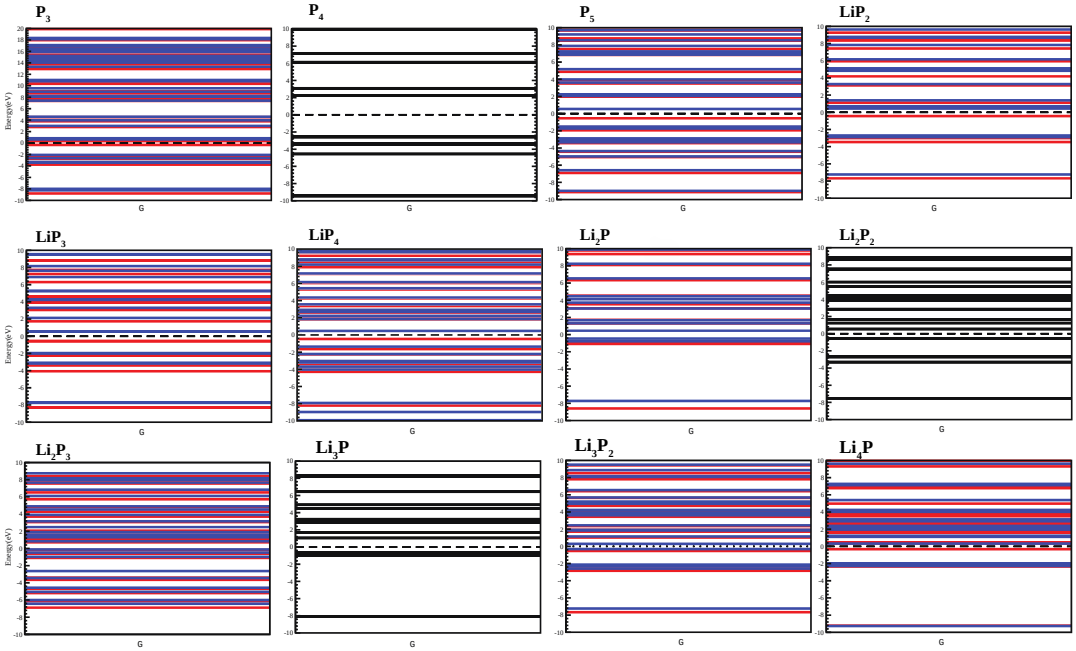
Tablo 1. Nanokümelere ait hesaplanmış parametreler

Nanoküme	E_c(eV)	d(Å)	μ μ_B	E_{HLG}(eV)	E_{up}(eV)	E_{down} (eV)
LiP	-0.97	d_{Li-P}=2.34	2	1.23	2.54	1.23
Li_2P	-1.38	d_{Li-P}=2.31	1	0.90	2.04	0.90
LiP_2	-2.40	d_{Li-P}=2.21 d_{P-P}=2.02	1	0.87	0.95	3.15
LiP_3	-2.80	d_{Li-Li}=2.22 d_{Li-P}=2.49	2	1.14	2.49	2.54
Li_2P_2	-2.36	d_{P-P}=2.13 d_{Li-P}=2.36	0	1.06	-	-
Li_3P	-1.65	d_{Li-P}=2.29	0	1.7	-	-
Li_4P	-1.63	d_{Li-P}=2.33	1	0.65	0.66	2.30
Li_3P_2	-0.43	d_{Li-P}=2.37	1	0.60	1.48	0.6
Li_2P_3	-2.75	d_{P-P}=2.22 d_{Li-P}=2.39	1	0.83	0.91	0.94
LiP_4	-1.63	d_{Li-Li}=2.24 d_{Li-P}=2.43	1	0.94	2.27	1.82
P_3	-2.94	d_{P-P}=2.18	1	0.66	0.66	2.67
P_4	-3.64	d_{P-P}=2.25	0	4.80	-	-
P_5	-3.45	d_{P-P}=2.13	1	1.1	2.5	2.05
Li_3	-0.72	d_{Li-Li}=3.08	0	1.24	-	-

Şekil 1. Kararlı nanokümelerin atomik yapısı



Şekil 2. Kararlı nanokümelerin enerji seviyesi, kırmızı çizgiler spin yukarı, mavi çizgiler spin aşağı durumların enerji seviyelerini göstermektedir.



4. TARTIŞMA

En kararlı Li_xP_y nanokümelerinin şekilleri Şekil 1 de verilmiştir. Li ve P atomlarından oluşan nanokümeler hesaplandığında P atomundan oluşan nanokümelerin yüksek bağ uzunluklarına sahip fakat bağlı oldukları ancak Li atomlarının Li2 molekülünün kararlılığından dolayı Li_4 ve Li_5 nanokümesinde ikili moleküller şeklinde bağ yaptığı ve nanoküme oluşturmadığı belirlenmiştir.

Li_2P nanokümesi L-shape yapıda en kararlı durumdadır. Li_3P 3d yapıdadır. Li_4P ise dörtgen yapıdadır. Bu Li_xP nanokümeleri arasında, kohesif enerjisi 1.65 eV ile Li_3P nanokümesi en kararlı durumdadır. Yüksek E_{HLG} değerinin nanokümelerin kimyasal kararlılığını gösterdiği bilinmektedir (Kadioglu et al., 2014). Dolayısıyla en yüksek kohesif enerjili yapı olan LiP_3 ,bu üç yapı arasında yüksek E_{HLG} değerine sahiptir.

LiP_2 nanokümesi triangle, LiP_3 3d ve LiP_4 piramit yapıda en kararlıdır. Li_2P_3 ve Li_3P_2 nanokümeleri ise piramit yapıda en kararlıdır.

Bu çalışmadaki bütün nanokümelere göz önüne alındığında LiP_3 nanokümesi en yüksek kohesif enerji ve yüksek E_{HLG} değerine sahip olarak en kararlı nanoküme olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte Li_3P_2 nano kümesi en düşük kohesif enerji ve E_{HLG} değeri ile kimyasal karalılığı en düşük nanokümedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Li_xP_y nanokümelerinin yapısal ve elektronik özelliklerini incelenmiştir. Li nanokümeleri 3 atomun üzerinde kümelenme göstermezken, P atomu eklenmesiyle nanoküme oluşturmaya başlamıştır. Bu çalışmada LiP_3 nanokümesi en yüksek kohesif enerjiye ve yüksek E_{HLG} değerine sahiptir. Li_3P_2 nanokümesi ise en düşük kohesif enerji ve HLG değerine sahip olarak en düşük kimyasal kararlılık gösteren yapıdır.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmada yer alan tüm nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Artacho, E., Anglada, E., Dieguez, O., Gale, J. D., Garc, A., Junquera, J., Martin, R. M., Ordejon, P., Pruneda, J. M., Sanchez-Portal, D., & Soler, J. M. (2008). The SIESTA method; developments and applicability. *J. Phys.*, 7.

Kadioglu, Y., Üzengi Aktürk, O., & Tomak, M. (2014). Electronic and geometric structure of $Au_x Cu_y$ clusters studied by density functional theory. *International Journal of Modern Physics C*, *25*(06), 1450011. https://doi.org/10.1142/S0129183114500119

Mao, E., Wang, W., Wan, M., Wang, L., He, X., & Sun, Y. (2020). Confining ultrafine Li3P nanoclusters in porous carbon for high-performance lithium-ion battery anode. *Nano Research*, *13*(4), 1122–1126. https://doi.org/10.1007/s12274-020-2756-2

Noormohammadbeigi, M., Shamlouei, H., Kamalinahad, S., & Ghasemkhani, A. (2021). Feasibility of Ca12O12 Nanocluster in Lithium and Sodium Atom/Ion Batteries: DFT Study. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, *31*(3), 1006–1014. https://doi.org/10.1007/s10904-020-01788-z

Sa, B., Li, Y.-L., Sun, Z., Qi, J., Wen, C., & Wu, B. (2015). The electronic origin of shear-induced direct to indirect gap transition and anisotropy diminution in phosphorene. *Nanotechnology*, *26*(21), 215205. https://doi.org/10.1088/0957-4484/26/21/215205

Presentation ID / Sunum No= 1

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-3980-3770

Seismic Performance of a Typical Self-Anchored Industrial Liquid Storage Tank

Dr. Öğr. Üyesi. Bülent ERKMEN[1], İrsen Nihan KOCRAS[2]

[1]*Özyeğin University, Istanbul, Turkey, bulent.erkmen@ozyegin.edu.tr*
[2]*Özyeğin University, Istanbul, Turkey, nihan.kocras@ozu.edu.tr*

Abstract

Seismic Performance of a Typical Unanchored Liquid Storage Tank In this study, the seismic performance of a typical unanchored industrial liquid-storage tank located in the Kocaeli industrial region, where the earthquake risk is high, is studied. To determine the seismic performance of the tank, a 3D finite element model was created using the ABAQUS finite element program. The developed tank model is based on the spring-mass model, where the liquid content is modeled as two point-masses attached to the tank wall through springs. This approach is based on API 650. In addition to tank-liquid interaction, tank base uplift, tank sliding on its foundation, and tank material damage were included in the analyses performed. The seismic analyses were performed using 11 actual earthquake records, which were selected in accordance with the new Turkish Building Earthquake Code (2018) and scaled to fit the design spectrum of the region. Tank base sliding, base uplift, tank top deflections, and material damage were monitored to determine possible tank damages for those located in the region.

Keywords: Liquid storage tank; Fluid-structure interaction; Dynamic analysis; Uplifting

Ankrajsız Tipik Bir Sanayi Sıvı Depolama Tankının Deprem Performansı

Özet

Bu çalışmada, deprem riskinin yüksek olduğu Kocaeli sanayi bölgesinde bulunan tehlikeli sıvı ihtiva eden tipik ankrajsiz bir sanayi tankının deprem yükleri altındaki performansı incelenmiştir. Tankın deprem performansını belirlemede ABAQUS sonlu elemanlar programı kullanılarak 3D model oluşturulmuştur. Tank analiz modeli API 650 tank yönetmeliğinin de dayandığı Mekanik Tank Model'ine dayanmaktadır. Tankın tank-sıvı etkileşimi dışında zeminle olan karmaşık kontak sismik davranışı (zemin üzerinde kayma ve zemin üzerinde kalkıp inmesi) ayrıca yapılan analizlere dahil edilmiştir. Deprem analizi için yeni Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (2018) uygun olarak seçilen 11 adet gerçek deprem kaydı bölgenin tasarım spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Tankın zemin üzerinde yaptığı kayma, tepe noktasında oluşan deplasman, taban plakasının zeminden havaya kalkması ve tankta oluşan hasarlar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvı depolama tankı; Sıvı-yapı etkileşimi; Dinamik analiz: Tabandan kalkma

1. INTRODUCTION

Large capacity ground-supported steel cylindrical tanks are important structures for industrial facilities such as petrochemical plants, public water supply systems, and food and chemical processing plants. In general, they are used to store environmentally hazardous liquids including flammable and combustible liquids such as fuel oil. In addition, they are crucial parts of public water supply system, and they are need immediately following destructive earthquakes for ensuring safe supply of drinking water to avoid outbreak of diseases. At some critical industrial facilities, they are also needed as water storage tanks for post-earthquake firefighting. Failure of at grade liquid-storage tanks due seismic loads has frequently resulted in spillage of toxic materials to the environment and atmosphere with disastrous effects and fires following terrifying explosions as occurred, for example, following the 1994 Northridge, the 1995 Hanshin (Kobe) earthquake, and the 2011 Eastern Japan earthquake (Erkmen, 2017). Earthquake damage to the steel liquid-storage tanks can take several forms. The Common modes of failure, which are given in Figure 1, are wall buckling, sloshing damage to the roof, and explosions due to rapid loss of the contents (Malhotra et al., 2000).

(a) (b) (c)

Figure 1 (a) Elephant foot buckling, (b) sloshing damage, and (c) fire damage

Depending on their foundation type liquid storage tanks are classified as self-anchored (unachored) and anchored. The self-anchored tanks, which are not mechanically connected to their foundation, rest on the foundations and depends mainly on their weight to resist lateral forces including shear and overturning moment. Because self-anchored tanks are not mechanically connected to their foundation, they do not require substantial foundations and attachment mechanism. On the other hand, anchored tanks are connected to their typically massive reinforced concrete foundation using mechanical steel anchors. This type of connections and foundation can significantly increase the total cost. In general, the tanks located in zones of high seismicity are recommended to be anchored if the ratio of safe operating height (H) to tank diameter (D) exceeds two to prevent their uplift, overturning, and/or sliding movements. Although sliding and overturning motions are not very common for tanks with H/D smaller than two, the uplifting is still very common. For example, a 30.5 m diameter and 9.1 m high tank uplifted 350 mm during the 1971 San Fernando earthquake, during the 1989 Loma Prieta earthquake, two 12.8 m diameter and 8.5 m high tanks uplifted 150 to 200 mm, and a large tank uplifted 450 mm in the 1964 Alaska earthquake (Erkmen, 2017).

During earthquakes, all the mass of unanchored tanks and the content contribute to the overturning moment while only a small portion of the mass contributes to the overturning resistance. Therefore, unanchored steel tanks are especially susceptible to damage during earthquakes. For example, during tank-base uplift, tank baseplate may not be able to conform to the displaced shape of the tank, and the weld between the baseplate and the tank wall/shell may not be able to accommodate the tension stresses that develop in this area. In such cases, fracture of connection between the baseplate and tank wall/shell may occur. In addition, base-uplift of tanks can be accompanied by large deformations and major changes in the tank wall stresses especially when the seismic loading reverse and the formerly uplifted segment moves down impacting the ground and introducing high compression stresses into the tank shell.

Seismic performance of liquid storage tanks is a matter of special importance, extending beyond the economic value of tanks and its contents. Liquid storage tanks located in earthquake prone regions should be designed with extra attention to ensure that they experience limited structural damage. In this study, the seismic performance of an existing typical self-anchored industrial liquid-storage tank located in the Kocaeli industrial region, where the earthquake risk is high, is studied. To determine the seismic performance of the tank, a 3D finite element model is created using the ABAQUS finite element program. The developed tank model is based on the spring-mass model given in API 650 (American Petroleum Institute). Under selected recorded ground motions, tank base uplift, tank roof drift, tank sliding on its foundation, and tank material damage are determined. The finds are valuable to evaluate seismic performance of similar tanks located in the region and to determine the need for seismic retrofitting.

2. Method of dynamic analysis

Earthquake behavior of liquid storage tanks is highly complex due to liquid-structure and structure-foundation interactions. Under lateral loads the liquid content behaves significantly different along the tank height. The liquid content located near the bottom levels of the tank undergoes synchronized vibration with tank itself. In other words, this liquid vibrates with the tank fundamental period and rigidly moves with tank. This portion of the liquid is known as impulsive liquid. However, the other part of the liquid located in the vicinity of liquid free surface vibrates in long-period sloshing motion creating surface waves. This liquid is known as convective or sloshing liquid. The dynamic behavior of liquid storage tanks may be predicted by representing the convective and impulsive liquids using single-degree-of-freedom (SDOF) systems known as mechanical or spring-mass models. The model, which is shown in Figure 2, is used by American Petroleum Institute, API 650 (2020), Eurocode 8 (2005), and Turkish Liquid Storage Tanks provisions (2022) to predict seismic base shear and moment for tanks.

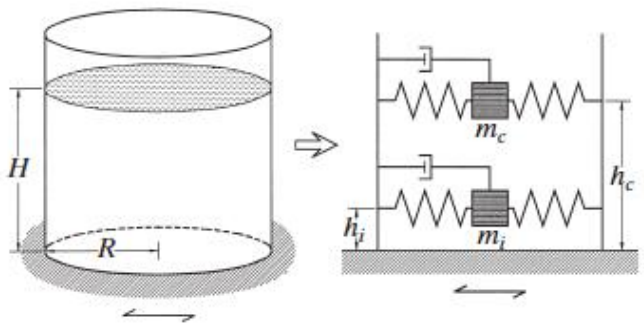


Figure 2 Tank spring-mass model (Malhotra et al., 2000)

The spring-mass model was developed by Graham and Rodriguez (1952), Jacobsen (1949), and Housner (1963) for rigid tanks, and modified by Haroun and Housner (1982) for flexile tanks. The mechanical models replace the tank-liquid system by a spring-mass system, which considerably simplifies the evaluation of hydrodynamic forces and computational costs. For the mechanical spring-mass analogy, the relationships to calculate the mass and spring properties (i.e., mass values, spring stiffness, and mass location along the tank height) of convective and impulsive components are given in API 650 seismic provisions.

3. prototype tank

The selected tank, which is shown in Figure 3, is a liquid stiren tank. The tank diameter D is 10.7 m, and the height is 12.4 m. The operating height of liquid content is 11.4 m. The tank has a conical self-supporting roof, which is 1.0 m in height. The tank wall is constructed using nine1.4 m width S235

steel grade plates with varying thickness. The tank shell plate thickness varies between 10 mm, which is used for the first shell course, and 6 mm for the top shell course. The roof plate thickness is 5 mm, and it is supported by UNP100 U-channels located radially at 18 degrees. The channels are lateral supported by two rows of L665x65x10 steel angle sections. In addition, the tank roof-shell connection is supported by UNP140 channel as top wind girder.

The tank bottom plate is 13 mm in thickness. The tank rest on a reinforced concrete mat foundation with a pedestal without any mechanical connections. In other words, the tank is self-anchored and free to uplift and slide over the foundation. The clear distance between tank pedestal edge and tank shell plate was measured as 34 cm in the field. Therefore, tank sliding should be controlled and smaller than 34 cm under seismic loads.

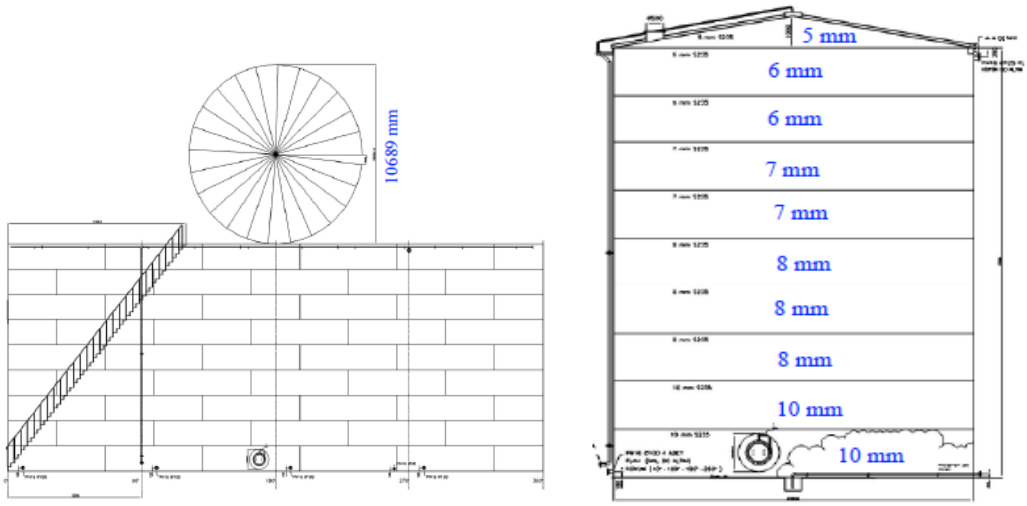


Figure 3 General view of the tank and wall thicknesses of the tank

3.1. Tank Finite Element Model

The tank 3D finite element model is developed using ABAQUS software (2021). The developed model is shown in Figure 4. Tank roof framing is modelled using B31 2-node linear beam element, and tank shell and bottom plates are modelled using S4R shell element, which is a 4-node doubly curved general purpose reduced integration element. The tank reinforced concrete foundation was modelled as a separate part using S4R shell elements. For tank plates and roof frame elements nonlinear material definition was used using typical stress-strain curves for S235 steel grade. The foundation was modelled using elastic-perfectly plastic material properties for class C30 concrete. The nominal mesh size for beam and shell elements is 25 cm.

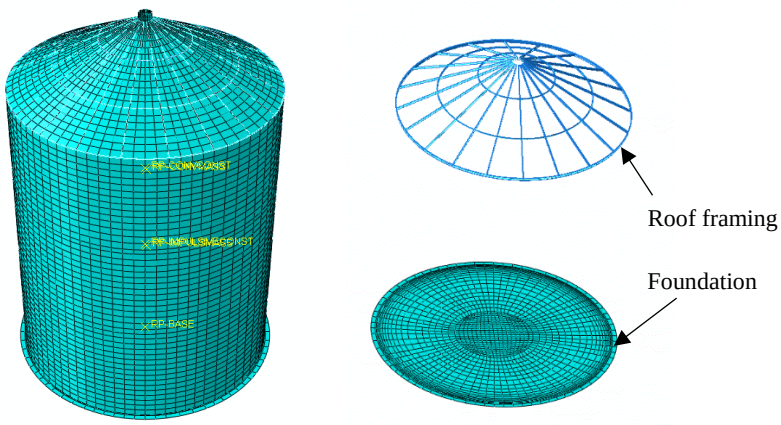


Figure 4 Tank shell, roof framing, and foundation

The liquid masses for convective and impulsive components were connected to the tank wall as shown in Figure 5 using a reference point to assign liquid mass and another reference point to connect the first reference point to the tank shells through coupling constraint. Finally, the dynamic interaction between the tank and its foundation was modelled using contact constraint with separation to capture tank uplift. The static and dynamic friction coefficients between the two surfaces are taken as 0.57 (Rabbat and Russell, 1985). The required parameters to define tank spring-mass model are given in Table 1 and computed using API 650 seismic provisions. Most of the tank liquid (79%) is vibrating in the impulsive mode while only 21% is sloshing. The impulsive and sloshing periods are computed as 0.4 and 3.4 sec, respectively. The tank self-weight and liquid initial hydrostatic pressures were applied as static loads. The ground acceleration was applied to the foundation in a following implicit dynamic analysis step.

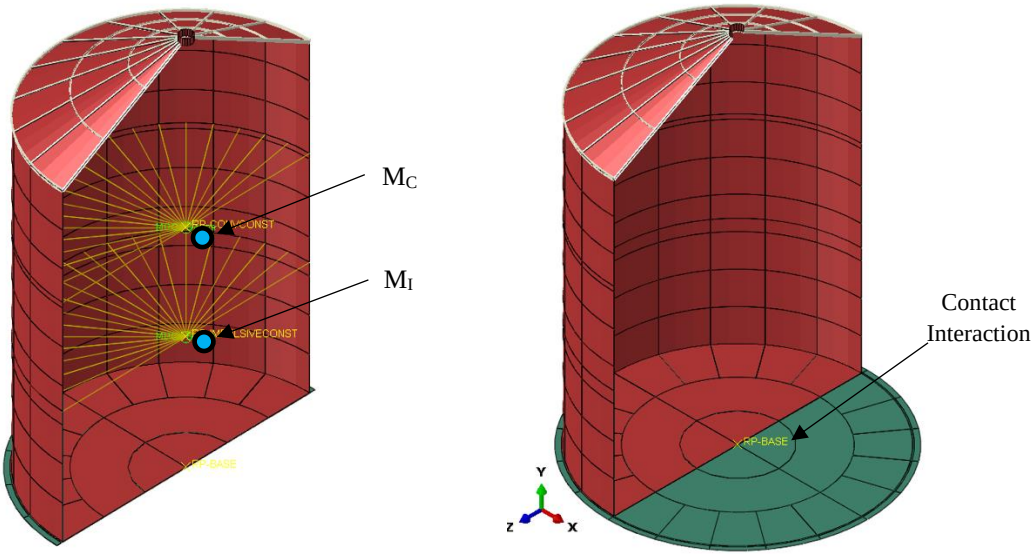


Figure 5 Tank shell, roof framing, and foundation

Table 1: Tank spring-mass model parameters

Parameter	Value
Liquid density	909 kg/m^3
Liquid mass	940,000 kg
İmpulsive mass, M_I	740,000 kg
Impulsive height, H_I	4.7 m
İmpulsive period, T_I	0.4 sec
Convective mass, M_C	200,000 kg
Convective Height, H_C	8.6 m
Convective period, T_C	3.4 sec

4. time history analyses and results

Per 2018-Turkish Building Seismic Code (TBDY) (2022), a set of 12 recorded ground acceleration records given in Table 2 are selected from the Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center database (2022) for tank time history analyses. The selected records include earthquakes from tank location and near-fault records since the tank location is close to Main Marmara Fault. The selected ground motions are scaled to match the design spectrum from AFAD (2022) for the site as

shown in Figure 6. The ground motions are scaled so that their average spectrum will be above the design spectrum for period range between tank impulsive period T_I and liquid convective period T_C.

A Summary of tank seismic response expressed in terms of tank maximum sliding, top drift, and base uplift at the right and left sides is given in Table 2. The maximum tank sliding over the foundation is between 4 and 92 mm with an average value of 31 mm. The sliding of self-anchored tank is supposed to small and that is the reason that they are not anchored. API 650 recommends 2.5 cm sliding limit for design. Tank maximum base uplift varies between 4 cm and 50 cm on both sides of the tank, and the average maximum tank uplift is 17 cm. These levels of tank base uplift can be critical for tank piping therefore piping should be design flexible enough. Tank drift values are between 11 and 75 cm with an average value of 28 cm. Tank roof and base sliding and uplift displacement histories under GM5, which cause the largest displacements, are shown in Figure 7 and Figure 8. Tank sliding as expected occurs only when base shear is largen than the friction force and occurs over a much smaller time duration. However, tank sliding displacement is in one direction and it is not a vibration type motion.

Table 2: Selected recorded ground motions

Ground motion	**Name**	**Year**	**Station**	**Dist.(1)**
GM1	Helena Montana	1935	Car. College	2.9
GM2	Victoria Mexico	1980	Cerro Prieto	14.4
GM3	Morgan Hill	1984	Lake Dam	0.5
GM4	Duzce Turkey	1999	Lamont 375	3.9
GM5	Chi-chi Taiwan	1999	CHY074	6.2
GM6	Tottori Japan	2000	TTR007	11.3
GM7	Bam Iran	2003	Bam	1.7
GM8	Parkfield CA	2004	Cholame 4W	4.2
GM9	Big Bear	1992	Fire Sta #36	41.9
GM10	Joushua Tree CA	1992	Fire Sta #36	22.0
GM11	Duzce Turkey	1999	Irigm 498	3.6

(1) closest distance to earthquake generating fault in km.

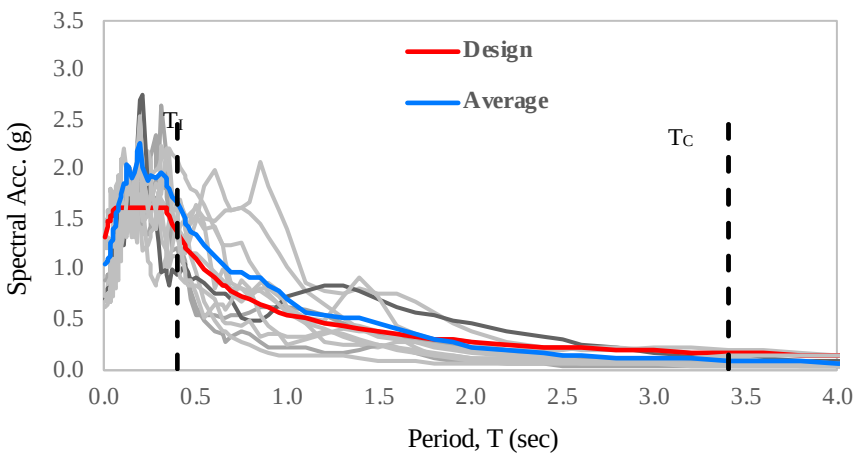


Figure 6 Design and average spectral spectrums

Table 2: Summary of tank seismic performance

EQ	Sliding (mm)	Top Drift (mm)	Uplift (R) (mm)	Uplift (L) (mm)	PEEQ (%)
GM1	32	137	54	80	0.3
GM2	15	284	186	122	1.0
GM3	47	522	216	333	3.2
GM4	4	117	39	81	0.1
GM5	92	747	285	502	11.0
GM6	9	105	68	57	0.2
GM7	21	238	148	106	0.8
GM8	84	421	123	240	1.2
GM9	25	239	136	168	2.5
GM10	7	128	89	79	0.1
GM11	11	150	94	84	0.2
Maximum	92	747	285	502	11.0
Minimum	4	105	39	57	0.1
Average	31	281	131	168	1.9

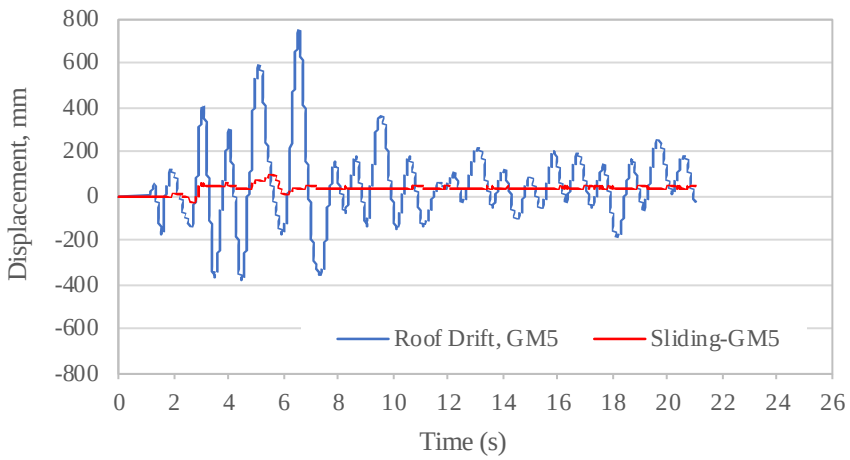


Figure 7 Design and average spectral spectrums

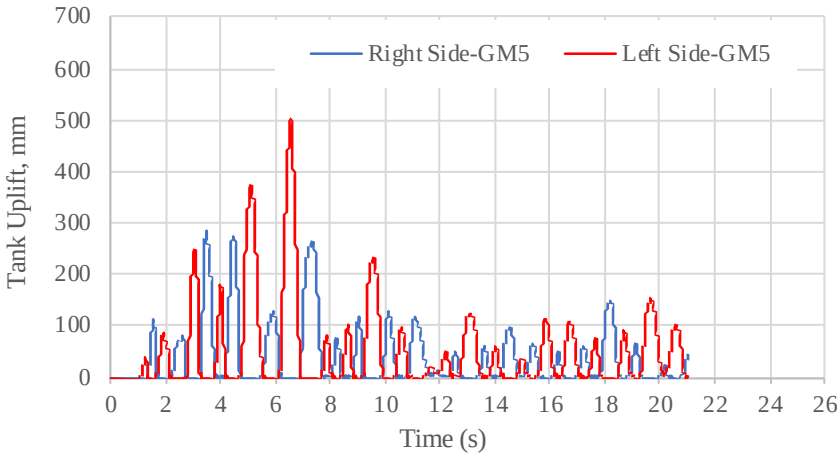


Figure 8 Design and average spectral spectrums

Figure 9 shows maximum equivalent plastic strain (PEEQ) contours for the tank under GM5, which causes the maximum tank base uplift. Material yielding is observed at wall shell tank base plate connection region. Due to tank cyclic uplifting this region is subjected significant tension and compression stresses. However, the yielding region is constrained to a small tank shell height. Because the material may significantly yield at this connection region and due to large axial compression loads at the base of the tank, tank elephant-foot buckling can be observed at tank base. In addition, the large PEEQ values are observed at weld region of shell and base plate connection. Therefore, this weld is critical and should always be checked after any seismic event. Tank cyclic base uplift also creates significant stresses and material yielding for the tank base plate. However, this yielding is limited to the plate in the vicinity of base and shell plates connection region. Tank wall shell plate PEEQ strains decreased significantly over tank height. This indicate that tank being self-anchored minimize tank shell stress while tank base uplift cause high stresses and strains at tank-base connection region.

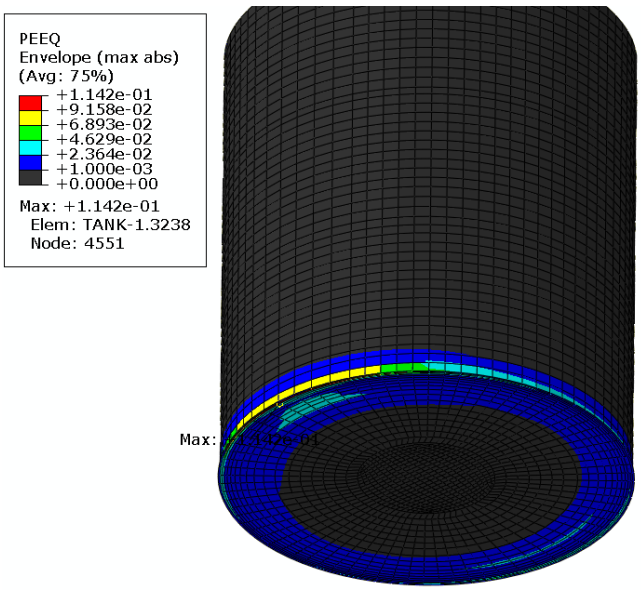


Figure 9 Tank PEEQ contours under GM5

5. Conclusions

Seismic performance of an existing typical self-anchored industrial liquid-storage tank located in the Kocaeli industrial region is studied using API 650 spring-mass model approach for liquid content.

3D finite element model is created to perform tank seismic performance under selected 11 recorded near-field ground motions. Tank sliding and base uplift over its foundations are considered in the developed nonlinear model. Based on computed tank seismic performance, the following conclusions are made:

1. Liquid modelling with spring-mass approach is easy and computationally reasonable.
2. For the stiren tank studied average maximum tank base sliding over its foundation is approximately 3 cm while the corresponding tank base uplift and tank roof drifts are 17 cm and 28 cm, respectively. Therefore, tank piping should be flexible enough to remain functional and intact under these levels of tank relative displacements over its foundation.
3. Significant tank shell and base plate yielding is observed at tank shell and base plates connection regions, where tank cyclic base uplift occurs. These regions are critical for elephant-foot buckling and the weld between wall shell and base plate is a critical weld that needs to be checked after seismic events.
4. Tank base plate yielding is limited over a small region, which increases with tank base uplift.
5. Tank being self-anchored or unachored reduces tank wall stresses and material yielding along the tank wall. However, tank sliding, and effects of base uplift are disadvantages of self-anchored tanks.

REFERENCES

ABAQUS/Standard (2021). “Dassault Systemes”, https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/.

AFAD (2022). “Turkey Earthquake Risk Maps”, https://tdth.afad.gov.tr.

API 650 (2022). Welded Tanks for Oil Storage, American Petroleum Institute Standard,13th Edition.

RABBAT, B. G. and Russell, H. G. (1985), “Friction Coefficient of Steel on Concrete or Grout”, Journal of Structural Engineering, 111(3): 505-515.

ERKMEN, B. (2017). “Evaluation of Code Provisions for Seismic Performance of Unanchored Liquid Storage Tanks”, In Proceedings of the 6th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (COMPDYN 2017), Rhodes Island.

GRAHAM, E. W., & RODRIGUEZ, A. M. (1952). “The Characteristics of Fuel Motion Which Affect Airplane Dynamics”, Journal of Applied Mechanics, 19: 381-388

HAROUN M. A. and HOUSNER G. W. (1982). “Dynamic Characteristics of Liquid Storage Tanks”, Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, 108 (5): 783-800.

HOUSNER G. W. (1963). “Dynamic Behavior of Water Tanks”, Bulletin of the Seismology Society of America, 53 (2): 381-387.

JACOBSEN L. S. (1949). “Impulsive Hydrodynamics of Fluid Inside a Cylindrical Container, and of Fluid Surrounding a Cylindrical Pier”, Bulletin of the Seismological S. of America, 39 (3):189-204.

MALHOTRA, P. K., WENK, T., & WIELAND, M. (2000). “Simple Procedure for Seismic Analysis of Liquid-Storage Tanks”, Structural Engineering International, 10(3), 197-201.

CODE, P. (2005), "Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance-part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings", Brussels: European Committee for Standardization.

PEER Strong Motion Database (2022), http://peer.berkeley.edu/smcat/index.html.

Turkish Code for Seismic Design of Pipeline Systems and Liquid Storage Tanks Seismic (2022), https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210307-1-1.pdf.

Turkish Seismic Earthquake Code (TBDY) (2022), https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf.

Presentation ID / Sunum No= 4

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000 0002 4922 0579 / 0000-0001-7668-1496 / 0000-0002-9103-8869 / 0000-0002-8677-4941

TRM İle Güçlendirilmiş Döşemelerin Çarpma Yükü Altındaki Davranışının Sayısal Analizi

İnşaat Mühendisi Ahmet Muhammed Uludoğan[1], Dr. Öğretim Üyesi Tolga Yılmaz[2], Dr. Öğretim Üyesi Hasan Selim Şengel[3], Dr. Öğretim Üyesi Hakan Erol[1]

[1]*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ahmetuludgn@gmail.com*
[2]*Konya Teknik Üniversitesi, tyilmaz@ktun.edu.tr*
[3]*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ssengel@ogu.edu.tr*
[4]*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, herol@ogu.edu.tr*

Özet

Bu çalışmada Textile Reinforced Mortar (TRM) malzemesi ile güçlendirilmiş hasır donatılı betonarme döşemelerin belirli bir yükseklikten bırakılan kütlenin çarpma yükü etkisi altındaki davranışının sayısal olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu tekstil malzemelerin yerleşim yerleri ve şekilleri çeşitlilik göstermektedir. Toplamda 17 adet 1000x1000x80 mm boyutlarında betonarme döşemeleri, farklı şerit genişliklerde ve farklı doğrultularda TRM ile güçlendirilmiştir. İlk olarak TRM ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerde deneysel olarak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen değerler, LS DYNA adlı bir sonlu elemanlar çözücüsü bilgisayar programı yardımıyla analizi yapılan döşemelerin nümerik sonuç değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Betonarme döşemeler ortogonal ve diyagonal olarak 50 mm ve 100 mm genişliğindeki TRM şeritleri kullanılarak güçlendirilmiştir. TRM ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerine etkiyen çarpma yüklerinin sonucunda elde edilen betonarme döşemenin ivme-zaman, deplasman-zaman, ve kalıcı deplasman-zaman değişim grafikleri ölçülmüştür. Aynı zamanda döşemede oluşan hasar renkli grafik halinde gösterilmiştir. Bu çalışma sonucunda, çarpma yükünün güçlendirme yöntemi uygulanan betonarme döşemelerin davranışları üzerindeki etkileri sayısal analiz olarak belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Ayrıca nümerik sonuçların deneysel sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Textile Reinforced Mortar (TRM), Betonarme Döşeme, Çarpma Yükü, Dinamik Davranış, LS DYNA, Sonlu Elemanlar Analizi

Abstract

In this study, It is aimed to numerically investigate the behavior of the reinforced concrete slabs reinforced with Textile Reinforced Mortar (TRM) material under the impact load of the mass dropped from a certain height. The directions and the shapes of these textile materials vary. A total of 17 reinforced concrete slabs of 1000x1000x80 mm dimensions were reinforced with TRM in different strip widths and in different directions. First, experimental studies were carried out on reinforced concrete slabs reinforced with TRM. The values obtained as a result of these studies were compared with the numerical result values of the slabs analyzed with the help of a finite element solver computer program called LS DYNA. Reinforced concrete slabs are reinforced orthogonally an diagonally using 50 mm and 100 mm wide TRM strips. The acceleration-time, displacement-time, and permanent displacement-time graphs of the reinforced concrete slab obtained as a result of the impact loads acting on the reinforced concrete slabs reinforced with TRM were measured. At the same time, the damage to the slabs is shown in color graphics. As a result of this study, the effects of impact load on the behavior of reinforced concrete slabs using the strengthening method were determined and interpreted as numerical analysis. Additionally, numerical results were compared with experimental results.

Keywords: Textile Reinforced Mortar (TRM), Reinforced Concrete, Impact Load, Dynamic Behavior, Finite Element Analysis, LS DYNA

1. Giriş

Betonarme yapı elamanları, hizmet ömürleri boyunca statik yüklerin yanı sıra deprem, rüzgar ve çarpma yükleri gibi dinamik yüklere de maruz kalmaktadır. Çarpma yüklemesi durumu her yapıda dikkat edilmesi gereken bir husus olmayabilir. Ama bazı önemli betonarme yapılarda çarpma yüklemesi dikkat edilmesi gereken önemli bir dinamik davranıştır. Çarpma durumunu meydana getiren olaylar örneğin; karayollarında bulunan betonarme yapılara (yol ayrımını sağlamak için kullanılan betonarme bloklar) araç çarpması, köprü ayaklarına gemilerin çarpması, betonarme yapılara otomobil, uçak vb. araçların çarpması, toprak kayması sonucunda kaya parçaların betonarme yapı elemanlarına çarpma durumu gibi sıralanabilir.

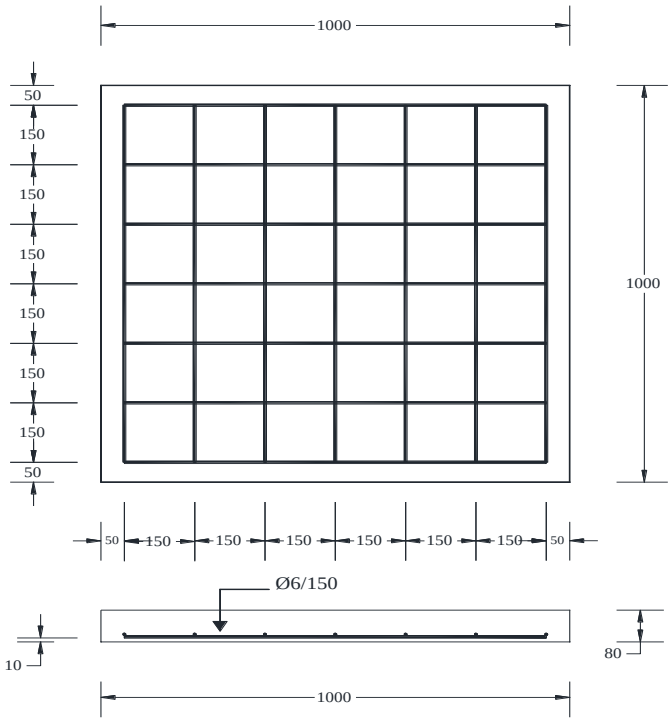
Literatürde betonarme elamanların statik ve dinamik yükler altında davranışlarını inceleyen birçok çalışma vardır. TRM ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerin düşük hızda darbe etkisinde olan araştırmalar yeteri kadar fazla değildir. Bu nedenle TRM şeritleriyle güçlendirilmiş betonarme döşemelerin darbe etkisi altında davranışlarının sayısal analizi amaçlanmıştır.

Araştırma gözlemlerinde darbe kuvveti etkisi altındaki betonarme döşemeler, TRM ile güçlendirme yapılarak, davranışı deneysel olarak incelenmiş ve LS DYNA programında sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bu değerler deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyde 17 adet 1000x1000x80 mm ölçülerinde betonarme döşemeler kullanılmıştır. Betonarme döşemelerin darbe etkisindeki davranışı, 84 kg ağırlığında 1,5 m yüksekliğinden bırakılan ağırlık düşürücü alet ile deneye tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanımı, yukarıdan bırakılan kütlenin ağırlığı ve düşüm yüksekliği aynı kalıp, araştırmada 50 mm ve 100 mm iki çeşit TRM şerit genişliğinde ve dört çeşit TRM şerit yerleşimi, değişiklik göstererek araştırılmıştır. LS DYNA programından ivme-zaman, deplasman-zaman ve kalıcı deplasman-zaman grafik dağılımları bulunmuş olup bu değerler deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve uygulanan güçlendirme detaylarının betonarme döşemelerin çarpma davranışı üzerindeki etkileri program yardımıyla sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Aynı zamanda bu programdan döşemenin çarpma yükü uygulandıktan sonra davranış şekli görsel olarak sunulmuş olup deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. Yöntem

Bu çalışmada test edilecek olan döşemelerin silindir beton basınç dayanımı 40 MPa, donatı aralığı, 150 mm, çekicin ağırlığı 84 kg ve çekicin düşüm yüksekliği 1500 mm olup tüm elemanlarda sabit tutulmuştur.

Şekil 2.1. Betonarme döşemelerin deney düzeneği



Şekil 2.2. Betonarme döşemelerin donatı yerleşim planı

Çalışmada 100mm ve 50mm genişliğinde iki farklı TRM şeritleri ve dört farklı TRM yerleşim şekli değişkendir. Çalışmada toplamda 17 adet döşeme teste tabi tutulmuş olup S1' den S17' ye kadar numaralandırma yapılmıştır (Çizelge 2.1).

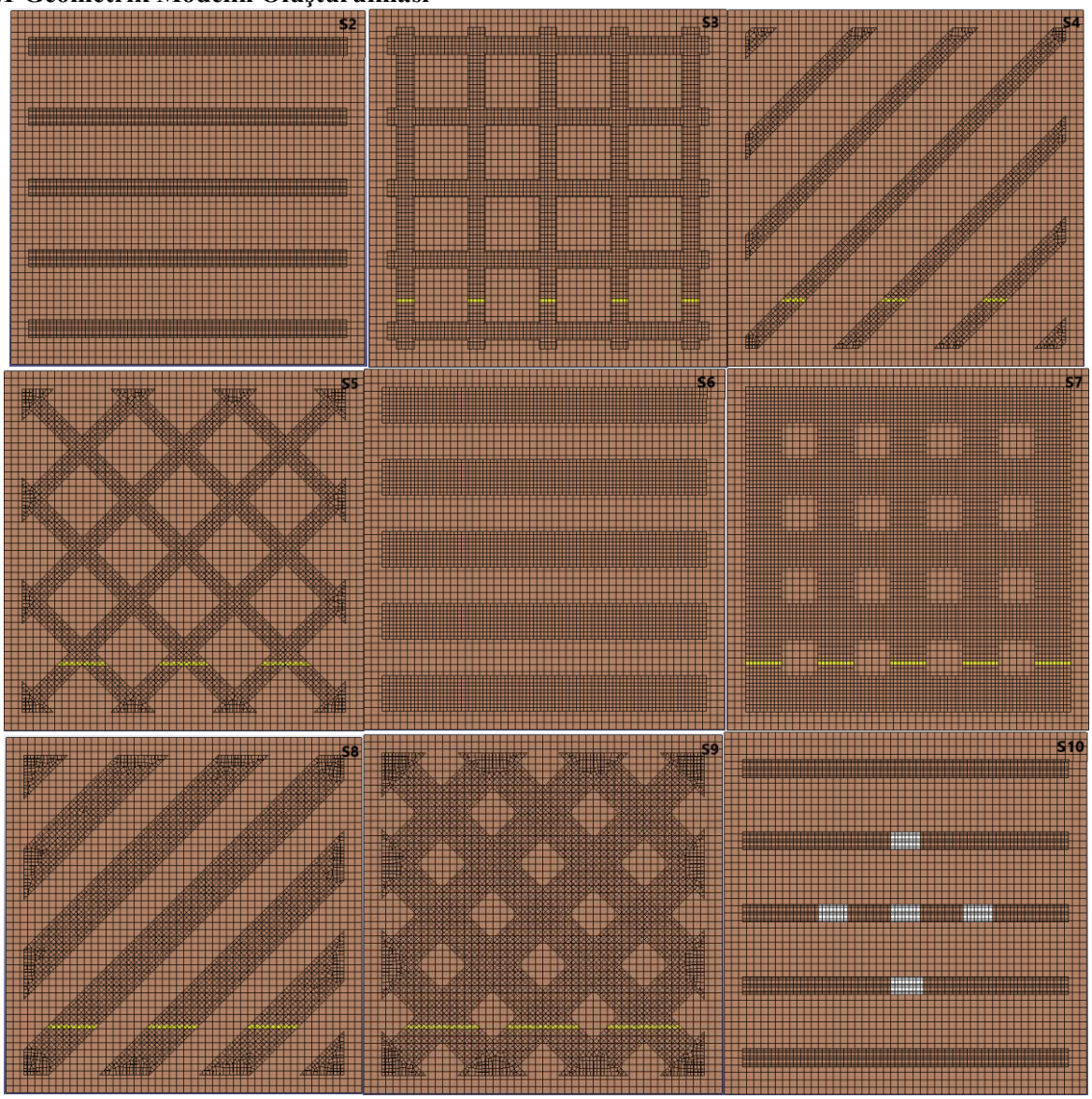
Çizelge 2.1. Deney numunelerin özellikleri

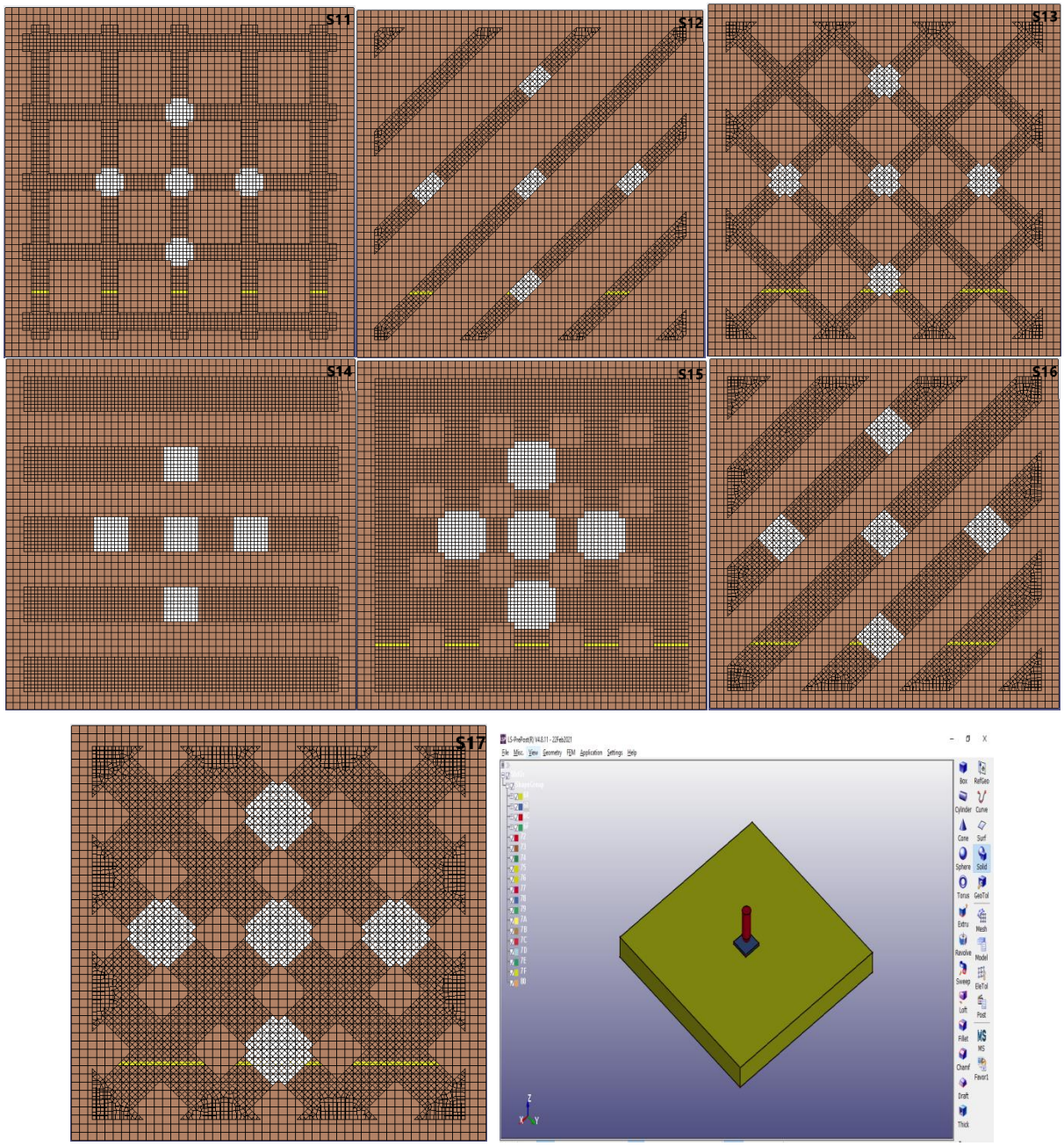
Deney Elemanı	Çekiç Ağırlığı	Düşüm Yüksekliği	TRM Bağlanış Şekli	TRM Şerit Yerleşim Şekli
S1 (Referans)	84 kg	1500 mm	------	Referans
S2 (C50sOr)			Ankrajsız	Carbon 50 mm single ortogonal
S3 (C50dOr)				Carbon 50 mm double ortogonal
S4 (C50sDi)				Carbon 50 mm single diyagonal
S5 (C50dDi)				Carbon 50 mm double diyagonal
S6 (C100sOr)				Carbon 100 mm single ortogonal
S7 (C100dOr)				Carbon 100 mm double ortogonal
S8 (C100sDi)				Carbon 100 mm single diyagonal
S9 (C100dDi)				Carbon 100 mm double diyagonal
S10 (C50sOr_A)			Ankrajlı	Carbon 50 mm single ortogonal ankrajlı
S11 (C50dOr_A)				Carbon 50 mm double ortogonal ankarajlı
S12 (C50sDi_A)				Carbon 50 mm single diyagonal ankrajlı
S13 (C50dDi_A)				Carbon 50 mm double diyagonal ankrajlı
S14 (C100sOr_A)				Carbon 100 mm single ortogonal ankarajlı
S15 (C100dOr_A)				Carbon 100 mm double ortogonal ankrajlı
S16 (C100sDi_A)				Carbon 100 mm single diyagonal ankrajlı
S17 (C100dDi_A)				Carbon 100 mm double diyagonal ankrajlı

Bu çalışmanın sayısal analiz bölümünde, çarpma etkisi altındaki betonarme döşemelerin dinamik analizini gerçekleştirmek için LS DYNA sonlu elemanlar analizi yazılımı kullanılmıştır. Arttırılmış dinamik analiz için en doğru sonucu veren explicit module kullanılmıştır. Bütün sistemde kullanılan birimler: kg, m, Pa, sn, N olarak değerler girilmiştir. Programda modelleme aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Geometrik modelin oluşturulması
- Malzeme özellikleri ve davranışların belirlenmesi
- Yük ve mesnet koşulların belirlenmesi
- Analiz düzenlemelerin yapılması

2.1 Geometrik Modelin Oluşturulması





Şekil 2.3. Deneysel modelin LS DYNA programında oluşturulması

2.2 Malzeme Özellikleri ve Davranışlarının Belirlenmesi

Bu modelde darbeli yüklere maruz kalan gömülü çelik donatılı beton malzemeleri analiz etmek için MAT72_CONCRETE_DAMAGE_REL3 kullanılmıştır. Bu model üç kesme kırılma yüzeyi kullanır. Hasar ve gerinim oranı etkileri içerir. Pseudo-Tensor' a dayanılarak hesaplanmaktadır.

Darbe ve patlama gibi yüksek şekil-değiştirme hızı etkisinde yüklere maruz kalan beton ve çelik malzemelerin mekanik davranışları yarı statik yük koşullarından farklıdır. Yüksek şekil-değiştirme hızı etkisi, malzemelerin basınç ve çekme mukavemetlerini arttırır. Bu nedenle sayısal analizde gerinim hızı etkisinin dikkate alınmasının, darbe yükü altında yapısal elemanların dinamik tepkilerinin ve göçme modlarının doğru bir şekilde değerlendirilmesinde çok önemli bir role sahiptir. Gerinim hızı etkisi, çelik ve beton malzeme modellerinde yaygın olarak, gerinim hızına göre dinamik artış faktörünün (DIF) değişimini ifade eden bir fonksiyonla dahil edilir. DIF dinamik gücün statik güce oranı olarak tanımlanır. Beton ve çelik malzemeler üzerinde gerinim hızı etkisini tahmin etmek için literatürde birçok ampirik

denklem sunulmuştur. Sayısal çalışma kapsamında, Lie ve Heo tarafından beton basınç ve çekme dayanımının DIF' leri kullanılırken, çelik donatılar için Malvar tarafından önerilen DIF bağlantıları kullanılmıştır. Beton malzemesinin $\acute{\varepsilon}_d$ gerinim oranındaki basınç ve çekme DIF' leri Denklem 1.1 ve Denklem 1.2' de sunulmuştur.

Denklem 1.1

$$CDIF = \frac{f_{cd}}{f_{cs}} = \begin{cases} 0.0419\,(log\acute{\varepsilon}_d) + 1.2165 & for(\acute{\varepsilon}_d \leq 30s^{-1}) \\ 0.8988(log\acute{\varepsilon}_d)^2 - 2.8255(log\acute{\varepsilon}_d) + 3.4707 & for(\acute{\varepsilon}_d > 30s^{-1}) \end{cases}$$

Denklem 1.2

$$TDIF = \frac{f_{td}}{f_{ts}} = \begin{cases} 0.26(log\acute{\varepsilon}_d) + 2.06 & for\ (\acute{\varepsilon}_d \leq 1s^{-1}) \\ 2(log\acute{\varepsilon}_d) + 2.06 & for\ (1s^{-1} < \acute{\varepsilon} \leq 2s^{-1}) \\ 1.44331(log\acute{\varepsilon}_d) + 2.2276 & for\ (2s^{-1} < \acute{\varepsilon}_d \leq 150s^{-1}) \end{cases}$$

Burada CDIF ve TDIF, beton için sırasıyla basınç ve çekme DIF' leridir. f_{cd} ve f_{td}, $\acute{\varepsilon}_d$ lere oranındaki dinamik basınç ve çekme dayanımlar iken, f_{cs} ve f_{ts} sırasıyla basınç ve çekme dayanımlarıdır.

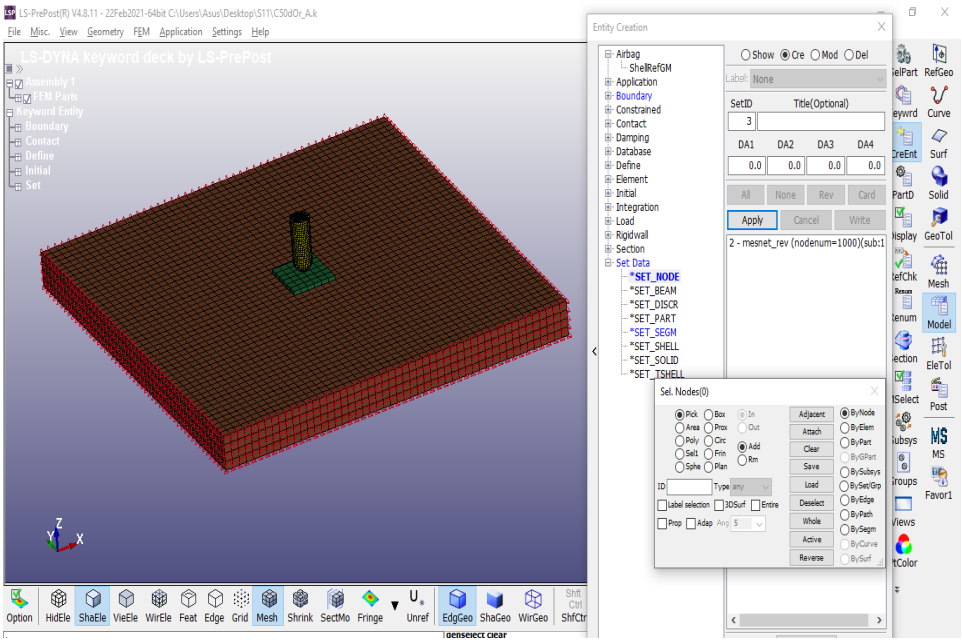
Çelik donatı elemanların materyal özelliklerini tanımlamak için LS DYNA' da bulunan MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (MAT_24) modelini kullanarak elastik-plastik bir malzeme olarak modellenmiştir. Bu modelde, doğrusal olmayan davranış sergilemesi için STRESS_STRAIN_CURVE tanımlaması yapılmıştır. Bununla birlikte ayrıca bu model gerinim hızı etkisinin dikkate alınmasını sağlar. Sayısal modelde çelik akma dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı ve yoğunluğu sırasıyla 576 MPa, 200000 MPa, 0,3 ve 7850 kg/m^3 olarak tanımlanmıştır. Sayısal çalışma kapsamında, CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID komut ile beton ile donatı arasındaki aderans sağlanmış olunur.

Deneyde kullanılmış olan TRM güçlendirme malzemesinin analiz programında materyal olarak MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY (MAT_24) tanımlama yapılmıştır. Yoğunluk, elastisite modülü, poisson oranı, çekme dayanımı gibi özellikler programa tanılaması yapılmıştır. Deneysel çalışmada 1mm kalınlığında TRM şeridi kullanılmıştır. Programa tanımlanırken LS DYNA' da birbirine bağlı elemanların boyutlarındaki modellemede 1 mm kalınlığındaki TRM şeridi kullanılmıştır. Aynı zamanda beton üzerindeki çelik plakanın materyal tanımlaması da 001_ELASTIC' de yapılmıştır.

Deney mekanizmasına düşürülen çelik çekicin materyal tanımlaması yapılırken LS DYNA materyal kısmından 020_RIGID kullanılmıştır. Program analizinde çekicin rijit bir özelliğe sahip olması istenilmiştir. 84 kg ağırlığında çekicin tanımlanmasında hacim ve kütle belli olduğu için yoğunluk programa girilmiştir.

2.3 Yük ve Mesnet Koşulların Belirlenmesi

Mesnet olarak sadece x, y, z hareket yönleri tutulu hale getirilmiş olup, dönme hareketleri açık bırakılmıştır. Böylece deney mekanizmasına uygun bir şekilde hareket sağlamıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Mesnet atanması yapılma işlemi

Bu çalışmada herhangi bir statik yükleme söz konusu değildir. Bunun yerine 84 kg ağırlığındaki çekiç, 1.5m mesafeden bırakılarak beton yüzeyine çarpma sonucu oluşan enerjinin TRM ile güçlendirilmiş betonarme döşemeye dinamik etkisi incelenmiştir. Bu dinamik yükü modele tanımlamak için Initial_Velocity_Generation tanımlaması yapılmıştır. Çekice etkiyen yük (-) Z yönünde oluşmaktadır. Hız tanımlanması yapmak çekicin 1.5m yüksekliğindeki potansiyel enerji çarpma anındaki kinetik enerjiye dönüştürülerek hesaplamalar yapılmıştır. Böylece V= 5,42 m/sn hız etkisi programa tanımlanmıştır.

2.4 Analiz Düzenlemelerin Yapılması

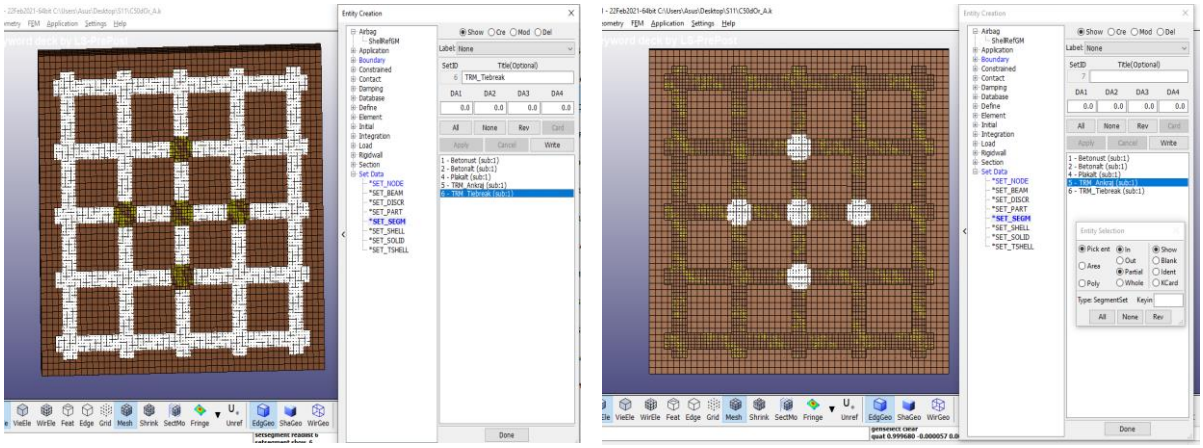
Bu kısımda sistemi analiz etmeden önce yapılması gereken adımlar anlatılmıştır. İlk olarak sistemlere kontak yüzeyi tanımlamaları yapılmaktadır. Kontak yüzeyi yardımıyla yüklerin nereden nereye hangi sınır koşulları altında nasıl aktarılacağı tanımlamış olunur. Kuvvetlerin aktarılacağı unsur MASTER olarak tanımlanırken, kuvvetin aktarıldığı unsur SLAVE olarak tanımlanmıştır. Kontak yüzeyi, iki tane birbirinden ayrı parçalar arasında analiz esnasında yük transferi sağlayan elemanlardır.

CONTACK_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE kontak elemanı ile çekiç ile plaka bağlantısının arasındaki kontak tanımlanmış olur. Burada master plaka iken slave çekiç olarak tanımlanmıştır. Böylece çekiçteki kinetik enerji kontak yardımıyla plakaya aktarılmış olur. Sonra da beton elemana aktarılmış olur.

TIEBREAK_SURFACE_TO_SURFACE kontak elemanı TRM şeritleri ile Beton elemanı arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Bu kontak elemanda master olan beton iken slave olan TRM şeritleridir. Bu kontak elemanları tanımlarken ankrajsız olanlar direk part to part olarak bağlanabilir. Ancak ankrajlı olanlarda TRM şeritlerinin 2 farklı yüzey eleman grubu oluşturulmalıdır. Bunlardan ankrajlı kısım dışındaki elemanlar TIEBREAK ile bağlanmalıdır. Bu bağlantıda slave olan kısım segment, master olan kısım part olarak seçilme yapılmalıdır. Tiebreak kontak elemanında önemli olan özelliği 2 malzeme arasında birbirlerinden sıyrılma özelliğini manuel olarak tanımlanabilmesidir. Bu çalışmada 10MPa değerinde bir sıyrılma sınırı belirlenmiştir. Eğer betondan TRM şeritlerine yük aktarımı gerçekleştirilirken 10MPa değerini aşarsa TRM şeritleri beton yüzeyinden sıyrılacağı anlamına gelmektedir.

TIED_SURFACE _TO_SURFACE kontak elemanı ankrajlı TRM bağlantıları için beton ile yüzeyine tam bağlı olmasını sağlar. Beton ile TRM şeritleri arasında hiçbir sıyrılma olmayacak şekilde birbirleri ile etkileşimi sağlanır. Bu kontak elemanında slave olan TRM şeritleri iken master olan beton

modelidir. Kontak bağlantısında slave olan segment, master olan ise part olarak tanımlama yapılmalıdır. TRM şeritlerinin üzerine gelecek olan ankraj bölgesi belirlendikten sonra o kısımlara segment seçeneğinden grup ataması yapılmıştır. Böylece sadece ankrajlı olan alanlar seçilip TIED kontak ataması yapılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. TIEBREAK ve TIED kontak tanımlanması

3. BULGULAR

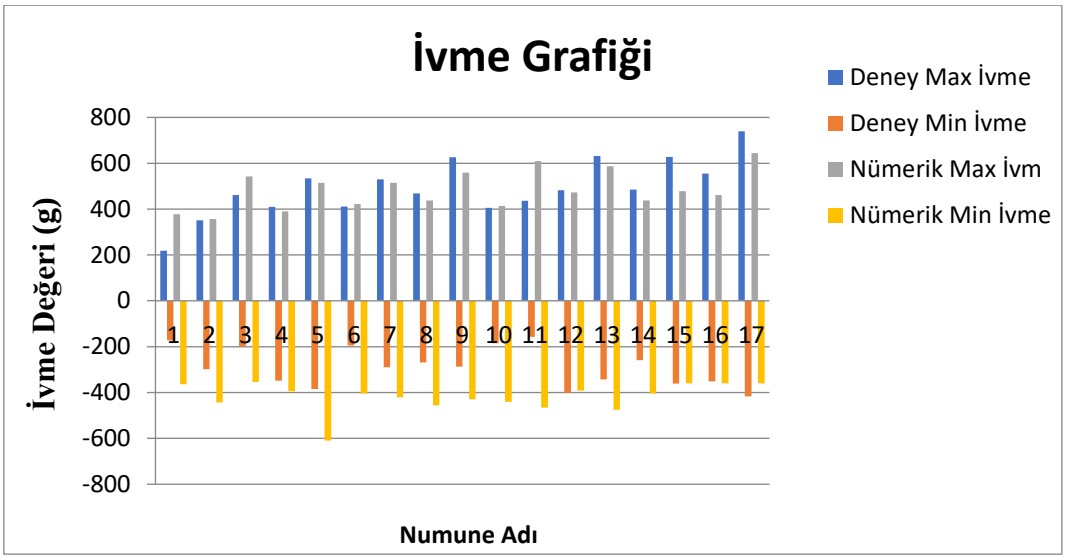
Araştırmanın bu kısmında, çarpma etkisini incelemek için deneyden alınan ivme-zaman ve deplasman-zaman ölçümleri ile LS DYNA programından alınan ivme-zaman ve deplasman-zaman değerleri karşılaştırılmıştır.

İvme-zaman, deplasman-zaman nümerik ve deneysel sonuçları çizelge 3.1' de gösterilmiştir. Bu çizelgenin oran kısmında hem deneysel hem de nümerik değerlerin karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu değerler grafik halindeki gösterimi Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de sunulmuştur.

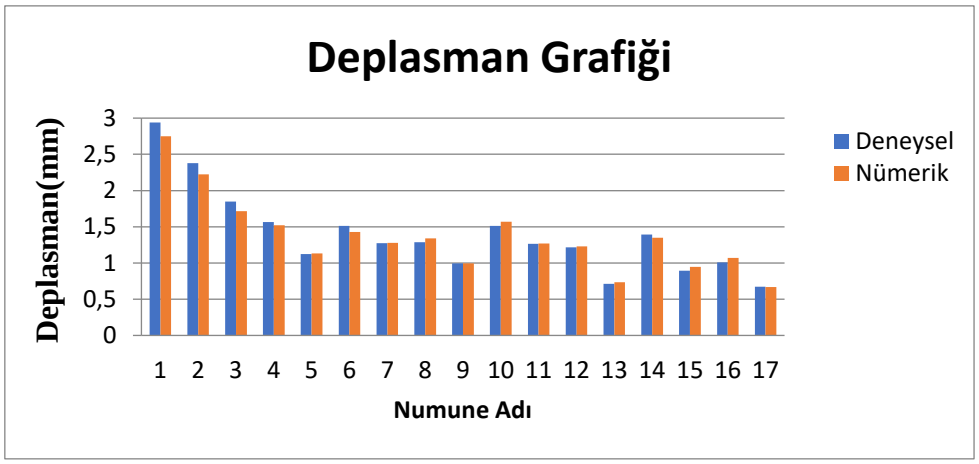
Nümerik çalışmada çekiç betonun hemen yüzeyinde başladığı için çekicin betondan yüzeyinden 1,5 metreden bırakma süresi hız tanımlanmasından dolayı ihmal edilmiştir. Bu nedenle deneysel sonuçta ivme değerleri daha geç sürede çizilmeye başlanmıştır. Örnek grafikler sadece S5 elemanının ve S15 elamanının gösterimi koyulmuştur. Bütün deney elemanların değerleri ve karşılaştırılmaları tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Nümerik ve deneysel sonuçların gösterimi

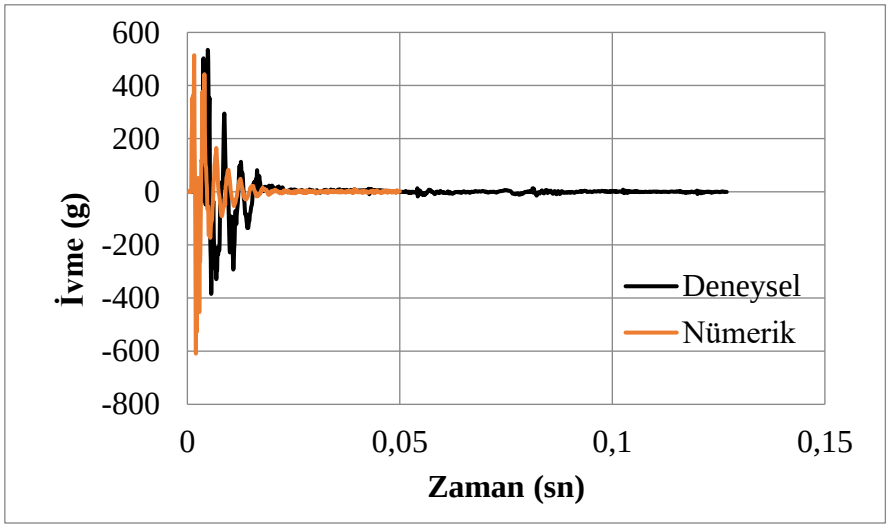
Deney No	Numune Adı	İvme (g)					Maksimum Deplasman (mm)			Kalıcı Deplasman (mm)		
		Deneysel		Ls-Dyna		Oran	Deneysel	Ls-Dyna	Oran	Deneysel	Ls-Dyna	Oran
		Max	Min	Max	Min							
1	Referans	218.64	-171.97	377	-364	-42.01	-2.939	-2.75	6.873	1.124	-0.548	105.109
2	C50sOr	351.66	-297.98	357	-444	-1.50	-2.377	-2.223	6.928	0.533	-0.433	23.095
3	C50dOr	461.39	-200.09	542	-354	-14.87	-1.846	-1.7172	7.501	0.257	-0.357	-28.011
4	C50sDi	409.49	-348.61	390	-395	5.00	-1.564	-1.52	2.895	0.247	-0.309	-20.065
5	C50dDi	534.35	-384.28	514	-609	3.96	-1.122	-1.13	-0.708	0.216	-0.245	-11.837
6	C100sOr	411.09	-194.82	423	-404	-2.82	-1.512	-1.43	5.734	0.411	-0.267	53.933
7	C100dOr	530.41	-289.67	515	-421	2.99	-1.272	-1.28	-0.625	0.139	-0.255	-45.490
8	C100sDi	468.75	-268.66	437	-456	7.27	-1.287	-1.34	-3.955	0.207	-0.281	-26.335
9	C100dDi	626.17	-286.34	559	-430	12.02	-0.994	-0.996	-0.201	0.072	-0.21	-65.714
10	C50sOr_A	405	-184.72	414	-441	-2.17	-1.512	-1.57	-3.694	0.463	-0.297	55.892
11	C50dOr_A	436.07	-157.13	610	-466	-28.51	-1.263	-1.27	-0.551	0.249	-0.183	36.066
12	C50sDi_A	482.39	-402.1	472	-391	2.20	-1.215	-1.23	-1.220	0.224	-0.244	-8.197
13	C50dDi_A	631.15	-342.84	587	-475	7.52	-0.713	-0.734	-2.861	0.2	-0.145	37.931
14	C100sOr_A	484.71	-259.63	437	-404	10.92	-1.394	-1.35	3.259	0.362	-0.262	38.168
15	C100dOr_A	626.94	-361.3	478	-359	31.16	-0.892	-0.946	-5.708	0.105	-0.214	-50.935
16	C100sDi_A	554.41	-350.72	462	-359	20.00	-1.007	-1.07	-5.888	0.138	-0.256	-46.094
17	C100dDi_A	739.86	-417.3	644	-359	14.89	-0.672	-0.668	0.599	0.1	-0.148	-32.432



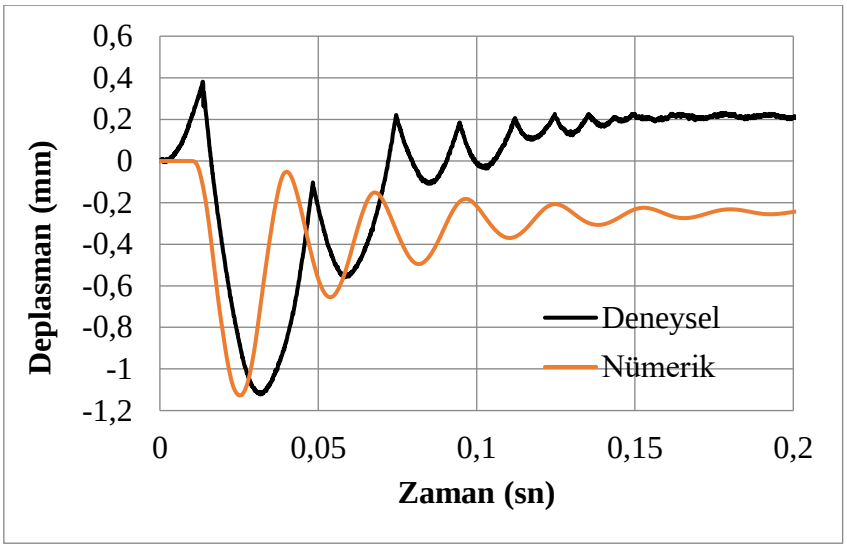
Şekil 3.1. İvme değerlerinin grafik halinde gösterimi



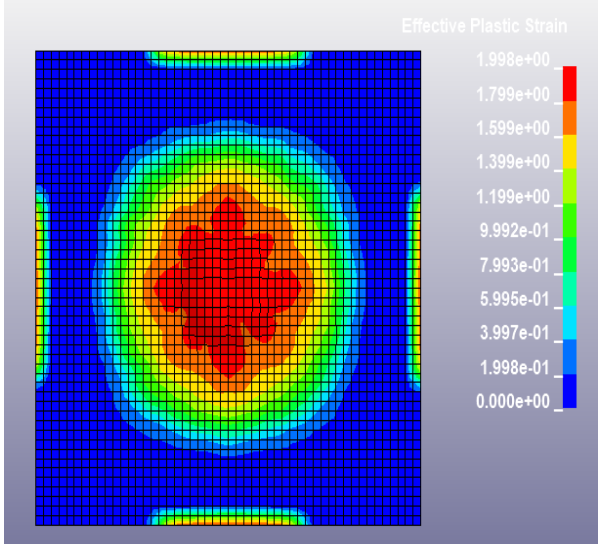
Şekil 3.2. Deplasman değerlerinin grafik halinde gösterimi



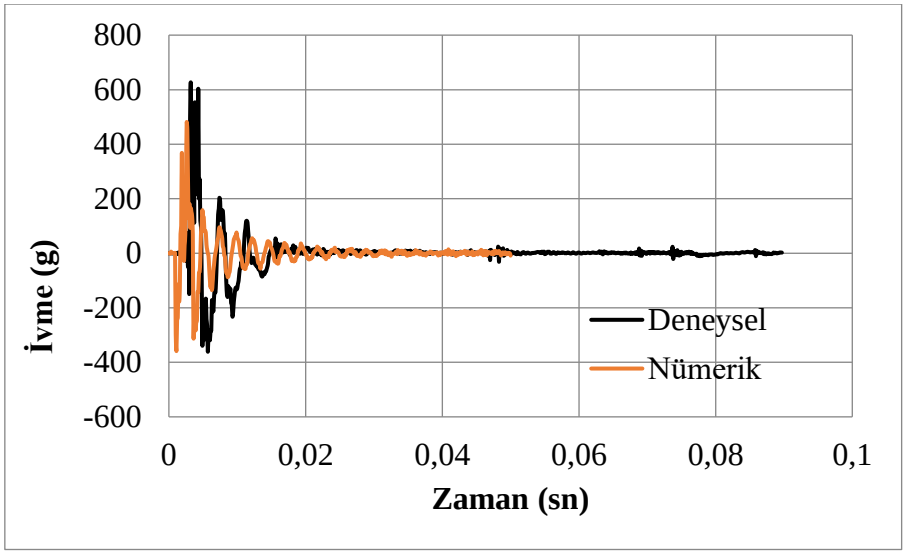
Şekil 3.3. S5 deney elemanın ivme-zaman değerleri



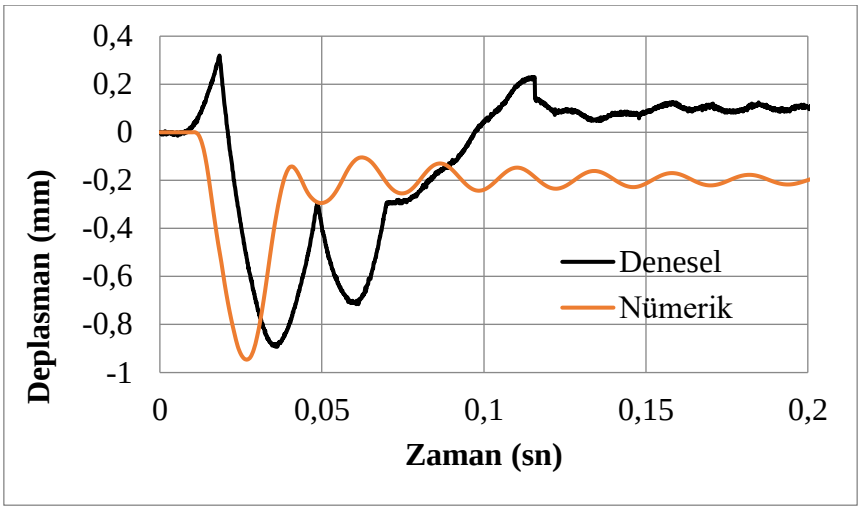
Şekil 3.4. S5 deney elemanın deplasman-zaman değerleri



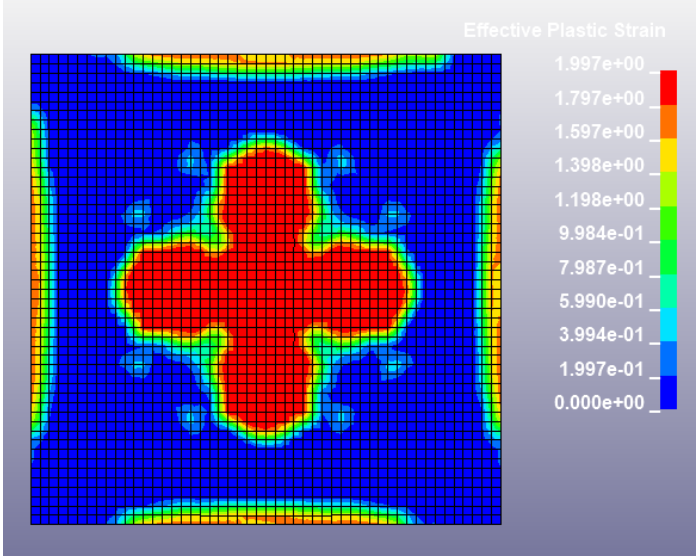
Şekil 3.5. S5 deney elemanın çarpma anınında birim deformasyon şekli



Şekil 3.6. S15 deney elemanın ivme-zaman değerleri



Şekil 3.7. S15 deney elemanın deplasman-zaman değerleri



Şekil 3.8. S15 deney elemanın çarpma anınında birim deformasyon şekli

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Çalışma kapsamında geliştirilen güçlendirme tekniğinin betonarme döşemelerin ani dinamik çarpma yüklemesi etkisi altındaki genel davranışını iyileştirdiği ve performansını önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Önerilen güçlendirme tekniği betonarme döşemelerin dayanım ve rijitliklerini artırarak çarpma yüklemesi etkisi altında meydana gelen maksimum ivme değerlerinin önemli oranlarda artmasını sağlamıştır. Ayrıca geliştirilen güçlendirme tekniği betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen hasar dağılımını sınırlandırmıştır, çatlak sayısını önemli ölçüde azaltmıştır. Döşemelerde çarpma yüklemesi etkisiyle ölçülen maksimum deplasman değerleri ve titreşimin sönümlemesi sonrasında kalıcı plastik deplasman değerleri büyük oranda azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar geliştirilen güçlendirme metodunun çarpma yüklemesi sonucunda betonarme döşemelere aktarılan enerjinin başarılı bir şekilde sönümlendirilerek yutulduğunu göstermiştir.

- Betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışlarını iyileştirmek için geliştirilen güçlendirme tekniğinde çekme yüzeyine yerleştirilen TRM şeritlerin iki doğrultuda kullanılması ve TRM şeritlerin diyagonal formda yerleştirilmesi daha fazla etkili olmuş ve betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi performansını daha büyük oranlarda artırmıştır.

- Çift doğrultulu betonarme döşemelerde güçlendirme için çekme yüzeyine harç ile bağlanan TRM şeritlerin genişliklerinin artması, çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışlarını daha fazla olumlu etkilemiş ve güçlendirme yönteminde elde edilen performans artışını büyütmüştür.

- TRM şeritler üzerinde çarpma yüklemesinin uygulandığı noktada ve yakın çevresinde yine karbon tekstil lifler ile üretilen ankrajların kullanılması betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki genel davranışlarını daha fazla iyileştirmiş ve performanslarını çok daha fazla artırmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2020-15006 kod numaralı “Karbon tekstille takviye edilmiş sıva katmanı ile güçlendirilmiş çift doğrultulu betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışının deneysel olarak incelenmesi” projesi kapsamında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiş olup ESOGÜ BAP Birimine teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

ACI 440.2R-17 Committe Report, 2017, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, American Concrete Institute, p.113.

Anonim, 2021, LS-DYNA Keyword User’s Manual Volume2, https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/jday/manuals/LS-DYNA_manual_Vol_II_R6.1.0.pdf, erişim tarihi: 12.10.2021.

Anonim, 2021, ticm TEX Karbon, https://tic-m.com/urun-detay/karbon-tex, erişim tarihi: 24.09.2021.

Bhatti, A.Q., Kishi, N., Tan, K.H., 2011, Impact resistant behavior of RC slab strengthened with FRP sheet, Materials and Structures, 44, 1855-1864

Hesam Soltani, Alireza Khaloo, Hamid Sadraie Dynamic performance enhancement of RC slabs by steel fibers vs. externally bonded GFRP sheets under impact loading Engineering Structures 213 (2020) 110539

J. Radnic, D. Matešan, N. Grgic, G. Baloevic Impact testing of RC slabs strengthened with CFRP strips Composite Structures 121 (2015) 90–103

Sarah L. Orton, Ph.D., P.E., M.ASCE; Vincent P. Chiarito, P.E, M.ASCE; Jared K. Minor; and Thomas G. Coleman Experimental Testing of CFRP-Strengthened Reinforced Concrete Slab Elements Loaded by Close-In Blast, Journal of Structural Engineering, 140,p.9.

Tolga Yılmaz, Nevzat Kıraç, Özgür Anil, R. Tug˘rul Erdem, Ceyda Sezer Low-velocity impact behaviour of two way RC slab strengthening with CFRP strips Construction and Building Materials 186 (2018) 1046–1063

Uğur ERSOY, 2020, Betonarme Davranış ve Hesap İlkeleri Cilt-1, p.3, p.66.

Vimal Kumar, M.A. Iqbal, A.K. Mittal Study of induced prestress on deformation and energy absorption characteristics of concrete slabs under drop impact loading Construction and Building Materials 188 (2018) 656–675

Türkiye Bina Deprem Yönetmenliği (TBDY 2018)

Presentation ID / Sunum No= 16

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-9838-6148 / 0000-0002-9103-8869 / 0000-0002-8677-4941 / 0000-0001-7668-1496

Karbon Tekstille Takviye Edilmiş Döşemelerin Çarpma Etkisi Altında Test Edilmesi ve Ankraj Etkisinin İncelenmesi

İnşaat Mühendisi Hasan Can Gürdal [1], , Dr. Öğretim Üyesi Hasan Selim Şengel[3], Dr. Öğretim Üyesi Hakan Erol[1], Dr. Öğretim Üyesi Tolga Yılmaz[2]

[1]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, hcgurdal@gmail.com
[3]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ssengel@ogu.edu.tr
[3] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, herol@ogu.edu.tr
[4] Konya Teknik Üniversitesi, tyilmaz@ktun.edu.tr

Özet

Taşıyıcı sistem elemanları kullanım süreleri içerisinde çeşitli yüklere maruz kalmaktadırlar. Bu yükler içerisinde sabit, hareketli, deprem, rüzgâr, sıvı yükleri, toprak itkisi gibi yönetmelikte tanımlanan yükler bulunmaktadır. Ancak göz önüne alınması gerekli bir başka yük ise çarpma yüküdür. Çeşitli darbeler, patlama yükü gibi yükler yapının hasar görmesine neden olabileceğinden bu yükün taşıyıcı sistem elemanları üzerindeki etkisinin araştırılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda betonarme döşemelerin çarpma etkisi altında gösterdikleri davranış ve güçlendirme malzemesinin performansı çalışmamızın amacını oluşturmuştur. Bu kapsamda farklı doğrultu ve yönlerde karbon tekstille takviye edilmiş sıva katmanı ile güçlendirilmiş ankraj uygulaması yapılmış döşemelerin çarpma etkisi altındaki davranışları ağırlık düşürme yöntemiyle test edilmiştir. Çalışmamızda 9 adet 1000x1000x80 mm boyutlarında betonarme döşeme hazırlanmıştır. Deney elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan karbon tekstiller için ankraj şartı, şeritlerin yerleşim yön ve doğrultuları, değişken olarak belirlenmiştir. Karbon tekstiller döşemelere yüksek dayanımlı tamir harcı kullanılarak yerleştirilmiştir. Düşü yüksekliği, düşürülen çekicin ağırlığı, donatı dizilimi ve beton dayanım sınıfı, mesnet şartları, uygulanan karbon tekstil şerit genişliği her bir deney elemanı için sabit tutulmuş ve 100 mm olarak uygulanmıştır. Çalışmada deney elemanlarında ivme, deplasman, birim deformasyon ve çarpma yükü değerlerinin zaman tanım alanındaki değişimleri ölçülmüş ve uygulamanın; ankrajlı, çift yönlü ve diyagonal şekilde yapılması durumlarında döşemelerde meydana gelecek ivme değerlerinin artacağı, deplasman değerlerinin ise azalacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Döşeme, Çarpma Yükü, Karbon Tekstil, Ankraj.

Testing of Carbon Textile Reinforced Flooring Under Impact and Investigation of Anchorage Effect

Abstract

Structural system elements are exposed to various loads during their lifetime. Among these loads, there are loads defined in the regulation such as dead, live, earthquake, wind, hydrostatic loads, soil pressure. However, another load to be considered is the impact load. Since loads such as various impacts and explosion loads may cause damage to the structure, it is necessary to investigate the effect of this load on the elements of the structural system. In this direction, the behavior of reinforced concrete slabs under the impact load of and the performance of the reinforced concrete constituted the aim of our study. In this context, the behavior of slabs under the impact of impact of the slabs reinforced with a plaster layer reinforced with carbon textile in different directions and directions was tested by weight drop method. In our study, 9 pieces of 1000x1000x80 mm reinforced concrete slabs were prepared. Anchoring condition, placement aspect and direction of the strips were determined as variables for carbon textiles used in the reinforcement of the test elements. Carbon textiles were placed on the slabs using high-strength repair mortar. The drop height, the weight of the dropped hammer, the reinforcement arrangement and the concrete strength class, the support conditions, the applied carbon textile strip width were kept constant for each test element and applied as 100 mm. In the study, the changes in the acceleration, displacement, unit deformation and impact load values in the time history of the test elements were measured and the application; It has been concluded that the acceleration values of the slabs will increase and the displacement values will decrease if they are made in an anchored, bidirectional and diagonal manner.

Keywords: Reinforced Concrete Slabs, Impact Load, Carbon Textiles, Anchor.

GİRİŞ

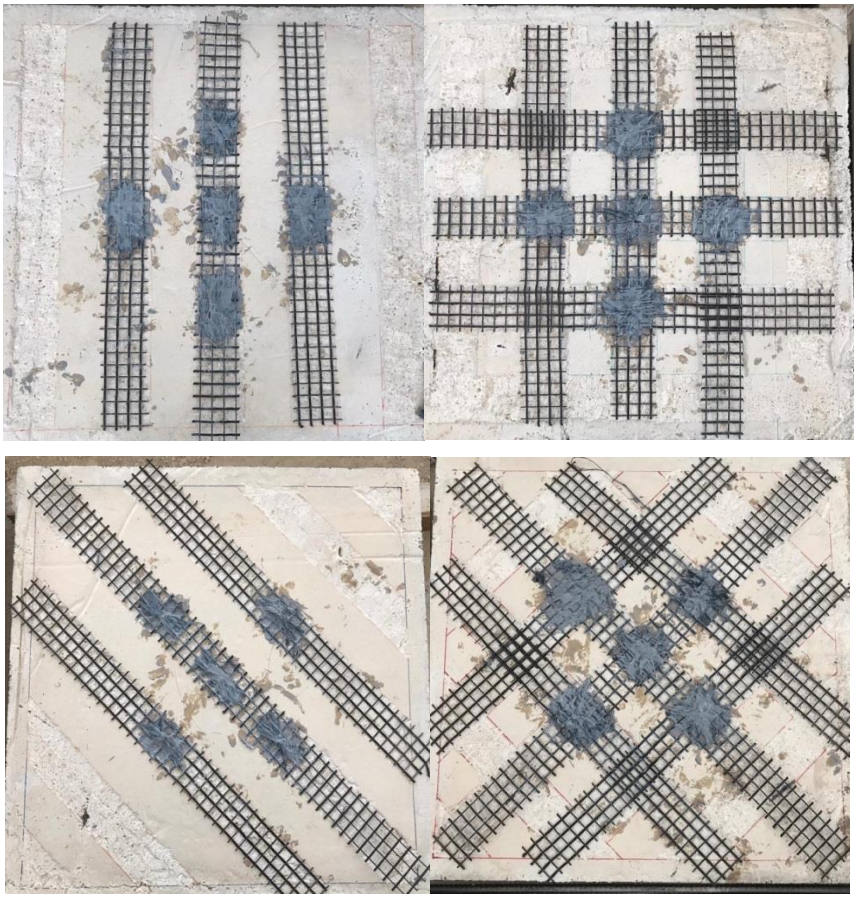
Çarpma yükü; çarpan nesnenin boyutu, tesir süresi, çarpan nesnenin fiziksel özelliklerine göre değişeceği için etkisi ve büyüklüğü net olarak belli olmayan bir yüktür. Bu nedenle yapıların çarpma yükü altındaki davranışlarının mümkün olan en iyi şekilde bilinmesi gerekir.

Geçmişte yapılan araştırmalarda çeşitli yapı elemanlarının çarpma etkisi altındaki davranışları incelenmiştir Sezer (2018). Bu çalışmalarda standart bir deney düzeneği olmamasına karşın büyük çoğunluğunda ağırlık düşürme yöntemi kullanılmıştır. Fakat çoğu çalışmada sadece hasar analizi yapılmış, güçlendirme önerileri ve deneyleri hakkında yeteri kadar çalışma bulunulmamıştır. Othman ve Marzouk (2016), yaptıkları araştırmada sadece donatı oranı ve donatı dağılımını değişken tutarak 5 adet numune üstünde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Hoşkal (2019), test edilen numunelerde gözlemlenen çatlak ve hasar dağılımına göre, çatlak deseninin donatı oranından ziyade donatı düzenine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Hering vd. (2019), darbe yükü altında farklı kalınlıklardaki betonarme döşemelere farklı hızlarda darbe yükü uygulamıştır. Metwally (2013), yapılan çalışma sonuçlarına göre etki eden darbenin hızı arttıkça, tahribatın hasarının da arttığını gözlemlemek gayet kolaydır. Krauthammer (2008), deney esnasında döşemelerde artan darbe yükü hızı etkisi altında delinmeler gerçekleşirken kalınlığı 300 mm olan döşemelerde artan darbe hızı neticesinde var olan kinetik enerjinin döşemenin tamamen yıkımıyla sonuçlanmayacağı, bu enerjinin çoğunun plakada yüzey hasarına neden olacağı tahmini yapılmıştır. Hyrnk (2014), bu varsayıma destek olarak da farklı hızlarda darbe yüküne maruz kalan plakaların iç hasarının neredeyse aynı olması örnek gösterilmiştir.

Yapılan literatür taramasına göre, yapı elemanlarında güçlendirme çalışmalarıyla ilgili eksiklikler gözlemlenmiş ve deneysel kapsam güçlendirme üzerine yoğunlaştırılmıştır. Çalışmada, çarpma etkisi için diğer çalışmalarda da fazlaca tercih edilmiş olan ağırlık düşürücü deney düzeneği

kullanılmıştır. Döşeme üzerine enerji aktarımı çekiç vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Çekiç ile döşemenin temas ettiği yüzeye, kuvvetin sağlıklı aktarılması amacıyla kauçuk ve plaka yerleştirilmiştir. Tüm numuneler üzerine 84 kg ağırlığındaki çekiç 1,5 m yükseklikten düşürülmüş ve 1,236 kJ çarpma enerjisi elde edilmiştir. Deney sonuçlarının en iyi şekilde yorumlanabilmesi amacıyla; deney elemanına etkiyen kuvvetin neden olduğu ivme değerinin tespiti için ivmeölçer, çarpmanın dinamik etkisinin tespiti için darbe kuvvet algılayıcısı, döşemelerde meydana gelen deplasman değerlerinin analizi için potansiyometrik konum algılayıcısı, tekstil şeritlerdeki birim deformasyonun tespiti için strain-gauge kullanılmış ve elde edilen bu değerler eş zamanlı olarak veri toplama aygıtında depolanmıştır.

Toplamda 4 adet deney elemanına karbon fiber çubuklar ile ankraj uygulaması yapılmıştır. Ankrajlar, kendilerine etkiyen kuvveti aktarma görevini üstlenen malzemelerdir ve bu çalışmada da karbon tekstille beraber güçlendirmenin bir parçasını oluşturmuşlardır. Her plaka için 5 adet ankraj uygulaması yapılmış ve bu ankrajlar geometrik olarak uygulama yapılan bütün elemanlarda aynı yere epoksi yardımıyla yerleştirilmişlerdir.



Şekil 1. Deney elemanlarında kullanılan ankrajların yerleşim yerleri

Betonarme döşemelerin güçlendirilmesi amacıyla ticm markasına ait CR370 model karbon tekstil kullanılmıştır. Bu karbon tekstiller döşemeye yüksek dayanımlı tamir harcı vasıtası ile yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminden önce güçlendirme yapılacak döşeme kısımları aderansı arttırmak için pürüzlendirilmiştir. Pürüzlendirilen yüzeye önce tamir harcı uygulanmış, ardından karbon tekstil buraya sabitlenmiş ve karbon tekstil üstüne ikinci kat tamir harcı uygulaması yapılmıştır. Çarpma kuvveti etkisinde tamir harcının ayrışmasını önlemek amacıyla harç katmanının gereğinden fazla olmamasına özen gösterilmiştir. Böylece Karbon tekstille takviye edilmiş sıva katmanı (KTTESK) uygulaması yapılmıştır.

Toplam 9 adet betonarme döşemeden 1 tanesi referans numune olarak belirlenmiş ve üzerinde herhangi bir güçlendirme uygulaması gerçekleştirilmemiştir. Geriye kalan 16 adet döşeme ise şerit yerleşim doğrultusu ve yönü, ankraj şartı parametreleri değişken tutularak güçlendirilmiştir. Çizelge 1'de ise deney elemanlarının isimlendirilmesi ve değişken tutulan özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 1. Deney elemanlarının isimlendirilmesi ve değişken tutulan özellikleri

Deney Elemanı	Açıklaması
Referans	Güçlendirme yapılmamış betonarme döşeme
sOr	Tek doğrultulu ortogonal ankrajsız karbon tekstil uygulaması
dOr	Çift doğrultulu ortogonal ankrajsız karbon tekstil uygulaması
sDi	Tek doğrultulu diyagonal ankrajsız karbon tekstil uygulaması
dDi	Çift doğrultulu diyagonal ankrajsız karbon tekstil uygulaması
sOrA	Ankrajlı, Tek doğrultulu ortogonal karbon tekstil uygulaması
dOrA	Ankrajlı, Çift doğrultulu ortogonal karbon tekstil uygulaması
sDiA	Ankrajlı, Tek doğrultulu diyagonal karbon tekstil uygulaması
dDiA	Ankrajlı, Çift doğrultulu diyagonal karbon tekstil uygulaması

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

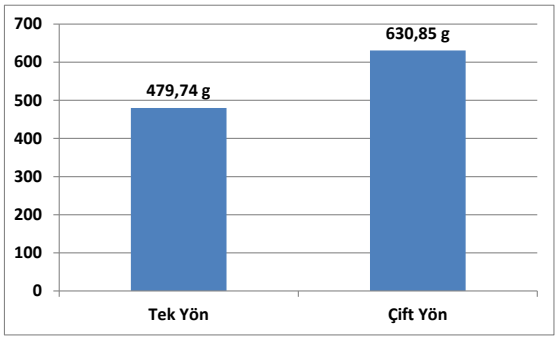
Yürütülen çalışma kapsamında elde edilen ivme-zaman, deplasman-zaman, gerilme-zaman ölçümleri tüm deney elemanları için incelenmiş ve Çizelge 2'de bu değerler verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar

Deney Eleman No	Sol İvme (g)		Sağ İvme (g)		Deplasman (mm)		Max. Birim Defor-masyon (mm/mm)	Çarpma Yükü (kN)
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Kalıcı		
Referans	218,64	-171,97	216,89	-96,10	2,939	1,09	----------	31,97
sOr	411,09	-194,82	408,65	-145,38	1,512	0,38	0,00852	32,08
dOr	530,41	-289,67	527,88	-247,74	1,314	0,12	0,00479	32,08
sDi	468,75	-268,66	466,88	-337,46	1,287	0,21	0,00422	32,03
dDi	626,17	-286,34	623,69	-378,82	0,994	0,057	0,00328	31,95
sOrA	484,71	-259,63	483,22	-249,17	1,394	0,34	0,01001	32,05
dOrA	626,94	-361,30	624,91	-263,99	0,892	0,096	0,00565	32,26
sDiA	554,41	-350,72	552,19	-206,77	1,007	0,12	0,00493	32,03
dDiA	739,86	-417,30	735,83	-369,78	0,672	0,079	0,00387	32,00

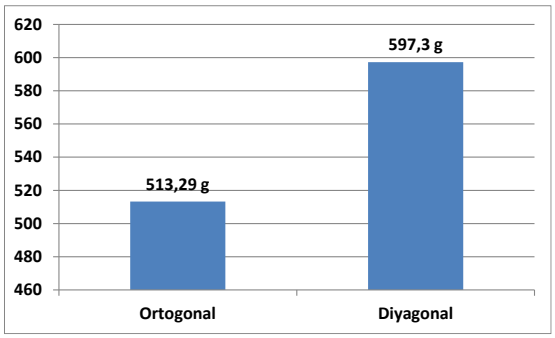
Deneysel çalışma kapsamında elde edilen verilere göre, güçlendirme çalışması yapılan döşemeler ile referans numunesi kıyaslandığında; ivme değerleğinde artış, kalıcı deplasman, maksimum deplasman ve maksimum birim deformasyon değerlerinde azalış gözlemlenmiştir. Nümerik değerlerin farklı oranlarda olmasının nedeni, değişken olarak belirlenen parametrelerden kaynaklanmaktadır.

Tek yönlü güçlendirilmesi yapılan döşemelende elde edilen maksimum ivme değer ortalaması 479,74 g; çift yönlü güçlendirilen elemanlarda gözlemlenen maksimum ivme değer ortalaması 630,85 g olarak ölçülmüştür. Çift yön güçlendirmede tek yöne göre %31,50 bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 2'de şerit yönü ve maksimum ivme değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



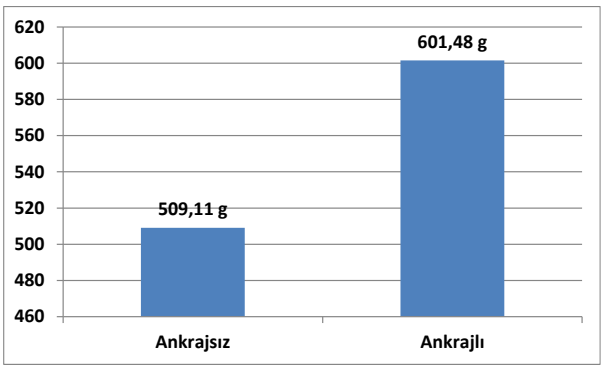
Şekil 2. Döşemelerin şerit yönlerine göre maksimum ivme değer ortalamaları

Karbon tekstil şeritlerin ortogonal olarak yerleştirildiği elemanlarda elde edilen maksimum ivme değer ortalaması 513,29 g; diyagonal olarak yerleştirildiği elemanlarda gözlemlenen maksimum ivme değer ortalaması 597,30 g'dir. Ortogonal ile diyagonal arasındaki artış oranı %16,37 olarak elde edilmiştir. Şekil 3'te şerit yerleşim şekli ve maksimum ivme değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 3. Döşemelerin şerit yerleşimlerine göre maksimum ivme değer ortalamaları

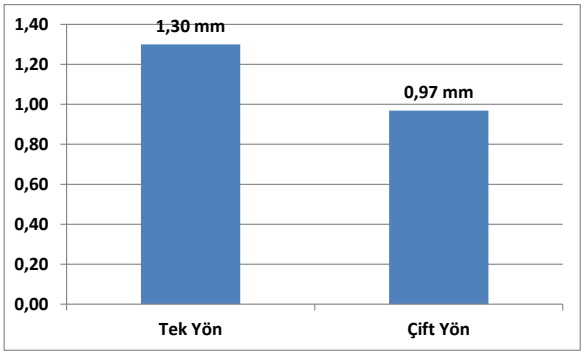
Ankraj uygulaması yapılan numunelerden elde edilen maksimum ivme değer ortalaması 601,48 g; ankraj uygulaması yapılmayan plakalardan elde edilen maksimum ivme değer ortalaması 509,11 g'dir. Ankraj uygulaması yapılması ile ivme değerindeki artış oranı %18,14 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4'te ankraj şartı ve maksimum ivme değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 4. Döşemelerin ankraj şartına göre maksimum ivme değer ortalamaları

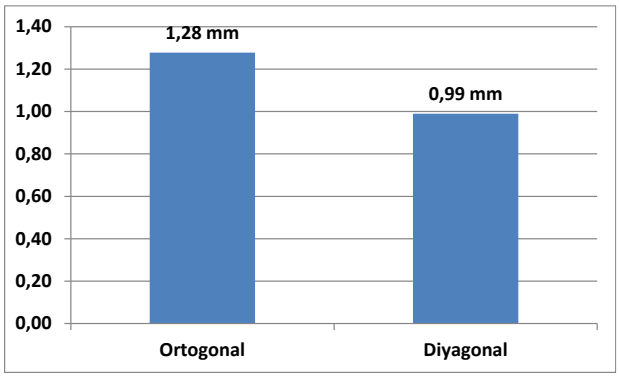
Deney elemanlarında gözlemlenen maksimum deplasman değerlerinde güçlendirme detaylarına bağlı olarak referans numunesine göre değişken oranlarda azalışlar tespit edilmiştir.

Tek yönlü güçlendirilmesi yapılan döşemelerde elde edilen maksimum deplasman değer ortalaması 1,30 mm; çift yönlü güçlendirilen elemanlarda gözlemlenen maksimum deplasman değer ortalaması 0,97 mm olarak ölçülmüştür. Çift yön güçlendirmede tek yöne göre %25,38 azalma gözlemlenmiştir. Şekil 5'te şerit yönü ve maksimum deplasman değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



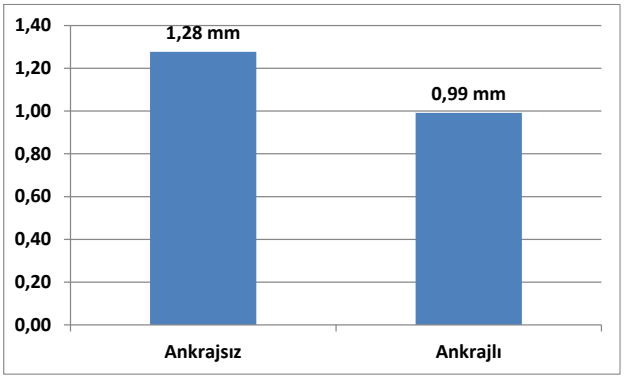
Şekil 5. Döşemelerin şerit yönlerine göre maksimum deplasman değer ortalamaları

Karbon tekstil şeritlerin ortogonal olarak yerleştirildiği deney elemanlarında elde edilen maksimum deplasman değeri ortalaması 1,28 mm; diyagonal olarak yerleştirildiği numunelerde gözlemlenen maksimum deplasman değeri ortalaması 0,99 mm'dir. Ortogonal ile diyagonal deplasman değerleri arasındaki azalma oranı %22,66 olarak elde edilmiştir. Şekil 6'da şerit yerleşim şekli ve maksimum deplasman değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 6. Döşemelerin şerit yerleşimlerine göre maksimum deplasman değer ortalamaları

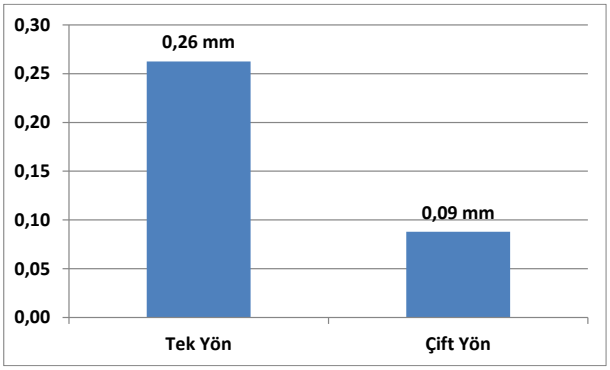
Ankraj uygulaması yapılan deney elemanlarından elde edilen maksimum deplasman değer ortalaması 1,28 mm; ankraj uygulaması yapılmayan plakalardan elde edilen maksimum deplasman değer ortalaması 0,99 mm'dir. Ankraj uygulaması yapılması ile maskimum deplasman değerindeki ankraj uygulaması yapılmayan numunelere kıyasla %22,66 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 7'de ankraj şartı ve maksimum deplasman değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 7. Döşemelerin ankraj şartına göre maksimum deplasman değer ortalamaları

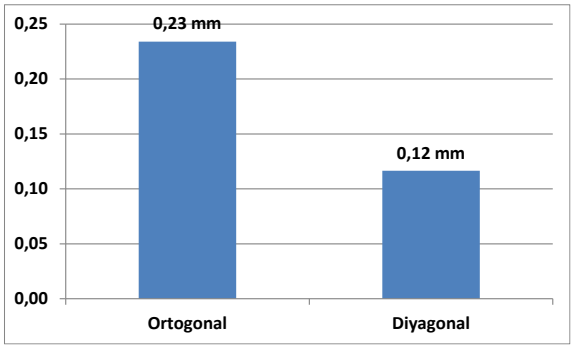
Deney elemanlarında gözlemlenen kalıcı deplasman değerlerinde de değişen güçlendirme detaylarına bağlı olarak farklılıklar ve referans numunesine göre çeşitli oranlarda azalışlar gözlemlenmiştir.

Tek yönlü güçlendirilmesi yapılan döşemelerde elde edilen kalıcı deplasman değer ortalaması 0,26 mm; çift yönlü güçlendirilen elemanlarda gözlemlenen kalıcı deplasman değer ortalaması 0,09 mm olarak ölçülmüştür. Çift yön güçlendirmede tek yöne göre %65,38 azalma gözlemlenmiştir. Şekil 8'de şerit yönü ve kalıcı deplasman değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



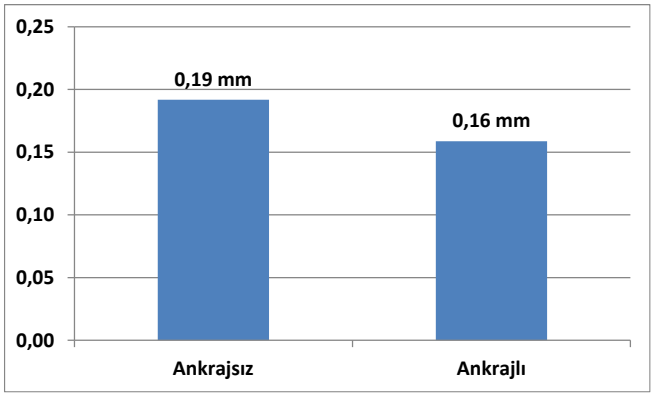
Şekil 8. Döşemelerin şerit yönüne göre kalıcı deplasman değer ortalamaları

Karbon tekstil şeritlerin ortogonal olarak yerleştirildiği elemanlarda elde edilen kalıcı deplasman değeri ortalaması 0,23 mm; diyagonal olarak yerleştirildiği elemanlarda gözlemlenen kalıcı deplasman değeri ortalaması 0,12 mm'dir. Aralarındaki azalma oranı %47,83 olarak elde edilmiştir. Şekil 9'da şerit yerleşim ve kalıcı deplasman değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 9. Döşemelerin şerit yerleşimlerine göre kalıcı deplasman değer ortalamaları

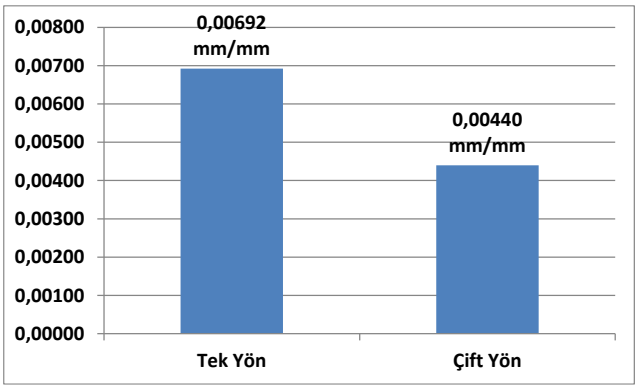
Ankraj uygulaması yapılan deney elemanlarından elde edilen kalıcı deplasman değer ortalaması 0,19 mm; ankraj uygulaması yapılmayan plakalardan elde edilen kalıcı deplasman değer ortalaması 0,16 mm'dir. Ankraj uygulaması yapılması ile maskimum deplasman değerindeki azalma oranı %15,79 olarak tespit edilmiştir. Şekil 10'da ankraj şartı ve kalıcı deplasman değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 10. Döşemelerin ankraj şartına göre kalıcı deplasman değer ortalamaları

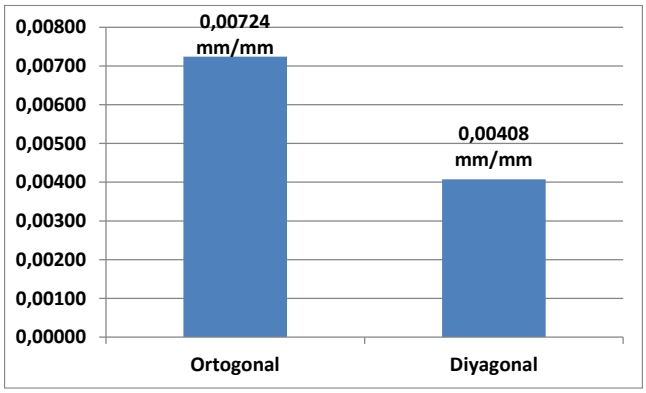
Deney elemanlarında gözlemlenen maksimum birim deformasyon değerlerinde de değişen güçlendirme detaylarına bağlı olarak farklılıklar gözlemlenmiştir.

Tek yönlü güçlendirilmesi yapılan döşemelende elde edilen maksimum birim deformasyon değer ortalaması 0,00692 mm/mm; çift yönlü güçlendirilen elemanlarda gözlemlenen maksimum birim deformasyon değer ortalaması 0,00440 mm/mm olarak ölçülmüştür. Tek yön güçlendirmede çift yöne göre maksimum birim deformasyon değerinde %57,27 artış gözlemlenmiştir. Şekil 11'de şerit yönü ve maksimum birim deformasyon değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



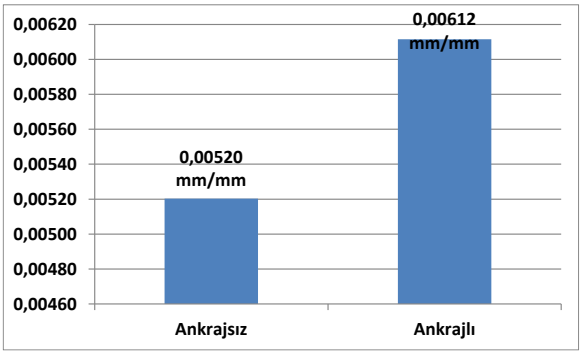
Şekil 11. Döşemelerin şerit yönüne göre maksimum birim deformasyon değer ortalamaları

Karbon tekstil şeritlerin ortogonal olarak yerleştirildiği deney elemanlarında elde edilen maksimum birim deformasyon değeri ortalaması 0,00724 mm/mm; diyagonal olarak yerleştirildiği deney elemanlarında gözlemlenen maksimum birim deformasyon değeri ortalaması 0,00408 mm/mm'dir. Aralarındaki artış oranı %7,45 olarak elde edilmiştir. Şekil 12'de şerit yerleşim şekli ve maksimum birim deformasyon değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 12. Döşemelerin şerit yerleşimlerine göre maksimum birim deformasyon değer ortalamaları

Ankraj uygulaması yapılan deney elemanlarından elde edilen maksimum birim deformasyon değer ortalaması 0,00612 mm/mm; ankraj uygulaması yapılmayan plakalardan elde edilen maksimum birim deformasyon değer ortalaması 0,00520 mm/mm'dir. Ankraj uygulaması yapılması ile maskimum birim deformasyon değerindeki artış oranı %17,69 olarak tespit edilmiştir. Şekil 13'te ankraj şartı ve kalıcı deplasman değeri ortalaması arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 13. Döşemelerin ankraj şartına göre maksimum birim deformasyon değer ortalamaları

Şekil 14'te incelenen değişkenler ile araştırılan dinamik tepkiler arasındaki nümerik ilişki sunulmuştur.

Değişkenler	İvme Değer Ortalaması (g)	Maksimum Deplasman Değer Ortalaması (mm)	Kalıcı Deplasman Değer Ortalaması (mm)	Maksimum Birim Def. Değer Ortalaması (mm/mm)
Referans	218,64	2,94	1,09	--
Tek Yön	479,74	1,3	0,26	0,00692
Çift Yön	630,85	0,97	0,09	0,0044
Ortogonal	513,29	1,28	0,23	0,00724
Diyagonal	597,3	0,99	0,12	0,00408
Ankrajsız	509,11	1,28	0,19	0,0052
Ankrajlı	601,48	0,99	0,16	0,00612

Şekil 14. İncelenen değişkenler ile araştırılan dinamik tepkiler arasındaki nümerik ilişki

Çift ve tek şerit yönlerine sahip numunelerden elde edilen ivme değerleri referans numunesinde ölçülen değerin sırasıyla 2,88 ve 2,19 katı büyüklüğündedir. Referans elemanında mevcut maksimum deplasman, kalıcı deplasman değerleri, tek ve çift yön şeritlere sahip plakalardan elde edilen değerlerin sırasıyla maksimum deplasman olarak 2,26 ve 3,03 kalıcı deplasman olarak 4,19 ve 12,11 katı büyüklüğündedir. Tek yön şerit yerleşimine sahip levhalardan elde edilen maksimum birim deformasyon ortalama değerleri, çift yön şerit yerleşimine sahip levhalarda okunan değerden 1,57 kat daha büyüktür.

Diyagonal ve ortogonal şerit yerleşim doğrultularına sahip numunelerden elde edilen ivme değerleri referans numunesinde ölçülen değerin sırasıyla 2,73 ve 2,35 katı büyüklüğündedir. Referans elemanında mevcut maksimum deplasman, kalıcı deplasman değerleri, ortogonal ve diyagonal yerleşim doğrultularına sahip plakalardan elde edilen değerlerin sırasıyla maksimum deplasman olarak 2,30 ve 2,97 kalıcı deplasman olarak 4,74 ve 9,08 katı büyüklüğündedir. Ortogonal şerit yerleşim doğrultusuna sahip levhalardan elde edilen maksimum birim deformasyon ortalama değerleri, diyagonal şerit doğrultusuna sahip levhalarda okunan değerden 1,77 kat daha büyüktür.

İçeriğinde ankraj bulunan ve bulunmayan numunelerden elde edilen ivme değerleri referans numunesinde ölçülen değerin sırasıyla 2,75 ve 2,33 katı büyüklüğündedir. Referans elemanında mevcut maksimum deplasman, kalıcı deplasman değerleri, ankrajsız ve ankrajlı plakalardan elde edilen değerlerin sırasıyla maksimum deplasman olarak 2,30 ve 2,97 kalıcı deplasman olarak 5,74 ve 6,81 katı büyüklüğündedir. Ankrajlı uygulama yapılan levhalardan elde edilen maksimum birim deformasyon ortalama değerleri, ankraj uygulaması yapılmayan levhalarda okunan değerden 1,18 kat daha büyüktür.

SONUÇ

İvme, her bir kütle birimini hareket ettirmek için ihtiyaç duyduğumuz kuvvet miktarıdır. Buradan hareketle güçlendirme işlemi yapılan betonarme döşemelerde artış gösteren ivme değeri ile deney elemanlarının rijitliklerinin arttığını ve mevcut çarpma etkisine karşı gösterdikleri direncin daha fazla olduğu sonucuna varılabilmektedir. Bu doğrultuda enerji kapasitesi en çok artan deney elemanının karbon tekstil uygulaması çift yönlü yapılmış ve diyagonal doğrultuda şerit yerleşim şekline sahip, ankraj uygulaması yapılmış olan dDiA elemanı olduğu görülmektedir. Güçlendirme doğrultusunun çift yönlü ve diyagonal şekilde yapılması, ankraj uygulaması ile ivme değerinin arttığı sonucuna varılmaktadır. Bu da elemanların rijitliğinin arttığını göstermektedir.

Karbon tekstil ile güçlendirilen döşemelerde meydana gelen maksimum deplasman ve kalıcı deplasman değerlerinde referans numunesine kıyasla ciddi oranlarda azalma gözlemlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre en düşük deplasman değerlerine sahip olan deney elemanının çift yönlü ve diyagonal şekilde şerit yerleşim şekline sahip, ankraj uygulaması yapılmış olan dDiA numunesi olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, güçlendirme doğrultusunun çift yönlü ve diyagonal şekilde

yapılması, ankraj uygulaması gerçekleştirilmesi ile maksimum ve kalıcı deplasman değerlerinin azaldığı sonucuna varılmaktadır.

Şu ana kadar incelenen tüm parametrelerde, en yüksek ivme değerini veren her parametrenin aynı zamanda en düşük deplasman ve maksimum birim deformasyon değerlerini veren değişken olduğu görülmektedir. Bu durumun ters korelasyonu da aynı şekilde geçerlidir. Fakat maksimum birim deformasyon dinamik tepkisi için değişkenler incelendiğinde bu durum geçerli değildir. En düşük deplasman değerleri ile en yüksek ivme değerleri ankrajlı olma durumunda elde edilmiştir. Ama ankrajlı deney elemanlarında ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri ankrajsız numunelerden elde edilen değerlere göre daha yüksektir. Bu durumun nedeni, ankrajlar yerleştirilirken kullanılan epoksi ile karbon tekstil şeritler yerleştirilirken kullanılan tamir harcının arasında yeterince aderans olmaması şeklinde yorumlanmalıdır. Buradan hareketle, güçlendirme doğrultusunun çift yönlü ve diyagonal şekilde yapılması ile maksimum birim deformasyon değerlerinin azaldığı sonucuna varılmaktadır.

Sonuç olarak tüm veriler ele alındığında, en yüksek performans gösteren deney elemanının çift yönlü ve diyagonal doğrultuda şerit yerleşim şekline sahip, ankraj uygulaması yapılmış olan dDiA numunesi olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2020-15006 kod numaralı “Karbon tekstille takviye edilmiş sıva katmanı ile güçlendirilmiş çift doğrultulu betonarme döşemelerin çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışının deneysel olarak incelenmesi” projesi kapsamında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

(Hering, 2019)

(Anonim, 2021)

(Marzouk & Othman, 2016)

(Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018)

(Yılmaz, 2013)

(Sezer, 2018)

(Metwally, 2013)

(Krauthammer, 2008)

(Hyrnk, 2014)

(Hoşkal, 2019)

Presentation ID / Sunum No= 78

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-1606-0126

Tekstil Takviyeli Betonlar ve Uygulama Alanları

Dr. Öğretim Üyesi Bekir Çomak[1]
[1]*Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, bekircomak@duzce.edu.tr*

Özet

Betonarme yapı elemanlarında kullanılan çeliğe alternatif olarak tercih edilen tekstillerin, beton da takviye olarak kullanılması yeni ve yenilikçi bir gelişmedir. Tekstiller, karbon, cam, bazalt gibi malzemelerden üretilen lif ve filementlerin (sürekli), farklı üretim yöntemleri kullanılarak, açık ağ örgülü (mesh) şeklinde 2 boyutlu veya 3 boyutlu olarak üretilmesiyle elde edilir. Tekstil Takviyeli Beton (TTB), takviye olarak kullanılan tekstilin, ince taneli çimento esaslı bir matris içerisine gömülerek imal edilmesiyle oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. TTB'nin sağlamış olduğu üstün mekanik özellikleri ve dayanıklılığı sayesinde, ince, hafif, dayanıklı yapı elemanlarının üretilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada, TTB'yi oluşturan malzemeler (tekstiller ve matris), üretim yöntemleri ile TTB'nin özellikleri ve kullanım alanları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Sonuç olarak, TTB, sadece güçlendirme malzemesi olarak değil, aynı zamanda tek başına yapısal elamanlar olarak da kullanılmaktadır. TTB, mimarlara ve mühendislere tasarımda daha fazla ve farklı özgürlükler vermesiyle nedeniyle, inşaat teknolojisinde birçok kullanım alanı bulmuştur. TTB, ince, hafif ve sağlam yapı elemanları oluşturma imkânı sunduğu için, yapısal uygulamalarda yenilikçi ve yüksek potansiyele sahip, gelecek vadeden kompozit bir yapı malzemesi olmaya devam edecektir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil Takviyeli Beton, Teknik Tekstil, Kompozit Malzeme

Textile Reinforced Concrete and Its Applications

Abstract

The use of textiles, which is preferred as an alternative to the steel used in reinforced concrete building elements, as reinforcement in concrete is a new and innovative development. Textiles are produced by producing fibers and filaments (continuous) made of materials such as carbon, glass, basalt, in 2D or 3D in the form of an open mesh (mesh) using different production methods. Textile Reinforced Concrete (TRC) is a composite building material formed by manufacturing the textile used as reinforcement by embedding it in a fine-grained cement-based matrix. Thanks to the superior mechanical properties and durability provided by TRC, it is possible to produce thin, light, durable building elements. In this study, brief information is given about the materials (textiles and matrix) that makeup TRC, their production methods, and the properties and usage areas of TRC. As a result, TRC is

used not only as reinforcement material but also as stand-alone structural members. TRC has found many uses in construction technology, as it gives architects and engineers more and different freedom in design. TRC will continue to be an innovative and promising composite building material with high potential in structural applications, as it offers the opportunity to create thin, light, and robust structural elements.

Keywords: Textile Reinforced Concrete, Technical Textile, Composite Material

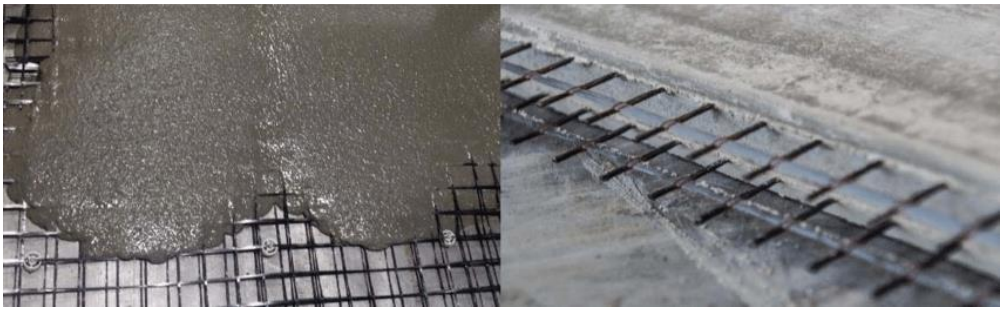
1. Giriş

Betonarme, nispeten düşük çekme dayanımı ve sünekliğe sahip betonun, daha yüksek çekme dayanımı ve sünekliğe sahip çelik donatı ile güçlendirilerek, bir arada kullanılması ile imal edilen kompozit bir malzemedir. Çelik donatılar gerekli çekme dayanımını sağlarken, beton basınç gerilmelerini taşır ve çeliği korozyona karşı korur (Celep, 2020; Doğangün, 2019). Betonarme yapıların uzun ömürlü, dış etkilere dayanıklı, ekonomik, yangına dayanıklı, rijitliğinin fazla ve dayanımının yüksek olması gibi, birçok olumlu özelliği bulunmaktadır. Betonarme yapıların ağırlıklarının çok yüksek olması, yeniden kullanılamaması, inşaat süresinin uzunluğu, kalıp maliyeti ve yapım kurallarına uygun yapılmayan elemanlardaki donatıların korozyona uğraması, betonarmenin olumsuz özellikleri arasında sıralanabilir (Doğangün, 2019). Ayrıca, takviye için kullanılan çelik donatı, betonarme yapı elemanlarının boyutunu ve şeklini sınırlandırmaktadır (Gries, Raina, Quadflieg, & Stolyarov, 2016). Çelikle güçlendirilmiş beton yapılar, beton tarafından sağlanan koruyucu ortamın zayıflaması durumunda, korozyon saldırısına karşı savunmasız kalmaktadır. Korozyona karşı dayanıklılığı artırmak için, çelik çubuklara alternatif olarak, paslanmaz çelik çubuklar, epoksi kaplamalı çelik çubuklar, fiber takviyeli polimer (FRP) çubuklar, çelik kaynaklı tel kumaş ve fiberler (çelik ve sentetik) gibi diğer güçlendirme seçenekleri kullanılmaktadır (Portal, 2013). Geleneksel çelik takviyeye alternatiflerden bir tanesi de, dayanıklılığını ve güvenilirliğini artıran tekstil takviyesinin kullanılmasıdır (Gries et al., 2016). Yüksek dayanımlı tekstil malzemeler, benzersiz bina ve yapıların inşası, yol inşaatı ve hidrolik mühendisliği gibi çeşitli inşaat alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Gries et al., 2016).

2. Tekstil Takviyeli beton (TTB)

Tekstil takviyeli beton (TTB), son yıllarda yeni ve değerli bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır (Peled, Mobasher, & Bentur, 2017). Yeni bir çimentolu kompozit türü olan TTB, mükemmel mekanik davranışa ve yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olması nedeniyle, inşaat mühendisliğinde yeni yapısal elemanlar üretmek ve mevcut yapıları güçlendirmek için kullanılır. Korozyona uğramayan, sürekli lif ve filementlerden elde edilen bir tekstilin, bağlayıcısı Portland çimentosu olan ve küçük boyutlu agregalardan oluşan çimentolu bir matrise yerleştirilmesi ile elde edilir (Lepenies, Richter, & Zastrau, 2008; Mansur de Castro Silva, de Andrade Silva, & Structures, 2020; Peled et al., 2017).

Şekil 1. TTB döküm işlemi (solda) ve sertleştirilmiş TTB bileşeni (sağda) (Portal, 2015).



Teknik tekstillerin inşaat mühendisliği alanında kullanılmasını araştırmak için, Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG (Alman Araştırma Vakfı) RWTH Aachen Üniversitesi ve Dresden Teknoloji Üniversitesi'ndeki (532 ve 528) ortak araştırma merkezlerini kurmuş ve bu merkezlerde TTB, araştırmacılar tarafından birçok farklı projede kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve değerlendirilmiştir. (Orlowsky & Raupach, 2011; Williams Portal, Lundgren, Wallbaum, & Malaga, 2015). ABD, Brezilya ve İsrail de bu alanın yayılmasında önemli bir rol oynamıştır (Mobasher, 2011; Williams Portal,

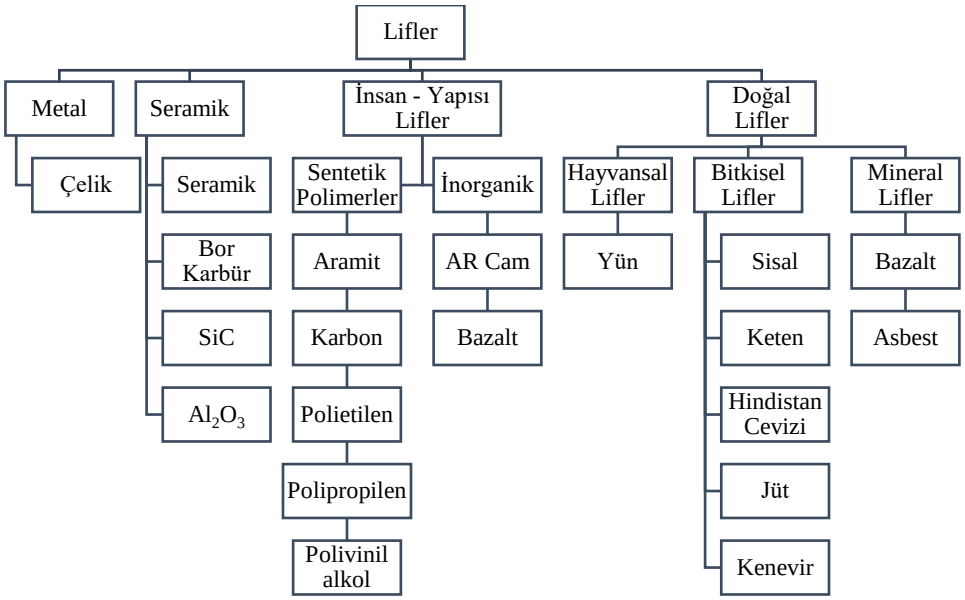
Fernandez Perez, Nyholm Thrane, & Lundgren, 2014). TTB, halen araştırmacılar tarafından geliştirilmeye ve araştırılmaya devam etmektedir.

3.TTB'yi oluşturan malzemeler

3.1. Tekstiller

En genel anlamıyla lif (fiber) , mikroskobik açıdan homojen, esnek, uzunluk/çap oranı yüksek olan maddeler şeklinde tanımlanmaktadır. Bir malzemenin lif tanımına girebilmesi için, uzunluk/çap oranın en az 100 olması gerektiği varsayılmaktadır (Saçak, 2007). Lifler aşağıdaki Şekil 2'deki gibi gruplandırılmaktadır.

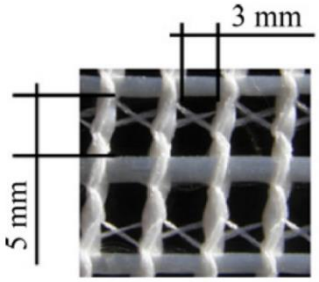
Şekil 2. Lif Türleri (Peled et al., 2017)



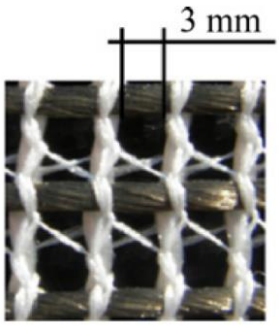
Elyaf takviyeleri temel olarak kısa ve sürekli lifleri ve tekstil kumaşlarını kapsar (Karaduman, Karaduman, Ozdemir, & Ozdemir, 2017). Bazalt, polimer, polipropilen, alkaliye dayanıklı (AR) cam, karbon ve diğerlerinden yapılan lifler ve filamentler (sürekli lifler) farklı birleştirme teknikleri kullanılarak teknik tekstiller elde edilir. TTB üretiminde takviye elmanı olarak kullanılan tekstiller 2D (düzlemsel) veya 3D olarak üretilir (Du et al., 2018; Gries et al., 2016; Volkova, Paykov, Semenov, Stolyarov, & Melnikov, 2016a; Žák, Štemberk, & Vodička, 2017). Üretilme biçimlerine göre, dokuma kumaşlar, örme kumaşlar, dikişli kumaşlar, örgüler, dokunmamış kumaşlar ve çok eksenli kumaşlar şeklinde üretilmektedir. Bu tekstil formlarının her biri kendi lif mimarisine, dayanım, sertlik, esneklik ve tokluk gibi özelliklerin kombinasyonuna sahiptir (Karaduman et al., 2017).

Farklı malzemelerden elde edilen 2D ve 3 D tekstil örnekleri aşağıda verilmiştir.

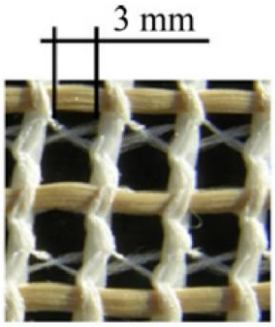
Şekil 3. Cam Fiber (E Sınıfı) (Contamine, Si Larbi, & Hamelin, 2011)



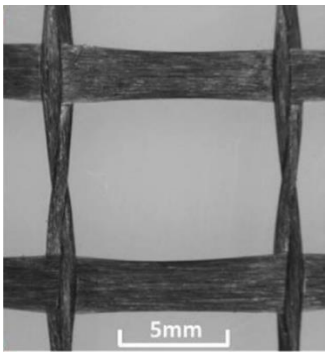
Şekil 4. Bazalt Fiber (Contamine et al., 2011)



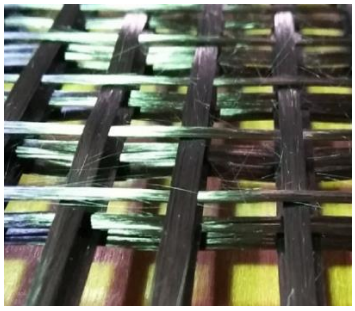
Şekil 5. Aramit Fiber (Contamine et al., 2011)



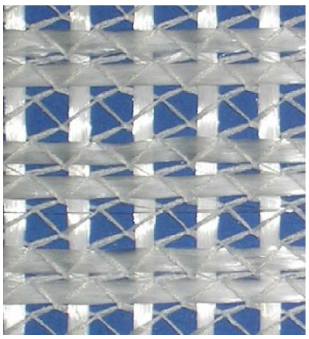
Şekil 6. Bazalt Fiber (Zhu et al., 2019)



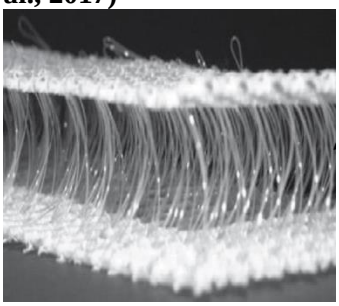
Şekil 7. Çok Katmanlı Dokuma Tekstil (Halvaei, Jamshidi, Latifi, & Ejtemaei, 2020)



Şekil 8. Cam Fiber (Hinzen & Brameshuber, 2009)

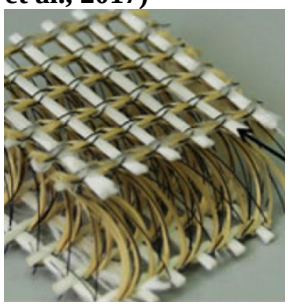


Şekil 9. 3D Tekstil (Peled et al., 2017)



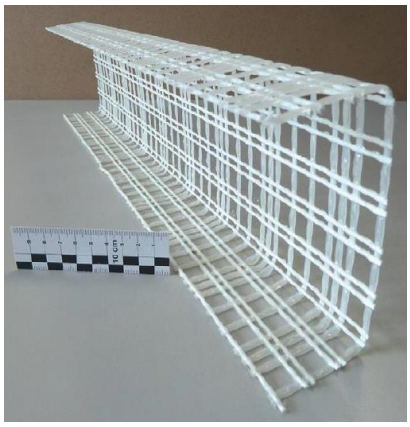
Şekil 10. 3D Çözgülü Örme Tekstil (Gries et al., 2016)

Şekil 11. 3D Tekstil (Peled et al., 2017)



Tekstilin kalitesini iyileştirmek için, epoksi reçine (EP), stiren-bütadien (SB) veya polimerler gibi malzemeler ile emprenye edilirler. Tekstilin emprenye edilmesi ile kopmada çekme dayanımı ve kalıcılık gibi gerekli özellikler iyileştirilir. Ayrıca U profilleri, cephe kaplama panelleri için alt yüzeyler veya T-kirişli köprüler için zemin ve ağ takviyeleri gibi kalıplanmış takviyeler ve aynı zamanda serbest biçimli kavisli yüzeyler bugün sadece epoksi reçine emprenyeleri ile üretilebilir (Kulas, 2015) (Şekil 11, Şekil 12).

Şekil 12. Kalıplanmış Epoksi Reçine ile Emprenye Edilmiş AR-Cam Fiber Tekstil (Hegger & Will, 2016)



Şekil 13. Epoksi Reçine Emprenye Edilmiş ve Kumla Kaplanmış Tekstil (Yin, Jing, Yin, & Wang, 2019).

3.1. Matris

TTB üretiminde, 0,3-0,4 su/bağlayıcı (w/b) oranına ve hacimce %40-50 bağlayıcı içeriğine sahiptir. Yüksek bağlayıcı içeriği, ince beton ile tekstil takviyesinin filamentleri arasında yeterli bağlanma ve taze betonun işlenebilirliği için esastır. Agregaların maksimum tane boyutu, tekstil takviyesinin iplikleri arasındaki mesafeye, tekstil takviye katmanlarının aralığına ve yapısal elemanın boyutlarına bağlı olarak 1 ila 2 mm arasında değişir (Mechtcherine, Schneider, & Brameshuber, 2016).

TTB için kullanılacak olan matrisler, genellikle Portland çimentosu ile yapılmaktadır. Matrisin fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirmek için çimento ile birlikte, mikro silika, yüksek fırın cürufu, metakoalin, taş tozu gibi mineral katkılar sıklıkla kullanılmaktadır. Karışıma ilave edilen mineral katkılar sayesinde, TTB üretmek için kullanılan tekstillerin biçimine, türüne ve kaç katlı kullanılacağına bağlı olarak matrisin akıcılığı, viskozitesi, kendiliğinden yerleşebilmesi gibi özellikleri ayarlanabilir. Ayrıca elde edilecek olan TTB yapı elemanın türüne ve pozisyonuna göre de matrisin işlenebilirlik parametreleri düzenlenebilmektedir.

TTB üretiminde kullanılan Portland çimentosu, hem ekolojik olarak sorunludur hem de tekstil takviyesine büyük ölçüde zararlı yüksek alkali ortamları üretir. Bu dezavantajlara sahip olmayan alternatif çimentolar son yıllarda TTB araştırmalarının odak noktası olmuştur. Çimentosuz elde edilen Geopolimerler ve Yüksek Alimüna çimentolar, Kalsiyum Alüminatlı çimento, İnorganik fosfat çimentosu gibi alternatif çimentolarda matris fazı oluşturmak için kullanılmaktadır (Mechtcherine et al., 2016). Ayrıca, farklı türde polimerler kullanılarak çimento esaslı matrisler modifiye edilebilir veya direkt polimer beton şeklinde kullanılarak matrisler hazırlanabilir (Keil & Raupach, 2011; Mechtcherine et al., 2016; Murcia, Çomak, Soliman, & Reda Taha, 2022).

TTB için temsili matris için karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. TTB için temsili matris bileşimleri (Brockmann, 2006; Mechtcherine et al., 2016)

Malzemeler		**Mineral Bazlı Matrisler**				
		PZ-0899-01 SFB 532	**FA-1200-01 SFB 532**	**Ml SFB 528**	**M3 SFB 528**	**M7 SFB 528**
Çimento (Ç)	kg/m^3	490	210	539	549	839
Çimento Türü	-	CEM I 52,5	CEM I 52,5	CEM III/B 32,5	CEMI 32,5R	CEMI 32,5R
Uçucu Kül (U)	kg/m^3	175	455	243	246	-
Silis Dumanı (Si)		35	35	-	-	-
Silis Bulamacı (S:Si = 1:1)		-	-	53,9	54,6	-
Bağlayıcı (B=Ç+U+Si)		700	700	809	822	839
Akışkanlaştırıcı	Bağlayıcı ağırlığının %'ce oranı	1,0---1,5	0,9	2,1-2,2	2,3-2,4	2,1-2,2
Silis (Filler) 0-0.125mm	kg/m^3	500	470	-	-	-
İnce Silis Kumu 0.2-0.6mm		715	670	-	-	-
Kum 0---1 mm		-	-	1079	1092	1189
Su (S)		280	280	242,7	245,6	279,7
S/Ç	-	0,57	1,33	0,45	0,45	0,33
S/B=S/(Ç+F+Si)	-	0,4	0,4	0,3	0,3	0,33

4. TTB üretimi

TTB'den yapılabilen farklı yapı bileşenleri döküm, laminasyon, püskürtme, büküm ve ekstrüzyon gibi imalat yöntemleri kullanılarak üretilir. Döküm ve laminasyon teknikleri laminer bileşenler için daha uygun iken, püskürtme yöntemi kullanılarak kavisli şekiller de üretilebilir. Ayrıca savurma tekniğini ile de tüpler üretilebilmektedir. (W. Brameshuber, 2016). Farklı imalat yöntemlerinin uygulama alanları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı imalat yöntemlerinin uygulama alanları (W. Brameshuber, 2016)

Üretim Metodu	Bileşen Geometrisi		Tekstil				Yapı Bileşeni
	2D	3D	2D	3D	Kalıplanmamış	Kalıplanmış	
Döküm	++	o	++	++	++	++	Cephe Kaplamaları Kalıp Elemanları Yapısal Elemanlar
Laminasyon	++	o	++	--	++	o (+)	Cephe Kaplamaları Levhalar
Püskürtme	++	++	++	--	++	o (+)	Yatay ve Dikey Hizalamadaki Levhalar
Savurma	--	++[a]	++	+ (o)	++	++	Tüpler, Direkler Kolonlar
Ekstrüzyon	++	++	Henüz Bilinmiyor				Çubuk Şekilli Profiller Petek Levhalar Kalıp Elemanları İçi Boş Çekirdek Levhalar

++, çok uygun veya çok kolay üretilebilir; +, uygun veya kolayca üretilebilir; o, uygun veya mümkün; ,

- sınırlı bir ölçüde uygun veya sınırlı bir ölçüde mümkün;-- uygun değil veya üretilemez; a Dairesel içi boş profiller

5. TTB'nin ÖZellikleri ve Uygulama Alanları

TTB'nin hafifliği, yüksek sıcaklıklara karşı dirençli, korozyona karşı dayanıklı olması, sıkıştırma ve çekmede yüksek mukavemeti, üstün süneklik, çatlak genişliği azaltma, yüksek dayanım-ağırlık oranı, serbest biçimli yapılar, kullanım kolaylığı, hızlı montaj gibi birçok avantajı vardır. TTB, sahip olduğu, modüler oluşu ve görsel etkisi gibi bu üstün özelliklerinden dolayı sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak da sınıflandırılabilir (Abdel-Emam, Soliman, Nassr, Khair-Eldeen, & Abd-Elshafy, 2018; Dalal, Goumairi, & El Malik, 2017; Jamshaid, Mishra, Militký, & Noman, 2018; Volkova, Paykov, Semenov, Stolyarov, & Melnikov, 2016b; Žák et al., 2017) TTB, mevcut yapıların güçlendirilmesi için uygun bir çözüm yöntemidir (Portal, 2015).

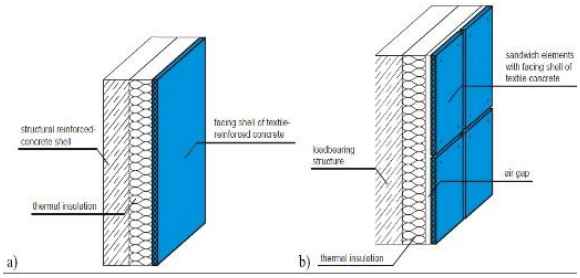
Bu nedenle yeni ve değerli bir yapı malzemesi olarak TTB, inşaat sektöründe farklı uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. TTB,

- ✓ Köprüler (yeni inşaat ve bakım),
- ✓ Taşıyıcı yapı güçlendirmeleri,
- ✓ Balkon levhaları,
- ✓ Gürültü/su koruma duvarları,
- ✓ Küçük, orta ve büyük formatlarda havalandırmalı cephe sistemleri,

- ✓ Serbest biçimli yüzey, sandviç duvarlar, modüler gibi uygulamalarda kullanılır. (örn. garajlar, trafo istasyonları),
- ✓ Taşıyıcı kabuk yapılar,
- ✓ Yüksek klorüre maruz kalan yapı elemanları (örn. otopark tavanları),
- ✓ Deniz yapı elemanları,
- ✓ Depolama üniteleri (tanklar, silolar ve benzeri),
- ✓ Beton iyileştirme ve püskürtme beton uygulamaları
  (Abdel-Emam et al., 2018; Wolfgang Brameshuber, 2006; Kulas, 2015)

Bu, yeni yapılardaki uygulamaların yanı sıra mevcut yapıların onarımı ve güçlendirilmesi için özellikle önemlidir (Peled et al., 2017). TTB'nin uygulama alanlarına ait görüntüler aşağıda verilmiştir.

Şekil 14. Dış Cephe Kaplama Panelleri (Wolfgang Brameshuber, 2006)

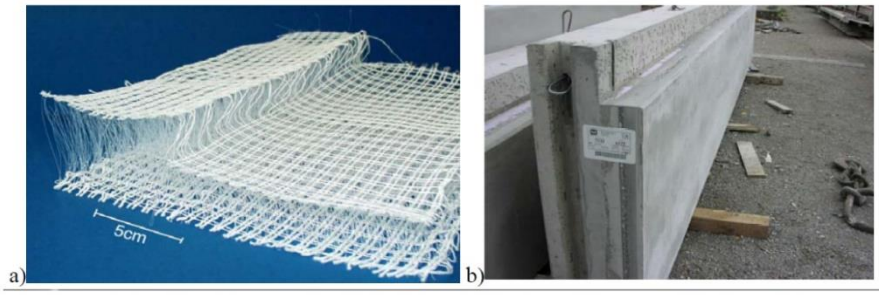


Sandwich elements and cladding panels out of textile reinforced concrete:
a) Sandwich elements with facing shell of textile concrete, b) Textile-reinforced cladding panels [IMB RWTH Aachen University].

Şekil 15. Dış Cephe Kaplama Panelleri (Wolfgang Brameshuber, 2006)

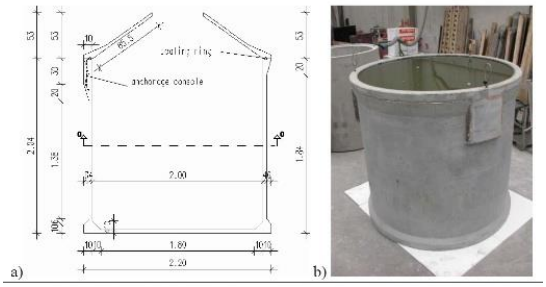
Curtain wall construction of the Structural Concrete Institute, RWTH Aachen Universit
[bauko2 RWTH Aachen University].

Şekil 16. Sandviç Elemanlar (Wolfgang Brameshuber, 2006)



Sandwich elements made of TRC: a) profiled spacer fabric, b) completed sandwich element [ITA, IMB RWTH Aachen University].

Şekil 17. Merkezi Olmayan Atık Su Arıtma Tesisleri (Wolfgang Brameshuber, 2006)



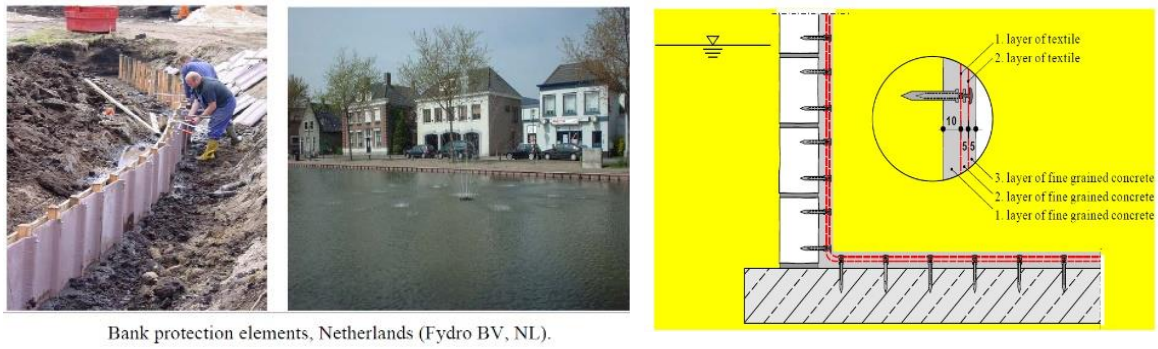
Prototype of a decentralised wastewater treatment plants made of textile reinforced concrete: a) Geometry, b) Prototype (filled with water) [ibac, IMB RWTH Aachen Universtiy + Fa. Mall].

Şekil 18. Parapet Koruma (Wolfgang Brameshuber, 2006)

Prototype of the parapet sheet [Technical University Dresden].

Şekil 19. Su Koruma Duvar Sistemleri (Wolfgang Brameshuber, 2006)

Şekil 20. Su Geçirmez TTB (Wolfgang Brameshuber, 2006)

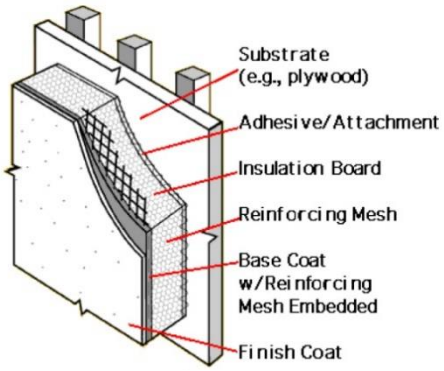


Bank protection elements, Netherlands (Fydro BV, NL).

Şekil 21. Elmas Şeklindeki Çerçeve (Wolfgang Brameshuber, 2006)

Diamond shaped framework – Realisation and spatial appearance from the inside [bauko2, RWTH Aachen Germany].

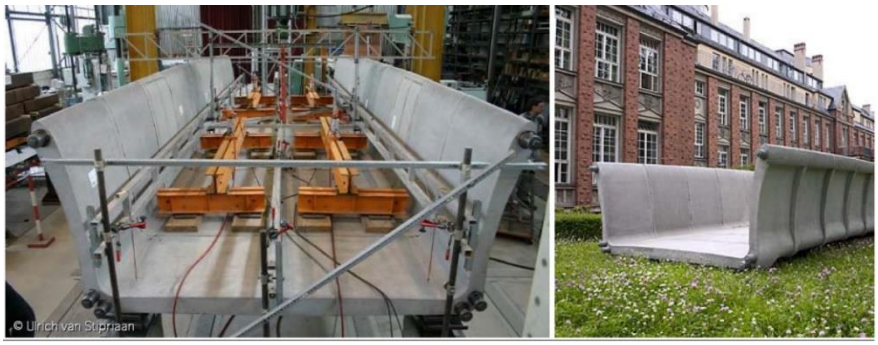
Şekil 22. Dış Cephe Yalıtım Sistemleri (Wolfgang Brameshuber, 2006)



Şekil 23. TTB ve Duvar Uygulamaları (Wolfgang Brameshuber, 2006)

Şekil 24. Tekstil Takviyeli Beton Çok Katmanlı Kompozit Borular (Wolfgang Brameshuber, 2006)

Şekil 25.TTB Köprü (Wolfgang Brameshuber, 2006)



Textile Reinforced Bridge [Technical University Dresden].

6. Sonuç

TTB, sahip olmuş olduğu üstün özellikleri sayesinde, hem yeni yapılar inşa etmek hem de eski yapı elemanlarını güçlendirmek ve onarmak için son derece uygun bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. TTB, mimarlara ve mühendislere tasarımda çok daha fazla özgürlük vermesiyle, inşaat teknolojisinde kendisine birçok kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde ve gelecekte, TTB bir yapı malzemesi olarak, beton için tamamen yeni bir uygulama potansiyeline öncülük etmekte ve beton uygulamaları için yeni alanlar açmaktadır.

7. REFERANSLAR

Abdel-Emam, M., Soliman, E., Nassr, A., Khair-Eldeen, W., & Abd-Elshafy, A. (2018). *Dynamic behavior of textile reinforced polymer concrete using split Hopkinson pressure bar*. Paper presented at the International Congress on Polymers in Concrete.

Brameshuber, W. (2006). *Report 36: textile reinforced concrete-state-of-the-art report of RILEM TC 201-TRC* (Vol. 36): RILEM publications.

Brameshuber, W. (2016). 3 - Manufacturing methods for textile-reinforced concrete. In T. Triantafillou (Ed.), *Textile Fibre Composites in Civil Engineering* (pp. 45-59): Woodhead Publishing.

Brockmann, T. (2006). *Mechanical and fracture mechanical properties of fine grained concrete for textile reinforced composites.* (13), Mainz, Aachen. Retrieved from https://publications.rwth-aachen.de/record/61294 (RWTH-CONV-122970)

Celep, Z. (2020). *Betonarme Yapılar*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.

Contamine, R., Si Larbi, A., & Hamelin, P. (2011). Contribution to direct tensile testing of textile reinforced concrete (TRC) composites. *Materials Science and Engineering: A, 528*(29), 8589-8598. doi:https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.009

Dalal, M., Goumairi, O., & El Malik, A. (2017). *Study of the internal confinement of concrete reinforced (in civil engineering) with woven reinforcement.* Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Doğangün, A. (2019). *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*. İstanbul: Birsen Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

Du, Y., Zhang, X., Liu, L., Zhou, F., Zhu, D., & Pan, W. (2018). Flexural Behaviour of Carbon Textile-Reinforced Concrete with Prestress and Steel Fibres. *Polymers, 10*(1). doi:10.3390/polym10010098

Gries, T., Raina, M., Quadflieg, T., & Stolyarov, O. (2016). 1 - Manufacturing of textiles for civil engineering applications. In T. Triantafillou (Ed.), *Textile Fibre Composites in Civil Engineering* (pp. 3-24): Woodhead Publishing.

Halvaei, M., Jamshidi, M., Latifi, M., & Ejtemaei, M. (2020). Experimental investigation and modelling of flexural properties of carbon textile reinforced concrete. *Construction and Building Materials, 262*, 120877. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120877

Hegger, J., & Will, N. (2016). 8 - Textile-reinforced concrete: Design models. In T. Triantafillou (Ed.), *Textile Fibre Composites in Civil Engineering* (pp. 189-207): Woodhead Publishing.

Hinzen, M., & Brameshuber, W. (2009). Improvement of serviceability and strength of textile reinforced concrete by using short fibres.

Jamshaid, H., Mishra, R., Militký, J., & Noman, M. T. J. T. J. o. T. T. I. (2018). Interfacial performance and durability of textile reinforced concrete. *109*(7), 879-890.

Karaduman, N. S., Karaduman, Y., Ozdemir, H., & Ozdemir, G. (2017). Textile reinforced structural composites for advanced applications. In S. T. Bipin Kumar (Ed.), *Textiles for advanced applications* (pp. 87-133): InTech.

Keil, A., & Raupach, M. (2011). Polymermodifizierte Feinbetone-Untersuchungen zum Feuchtetransport. *Textilbeton Theor. Prax.*, 215-226.

Kulas, C. (2015). Actual applications and potential of textile-reinforced concrete. *GRC, 2015*, 1-11.

Lepenies, I. G., Richter, M., & Zastrau, B. W. (2008). *A Multi-Scale Analysis of Textile Reinforced Concrete Structures.* Paper presented at the PAMM: Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics.

Mansur de Castro Silva, R., de Andrade Silva, F. J. M., & Structures. (2020). Carbon textile reinforced concrete: materials and structural analysis. *53*(1), 1-19.

Mechtcherine, V., Schneider, K., & Brameshuber, W. (2016). 2 - Mineral-based matrices for textile-reinforced concrete. In T. Triantafillou (Ed.), *Textile Fibre Composites in Civil Engineering* (pp. 25-43): Woodhead Publishing.

Mobasher, B. (2011). *Mechanics of fiber and textile reinforced cement composites*: CRC press.

Murcia, D. H., Çomak, B., Soliman, E., & Reda Taha, M. M. (2022). Flexural Behavior of a Novel Textile-Reinforced Polymer Concrete. *Polymers, 14*(1). doi:10.3390/polym14010176

Orlowsky, J., & Raupach, M. (2011). Textile reinforced concrete-from research to application. *Cement Wapno Beton, 16*(6), 323-331.

Peled, A., Mobasher, B., & Bentur, A. (2017). *Textile reinforced concrete*: CRC Press.

Portal, N. W. (2013). *Sustainability and Flexural Behaviour of Textile Reinforced Concrete.* (Licentiate), Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden), Ann Arbor. Retrieved from https://www.proquest.com/dissertations-theses/sustainability-flexural-behaviour-textile/docview/2396880947/se-2?accountid=35366 ProQuest Dissertations & Theses Global database. (27753009)

Portal, N. W. (2015). *Usability of Textile Reinforced Concrete: Structural Performance, Durability and Sustainability.* (Doctoral), Chalmers Unıversity of Technology, Sweden.

Saçak, M. (2007). *Lif ve Elyaf Kimyası*. Ankara: Gazi Kitapevi

Volkova, A., Paykov, A., Semenov, S., Stolyarov, O., & Melnikov, B. (2016a). Flexural Behavior of Textile-Reinforced Concrete. *MATEC Web of Conferences, 53*.

Volkova, A., Paykov, A., Semenov, S., Stolyarov, O., & Melnikov, B. (2016b). *Flexural behavior of textile-reinforced concrete.* Paper presented at the MATEC Web of Conferences.

Williams Portal, N., Fernandez Perez, I., Nyholm Thrane, L., & Lundgren, K. (2014). Pull-out of textile reinforcement in concrete. *Construction and Building Materials, 71*, 63-71. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.014

Williams Portal, N., Lundgren, K., Wallbaum, H., & Malaga, K. J. J. o. m. i. c. e. (2015). Sustainable potential of textile-reinforced concrete. *Journal of materials in civil engineering, 27*(7), 04014207-04014201-04014212.

Yin, S., Jing, L., Yin, M., & Wang, B. (2019). Mechanical properties of textile reinforced concrete under chloride wet-dry and freeze-thaw cycle environments. *Cement and Concrete Composites*, *96*, 118-127. doi:https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.11.020

Žák, J., Štemberk, P., & Vodička, J. (2017). Production of a textile reinforced concrete protective layers with non-woven polypropylene fabric. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *246*, 012054. doi:10.1088/1757-899x/246/1/012054

Zhu, D., Liu, S., Yao, Y., Li, G., Du, Y., & Shi, C. (2019). Effects of short fiber and pre-tension on the tensile behavior of basalt textile reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, *96*, 33-45. doi:https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.11.015

Presentation ID / Sunum No= 3

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-4203-0350

Hazır Giyim Tercihlerinin Markov Zincirleri Analizi ile İncelenmesi

Yeliz Şafak[1]
[1]*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Bölümü*
Olasılık Teorisi ve Süreçleri Anabilim Dalı
mail:yelizzsafakk93@gmail.com

Özet

Sürekli gelişen ve değişen pazar şartlarında hazır giyim sektörü, dünyada en gelişmiş seviyede küreselleşen sektörlerin başında gelir. Bu koşul altında hazır giyim işletmelerinin büyük rekabet içerisinde olduğunu söylemek olasıdır. Buna paralel olarak kullanıcıların hazır giyim kullanımı hızla artmaktadır. Hazır giyim marka tercihleri ise kullanıcılar açısından önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, hazır giyim markalarının analizi için 690 kişiye anket düzenlenmiştir. Ankete katılan kişilere şuanda kullandıkları ve eğer varsa geçmişte kullanmış oldukları hazır giyim markaları sorulmuştur. Hazır giyim marka tercihleri analizi için Markov Zincirleri temeli olan geçiş olasılıkları matrisi ve uzun dönem denge vektörlerinin hesaplanmasına yönelik olarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Markov geçiş olasılıkları matrisleri herhangi bir hazır giyim markasından diğer hazır giyim markalarına geçiş sayıları dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Markov Zinciri, Uzun Dönem Denge Vektörü, Marka Tercihi

Examination of Apparel Preferences by Markov Chains Analysis

Abstract

In the constantly developing and changing market conditions, the ready-made clothing industry is one of the most advanced globalizing sectors in the world. Under this condition, it is possible to say that ready-made clothing companies are in great competition. In parallel with this, the use of ready-made clothing by users is increasing rapidly. Ready-to-wear brand preferences gain importance for users. In this study, 690 people were surveyed for the analysis of ready-made clothing brands. The people who participated in the survey were asked about the ready-made clothing brands they use now and if any, they have used in the past. A study has been

carried out to calculate the transition probabilities matrix and long-term equilibrium vectors, which are the basis of Markov Chains for the analysis of apparel brand preferences. Markov transition probabilities matrices were created by considering the number of transitions from any ready-made clothing brand to other ready-made clothing brands. In addition to a general evaluation, it was evaluated whether the brand preferences of the respondents differed in terms of gender.

Keywords: Markov Chain, Long-Run Equilibrium Vector, Brand Preference

1. GİRİŞ

Küreselleşme ile birlikte rekabetin artması ve teknolojinin gelişmesiyle beraber insanların istek ve ihtiyaçları sürekli olarak artmaktadır (Özdemir, 2008). Elyaftan giyim eşyasına kadar farklı sektörleri içinde barındıran çeşitli ürünleri bulunan hazır giyim sektörü teknolojinin gelişmesi ve değişmesiyle birlikte günümüzde önemini artırmıştır (Yücel, 2010).

Kişilerin günlük hayatta arzu ettikleri kıyafetleri satın alarak ihtiyaçlarını giderme arzusu, güzel ve şık giyinme arzusu ile kendilerini tatmin etmeleri durumlarından ötürü gelecekte de hazır giyim talebinin artan bir şekilde süreceğini göstermektedir. Hazır giyim marka tercihleri, birbirleriyle rekabet halinde bulunan firmalar için, satış, pazarlama, üretim stratejilerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir.

Marka, ad, simge ve işletmenin gösterdiği ürünleri rakiplerinden ayıran tüm prensipleri kapsamaktadır. Küreselleşme ile birlikte rekabetin artması ve teknolojinin gelişmesiyle beraber insanların istek ve ihtiyaçları sürekli olarak artmaktadır. Buna bağlı olarak tüketici ve tüketicinin satın alma davranışını etkileyen marka, pazarlama, satış ve reklam etkinliklerinin merkezi durumundadır. Marka, ürünün özelliklerine bağlı olarak müşteri memnuniyetini artıran, tüketici ile iletişimi sağlayan önemli pazarlama aracıdır. Marka tercihleri ile ilgili yapılan literatür çalışmaları arasında, gıda ürünleri marka tercihi, üniversite öğrencilerinin kot pantolon marka tercihi, hazır kahve marka tercihleri Faktör Analizi yöntemi ile incelenmiştir. (Alp ve Öz, 2009).

Marka tercihleri yapılan akademik çalışmaların çoğunda marka tercihini etkileyen faktörlerin neler olduğu ve marka tercihini etkileyen faktörlerin etki ağırlıkları incelenmiştir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak hazır giyim markaları arasında geçiş (mobilite), diğer bir ifade ile hazır giyim sahibi kişilerin bir sonraki aşamadaki marka tercihleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda her bir hazır giyim markasından sonra diğer markalara olan tercih oranları bulunmuştur. Ayrıca, her bir marka için marka bağımlılıkları (bir sonra kullanılan hazır giyim markasının aynı olması) hesaplanmıştır. Bunun için hazır giyim marka tercihleri analizi amacıyla 690 kişiye anket düzenlenmiştir. Anket, öğrenci, çalışan, çalışmayan, öğrenci, emekli kişiler olarak genel halk kitlesine sorulmuştur. Ankete katılan kişilere şuanda kullandıkları ve eğer varsa geçmişte kullanmış oldukları hazır giyim markaları sorulmuştur ve kullandıkları markaları eşit şekilde sıralamışlardır. Çalışmada kullanılan Markov zincirleri yöntemi ile firmalar için oldukça önemli olan gelecekteki pazar payları (uzun dönem denge durumu) de tahmin edilmiştir.

Bu çalışmada, hazır giyim markalarının analizi için 690 kişiye anket düzenlenmiştir. Ankete katılan kişilere şuanda kullandıkları ve eğer varsa geçmişte kullanmış oldukları hazır giyim markaları sorulmuştur. Hazır giyim marka tercihleri analizi için Markov Zincirleri temeli olan geçiş olasılıkları matrisi ve uzun dönem denge vektörlerinin hesaplanmasına yönelik olarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Markov geçiş olasılıkları matrisleri herhangi bir hazır giyim markasından diğer hazır giyim markalarına geçiş sayıları dikkate alınarak oluşturulmuştur.

2. MARKOV ZİNCİRLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ VE LİTERATÜR TARAMASI

Stokastik süreç teorisinin en geniş ve en önemli yöntemi olan Markov Zincirleridir. Markov analizinin temeli 20. yüzyılın başlarında 1906 yılında ilk olarak kendi adını alan Rus matematikçi Andrei Markov' a ait olup Brownian hareketi olarak bilinen kapalı bir kutu içindeki gaz moleküllerinin yapısını ve davranışlarını incelemek için matematiksel olarak betimleme denemesine dayanmaktadır. Markov

surecinin ilk doğru matematiksel yapısı N.Wiener tarafından 1923 yılında kurulmuş, Markov zincirin genel teorisi başta Doeblin, Kolmogorov olmak üzere Dobb, Levy, ve Feller tarafından 1930 ile 1970 yılları arasında incelenmiştir. Markov Zincirleri alanında ilk uygulama şiirlerdeki sesli ve sessiz harf sayılarının tahminlenmesinde ve belirli bir karakterden diğerine geçiş olasılıklarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Ardından fiziksel sistemlerdeki uygulamalardan sonra biyoloji, kimya, fizik, astronomi, genetik, ilaç sektörü gibi bilim dallarının yanı sıra finans, ekonomi, pazar araştırmaları, demografik, psikoloji ve politik bilimler ve işletme bilim dalları gibi pek çok dalda uygulama alanı olarak kullanılmıştır (Özdemir ve Demireli, 2014; Selçuk ve Çetin, 2016; Çelik, 2013; Kadılar, 2020).

Literatür çalışmalarında, marka tercihlerini ve marka tercih nedenlerini inceleyen, insan kaynakları planlaması, envanter kontrolü ve kuyruk modelleri, makine bakım-onarım ve yenileme problemleri, proje yönetimi, muhasebede şüpheli alacak analizleri, optimal portföy kararları, işletme risk derecelendirmesi gibi işletme karar verme süreçlerine ilişkin pek çok karar probleminde de uygulanan Markov Zincirleri ile ilgili birçok bilimsel çalışma mevcuttur (Özdemir ve Demireli, 2014).

İşletme sorunlarının çözümünde kullanılan Makov Zinciri literatür çalışmaları şunlardır. Alp ve Öz (2009) Bu çalışmada, taşınabilir bilgisayar marka tercihlerinin analizi anket kullanılarak yapılmıştır. Alp ve Çetin (2016) Bu çalışmada, cep telefonu marka tercihlerinin analizi anket kullanılarak yapılmıştır. Bu durum cinsiyet açısından da değerlendirilmiştir. Şentürk ve Alp (2016) Bu çalışmada, mobil operatör ve internet servis sağlayıcısı tercihlerinin analizi için anket kullanılarak uygulama yapılmıştır. Alp ve Sarıoğlu, (2018) Euro döviz kurundaki değişimin, satış rakamları üzerine etkisi incelenmiş ters yönde hareket ettiği gözlenmiştir. Can, (2007) Bu çalışmada, Pazarlama araştırmasının önemli problemlerinden Pazar payı tahmini yapmak için Kuadratik programlama ile geçiş olasılıkları matrisi yardımıyla tahmin yapılarak işletmelerin bu olasılıklara göre değerlendirilmesi, talep tercihleri arasındaki geçiş olasılıklarının anket yapılmadan incelenmiştir. Özdemir ve Gümüşoğlu (2007) Bu çalışmada, işletmelerin belirsizlik altında karar vermeleri için gelecekte oluşacak değimleri tahminlemek amacıyla Markov Zincirlerinden yararlanılmıştır. Gündoğdu ve Alp (2010) Açılan bir davanın ne kadar süreceğinin öngörülmesi incelenmiştir. Dutal ve Reis (2016) Markov Zinciri modeli kullanılarak Kahramanmaraş ili için geleceğe yönelik hidrolojik kuraklık olasılıkları belirlenmiştir. Özel (2019) Ankara ili için Markov zincirleri ile uzun döneme ait hava kirliliği tahmini yapılmıştır. Gürbüz ve Köse (2002) Alacaklar ve şüpheli alacak zararlarının hesaplanmasındaki yöntemler incelenmiş, Markov zinciri teorisi tanımlanarak örnek işletme üzerinde uygulama yapılmıştır. Akyurt (2011) Ülkede meydana gelen ekonomik, sosyal ve siyasal olaylar nedeni ile borç vermede konulan sınırların aşılması sebebiyle uğranılan kayıplar Markov zincirleri geçiş olasılıkları, denge durumu ve ortalama ilk geçiş zamanı analizi ile incelenmiştir. (Büyüktatlı vd, 2013) Bu çalışmada, Markov sürecinin ileriye dönük bir tahmin aracı olarak kullanımının gösterilmesi amaçlanmıştır. Özdağoğlu vd, (2012) Bu çalışmada, altının fiyat hareketlerini ayrıntılı olarak Markov zinciri yardımıyla incelenmiştir. Paksoy (2017) Bu çalışmada, günlük altın getirisinin yönünü tahmin etmek amacıyla Markov zinciri işleyişi ve yapay sinir ağlarının işleyişi birleştirilmiştir. Borsa İstanbul'un belirli döneme ait günlük altın kapanış fiyatlarından oluşan veri seti ile altın getirisinin yönüyle ilgili anlamlı sonuçlar incelenmiştir. Karaca ve Selçuk (2017) Bu çalışmada altın fiyatları ile hisse senedi fiyatları arasındaki uzun dönemli ilişkiyi incelemek amacıyla Markov zincirleri yöntemi ile belirli döneme ait altın fiyatları ve BİST 100 endenk kapanış değerleri arasındaki ilişkinin uzun dönem denge durumları tahmin edilmiştir. Kodal (2010) Bu çalışmada, gelecek dönemde aktif stok kontrolü sağlayabilmek için çok adımlı geçiş olasılıkları matrisi kullanılarak yapılır. Çekyay (2018) Bu çalışmada özgüleştirme tekniğinin sürekli zaman Markov karar süreçlerine nasıl uygulanacağı incelenmiştir. Çiftçi (2016) Bu çalışmada Türkiye'nin 2016 yılı kurumsal olmayan işsizlik oranı tahminlemesi yapılmıştır. Özdemir (2008) Bu çalışmada stokastik yapıdaki çok amaçlı karar problemlerinin çözümü için Markov karar süreçleri ve Hedef programlama yaklaşımı bir arada kullanılarak incelenmiştir. Rüzgar (2003) İşletmelerde ödemeler dengesinin Markov süreçleriyle analizi incelenmiştir.

İşletmeler geleceğe yönelik planlama ve tahminleme ve karar verme sürecinde sürecinde belirsizlikler yaşarlar. Bu belirsizlik altında sorunların çözümünde sayısal ve sosyal bilimler alanında pek çok uygulama mevcuttur. Özellikle işletme sorunlarının çözümü sosyal bilimler alanında kullanılır. Bu durum geleceği tahmin etme durumunda işletmeleri, stokastik modellerden Markov zincirlerine itmiştir (Alp ve Çetin, 2016; Özdemir ve Gümüşoğlu, 2007).

3. MARKOV ZİNCİRLERİ ANALİZİ

Olayların bir zaman aralığında olma koşuluyla zaman içerisinde tahmin edilemeyen rassal süreçler olarak bilinen, rasgele sonuçlar doğuran olaylara stokastik süreçler denir. Genel olarak { X_m , $m \in$ T } biçiminde yazılır. *m* sürecin zamanını gösteren bir rastlantı değişkendir. T sürekli değerler olabiliyorsa X_m rasgele süreci *sürekli zamanlı stokastik süreç* ya da T kümesi tamsayılarla sınırlıysa X_m rasgele süreci *kesikli zamanlı stokastik süreç* olarak tanımlanır. Kesikli durum uzayına sahip stokastik süreçler, Markov Zircirleri ile tanımlanır (Kadılar, 2020; Alp ve Çetin, 2016).

Markov zincirinde iki ardışık durum arasındaki zaman üstel dağılmış ise Sürekli Zamanlı Markov Zinciri, geometrik dağılmış ise Kesikli Zamanlı Markov Zinciri olarak adlandırılır (Akyurt, 2011). Bu çalışmada, Şuanda kullanılan hazır giyim markaları ile bir önce kullanılan hazır giyim markaları ele alındığından Kesikli Zamanlı Markov Zinciri olarak ele alınmıştır.

Stokastik süreçler teorisinin en geniş ve önemli yere sahip olan Markov analizi mevcut olasılıkları kullanarak, gelecekteki sürecin durumlarını, durumlar arası geçişler ve bu geçişlere ilişkin olasılıkları hesaplamada, kullanılan bir yöntemdir (Özdemir ve Demireli, 2014; Alp ve Öz, 2009).

Markov süreci, sürecin ileride ortaya çıkması olası bir durumun diğer bir duruma geçiş olasılığının, sürecin bir önceki durum hariç önceki geçmiş durumlardan bağımsız olması koşullu olasılığıdır. Burada geçmiş durumların bilinmesine gerek yoktur. Bir önceki durumun bilinmesi yeterlidir. Söz konusu bu özelliğe *markovyen özellik* denilmektedir (Kadılar, 2020; Alp ve Öz, 2009).

Diğer bir ifadeyle matematiksel gösterimi, T sonlu veya sayılabilir parametre uzayındaki $\{X_m\}_{m\geq 0}$ rastgele süreci ve *m* sayıda zaman noktasının herhangi bir X_0 , X_1 ,……, X_{m-1} rastgele değişkenler olup aldığı değerler biliniyorken, X_{m+1} 'nin koşullu dağılımı yalnızca X_m değerine bağlı ise,

$$P(X_{m+1}= j \,/\, X_0= i_0, X_1= i_1,\ldots,X_m= i\,) = P(X_{m+1}= j \,/\, X_m= i) \qquad (3.1)$$

biçiminde gösterilir. (1) eşitliğine göre X_{m+1}'in alacağı durum sadece X_m'nin durumuna bağlıdır. Bu eşitlikte bir durumun sadece bir önceki duruma bağlı olduğunu görülmektedir. Söz konusu bu sürece *markov süreçler*, bu özelliğe ise *markovyen özellik* denilmektedir. Markov özelliğini sağlayan Markov süreçlere ise *Markov zinciri* adı verilir.

Bir $\{X_m\}_{m\geq 0}$ markov sürecinin *m* anındaki durum olasılığı *i, m+1* anındaki durum olasılığı *j ve* X_{m+1} ile X_m rastgele değişkenler olmak üzere *m+1* anındaki *j*'de olma olasılığı;

$$p_{ij}(m,1) = P(X_{m+1} = j/X_m \;= i) \qquad (3.2)$$

m adımdan *m+1* adıma *i* durumundan *j* durumuna geçiş olasılığı p_{ij} olarak (3.2)'deki biçiminde gösterilen koşullu olasılığa *bir adım geçiş olasılığı* denir (Kadılar, 2020; Alp ve Çetin, 2016; Kayran ve Yücel, 2016; Alp ve Öz, 2009).

Bu fonksiyon bir adım geçiş matrisinin zaman içerisinde değişmemesi, sabit oluşu Markov zincirinin en önemli varsayımlarından biridir. Bu nedenle, durum geçiş olasılıkları *m*'den bağımsızdır. *Markov zinciri homojen(durağan)* yapıya sahiptir. Ayrıca, geçiş matrisinin elemanları olan p_{ij} olasılıklarının,

$$0 \leq p_{ij} \leq 1 \qquad \text{ve} \qquad i,j \geq 0 \qquad (3.3)$$

$$\sum_{j=0}^{M} p_{ij} = 1 \qquad i = 0,1,2\ldots M \qquad (3.4)$$

(3) ve (4) eşitliğine göre bir durumdan tüm durumlara geçişlere ilişkin olasılık değerlerinin toplamının yani satır toplamının 1'e eşit olması koşullarını da sağlaması gerekmektedir. p_{ij}'nin oluşturduğu matris *Markov zinciri geçiş olasılık matrisi*dir. P = $[p_{ij}]$ olarak gösterilir.

Diğer bir ifadeyle, $\{X_m\}_{m\geq 0}$ markov sürecinin durum uzayı S = {1,2,…,*M*} biçiminde sonlu duruma sahip ve *M* durum sayısını göstermek üzere, *M*×*M* geçiş olasılıkları matrisi ve bir kare matristir. Buna göre bir adım geçiş matrisi aşağıdaki gibidir:

$$P = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1M} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{M1} & p_{M2} & \cdots & p_{MM} \end{bmatrix} \qquad (3.5)$$

(5) eşitliğine göre P matrisi tanım gereği *homojen matris, geçiş matrisi* veya bir adımda olduğundan *bir adım geçiş matrisi* de denilir. Tüm durumları için hesaplanmış olan p_{ij} geçiş olasılıklarına göre, matrisin satırları (*i*'ler), sistemin şu an bulunabileceği durumları, sütunlar ise (*j*'ler) bir adım sonra bulunabileceği durumları göstermektedir. ***P*** geçiş matrisinin elemanları olan p_{ij} olasılıklarının;

$p_{ij} \geq 0 \qquad \forall\, i, j \in S$ için, (3.6)

$\sum_j p_{ij} = 1 \quad \forall\, i \in S$ için (3.7)

Koşullarını sağlamak zorunda olan kare matrislere *Markov matrisi* veya *satır stokastik matris* denilmektedir. Bu tanıma göre stokastik matriste bir geçiş matrisidir (Özdemir ve Demireli, 2014; İlarslan, 2014; Kadılar, 2020; Kayran ve Yücel, 2016; Çelik, 2013; Alp ve Öz, 2009).

P olasılık geçiş matrisi p_{ij} terimleri, Markov zincirine ilişkin sürecin 0 anında *i* durumundayken *0+n* anında *j* durumuna geçme olasılığı n adımda geçme olasılığıdır. *n.* adımdaki geçiş olasılıkları olarak ifadelendirilir. Tüm (*n* = 0,1,…) için (*n*) adım geçiş olasılığı aşağıdaki gibidir;

$p_{ij}^{(n)} = \mathrm{P}\,(X_n = j\,/X_0 = i)$ (3.8)

(3.2.1) eşitliğindeki ifade *n adım geçiş olasılığı* olarak tanımlanır. $p_{ij}^{(n)}$ olasılık değerleri **P** matrisinin *n.* kuvvetinde bulunacağını ifade eder.

P geçiş matrisinin ikinci kuvveti $\boldsymbol{P^2 = P.P}$ olduğundan, (3.1.5)'den $\boldsymbol{P^2}$ matrisinin terimleri,

$p_{ij}^{(2)} = \sum_{k=1}^{M} p_{ik} p_{kj}$ (3.9)

şeklindedir. Benzer şekilde ***P*** geçiş matrisinin ikinci kuvveti $\boldsymbol{P^3 = P.\,P^2}$ olduğundan, $\boldsymbol{P^3}$ matrisinin (*i,j*) inci terimi,

$p_{ij}^{(3)} = \sum_{k=1}^{M} p_{ik} p_{kj}^{(2)}$ (3.10)

ifadesinden hesaplanır. (3.2.2) ve (3.2.3) eşitlikteki sonuçlar genelleştirildiğinde *n.* dereceden *(n+1).* dereceye ait geçiş olasılıkları,

$p_{ij}^{(n+1)} = \sum_{k=1}^{M} p_{ik} p_{kj}^{(n)}$ (3.11)

şeklinde gösterilir. Makrov zincirinde bir-adım geçiş matrisi zaman içerisinde değişmediğinden, *n* adım geçiş matrisinin *n.* kuvveti alınarak kolayca bulunabilir. *n* adım geçiş olasılıklarını hesaplamak için *Chapman-Kolmogorov denklemi* kullanılır. Bu denkleme göre matris formatı aşağıdaki gibidir;

$P^{(n)} = P^{(n-1)}.P = P^n$ (3.12)

n adım geçiş olasılık matrisi (*P*) matrisinin kendisi ile (*n*) defa çarpılması ile elde edilir (Kayran ve Yücel, 2016; Alp ve Öz, 2009; Kadılar, 2020).

Bir stokastik sürecin başlangıç adımındaki olasılıklara *ilk olasılıklar* adı verilir. Başlangıç olasılıklar vektörü π_0 şeklinde gösterilir

Sonlu bir S = {1,2,…,*m*} uzayına sahip bir $\{X_m\}_{m\geq 0}$ Markov zincirinin olasılık dağılımının başlangıç vektörü $\pi_0 = [p_0 \quad p_1 \quad \ldots \quad p_m]$ şeklinde gösterilir.

Makrov zincirinde *n.* adımda bulunduğu durumu tahmin edebilmek için X_n'nin marjinal olasılık dağılımının elde edilmesi gerekir. Yani *P* matrisinin kuvveti olan (*n*) büyüdükçe (p_{ij}) değerleri sabit bir sayıya veya limite yaklaşmaktadır ve her bir $p_0^{(n)}$ olasılık vektörü *i*'nin bütün değerleri için eşit olmaya yönelmektedir. $\pi_n = \left[p_0^{(n)} \quad p_1^{(n)} \quad \ldots \quad p_m^{(n)}\right]$ biçiminde *n. adım olasılık vektörü* gösterilir. Olasılıkları elde etmek için ilk olasılık vektörü tahmin edilecek adıma ait geçiş olasılıkları matrisinin çarpılmasıyla;

$\pi_n = \pi_0 P^n$ (3.13)

şeklinde ikinci bir eşitlik oluşturulur. Başlangıç vektörü (π_0) ve *n.* adım olasılık vektörü (π_n) için negatif bileşeni yoksa bu vektöre *olasılık vektörü* denir. Bu dağılıma { X_m }$_{m \geq 0}$ *'nin olasılık dağılımı* denir ve olasılıklar $\sum_i p_i$ = 1 eşitliği ile vektörlerin olasılıkları toplamı 1'e eşit olduğu gösterilir (Kadılar, 2020; Kayran ve Yücel, 2016).

Markov zinciri, stokastik sistemlerin analizinde ve zaman boyunca içinde bulunulan farklı durumlar arası hareketlerin incelenmesinde, sistemin belli bir anda bulunacağı durumu tahmin etmesi özelliğinin yanı sıra aynı zamanda uzun dönemde bulunacağı durumu (denge durumu) tahmin etmesi özelliğine sahiptir (Aytemiz ve Şengönül, 2004). Böylelikle uzun dönem sonunda Markov zincirinde süreç denge durumuna veya durağan durum koşullarına ulaşır. Bu durumda sürecin geleceği ile ilgili etkili yorumlar yapılabilir (Alp ve Öz, 2009).

Herhangi bir durumdan diğer bütün durumlara geçişin mümkün olduğu sürece *ergodik zincir* adı verilir. *m* duruma sahip ergodik bir Makrov zincirinin *n* adım sonraki geçiş olasılıkları için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\lim_{n\to\infty} P^n = \begin{bmatrix} \pi_0 & \pi_1 & \cdots & \pi_m \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \pi_0 & \pi_1 & \cdots & \pi_m \end{bmatrix} \tag{3.14}$$

n'nin büyük değerleri için P^n vektörü aynı satır olasılıklarına sahip olur. Ve aşağıdaki gibi elde edilir;

$$\pi_j = \lim_{n\to\infty} P_{ij}^n \tag{3.15}$$

Bu değerlerin oluşturduğu *denge durumu,* diğer bir deyişle *denge (limit) dağılımı* veya *kararlılık durumu,* $\pi = [\pi_0 \;\; \pi_1 \;\; \ldots \;\; \pi_m]$ şeklindedir ve $[\pi_0 + \pi_1 + \ldots + \pi_m] = 1$ koşulunu sağlamalıdır. Matris formatında;

$$\pi = \pi P \tag{3.16}$$

şeklindedir. Denge dağılımı eşitliği ise;

$$[\pi_0 \;\; \pi_1 \;\; \ldots \;\; \pi_m] = [\pi_0 \;\; \pi_1 \;\; \ldots \;\; \pi_m] \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & \cdots & p_{0m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{m0} & p_{m1} & \cdots & p_{mm} \end{bmatrix} \tag{3.17}$$

biçiminde elde edilir (Kadılar, 2020; Özel, 2019; Kayran ve Yücel, 2016; Şentürk ve Alp, 2016; Akyurt, 2011; Alp ve Öz, 2009).

4.UYGULAMA

Bu çalışmanın temelinde Markov zincirlerinin, yöntemin uzun dönemde ulaşacağı denge durumunu ve marka bağımlılıklarını aktif bir şekilde hesaplama özelliğine dayanır (Alp ve Çetin, 2016).

Araştırmalarda örneklem ile çalışmanın amacı gereği, ana kütleye ilişkin verilerin kısa zamanda ve düşük maliyet ile gerçekleştirilmesi için kitleden örneklem çekilir ve hata payı en aza indirilmek istenir. Böylelikle örneklem büyüklüğü hesaplanır. Örnekleme büyüklüğü anket sayısını ifade eder. Böylelikle bu çalışmada, anket sayısını artırdığımızda örneklem hatası azalmış olur (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2011). Bu çalışmada hedef kitle Türkiye geneli baz alındığından ana kitle yaklaşık olarak 58000 büyüklüğündedir. Seçilen örneklem ise, ana kitlenin %1.18'ini temsil etmektedir. Aynı zamanda anket sayısını da temsil etmiş olur. Çalışmada anket verileri için hedef kitleyi oluşturan ana kitle tanımlayıcı istatistikleri Tablo-1'deki gibidir.

Tablo 1 : Anket Verilerini için Ana Kitle İstatistikleri

ANAKÜTLE	Gruplar		Kişi Sayısı
Eğitim Kursları	**YÖKDİL**		575
	ALES		9670
OMÜ Öğrencileri	**Kurupelit Kampüsü**	**Lisans**	27762
		Yükseklisans	6146
Sosyal Medya	**Instagram**		12700
	Facebook		600
	WhatsApp		214
	Halk		333
	Akrabalar		
	Diğer öğrenciler		
TOPLAM	**Yaklaşık**		**58000**

Fakültelere göre OMÜ istatistikleri sayılarla OMÜ web sayfasından, diğer veriler ise eğitim ve özel hayatıma ait kesimden hesaplanarak oluşturulmuştur.

Literatür çalışmalarına bakıldığında Tablo-1'e göre 690 anket sayısından oluşan bu çalışmada, %95 güven düzeyinde 0.05 örneklem hatasıyla 182 anket sayısı, 0.10 örneklem hatasıyla 151 anket sayısı, 0.03 örneklem hatasıyla 204 anket sayısı yeterli olarak GPower programında hesaplanmıştır. Böylelikle %95 güven düzeyinde 690 anket sayısı ana kitleyi temsil güvenirliği açısından yeterli olduğu kararına varılır. Hesaplama yapılırken iki bağımlı grup ortalamaları arasındaki farkın testi (Paired Sample t testi) uygulanmıştır. Bu iki bağımlı grup arasındaki fark ise Şekil-1'de verilen denge durumu ve marka bağımlılığı olarak belirtilir.

Tablo 2 : Anket Sayısı İstatistikleri

Durumlar	Gruplar	Kişi Sayısı
Cinsiyet Durumu	**Kadın**	412
	Erkek	278
Yaş Durumu	**15-19**	55
	20-29	451
	30-39	127
	40-49	40
	50-65	17
Eğitim Durumu	**İlköğretim**	29
	Lise	74
	Yüksekokul	31
	Lisans	440
	Yükseklisans	92
	Doktora	24
Çalışma Durumu	**Çalışan**	278
	Çalışmayan	86
	Öğrenci	321
	Emekli	5
TOPLAM		**690**

Tablo-2'deki veriler incelendiğinde uygulama Türkiye geneli her yaş grubundan kişilere yer verilmiş olup yaş grupları sınıflandırılmıştır. Ancak 15 yaş ve altı ile 65 yaş üstü kişilerin anketi doldurmamış olduğu saptandığından yaş gruplandırmasına dahil edilmemiştir. Kişilerin eğitim seviyeleri sınıflandırılmıştır. Ayrıca ankete katılan kişilere çalışan, çalışmayan, öğrenci, emekli tarzında gruplandırma yapılarak örneklem büyüklüğü istatistikleri oluşturulmuştur. Anket soruları ise EK-1'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan veriler anket yöntemiyle elde edilmiştir. Anketi cevaplayan kişilere şuan ve bir önceki kullanmış oldukları hazır giyim markaları sorulmuştur. Bu kişilere hazır giyim pazarında yer alan markalar içerisinden, anket sonucuna göre oluşturulan ve Tablo-3'de verilen 11 marka harici markalar, "Diğerleri" kategorisinde toplanmıştır.

Ankette yer alan hazır giyim markalarına ait sıra numaraları Tablo-3'de verilmiştir. Anket verileri kullanılarak Markov geçiş matrisi oluşturulmuştur. Markov geçiş olasılıkları matrisi, herhangi bir hazır giyim markasından diğer hazır giyim markasına geçiş sayıları dikkate alınarak hesaplanmış ve EK-2'de verilmiştir.

Tablo 3 : Hazır Giyim Markaları

Sıra No	Marka
1	LC Waikiki
2	Mavi
3	Koton
4	DeFacto
5	Zara
6	LTB
7	HM
8	Polo
9	Colins
10	Pullbear
11	Bershka
12	Diğerleri

Çalışma, hazır giyim markaları arasındaki geçişler Markov zinciri ile analizlenirken zaman kesikli olarak ele alınmıştır. Böylelikle herhangi bir satır ile sütunun kesiştiği nokta bir önce kullanılan hazır giyim markalarından şuanda kullanılan hazır giyim markalarına ait geçiş sayıları Tablo-4'de vermektedir.

Tablo 4 : Hazır Giyim Markalarına Ait Geçiş Sayıları

		Halen Kullanılan Hazır Giyim Markaları											
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Bir Önce Kullanılan Hazır Giyim Markaları	**1**	155	46	24	14	6	7	11	3	6	5	6	56
	2	17	106	7	11	8	1	2	0	3	1	2	30
	3	16	27	102	6	9	1	6	5	3	4	9	39
	4	20	25	12	71	9	7	4	5	4	11	14	29
	5	7	2	4	4	39	0	4	1	1	1	1	10
	6	2	3	0	1	0	10	1	0	0	1	1	5
	7	2	3	1	1	3	0	27	1	0	5	2	10
	8	3	4	0	0	0	0	1	13	0	0	0	2
	9	4	6	3	0	1	1	0	0	19	0	1	5
	10	3	1	4	5	2	1	1	0	0	16	1	7
	11	4	3	2	2	4	0	0	0	1	2	24	11
	12	26	27	18	22	10	5	5	6	2	1	7	231

Bu matris durumlar olarak kabul edilen her bir hazır giyim markası sahipliğinden diğer hazır giyim markaları sahipliğine geçiş miktarlarını göstermektedir. Tablo-4'deki matristen yararlanılarak elde edilen genel Markov Geçiş Olasılıkları EK-2'de hesaplanmıştır.

Markov geçiş olasılıkları matrisi oluşturulurken, satırların her bir hücresindeki sayı o satırın toplam değerine bölünmüştür. Geçiş olasılıkları matrisinde yer alan hazır giyim markaları için uzun dönemde oluşacak gerçek denge durumu olasılıkları hesaplanmıştır. Uzun dönem denge durumu olasılıkları, sisteme herhangi bir dış müdahale olmadığı varsayımı altında *n* adım sonraki durumu ifade etmektedir. Bu hesaplama Microsoft Excel'de hesaplanmıştır.

EK-2'de verilmiş olan Markov Geçiş Olasılıkları Matrisi her bir hazır giyim markası kullanıcılarının bir sonra tercih etmiş oldukları hazır giyim markası oranlarını göstermektedir. Ayrıca, Markov Geçiş Olasılıkları Matrisinin köşegen elemanları hazır giyimler için markalara olan bağımlılıkları göstermektedir. Köşegen elemanları içerisinde sıfırdan büyük olan değer içeren sonuçlar verilmelidir. Geçiş matrisi sonucuna göre köşegen elemanlarında sıfır olan değer olmadığından tüm markalar Tablo-5'te sıralanmıştır.

Bu tablo, söz konusu hazır giyim markalarının kullanıcılarının marka bağlılıklarını göstermektedir. Değerler daha önce bir markayı tercih etmiş olan katılımların aynı markayı tercih etme olasılıklarını göstermektedir.

Tablo 5 : Marka Bağımlılığı

Durum	Marka	Yüzde (%)
12	Diğerleri	64.1
8	Polo	56.5
2	Mavi	56.3
5	Zara	52.7
7	HM	49.0
9	Colins	47.5
1	LC Waikiki	45.7
11	Bershka	45.2
3	Koton	44.9
6	LTB	41.6
10	Pullbear	39.0
4	DeFacto	33.6

Yukarıdaki tablo incelendiğinde genel olarak hazır giyim markaları kullanıcıları yeni hazır giyim kullanımı için aynı markayı tercih etme olasılıkları sırasıyla Diğerleri (%64.1), Polo (%56.5), Mavi (%56.3), Zara (%52.7), HM (%49.0), Colins (%47.5), LC Waikiki (%45.7), Bershka (%45.2), Koton (%44.9), LTB (%41.6), Pullbear (%39.0), DeFacto (%33.6) olduğu görülmektedir.

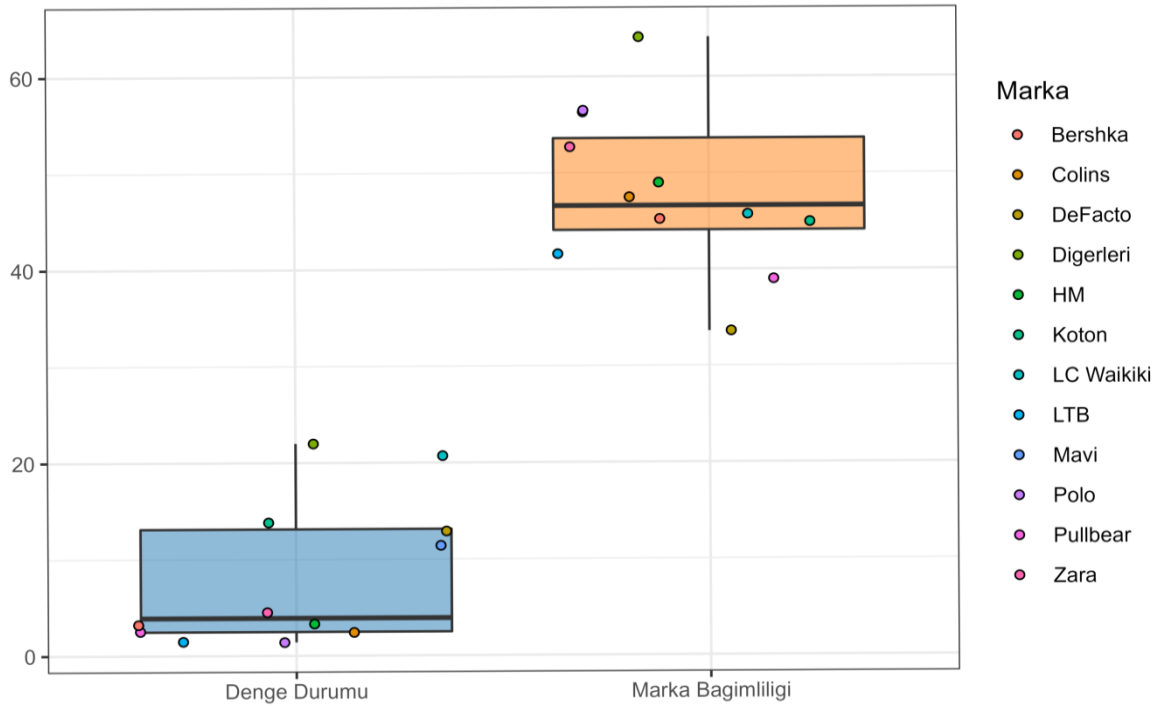
EK-2'de Markov Geçiş Olasılıkları Matrisi kullanılarak her bir durum için uzun dönem denge olasılıkları değerleri bulunmuş ve Tablo-6'te sunulmuştur.

Tablo 5 : Anket Verileri için Denge Durumu Olasılıkları

Sıra No	Marka	Denge Durumu Olasılığı (%)
1	LC Waikiki	20.7
2	Mavi	11.4
3	Koton	13.8
4	DeFacto	12.9
5	Zara	4.5
6	LTB	1.46
7	HM	3.3
8	Polo	1.40
9	Colins	2.4
10	Pullbear	2.5
11	Bershka	3.2
12	Diğerleri	22.0

Yukarıdaki tablo gelecekte (uzun dönemde) oluşacak hazır giyim markalarının dağılımını göstermektedir. Tablo 4'de göre hazır giyim tercihlerinde herhangi bir dışsal etki olmadığı durumda, gelecekte kullanıcıların %22.0'u Diğerleri, %20.7'si LC Waikiki, %13.8'i Koton, %12.9'u DeFacto, %11.4'i Mavi, %4.5'i Zara, %3.3'ü HM, %3.2'si Bershka, %2.5'i Pullbear, %2.4'ü Colins, %1.46'sı LTB, %1.40'ı Polo marka hazır giyim kullanıyor olacaktır.

Yukarıda Tablo-5'te verilen Marka Bağımlılığı ile Tablo-6'da verilen Denge Durumu Olasılıkları arasındaki farkın yüzdelik olarak Kutu Grafiği R programında gösterimi aşağıda Şekil-1'de verilmiştir.



Şekil 1 : Marka Bağımlılığı ve Denge Durumu Olasılıkları Kutu Grafiği

Şekil-1'e bakıldığında Marka Bağımlılığının %40 ile %60 arasında dağıldığını, Denge Durumunun ise 0 ile %20 arasında dağıldığı görülür. Böylelikle marka bağımlılığı ile denge durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu gösterilmiş olur.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada hazır giyim marka tercihlerinin analizi yapılmıştır. Marka tercihleri üzerine yapılan çalışmaların çoğunda halen tercih edilen markalar dikkate alınmış ve marka tercihlerini etkileyen faktörler ve bu faktörlerin etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada ise hazır giyim markaları arasındaki geçiş (mobilite), diğer bir ifadeyle hazır giyim sahiplerinin bir sonraki aşamadaki marka tercihleri incelenmiştir. Her bir hazır giyim markasından diğer markalara tercih oranları (geçiş oranları) ve her bir marka için marka bağlılıkları hesaplanmıştır. Ayrıca firmalar için oldukça önemli olan gelecekteki pazar payları (uzun dönem denge durumu)da tahmin edilmiştir.

Analiz için 690 kişiye anket uygulanmıştır. Anketlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak Markov geçiş olasılıkları matrisi ve uzun dönem denge vektörü hesaplanmış, markalar arası geçiş oranları ve marka bağımlılıkları hakkında bilgilere ulaşılmıştır.

Hazır giyim markaları kullanıcıları yeni hazır giyim kullanımı için aynı markayı tercih etme olasılıkları o markaya olan bağımlılıklarını göstermektedir. Kullanıcıların aynı markayı tekrar tercih olasılığı sırasıyla Diğerleri (%64.1), Polo (%56.5), Mavi (%56.3), Zara (%52.7), HM (%49.0), Colins (%47.5), LC Waikiki (%45.7), Bershka (%45.2), Koton (%44.9), LTB (%41.6), Pullbear (%39.0), DeFacto (%33.6) olduğu görülmektedir.

Hazır giyim tercihlerinde uzun dönemde herhangi bir dışsal etki olmadığı durumda, gelecekte kullanıcıların %22.0'u Diğerleri, %20.7'si LC Waikiki, %13.8'i Koton, %12.9'u DeFacto, %11.4'i Mavi, %4.5'i Zara, %3.3'ü HM, %3.2'si Bershka, %2.5'i Pullbear, %2.4'ü Colins, %1.46'sı LTB, %1.40'ı Polo marka hazır giyim kullanıyor olacaktır.

Zara marka hazır giyim kullananların % 52.7'si satın alacağı yeni hazır giyiminde Zara marka olacağını ifade etmiştir. Denge dağılımında ise uzun dönemde Zara marka hazır giyim kullanma olasılığı % 4.5 olarak bulunmuştur. Aradaki fark iki nedenden kaynaklanmaktadır. Birinci neden Zara markanın hazır giyim sayısının az olması ve dolayısıyla Zara'dan Zara'ya geçen kullanıcı oranının yüksek olmasına rağmen sayının diğer markalara oranla daha az olmasıdır. İkinci neden ise diğer markalar, Zara'ya geçişlerin diğer markalara oranla göreceli olarak az olmasıdır. Benzer durumlar diğer markalar içinde gözlemlenebilir. Böylelikle Marka Bağımlılığının %40 ile %60 arasında dağıldığını, Denge Durumunun ise 0 ile %20 arasında dağıldığı görülür. Böylelikle marka bağımlılığı ile denge durumu arasında anlamlı bir farklılık olduğu açıklanır.

EK-2'deki geçiş matrisine ait markalar incelendiğinde köşegen elemanların hepsi sıfırdan büyük olması tüm markalara ait marka bağımlılığının yüksek olduğunu gösterir.

Firmaların hazır giyim kullanıcılarının hangi oranda yeniden kendi markalarını, hangi oranlarda diğer markaları ve diğer hazır giyim markaları kullanıcılarının daha sonraki tercihlerinde kendi markalarını tercih ettiklerinin bilinmesi, firmanın pazarlama stratejisini belirlemesi sürecinde önemli bilgiler sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Özdemir, A. (2008). ***İşletme sorunlarının çözümünde markov karar süreçlerinin kullanılması ve bir uygulama*** (Doctoral dissertation, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü).

- Yücel, Y. (2010). **Uluslararası Ticaretin Serbestleştirilmesi Sürecinde Türk Tekstil Ve Hazır Giyim Sektörünün Rekabet Gücü Ve Çin Tehdidi.** *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, *29*(2), 227-250.

- Selçuk, A. L. P., & Ersoy, Ö. Z. (2009). **Markov zinciri yöntemi ile taşınabilir bilgisayar tercihlerinin analizi.** *Akademik İncelemeler Dergisi*, *4*(2), 37-55.

- Özdemir, A., & Demireli, E. (2014). **Hisse Senedi Fiyat Verimliliğinin Markov Zincirleri İle Analizi Bıst Teknoloji Endeksi Hisse Senedi Fiyatları Üzerine Bir Uygulama.** *Verimlilik Dergisi*, (1), 41-60.

- KAYRAN, A. and YÜCEL, M., 2016. ***Olasılık Teorisi ve Stokastik Süreçler*** *- Ahmet Hamdi Kayran Prof. Dr. Mehmet Nadir Yücel Mehmet Nadir Yücel Fiyatları*

- Çelik, İ. (2013). ***Markov zincirlerinin temel özellikleri ve çeşitli uygulamaları*** (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Özel Kadılar, G., 2020. ***Stokastik Süreçler ve R Uygulamaları*** *- Gamze Özel Kadılar - Savaş Kitap Basım Yayım Dağ. TİC. LTD. ŞTİ.*.

- Gamze, Ö. Z. E. L. (2019). **Markov Zinciri Kullanarak Ankara İli İçin Hava Kirliliği Tahmini.** *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, *3*(2), 144-151.

- Selçuk, A. L. P., & ÇETİN, N. G. (2016). **Cep telefonu marka tercihlerinin Markov zincirleri ile analizi.** *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *9*(3), 126-138.

- ŞENTÜRK, S., & Selçuk, A. L. P. (2016). **Mobil operatör ve internet servis sağlayıcı tercihlerinin markov zinciri yöntemi ile analizi.** *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (13), 133-151.

- Özdemir, A. Y., & Gümüşoğlu, Ş. (2007). **İşletmelerin Tahminleme Sorunlarının Çözümlemesinde Markov Zincirleri Analizinin Uygulanması.**

- Akyurt, İ. (2011). **Ülke derecelendirme sisteminin markov zinciri ile analizi.** *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadı Enstitüsü Yönetim Dergisi*, *22*(69), 45-60.

- İlarslan, K. (2014). **Hisse senedi fiyat hareketlerinin tahmin edilmesinde Markov zincirlerinin kullanılması: İmkb 10 bankacılık endeksi işletmeleri üzerine ampirik bir çalışma**. *Journal of Yaşar University*, *9*(35), 6158-6198.

- Aytemiz, T., & Şengönül, A. (2004). **Markov Zincirlerinin Ekonomik Bir Probleme Uygulanması: Perakende Alışverişlerde Bireysel Olarak Kullanılan Madeni Para Stratejilerinin Karşılaştırmalı Analizi.**

- YAZICIOĞLU, Y. and ERDOĞAN, S., 2011. ***SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri.***

EK-1 : Anket Soruları

1) Bir Önceki kullandığınız Hazır Giyim Markaları

……

NOT : Yazılacak olan marka isimleri sıralı şekilde yazılmalıdır. Mesela bir önceden kullandığınız LC Wakiki marka pantolon kullanıyor olup şuanda Mavi marka pantolon kullanıyorsanız kısa yanıt kısımlarına sıralı şekilde yazınız. Diğer Hazır Giyim Markaları da aynı şekilde sıralanmalıdır. MARKA SAYILARI EŞİT OLMALIDIR.

2) Şuanda kullandığınız Hazır Giyim Markaları

……

NOT : Yazılacak olan marka isimleri sıralı şekilde yazılmalıdır. Mesela bir önceden kullandığınız LC Wakiki marka pantolon kullanıyor olup şuanda Mavi marka pantolon kullanıyorsanız kısa yanıt kısımlarına sıralı şekilde yazınız. Diğer Hazır Giyim Markaları da aynı şekilde sıralanmalıdır. MARKA SAYILARI EŞİT OLMALIDIR.

Anketi Dolduran Kişinin

Cinsiyeti :

Eğitim Durumu :

Yaş Aralığı :

Çalışıyor mu, Çalışmıyor mu, Öğrenci mi, Emekli mi :

Çalışıyor ise Bölüm Okuyor ise Bölüm :

EK-2: Markov Geçiş Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,45722713 9	0,135693215	0,07079646	0,041297935	0,017699115	0,020648968	0,032448378	0,008849558	0,017699115	0,014749263	0,017699115	0,16519174
2	0,09042553 2	0,563829787	0,037234043	0,058510638	0,042553191	0,005319149	0,010638298	0	0,015957447	0,005319149	0,010638298	0,159574468
3	0,07048458 1	0,118942731	0,449339207	0,026431718	0,039647577	0,004405286	0,026431718	0,022026432	0,013215859	0,017621145	0,039647577	0,171806167
4	0,09478673	0,118483412	0,056872038	0,336492891	0,042654028	0,033175355	0,018957346	0,023696682	0,018957346	0,052132701	0,066350711	0,137440758
5	0,09459459 5	0,027027027	0,054054054	0,054054054	0,527027027	0	0,054054054	0,013513514	0,013513514	0,013513514	0,013513514	0,135135135
6	0,08333333 3	0,125	0	0,041666667	0	0,416666667	0,041666667	0	0	0,041666667	0,041666667	0,208333333
7	0,03636363 6	0,054545455	0,018181818	0,018181818	0,054545455	0	0,490909091	0,018181818	0	0,090909091	0,036363636	0,181818182
8	0,13043478 3	0,173913043	0	0	0	0	0,043478261	0,565217391	0	0	0	0,086956522
9	0,1	0,15	0,075	0	0,025	0,025	0	0	0,475	0	0,025	0,125
10	0,07317073 2	0,024390244	0,097560976	0,12195122	0,048780488	0,024390244	0,024390244	0	0	0,390243902	0,024390244	0,170731707
11	0,07547169 8	0,056603774	0,037735849	0,037735849	0,075471698	0	0	0	0,018867925	0,037735849	0,452830189	0,20754717
12	0,07222222 2	0,075	0,05	0,061111111	0,027777778	0,013888889	0,013888889	0,016666667	0,005555556	0,002777778	0,019444444	0,641666667

Presentation ID / Sunum No= 54

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID:

Çoklu Bağıntı ve Ridge, Liu, Zaman Serisi Kestiricisiyle Türkiye'nin İhracat Modeli İçin Bir Uygulama

Araştırmacı Semih Gökçe[1], Doç. Dr. Atıf Evren[1]
[1]*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen, İstatistik, gokcesemih95@gmail.com*
[1]*Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen, İstatistik, aevren2006@gmail.com*
**Corresponding author: Semih GÖKÇE*

Özet

Çoklu regresyon analizinde karşılaşılan sorunlardan birisi de çoklu doğrusallıktır. Çoklu doğrusallık, açıklayıcı değişkenler arasındaki güçlü bir ilişkinin varlığı olarak tanımlanabilir. Çoklu doğrusallık parametre kestirimlerinin varyansını büyütür. Bu da, özellikle küçük ve orta büyüklükteki örneklem hacimleri için, katsayılar tek tek istatistiksel olarak anlamsız iken, genel modelin oldukça anlamlı olduğu sonucunu verebilecektir. Ayrıca tahmin edilen regresyon katsayılarının işaretlerinde ve büyüklüklerinde de yanlışlık olabilecektir. Dolayısıyla açıklanan ve açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişki yanlış ifade edilecektir. Bu çalışmada önce çoklu doğrusallık belirleme yöntemleri anlatılarak, Türkiye'nin ihracat modeli için Ridge, Liu kestiricisiyle ve zaman serisi modelleri bir uygulaması yapılmıştır. Liu kestiricisi ile elde edilen modelin diğerlerine göre en iyi sonuçları verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Doğrusallık, Ridge, Liu Kestiricisi, Zaman Serisi, Türkiye, İhracat

The Multicollinearity and An Application for Turkey's Export Model Using Ridge, Liu, Time Series Estimator

Abstract

One of the problems encountered in the multi-regression analysis is multicollinearity case. Multicollinearity in regression models is a result of strong correlations among independent variables. The existence of multicollinearity inflates the variances of the parameter estimates. That may result, particularly for small and moderate sample sizes, in lack of statistical significance of individual independent variables while the overall model may be strongly significant. Multicollinearity may also result in wrong signs and magnitudes of regression coefficient estimates, and consequently in incorrect conclusions about relationships between independent and dependent variables. In this research, firstly,

theoretical structure of collinearity diagnostics and Liu estimator is introduced. At the end an application of Ridge, Liu,time series estimator for the Turkey's export model is done. The model with the Liu estimator gave the best prediction.

Keywords: Multicollinearity, Ridge Estimator, Liu Estimator, Time Series, Turkey, Export

1. GİRİŞ

İhracat ya da dışsatım, bir malın veya hizmetin yabancı ülkelere döviz karşılığında satılmasıdır. Genellikle bir ülke veya şirket tarafından gerçekleştirilir. İthalat ile birlikte bir ülkenin dış ticaret dengesini oluşturur. Bir malın uluslararası pazarda rekabet gücü döviz kuruyla da doğrudan ilgilidir. Döviz kurunun düşmesi, yani yerli paranın yabancı para karşısında değer kazanması, söz konusu malı uluslararası pazarda daha pahalı hale getireceğinden malın rekabet gücünü azaltır.

Üretici fiyat endeksi ya da kısaltması ÜFE, belirli bir referans döneminde ülke ekonomisinde üretimi yapılan ve yurt içine satışa konu olan ürünlerin, üretici fiyatlarını zaman içinde karşılaştırarak fiyat değişikliklerini ölçen fiyat endeksidir. Aylık ve yıllık enflasyon rakamının belirlenmesinde kullanılır.

Tüketici fiyat endeksi ya da kısaca TÜFE, tipik bir tüketicinin satın aldığı belirli bir ürün ve hizmet grubunun fiyatlarındaki ortalama değişimleri gösteren bir ölçüttür. Yıllık enflasyon değerindeki değişimi ölçmek için kullanılır.TÜFE, istatistik bilimindeki fiyat endeks sayıları ile hesaplanır. Belli bir yıl seçilir ve bu yıl temel yıl kabul edilir. Endeks değeri 100'dür. Bundan sonraki yıllar, yani cari yıllar enflasyon değerlerine göre değişkenlik gösterir ve temel alınan endekste oynamalar olur.

Merkez bankası bilançosu, para politikası uygulamalarındaki gelişmelerin izlenmesi açısından önem taşımaktadır. Para politikası uygulamaları merkez bankası bilançosunu etkilemektedir; uygulamadaki değişiklikler bilanço üzerinden takip edilebilir. Pasif kalemler, merkez bankasının bankacılık ve banka dışı kesime olan yükümlülüklerini gösterir. Pasif kalemlerde yapılan değişiklikle ekonomideki likidite ayarlanırken, likiditenin hangi kalemlerden sağlandığı aktif kalemlerden izlenebilmektedir

Regresyon analizi değişkenler arasındaki ilişkiyi modellemek ve incelemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Regresyonun çok farklı uygulama alanları vardır ve bu uygulamalar mühendislik, fizik ve kimya bilimleri, iktisat, yönetim, yaşam ve biyoloji bilimleri ve sosyal bilimleri gibi hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaktadır. Hatta regresyon analizi en yaygın kullanılan istatistik teknik olabilir.

y yanıt değişkeni ile doğrusal ilişkiye sahip tek bir x bağımsız değişkeninin bulunduğu model, basit doğrusal regresyon modeli olarak ele alınmaktadır. Bu model,

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \tag{1.1}$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada β_0 kesim noktası ve β_1 eğim olmak üzere bilinmeyen sabitlerdir ve ε ' da rasgele hata bileşenidir. Hataların sıfır ortalamaya ve bilinmeyen varyansa sahip oldukları ve ilişkisiz oldukları varsayılır.β_0 ve β_1 bilinmeyen parametreler olup örneklem verileri kullanılarak kestirilmeleri gerekmektedir. $(y_1, x_1), (y_2, x_2),....., (y_n, x_n)$ olmak üzere "n" sayıda veri çifti olduğu varsayılsın. β_0 ve β_1 parametrelerini kestirmek için "En Küçük Kareler Yöntemi" kullanılır. Bu yöntemle β_0 ve β_1, y_i gözlemleri ile regresyon doğrusu arasındaki farkların karelerinin toplamı minimum olacak şekilde kestirilir.

Yanıt değişkeni y , k sayıda bağımsız değişkenle ilişkili olabilir. Bu durumda,

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k x_k + \varepsilon \tag{1.2}$$

modeli k bağımsız değişkenli çoklu doğrusal regresyon modeli olarak adlandırılır.

β_j, $j = 0,1,..., k$ parametreleri, regresyon katsayıları olarak bilinir. β_j parametresi i , x_i $(i \neq j)$ bağımsız değişkenleri sabit tutulduğu zaman x_j bağımsız değişkenindeki bir birimlik değişime karşılık

gelen y yanıt değişkenindeki beklenen değişimi göstermektedir. Bu nedenle, β_j , j = 0,1,..., k parametreleri genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılır.

$$y = X\beta + \varepsilon \tag{1.3}$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad , \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad , \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \tag{1.4}$$

$\boldsymbol{y}$, n x1 boyutlu gözlemler vektörü; $\boldsymbol{X}$, n x p boyutlu bağımsız değişkenler matrisi; β , p x1 boyutlu regresyon katsayıları vektörü ve ε , n x1 boyutlu rastgele hatalar vektörüdür.

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\boldsymbol{X}'\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}'\boldsymbol{y} \tag{1.5}$$

Çoklu doğrusal regresyonda en küçük kareler yöntemiyle $\widehat{\beta}_j$'ler yukarıdaki denklemle bulunur.

Otokorelasyon, ya da öz ilinti, bir sinyalin farklı zamanlardaki değerleri arasındaki korelasyonudur. Başka bir deyişle, gözlemlenen değerler arasındaki benzerliğin, zamansal gecikmenin bir fonksiyonu olarak ifadesidir. Otokorelasyon analizi tekrar eden örüntülerin tanınması, bir sinyalin kayıp temel frekansının tespit edilmesi gibi amaçlar için kullanılan bir matematiksel araçtır. Sinyal işlemede fonksiyonların ya da dizilerin analizi için sıkça kullanılır.

Çoklu regresyon analizinde otokorelasyon, hata teriminin birbirini izleyen değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu durum, genel doğrusal regresyon modelinin önemli bir varsayımından sapmadır. Genel doğrusal regresyon modeli varsayım gereği olarak, hata terimleri arasında bir ilişki yoktur.

2. Çoklu Doğrusallıkta Ridge Regresyon ve Liu Regresyon

Çoklu doğrusallık ekonometrik denklemin açıklayıcı değişkenleri arasındaki ilişkinin derecesi ile ilgili bir sorundur. İki tür olarak karşımıza çıkabilir. Eğer açıklayıcı değişkenler arasında tam bir ilişki varsa "tam çoklu doğrusallık" sorunu söz konusudur. Eğer açıklayıcı değişkenler tam olmasa da birbiriyle bir ilişki içindeyse "tam olmayan çoklu doğrusallık" sorunu vardır.

1.4'teki X matrisinde X_2 ile X_3 arasında tam bir doğrusal ilişki varsa bu değişkenler arasındaki korelasyon katsayısı 1 olacaktır.Bu durumda rank(X)=k varsayımı sağlanamayacak rank(X)<k olacaktır.Yine bu sorun |X|=0 ve |X'X|=0 sonucunu doğurduğundan X^{-1} ve $(X'X)^{-1}$ bulunamaz ve denklem tahmin edilemez.

Klasik modelin varsayımları sağlandığında regresyon katsayılarının en küçük kareler tahmin edicileri BLUE'dur. Çoklu doğrusallık, tama yakın çoklu doğrusallıktaki gibi çok yüksek olsa bile en küçük kareler tahmin edicileri BLUE özelliklerini korumayı sürdürürler. Öyle ise neden çoklu doğrusallık önem kazanıyor. Aslında çoklu doğrusallık hiçbir regresyon varsayımını çiğnemez. Sapmasız, tutarlı tahminler bulunur, bunların standart hataları da doğru hesaplanır. Çoklu doğrusallığın tek etkisi küçük standart sapmalı katsayı tahminleri bulmayı zorlaştırmasıdır. Gözlem sayısı tahmin edilecek katsayı sayısının üstündeyse çoklu doğrusallık ortaya çıkar.

Çoklu doğrusallığı düzeltici önlemler ise;

- Önsel bilgi,

- Kesit verileriyle zaman serisi verilerini bir araya toplama;

Dışsal ya da önsel bilgi tekniğinin bir biçimi de karma veri oluşturmak diye bilinen, kesit verileri ile zaman serisi verilerini bir araya toplamaktır.

- Değişken(ler)i atmak ve model kurma sapması;

Çoklu doğrusallık sorununda en basit yol ortak doğrusal değişkenlerden birini modelden çıkarmaktır. Bir değişkeni modelden çıkarmakla model kurma hatası (sapması) nın büyümesine yol açar.

- Değişkenlerin dönüştürülmesi,
- Ek ya da yeni veri;
- Çoklu regresyonlarda ortak doğrusallığı azaltmak;
- Çoklu doğrusallığı düzeltmek için başka önlemler;

  Faktör analizi (etmen çözümlemesi)

  Temel bileşenler (principal components)

  Ridge (sırt) regresyonu

Dik olmayan verilere en küçük kareler yöntemi uygulandığında regresyon katsayılarının çok zayıf kestirimleri elde edilir.En küçük kareler yönteminde sorun, $\hat{\beta}$'nın β yansız bir kestirici olma zorunluğudur.Gauss-Markov özelliği en küçük kareler kestiricisinin yansız doğrusal kestiriciler sınıfındaki en küçük varyansa sahip olduğundan emin olmamızı sağlamaktadır ancak bu varyansın küçük olacağını garantisi yoktur. Sorunu hafifletmenin yolu , β ' nın kestiricisinin yansız olması zorunluluğundan vazgeçmektedir. Regresyon katsayılarının yanlı kestiricilerini elde etmek için farklı işlemler geliştirilmiştir.Bunlardan birisi ridge regresyondur.İlk olarak Hoerl ve Kennard tarafından önerilmiştir.

$$\hat{\beta} = (X'X + kI)^{-1}X'Y \tag{2.1}$$

2.1'de ridge regresyon kestiricisi gösterilmektedir.1.4'te EKK tahmine edicisine göz önünde bulundurulduğunda yanlı olmasına karşın varyansı küçülttüğünden dolayı tercih edilen bir yöntem olan ridge regresyon yönteminin başlıca kullanım amaçları şunlardır:

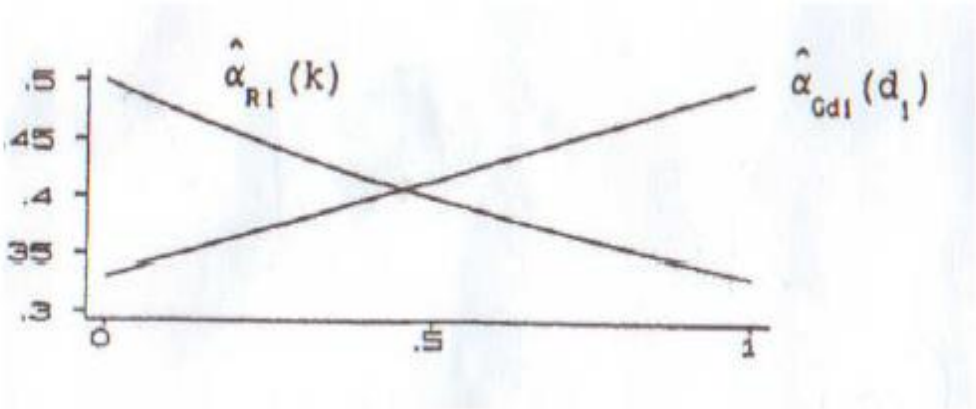
- Çoklu regresyon modelinde bağımsız değişkenler birbirleriyle bağıntılı olduklarında, en küçük kareler kestiricisinden daha küçük varyanslı kestiricilerinin elde edilmesinde,
- Güçlü çoklu doğrusal bağıntı etkisiyle regresyon katsayılarında oluşan kararsızlıkların grafik üzerinde gösterilmesinde,
- Modeldeki gereksiz değişkenlerin çıkarılmasında kullanılmaktadır.
- Ridge regresyon yönteminin en küçük karelerden farklılığı, k Ridge parametresinin varlığıdır. 0 ile 1 arasında değer alan her k için hesaplanan parametre kestirimleri arasından, aranan kritere sahip olanlar belirlenir.

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}_d = (\boldsymbol{X'X} + \boldsymbol{I})^{-1}(\boldsymbol{X'y} + d\hat{\boldsymbol{\beta}}) \tag{2.2}$$

2.2'de görüleceği gibi Liu tahmincisi gösterilmektedir. $\hat{\beta}_d$ ile gösterilmiştir. *d, yanlılık parametresi 0 ve 1 arasında bir sabittir. Liu tahmincisi d* parametresinin doğrusal bir fonksiyonu olduğundan, *d'nin seçimi ridge* tahmincisinde *k'nın seçimine oranla oldukça basittir. Bu da liu tahmincisini üstün* kılan en önemli özelliktir.

Liu tahmincisinde de amaç diğer yanlı tahmincilerde olduğu gibi küçük bir yanlılık karşılığında parametre tahmincilerinin varyanslarını düşürmektir.

Liu (1993), her zaman EKK tahmincisi daha küçük HKO sağlayacak 0<*d<1 arasında bir d sabiti bulunabileceğini ispatlamıştır.*



Şekil 2.1 Ortak k ve d

Optimal *k değerinin sıfıra yakın seçilmesi ridge regresyon* literatüründe yaygın olarak kabul görmüştür. Ancak bu grafikte ridge tahmincisi ile liu tahmincisinin eşitliğini sağlayacak ortak bir *k ve d değeri elde edilebileceği* görülmüş olur.

3. MODEL VE VERİ SETİ

Veriler TCMB sitesinden alınmıştır.2003-2020 yıllarına ait çeyreklik verileri kullanılmıştır. Modelde açıklanan değişken ihracat, açıklayıcı tüfe , pasif toplamı , birikimli yi-üfe endeksi kullanılmıştır

logihr: Logaritma ihracat

yiüfe=Yurtiçi üretim endeksi

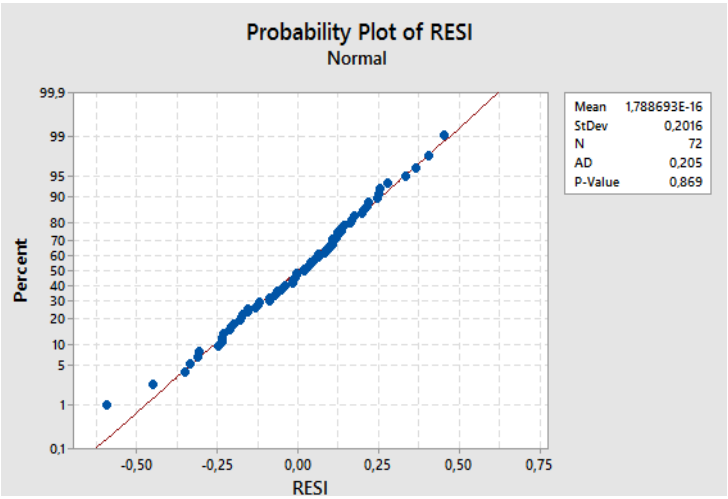
tüfe: Tüketici fiyat endeksi

pasif:TCMB pasif yükümlülükleri

Standartlaştırılarak elde edilen model:

logihr= $\boldsymbol{\beta}_0$+ $\boldsymbol{\beta}_1$ tüfe+ $\boldsymbol{\beta}_2$yiüfe+ $\boldsymbol{\beta}_3$pasif

4. AMPİRİK BULGULAR



Tablo 4.1 Normal dağılıma uyma

Regresyon modeli Minitab 18 programında kurulmuştur. Residuals'lerin Anderson-Darling testine göre normal dağılımına uyduğu görülmüştür.

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	68,115	3	22,705	535,139	,000[b]
	Residual	2,885	68	,042		
	Total	71,000	71			

a. Dependent Variable: logihr

b. Predictors: (Constant), yiüfe, tüfe, pasif

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-2,656E-007	,024		,000	1,000		
	tüfe	-,050	,051	-,050	-,982	,330	,234	4,279
	pasif	-,837	,143	-,837	-5,852	,000	,029	34,232
	yiüfe	1,749	,137	1,749	12,809	,000	,032	31,214

a. Dependent Variable: logihr

Tablo 4.2 Model anlamlılığı ve VIF

SPSS 21 programının çıktısında modelin anlamlı olduğu görülmüştür . Bazı katsayıların anlamsız olduğu bazı katsayıların anlamlı olduğu görülmüştür . Çoklu doğrusal bağlantı probleminden şüphelenmiştir. VİF bu sonucu doğrular niteliktedir.

$$K_{LW} = \frac{p\hat{\sigma}^2}{\sum_{j=1}^{p} \lambda_j \hat{\alpha}_j^2} \qquad (4.1)$$

4.1'deki formül Lawless ve Wang'ın 1976'da önerdiği bir formüldür.R 4.1.1 sürümünde tablo 4.3'deki değer hesaplanmıştır.

```
LW (lm.ridge)                    0.04420
```

Tablo 4.3 R Ridge k çıktısı

$$d_{opt} = \frac{\sum_{j=1}^{p}\left[\frac{\alpha_j^2-\sigma^2}{(\lambda_j+1)^2}\right]}{\sum_{j=1}^{p}\left[\frac{\sigma^2+\lambda_j\alpha_j^2}{\lambda_j(\lambda_j+1)^2}\right]} \qquad (4.2)$$

4.2'deki formül Liu 1993'de önerdiği bir formüldür.R 4.1.1 sürümünde tablo 4.4'deki değer hesaplanmıştır.

```
dopt          0.97582
```

Tablo 4.4 R Liu d çıktısı

```
              K=0      K=0.05       K=0.1      K=0.15       K=0.2      K=0.25
tüfe  -0.04964905 -0.0477060 -0.04602021 -0.04456005 -0.04329869 -0.04221324
pasif -0.83696447 -0.7814974 -0.73063243 -0.68382494 -0.64061306 -0.60060237
yiüfe  1.74940920  1.6953197  1.64560601  1.59975164  1.55731832  1.51793183
```

Tablo 4.4 R Ridge k değerlerine göre çıktı

Ridge regresyon yanlılık parametresi k değerlerine göre regresyon katsayıları R 4.1.1 sürümünde tablo 4.4'deki değerler hesaplanmıştır. Lawless ve Wang'ın 1976'da önerdiği formüle hesaplanan k=0.04420'dir.Yaklaşık olarak k yanlılık parametresi 0.05 alınmıştır.

	d=0.9	d=0.925	d=0.95	d=0.975	d=1
tüfe	-0.0484963	-0.04878449	-0.04907267	-0.04936086	-0.04964905
pasif	-0.7762979	-0.79146457	-0.80663120	-0.82179784	-0.83696447
yiüfe	1.6891020	1.70417877	1.71925558	1.73433239	1.74940920

Tablo 4.5 R Liu d değerline göre çıktı

Liu regresyon yanlılık parametresi d değerlerine göre regresyon katsayıları R 4.1.1 sürümünde tablo 4.5'deki değerler hesaplanmıştır. Liu'nun 1993'de önerdiği formüle hesaplanan dopt=0.97582'dir.Yaklaşık olarak d yanlılık parametresi 0.975 alınmıştır. Ancak bu tablolar incelendiğinde ridge tahmincisi ile liu tahmincisinin eşitliğini sağlayacak ortak bir k ve d değeri elde edilebileceği görülmüş olur.

	Variance	Bias^2	MSE	rsigma2	F	R2	adj-R2	CN
K=0	0.0411	0.0000	0.0411	0.0418	543.0078	0.9594	0.9582	178.6255
K=0.0225	0.0396	0.0013	0.0409	0.0418	542.7420	0.9570	0.9558	175.1246
K=0.045	0.0383	0.0049	0.0432	0.0419	541.9830	0.9548	0.9535	171.7591

Tablo 4.6 R Ridge k değerlerine göre çıktı

Ridge regresyon yanlılık parametresi k değerlerine göre düzeltilmiş R^2 değerleri 4.1.1 sürümünde tablo 4.6'daki değerler hesaplanmıştır. Lawless ve Wang'ın 1976'da önerdiği formüle hesaplanan k=0.04420'dir.Yaklaşık olarak k yanlılık parametresi 0.045 alınmıştır.Ridge regresyon k=0.045 yanlılık parametresi için düzeltilmiş R^2=0.9535 değeri bulunmuştur.

	EDF	Sigma2	CL	VAR	Bias^2	MSE	F	R2	adj-R2
d=0.9	69.0023	0.0419	4.8915	0.0377	0.0073	0.0450	541.4658	0.9592	0.9574
d=0.925	69.0013	0.0419	4.9182	0.0385	0.0041	0.0426	542.1396	0.9593	0.9575
d=0.95	69.0006	0.0418	4.9452	0.0393	0.0018	0.0412	542.6219	0.9593	0.9575
d=0.975	69.0001	0.0418	4.9724	0.0402	0.0005	0.0406	542.9117	0.9594	0.9576

Tablo 4.7 R Liu d değerlerine göre çıktı

Liu regresyon yanlılık parametresi d değerlerine göre düzeltilmiş R^2 değerleri 4.1.1 sürümünde tablo 4.7'deki değerler hesaplanmıştır. Liu'nun 1993'da önerdiği formüle hesaplanan dopt=0.97582'dir.Yaklaşık olarak d yanlılık parametresi 0.975 alınmıştır.Liu regresyon d=0.975 yanlılık parametresi için düzeltilmiş R^2=0.9576 değeri bulunmuştur.Bu sonuç itibariyle Liu tahmincisini üstün kılar.Çünkü Liu tahmincisinin düzeltilmiş R^2 değeri Ridge tahmincisinin düzeltilmiş R^2 değerinden büyüktür.

	tüfe	pasif	yiüfe
k=0	4.27852	34.23230	31.21403
k=0.0225	3.28486	6.37817	6.06647
k=0.045	2.64213	2.84232	2.82215

Tablo 4.8 R Ridge k değerlerine göre çıktı

Marquardt ve Snee (1975), yanlılık parametresinin k'nın belirlenmesi için VBF değerlerinin kullanılmasını önermişlerdir. VBF değeri 1 ile 10 arasına denk gelen k değerlerinin, optimal k değeri olarak seçilebileceğini belirtmişlerdir. Genel olarak, 4'ün üzerindeki bir VBF çoklu doğrusallığın var olabileceğini ve daha fazla araştırmanın gerekli olduğunu gösterir. Yukarıdaki k yanlılık parametresine göre hesaplanmış VBF değerleri göz önünde bulunduğunda buradan da elde edeceğimiz sonuç k=0.045 bulunur.

```
> AIC(mod)
[1] -17.30403
> BIC(mod)
[1] -5.920696
```

Tablo 4.8 R EKK AIC, BIC çıktı

Tablo 4.8'deki AIC değeri EKK yöntemine aittir.

	AIC	BIC
K=0	-225.6311	89.11891
K=0.0225	-200.2411	112.88419
K=0.045	-187.9036	124.64517

Tablo 4.9 R Ridge AIC, BIC çıktı

Tablo 4.9'daki AIC değeri Ridge regresyon yöntemine aittir. AIC değerinin küçük olması istenir. Yukarıdaki k yanlılık parametresine göre hesaplanmış AIC değerleri göz önünde bulunduğunda buradan da elde edeceğimiz sonuç Ridge yönteminden EKK yöntemi daha iyi olduğu görülmüştür.

	AIC	BIC
d=0.9	-225.5348	89.08910
d=0.925	-225.5976	89.05774
d=0.95	-225.6347	89.05220
d=0.975	-225.6459	89.07253
d=1	-225.6312	89.11878

Tablo 4.10 R Liu AIC, BIC çıktı

Tablo 4.10'daki AIC değeri Liu regresyon yöntemine aittir. AIC değerinin küçük olması istenir. Yukarıdaki d yanlılık parametresine göre hesaplanmış AIC değerleri göz önünde bulunduğunda buradan da elde edeceğimiz sonuç Ridge yönteminden Liu regresyon yöntemi daha iyi olduğu görülmüştür.

5.SONUÇ

	d=0.975
tüfe	-0.04936086
pasif	-0.82179784
yiüfe	1.73433239

Tablo 5.1 R Liu katsayı çıktı

Liu regresyon kestirimleri 5.1'deki gibidir.Açıklanan değişken ihracattır.Tüfe artarsa(iç talep artmış) ihracat azalacağı sonucuna varılmıştır. Üfe artarsa(devalüasyon etkisi,dış talep artmış) ihracat artacağı sonucuna varılmıştır. TCMB pasif yükümlülükleri azalırsa(döviz yükümlülükleri) ihracat artacağı sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

Aktaş,Yrd.Doç.Dr C.(2007),Çoklu Bağıntı ve Liu Kestiricisiyle Enflasyon Modeli İçin Bir Uygulama

Alpar,R. (1997), Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler Giriş-I. Kültür Ofset, Ankara.

Baldemir,Dr. E.(1998) ,Ridge Regresyon-Ridge Analiz İlişki Ve Yapılan Çalışmaların İçerikleri

Büyükuysal, M. Ç.(2010), Ridge Regresyon Analiz ve Bir Uygulama

Çınar, Ö.(2019),Yapısal Eşitlik Modeli: Örnek Bir Uygulama: Çok Değişkenli Analiz Metotları: Yapısal Eşitlik Modellemesi: Banka Çalışanlarına Yönelik Bir Uygulama,Hiperlink Yayınları. s. 205

Hines, W. W. ve Montgomery, D. C. (1990),Probability and Statistics in Engineering and Management Science. John Wiley & Sons, Inc.

Karakaş,S.(2008),Çoklu Doğrusal Bağlantı Problemi ve Yanlı Regresyon Tahmincileri

Montgomery,Douglas C. , Peck, Elizabeth A. ve Vining, G.Geoffrey(2013),Basit Regresyon Analizine Giriş(Çeviri)

Topal M. , Eyduran, E., Yağanoğlu,A.M, Sönmez, A.Y. ve Keskin, S.(2010), Çoklu Doğrusal Bağlantı Durumunda Ridge ve Temel Bileşenler Regresyon Analiz Yöntemlerinin Kullanımı

https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=87018 adresinden alındı

https://tr.pharoskc.com/1330-what-is-the-variance-inflation-factor-vif adresinden alındı

https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCketici_fiyat_endeksi adresinden alındı

https://tr.wikipedia.org/wiki/Otokorelasyon adresinden alındı

https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0hracat adresinden alındı

Presentation ID / Sunum No= 72

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-2639-2490

İki Boyutlu Burgers Denkleminin Bir Nümerik Çözümü

Dr. Öğretim Üyesi Gonca Çelikten[1], Prof. Dr. Emine Nesligül Aksan[2]
[1]*Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Kars, Türkiye*
[2]*İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Malatya, Türkiye*

Özet

Burgers denklemi, gaz dinamiği, türbülans ve şok dalgası teorisi gibi birçok fiziksel olayın matematiksel bir modeli olarak ortaya çıkar. Türbülansın Burgers modeli çok önemli bir akışkan dinamiği modelidir ve bu modelin incelenmesi ve şok dalgaları teorisi birçok yazar tarafından hem bir fiziksel akış sınıfının kavramsal olarak anlaşılması hem de çeşitli nümerik yöntemlerin test edilmesi için düşünülmüştür. Bu çalışmada, iki boyutlu Burgers denkleminin nümerik çözümlerini elde etmek için Alternating Direction Implicit (ADI) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin etkinliğini ve doğruluğunu göstermek için bir model problem incelenmiştir. Sunulan yöntemle elde edilen nümerik çözümler tam çözümler ile karşılaştırılmış ve nümerik çözümlerin tam çözümlere yakınlığı L_2 ve L_(sonsuz) hata normları ile verilmiştir. Yöntemin şartsız kararlı olduğu von-Neumann (Fourier) kararlılık analizi yöntemi kullanılarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alternating Direction Implicit (ADI) Yöntemi, İki Boyutlu Burgers Denklemi, Von-Neumann Kararlılık Analizi

1. GİRİŞ

$D=\{(x,y): a\le x\le b,\ c\le y\le d\}$ bölgesi üzerinde

$$u_t + u\left(u_x + u_y\right) = \varepsilon\left(u_{xx} + u_{yy}\right) \tag{1}$$

Denklemi ile verilen iki boyutlu Burgers denklemini

$$u(x,y,0) = f(x,y),\ (x,y)\in D, \tag{2}$$

Başlangıç şartı ve

$$u(x,y,t) = g(x,y,t),\ x,y\in\partial D,\ t>0, \tag{3}$$

Sınır şartlarıyla göz önüne alalım. Burada f ve g bilinen fonksiyonlar ve Re Reynolds sayısı olmak üzere $\varepsilon = \dfrac{1}{\mathrm{Re}}$ dir.

Burgers denklemi, gaz dinamiği, türbülans ve şok dalgası teorisi gibi birçok fiziksel olayın matematiksel bir modeli olarak ortaya çıkar. Türbülansın Burgers modeli çok önemli bir akışkan dinamiği modelidir ve bu modelin incelenmesi ve şok dalgaları teorisi birçok yazar tarafından hem bir fiziksel akış sınıfının kavramsal olarak anlaşılması hem de çeşitli nümerik yöntemlerin test edilmesi için düşünülmüştür. Problemin nümerik çözümlerini elde etmek için Liao (Liao, 2010) denkleme Hopf-Cole dönüşümünü uygulamış, elde edilen iki boyutlu ısı denklemini çözmek için de dördüncü mertebeden sonlu fark yöntemini kullanmıştır. Zhao vd. (Zhao vd., 2011) yine Hopf-Cole dönüşümünü kullanarak denklemi iki boyutlu ısı denklemine dönüştürmüş ve daha sonra bu denklemi lokal süreksiz Galerkin sonlu eleman yöntemini kullanarak çözmüşlerdir.

Bu çalışmada ise iki boyutlu Burgers denkleminin nümerik çözümlerini elde etmek için Alternating Direction Implicit (ADI) yöntemi kullanılmıştır. Genel olarak ADI metodu bir başlangıç sınır değer probleminin çözümüne daha basit problemlerin bir dizisiyle yaklaşan bir yöntemdir (Duffy, 2006). Yöntem Duffy (Duffy, 2006), Chung (Chung, 2002) ve Davis (Davis, 2001)' in kitaplarında kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır. ADI yöntemini kullanarak çeşitli yüksek boyutlu problemlerin nümerik çözümlerinin elde edildiği geniş bir literatür vardır. Witelski ve Bowen (Witelski ve Bowen, 2003) yüksek mertebeden nonlineer difüzyon denklemlerini çözmek için ADI şemelarını kullanmıştır. Sapagovas ve Stikoniene (Sapagovas ve Stikoniene, 2011) bir koordinat yönünde integral sınır şartıyla verilen iki boyutlu nonlineer Poisson denklemini çözmek için ADI yöntemini kullanmışlardır. Yöntem Qin (Qin, 2009, 2010) tarafından dalga denklemlerini ve üç boyutlu parabolik denklemleri çözmek için kullanılmıştır. Douglas ve Rachford (Douglas ve Rachford, 1955) iki ve üç boyutlu ısı iletim denklemlerini çözmek için yine ADI Yöntemini kullanmışlardır.

2. ALTERNATING DIRECTION IMPLICIT (ADI) YÖNTEMİ

Alternating Direction Implicit (ADI) yönteminde klasik sonlu fark yöntemlerinden farklı olarak zaman adımının uzunluğu yarıya indirilip ilk yarısında x doğrultusunda kapalı ve y doğrultusunda açık, ikinci yarısında ise x doğrultusunda açık ve y doğrultusunda kapalı olacak şekilde bir yaklaşım göz önüne alınır. Bu yaklaşımda n zaman adımından $n+\frac{1}{2}$ hayali zaman adımına ve $n+\frac{1}{2}$ hayali zaman adımından $n+1$ zaman adımına ilerlenir.

$D=\{(x,y): a\le x\le b,\ c\le y\le d\}$ bölgesi üzerinde (1) denklemi ile verilen iki boyutlu Burgers denklemini (2) başlangıç şartı ve (3) sınır şartlarıyla göz önüne alalım. (ih_x, jh_y, nk) düğüm noktasında $u(x,y,t)$nin yaklaşımı $u_{i,j}^n$ ile gösterilsin. Burada N_x, N_y ve n sırasıyla x, y konumlarına ve t zamanına göre bölüntü sayısı olup $i=0,1,2,\ldots,N_x;\ j=0,1,2,\ldots,N_y;\ n=0,1,2,\ldots$ dır. Ayrıca h_x ve h_y sırasıyla x ve y doğrultularındaki bölüntü uzunluğu ve k zaman adımıdır.

Bu denklem için Alternating Direction Implicit (ADI) yaklaşımı

$$\frac{u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}-u_{i,j}^{n}}{k/2}+u_{i,j}^{n}\left(\frac{u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}-u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2h_x}+\frac{u_{i,j+1}^{n}-u_{i,j-1}^{n}}{2h_y}\right)=\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}-2u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{h_x^2}+\frac{u_{i,j+1}^{n}-2u_{i,j}^{n}+u_{i,j-1}^{n}}{h_y^2}\right) \quad (4)$$

$$\frac{u_{i,j}^{n+1}-u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{k/2}+u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}\left(\frac{u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}-u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2h_x}+\frac{u_{i,j+1}^{n+1}-u_{i,j-1}^{n+1}}{2h_y}\right)=\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}-2u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{h_x^2}+\frac{u_{i,j+1}^{n+1}-2u_{i,j}^{n+1}+u_{i,j-1}^{n+1}}{h_y^2}\right) \quad (5)$$

Kolaylık açısından $h_x = h_y = h$ olarak alınırsa ADI yaklaşımı

$$\left(-r_1\left(u_{i,j}^n\right)-r_2\right)u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(1+2r_2\right)u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(r_1\left(u_{i,j}^n\right)-r_2\right)u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}=\left(r_1\left(u_{i,j}^n\right)+r_2\right)u_{i,j-1}^n+\left(1-2r_2\right)u_{i,j}^n+\left(-r_1\left(u_{i,j}^n\right)+r_2\right)u_{i,j+1}^n \quad (6)$$

$$\left(-r_1\left(u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}\right)-r_2\right)u_{i,j-1}^{n+1}+\left(1+2r_2\right)u_{i,j}^{n+1}+\left(r_1\left(u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}\right)-r_2\right)u_{i,j+1}^{n+1}=\left(r_1\left(u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}\right)+r_2\right)u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(1-2r_2\right)u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(-r_1\left(u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}\right)+r_2\right)u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Şeklinde elde edilir. Burada $r_1 = \dfrac{k}{4h}$ ve $r_2 = \dfrac{\varepsilon k}{2h^2}$ dir.

3. KARARLILIK ANALİZİ

Von Neumann kararlılık analizi yöntemi kullanılarak (6)-(7) yaklaşımlarının kararlılığı incelenecektir. Von Neumann kararlılık analizi yöntemi sadece lineer fark denklemlerine uygulandığından (6)-(7) yaklaşımlarının kararlılığını incelemek için (1) ile verilen iki boyutlu Burgers denkleminde u değişkeni sabitmiş gibi kabul edilerek uu_x ve uu_y nonlineer terimleri linerleştirilir. Böylece (1) denklemindeki uu_x ve uu_y nonlineer terimlerini $\tilde{U}u_x$ ve $\tilde{U}u_y$ şeklinde gösterirsek (1) denklemi

$$u_t + \tilde{U}\left(u_x + u_y\right) = \varepsilon\left(u_{xx} + u_{yy}\right)$$

denklemine dönüşür. Bu lineerleştirilmiş denkleme ADI uygulanırsa yeni sonlu fark yaklaşımları

$$\left(-r_1\tilde{U}-r_2\right)u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(1+2r_2\right)u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(r_1\tilde{U}-r_2\right)u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}=\left(r_1\tilde{U}+r_2\right)u_{i,j-1}^n+\left(1-2r_2\right)u_{i,j}^n+\left(-r_1\tilde{U}+r_2\right)u_{i,j+1}^n \quad (8)$$

$$\left(-r_1\tilde{U}-r_2\right)u_{i,j-1}^{n+1}+\left(1+2r_2\right)u_{i,j}^{n+1}+\left(r_1\tilde{U}-r_2\right)u_{i,j+1}^{n+1}=\left(r_1\tilde{U}+r_2\right)u_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(1-2r_2\right)u_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+\left(-r_1\tilde{U}+r_2\right)u_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} \quad (9)$$

şeklinde elde edilir. Bu yaklaşımlara von Neumann kararlılık analizi yöntemini uygulayalım. Kolaylık olması için $h_x = h_y = h$ olarak alalım. Yeni (8)-(9) yaklaşımlarında $u_{i,j}^n$ yerine

$$u_{i,j}^n = u_{p,q}^n = \gamma^n e^{i\alpha ph} e^{i\beta qh}, \quad i = \sqrt{-1} \quad (10)$$

Yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa güçlendirme faktörleri

$$\frac{\gamma^{n+\frac{1}{2}}}{\gamma^n} = \frac{1-\alpha_1}{1+\alpha_2}, \qquad \frac{\gamma^{n+1}}{\gamma^{n+\frac{1}{2}}} = \frac{1-\alpha_2}{1+\alpha_1} \quad (11)$$

Olarak elde edilir, burada

$$\alpha_1 = 4r_2\sin^2\frac{\alpha h}{2} + i\left(2r_1\hat{U}\sin\alpha h\right), \qquad \alpha_2 = 4r_2\sin^2\frac{\beta h}{2} + i\left(2r_1\hat{V}\sin\beta h\right) \quad (12)$$

dir. Böylece

$$\frac{\gamma^{n+1}}{\gamma^{n}}=\frac{1-\alpha_2}{1+\alpha_1}\frac{1-\alpha_1}{1+\alpha_2} \tag{13}$$

Olarak bulunur. Yaklaşımın kararlı olması için gerek ve yeter şart $|\gamma|\le 1$ olmasıdır. $a_1=4r_2\sin^2\frac{\alpha h}{2}$, $b_1=2r_1\hat{U}\sin\alpha h$, $a_2=4r_2\sin^2\frac{\beta h}{2}$ ve $b_2=2r_1\tilde{U}\sin\beta h$ biçiminde gösterilirse

$$|\gamma|=\left|\frac{\gamma^{n+1}}{\gamma^{n}}\right|=\sqrt{\frac{1+a_1^2-2a_1+b_1^2}{1+a_1^2+2a_1+b_1^2}}\sqrt{\frac{1+a_2^2-2a_2+b_2^2}{1+a_2^2-2a_2+b_2^2}} \tag{14}$$

Olarak elde edilir. Burada $a_1,a_2\ge 0$ olduğundan $|\gamma|\le 1$ olduğu açıktır. Sonuç olarak (6)-(7) yaklaşımları şartsız kararlıdır.

4. MODEL PROBLEM VE NÜMERİK SONUÇLAR

4.1. Model Problem

$D=\{(x,y):0\le x\le 2,\ 0\le y\le 2\}$ bölgesi üzerinde (1) denklemi ile verilen iki boyutlu Burgers denklemi

$$u(x,y,0)=\frac{1}{1+e^{(x+y)/2\varepsilon}},\quad (x,y)\in D,$$

Başlangıç şartı ve

$$\left.\begin{aligned} u(0,y,t)&=\frac{1}{1+e^{(y-t)/2\varepsilon}},\\ u(2,y,t)&=\frac{1}{1+e^{(2+y-t)/2\varepsilon}},\\ u(x,0,t)&=\frac{1}{1+e^{(x-t)/2\varepsilon}},\\ u(x,2,t)&=\frac{1}{1+e^{(x+2-t)/2\varepsilon}}, \end{aligned}\right\},\quad t>0.$$

Sınır şartları ile birlikte göz önüne alındı. Problemin tam çözümü

$$u(x,y,t)=\frac{1}{1+e^{(x+y-t)/2\varepsilon}},$$

Şeklindedir.

4.2. Nümerik Sonuçlar

Model problemin Alternating Direction Implicit (ADI) yöntemi kullanılarak elde edilen nümerik çözümlerinin tam çözümler ile uyumu tablolar ve grafiklerle sunulmuştur. Elde edilen nümerik çözümlerin tam çözümlere ne kadar yakın olduğunu göstermek için

$$L_2=\|U-u\|_2=\sqrt{\sum_{i=0}^{N_x}\sum_{j=0}^{N_y}\left|U_{i,j}-u_{i,j}\right|^2}$$

$$L_\infty = \|U-u\|_\infty = \max_{i,j}\left|U_{i,j}-u_{i,j}\right|$$

hata normları kullanıldı.

Tablo 1 de $\varepsilon = 0.05,\ 0.1,\ 1$, $k = 0.0001$ ve $h_x = h_y = h = 0.025$ değerleri için $t = 2$ zamanında elde edilen nümerik çözümlerle tam çözümler karşılaştırıldı ve nümerik çözümlerin tam çözümlere yakınlığı L_2 ve L_∞ hata normlarıyla verildi. ε' un küçülmesiyle L_2 ve L_∞ hatalarının büyümesi tablodan açıkça görülmektedir.

Tablo 1. $k = 0.0001$, $h_x = h_y = h = 0.025$, $t = 2$ ve farklı ε değerleri için nümerik çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması

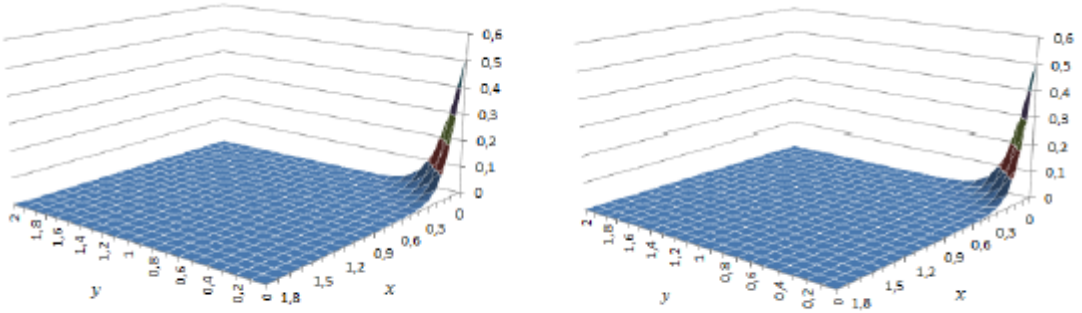
(x,y)	$\varepsilon = 1$		$\varepsilon = 0.1$		$\varepsilon = 0.05$	
	ADI	Tam Çözüm	ADI	Tam Çözüm	ADI	Tam Çözüm
(0.5,0.5)	0.62247	0.62246	0.99336	0.99331	0.99996	0.99995
(0.5,1.0)	0.56219	0.56218	0.92434	0.9241	0.99363	0.99331
(0.5,1.5)	0.50001	0.50000	0.49957	0.50000	0.9751	0.50000
(1.0,0.5)	0.56219	0.56218	0.92434	0.92414	0.99363	0.99331
(1.0,1.0)	0.50001	0.50000	0.49948	0.50000	0.49733	0.50000
(1.0,1.5)	0.43784	0.43782	0.07578	0.07586	0.00671	0.00669
(1.5,0.5)	0.50001	0.50000	0.49957	0.50000	0.49751	0.50000
(1.5,1.0)	0.43784	0.43782	0.07578	0.07586	0.00671	0.00669
(1.5,1.5)	0.37755	0.37754	0.00671	0.00669	0.00005	0.00005
$L_2 \times 10^3$	0.94716130		14.96482000		62.42341000	
$L_\infty \times 10^3$	0.01249367		0.57325500		2.93705300	

Tablo 2 de $\varepsilon = 0.1$, $k = 0.0001$ ve farklı $h_x = h_y = h$ değerleri için $t = 0.1$ zamanında elde edilen nümerik çözümlerle tam çözümler karşılaştırıldı ve nümerik çözümlerin tam çözümlere yakınlığı L_2 ve L_∞ hata normlarıyla verildi. h' un küçülmesiyle L_2 ve L_∞ hatalarının küçülmesi tablodan açıkça görülmektedir.

Tablo 2. $k = 0.0001$, $\varepsilon = 0.1$, $t = 0.1$ ve farklı h değerleri için nümerik çözümlerin tam çözümlerle karşılaştırılması

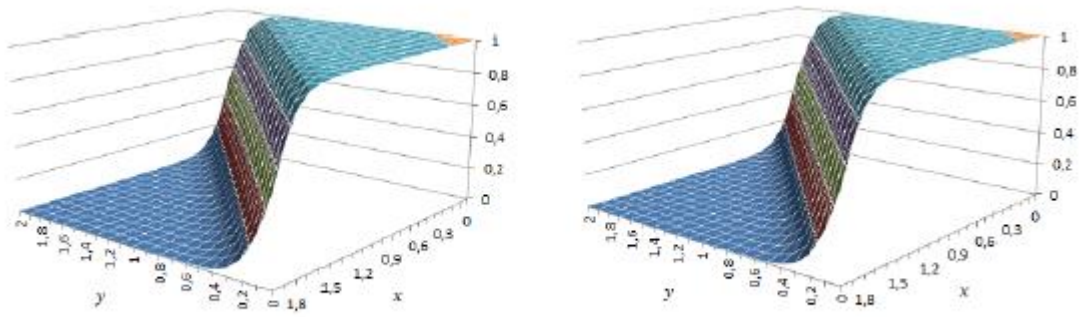
(x, y)	h =0.2	h =0.1	h =0.05	Tam Çözüm
(0.4,0.4)	0.0299999	0.0294987	0.0293697	0.0293122
(0.4,1.0)	0.0015624	0.0015171	0.0015057	0.0015012
(0.4,1.6)	0.0000780	0.0000757	0.0000751	0.0000748
(1.0,0.4)	0.0015624	0.0015171	0.0015057	0.0015012
(1.0,1.0)	0.0000782	0.0000757	0.0000751	0.0000748
(1.0,1.6)	0.0000039	0.0000038	0.0000037	0.0000037
(1.6,0.4)	0.0000780	0.0000757	0.0000751	0.0000748
(1.6,1.0)	0.0000039	0.0000038	0.0000037	0.0000037
(1.6,1.6)	0.0000002	0.0000002	0.0000002	0.0000002
$L_2 \times 10^3$	1.87548600	1.50642400	0.86313060	
$L_\infty \times 10^3$	0.88288070	0.71203980	0.12499280	

Şekil 1 ve Şekil 2 ile $\varepsilon = 0.05$, $k = 0.0001$ ve $h_x = h_y = h$ =0.1 için sırasıyla $t = 0.01$ ve $t = 2$ zamanlarında problemin nümerik çözümleri ile tam çözümlerinin grafikleri verildi. Grafikler ayırt edilemeyecek kadar benzer olup nümerik çözümlerle tam çözümlerin uyumu grafiklerden açıkça görülmektedir.



(a) Nümerik Çözüm (b) Tam Çözüm

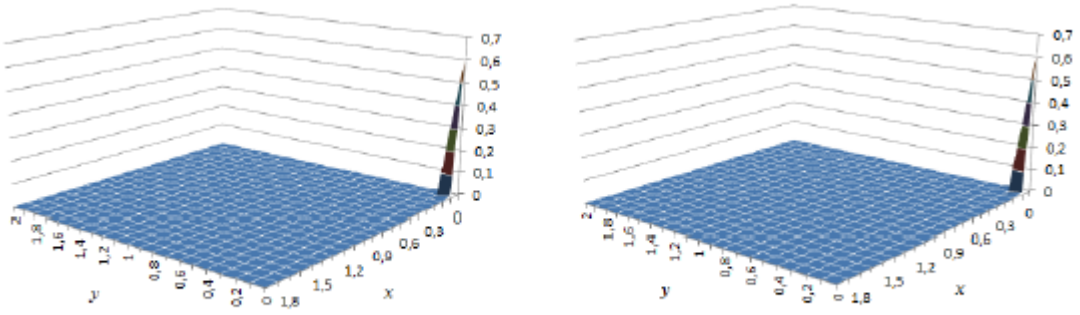
Şekil 1. Model problemin $\varepsilon = 0.05$, $k = 0.0001$ ve $h_x = h_y = h$ =0.1 değerleri için $t = 0.01$ zamanında nümerik çözümü ve tam çözümü.



(a) Nümerik Çözüm (b) Tam Çözüm

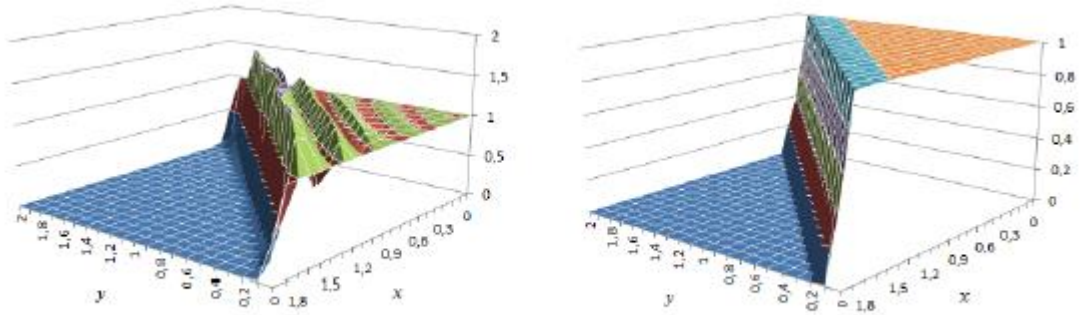
Şekil 2. Model problemin $\varepsilon = 0.05$, $k = 0.0001$ ve $h_x = h_y = h = 0.1$ değerleri için $t = 2$ zamanında nümerik çözümü ve tam çözümü.

Şekil 3 ve Şekil 4 ile $\varepsilon = 0.01$, $k = 0.0001$ ve $h_x = h_y = h = 0.1$ için sırasıyla $t = 0.01$ ve $t = 2$ zamanlarında problemin nümerik çözümleri ile tam çözümlerinin grafikleri verildi. $t = 0.01$ zamanında grafikler ayırt edilemeyecek kadar benzer iken $t = 2$ zamanında nümerik çözümlerin grafiğinde bozulmalar olduğu görülmektedir.



(a) Nümerik Çözüm (b) Tam Çözüm

Şekil 3. Model problemin $\varepsilon = 0.01$, $k = 0.0001$ ve $h_x = h_y = h = 0.1$ değerleri için $t = 0.01$ zamanında nümerik çözümü ve tam çözümü.



(a) Nümerik Çözüm (b) Tam Çözüm

Şekil 4. Model problemin $\varepsilon = 0.01$, $k = 0.0001$ ve $h_x = h_y = h = 0.1$ değerleri için $t = 2$ zamanında nümerik çözümü ve tam çözümü.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, iki boyutlu Burgers denkleminin nümerik çözümlerini elde etmek için Alternating Direction Implicit (ADI) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin etkinliğini ve doğruluğunu göstermek için bir model problem incelenmiştir. Sunulan yöntemle elde edilen nümerik çözümler tam çözümler ile karşılaştırılmış ve nümerik çözümlerin tam çözümlere yakınlığı L_2 ve L_∞ hata normları ile verilmiştir. Elde edilen nümerik çözümlerinin tam çözümler ile uyumu tablolar ve grafiklerle sunulmuştur. Yöntemin şartsız kararlı olduğu von-Neumann (Fourier) kararlılık analizi yöntemi kullanılarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar Alternating Direction Implicit (ADI) yönteminin iki boyutlu Burgers denklemi gibi iki boyutlu nonlineer denklemleri çözmek için başarılı bir yöntem olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

CHUNG, T.J. (2002). Computational Fluid Dynamics, Cambridge University Press.

DAVIS, M.E. (2001). Numerical Methods and Modeling for Chemical Engineers, John Wiley and Sons Ltd.

DOUGLAS, J. Jr., RACHFORD, H.H. (1955). “On The Numerical Solution Of Heat Conduction Equations İn Two And Three Dimensions”, Trans. Am. Math. Assoc., 82: 421-439.

DUFFY, D.J. (2006). Finite Difference Methods;in Financial Engineering a Partial Differential Equation Approach, John Wiley and Sons Ltd.

LIAO, W. (2010). “A Fourth-Order Finite Difference Method For Solving The System of Two-Dimensional Burgers' Equations”, Int. J. Numer. Meth. Fluids, 64: 565-590.

SAPAGOVAS, M., STIKONIENE, O. (2011). “Alternating-Direction Method For A Mildly Nonlinear Elliptic Equation With Nonlocal İntegral Conditions”, Nonlinear Analysis: Modelling and Control, 16(2): 220-230.

QIN, J. (2010). “The New Alternating Direction İmplicit Difference Methods For Solving Three-Dimensional Parabolic Equations”, Applied Mathematical Modelling, 3: 890-897.

QIN, J. (2009). “The New Alternating Direction İmplicit Difference Methods For The Wave Equations”, Journal of Computational and Applied Mathematics, 230: 213-223.

WITELSKI, T.P., BOWEN, M. (2003). “ADI schemes for higher-order nonlinear diffusion equations”, Applied Numerical Mathematics, 45: 331-351.

ZHAO, G., YU, X., ZHANG, R. (2011). “The New Numerical Method for Solving The System of Two-Dimensional Burgers' Equations”, Computers and Mathematics with Applications, 62: 3279-3291.

Presentation ID / Sunum No= 6

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-6143-8768

Koruyucu Giysilerde Birleştirme Yöntemleri

Arş. Gör. Dr. Esra Zeynep Yıldız[1]
[1]*Ege Üniversitesi Emel Akın Meslek Yüksekokulu*

Özet

Koruyucu tekstiller kişinin zararlı maddelere, kötü çevre koşullarına maruz kalma riskini önlemek ve bu riskten korunmasını sağlamak ve/veya bu riski azaltmak için kullanılan teknik tekstil ürünleridir. Bu giysiler, çeşitli risk ortamlarında çalışan itfaiyeciler, güvenlik personeli, otomobil yarışçıları, tıbbi personel, ağır sanayi işçileri gibi kişilerin dış etkilerden korunması amacı ile üretilir. Bu yapıların özellikleri kullanıldıkları endüstrinin ihtiyaç ve beklentilerine göre değişmektedir. Koruyucu tekstiller, insan vücudunu çevresel tehlikelerden korumak için palto, pantolon, yelek, kask, maske, önlük, eldiven, çorap, ayakkabı, vücut zırhı ürünleri gibi gelişmiş koruyucu giysiler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Burada sıklıkla giysinin üretildiği lifler ve taşıdığı özellikler üzerine odaklanılmaktadır fakat koruyucu giysinin kalitesi ve performansından söz edilirken birleştirme yönteminin önemi göz ardı edilmemelidir. Birleştirme yöntemi doğru seçilmediği takdirde, giysinin bütünlüğü bozulmakta ve performansı olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle, giysinin kullanım alanına ve özelliklerine göre doğru birleştirme yönteminin seçilmesi son derece önemlidir. Çalışma kapsamında koruyucu giysilerin birleştirilmesinde kullanılan birleştirme yöntemleri detaylı olarak incelenecek olup, farklı koruyucu giysilerde kullanılan birleştirme yöntemleri ve tercih edilme nedenleri ele alınacaktır.

Anahtar Kelimeler: Koruyucu Giysi, Birleştirme Yöntemi, Dikiş, Yapıştırma.

The Assembling Techniques Used in Protective Garments

Abstract

Protective textiles are technical textile products designed to avoid, protect against, and/or reduce the risk of exposure to harmful substances and poor environmental conditions. These garments are manufactured with the aim of protecting people such as firefighters, security personnel, drivers, medical personnel, and heavy industry workers who work in various risk environments from external agents. The properties of these structures vary according to the needs and expectations of the industry in which they are used. Protective textiles are widely used as advanced protective clothing such as coats, pants, vests, helmets, masks, aprons, gloves, socks, shoes, and protective vests to protect the human body from environmental hazards. The focus here is often on the fibers from which the garment is made and the properties it possesses, but the importance of the joining method should not be overlooked when it comes to the quality and performance of protective clothing. If the joining method is not chosen correctly, the

integrity of the garment will deteriorate and its performance will be compromised. For this reason, it is extremely important to choose the right joining method depending on the application and characteristics of the garment. In this study, the joining methods used in the joining of protective clothing are examined in detail. It also examines which joining methods are used in different end uses and the reasons for their preference.

Keywords: Protective Garment, Assembling Technique, Seam, Bonding.

1. GİRİŞ

Giyim; örtünmek, vücudu dış etkilerden korumak, kişiye güzel bir görünüm vermek amacı ile mevsime, yaşa ve modaya göre değişiklik gösteren eşyalardır. Giysi ise giyimi oluşturan parçaların her biridir (Bahadır Ünal, 2010). Giysiler, birden fazla parçanın birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Uygun birleştirme yönteminin seçimi, giysinin performansını etkilemektedir. Birleştirme yöntemleri ile kumaş-kumaş birleştirilebileceği gibi kumaş-aksesuar da birleştirmek mümkündür (Jana, 2011).

Konfeksiyon sektörü ülkemizde katma değer yaratan ve büyük öneme sahip sektörlerden biridir. Bu sektör kadın, erkek, çocuk iç ve dış giyimde, ev tekstilinde ve teknik tekstiller alanında faaliyet göstermektedir. Bu alanlarda farklı yöntemlerle üretilen değişik kumaş yüzeylerinin nihai ürün haline dönüştürülmesinde çeşitli birleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Sıkça kullanılan konvansiyonel dikiş yöntemlerinin yanı sıra alternatif birleştirme yöntemlerine de ihtiyaç duyulmaktadır (Şevkan Macit ve Tiber, 2018).

Tekstil ve hazır giyim sektöründe kullanılan birleştirme yöntemlerini dört başlık altında incelemek mümkündür. Bu yöntemler içerisinde en bilinen ve en yaygın kullanılanı dikiş ipliği kullanılarak dikiş ile birleştirme yöntemidir.

2. BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

2.1. Konvansiyonel Dikiş Yöntemiyle Birleştirme (Conventional Sewing)

İnsanlar, dikiş dikmeye 20.000 yıl önce son buzul çağında başlamışlardır. Arkeologlar, bu zamana ait, deriler ve postları birleştirmede kullanılmış olan delikli kemik iğneler bulmuşlardır. Bilinen ilk demir dikiş iğneleri Almanya, Manching'deki Celtic Tepesi Kalesi'nde bulunan M.Ö. 3. yüzyıla ait dikiş iğneleridir. Çinli arkeologların açıklamasına göre, Han Hanedanlığından, bir memurun mezarında dikiş yüksüğüyle birlikte bir dikiş seti bulunmuştur. Bu yüksük, ilkel iğneleri hayvan derisi gibi dayanıklı malzemelerden geçirmeye yarayan dikiş yüksüklerinin en eski örneği olarak kabul edilmektedir (Bahadır Ünal, 2010).

Giyim endüstrisinde ana ve yardımcı malzemelerin dışında, kumaşlardan sonra en önemli malzeme dikiş ipliğidir. Dikiş ipliği tarihinin kumaş ve dokuma tarihi kadar eski oldu kabul edilmektedir. Tarihte dikiş ipliğine Antik Mısır Uygarlığından bu yana rastlanmaktadır. Anadolu'da da Hitit ve Hatti döneminde dokuma ve bundan giysi üretmek için iplik kullanıldığı bilinmektedir. İpliğin serüveninde en önemli aşama Orta Çağ ve Rönesans Dönemi'dir. Bu dönemde iplik üretimi giderek makineleşmiş ve bugünkü haline yakın bir duruma gelmiştir. 1844 yılında kimyacı John Mercer'in gerçekleştirdiği merserizasyon işlemi son derece önemli bir aşamadır. Alman kimyacı Klatte'nin 1913'te sentetik elyaftan ilik üretme patentini alması, pamuk dışındaki elyafın da üretim aşamasına gelmesinde çok önemlidir (Gürsoy, 2010).

Günümüzde, kumaşların birleştirilmesinde en sık kullanılan yöntem, ürünün son kullanım alanına bağlı olarak seçilen ve çok çeşitli tipleri bulunan dikiş yoluyla birleştirmedir (McLoughlin and Mitchell, 2015).

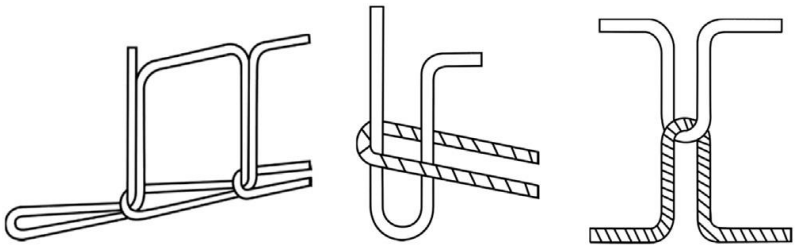
Dikiş, bir veya birden fazla iplik grubunun veya iplik halkasının kumaş üzerinde, kumaş içinde ya da kumaş altında kendisi veya diğer ipliklerle yaptığı tek bir üniteden oluşan, iplik, iğne ve benzeri

yardımcı araçlar yardımıyla yapılan bir bağlantı biçimidir. Dikiş işlemi, birleştirme, tespit etme, süsleme veya dolgunlaştırma amacıyla yapılmaktadır (Kurumer, 2007).

ISO 4915'e dikiş oluşumunda iplik kenetlenmesi üç şekilde olabilmektedir (Şekil 1).

- Intralooping: Bir ilmeğin, aynı iplik tarafından oluşturulmuş başka bir ilmeğin içerisinden geçmesidir.
- Interlooping: Bir ilmeğin, farklı bir iplik tarafından oluşturulmuş bir ilmeğin içerisinden geçmesidir.
- Interlacing: Bir ipliğin, başka bir ipliğin veya başka bir iplik ilmeğinin üzerinden ya da etrafından geçmesidir (McLoughlin and Mitchell, 2015; Colovic, 2015).

Şekil 1. Dikiş Oluşum Şekilleri ve İpliklerin Kenetlenme Biçimleri (a) Intralooping, (b) Interlooping, (c) Interlacing (Colovic, 2015).



Dikiş tipleri hakkında ulusal ve uluslararası birçok standart (BS 3870, ASTM D6193, ISO 4915:1991) mevcuttur. Bu standartlarda, dikiş tipleri altı sınıf altında toplanmış olup, 3 basamaklı sayılar şeklinde ifade edilmektedir. Birinci basamak dikişin temel sınıfını, ikinci ve üçüncü basamaklar ise alt sınıfları temsil etmektedir (Colovic, 2015).

- **Sınıf 100 Tek İplik Zincir Dikişi:** Bir veya daha fazla ipliğin kumaşın veya materyalin bir yüzeyinde şekil almasıyla oluşur. Tek iplik zincir dikişler geçici dikişlerde (teyelleme) veya gizli dikişte kullanılır (Coats, 2004).
- **Sınıf 200 El Dikişi:** Tek ipliğin, iğne batışlarıyla materyalin bir yüzünden diğer yüzüne geçmesi ile bir form oluşturulur. Bugün el dikişleri özel makinelerde de yapılabilmektedir (Coats, 2004).
- **Sınıf 300 Kilit Dikiş:** Kilit dikiş, iğne ipliği veya ipliklerinin kumaşın üst yüzünden alt yüzüne geçip, bu yüzde mekik ipliğiyle buluşarak aldığı formdur. En basit tipi Tip 301'dir. İplik gerginlikleri dengeli ayarlandığında iki yüzeyde de aynı görünen bir dikiş oluşur. Sağlam ve aşınma direnci yüksek bir dikiş tipidir. Dezavantajı, sık mekik değiştirme gerektirmesidir (Coats, 2004).
- **Sınıf 400 Çok İplik Zincir Dikiş:** Bu dikişin sınıf 100 dikiş tipinden farkı, lüper ipliği veya alt iplik olarak adlandırılan bir ipliğin olmasıdır. Üst iplik dikişin dengesini sağlamaktadır. Alt iplik bobinden geldiği için uzun süre kesilmeden dikiş olanağı sağlar. Bu dikiş tipinin dezavantajı ise dikişin hacimli bir yapıya sahip olmasıdır (Coats, 2004).
- **Sınıf 500 Overlok Dikişi:** Bu dikiş bir veya daha fazla iğneyle ve/veya lüper ipliğinin en az bir iplikle kumaş kenarında birleşmesi ile oluşur. Bu dikiş türü genellikle, bir veya birkaç kat kumaşın kenarlarından kesilip dikişle kaplanarak güzel bir şekilde görünmesini sağlar. Özellikle örme kumaşlarda, uygun iplik kullanıldığında iyi bir uzama ve kenar kaplama özelliği gösterir (Coats, 2004).
- **Sınıf 600 Fletlok Dikişi:** Bu dikiş tipi genellikle dört iğne ipliği ile uygulanmaktadır ve genellikle bir lüper ipliği ile bir veya iki kaplama ipliği mevcuttur. Kaplama ipliği üst yüzeyde yer alır. İğne iplikleri tarafından tutulur ve lüper iplikleri tüm iğne

iplikleri ile kumaşın altında ilmek oluşturur. Tüm bu dikişler, yüksek elastikiyete sahip dikimlerde, iki parçayı birleştirmek için kullanılır (Coats, 2004).

Konvansiyonel dikiş yöntemin kullanımı esnasında dikiş iğnelerinin kumaşa batışı ile kumaşta oluşan iğne delikleri bazen estetik açıdan bazen ise kumaşın fonksiyonel özelliği bakımından istenmemektedir (Meşegül, 2020). Örneğin üretilen giysinin su geçirmez özellik taşıması istenilen durumlarda iğne nedeniyle oluşan delikler su sızdırabilmekte ve performans kaybına neden olabilmektedir. Bu sorunu önlemek için üretimi gerçekleştirilen kumaşın uygulama alanına göre farklı birleştirme teknikleri kullanılmalıdır.

2.2. Su Geçirmez Bant ile Kapama (Seam Sealing)

Aktif spor giysileri, askeri giysiler, kimyasallara karşı koruyucu giysiler, itfaiyeci giysileri gibi koruyucu giysilerin son kullanım alanlarına bağlı olarak birçok farklı özelliği bir arada göstermesi beklenmektedir. Bu giysilerin birçoğunun göstermesi gereken ortak özelliklerden biri su geçirmezlik özelliğidir. Bu sayede koruyucu giysiler; yağmur, basınçlı su, kan, sıvı kimyasallar gibi tehdit unsurlarına karşı bir bariyer oluşturmaktadır (Kara ve Yeşilpınar, 2014).

Nefes alabilen su geçirmez kumaşlar, su buharını geçirirken, suyun geçişine engel olmaktadır. Bu kumaşlar genellikle spor giyim, ayakkabı ve diğer dış mekan ekipmanlarında kullanılır. Bu tarz giysilerin üretimi sırasında genellikle konvansiyonel dikiş ile birleştirme yöntemi kullanılmakta olup, kumaşın dikiş yerlerinde iğne delikleri nedeniyle su sızdırması gibi problemlerle karşılaşılabilmektedir. Bu durum, su geçirmez kumaşların fonksiyonel özelliklerinde büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, bu tip giysilerde konvansiyonel dikiş uygulamasının yanı sıra dikiş hattının su geçirmez bant ile kapatılması gerekmektedir (Jeong and An, 2004).

Sızdırmaz bandın bir yüzünde termoplastik yapışkan kaplama bulunmaktadır. Uygun sıcaklık ve basınç altında bant, dikiş hattı üzerine uygulanır. Ardından gerçekleştirilen soğutma işlemi sırasında, bant ile dikiş arasında rüzgar veya suyun içeri girmesini önleyen ve böylece birleşen yapıları su geçirmez hale getiren güçlü bir bağ oluşmaktadır (Jana, 2011).

Kullanılan bant, birleştirilecek giysinin kullanım alanına göre dokuma veya dokusuz yüzey olabilmektedir. Bunun yanı sıra bantlar, tek katlı, iki katlı veya üç katlı olabilmektedir. Bantlar, kauçuk veya akrilik esaslı, solvent bazlı, ısıyla aktifleştirilmiş veya alev geciktirici olan basınca duyarlı yapıştırıcılarla yapıştırılır. Genellikle PVC ve PU yağmurluklarda tek katlı bant; yangınla mücadele, kimyasal koruma, askeri ve tıbbi giysilerde ise üç katlı bant kullanılmaktadır (Jana, 2011).

Bu birleştirme yöntemi genellikle dış mekan malzemeleri (kayak, yürüyüş, tırmanma, denizcilik ve olta takımı), spor kıyafetleri, dalgıç kıyafetleri, askeri teçhizat ve tehlikeli madde kıyafetlerinde kullanılmaktadır (Jana, 2011).

Su geçirmez bantla birleştirilen giysiler, konforsuzluk hissi yaratabilmektedir. Ayrıca yapıştırılan sızdırmazlık bantları, kumaşın dökümlülük ve eğilme direncini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Meşegül ve Karabay, 2020). Üretilen giysinin kullanım alanına göre bu dezavantajların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Şekil 2. Su Geçirmez Bant ile Kapama (https://techtextil.messefrankfurt.com)

2.3. Kaynak Yöntemi ile Birleştirme (Welding)

Hazır giyim üretiminde giysi parçalarının ipliksiz olarak birleştirilmesinde kullanılan bir diğer yöntem olan kaynak yöntemi, sentetik malzemelerin termoplastiklik özelliğine dayanmaktadır (Paşayev, 2008). Bu yöntem ile termoplastik malzemelerin termal olarak yapıştırılması ve sızdırmaz hale getirilmesi sağlanmaktadır (Meşegül ve Karabay, 2020).

Tekstil lifleri termoplastik ve non-termoplastik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Isı enerjisi aldığında, bir organik maddenin bu enerjiden etkileşimi belli bir değere kadar fiziksel, daha sonra da kimyasaldır ve bu olaya "yanma" denir. Termoplastik lifler; sıcaklığın belli miktarda yükselmesi ile önce yumuşama, sonra yüksek sıcaklıklarda erime daha sonra da yanma gösterirler. Geriye boncuklaşmış sert bir kalıntı kalır. Non-termoplastik liflerde ise sıcaklık yükselmesi ile yumuşama ve erime gibi herhangi bir fiziksel değişim olmaz. Bu lifler direkt olarak yanarak bozunurlar. Tüm sentetik (kimyasal) lifler ve bazı rejenere lifler termoplastik özellik gösterirler (Akyürek ve Güneş, 2016).

Kaynak yöntemi ile birleştirmenin kullanılabilirliği, birleştirilecek malzemenin termoplastik içeriğine bağlıdır. Minimum %65'lik termoplastik içerik, tekstil malzemelerinin kaynak yolu ile birleştirilmesini sağlamaktadır (Meşegül ve Karabay, 2020). Kaynak tekniği ile işlemeye uygun malzemeler arasında naylon, poliester, polipropilen, polietilen, modifiye akrilikler, bazı viniller, üretan, film gibi %100 sentetikler ve %35-50 sentetik olmayan elyaf içeriğine sahip sentetik karışımlar bulunmaktadır.

Kaynak yöntemi ile kumaş parçaları ısı ve basınç kullanılarak birleştirilmektedir (Jana, 2011). Kaynak ile birleştirmede ısının etkisi ile belli bir sıcaklıkta kıvamlı sıvı hale geçebilen termoplastik malzemelerin yüzeyleri, mekanik baskı altında birleştirilir. Elde edilmiş kaynak birleşmesinin sağlamlaştırılması amacı ile birleşme malzemesi camlaşma sıcaklığından düşük sıcaklıklara kadar soğutulur ve soğutmadan sonra bu birleşme katılaşarak kalıcı hale gelmektedir (Paşayev, 2008).

Bu yöntemde ısı üretmek için farklı teknolojilerden yararlanılmaktadır. Kaynak ile birleştirmede kullanılan başlıca ısı kaynakları; sıcak hava kaynağı, sıcak uç kaynağı, ultrasonik birleştirme ve RF birleştirmedir (Jana, 2011).

Bu birleştirme yöntemi ile kumaşların termal olarak bağlanması ve sızdırmazlığını sağlanır. Böylelikle kimyasalların, sıvıların, kanla taşınan patojenlerin veya partiküllerin girişi önlenerek konvansiyonel dikiş yöntemlerine kıyasla önemli bir fayda sağlanır (Jana, 2011). Bununla birlikte bu yöntemde kumaş mukavemetinde %60'a kadar düşüş yaşanabilmekte ve dikiş mukavemeti de konvansiyonel dikişe göre %50 daha az olabilmektedir (Meşegül ve Karabay, 2020).

2.3.1. Sıcak Hava Kaynağı ile Birleştirme (Hot Air Welding)

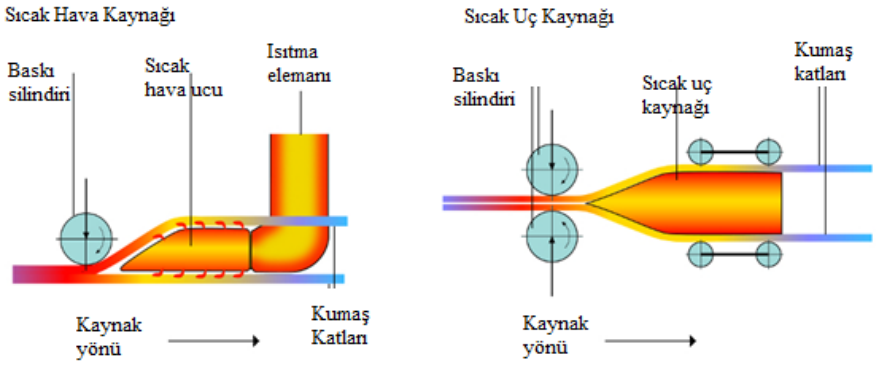
Sıcak hava kaynağı, tekstil ürünlerini termal olarak yapıştırmak için kullanılmaktadır. Bu yöntemde, ısı vermek için bir sıcak hava başlığı kullanılır. Sıcak hava başlığı ürüne temas etmediği için, ürün yüzeyinde oluşabilecek iz ve lekelerin önüne geçilebilmektedir (Jana, 2011).

2.3.2. Sıcak Uç Kaynağı ile Birleştirme (Hot Wedge Fabric Welding)

Sıcak uç kaynağı ile birleştirme yönteminde, kumaş katmanları, yapıştırma için basıncın uygulandığı tahrik tekerlekleri arasından geçmeden hemen önce, küçük bir metal uç kullanılarak ısıtılmaktadır (Jana, 2011).

Sıcak hava kaynağı ve sıcak uç kaynağı ile birleştirme yöntemlerinin çalışma prensipleri Şekil 3'te yer almaktadır.

Şekil 3. Sıcak Hava Kaynağı ve Sıcak Uç Kaynağı ile Birleştirme Yöntemlerinin Çalışma Prensipleri (https://www.stanmech.com)



2.3.3. Ultrasonik Birleştirme (Ultrasonic Welding)

Ultrasonik terimi sesten hızlı anlamına gelen ve insan kulağının işitemeyeceği düzeydeki sesleri ifaden eden bir terimdir. Ultrasonik ses dalgaları, insanların işitmeye başladıkları düzeyin üzerinde frekans değerine sahiptir. Ultrason; 20 kHz ile 10 MHz arasında değişen sonik spektrum aralığına sahiptir ve bu aralık üç ana gruba ayrılmaktadır (Boz ve Erdoğan, 2011);

- Düşük frekans-yüksek ultrasonik güç (20-100 kHz),
- Yüksek frekans-orta ultrasonik güç (100 kHz-1MHz),
- Yüksek frekans-düşük ultrasonik güç (1-10 MHz).

Ultrasonla birleştirme işlemi, birleştirilen termoplastik yüzeyin erimesi ve soğuması esasına dayanmaktadır (Boz ve Erdoğan, 2011). Ultrasonik birleştirme yöntemi, termoplastik materyallerin birleştirilmesinde yüksek frekanstaki titreşim ile elde edilir. Bu titreşimler, termoplastik materyalde ısı artışına neden olur ve ısı artışının etkisiyle eriyerek materyallerin birbiri arasında bağ oluşturup birleşmesi sağlanmaktadır (Meşegül, 2020).

Ultrasonik enerji konfeksiyon sanayinde çok çeşitli işlemlerde kullanılmakta olup, bu teknolojinin kumaş ve lif yapıştırmada (birleştirmede) ilk uygulanışı 1970'lere dayanmaktadır. Ultrasonik dikiş; otomotiv ve motosiklet sanayiinde, tıbbi ve hijyenik ürünlerde, spor giysileri ve malzemelerinde, iş giysileri ve koruyucu giysilerde, örtü ve paketlemede, iç giyimde, folyo, filtre ve teknik tekstillerde kullanım alanı bulmaktadır (Boz ve Erdoğan, 2011). Ultrasonik birleştirme yöntemi, genellikle su geçirmezlik özellik istenen giysiler için tercih edilmektedir (Meşegül, 2020).

Ultrasonik birleştirme yöntemi dokuma, örme kumaş ve dokusuz yüzeylere uygulanabilen bir yöntemdir. Dokuma, örme ve dokusuz yüzeyler için; kumaşı oluşturan ipliklerin kumaş içerisindeki yoğunluğu, kumaşı meydana getiren ipliklerin termoplastik kompozisyonu ve kumaş kalınlığına bağlıdır. Aynı zamanda termoplastiği oluşturan materyalin türü ve amorf yapısı da performansı etkileyen unsurlardır (Meşegül, 2020).

Ultrasonik birleştirme, enerji tasarrufu sağlayan bir yöntem olmakla birlikte, konvansiyonel dikiş yöntemlerinde kullanılan iplik gibi materyallere ihtiyaç duyulmadığı için geri dönüşümü de daha kolay olan bir yöntem olarak görülmektedir (Şevkan Macit ve Tiber, 2018).

Şekil 4. Ultrasonik Kaynak Yöntemi ile Birleştirme (https://www.techspan.co.nz)

2.3.4. Radyo Frekansı ile Birleştirme (Radio Frequency Welding)

Radyo frekansı ile birleştirme yöntemi, polietilen, polipropilen veya ftalat içermeyen malzemelerin sızdırmazlığını sağlayan bir kaynak teknolojisidir. Önceki yöntemlerde kumaş katmanları kaynak ile birleştirme esnasında makinenin içinde sürekli hareket ederken, bu yöntemde ise kumaş parçaları sabit tutulmaktadır (Jana, 2011).

2.4. Yapıştırma Yöntemi ile Birleştirme (Bonding)

Yapıştırma tekniğinin uygulanması sırasında malzemeleri birleştirmek için kaynak yönteminden farklı olarak kimyasal veya sıvı formda bir yapıştırıcı kullanılmaktadır. Hem kaynak hem de yapıştırma tekniğinde dikiş hattı boyunca iğne hasarı olmadığından harici dikiş bandı kullanmaya gerek duyulmamaktadır (Meşegül and Karabay, 2010).

Yapıştırma yöntemi, pamuk veya yün gibi non-termoplastik yapıda olan veya düşük oranda sentetik içeren kumaşlarda iki kumaş katmanını birleştirmek için kullanılan bir işlemdir. Bu işlemde, iki tabaka arasında bulunan ve ısı ile aktif hale gelen materyalin erimesiyle iki kumaşın yapışması sağlanır (Jana, 2011). Sıcaklığın etkisi ile erimiş, yani kıvamlı sıvı hale geçmiş olan yapışkan, dış mekanik kuvvetlerin etkisi altında yapıştırılacak malzemelerin gözenekleri arasına nüfuz eder ve yapışkan birleşmesi gerçekleşir. Son aşamada ısı verilmesi durdurulur ve mekanik baskı kaldırılır. Gözeneklere nüfuz etmiş yapışkan soğuyarak katılaşır ve birleşmenin oluşumu tamamlanır (Paşayev, 2008). Bu yöntem çoğunlukla tıbbi, koruyucu giysiler ve spor giyimde kullanılmaktadır (Jana, 2011).

Konfeksiyon sanayinde giysi parçalarını yapıştırmak için termoplastik sentetik yapışkanlar kullanılır. Bunlardan en yaygın kullanılanları polietilen, poliamid, polivinilklorür, polivinilasestat ve poliester yapışkanlardır (Paşayev, 2008).

Kaynak birleştirme ile yapıştırma ile birleştirmenin oluşum mekanizması birbirine benzemekle birlikte, yapıştırma kimyasal veya sıvı formunda bulunan yapıştırıcıya bağlı iken, kaynak birleştirme yöntemi ise termal yapıştırma esasın dayanmaktadır. Kaynak birleştirme yönteminde yapışkan değil, malzemenin kendisi plastik hale geçmektedir (Paşayev, 2008; Jana, 2011).

Yapıştırma ile birleştirme yönteminin konfeksiyon sanayinde kullanım alanları sınırlıdır. Kumaş içeriğinde ısıya hassas kimyasal liflerin oranının yüksek olması, kumaş boyasının yeterince dayanıklı olmaması, kumaşın ısının etkisiyle yüksek çekme oranına sahip olması, kumaşın bir veya iki yüzünde sentetik kaplama olması, kumaşın içeriğinde metalik ipliklerin varlığı ve kumaşın yapıştırılacak yüzeyinde yapışkanın malzemeye nüfuz etmesini zorlaştıran uzun havlar olması durumunda bu yöntemden yararlanılamamaktadır (Paşayev, 2008).

3. SONUÇ

İnsanlarda giyinme ihtiyacı ilk çağlarda örtünme gereksinimiyle başlamış ve bu nedenle postları kullanmışlardır. Postlarda açılan deliklerin bağlanmasıyla da ilk dikiş ortaya çıkmıştır. Daha sonra da el dikişi kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz Akyürek ve Güneş, 2016). Günümüzde kullanılan dikiş makinelerine benzer bir dikiş makinesi ilk kez Amerikalı Walter Hunt (1796-1859) tarafından

üretilmiştir. Günümüzde, dikiş makinelerinin çalışma hızları artmış ve değişik aparatlar ile çeşitli dikiş tipleri yapılabilir hale gelmiştir.

Kumaşların birleştirilmesinde en sık kullanılan yöntem, ürünün son kullanım alanına bağlı olarak seçilen ve çok çeşitli tipleri bulunan dikiş yoluyla birleştirmedir (McLoughlin and Mitchell, 2015).

Dikim; tekstil yüzeylerinin, başka bir tekstil elementi olan iplikle, yeterli dayanım, esneklik ve estetik özellikleriyle birleştirilmesi işlemidir. Ancak dikim sırasında kesintili birleştirme ve delerek dikme söz konusudur. Kesintisiz birleştirme ve delikler olmaksızın dikme için alternatif birleştirme yöntemlerinin kullanılması gereklidir (Boz ve Erdoğan, 2011).

Koruyucu tekstiller, insan vücudunu çevresel tehlikelerden korumak için palto, pantolon, yelek, kask, maske, önlük, eldiven, çorap, ayakkabı, vücut zırhı ürünleri gibi gelişmiş koruyucu giysiler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Burada sıklıkla giysinin üretildiği lifler ve taşıdığı özellikler üzerine odaklanılmaktadır fakat koruyucu giysinin kalitesi ve performansından söz edilirken birleştirme yönteminin önemi göz ardı edilmemelidir. Birleştirme yöntemi doğru seçilmediği takdirde, giysinin bütünlüğü bozulmakta ve performansı olumsuz etkilenmektedir.

Koruyucu giysilerde, hacim ve ağırlığın azaltılması, daha temiz bir görünümün sağlanması ve sızdırmazlık özellikleri nedeniyle kaynak ve yapıştırma teknolojileri daha fazla tercih edilmektedir.

Bir giysinin veya bitmiş bir ürünün performansının, sadece kullanılan kumaşların kalitesinden değil, aynı zamanda uzun ve karmaşık üretim süreçleri sırasında kullanılan teknolojilerden de etkilendiği, uygun birleşme yöntemi seçiminin, giysinin performansını etkilediği unutulmamalı ve giysinin kullanım alanına uygun birleştirme yöntemi tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

BAHADIR ÜNAL, Z. (2010). Konfeksiyon Üretimine Giriş, Ege Üniversitesi Basımevi.

BOZ, S. ve ERDOĞAN, M.Ç. (2011). “Ultrasonik Enerjinin Konfeksiyon Sanayiinde Kullanımı”, Tekstil ve Konfeksiyon, 1: 91-96.

COATS TÜRKİYE, (2004). İplik ve Dikiş Teknolojisi.

COLOVIC, G. (2015). “Sewing, Stitches and Seams”, p. 247-273, (Ed.) NAYAK, R. and PADHYE, R., Garment Manufacturing Technology, The Textile Institute, Woodhead Publishing Series in Textiles, Number 168.

GÜRSOY, T. (2010). Giyim Kültürü ve Moda, Türkiye Tekstil Sanayii İşverenleri Sendikası.

JANA, P. (2011). “Assembling Technologies for Functional Garments - An Overview”, Indian Journal of Fibre & Textile Research, 36: 380-387.

JEONG, W.Y. and AN, S.K. (2004). “Mechanical Properties of Breathable Waterproof Fabrics with Seaming and Sealing Processes”, Fibers and Polymers, 5(4): 316-320.

KARA, Ş. ve YEŞİLPINAR, S. (2014). “Poliüretan Kaplanmış Pamuk ve Poliester Kumaşların Su Geçirmezlik Özelliklerinin İncelenmesi”, 2. Uluslararası Tekstil Zirvesi (UTZ-2014), Kahramanmaraş, 22-24 Ekim 2014.

KURUMER, G. (2007). Konfeksiyon Üretimi ve Teknolojisi, Printer Ofset Matbaacılık, İzmir.

MCLOUGHLIN, J. and MITCHELL, A. (2015). “Fabric Finishing: Joining Fabrics Using Stitched Seams”, p. 379-411, (Ed.) SINCLAIR, R., Textiles and Fashion Materials, Design and Technology, Woodhead Publishing Series in Textiles.

MEŞEGÜL, C. (2020). Su Geçirmez Dış Giysilerin Dikim Performans Özelliklerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

MEŞEGÜL, C. and KARABAY, G. (2020). “Usage of Fusible Sewing Threads to Improve the Waterproof Property of Seams”, Materials Science (MEDŽIAGOTYRA), 26(4): 498-504.

PAŞAYEV, N. (2008). Genel Konfeksiyon Teknolojisi, Birsen Yayınları, İstanbul.

ŞEVKAN MACİT, A. ve TİBER, B. (2018). "Dokuma Kumaşlarda Ultrasonik Dikiş Üzerine Bir Araştırma", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(59): 566-575.

YILMAZ AKYÜREK, B. ve GÜNEŞ, M. (2016). "Ultrasonik Dikişin Uygulamalı Olarak İncelenmesi ve Kadın Dış Giyim Tasarımlarında Kullanılması", İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 6(13): 251-261.

https://techtextil.messefrankfurt.com/frankfurt/en/exhibitor-search.detail.html/loxy-as/mf_bata_0064441777.html

https://www.stanmech.com/fabrics-articles/wedge-versus-hot-air-welding-of-industrial-fabrics

https://www.techspan.co.nz/ultrasonic-cutting-welding-of-textiles-films/

Presentation ID / Sunum No= 7

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-8159-360X

COVID-19 Erken Teşhisi İçin Çok Sınıflı Derin Öğrenme Modeli

Dr. Öğretim Üyesi Fuat Türk[1]
[1]*Fen Bilimleri Enstitüsü/Mühendislik Fakültesi/Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, Türkiye, fuatturk@karatekin.edu.tr*

Özet

COVID -19, özellikle 2020 yılında dünya genelinde hızla yayılan son derece tehlikeli bir virüstür. Bu virüsün etkileri, oldukça korkutucu olmakla beraber ölümle bile sonuçlanmakladır. Virüsün yeni olması, farklı varyantlarının ortaya çıkması ve hızla yayılması, kontrol sürecini olumsuz etkilemektedir. COVID-19 ek tedbirler alınmazsa zatürreye kadar ilerleyebilen akciğerlerde kalıcı hasarlara sebep olmaktadır. Bu sebeple hekimlere erken tedavi için yardımcı olacak sınıflandırma derin öğrenme tabanlı bir çoklu sınıflandırma yapabilen bir modeli öneriyorum. Modelin sonuçlarını bildirinin tam metninde bitirmiş olacağım ve sizlerle paylaşacağım.

Anahtar Kelimeler: COVID-19 Multi Class, Deep Learning, İmage Classification

Multi-Class Deep Learning Model for Early Detection of COVID-19

Abstract

COVID -19 is an extremely dangerous virus that is spreading rapidly around the world, especially in 2020. While the effects of this virus are quite frightening, they can also lead to death. The fact that the virus is new, the emergence of different variants and its rapid spread have a negative impact on control. If additional precautions are not taken, COVID -19 causes permanent damage to the lungs, which can develop into pneumonia. For this reason, I propose a model that can perform Deep Learning-based multi-classification that helps physicians in early treatment. I will finalise and share the results of the model in the full text of the paper.

Keywords: COVID-19 Multi Class, Deep Learning, Image Classification

1.GİRİŞ

2019 yılının sonlarına doğru Çin'de yayılmaya başlayan COVID-19 virüsü nedeniyle büyük bir salgın meydana gelmişti ve halen artarak devam etmektedir (Amyar ve Modzelewski, 2020:126). Bu virüs, kronik solunum yolu hastalığına ve ölümcül akut solunum sıkıntısı sendromuna yol açabilecek çeşitli semptomlar gösterebilmektedir (Wang vd., 2021:202). Değişen varyantları ile kişiden kişiye hızla bulaşan COVID-19 virüsü, Ocak 2022 itibariyle 350 milyondan fazla kişide tespit edilmiştir. Ayrıca doğrudan 5 milyondan fazla kişinin ölümüne neden olmuştur (Shi vd.,2020). Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) testi, COVID-19 için standart tanı testi olarak kabul edilebilir (Zhou ,2020:39). Ancak sonuçların korkutucu olduğu ve hızla yayıldığı gereceği göz önünde bulundurulursa ilave tedbirler almak kaçınılmazdır. Bu noktada derin öğrenme yöntemleri hekimlere yardımcı olabilecek hızlı sistemler için kullanılabilmektedir.

Derin öğrenme ile ilgili çalışmalar büyük veri kümelerinin ön eğitim için daha iyi olduğunu ve veri kümelerinin çeşitliliğinin son derece etkili olduğunu göstermektedir. Bu sebeple literatürdeki araştırmalarda kabul görmüş nitelikli veri setlerinin olması oldukça önem arz etmektedir. Bu kapsamda literatür taraması yapıldığında Deb ve arkadaşları., COVID -19 tanısı için Derin Öğrenmeye dayalı bir topluluk modeli önermişlerdir (Deb vd.,2022:71). Önerilen model, COVID-19 veri seti kullanılarak iki ve üç ayrı sınıfa uygulanmıştır. Halka açık veri setinde üç sınıflı sınıflandırma için %88,98 ve iki sınıflı sınıflandırma için %98,58 doğruluk elde etmişlerdir.

Lafraxo ve Ensari CoviNet adını verdikleri Derin Öğrenme tabanlı bir mimari geliştirmişlerdir. Çalışmalarında COVID-19 hastalığının tehlikelerinden ve teşhis koymanın zorluğundan bahsettiler. Herkese açık bir veri seti üzerinde test ettikleri çalışma, ikili sınıflandırma için %98,62 ve çok sınıflı sınıflandırma için %95,77 doğruluk elde etmiştir (Lafraxo ve Ensari, 2021).

Wang ve arkadaşları göğüs sınıflandırması için COVID -Net'i önermişlerdir. Radyolojik görüntüleri dört sınıfa ayırmış ve COVID -19 CXR tanıma için yeni bir tasarım oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda %83,5 doğruluk elde etmişlerdir (Wang vd.,2019:74).

Tuan D. Pham Görüntüleme verilerinin kullanımının COVID-19'un hızlı teşhisi için faydalı olduğu bildirilmiştir. Bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları, büyük miktarda görüntü verildiğinde viral enfeksiyonun neden olduğu çeşitli belirtiler gösterse de bu görsel özelliklerin radyologlar tarafından tanınması zordur ve uzun zaman alabileceğinden bahsetmiştir. Bu çalışma, COVID-19 hastalarından ve COVID-19 olmayan deneklerden toplanan geniş bir BT taramaları veri tabanını kullanarak COVID-19 sınıflandırması için önceden eğitilmiş 16 CNN üzerinde bir araştırma sunmaktadır. Sonuçlar, eğitim için sadece 6 dönem kullanarak, CNN'lerin sınıflandırma görevinde çok yüksek performans elde ettiğini göstermektedir (Tuan,2020:10).

Bildirinin ikinci bölümünde materyal ve yöntem, 3. bölümünde araştırma bulguları ve 4. Bölümde tartışma ve sonuç kısmına yer verilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

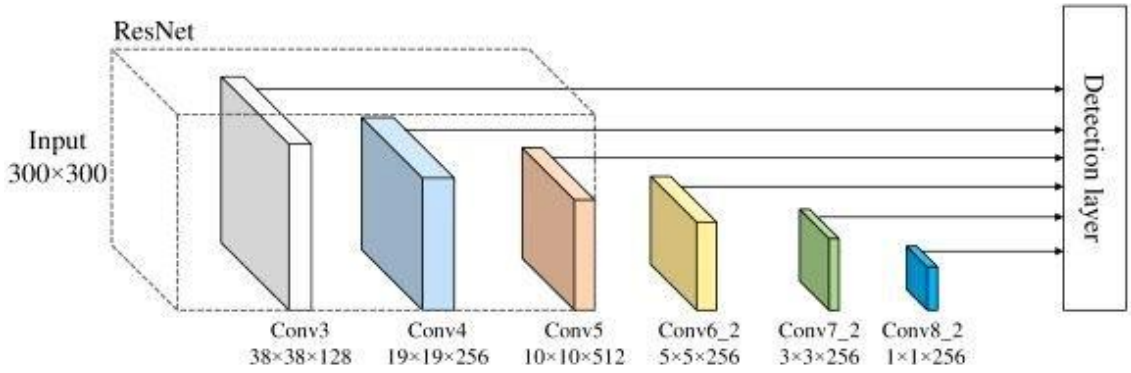
Bu çalışmada kullanılan veri seti COVID-19, Normal ve Pneumonia teşhisi konulan hastaların kapsamlı bir araştırma sonucu incelendiği mevcut veri setlerinin dengeli bir şekilde sınıflara ayrıldığı resimleri içerir (https://github.com/turkfuat/covid19-multiclass). Veri setinin incelenmesi için kullanılan NasNet Mobile ve DensNet ağları aşağıda açıklanmıştır.

2.1. NasNet-Mobile Mimarisi

Nasnet, pekiştirmeli öğrenme kullanılarak optimize edilmiş temel yapı taşlarından (hücrelerden) oluşan ölçeklenebilir bir CNN mimarisidir (sinir mimarisi araştırması ile oluşturulmuştur). Bir hücre sadece birkaç işlemden (birkaç ayrılabilir evrişim ve havuzlama) oluşur ve ağın gerekli kapasitesine

göre birçok kez tekrarlanır. Mobil versiyon (Nasnet-Mobile), 5,3 milyon parametre ve 564 milyon çoklu birikim (MAC) içeren 12 hücreden oluşur. Şekil 1' NasNet-Mobile mimari yapısı gösterilmiştir (Frerk vd., 2019).

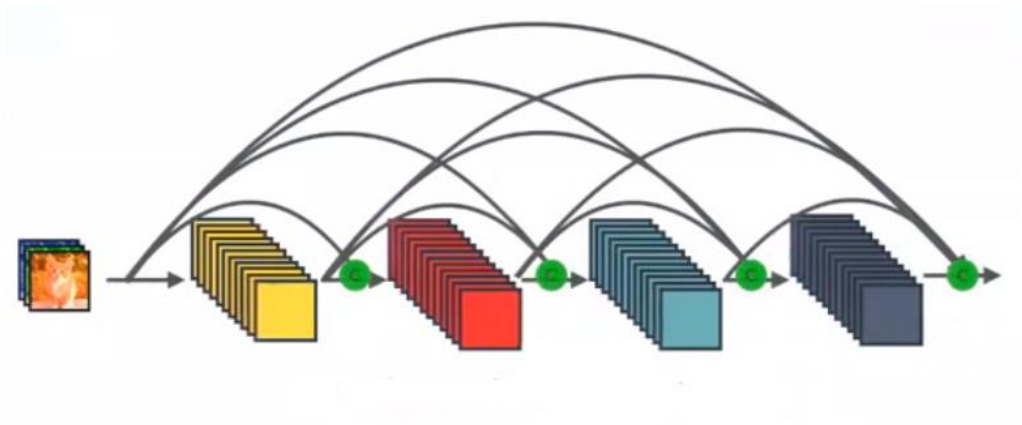
Şekil 1. NasNet-Mobile Mimarisi



2.2. DensNet Mimarisi

Transfer öğrenmede kullanılan derin öğrenme tabanlı ağ mimarilerinin birisidir. Zamanla artan örnek sayısına paralel olarak katman sayısı da artmıştır. DenseNet ağında, katmanlar boyunca bilgi akışı farklı boyutlarda öznitelik haritaları kullanılarak sağlanmaktadır. Eğitim aşamasındaki ileri besleme blok yapısı, her katmanın önceki katmanlardan ek bilgiler alması ve öznitelik haritalarını bir sonraki katmana aktarmayı sağlar (Huang vd., 2019). DenseNet'te, ResNet ağındaki gibi bir katmandan diğerine öznitelikler özetlenerek değil her katmanda önceki katmanlardan gelen bilgiler birleştirilerek aktarılır (Gürkahraman ve Karakış, 2021). Şekil 2' DensNet mimari yapısı gösterilmiştir.

Şekil 2. DensNet Mimarisi



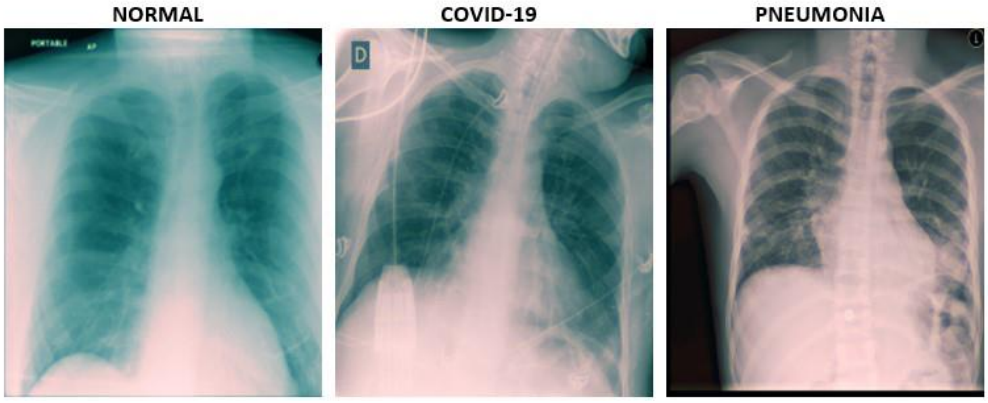
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Veri seti dataları .png formatındadır ve 3 ayrı dosya etiketi içermektedir.

- Normal: Herhangi bir hastalık belirtisi olmayan akciğer verilerini içerir .
- COVID-19: Hekimler tarafından teşhis edilmiş COVID-19 datalarını içerir.
- Pneumonia : Hekimler tarafından teşhis edilmiş pneumonia datalarını içerir.

Şekil 3' de veri seti açıklamalarına ilişkin örnek bir görsel yer almaktadır.

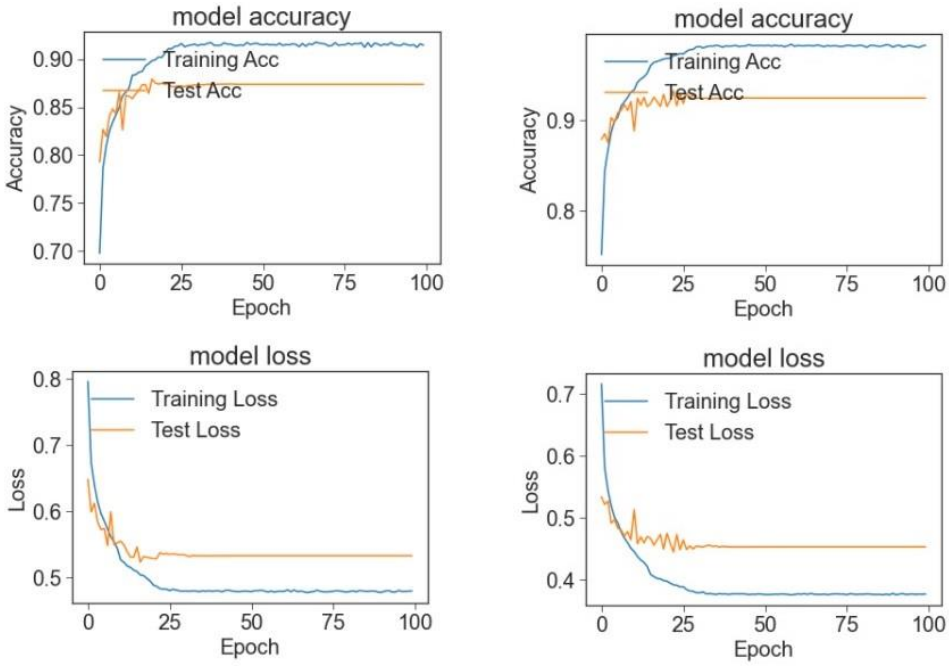
Şekil 3. Normal, COVID-19 ve Pneumonia Resim Görünümleri



Eğitim ve test aşamalarında DensNet ve NasNet-Mobile ağları sırasıyla Adam optimizer ve aktivasyon fonksiyonu için ise ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılarak çalıştırılmıştır. Eğitim aşamalı 100 adım olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Eğitim işlemleri sonucunda oluşan doğruluk(accuracy) ve kayıp(loss)değerleri Şekil 4' de gösterilmiştir.

Şekil 4. Train/Val Sonucu Dice Loss Grafikleri

(a) DensNet (b) NasNet -Mobile



Tablo 1' de DensNet ve NasNet-Mobile ağlarının test işlemi sonucunda oluşan doğruluk ve loss değerleri yer almaktadır.

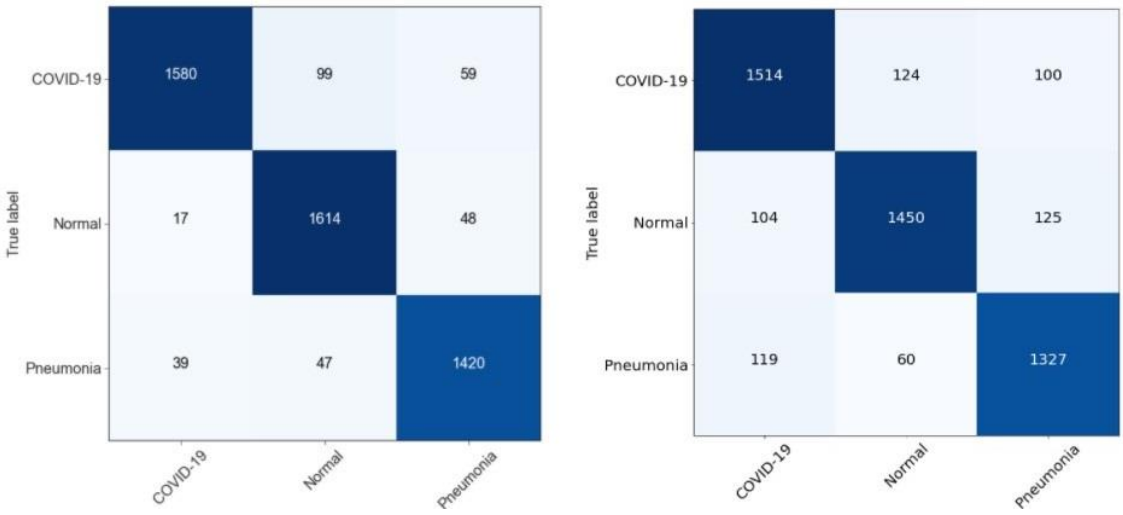
Tablo 1. Test işlemi sonucunda oluşan doğruluk ve kayıp değerleri

Model Adı	Doğruluk (Acc)	Kayıp (Loss)
NasNet-Mobile	0.87	0.12
DensNet	0.93	0.06

Şekil 5' da eğitim işlemi tamamlanan modelimizin test işlemi sonucu elde ettiğimiz confusion matrix değerleri yer almaktadır.

Şekil 5. Test Sonucu Oluşan Confusion Matrix Değerleri

(a) NasNet -Mobile (b) DensNet



4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırma, akciğer görüntüleri ile COVID-19 teşhisi için birçok sınıflı bir uygulama sistemi sunmuştur. Bu sistem DensNet ve NasNet-Mobile ağları ile ayrı ayrı eğitilmiştir. Test sonuçları bize DensNet modelin çok sınıflı COVID-19 teşhisi için daha başarılı olduğunu göstermektedir. Ayrıca oluşturduğumuz veri seti yeni COVID-19 sınıflandırma çalışmaları için yol gösterici olabilir. Gelecekteki çalışmalarda hibrid modeller ile daha başarılı sonuçlar elde edilebileceğini düşünüyorum.

KAYNAKLAR

AMYAR,A., MODZELEWSKİ, R., Lİ, H., RUAN, S. (2020). "Multi-task deep learning based CT imaging analysis for COVID-19 pneumonia: Classification and segmentation," Computers in Biology and Medicine, November 2020 (126).

WANG, Y. ,ZHANG, Y. LIU, Y. TIAN, J., ZHONG, C., SHIB,Z., HEA, Z. (2021)"Does non-COVID-19 lung lesion help? investigating transferability in COVID-19 CT image segmentation", Computer Methods and Programs in Biomedicine April 2021 (202).

SHI, F., WANG, J., SHI, J., WU, Z., WANG, Q., TANG, Z., HE, K., SHI, Y., SHEN, D. (2020). "Review of artificial intelligence techniques in imaging data acquisition, segmentation and diagnosis for covid-19," IEEE Reviews in Biomedical Engineering.

ZHOU, L., LI, Z., ZHOU, J., LI, H., CHEN, Y., HUANG, Y., vd. GAO. (2020) "A rapid, accurate and machine-agnostic segmentation and quantification method for ctbased covid-19 diagnosis", IEEE Transactions on Medical Imaging. 2020 (39):2638–2652. doi:10.1109/TMI.2020.3001810.

DEB, S.D., KUMAR, R., JHA, K., TRIPATHI, P. (2022). "A multi model ensemble based deep convolution neural network structure for detection of COVID19 Biomedical Signal Processing and Control" 2022 (71): 103126. doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103126.

LAFRAXO, S., ANSARI, M. "CoviNet: Automated COVID-19 Detection from X-rays using Deep Learning Technique". 6th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt)" 2021 (978): 6646. doi: 10.1109/CIST49399.

WANG, Y., CHEN, Y. T., YANG, N., ZHENG, L. F., DEY, N., ASHOU, R.A. (2019). "Set al., Classification of mice hepatic granuloma microscopic images based on a deep convolutional neural network" Appl. Soft Comput. 2019 (74): 40–50.

TUAN D. P. (2020). "A comprehensive study on classification of COVID-19 on computed tomography with pretrained convolutional neural networks" .2020 (16492).

FRERK, S., PHILIPP, W., SEBASTIAN H., EHSAN O., LASLO D., AYOUB A. (2019). "Face Attribute Detection with MobileNetV2 and NasNet-Mobile, 2019 11th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA)". Dubrovnik, Croatia.

HUANG, G., LIU, Z., PLEISS, G., MAATEN, L. VAN DER, WEINBERGER, K.Q. (2019). "Convolutional Networks with Dense Connectivity". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2019 :1-12.

GÜRKAHRAMAN, K., KARAKIS, R. (2021). "Brain tumors classification with deep learning using data augmentation, March 2021". Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2021 (36) :997-1011.

ORCID ID: 0000-0003-1287-9078

Presentation ID / Sunum No= 13

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1287-9078

Sea Water Temperature Estimation Using Long-Short-Term-Memory Networks in Turkey Coasts

Doç. Dr. Arif Ozbek[1]
[1]*Cukurova University, Faculty of Ceyhan Engineering, Department of Mechanical Engineering*
arozbek@cu.edu.tr

Abstract

The cooling medium temperature plays a crucial part in the construction of power plants because turbine efficiency in coal-fired or nuclear power plants placed at the seaside is directly dependent on sea water temperature (SWT). As a result, the deviation of the instantaneous operating temperature of seawater has an impact on the efficiency of electricity production. Accurate SWT estimation is critical in this regard for electrical output from power plant applications. Long short-term memory (LSTM), an artificial repetitive neural network (RNN) architecture, was used to make one-day ahead SWT estimations, in the present study. Analyzes were carried out using 5-year daily mean SWT's between 2014-2018 years measured by Turkish State Meteorological Service at Antalya, Canakkale and Trabzon provinces. Moreover, the data obtained from the model were validated using the measured data. Evaluation criteria of the model were determined as Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) and correlation coefficient (R). Based on the daily SWT estimation, the best results for MAE, RMSE and R were obtained as 0.2023 oC, 0.2917 oC and 0.99785 for Antalya; 0.1305 oC, 0.2144 oC and 0.99927 for Canakkale; 0.1302 oC, 0.1971 oC and 0.99945 for Trabzon provinces, respectively. It was observed that the most sensitive results were obtained in Trabzon province. The results showed that using the proposed model can significantly improve the accuracy of SWT estimation.

Keywords: Power Plant, Sea Water Temperature, LSTM

Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları Kullanarak Türkiye Sahillerinde Deniz Suyu Sıcaklığı Tahmini

Özet

Deniz kenarına yerleştirilen kömürle çalışan veya nükleer güç santrallerinde türbin verimliliği doğrudan deniz suyu sıcaklığına (SWT) bağlı olduğundan, soğutma ortamı sıcaklığı enerji santrallerinin yapımında çok önemli bir rol oynar. Deniz suyunun anlık çalışma sıcaklığındaki sapma, elektrik üretiminin verimini etkilediğinden elektrik santrali uygulamalarından elde edilen elektrik çıktısı için doğru SWT tahmini çok önemlidir. Bu çalışmada, bir gün ileri SWT tahmini yapmak için yapay tekrarlayan sinir ağı (RNN) mimarisi olan uzun-kısa süreli bellek (LSTM) kullanılmıştır. Analizler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Antalya, Çanakkale ve Trabzon illerinde 2014-2018 yılları arasında ölçülen 5 yıllık günlük ortalama SWT'ler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca modelden elde edilen veriler, ölçülen veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Modelin değerlendirme kriterleri Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Kare Hata (RMSE) ve korelasyon katsayısı (R) olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, önerilen modelin kullanılmasının SWT tahmininin doğruluğunu önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç Santrali, Deniz Suyu Sıcaklığı, LSTM

1. INTRODUCTION

At the design stage of any power plant, a cooling medium temperature is selected as design parameter for each plant site, taking into account the long-term average climatic conditions. Seawater temperature (SWT) is also one of the most important design parameter for system efficiency in any coastal power plant. The main use of water in a power plant is to condense vapor and remove waste heat. In addition, as appropriate environmental control is important for a stable supply in marine aquaculture, the impact of SWT on this environment is significant and therefore accurate estimation is required (Okuna and Otsuka et al. (2020). Okuna and Otsuka (2020) proposed and described the implementation of a seawater prediction method based on data from real aquaculture areas and neural networks. They stated that hourly next-day prediction had an average error of about 0.2 to 0.4 ºC and daily prediction had an average error of about 0.2 to 0.5 ºC. Otsuka et al. (2017) recommended an algorithm to estimate SWT in marine aquaculture by combining SWT data and actual weather data. Kim and Jeong (2013), Durmayaz and Sogut (2006) and Attia (2015) analyzed the influence of the cooling water temperature on the thermal efficiency of a nuclear-power plant. They stated that SWT has a direct effect on the power plant efficiency. Attia (2015) showed that electricity generation and thermal efficiency of the nuclear power plant decreased by 0.444% and 0.152%, respectively with only one degree Celsius increase in seawater temperature. Şişman (2019) investigated the trends in Sea Surface Temperature (SST) and the mathematical structures that support them. The trends at various stations were compared to his proposed model. When the model results were examined, it was stated that the warming in sea water temperatures increased in all stations after 2000. Günoğlu et al. (2011) used monthly average temperature, monthly average humidity, monthly average pressure, and monthly average sunshine duration to forecast sea water temperature in Izmir from 2008 to 2009. The predicted values were compared to the meteorological data. Saraçoğlu (2020) investigated temperature and the variations in time and trends of sea surface temperature located in the North of The Aegean Sea in Turkey. Monthly mean, monthly minimum and monthly maximum temperatures and sea surface temperatures were analyzed monthly, seasonally and annually from the data obtained from the Turkish State Meteorological Service for the period between 2005 and 2016. Hussain et al. (2013) presented models for short- and long-term forecasts of Arabian seawater temperature fluctuations in coastal water in the Karachi region during two summer seasons. In comparison to long-term forecasts, their short-term forecasts produced more accurate results with a lower level of uncertainty. Balsamo et al. (2012) studied the Fresh-water Lake (FLake) model for potential application in the European Centre for

Medium-Range Weather Forecasts' Integrated Forecasting System. On time scales ranging from a few hours to a few years, their model predicted the vertical temperature structure and mixing conditions in lakes of varied depths (up to around 60 m). The performance of their model then evaluated on several lakes.

In the present study, LSTM neural network was used to perform one-day ahead short-term SWT forecasting. Accordingly, the scopes of the current study are:

a) To develop an LSTM model for SWT forecasting with high accuracy,

b) To introduce a deep learning time series prediction related to daily SWT data to investigate and use the implicit information.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Data Sources

As can be seen from Figure 1, measuring stations are located in southern (Antalya), western (Canakkale) and northern (Trabzon) of Turkey. By using 5-year daily mean SWT's measured by Turkish State Meteorological Service between 2014-2018 years at Antalya, Canakkale and Trabzon provinces (Fig. 2), analyzes were carried out. The geographic coordinates of the measuring stations and statistical summary of the dataset are shown in Table 1. All of the daily measurements were executed at 2 meters below the sea surface using a PT100 type marine thermometer. It can be seen from the table that the smallest SWT fluctuation and largest average SWT value are in Antalya station. In addition, the smallest standard deviation value is obtained in Antalya with 4.7 ^{o}C.

Figure 2 also shows the observed sea water temperature (SWT) values with training (4 years) and testing (1 year) data to be used in the LSTM method. 1460 daily sample data (first 4 years and %80 of whole data) from 01 January 2014 to 31 December 2017 were used to train the method and 365 daily sample data (last year and %20 of the whole data) from 01 January to 31 December 2018 were used to test it.

Table 1 Geographic coordinates of the stations and statistical summary of the dataset

Station	Location	Maximum SWT (ºC)	Minimum SWT (ºC)	Average SWT (ºC)	Standard Deviation (ºC)
ANTALYA	36°52'49.4"N and 30°40'54.6"E	30.8	15.4	22.3	4.7
CANAKKALE	40°08'54.7"N and 26°23'49.0"E	26.8	7.0	17.1	5.6
TRABZON	41°00'56.4"N and 39°43'04.6"E	28.2	6.8	16.7	6.3

Figure 1 Location of the measurement stations

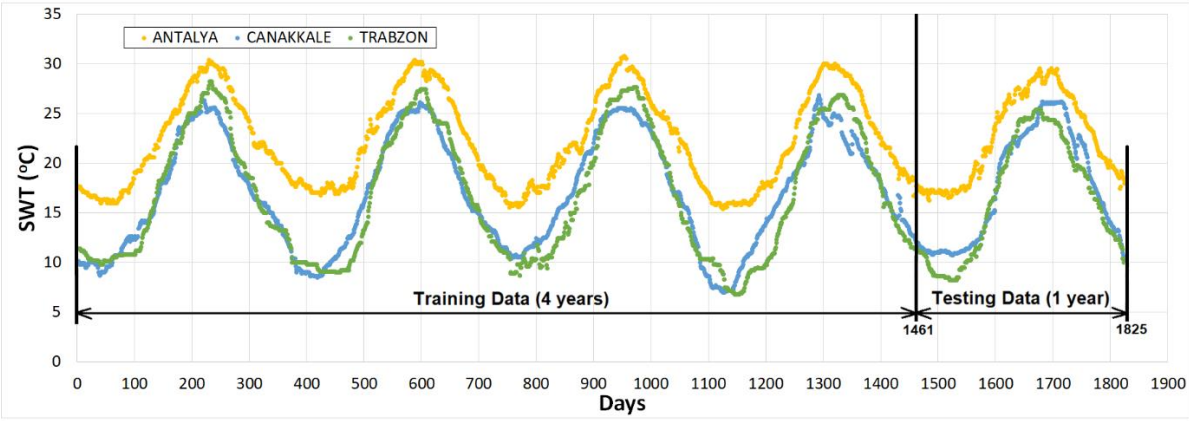


Figure 2. Time series of the sea water temperature (SWT) in the provinces

2.2. Long Short Term Memory (LSTM) Neural Network

The LSTM method was introduced by (Park et al., 2019). LSTM is a form of artificial recurrent neural network (RNN) that solves problems in RNN by adding cell states or memory cells with fixed errors so that errors can be reproduced without losing gradients. Three different gates are present in an LSTM. An input port learns to protect the fixed error stream in the memory cell from irrelevant inputs,

and an output port learns to protect other units from irrelevant memory content stored in the memory cell. Finally, the forget gate teaches how long the value is in the memory cell (Hochreiter and Schmidhuber, 1997; Salman et al., 2018).

Figure 3 shows the LSTM layer architecture, indicating the flow of an X time series with S-length C properties (channels) across an LSTM layer. In this layer architecture, h_t is the output (also known as the hidden state), and c_t is the cell state at time step t. In order to calculate the first output and the updated cell state, the first LSTM part is utilized for the first state of the network and the early time step of the series. At time step t, this block uses the current state of the network (c_{t-1}, h_{t-1}) and the next time step of the array to calculate the output and the updated cell state c_t.

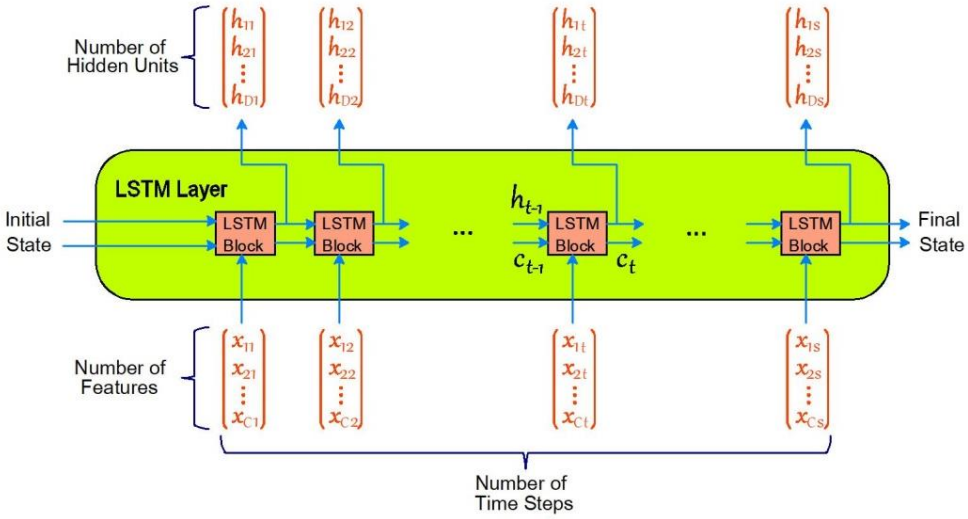


Figure 3. LSTM layer architecture

The state of the layer includes the hidden state (known as the output state) and the cell state. The hidden state at time step t contains the output of the LSTM layer for this time step. The cell state includes information from previous time steps. At each time step, the layer performs the task of adding or removing information from the cell state. These updates are controlled using gates. Some components in the LSTM layer architecture are used to control the cell state and the hidden state of the layer. For example, input gate (i) and output gate (o) control the level of cell state update and the level of cell state added to the hidden state, respectively. Forget gate (f) checks the level of cell state reset (forget). On the other hand, cell candidate (g) adds the information to the cell state.

Figure 4 presents the flow of data at a time step, t. This diagram indicates how the gates forget, update, and output the cell and hidden states.

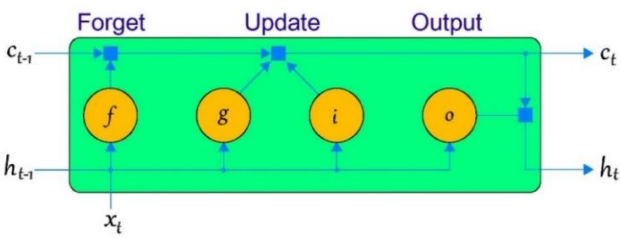


Figure 4. The flow of data at a time step, t

The input weights W, the recurrent weights R, and the bias b *are called* the learnable weights of an LSTM layer. The W, R, and b matrices are combinations of the input weights, recurrent weights, and bias of each component, respectively. Detailed information about the method can be viewed from (Zahroh et al., 2019; Liu and Liu, 2019).

2.3. Error Analysis for the Proposed Methods

Three different statistical error criteria comprising mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and correlation coefficient (R) are used in this study for the assessment of the goodness of a method. These error criteria are used to check the accuracy of the estimations based on the observed variables. The mathematical expressions of these error criteria are provided in Eqs. (1), (2), and (3), respectively.

Mean absolute error (MAE):

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|p(i) - o(i)| \tag{1}$$

Root mean square error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[p(i) - o(i)]^2} \tag{2}$$

Correlation coefficient (R):

$$R = \left(\sum_{i=1}^{N}[p(i) - \bar{p}][o(i) - \bar{o}]\right) / \left(\sqrt{\sum_{i=1}^{N}[p(i) - \bar{p}]^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}[o(i) - \bar{o}]^2}\right) \tag{3}$$

where *p(i)* and *o(i)* are the predicted value and observed value at the time *i*, respectively. Also, $\bar{p}$ and $\bar{o}$ present average values of the estimated data and the actual data, respectively. The total number of data is represented by *N*.

2.4. Simulation Results

Table 2 points out the determination of optimal parameters for the prediction of SWT using the LSTM method for the stations. MAE, RMSE, and R-values were calculated to show the performance of the method. The influence of the hidden layer number and epoch number can be seen in this table. 5 hidden layers and 300 epoch numbers gave the best result for Canakkale and Trabzon. The best results for Antalya were obtained when using 100 hidden layers and 500 epoch numbers. The lowest MAE value is equal to 0.2023 ºC and RMSE is 0.2917 ºC with an R-value of 0.99785 for Antalya. MAE, RMSE, and R-values for Canakkale were obtained as 0.1305 ºC, 0.2144 ºC and 0.99927, respectively. It can be obtained as 0.1302 ºC, 0.1971 ºC and 0.99945, respectively for Trabzon.

3. RESULT AND DISCUSSION

Figure 5-(a) shows observed (red) and estimated (green) testing SWT values for Antalya station between 01 January 2018 and 31 December 2018. Figure 5-(b) illustrates difference between the observed and the estimated data. A maximum difference of 1 ºC was obtained between the observed and estimated SWT values. Regression plot of the observed and the estimated data is represents in Figure 5-(c). As seen from this figure, the estimated data are in good agreement with the observed data. Figure 5-(d) zooms in to show where the greatest error was obtained.

Table 2 Daily SWT performance forecast for the LSTM model

Province	Hidden Layer Number	Epoch Number	MAE (°C)	RMSE (°C)	R
ANTALYA	5	300	0.2075	0.2920	0.99781
	10	300	0.2120	0.3016	0.99767
	25	300	0.2288	0.3171	0.99742
	50	300	0.2608	0.3541	0.99678
	100	300	0.2203	0.31.22	0.99752
	50	500	0.2110	0.2994	0.99769
	100	**500**	**0.2023**	**0.2917**	**0.99785**
CANAKKALE	**5**	**300**	**0.1305**	**0.2144**	**0.99927**
	10	300	0.1345	0.2190	0.99924
	25	300	0.1390	0.2283	0.99918
	50	300	0.1653	0.2660	0.99888
	100	300	0.1598	0.2589	0.99895
	50	500	0.1370	0.2247	0.99920
	100	500	0.1337	0.2191	0.99924
TRABZON	**5**	**300**	**0.1302**	**0.1971**	**0.99945**
	10	300	0.1457	0.2110	0.99939
	25	300	0.1474	0.2103	0.99937
	50	300	0.1798	0.2519	0.99909
	100	300	0.1622	0.2331	0.99922
	50	500	0.1489	0.2128	0.99936
	100	500	0.1487	0.2091	0.99937

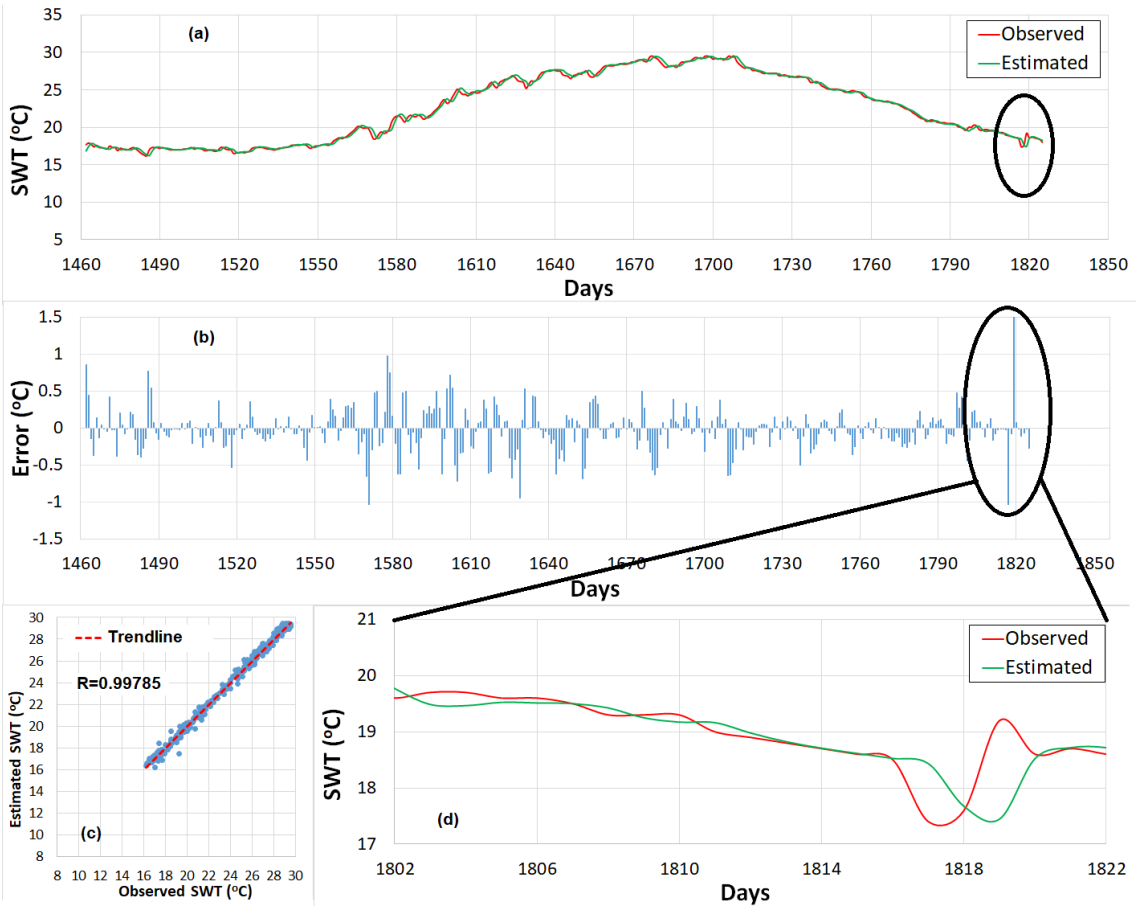


Figure 5. (a) Observed (red) and estimated (green) testing SWT values for Antalya station, (b) Difference between the observed and the estimated data, (c) Regression plot of the observed and the estimated data, (d) Zooming in to where the greatest error is.

Observed (red) and estimated (green) testing SWT values for Canakkale station can be seen from Figure 6-(a) between 01 January 2018 and 31 December 2018. Figure 6-(b) shows error value between the observed and the estimated data. There is maximum 1.5 °C error value between observed and estimated SWT values. Figure 6-(c) represents regression plot of the observed and the estimated data. The estimated and observed data are in good agreement. Figure 6-(d) zooms in to show where the greatest error was obtained.

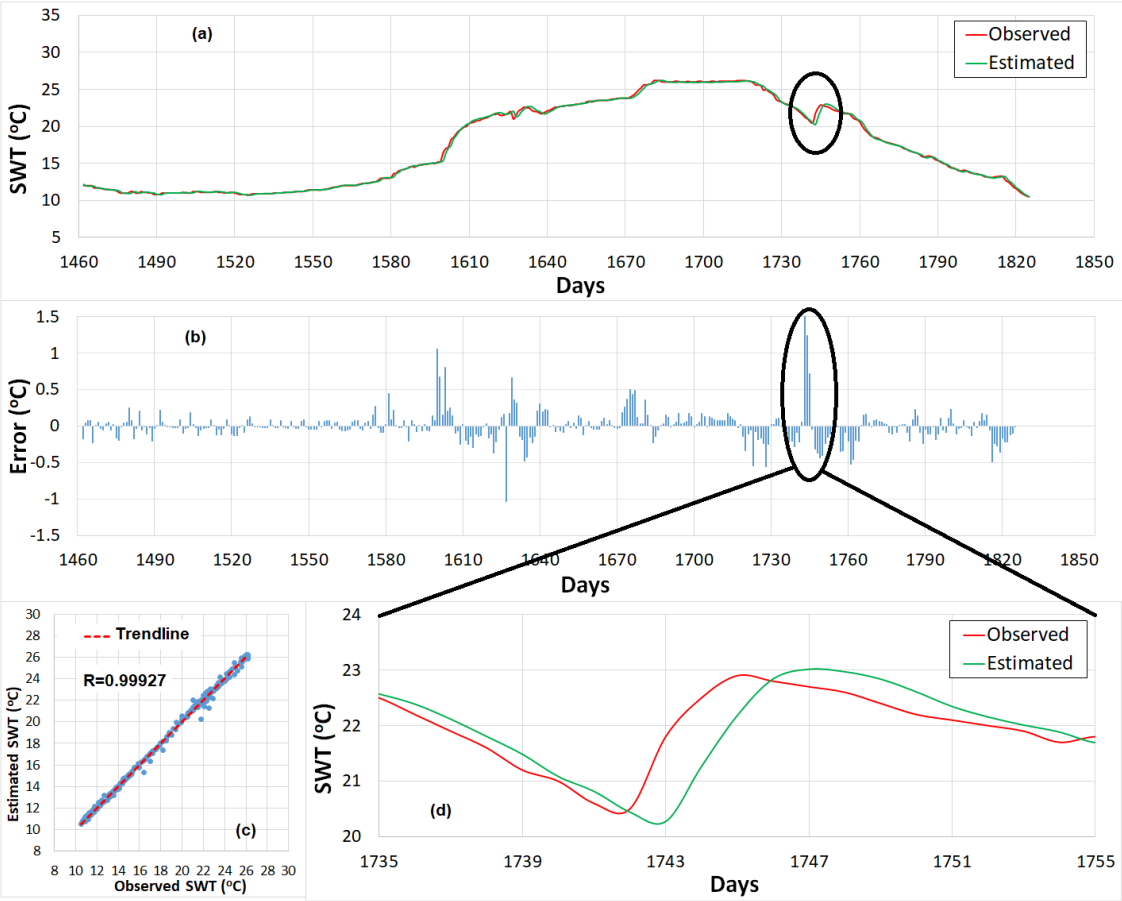


Figure 6. (a) Observed (red) and estimated (green) testing SWT values for Canakkale station, (b) Difference between the observed and the estimated data, (c) Regression plot of the observed and the estimated data, (d) Zooming in to where the greatest error is.

Figure 7-(a) demonstrate observed (red) and estimated (green) testing SWT values for Trabzon station between 01 January 2018 and 31 December 2018. As seen in Figure 7-(b), there is a temperature difference up to a maximum of 1.0 °C between the observed and predicted data. Figure 7-(c) shows regression plot of the observed and the estimated data. The estimated and observed data are in good agreement. Figure 7-(d) zooms in to show where the greatest error was obtained.

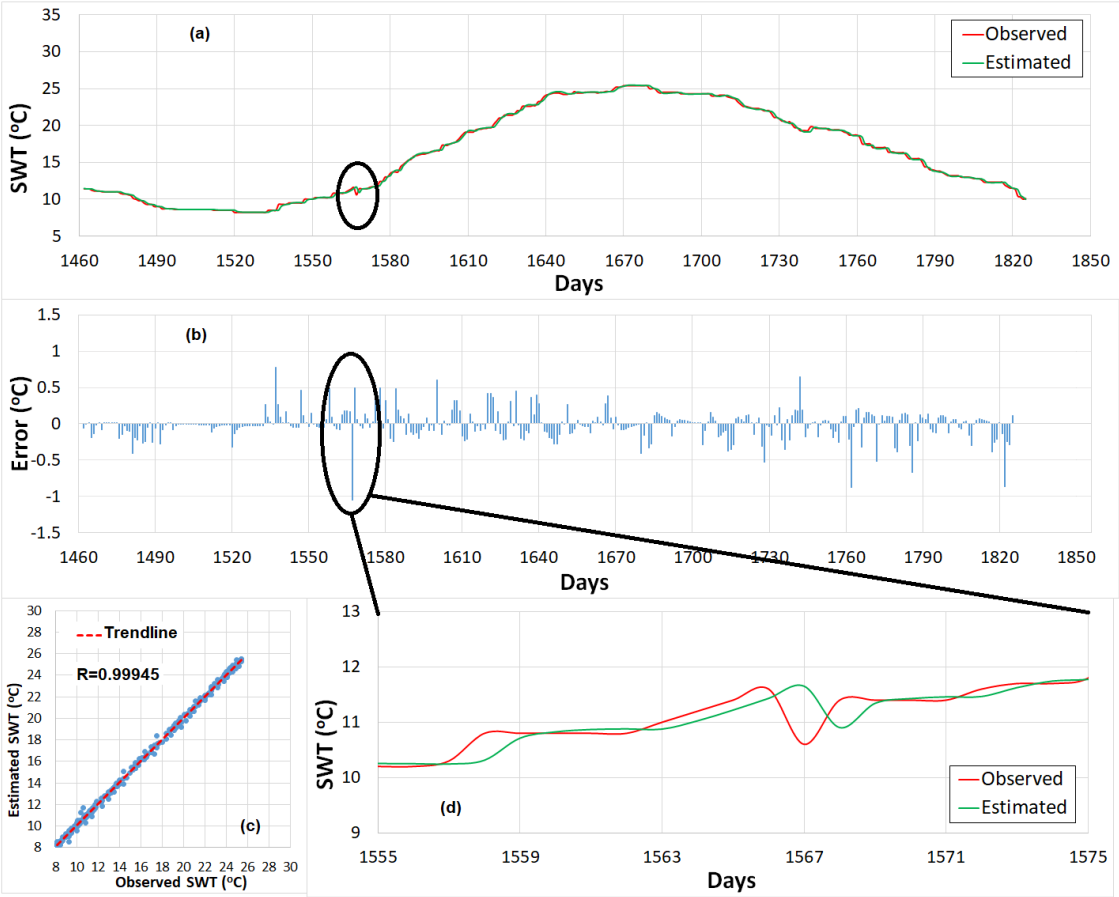


Figure 7. (a) Observed (red) and estimated (green) testing SWT values for Trabzon station, (b) Difference between the observed and the estimated data, (c) Regression plot of the observed and the estimated data, (d) Zooming in to where the greatest error is.

4. CONCLUSION

In this study, one day ahead sea water temperature (SWT) estimation was performed using LSTM network model, which is a deep learning method. A set of 5-year daily mean SWT values measured by Turkish State Meteorological Service between 2014-2018 years at Antalya, Canakkale and Trabzon stations was utilized as sample data. The total of 1825 daily SWT values were divided into two parts as 80% training set and 20% testing set. The optimal parameters for the presented model such as the hidden layer number and epoch number were determined by trial and error method. It has been observed that the presented model gives high accuracy SWT estimation values with RMSE of 0.2917 °C, 0.2144 °C and 0.1971 °C for Antalya, Canakkale and Trabzon provinces, respectively.

Because cooling medium temperature is one of the most significant parameter for system performance in in the design of coastal coal-fired or nuclear power plants, accurate SWT estimation is required for electrical output from the power plant applications.

Different deep learning methods, such as hybrid methods or adaptive-network-based fuzzy inference system (ANFIS) methods, can be utilized in the future to increase the precision and accuracy of forecast outcomes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to thanks Turkish State Meteorological Service for allowing to use the sea water temperature data in this research. The author also thanks the office of Scientific Research Projects of Cukurova University for funding this project under Contract no. FBA-2021-14004.

REFERENCES

Attia, S.I., (2015). The Influence of Condenser Cooling Water Temperature on the Thermal Efficiency of a Nuclear Power Plant, Annals of Nuclear Energy 80, 371–378

Balluff, S., Bendfeld, J., Krauter, S., (2015). Short Term Wind and Energy Prediction for Offshore Wind Farms Using Neural Networks. 2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). IEEE, Palermo 379–382. Https://Doi.Org/10.1109/Icrera.2015.7418440

Balsamo, G., Salgado, R., Dutra, E., Boussetta, S., Stockdale, T., Potes M., (2012). On the contribution of lakes in predicting near-surface temperature in a global weather forecasting model. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 64(1), 15829.

Byung, K.K., Yong, H.J., (2013). High Cooling Water Temperature Effects on Design and Operational Safety of NPPS in The Gulf Region, Nuclear Engineering and Technology, Volume 45, Issue 7, Pages 961-968, ISSN 1738-5733, https://doi.org/10.5516/NET.03.2012.079.

Chen, J., Zeng, G.Q., Zhou, W., Du, W., Lu, K., (2018). Wind Speed Forecasting Using Nonlinear-Learning Ensemble of Deep Learning Time Series Prediction and Extremal Optimization. Energy Convers Manag 165: 681–695. Https://Doi.Org/10.1016/J.Enconman.2018.03.098

Durmayaz, A., Sogut, O.S., (2006). Influence of Cooling Water Temperature on the Efficiency of a Pressurized-Water Reactor Nuclear-Power Plant International Journal of Energy Research Int. J. Energy Res. 30:799–810 DOI: 10.1002/Er.1186

Günoğlu, K., Akkurt, G., Mavi, B., (2020). Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Deniz Suyu Sıcaklığının Tahmini 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey

Hochreiter, S., Schmidhuber, J., (1997). Long short-term memory. Neural Computation 9(8):1735–80. Jang, J. S. R. 1993. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 23 (3):665–85. doi:10.1109/21.256541

Hussain, M.A., Abbas, S., Ansari, M.R.K., Zaffar, A., (2013). Perturbations of Modeling and Forecast of Karachi Coastal Region Seawater, Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences 50 (3): 235–245 ISSN: 0377 - 2969

Kim, M., Yang, H., Kim, J., (2020). Sea Surface Temperature and High Water Temperature Occurrence Prediction Using a Long Short-Term Memory Model. Remote Sens 12:3654. DOI: 10.3390/Rs12213654

Liu, R., Liu, L., (2019). Predicting Housing Price in China Based on Long Short-Term Memory Incorporating Modified Genetic Algorithm. Soft Comput 23(22):11829–11838

Liu, R., Liu, L., (2019). Predicting Housing Price in China Based on Long Short-Term Memory Incorporating Modified Genetic Algorithm, Soft Comput., 23(22), pp. 11829–11838.

Okuno, M., Otsuka, T., (2020). How to Predict Seawater Temperature for Sustainable Marine Aquaculture (Student Abstract). Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 34. 13887-13888. 10.1609/aaai.v34i10.7216.

Otsuka, T., Kitazawa, Y., Ito, T., (2017). Seawater Temperature Prediction Method for Sustainable Marine Aquaculture. 10.20944/preprints201709.0114.v1.

Ozbek, A., Sekertekin, A., Bilgili, M., Niyazi, A., (2021b). Prediction of 10-Min, Hourly, and Daily Atmospheric Air Temperature: Comparison of LSTM, ANFIS-FCM, and ARMA. Arabian Journal of Geosciences 14:622. Https://Doi.Org/10.1007/S12517-021-06982-Y

Ozbek, A., Yildirim, A., Bilgili, M., (2021a). Deep Learning Approach for One-Hour Ahead Forecasting of Energy Production in a Solar-PV Plant. Energy Sources Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects. Https://Doi.Org/10.1080/15567036.2021.1924316

Park, I., Kim, H.S., Lee, J., Kim, J.H., Song, C.H., Kim, H.K., (2019). Temperature Prediction Using the Missing Data Refinement Model Based on a Long Short-Term Memory Neural Network. Atmosphere (Basel) 10(11):1–16.

Peng, L., Liu, S., Liu, R., Wang, L., (2018). Effective Long Short-Term Memory with Differential Evolution Algorithm for Electricity Price Prediction. Energy 162:1301–1314. Https://Doi.Org/10.1016/J.Energy.2018.05.052

Qu, X., Xiaoning, K., Chao, Z., (2016). Short-Term Prediction of Wind Power Based on Deep Long Short-Term Memory. 2016 IEEE Pes Asia-Pacific Power And Energy Engineering Conference (APPEEC). IEEE, Pp 1148–1152.

Salman, A.G., Heryadi, Y., Abdurahman, E., Suparta, W., (2018). Single Layer & Multi-Layer Long Short-Term Memory (LSTM) Model with Intermediate Variables for Weather Forecasting, Procedia Comput. Sci., 135, pp. 89–98.

Saraçoğlu, F.A., (2020). Gökçeada Sıcaklık ve Deniz Suyu Sıcaklıklarının Eğilim Analizi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3/1: 1-17.

Şişman, E., (2019). Ege ve Akdeniz Kıyılarında Deniz Suyu Sıcaklıkları İçin Soğuma Döneminde Trend Analizleri Artvin Çoruh University Natural Hazards Application and Research Center Journal of Natural Hazards and Environment, Doğ Afet Çev Derg; 5(2): 291-304, DOI: 10.21324/dacd.492730

Ünlü, R., (2019). A Comparative Study of Machine Learning and Deep Learning for Time Series Forecasting: A Case Study of Choosing the Best Prediction Model for Turkey Electricity Production. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 23/2 635-646. https://doi.org/10.19113/sdufenbed.494396

Zahroh, S., Hidayat, Y., Pontoh, R.S., Santoso, A., Bon, A.T, Sukono F., (2019) Modeling and Forecasting Daily Temperature in Bandung, Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag., (November), pp. 406–412.

Zhang, J., Cao, X., Xie, J., Kou, P., (2019). An Improved Long Short-Term Memory Model for Dam Displacement Prediction. Math Probl Eng 2019:1–14. Https://Doi.Org/10.1155/2019/6792189

Presentation ID / Sunum No= 18

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-9953-9927

Şehir İçi Kullanıma Uygun Yeni Nesil Çelik Bisiklet Tasarımı ve Geliştirilmesi

Zeynep Noyan[1], Tuğcan Yılmaz[1], Adem Korkmaz[2], Alper Çanakçı[1], Prof. Dr. Osman Çulha[2]
[1]*Bisan Motosiklet ve Bisiklet San. ve Tic. A.Ş.*
[2]*Twin Ar-ge Mühendislik Tic. Ltd. Şti.*

Özet

Ülkemizde spor amacıyla yaygın olarak kullanılan bisikletler, günümüzde bir ulaşım aracı olarak da etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bisikletlerin kentsel ölçekte ulaşım amaçlı kullanımının faydaları ekonomik, çevresel, sosyal yararlar ve kamu sağlığının arttırılması şeklinde gruplandırılabilmektedir. Bisiklet kullanımı ekonomik anlamda; doğal kaynakların tüketimini azaltmakta, enerji verimliliği sağlamakta, yerel yönetimlerin ulaşım altyapısına yaptıkları harcama maliyetlerini düşürmekte, temiz hava ve hareketlilik sağlayarak kent merkezlerinde ekonomik canlılık yaratmaktadır. Özellikle Covid-19 Pandemisi nedeniyle şehir içi ulaşımında büyük ölçekte tercih edilen bisikletlerin, müşteri istek ve beklentilerini karşılayacak, kullanıcıya uzun süreli kullanımlarda rahatlık sağlayacak, ekonomik açıdan düşük maliyetlerde kullanıcıya sunulacak şekilde geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Söz konusu çalışmada, bisiklet sektöründe ihtiyaç duyulan bu gereksinimlerin karşılandığı, şehir içi kullanıma uygun, uzun süreli kullanımlarda kullanıcıya rahatlık sağlayacak yeni nesil bir bisiklet modelinin geliştirilmesi ve imal edilmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu duruma yönelik yapılan çalışmada çelik malzemeler temelinde araştırma ve geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiş, dayanımdan ödün vermeden ergonomik ve ekonomik açıdan üstün yeni tasarımların ortaya koyulmasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda sırasıyla; bilgisayar destekli tasarım, malzeme seçimi, tasarım doğrulama çalışmaları ve üretim faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ürünün performans ölçütlerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi test ve karakterizasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmanın başarılı bir şekilde tamamlanmasıyla, bisiklet ve alt bileşenlerinin çelik malzemeden imal edildiği, farklı kadro ve jant ölçülerine sahip, yüksek akma ve çekme dayanımı ve gelişmiş yorulma dayanımı sunan ve şehir içi kullanımda büyük avantajlar ortaya koyacak bir bisiklet modeli geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bisiklet, Şehir Bisikleti, Tasarım, Çelik Malzeme, Gelişmiş Dayanım

Design And Development Of A New Generation Of Steel Bike For Inner-City Use

Abstract

Bicycles, which are widely used for sports in our country, are used effectively as a means of transportation today. The benefits of using bicycles for transportation in cities can be grouped as

economic, environmental, social benefits and increasing public health. The economic benefits of bicycles can be listed as reducing the consumption of natural resources, providing energy efficiency, reducing the expenditure costs of local governments on transportation infrastructure, creating economic vitality in city centers by providing clean air and mobility. In this study, studies were carried out to develop and manufacture a new generation bicycle model that meets these requirements in the bicycle industry, is suitable for urban use, and will provide comfort to the user in long term uses. In this study, research and development studies were carried out on the basis of steel materials. It is aimed to reveal new designs with ergonomic and economically superior features without reducing strength. In this context, computer aided design, material selection, design verification studies and production activities were carried out, respectively. A series of tests and characterization studies were carried out to determine the performance criteria of the product. As a result of the study, a bicycle model has been developed, in which the bicycle and its sub-components are made of steel, with different frame and rim sizes, with high yield and tensile strength and enhanced fatigue resistance, and which will offer great advantages in urban use.

Keywords: bicycle, city bike, design, steel material, enhanced strength.

1. GİRİŞ

Bisikletler, günlük aktiviteler ve sportif faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanıcılarına birçok imkan tanıyan birçok bileşenden meydana gelen bir yapılardır. Şekil 1'de bir bütün olarak bisiklet ve bisikleti oluşturan alt bileşenler görülebilmektedir. Bugün bisiklet sektöründe birçok farklı kullanım alanına uygun farklı bisiklet modelleri piyasaya arz edilmektedir. Bu bağlamda, bisiklet imalatı sırasında kullanılan malzemeler ve tasarım kriterleri oldukça büyük öneme sahiptir. Malzeme seçimi yapılırken, kullanım alanına göre optimum özelliklerin elde edilmesini sağlayacak alternatif malzemelerin belirlenmesi gerekmektedir (Çanakçı ve diğ., 2021). Çelik malzemeler ortaya koyduğu yüksek dayanım ve yorulma dayanımı gibi özellikleri sebebiyle bisiklet üretiminde geçmişten günümüze tercih edilen en yaygın malzeme grubu arasında yer almaktadır.

Şekil 1. Bir Bisikleti Oluşturan Alt Bileşenler (Çanakçı ve diğ., 2021).

Bisikletler, çevresel anlamda, kent sakinlerine hava kirliliğinin daha az olduğu, trafik probleminin azaldığı, trafikten kaynaklı gürültüden uzaklaşmış daha temiz ve daha yaşanılabilir bir çevre sunabilmektedir. Bisiklet kullanımının belki de en büyük faydaları fosil yakıt tüketmemesi ve buna bağlı olarak hava kirliliğine neden olmamasıdır. Kent içi yolculuklarda otomobil yerine bisikletin tercih

edilmesi önemli ölçüde karbon emisyonunu azaltmaktadır. Bu konuda hem akademi hem de endüstriyel düzeyde gerçekleştirilen çalışmalara rağmen bisiklet kullanımına yönelik yeterli farkındalığın sağlanamamış ve altyapı yetersizliği sebebiyle ulaşım aracı olarak bisiklet kullanımı günümüzde hala istenilen seviyeye ulaşamamıştır.

Söz konusu çalışmada ise bisiklet kullanımına yönelik farkındalığın sağlanabilmesi ve şehir içi kullanımda fosil yakıt tüketmeyen, çevre dostu bisikletlerin otomobillerin yerini alması konusunda motivasyon olacak bir bisiklet modeli geliştirilmiştir. Bu kapsamda, 46 cm kadro ölçüsüne, 28 inç jant ölçüsüne sahip, bisiklet kadrosu ve bisikleti oluşturan aynakolu, ön jant göbeği, gidon gibi alt bileşenlerin çelik malzemeden imal edildiği, 16-18 kg ağırlığında, şehir içi ve uzun süreli kullanımda kullanıcısına yüksek konfor özellikleri sunan, ekonomik ve ergonomik yeni bir şehir bisikletinin üretimi sağlanmıştır.

Bu kapsamda, şehir içi kullanımda tercih edilen bisiklet modellerinde özellikle dayanım özellikleri önem arz etmektedir. Bu duruma yönelik gerçekleştirilen çalışmada çelik malzemeler temelinde araştırma ve geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiş, dayanımdan ödün vermeden ergonomik ve ekonomik açıdan üstün yeni tasarımların ortaya koyulmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, müşterilerin dikkat ettiği diğer bir konu olan modern ve estetik görünümün elde edilmesi de çalışmada odaklanılan diğer bir nokta olmuştur.

Ulaşımda bisiklet kullanımının arttırılmasına yönelik günlük kullanıma uygun bisiklet modellerinin sektöre arz edilmek istenmesi, şehir içi kullanımda artan bisiklet kullanımına yönelik ekonomik ve ergonomik yeni bisiklet modellerine duyulan ihtiyaç, gelişen teknolojiye bağlı olarak müşteri istek ve beklentilerinin sürekli olarak değişmesi, uzun süreli kullanımda daha konforlu yeni bisiklet modellerine duyulan ihtiyaç söz konusu çalışmanın gerçekleştirilmesine motivasyon olmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma konusu olan Şehir içi kullanıma uygun bisiklet modelinin geliştirilmesi çalışmaları kapsamında takip edilen faaliyet adımlarına aşağıda detaylı olarak yer verilmiştir.

2.1. Benchmarking Çalışmaları

Çalışmanın ilk aşaması olan benchmarking çalışmaları sırasında yurtiçi ve yurtdışı pazardaki diğer şehir içi bisiklet tasarımları incelenmiş ve piyasadaki ürünlerin zayıf ve güçlü yönleri karşılaştırılmalı olarak ortaya konulmuştur. Benchmarking çalışmaları sırasında elde edilen bilgi birikimi tasarım çalışmaları sırasında proses girdisi olarak kullanılmıştır.

2.2. Malzeme Seçimi

Malzeme seçimi çalışmaları sırasında istenilen tasarım kriterlerini sağlayacak alternatif malzemeler karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve optimum özellikleri sağlayacak malzeme türü alternatifler arasından belirlenmiştir. Bu kapsamda, bisikletin üretilmesi sırasında dayanım avantajı da dikkate alındığında St-37 tip çelik malzemenin kullanılması uygun görülmüştür. Tablo 1'de St-37 tip çelik malzemenin kimyasal kompozisyonuna yer verilmiştir.

Tablo 1. St-37 Tip Çelik Malzeme Kimyasal Kompozisyonu (%ağ.) (Yazdani ve diğ., 2015:4038).

	C	**Si**	**P**	**S**	**Mn**	**Ni**	**Cr**	**Mo**	**Fe**
St37 Çelik	0.150	0.0730	<0.0080	0.0090	0.491	<0.030	<0.0100	<0.0080	Kalan

2.3. Bilgisayar Destekli Tasarım Çalışmaları ve İyileştirme Çalışmaları

Benchmarking ve malzeme seçimi çalışmaları sonrasında tasarım çalışmalarına başlanmıştır. Çalışma kapsamında, müşteri istek ve beklentilerini karşılayan, ekonomik, düşük maliyetli, uzun süreli kullanımlarda kullanıcıya rahatlık sağlayan, ergonomik bir bisiklet tasarımı geliştirilmiştir. Tasarım çalışmalarının gerçekleştirilmesi sırasında bilgisayar destekli çizim ve tasarım programlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, tasarımın doğrulanması ve bu tasarımların optimum özellikleri sağlayacak

şekilde iyileştirilmesi sırasında yine bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik yazılımlarından yararlanılmıştır.

2.4. Pilot Üretim Faaliyetleri

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen tasarım ve tasarım doğrulama faaliyetleri sonrasında çalışma konusu olan şehir bisikleti modelinin fiziksel üretim koşullarında imalatına başlanılmıştır. Şekil 2'de bir bisiklet modelinin imalatı sırasında takip edilen üretim adımlarına baştan sonra yer verilmiştir. Bu doğrultuda, sanal ortamda elde edilen tasarımlara yönelik kalıp tasarımları ve üretimleri gerçekleştirilmiştir. İmal edilen kalıplardan yararlanılarak ilgili bisiklet modelinin imalatı sağlanmıştır. İmalat işlemleri sonrasında ortaya konulan ürün alt bileşenleri montaj işlemi ile bir bütün haline getirilmiştir. Böylelikle, ön maşa, gidon, lastik ve jant, ayna kol, arka fren tertibatı, arka vites değiştirici ve dişli grubu, kadro ve sele gibi komponentlerin bir arada yer aldığı yeni nesil bisiklet modeli imal edilmiştir. Çalışma sonunda imal edilen bisiklet modeline ilişkin görsele ise Şekil 3'te yer verilmiştir.

2.5. Performans ve Saha Testleri

Pilot üretim faaliyetleri sonucunda elde edilen ürün üzerinde bir dizi performans ve saha testi gerçekleştirilerek ürüne yönelik performans ölçütleri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda mekanik özellikleri ortaya koymak amacıyla, çekme ve yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kullanım sırasında büyük önem arz eden ağırlık gibi ölçütlerin belirlenmesi de sağlanmıştır.

Şekil 2. Bisiklet Üretim Süreci (Çanakçı ve diğ., 2021).

Şekil 3. Çalışma Kapsamında İmal Edilen Şehir İçi Kullanıma Uygun Bisiklet.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gerçekleştirilen performans ve saha testleri sonucunda, çalışma kapsamında imal edilen şehir içi bisiklete ilişkin fiziksel ve mekanik özellikler ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, gerçekleştirilen çekme testleri sonucunda ürünün 235 MPa çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kaynak bölgesinde yüksek statik yüke ve 100k çevrim sayısına karşı dayanım gösterebildiği kanıtlanmıştır. Bunun yanı sıra, farklı kadro ve jant ölçülerinde bir bisiklet modelinin üretilebilirliği saptanmış olup, bu bağlamda farklı cinsiyet ve yaştaki kullanıcılara yönelik opsiyonlu bir ürün geliştirilebilmesi sağlanmıştır. Diğer bir taraftan, sahip olduğu performans ölçütleri, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olmasıyla katma değer ortaya koyan, rekabetçi nitelikte bir ürünün geliştirilmesi mümkün olmuştur.

Söz konusu çalışmayla birlikte elde edilen çıktılara aşağıda yer verilmiştir.

- Ekonomik, ergonomik açıdan üstün özelliklere sahip ve dayanımdan ödün vermeyen yeni bir bisiklet modelinin geliştirilmesi,
- Bisiklet kadrosunun ve bisikleti oluşturan aynakolu, ön jant göbeği, gidon gibi alt bileşenlerin çelik malzemeden imal edildiği yeni bir şehir içi bisiklet üretiminin sağlanması,
- Kadro ölçüsü 28 cm, Jant ölçüsü 28 inç olan, 16-18 kg ağırlığına sahip bir bisiklet tasarımın geliştirilmesi,
- 235 MPa çekme Kaynak bölgesinde yüksek statik yüke ve 100k çevrim sayısına karşı yorulma dayanımına sahip bir ürünün imal edilmesi
- Müşteri istek ve beklentilerinin karşılanması,
- Katma değerli ve rekabetçi bir ürünün elde edilmesiyle birlikte yurtiçi Pazar payının arttırılması,

Söz konusu çalışmanın ortaya koymuş olduğu kazanımlar arasında yer almaktadır.

KAYNAKÇA

ÇANAKÇI, A., BAL, O. A., YILMAZ, T., NOYAN, Z., YAĞCI, T., KORKMAZ, A., GÜLALAN, F. A., (2021). "Bisiklet Üretim Sürecinde Kalite Arttırıcı İzlenebilirlik Sisteminin Geliştirilmesi", Manisa Celal Bayar Üniversitesi IV. Ulusal Üniversite Sanayi İşbirliği, Arge ve İnovasyon Kongresi, Aralık, Türkiye.

ÇANAKÇI, A., BAL, O. A., YILMAZ, T., NOYAN, Z., YAĞCI, T., KORKMAZ, A., GÜLALAN, F. A., (2021). "Doğa Sporlarına Elverişli Yeni Nesil Bisiklet Modelinin Geliştirilmesi", Manisa Celal Bayar Üniversitesi IV. Ulusal Üniversite Sanayi İşbirliği, Arge ve İnovasyon Kongresi, Aralık, Türkiye.

YAZDANİ, M., TOROGHİNEJAD, M. R., HASHEMİ, S. M. (2015). "Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of St37 Steel-Ck60 Steel Joints by Explosive Cladding", Journal of Materials Engineering and Performance, 24, 4032–4043.

Presentation ID / Sunum No= 24

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-5035-725X

Türkiye'de Yapılmış Akuaponik Sistem Çalışmaları

Arş. Gör. Dr. Esin Özçiçek[1]
[1]*Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi*

Özet

Hidroponik (Topraksız tarım) ve kapalı devre yetiştiricilik sisteminin kombinasyonu olan akuaponik sistemler, geleneksel deniz ürünleri üretim yöntemlerine çevre dostu yeni bir alternatif gıda üretim sistemidir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan suyun hidroponik sistemlerde yeniden kullanılması esasına dayanmaktadır. Bu sistemlerin temel amacı, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan suyun kirlilik yükünü azaltmak veya ortadan kaldırmaktır. Yetiştiricilikte kullanılan suyun hidroponik sistemlere verilmesiyle bitkiler besleyici elementlerden faydalanırlar. Su, bitkiler tarafından filtre edilir ve bitkiler yetiştiricilik ünitesinin arıtma ünitesi görevini görürler. Böylece, bitkiler tarafından arıtılan suyun kirlilik yükü azalmış olur. Akuaponik sistemlerde; sürdürülebilir bir balıkçılık ve sebze üretimi bir arada sağlanmaktadır. Akuaponik sistemde genellikle tilapia, koi, sazan, levrek, alabalık, morina ve sudak vb. balıklar kullanılmaktadır. Bitkiler için de; marul, domates, biber, kabak, lahana, ıspanak, salatalık, çilek, fesleğen, kişniş otu, sarımsak, maydanoz, nane, su marulu, su teresi vb. kullanılabilmektedir. Akuaponik sistemler, ülkemiz için gelişmekte olan oldukça yeni sürdürülebilir bir gıda üretim sistemi olup, bu konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu çalışmada, ülkemizde yapılmış olan akuaponik sistemlerle ilgili çalışmalar derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akuaponik, Hidroponik, Balık, Bitki

Aquaponic System Studies in Turkey

Abstract

Aquaponic systems, which are the combination of hydroponic (Soilless agriculture) and closed-circuit farming system, are a new environmentally friendly alternative food production system to traditional seafood production methods. They are based on reusing the water used in the aquaculture in hydroponic systems. The main purpose of these systems is reducing or eliminating the pollution load of the water used in aquaculture. Plants benefit from nutrient elements by giving the water used in aquaculture to hydroponic systems. The water is filtered by the plants and the plants act as the filtering unit of the aquaculture unit. Thus, the pollution load of the water filtered by the plants is reduced. In aquaponic systems; sustainable fishery and vegetable production are provided together. In the aquaponic system, usually tilapia, koi, carp, sea bass, trout, cod and zander etc. fish are used. Also for plants;

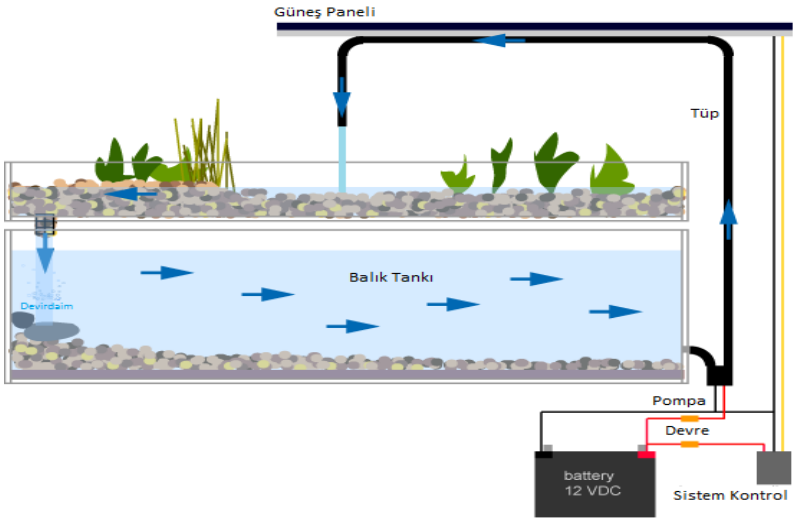
lettuce, tomato, pepper, zucchini, cabbage, spinach, cucumber, strawberry, basil, coriander, garlic, parsley, mint, water lettuce, watercress etc. can be used. Aquaponic systems are a fairly new sustainable food production system that is developing for our country, and there are limited studies on this subject. In this study, studies on aquaponic systems made in our country were compiled.

Keywords: Aquaponic, Hydroponic, Fish, Plant.

1. GİRİŞ

Nüfusun hızla çoğalmasıyla birlikte artan gıda ihtiyacı, su kaynaklarının etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır (Aksoy vd., 2012; Sahin vd., 2016; Uzen ve Cetin, 2016). Kaynakların bilinçsiz kullanımı, plansız sanayileşme, evsel atıkların doğaya salınması gibi ciddi etkenler, içilebilir ve kullanılabilir su kaynaklarını gün geçtikçe daha fazla kirletmektedir (Sensoy vd., 2006). Bu nedenle, gelecekteki tarımsal üretimlerde alternatif gıda üretim sistemlerinin kullanılması da büyük önem taşımaktadır (Saha vd., 2016). Hidroponik (Topraksız tarım) ve kapalı devre yetiştiricilik sisteminin kombinasyonu olan akuaponik sistemler, geleneksel deniz ürünleri üretim yöntemlerine çevre dostu yeni bir alternatif üretim sistemidir (Tyson vd., 2011; Buzby ve Lin, 2014). Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan suyun hidroponik sistemlerde yeniden kullanılması esasına dayanmaktadır. Bu sistemlerin temel amacı, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan suyun kirlilik yükünü azaltmak veya ortadan kaldırmaktır (Rakocy vd., 2003; Diver, 2006; Rakocy vd., 2006). Yetiştiricilikte kullanılan su, besleyici elementler açısından oldukça zengindir. Bu suyun hidroponik sistemlere verilmesiyle, bitkiler besleyici elementlerden yararlanırlar. Bitkiler suyu filtre eder ve arıtma ünitesi görevini görürler. Böylece, bitkiler tarafından arıtılan suyun kirlilik yükü azalır. Sistem, yetiştiricilikte kullanılan suyun borularla bitkilerin yetiştirildiği tanka getirilmesi ya da borulara bitkilerin konulacağı kadar genişlikte delikler açılıp bu kısımlara yerleştirilmesi şeklindedir (Backyard, 2007) (Şekil 1).

Şekil 1. Akuaponik Sistem (Anonim, 2022).



Akuaponik sistemde, bitkileri beslemek için besin açısından zengin balık gübresi kullanılır. Bitki kökleri ve kök bakterileri, suda balığa zarar veren amonyak ve dışkı atıkları ayrıştırmaktadır. Bu atıklar, balık dışkısı ile tüketilmeyen yemlerdir. Normal şartlarda atık maddelerin su ortamından uzaklaştırılması, sistemlere yeni bir su girişi ile ortam suyunun sürekli yenilenmesi ya da suyun mekanik ve biyolojik olarak filtrelenmesiyle olur. Akuaponik sistemlerde ise filtrasyon, doğal yollarla doğrudan bitki kökleri tarafından gerçekleştirilir (Liang ve Chien, 2013; Selek, 2017). Bu sistemler, çözünmüş atıkların yararlı nitrifikasyon bakterileri tarafından etkili bir şekilde bitki besinlerine dönüştürüldüğü nitrojen döngüsü prensibi ile çalışır. Bitkiler bu besinleri büyümeleri için kullanırlar (Quillere vd., 1995; Ghaly vd., 2005; Nelson, 2008). Akuaponik bitkilerde kök sistemi besinlerle doğrudan temas halinde

olduğundan ve sulu bir fazda besin alımı çok daha verimli olduğundan, toprakta yetişen muadillerine göre daha hızlı büyürler (Azad vd., 2013).

Akuaponik sistemler çeşitli faydalar sağlar: balık tanklarından gelen çözünmüş atık besinler bitkiler tarafından emilir ve böylece çevreye deşarjı azaltır. Temiz su daha sonra balık tanklarına geri verilir. Bu nedenle balık tanklarındaki su değişim oranı önemli ölçüde azalır ve bu özellikle kurak bölgelerde akuaponik sistemlerin işletim maliyetlerini azaltır. Balığın ana boşaltım ürünü olan amonyak ve yenmemiş balık yemi, bitkiler için daha uygun olan besin formlarına dönüştürülür. Bu mekanizma, besin solüsyonlarını ayarlama ihtiyacını ortadan kaldırır ve balık tanklarında sık su değişimi ihtiyacını en aza indirir (Nozzi et al., 2018). Balık ve bitki üretimi birleştirildiğinde, su kullanımına oranla üretim en üst düzeye çıkmaktadır (Rakocy ve ark., 1993). Akuaponik sistemler, nispeten küçük bir alan gerektirdiğinden kentsel ortamlar için oldukça uygundur. Bu avantaj sayesinde, sistemler tüketicilere yakın yerleştirilebilir, böylece ürünlerin nakliye, paketleme ve depolama maliyetleri azalır (Rakocy et al., 2004; Somerville et al., 2014). Akuaponik sistemlerde çiftçiler kimyasal gübre, herbisit veya böcek ilacı kullanmadan bitki yetiştirebilirler (Milicic vd., 2017). Bu sistemler, toprak yapısı ve su kaynağının mesafesi dikkate alınmadan herhangi bir yerde kurulup çoğu iklim şartlarında işletilebilir (Clarkson ve Lane, 1991). Bütün yıl boyunca istenildiği zaman yetiştiricilik yapılarak ürün alınabilir. Ekolojik ve sürdürülebilir tarıma, organik yetiştiricilik koşullarına uygundur. Teknolojik açıdan gelişmekte olan ülkeler için düzenlenebilir ve bölgesel gıda güvenliğini sağlayabilir (Türker, 2018). Sürdürülebilir bir balıkçılık ve sebze üretimi bir arada sağlanmış olur (Adler ve ark., 2000).

Akuaponik sistemlerin dezavantajları ise; sistem kurma maliyetlerinin yüksek olması, sürekli gözlem ve kontrol gerektirmesidir (Kerim ve Tırıl, 2009). Bu sistemlerde yapılması gereken günlük kontroller önem arz etmektedir. Bunlar; üretilecek balıkların beslenmesi, su parametrelerinin kontrolü ve filtre sistemlerinin temizliğidir (Bingöl, 2019). Ayrıca, uygun balık ve bitki türleri seçilmediği takdirde sistem verimli olmayabilir (Bodur ve Okudur, 2017).

Akuaponik sistemlerde su kalitesinin optimizasyonu oldukça önemlidir. Su kalite parametreleri yetiştirilecek olan balık ve bitki türüne göre ayarlanırken, yararlı bakterilerin de yaşam koşullarına uygun olmalıdır (Kargın ve Bilgüven, 2018). Suyun kalitesini belirleyen kritik etmenler; sıcaklık, çözünmüş oksijen, karbondioksit, pH, amonyak, nitrit, nitrat ve klor olmaktadır. Bununla birlikte, balığın türü, büyüme ve beslenme hızı, hacim ve diğer çevre faktörleri de su kalitesinde ani değişimlere sebep olabilir (Dede ve Türkan, 2009).

Akuaponik sisteme genellikle toleransı yüksek olan balık türleri (Örnek: tilapia, koi, sazan, levrek, alabalık, morina ve sudak) seçilir (Türker, 2018). Bitkiler için de bu sistemdeki performansı, bitkinin büyüme evreleri ve besin ihtiyacına bağlı olarak sebze (Örnek: marul, domates, biber, kabak, lahana, ıspanak, salatalık, çilek), hayvansal üretimde yem olarak kullanılabilen sucul bitkiler (Örnek: su marulu, su teresi) ve ekonomik değeri olan tıbbi veya aromatik bitkiler (Örnek: fesleğen, kişniş otu, sarımsak, maydanoz, nane) kullanılabilmektedir (Türker, 2018; Bingöl, 2019).

Akuaponikle ilgili ilk makaleler 1970'li yıllarda yayınlanmaya başlanmış olup, 1974'te The Journal of New Alchemists dergisinde William McLarney tarafından "Balık Havuzlarının Verimli Sularıyla Bahçe Bitkilerinin Sulanması" ve "Balık Havuzlarının Verimli Sularıyla Bahçe Bitkilerinin Sulanması Üzerine Denemeler" adlı makaleler yayınlanmıştır (Diver, 2000). 1985'te Kuzey Karolina Üniversitesi'nde domates bitkisi ekilmiş olan kum biyofiltresinin içinden tilapia havuzlarından gelen atık suyun geçirildiği sistemle bilinen ilk kapalı devre akuaponik sistem oluşturulmuştur (Goddek vd., 2015).

Akuaponik sistemler, ülkemiz için gelişmekte olan oldukça yeni sürdürülebilir bir gıda üretim sistemi olup, bu konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu çalışmada, ülkemizde yapılmış olan akuaponik sistemlerle ilgili çalışmalar derlenmiştir.

1.1. Ülkemizde Yapılmış Akuaponik Sistem Çalışmaları

Türker (2018), akuaponik sistemde farklı dönemlerde yetiştirilen bitkilerin su kalitesindeki performansı değerlendirmiştir. Akuaponik üretim sisteminde balıklardan koi ve *Cyprinus carpio*;

bitkilerden marul (*Lactuca sativa*) ve çilek (*Fragaria* sp.,) bulunmaktadır. Bu sistemdeki denemelerde makro besinlerin sistemden giderilme oranları, marul uygulamasında fosfat %42,95 ve nitrat %55,45; çilek uygulamasında da fosfat %35,49 ve nitrat %46,36 olarak bulunmuştur.

İzci vd. (2020), akuaponik sistemde nil tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve nane (*Mentha piperita*) yetiştiriciliği çalışmasında bitkilerde belirgin bir şekilde hızlı büyüme ve balıklarda %100'e yakın yaşama ve büyüme oranı elde etmişlerdir.

Bingöl (2019) tarafından alternatif tarım yöntemlerinden "Aeroponik", "Akuaponik" ve "Hidroponik" tarım yöntemleri ele alınmıştır. Alternatif tarım yöntemlerinin tanımı, çeşitleri, avantaj ve dezavantajları, yetiştirilebilecek ürünler ve sistemlerde dikkat edilmesi gereken noktalar açıklanmıştır.

Pamukoğlu vd. (2018) balık atıksularını doğal arıtım yöntemi olan akuaponik tekniğiyle arıttıkları çalışmada; çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık, amonyum azotu (NH_4-N), nitrit azotu (NO_2-N), toplam fosfor (TP) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümlerini yapmışlardır. İlk ölçümde KOİ giderimi %2,1 iken 5. ölçümde %36,1; ilk ölçümde TP giderimi %2,2 iken 5. ölçümde %23,4 değerlerine yükselmiştir. Akuaponik sistemdeki bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu ifade etmişlerdir.

Keskinbalta vd. (2015) Japon balığı (*Carassius auratus* L. 1758) ve arpa bitkisini (*Hordeum vulgare* L.) kullanarak oluşturdukları akuaponik sistemde, arpa bitkisinin suyun nitrat, nitrit, fosfat değerlerinde yaptığı değişim ile balıkların gelişimi üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, kontrol grubuyla kıyaslandığında nitrit değerinin %90 daha az, nitrat değerinin %68,20 daha fazla, fosfat değerinin ise %61,86 daha az olduğu tespit edilmiştir. Balıkların ağırlıkça büyüme oranının ise kontrol grubuna göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Adiloğlu vd. (2016) yaptıkları araştırmada, artan miktarlarda akuakültür atığı (1. doz: 0 g/m^2, 2. doz: 50 g/m^2, 3. doz: 100 g/m^2, 4. doz: 150 g/m^2) uygulamasının salata (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) bitkisinin bazı makro ve mikro besin elementi içeriği üzerindeki etkisini belirlemişlerdir. Artan akuakültür atığı ile salata bitkisinin Ca, K, P, Fe, Mg, Cu, Zn, Mn içeriğindeki değişimler önemli bulunmamakla birlikte, akuakültür atığının bitkisel üretimde ve sera tarımında kullanılabilecek alternatif bir organik gübre kaynağı olabileceği belirtilmiştir.

Eltez ve Taşkavak (2016) ot sazanı (*Ctenopharyngodon idella valenciennes*) yetiştiriciliğinde kullanılan havuz suyunun salata-marul üretiminde kullanılabilirliği üzerine bir araştırma adlı çalışmasında, iki farklı yemleme dozu ile balıkları beslemişlerdir. Havuzdaki canlı ağırlığın %4'ü kadar yemle beslenen balıkların suyunun resirküle olduğu kanallarda bulunan salata-marulun ortalama bitki ağırlığı ve toplam verimi, havuzdaki canlı ağırlığın %3'ü kadar yemle beslenmeye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yem değerlendirme performanslarının, canlı ağırlığın %3'ü kadar yemleme yapıldığı balıklarda daha iyi olduğu ifade edilmiştir.

Güneri (2018), alabalık üretim havuzlarındaki atık çamurunun turunç (*Citrus aurantium* L.) çöğürü yetiştiriciliğinde bitki besin elementleri içeriğine etkisini ve mineral gübre yerine kullanılabilirliğini belirlemiştir. Havuzlardan toplanan atık çamur gölgede kurutularak 0, 5, 10 ve 20 g kg^{-1} dozlarında, turunç bitkilerinin bulunduğu ortama ilave edilmiştir. Her farklı atık doz için; 0, %50 ve %100 doz olmak üzere 3 ayrı Hoagland besin solüsyonu uygulaması yapılmıştır. Atık dozu ile Hoagland dozlarının birlikte bulunduğu kombinasyonlarda P: %0,22 – 0,34, N: %1,40 – 4,64; K: %0,47 – 2,61, Mg: %0,28 – 0,34, Ca: %2,35 – 3,07, Na: 158 – 664 mg kg^{-1}, Fe: 73,3 – 126,7 mg kg^{-1}, Mn: 9,3 – 30,7 mg kg^{-1}, Zn: 23,3 – 46,3 mg kg^{-1} ve Cu: 2,0 – 19,7 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Yıldız ve Bekcan (2017) tarafından yapılan çalışmada, Nil tilapia (*Oreochromis aureus*) ve domatesin (*Solanum lycopersicum*) farklı balık yoğunluğuna sahip akuaponik sistemde üretim sonuçları bildirilmektedir. Yavru tilapialar farklı oranlarda stoklanmıştır; 25 kg/m^3 (Grup 1), 35 kg/m^3 (Grup 2) ve 50 kg/m^3 (Grup 3). 126 gün boyunca %2 canlı ağırlık seviyesinde %45 ham protein içeren yemle beslenmiştir. Balık yoğunluğu, balık büyüme parametrelerini etkilemiş ve en yoğun grup balık gelişimi ve yem verimliliği açısından en iyi sonuçları göstermiştir.

Kizak ve Kapaligoz (2019) çalışmasında, Japon balığının (*Carassius auratus*) gelişimi akuaponik (APS) ve kapalı devre (sump filtre) (SFS) sistemlerde karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve bu filtre sistemlerinin su kalite parametrelerine olan etkileri araştırılmıştır. APS'de roka (*Eruca*

vesicaria) bitkisi kullanılmış ve mikro yeşillik olarak üretilmiştir. Japon balığı - roka APS'nin su kalitesini optimum koşullarda tutma açısından SFS ile benzer olduğunu, Japon balığının yaşama oranı ve gelişimi üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığını ve roka bitkisinin mikro yeşillik olarak üretilebileceğini ifade etmişlerdir.

Yeşiltaş vd. (2021), farklı inorganik substratların Afrika yayın balığı (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) ve marul (*Lactuca sativa* l.) büyüme performansına etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, akuaponik sistemde marulun büyüme performansı üzerinde başlangıç bitki uzunluğu ve sürgün/kök oranının önemli faktörler olduğunu ortaya koymuştur. En iyi marul verimi performansı zeolit substratta gözlenmiş, ancak hidroponik oluklar için ekonomik olan mevcut seçeneğin çakıl olduğu belirtilmiştir.

Guzel vd. (2018) koi sazanları (*Cyprinus carpio*) ve hıyar bitkileri (*Cucumis sativus*) için akuaponik ve hidroponik sistemlerdeki kültür ortamları çalışmasında, bu sistemlerde yetiştirilen bitkilerin antioksidan enzim aktiviteleri, besin elementi ve klorofil içerikleri karşılaştırılmıştır. Akuaponik sistemde Cd, Cr, Fe, Ni, Pb ve Zn seviyeleri hidroponik sisteme göre daha yüksek iken, hidroponik sistemde B, Cu ve Mn seviyeleri daha yüksektir. Her iki sistemde de antioksidan enzim aktivitelerinde fark görülmemiştir. Hidroponik sistemdeki klorofil içeriği ise akuaponik sisteme göre daha yüksek bulunmuştur.

Kargın ve Bilgüven (2018) tarafından akuakültürde akuaponik sistemler ve önemi ele alınmıştır. Çalışmada, akuaponik sistemlerin farklı tasarımları ve geliştirilmiş dizayn örnekleri yer almaktadır.

Mol (2019), *Clarias gariepinus* (Burchell 1822)'un akuaponik sistemdeki uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada nitrat, nitrit, amonyak, sıcaklık ve pH değerleri incelenmiştir. Sonuç olarak, marul üretimi (*Lactuca sativa)* gerçekleşmiş ve *Clarias gariepinus*'un bu sistem için oldukça elverişli bir tür olduğu belirtilmiştir.

Yeşiltaş (2021) bazı ticari mikroalg türlerinin akuaponik sistemlerde kültürü çalışmasında, bu sistemde üretilen katı atıklardan *Chlorella minutissima, Haematococcus pluvialis* ve *Botryococcus braunii* üretimi yapılmıştır. Akuaponik sistemde Afrika yayın balığı (*Clarias gariepinus*) ve marul bitkisi (*Lactuca sativa*) kullanılmıştır. Mikroalgal büyümede hücre sayısı ortalaması bakımından en verimli türün *Chlorella minutissima*, biyokütle artışında en iyi verim sağlanan türün ise *Botryococcus braunii* olduğu tespit edilmiştir.

Aksoy (2020) tarafından akuaponik sistem ile geleneksel toprak yetiştiriciliği, brokoli fidesinin gelişim ve kalite parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, akuaponik sistemlerin su kalitesini iyileştirmesi üzerine etkileri incelenmiştir. Akuaponik sistemin brokoli fide yetiştiriciliğine uygun olduğu hatta bazı özellikleri ile geleneksel toprak yetiştiriciliğinden daha üstün olduğu ifade edilmiştir.

Uslu (2019)'nun çalışmasında, akuaponik üretim sisteminde biber (*Capsicum annuum*) ve marul (*Lactuca sativa*) bitkilerinin üretim suyu kalitesi üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. 24°C su sıcaklığında gerçekleştirilen çalışmanın sonunda balık ve bitkilerin %100 oranla büyüdükleri gözlemlenmiştir. Bu çalışma, besin tuzu takviyesi olmadan biber ve marul bitkilerinin koi balığı (*Cyprinus carpio)* ile birlikte üretilebileceğini göstermiştir.

Palazekin (2019) tarafından laboratuvar ortamında ve kapalı bir alanda akuaponik sistem kurulmuş ve deneysel parametreler araştırılmıştır. Tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve kıvırcık marul bitkisinin gelişimi incelenmiştir. Fiziko-kimyasal ve kimyasal parametreleri ölçülen sistemlerin akuaponik sistemlerde yetiştirilen balık ve bitki için optimum aralıklara uygun olduğu tespit edilmiştir.

Ertaş (2019) sazan (*Cyprinus carpio* L.) kullanılan akuaponik üretim modeliyle reyhan (*Ocimum basilicum* L.) ve lavanta (*Lavandula angustifolia*)'nın farklı bitki yataklarında yetiştiriciliği çalışmasında, reyhan ve lavantanın su yatağında daha fazla ürün verdiği saptanmıştır.

Aydın (2018)'ın çalışmasında, çakıl ve sal sistemlerinde kıvırcık marul (*Lactuca sativa*) yetiştiriciliği yapılmış ve Nil Tilapiası (*Oreochromis niloticus*) kullanılmıştır. Sal sisteminde üretilen marulların gelişimi, çakıl sistemine kıyasla daha yüksek düzeydedir. Sonuç olarak, kıvırcık marul yetiştiriciliğinde bu iki sisteminde rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir.

Selek (2017) tarafından tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve fesleğen (*Ocimum basillicum*) yetiştiriciliği yapılmış ve sudaki besin elementleri değişkenlerine bağlı olarak balıklarda yem değerlendirme ve büyüme performansı ile fesleğen bitkisinde kök ve gövde gelişimleri araştırılmıştır. Resirküle (RS) ve akuaponik sistem (AS) olarak iki ayrı deneme grubu oluşturulmuştur. Çalışma sonunda, iki farklı üretim sisteminde elde edilen verilere göre, AS'de su ortamında ölçülen amonyum (NH_4), nitrit (NO_2) ve nitrat (NO_3) miktarları, RS'deki değerlere göre daha düşük oranlarda kaydedilmiştir.

Ödün (2016), güneş enerjisi destekli akuaponik sistemlerde, koi sazanı (*Cyprinus carpio*) ve hıyar (*Cucumis sativus*) yetiştiriciliğini araştırmıştır. Akuaponik sistemin; yenilenebilir enerji kaynaklarından, güneş enerjisi ile desteklenmesinin faydalı ve kârlı olacağını, hem koi ve diğer akvaryum balıklarının yetiştiriciliği açısından hem de suda eksik olan makro ve mikro elementlerin tamamlanması ile hıyar gibi sebze yetiştiriciliğinde de faydalanılabileceği ifade edilmiştir.

Gökvardar (2013) tarafından ilk kez tatlı suya adapte edilen levrek (*Dicentrarchus labrax*) türü ile marul *(Lactuca sativa)* bitkisinin akuaponik sistemde tek bir kapalı devre alt yapısında üretimi yapılmıştır. Sonuç olarak, levrek balığının fizikokimyasal şartların optimum olduğu durumlarda akuaponik sistemler için uygun bir tür olduğu belirtilmiştir.

2. SONUÇ

Akuaponik sistemler, suyun iki ünite arasında paylaşıldığı, en az bir devridaimli akuakültür sistemi ve bağlantılı bir hidroponik ünite içeren entegre bir multi-trofik, suda yaşayan gıda üretim yaklaşımı olarak tanımlanır. Akuaponikler gelişmekte olan bir teknoloji ve bilim konusudur. Önümüzdeki yıllarda devam etmesi ve artması muhtemel olan alana büyük bir ilgi vardır. Özellikle su kullanım verimliliği, besin kullanım verimliliği, sürdürülebilir doğası, tek bir girdi kaynağından (balık yemi) iki ürün üretme kabiliyeti ve azaltılmış çevresel etkisi gibi pek çok avantajı vardır (Lennard ve Goddek, 2019). Bununla birlikte, maliyetlerin yüksek olması ve sürekli kontrol gerektirmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Kerim ve Tırıl, 2009). Akuaponik sistemlerde, su kalite parametreleri yetiştirilecek olan bitki ve balık türüne göre ayarlanırken, yararlı bakterilerin de yaşam koşullarına uygun olmalıdır (Kargın ve Bilgüven, 2018). Akuaponik sistemler, ülkemiz için gelişmekte olan oldukça yeni sürdürülebilir bir gıda üretim sistemi olup, bu konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu çalışmada, ülkemizde yapılmış olan akuaponik sistemlerle ilgili çalışmalar derlenmiştir.

KAYNAKLAR

ADİLOĞLU, A., ERYILMAZ AÇIKGÖZ, F., ADİLOĞLU, S., SOLMAZ, Y. (2016). Artan Miktarlarda Akuakültür Atığı Uygulamasının Salata (*Lactuca sativa* L. var. crispa) Bitkisinin Bazı Makro ve Mikro Bitki Besin Elementi İçerikleri Üzerine Etkisi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, vol. 13, pp. 96-101.

ADLER, P.R., HARPER, J.K., WADE, E.M., TAKEDA, F., SUMMERFELT, S.T. (2000). Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. International Journal of Recirculating Aquaculture, 1, 15-34.

AKSOY, Y.C. (2020). Akuaponik Sistemde Brokoli (*Brassica oleraceae* L.*)* Fidelerinin Gelişimi ve Su Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Tarım ve Yaşam Bilimleri Anabilim Dalı, Çankırı.

AKSOY, O., ERBULUCU, T., ONER, S., TEKELİ, I.B. (2012) Phytotoxic and genotoxic effects of water samples taken from the eastern channel of Kocaeli on Vicia faba and Zea mays. Fresen. Environ. Bull. 21(7), 1819-1826.

ANONİM (2022). https://ziraatyapma.blogspot.com/2014/02/aquaponics-systems-balk-kulturuyle.html Erişim Tarihi: 20.02.2022

AYDIN, H. (2018). Akuaponik Sistemlerde Kıvırcık Marul (*Lactuca sativa*) Yetiştiriciliği, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı, İzmir.

AZAD, K.L., ISHİKAWA, K., DİAZ-PEREZ, J.C., EATON, T.E., TAKEDA, N. (2013). Growth and development of komatsuna (*Brassica rapa* L. Nothovar) in NFT (nutrient film technique) system, as influenced by natural mineral. Agric. Sci. J., 4: 1-7.

BACKYARD (2007). Aquaponics Magazine For The Backyard Enthusiast, lssue 1.

BİNGÖL, B. (2019). Alternatif Tarım Yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidroponik. Harman Time Dergisi, 7(82), 34-42.

BODUR, T. ve OKUDUR, E. (2017). Akuaponik Balık ve Bitki Üretim Sistemi. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., 102, Ankara.

BUZBY, K.M. ve LİN, L.S. (2014) Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. Aquacultural Engineering. 63, 39-44.

CLARKSON, R. ve LANE S.D. (1991). Use of small-scale nutrient film hydroponic technique to reduce mineral accumulation in aquarium water. Aquaculture and Fisheries Management, 22, 37-45.

DEDE G. ve TÜRKAN E. (2009). Balık ve Bitkilerin Birlikte Yetiştirildiği Sistem: Aquaponik Sistemler, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Araştırma.

DİVER, S. (2006) Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. Horticulture systems guide. National Centre for Appropriate Technology. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, USA, 37.

DİVER, S. (2000). Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture, Attra.

ELTEZ, R.Z. ve TAŞKAVAK, E. (2016). A study on the usability of pond water used for growing grass carp (*Ctenopharyngodon idella valenciennes*) in salad-lettuce production. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 33(4): 381-388.

ERTAŞ, İ. (2019). Sazan (*Cyprinus carpio* L.) Kullanılan Akuaponik Üretim Modeliyle Reyhan (*Ocimum basilicum* L.) ve Lavanta (*Lavandula angustifolia*)'nın Farklı Bitki Yataklarında Yetiştiriciliği, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı, Adana.

GHALY, A.E., KAMAL, M., MAHMOUD, N.S. (2005). Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. Environment International 31: 1–13.

GODDEK, S., DELAİDE, B., MANKASİNGH, U., RAGNARSDOTTİR, K.V., JİJAKLİ, H., THORARİNSDOTTİR, R. (2015). "Challenges of sustainable and commercial aquaponics." Sustainability 7(4): 4199-4224.

GÖKVARDAR, A. (2013). Kapalı Devre Sistemlerde Akuaponik Uygulamaları: Deniz Balıkları-Bitkisel Üretim Entegrasyonun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı, İzmir.

GUZEL, S., ODUN, U.C., CAKMAKCİ, T., CAKMAKCİ, O., SAHİN, U. (2018). The effect of cucumber (*Cucumis sativus*) cultivation in aquaponic and hydroponic systems on plant nutrient elements and antioxidant enzyme activity. Fresenius Environmental Bulletin, 27(1), 553-558.

GÜNERİ, M. (2018). Balık Çiftliği Atık Çamuru Uygulanan Turunç Çöğürlerinde Yaprak Besin Element Düzeylerinin Belirlenmesi, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 15(1):9-16.

İZCİ, B., SELEK, M., BERBER, S. (2020). Akuaponik Sistemde Nil Tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve Nane (*Mentha piperita*) Yetiştiriciliği. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 6(1), 30-36.

KARGIN, H. ve BİLGÜVEN, M. (2018). Akuakültürde Akuaponik Sistemler ve Önemi, Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 32, Sayı 2, 159-173.

KERİM, M. ve TIRIL, S. (2009). XV. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Akuaponik Uygulamaları, Rize.

KESKİNBALTA, M., HAMZAOĞLU, G., ÇELİK, M., DERNEKBAŞI, S. (2015). Japon Balığı (*Carassius auratus* L. 1758) ve Arpa Bitkisinin (*Hordeum vulgare* L.) Gelişimi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Üzerine Aquaponik Sistemin Etkileri. Aquaculture Studies, 15(4), 35-44.

KİZAK, V. ve KAPALİGOZ, S. (2019). Water quality changes and goldfish growth (*Carassius auratus*) in microgreen aquaponic and recirculating systems. Feb-fresenius Environmental Bulletin, Volume 28, 6460-6466.

LENNARD, W. ve GODDEK, S. (2019). Aquaponics: The Basics In: Goddek S, Joyce A, Kotzen B, Burnell GM (eds) Aquaponics food production systems. Springer, Cham pp 113-143.

LİANG, J.Y. ve CHİEN, Y.H. (2013) Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia-water spinach raft aquaponics system. International Biodeterioration & Biodegradation. 85, 693- 700.

MİLİCİC, V., THORARİNSDOTTİR, R., SANTOS, M.D., HANCİC, M.T. (2017). Commercial aquaponics approaching the European Market: To consumers' perceptions of aquaponics products in Europe. Water, 9(2): 80-102.

MOL, O. (2019). Dünya'da ve Türkiye'de Yenilikçi Tarım Yöntemi Olan Akuaponik Uygulamasında Alternatif Bir Balık Türü *Clarias gariepinus*'un (Burchell,1822) (Kara Yayın) Denenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Eskişehir.

NELSON, R.L. (2008). Aquaponic Food Production. Montello, WI: Nelson and Pade Inc Press.

NOZZİ, V., GRABER, A., SCHMAUTZ, Z., MATHİS, A., JUNGE, R. (2018). Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. Agronomy 8 (3), 27.

ÖDÜN, U.C. (2016). Güneş Enerjisi Destekli Akuaponik Sistemlerde Koi (*Cyprinus carpio*) ve Hıyar (*Cucumis sativus*) Yetiştiriciliği Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Van.

PALAZEKİN, D. (2019). Balık Yetiştiriciliği Atık Sularının Akuaponik Tekniği ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

PAMUKOĞLU, M.Y., BAYRAK, H., DEMİR, H., GÜRLER, H., TÜRK, S.N., ÇOBAN, Ö., AVCI, T., ŞAHİN, E. (2018), Akuaponik (Biyolojik Arıtma Tekniği) Tekniği ile Balık Atıksularının Arıtılması, İklim Değişikliği ve Çevre, 3, (2) 1–9.

QUİLLERE, I., ROUX, L., MARİE, D., ROUX, Y., GOSSE, F., MOROTGAUDRY, J.F. (1995). An artificial productive ecosystem based on a fish bacteria plant association. 2. Performance. Agriculture, Ecosystems and Environment 53: 19–30.

RAKOCY, J.E., MASSER, M.P., LOSORDO, T.M. (2006) Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 454.

RAKOCY, J.E., BAİLEY, D.S., SCHULTZ, R.C., THOMAN, E.S. (2004). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. 31 October 2019. https://cals.arizona.edu/ azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/676.pdf

RAKOCY, J.E., SHULTZ, R.C., BAİLEY, D.S., THOMAN, E.S. (2003) Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. In South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC. 648, 63-69.

RAKOCY, J.E. ve HARGREAVES, J.A. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review. In: Techniques for Modern Aquaculture. Editör: Wang, J., St. Joseph, Michigan, USA. p.112-136.

SAHA, S., MONROE, A., DAY, M.R. (2016) Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. Annals of Agricultural Sciences. 61(2), 181-186.

SAHİN, U., KUSLU, Y., KİZİLOGLU, F.M., CAKMAKCİ, T. (2016) Growth, yield, water use and crop quality responses of lettuce to different irrigation quantities in a semi-arid region of high altitude. Journal of Applied Horticulture. 18(3), 195-202.

SELEK, M. (2017) Balık ve Bitki Üretiminin Entegrasyonu: Kapalı Devre ve Akuaponik sistemlerde Nil Tilapia Balığı (*Oreochromis niloticus*) ve Fesleğen Yetiştiriciliği (*Ocimum basillicum*), Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı, Çanakkale.

SENSOY, S., TURKMEN, O., CİRKA, M., DURSUN, A., TUFENKCİ, S. (2006) Sewage sludge and farmyard manure ratios in growing media affect nutrient and heavy metal contents in cucumber. Fresen. Environ. Bull. 15(11), 1408- 1412.

SOMERVİLLE, C., COHEN, M., PANTANELLA, E., STANKUS, A., LOVATELLİ, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. (589), I.

TÜRKER, H. (2018). Nutrient Dynamics of Different Plants in an Aquaponics Aquaculture System. *Aquatic Sciences and Engineering*, 33(3): 77-83.

TYSON, R.V., TREADWELL, D.D., SİMONNE, E.H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. Hortechnology. 21, 6-13.

USLU, O. (2019). Akuaponik Üretim Sisteminde Bitkilerin Su Kalitesi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Muğla.

UZEN, N. ve CETİN, O. (2016) Evaluation of physical and economical water use ındices in two ırrigation schemes in Southeastern Anatolia Region of Turkey. Fresen. Environ. Bull. 25(4), 4863-4871.

YEŞİLTAŞ, M. (2021). Bazı Ticari Mikroalg Türlerinin Akuaponik Sistemlerde Kültürü, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı, İzmir.

YEŞİLTAŞ, M., KOÇER, M.A.T., SEVGİLİ, H., KORU, E. (2021). Effect of Different Inorganic Substrates on Growth Performance of African Catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) and Lettuce (*Lactuca sativa* L.). Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 9(4), 714-722.

YILDIZ, H.Y. ve BEKCAN, S. (2017). Role of stocking density of tilapia (*Oreochromis aureus*) on fish growth, water quality and tomato (*Solanum lycopersicum*) plant biomass in the aquaponic system. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, *2*(6), 238971.

Presentation ID / Sunum No= 29

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-8253-6412

Kaolin Dolgulu Polipropilen Kompozitlerin Renk Değişimi ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Dr. Öğr. Üyesi Sencer Sureyya KARABEYOGLU[1], Prof. Dr. Bulent EKER[2]

[1]*Kirklareli University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department,sencerkarabeyoglu@klu.edu.tr*

[2]*Tekirdag Namik Kemal University, Faculty of Agriculture, Biosystem Engineering Department,beker@nku.edu.tr*

Özet

Polipropilen birçok endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir ve dolgu malzemeleri ile etkileşimi derin bir araştırma gerektirmektedir. Polipropilen, ağırlıkça %1 ila ağırlıkça %8 oranlarında kaolin ile tavkiye ediilmiştir. Numunelerin mekanik özellikleri çekme, darbe ve sertlik testleri ile incelenmekte ve mikroyapı taramalı elektron mikroskobu ve Fourier transform kızılötesi spektrometrisi ile karakterize edilmektedir. Çalışmada kaolinin kompozitin rengini koyulaştırdığı görülmüş ve kompozitin rengi ile mekanik mukavemeti arasında bağlantı kurulduğu görülmüştür. Üretilen kompozitlerin renk değerleri renk belirleme cihazı ile ölçülerek renk değişimi ile mekanik özellikler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu çalışma, renk değişimini ölçerek hızlı ve tahribatsız mekanik özellik tahmin yöntemi önermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaolin, polipropilen, renk, çekme, darbe, sertlik.

A Comparison of Color Variation and Mechanical Properties of Kaolin Filled Polypropylene Composites

Abstract

Polypropylene has a wide utilization area in numerous industries and its interaction with filler materials requires deep research. Polypropylene is filled with kaolin in ratios of 1 wt% to 8 wt%; mechanical properties of samples are investigated by tensile, impact and hardness tests and microstructure is characterized with scanning electron microscope and Fourier transform infrared spectrometry. It was observed that kaolin has darkened the color of composite and a connection was made between composite's color and mechanical strength. Color values of produced composites were measured with color determination device and a comparison between color variation and mechanical properties was made. This study proposed quick and non-destructive mechanical property estimation method by measuring color variation.

Keywords: Kaolin, polypropylene, color, tensile, impact, hardness.

1.INTRODUCTION

Polypropylene (PP) is produced by polymerizing propylene which is a by-product of crude oil refinement process (Ali et al., 2011); and it is one of the most used plastics in industrial applications such as plastic food containers, snack wrappers in food packaging industry (Uwa et al., 2019), (Wu et al., 2021); ropes, carpets and big bags in textile industry (Jambrich & Hodul, 1999), (Rathod et al., 2021); and seating, dashboard, fuel system, interior trim, electrical components, liquid containers in automotive (Manjula et al., 2017), (Patil et al., 2017) owing to its asymmetrical polymeric structure (Bazan et al., 2021). Its popularity in polymeric applications is a result of its low density, high melting temperature, recyclability and mechanical properties (Fasihnia et al., 2018). However, polymers without fillers and reinforcements can have poor mechanical strength and electrical/thermal conductivities (J. Patil et al., 2020).

Kaolin is an inorganic material and its main constituent is kaolinite which is represented with the chemical formula of $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ and composed of granite and aluminum silicates (Varga, 2007). It has natural properties such as low cost, thermal resistant and rough surface of kaolin particles make it a possible filler material for polymeric composites (Liu et al., 2012), (Ouchiar et al., 2015). Filling polymers with kaolin has increasing effect on tensile strength by providing thermal stability (Zhang et al., 2012).

Few studies were conducted based on PP composites with kaolin as filler material. (Yang et al., 2017) produced kaolin filled PP composites with kaolin ratios of 1 wt% to 5 wt% and a comparison was made with pure PP. Before polymerization, kaolin was modified with silane. It was shown that 2 wt% kaolin filled PP composite showed better mechanical and thermal properties. Composites were investigated by tensile strength and impact energy in accordance with FTIR and SEM characterizations. (Zhao et al., 2011) studied PP composite filled with kaolin in ratios of 1 wt%, 2wt%, 3 wt% and 5 wt% and an investigation was made in terms of mechanical strength and thermal behavior. Kaolin modification occurred with 3-(trimethoxysilyl) propylmethacrylate and mechanical investigations were made. 2 wt% kaolin filled PP composite showed highest tensile strain at break and increasing kaolin amount caused aggregation and mechanical strength dropped. Increasing kaolin improve heat distortion temperature of composite due to dispersion of particles in amorphous structure.

In the literature, there is a few investigations about kaolin filled PP composites and the effect of kaolin was shown in terms of mechanical and thermal tests. However, a testing method is always needed to reveal kaolin's effect to PP composite. In this study, an easier method is proposed in order to estimate the mechanical strength of produced kaolin filled PP composites by only color determination device. It is hoped that this research will contribute to a quick mechanical property estimation by obtaining results from color determination device.

2.MATERIAL AND METHOD

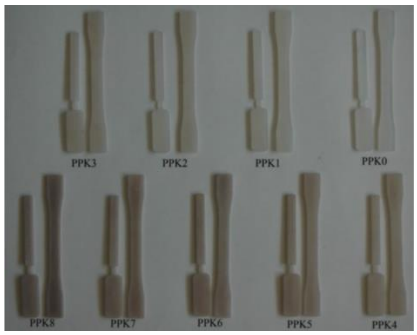
A commercial PP (Petoplen MH418) is used as matrix material and it has following properties: melt flow rate (MFR) of 4.7 g/10 min, density of 0.905 g/cm^3, melting point of 163°C, tensile strength at yield of 34 MPa, flexural modulus of 1450 MPa and Izod impact strength of 22 J/m. Besides, a commercial calcinated kaolin (UR-C 70/90) is used as filler material for PP composite and it has 48.7 wt% SiO_2, 47.4 wt% Al_2O_3, 0.6 wt% Fe_2O_3, 0.6 wt% TiO_2 with density of 2.64 g/cm^3 and pH of 5.5-6.5. Aforementioned composite matrix and filler materials are produced in a commercial plastics injection machine (TDX 100, Tederic, China) with screw diameter of 42 mm, injection pressure of 194 bar, injection rate up to 128 cm3/s, injection stroke of 165 mm, closing force 1000 kN, clamping stroke of 320 mm, heating power of 7 kW, pump motor power of 11 kW and container capacity of 25 L.

PP matrix and kaolin filler are mixed to produce composite samples. Kaolin filler is heated in an oven to remove moisture at 130°C for 24 h and added to PP material in ratios of 1 wt% to 8wt% with linear increment; a pure PP sample is also produced for comparison. The mixture ratios of PP and kaolin is given in Table 1; and matrix and filler are mixed for 15 minutes for a homogenous composite. 20 samples of each mixture are produced for mechanical testing and shown in Figure 1.

Table 1. Mixture ratios of PP and kaolin raw materials for composite production.

Abbreviation	Mixture ratio	PP (g)	Kaolin (g)
PPK0	Pure PP	2000	0
PPK1	PP + 1% Kaolin	2000	20
PPK2	PP + 2% Kaolin	2000	40
PPK3	PP + 3% Kaolin	2000	60
PPK4	PP + 4% Kaolin	2000	80
PPK5	PP + 5% Kaolin	2000	100
PPK6	PP + 6% Kaolin	2000	120
PPK7	PP + 7% Kaolin	2000	140
PPK8	PP + 8% Kaolin	2000	160

Figure 1. Effect of Kaolin Content on Color of Produced Composite Samples.

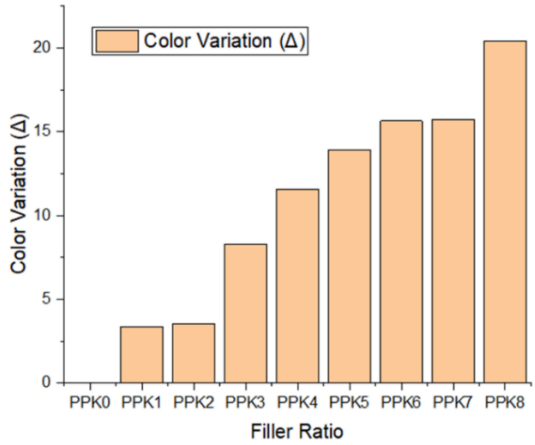


After production of composite samples, following mechanical tests are applied: tensile test (Shimadzu AGS-H) according to ISO 527, Izod impact test (International Equipments) with a capacity of 21.68 J according to ISO 179, surface roughness measurement according to ISO 4287 and shore D hardness measurement according to ISO 868. Applying mechanical tests elongation rate, tensile strength and impact energy values are obtained. Composite samples are characterized using MFR device according to DIN EN ISO 1133, Fourier transform infrared spectrophotometer (FTIR: Bruker Vertex 70), scanning electron microscope (SEM: Tinius Olsen H10KS) and color determination device (Gretag Macbeth) according to ASTM 6290-05e1.

3.RESULTS AND DISCUSSION

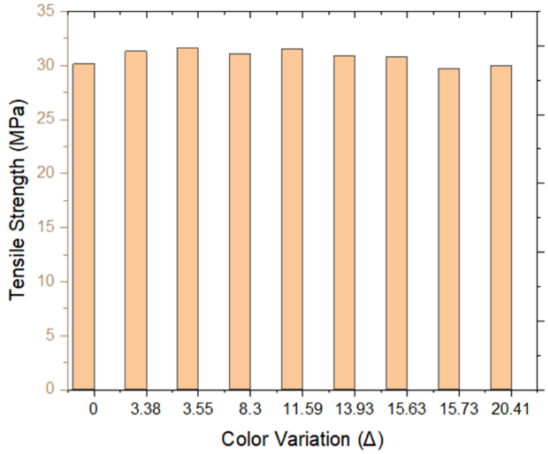
Kaolin filled PP composites were produced in plastics injection machine and the color of composite samples was instrumentally determined as in Figure 2; and pure PP sample was taken as 0. Based on pure PP (PPK0), kaolin filled PP composite samples were classified according to their kaolin content. Linear increase in kaolin content contributed the color variation proportionally.

Figure 2. Color Variation of Composites Compared to Pure PP.



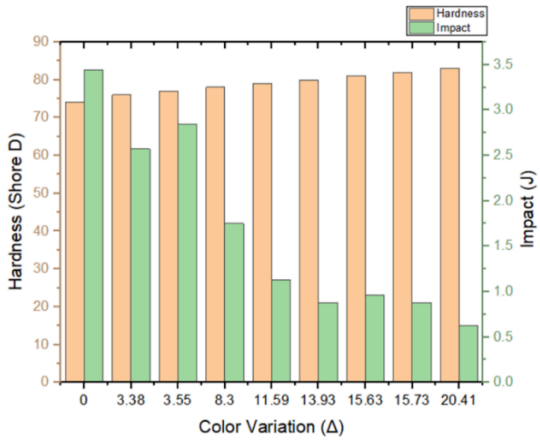
Kaolin filled PP composites were subjected to tensile testing and results were shown in Figure 3. Linear increase of kaolin content affected mechanical strength of composite samples. Tensile strength was not improved proportional with kaolin ratio. Highest tensile strength was obtained by PPK2 samples with 2 wt% kaolin fill, however, second highest tensile strength was achieved by PPK4 with 4 wt% kaolin fill.

Figure 3. Comparison of Color Variation and Tensile Strength.



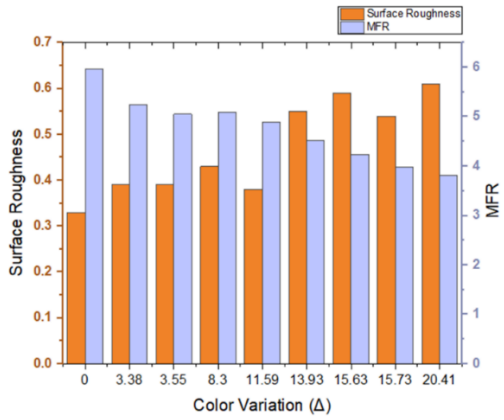
After accomplishing tensile tests, hardness measurement and impact tests were done, and results were given in Figure 4. Kaolin content increased the surface hardness of composites, but, brittleness was developed depending on impact energy.

Figure 4. Hardness and Impact Energy Depending on Color Variation.



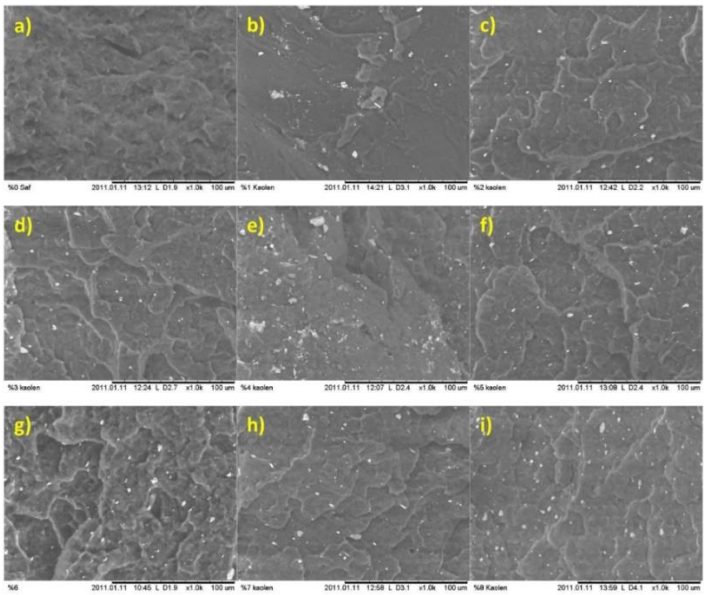
Surface roughness and MFR measurements of kaolin filled PP composites were given in Figure 5. Increasing content of kaolin filler covered the outer surface of composite samples, therefore, rough surface was observed. MFR was lowered proportional with the amount of kaolin in PP composite which was increased the surface area and surface roughness. Fluctuations on surface roughness occurred because of wall surface roughness of injection mold during filler and PP mixing.

Figure 5. Surface Roughness and MFR Comparison Based on Color Variation.



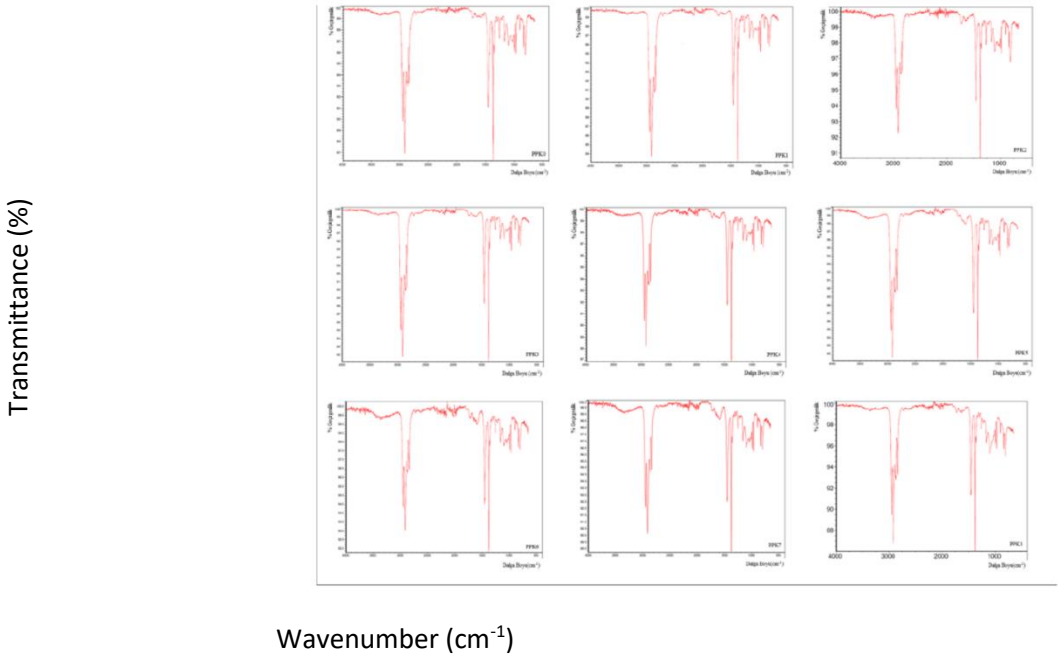
In Figure 6, morphological characterization of produced composite samples was accomplished using SEM. A comparison of kaolin effect to the microstructure of PP matrix can be seen. In Figure 6(a), microstructure of pure PP sample was seen. Comparing with pure PP sample, increase of kaolin content was also observed in composite samples in SEM. As in Figure 6(b, c, d), lower amounts of kaolin showed uniform filler distribution in composite's matrix, however, 4 wt% kaolin filled composite sample (Figure 6(e)) resulted in kaolin agglomeration and non-uniform distribution occurred. Except, 4 wt% kaolin filled PP composites, a uniform filler distribution was provided in 5-8 wt% kaolin filled PP composite samples (Figure 6(f-i)).

Figure 6. SEM Micrographs of Kaolin Filled PP Composites: a) PPK0, b) PPK1, c) PPK2, d) PPK3, e) PPK4, f) PPK5, g) PPK6, h) PPK7, i) PPK8.



FTIR results of kaolin filled PP composites were given in Figure 7. Neat and kaolin filled PP samples were not change much in terms of the peak's intensity. It can be attributed to good interactions occurred between PP and kaolin filler. The FTIR spectra of neat PP indicates the main characteristics peaks of specific functional groups. The peak at 2964 cm^{-1} correspond to the asymmetric stretching vibration of CH_3 in methylene group. Similarly, the peak at 2745 cm^{-1} confirms the symmetric stretching vibration of CH_2 in methylene groups. The peaks at 1740 cm^{-1} and 1624 cm^{-1} were attributed to C=O stretching vibration. The peaks between 1500-1200 cm^{-1} bands correlate to symmetric and asymmetric vibrations of same methylene groups (C-H, CH_2, and CH3). In the FTIR spectra of kaolin filled PP, the peaks in the 1096 -1100 cm^{-1} band correspond to Si-O stretching vibration. The peak in the 3420-3445 cm^{-1} band confirm the –OH stretching. The presence of Si-Al-O bonds were appeared at the peaks between 545-576 cm^{-1}. The peaks between 781-805 cm^{-1} was ascribed to Al-O stretching vibration. The intensities of peaks showed a drop after %5 kaolin ratio. This could be attributed to the high load of kaolin that causes an agglomeration (Chaka et al., 2017), (Yang et al., 2017), (Dagaci, Z. M., Jikan, S. S., Nur Azam B., Shehu, Y. & Awwal, 2017).

Figure 7. FTIR Analysis of Kaolin Filled PP Composites.



4.CONCLUSION

Kaolin filled PP composite samples were produced with varied kaolin ratio in the range of 1-8 wt%. Effect of kaolin filler to PP composites were investigated by tensile test, hardness, impact energy, surface roughness and MFR; and characterized with SEM and FTIR. Using color variation of composites due to kaolin content, a connection was made between color variation and mechanical properties. After tests, following results are obtained:

- Increasing kaolin content changed the color of composite samples. After a color measurement, color variations were quantificated and its relationship with mechanical properties were shown. Increasing color variation showed a direct relationship and easy estimation of mechanical properties by color measurement was proposed.
- Increased kaolin content provided harder composite surface; however, a brittle composite body is achieved. That is why 2 wt% kaolin was an optimum ratio. Impact energy tests showed that kaolin content brittled the samples and a decreasing impact energy absorption was observed.

- Kaolin was distributed in PP matrix, but also increased content allowed kaolin to cover the outer surface of samples which increased surface roughness. Kaolin content slowed the flow of composite in MFR test proportional with kaolin ratio.
- SEM morphology of composite samples supported that kaolin content was presence in micrographs proportional with its ratio and filler-matrix interaction seemed enough. Moreover, FTIR analysis proved the PP matrix has strong C-H and C-O bonds and good interaction with kaolin particles.

6.REFERENCES

Ali, M. F., Ahmed, S., & Qureshi, M. S. (2011). Catalytic coprocessing of coal and petroleum residues with waste plastics to produce transportation fuels. *Fuel Processing Technology*, *92*(5), 1109–1120. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.01.006

Bazan, P., Salasińska, K., & Kuciel, S. (2021). Flame retardant polypropylene reinforced with natural additives. *Industrial Crops and Products*, *164*(February). https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113356

Chaka, K. T., Fambri, L., & Govindan, N. (2017). Kaolinite / Polypropylene Nanocomposites. Part 1: Compounding. *International Research Journal of Engineering and Technology*, *04*(11), 111–118.

Dagaci, Z. M., Jikan, S. S., Nur Azam B., Shehu, Y. & Awwal, H. N. (2017). Effect of Additives on PolypropyleneKaolin Composite Prepared via In-situ Process. *Journal of Science and Technology*, *9*(4), 19–23.

Fasihnia, S. H., Peighambardoust, S. H., Peighambardoust, S. J., & Oromiehie, A. (2018). Development of novel active polypropylene based packaging films containing different concentrations of sorbic acid. *Food Packaging and Shelf Life*, *18*, 87–94. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.10.001

Jambrich, M., & Hodul, P. (1999). *Textile applications of polypropylene fibers*. 806–812. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4421-6_110

Liu, H., Dong, L., Xie, H., & Xiong, C. (2012). Novel-modified kaolin for enhancing the mechanical and thermal properties of poly(vinyl chloride). *Polymer Engineering & Science*, *52*(10), 2071–2077. https://doi.org/10.1002/pen.23161

Manjula, B., Reddy, A. B., Sadiku, E. R., Sivanjineyulu, V., Molelekwa, G. F., Jayaramudu, J., & Raj Kumar, K. (2017). Use of polyolefins in hygienic applications. In *Polyolefin Fibres: Structure, Properties and Industrial Applications: Second Edition* (pp. 539–560). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101132-4.00018-7

Ouchiar, S., Stoclet, G., Cabaret, C., Georges, E., Smith, A., Martias, C., Addad, A., & Gloaguen, V. (2015). Comparison of the influence of talc and kaolinite as inorganic fillers on morphology, structure and thermomechanical properties of polylactide based composites. *Applied Clay Science*, *116–117*, 231–240. https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.03.020

Patil, A., Patel, A., & Purohit, R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials Today: Proceedings*, *4*(2), 3807–3815. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278

Patil, J., Patil, H., Sankpal, R., Rathod, D., Patil, K., Kubade, P. R., & Kulkarni, H. B. (2020). Studies on mechanical and thermal performance of carbon nanotubes/polypropylene nanocomposites. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*, 3–7. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.452

Rathod, D., Abid, M. S., & Vanapalli, S. K. (2021). Performance of polypropylene textile encased stone columns. *Geotextiles and Geomembranes*, *49*(1), 222–242. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.10.025

Uwa, C. A., Sadiku, E. R., Jamiru, T., & Nnachi, A. F. (2019). Synthesis and characterisation of polypropylene nanocomposites for food packaging material. *Materials Today: Proceedings*, *38*, 1197–1202. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.781

Varga, G. (2007). The structure of kaolinite and metakaolinite. *Epitoanyag - Journal of Silicate Based*

and Composite Materials, *59*(1), 6–9. https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2007.2

Wu, X., Liu, P., Shi, H., Wang, H., Huang, H., Shi, Y., & Gao, S. (2021). Photo aging and fragmentation of polypropylene food packaging materials in artificial seawater. *Water Research*, *188*, 116456. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116456

Yang, N., Zhang, Z. C., Ma, N., Liu, H. L., Zhan, X. Q., Li, B., Gao, W., Tsai, F. C., Jiang, T., Chang, C. J., Chiang, T. C., & Shi, D. (2017). Effect of surface modified kaolin on properties of polypropylene grafted maleic anhydride. *Results in Physics*, *7*, 969–974. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.02.030

Zhang, Q., Liu, Q., Zhang, Y., Cheng, H., & Lu, Y. (2012). Silane-grafted silica-covered kaolinite as filler of styrene butadiene rubber. *Applied Clay Science*, *65–66*, 134–138. https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.04.024

Zhao, S., Qiu, S., Zheng, Y., Cheng, L., & Guo, Y. (2011). Synthesis and characterization of kaolin with polystyrene via in-situ polymerization and their application on polypropylene. *Materials and Design*, *32*(2), 957–963. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.07.020

Presentation ID / Sunum No= 34

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-4284-5928

Land-Use Mapping Using Orthophoto Obtained From SenseFly EbeeX UAV Images and Object-Based Support Vector Machine

Dr. Öğr. Üyesi Alper AKAR[1]

[1]*Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Erzincan / Türkiye, alperakar24@gmail.com;*

Özet

Arazi kullanım haritaları başta tarım, toprak yönetimi, kentsel planlama ve çevresel araştırmalar olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle insansız hava araçları (İHA), haritalama maliyetlerinin düşük olması, istenilen zamanda ve sıklıkta görüntü elde edilmesi ve yüksek konumsal çözünürlüklü görüntüler sunması açısından arazi kullanım haritalamasında avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışma, SenseFly eBeeX İHA görüntülerinden elde edilen ortofoto ve nesne tabanlı Destek Vektör Makinesi (DVM) sınıflandırıcısı ile arazi kullanım haritası üretmeyi amaçlamaktadır. İlk olarak, ortofoto görüntü çoklu çözünürlüklü bölütleme ile bölütlenmiştir. Ardından bölütler, nesne tabanlı DVM ve yedi arazi kullanım sınıfı kullanılarak sınıflandırılmıştır. Doğruluk analizi sonucuna göre tematik görüntünün genel sınıflandırma doğruluğu %98,10 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kappa değerleri, miktar ve dağılım uyuşmazlığı/uyuşma bileşenleri de bu sonucu desteklemektedir. Sonuçlar, SenseFly eBeeX İHA ile üretilen ortofotodan yüksek doğrulukta bir arazi kullanım haritasının elde edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Arazi kullanım haritası, Obje tabanlı görüntü sınıflandırma, Destek vektör makinaları, İnsansız hava araçları

Abstract

Land-use maps are widely used in many fields, especially in agriculture, soil management, urban planning, environmental research. In especial, unmanned aerial vehicles (UAVs) provide advantages in land-use mapping in terms of low mapping costs, obtaining images at the desired time and period, and providing images with high spatial resolution. This study aims to produce a land-use map with the orthophoto obtained from the SenseFly eBeeX UAV images and the object-based Support Vector Machine (SVM) classifier. Firstly, the orthophoto image was segmented with multiresolution segmentation. Then, the segments were classified using object-based SVM and seven land-use classes. According to a result of the accuracy analysis, the overall classification accuracy of the thematic image was calculated at 98.10%. In addition, kappa values, quantity, and allocation disagreement/agreement

components supported this result. The results showed that a land-use map can be obtained with high accuracy from the orthophoto produced with the SenseFly eBeeX UAV.

Keywords: Land-use mapping, Object-based image classification, Support vector machines, Unmanned aerial vehicles

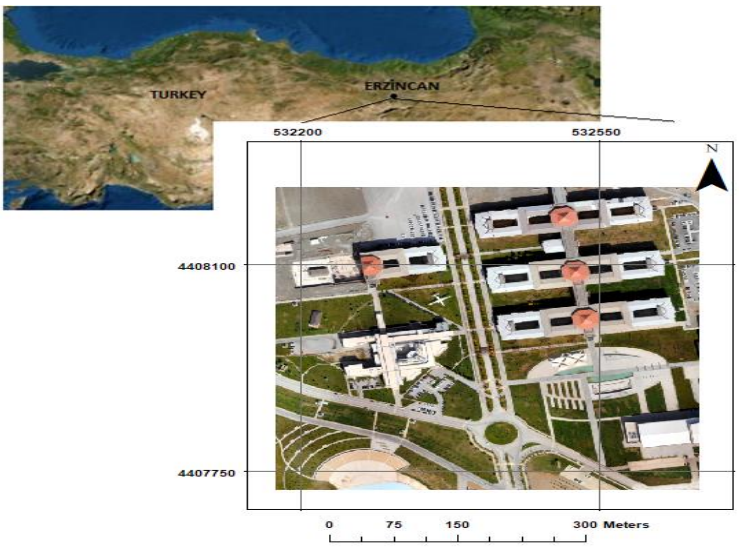
1. INTRODUCTION

Nowadays, photogrammetry has a very important place in mapping. In photogrammetric mapping, images are acquired using different platforms. Developing technology presents Unmanned aerial vehicles as a new image acquisition platform in aerial image acquisition (Numan, 2020:1). Recently, UAVs are widely used in many fields such as academic studies, photogrammetric mapping, urban planning, environmental change monitoring, urban transformation, 3D city modeling (Deniz, 2020:9, Kahveci and Can, 2017: 513). Thanks to the developing photogrammetric sensors and remote sensing technologies, the UAV provides high temporal and spatial resolution compared to conventional aerial photogrammetry. In this way, the use of UAVs in photogrammetric applications provides advantages in terms of cost and time (Uzar and Özemir, 2019: 35). Apart from photogrammetric mapping, remote sensing techniques also provide great advantages in land-use /cover mapping. The object-based classification method, which is one of the classification methods used for this purpose, allows the use of multiple information such as form, texture, shape, content, topological relations with other objects, which are obtained from objects and used in the classification of the image, in addition to spectral information (Bayburt, 2009: 1). In the literature, there are many studies on the use of object-based classification in land-use mapping. Modica et al. (2021: 431) compared different Object-Based machine learning algorithms using UAVs images for crops. Crops in the study area were classified with SVM and RF with an accuracy higher than 90%. De Luca et al. (2019: 1) used UAV images and object-based SVM and RF algorithms for mapping forest areas. He stated that he classified forest areas with high accuracy in this study. Li et al. (2021: 1) used Object-based SVM and temporal remote-sensing images for land use and land cover change detection. In the proposed method, the overall accuracy for different years was between 91.86% and 93.86%. Akar (2018: 538) classified land use areas using object-based Rotation Forest algorithm and UAV images with 92.52 % overall accuracy. This study supports the successful results in the object-based classification of UAV images for land use mapping. As can be seen from the studies, various remote sensing images, unmanned aerial vehicles, and methods are used in land-use mapping. Method and image play a major role in high-accuracy and up-to-date land-use mapping. In this study, the classification performance of the orthophoto, obtained from the images taken with the SenseFly eBeeX UAV, was investigated in order to produce a reliable and up-to-date land-use map.

1.1. Study area and Data set

As the study area, an area of 25 hectares in Erzincan Binali Yıldırım University Yalnızbağ campus was chosen as the pilot area (Figure 1). The campus area is located within the borders of Erzincan city center and is approximately 13 km away from the city center. For this study area, orthophoto images produced as a result of the evaluation of 221 images taken by SenseFly eBeeX UAV in Pix4d software were used. The position accuracy of the orthophoto image used is $m_y = \pm 1.0$ cm, $m_x = \pm 0.8$ cm in the Y and X directions, respectively, and $m_k = \pm 1.3$ cm in the horizontal (Akar et al, 2021: 65).

Figure1. Study area



2. METHOD

2.1. Object-based Support Vector Machine

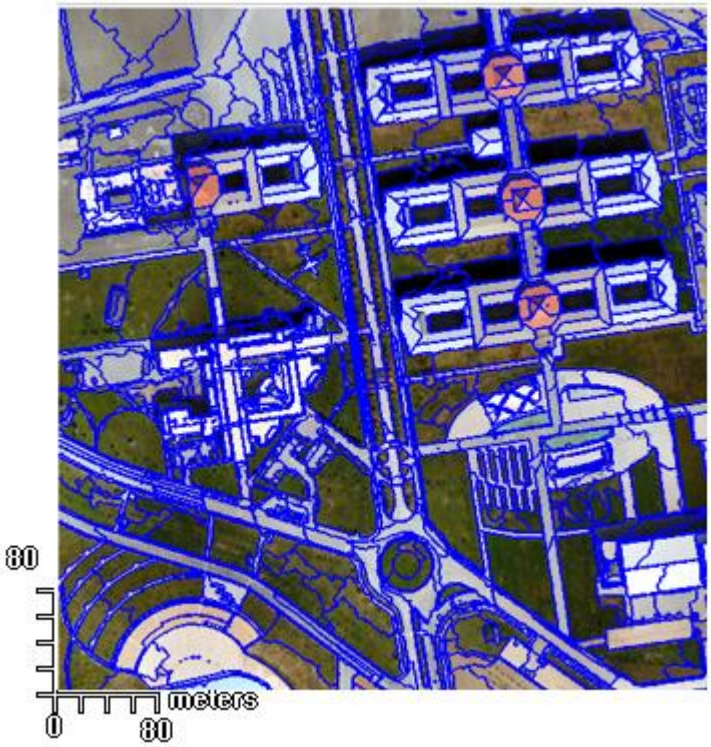
Object-based classification is based on the principle of creating segments by grouping pixels, which we can also call image segmentation, and performing the analysis on these segments (Trimble, 2019). Segmentation is the process of spatially dividing the image into continuous, partial, and homogeneous regions (Akar et al, 2017: 995). There are used different segmentation algorithms in the literature. With these segmentation algorithms, images are divided into smaller homogeneous image objects. The most common segmentation algorithm used in object-based classification is the multi-resolution segmentation algorithm. This method is based on the bottom-up approach, combining small parts by considering certain criteria and obtaining large parts (Trimble, 2019). In the segmentation phase, parameters such as scale factor, color, shape, smoothness, and compactness are used. The scale factor determines the maximum value that allows the heterogeneity of objects. The larger the scale parameter, the larger the size of the objects. Color and shape parameters can correct the effect of homogeneity of color and shape conflict on object production. Increasing the shape criterion will reduce the effect of spectral homogeneity on object production. Smoothness and compactness parameters decide whether objects should be more whole (dense) or more softened (Akar, 2014: 45). Then the segments are classified. In addition to the classical classifiers used for the classification of images, more advanced machine learning algorithms are also used (Çoşlu, 2019:8-9). Support Vector Machines (SVM), one of the machine learning methods and widely used, can classify both linearly separable (linear) and linearly inseparable (non-linear) data. The aim is to determine the optimum hyperplane separating the classes from each other. If the classes are linearly separable from each other, it determines the planes with the greatest distance from the planes separating the classes and creates a linear discriminating function using these planes. Classes are separated by linear functions (Akar, 2014: 37). If these classes cannot be separated linearly, they are moved to another higher-dimensional space where the classes can be separated linearly by using a positive C parameter and kernel functions that will minimize the classification error and maximize the distance between the planes. Classification takes place in this space (Akar and Görmüş, 2019:74). The most widely used kernel function is the radial basis function because it performs well (Noi and Kappas, 2018: 7; Kavzoglu and Çölkesen, 2009: 355).

2.2. Implementation

In the study, firstly, the production of a thematic image, which is necessary for the production of the land-use map, was carried out. For this, the object-based SVM algorithm, which is known as a classifier with high classification accuracy in the literature, was preferred. The image was classified with this classifier to produce a reliable and up-to-date land-use map from the orthophoto obtained from the images captured by the SenseFly eBeeX UAV. eCognation Developer 64 software was used for classification. Before the classification, the image was segmented by selecting multiresolution

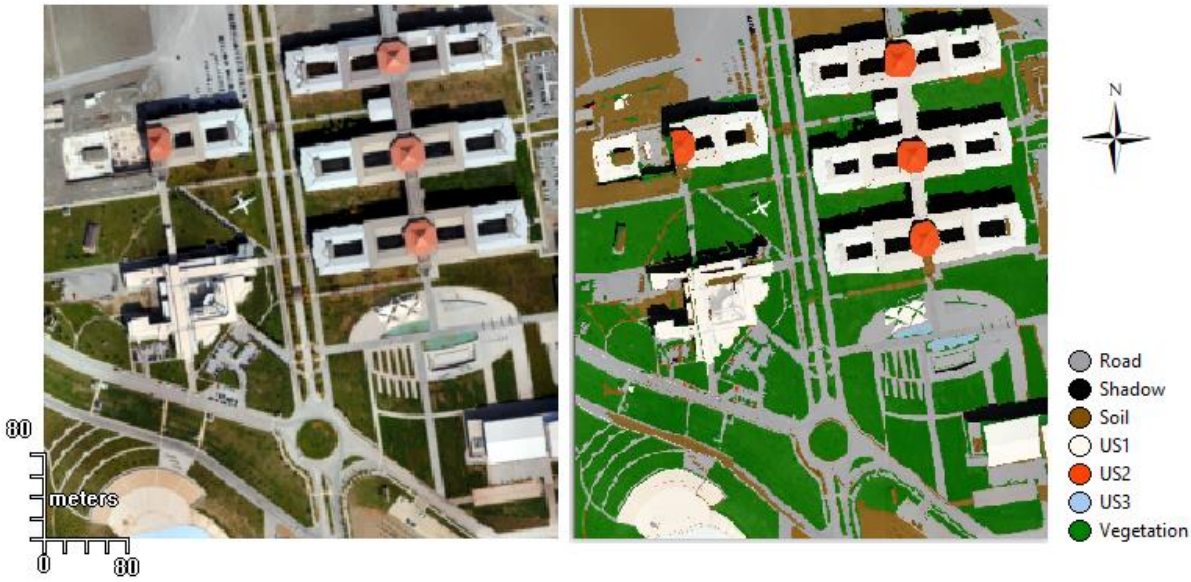
segmentation with scale parameter: 400, shape: 0.3, and compactness: 0.5 (Figure 2). Optimum parameter values for segmentation were determined as a result of trials.

Figure 2. Segmentation image



After segmentation, seven land-use classes as vegetation, road, soil, Urban Structure1 (US1), Urban Structure2 (US2), Urban Structure3(US3), and shadow were determined and training areas were collected from segments for these classes. Here, US1 represents white and gray concrete structures, US2 represents tile structures in buildings, and US3 represents water. Afterward, C and the gamma parameters of the SVM classifier were determined according to the trial and error method, and the image was classified with these training segments (Figure 3). The optimum C value for this image was determined as 200 and the gamma value was 0.0001.

Figure 3. a) Original image, b) Thematic image obtained from SVM



a) b)

The accuracy of the thematic image obtained as a result of the classification was evaluated using the error matrix, which is one of the most widely used post-classification accuracy analysis methods (Table 1). The multi-nominal distribution approach proposed by Congalton and Green (1999) was used to determine the number of samples to be used in constructing the error matrix. According to this approach, the confidence interval was chosen as 95%. The number of classes containing the study area was determined as 7. Since the area occupied by the i class on the map, namely Π_i, is unknown, it is not taken into account. According to this; The value of $\frac{\alpha}{k} = \frac{0.05}{7} = 0.007$ is determined as χ^2 distribution in 1 degree of freedom in the distribution table, namely $\chi^2{}_{(1,0.007)}$=7.347. This value corresponds to the B value. The minimum number of samples was calculated by the formula (1).

$$n = \frac{B}{4b^2} = \frac{7.347}{4(0.05^2)} = 735 \quad (1)$$

Accordingly, 735 points were placed on the image with stratified random. The number of random points generated for each class was determined to be proportional to the area occupied by that class on the image. According to these points, an error matrix was created and general classification accuracy, Producer's and User's accuracies were calculated from this matrix.

3. RESULT AND DISCUSSION

An error matrix was created for the accuracy analysis of the object-based classified thematic image using seven land-use classes with SVM (Table1). Accordingly, the overall classification accuracy was calculated as 98.10%. In addition, kappa analyzes were also performed and results were obtained that matched the general classification accuracy.

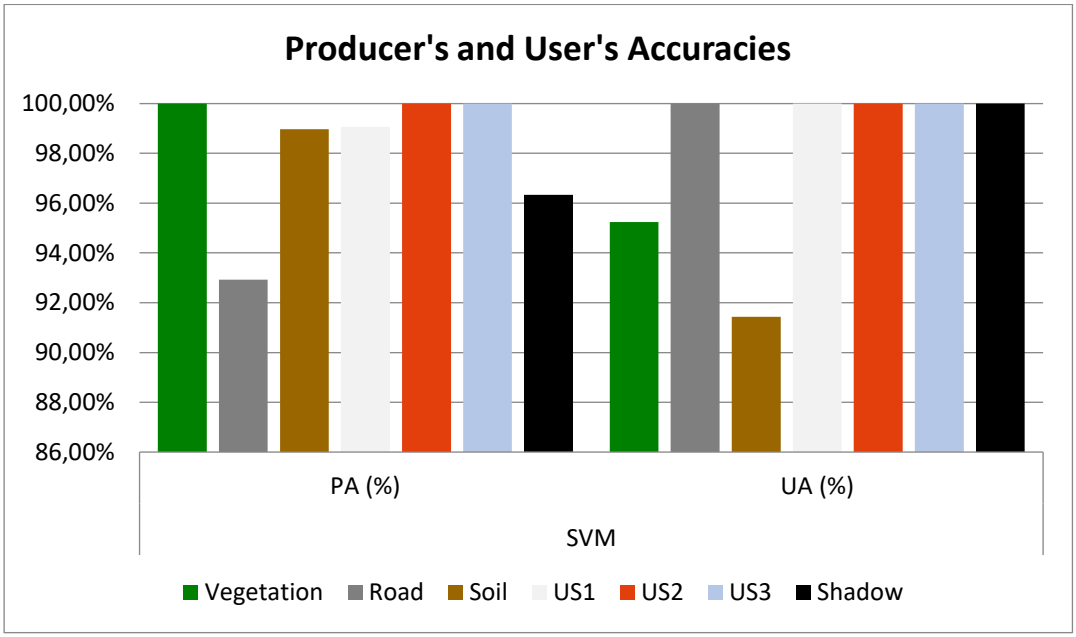
Table1. Error matrix for SVM

		Reference									
		Vegetation	Road	Soil	US1	US2	US3	Shadow	∑Row	PA(%)	UA(%)
Class	Vegetation	100	2	1	0	0	0	2	105	100.00	95.24
	Road	0	105	0	0	0	0	0	105	92.92	100.00
	Soil	0	6	96	1	0	0	2	105	98.97	91.43
	US1	0	0	0	105	0	0	0	105	99.06	100.00
	US2	0	0	0	0	105	0	0	105	100.00	100.00
	US3	0	0	0	0	0	105	0	105	100.00	100.00
	Shadow	0	0	0	0	0	0	105	105	96.33	100.00
	∑Column	100	113	97	106	105	105	109	735		
Overall Accuracy = **98.10%**											
κCohen's = **98.06%**											
κCongalton = **98.10%**											
κhisto = **98.94%**											

Furthermore, when the error matrix and accuracies of PA and UA were examined, it was observed that road and soil classes with similar spectral characteristics were confused with one another.

Similarly, very dark pixels in the plant class are confused with those in the shadow class. As a result, the accuracies in these classes were lower than in others (Figure 4).

Figure 4. Producer's and User's Accuracies



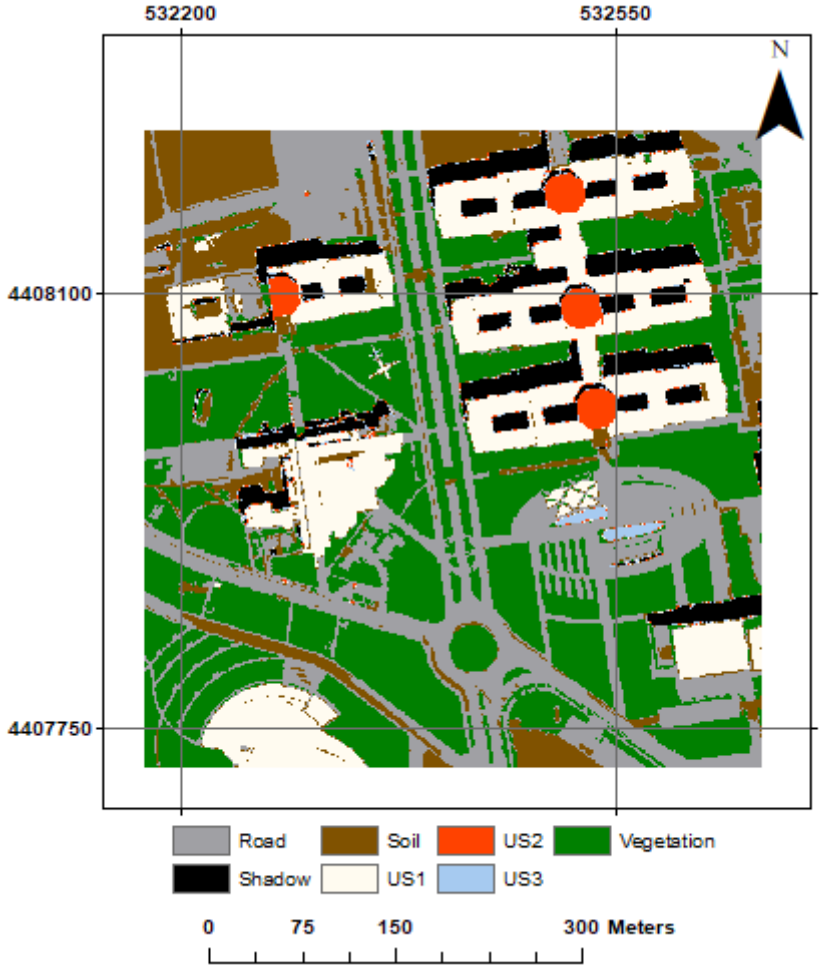
In the study, apart from the kappa analysis, the Quantity and Allocation disagreement/agreement components, suggested by Pontius and Millones (2011:4407) for accuracy assessment and map comparison were examined. Agreement and disagreement values shown in Table 2 were calculated from the classification results of images classified with. According to the analysis, in the classification of the image with SVM, I saw that the overall disagreement, which is the sum of the allocation and quantity disagreements, was 2%. This result supported that object-based SVM reduced disagreement and classifies the image successfully.

Table2. Components of agreement and disagreement for the classification results

Agreement/Disagreement(%)	*SVM*
Chance agreement	7
Quantity agreement	7
Allocation agreement	84
Allocation disagreement	0
Quantity disagreement	2

Finally, a land-use map was produced from the thematic image obtained (Figure 5).

Figure5. Land-use map



4. CONCLUSION

This study, it is aimed to produce high-accuracy land-use maps by using SenseFly EbeeX UAV images and the Object-Based Support Vector Machine classification method. The overall classification accuracy made as a result of the classification was obtained as 98.10%. In addition, the results were analyzed with kappa analysis. As a result of these analyzes, κCongalton, κCohen's, and κhisto values were calculated as 98.06%, 98.10%, and 98.94%, respectively. In addition, the overall disagreement was obtained as 2%. This study showed that SenseFly eBeeX UAV images can be successfully classified with object-based SVM, and highly accurate and up-to-date land-use maps can be produced from the obtained thematic products.

Acknowledge

I would like to thank Paksoy Technical Services Trade Limited Companies, who provided us with the aerial photographs used in the production of the orthophoto

References

Akar, A., Akar, Ö. And Bayata, H. F. (2021). SenseFly eBeeX İHA ile üretilen ortofotonun konum doğruluğunun incelenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(2); 65-68.

Akar, A., Gökalp, E., Akar. Ö. and Yılmaz, V. (2017). Improving classification accuracy of spectrally similar land covers in the rangeland and plateau areas with a combination of WorldView-2 and UAV images, *Geocarto International*, 32(9): 990-1003.

Akar, A. (2014). *Mera ve yayla alanlarındaki değişimin tespiti ve yeni bir mera yönetim modeli yaklaşımı: Trabzon ili Akçaabat ilçesi örneği*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Akar, Ö. and Görmüş, E. T. (2019). Göktürk-2 ve Hyperion EO-1 uydu görüntülerinden Rastgele Orman Sınıflandırıcısı ve Destek Vektör Makineleri ile arazi kullanım haritalarının üretilmesi, *Geomatik Dergisi*, 4(1), 68-81.

Akar, Ö. (2018). The Rotation Forest algorithm and object-based classification method for land use mapping through UAV images. *Geocarto International*, 33(5): 538-553.

Bayburt, S. (2009). *Uydu görüntülerinin piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılması, (Doğu Trakya Bölgesi Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Congalton, R. G. and Green, K. (1999). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Çoşlu, M. (2019). *İnsansız hava aracı ve yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin değerlendirilmesinde piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

De Luca, G., Silva, J. M. N., Cerasoli, S., Araújo, J., Campos, J., Di Fazio, S. and Modica, G. (2019). Object-Based land cover classification of cork oak woodlands using UAV imagery and Orfeo ToolBox. *Remote Sensing*, 11(10): 1238.

Deniz, A. (2020). *İnsansız hava araçları ve CBS entegrasyonu ile kampüs bilgi sistemleri tasarımı ve uygulaması: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi kampüsü örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.

Kahveci, M. and Can, N. (2017). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, 5(4), 511-535.

Kavzoglu, T. and Colkesen, I. (2009). A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5): 352- 359.

Li, D., Jin, R., Gu, J., Huang, R. and Wu, J. (2021). Object-based land use and land cover change detection in multi-temporal remote-sensing images. *Preprints*, doi:10.20944/preprints202106.0157.v1

Modica, G., De Luca, G., Messina, G. and Praticò, S. (2021). Comparison and assessment of different object-based classifications using machine learning algorithms and UAVs multispectral imagery: a case study in a citrus orchard and an onion crop. *European Journal of Remote Sensıng*, 54(1): 431–460.

Noi, P. T. and Kappas, M. (2018). Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery, *Sensors*, 18 (1): 1-20.

Numan, A. B. (2020). *Geleneksel fotogrametri ve insansız hava aracı (İHA) sonuç ürünlerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Pontius, R. G. and Millones, M. (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15): 4407–4429.

Trimble (2019). Trimble eCognition Suite, "Reference Book eCognition Developer", https://docs.ecognition.com/v9.5.0/Page%20collection/eCognition%20Suite%20Dev%20RB.htm, 27.02.2022

Uzar, M. and Özemir, I. (2019). İHA ile fotogrametrik veri üretiminde maliyet analizi, *Harita Dergisi*, 85(161): 35-45.

Presentation ID / Sunum No= 57

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-9988-7582

Derin Öğrenme Mimarileri Kullanılarak Uydu Görüntülerinden Bina Bölge Tespiti ve Çatı Sınıflandırması

Erdal Öztürk[1], Dr. Öğretim Üyesi Emre Sümer[2]

[1]*Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Ankara, Türkiye*
muh.erdalozturk@gmail.com,

[2]*Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Ankara, Türkiye ,*
esumer@baskent.edu.tr

Özet

Bina çatılarının belirlenmesi ve sınıflandırılması, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) alanında çalışılan önemli problemlerden biridir. Bina çatı konumlarının belirlenmesi günümüzde birçok nesne tespiti yöntemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Nesne tespiti için kullanılan bu yöntemlerden biri de derin öğrenme metodudur. Klasik makine öğrenme yöntemleri bu problemin çözümünde yüksek başarı oranları elde etmiş olmasına karşın, derin öğrenme üzerine yapılan güncel çalışmalar bu doğruluk oranlarının daha da yüksek seviyelere çıkarılabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada derin öğrenme metotları kullanılarak bina çatı konumlarının bölgesel olarak tespit edilmesine ek olarak ilgili çatı tipleri de sınıflandırılmıştır. Bunun gerçekleştirilmesinde nispeten düşük çözünürlüklü görüntüler kullanılarak CNN yönteminin başarımı test edilmiştir. Farklı bölgelerden elde edilen Uydu görüntüleri üzerinde yapılan test sonuçları incelendiğinde AlexNet ve GoogleNet derin öğrenme mimarilerinin bina bölge tespitinde oldukça başarılı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Öte yandan, incelenen üç mimari arasında AlexNet'in bina çatı tipi sınıflandırması için en uygun model olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bina Çatı Tipi, Uydu Görüntüleri, Görüntü Sınıflandırma, Evrişimsel Sinir Ağı (ESA)

Building Zone Detection and Roof Classification From Satellite Images Using Deep Learning Architectures

Abstract

Identifying and classifying building roofs is one of the important problems studied in the field of Geographic Information Systems (GIS). Determination of building roof locations can be performed by many object detection methods today. One of these methods used for object detection is the deep learning method. Although classical machine learning methods have achieved high success rates in solving this problem, recent studies on deep learning have shown that these accuracy rates can be increased to higher levels. In this study, in addition to the regional determination of building roof

locations using deep learning methods, roof types are also classified. In realizing this, the performance of the CNN method was tested using low resolution images. When the test results on satellite images obtained from different regions are examined, it has been observed that AlexNet and GoogleNet deep learning architectures produce very successful results in building region detection. On the other hand, it is concluded that AlexNet is the most suitable model for building roof type classification among the three architectures studied.

Keywords: Building Roof Type, Satellite Images, Image Classification, Convolutional Neural Network (CNN)

1. GİRİŞ

Günümüzde muhtelif hava araçlarından veya uydulardan temin edilen görüntülerin maliyetleri azalırken elde edilebilme kolaylıkları ise artmıştır. Uydu görüntüleri şehirlere, binalara ve diğer yeryüzü nesnelerine ait tespit ve analiz çalışmalarının vazgeçilmez bir veri kaynağı haline gelmiştir. Şehirlerin yıllar içinde değişimi, yapılaşma analizleri ve doğal afetler sonucu oluşan hasarların tespitinde uydu görüntüleri yoğun bir biçimde kullanılmaktadır. Derin öğrenme yaklaşımı, derin evrişimsel sinir ağlarının kullanılmasına dayalı bir makine öğrenmesi yaklaşımı olup, bu yöntem ile gerçekleştirilen birçok çalışmada yüksek doğruluğa sahip nesne tespiti ve sınıflandırma sonucu elde edilmiştir Evrişimsel sinir ağlarının bina tespiti ve sınıflandırmada kullanılması bu başarı oranını daha da arttırmıştır. Ayrıca, doğal afet sonrası hasar tespiti ve hızlı müdahale için en kısa sürede ve en yüksek doğrulukla tespit yapılmasının gerekliliği, geniş alanların analizlerinin zaman alması ve maliyetlerinin yüksek olması, evrişimsel sinir ağları ile tespit ve sınıflandırma yapılması konusunu önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Günümüzde evrişimsel sinir ağlarını temel alan birçok yöntem önerilmiştir. Çeşitli maskeleme yöntemleri, görüntü bölütleme yaklaşımları ve (YOLO) You Only Look Once (Mathworks, 2022) bunlardan bazılarıdır. Son yıllarda gerçekleştirilen bir çalışmada R-CNN mimarisi ile maskeleme yöntemi kullanılarak bina tespiti başarı oranında bir artış sağlanması amaçlanmıştır (Chitturi, 2020). Yatay kaydırma, düşey kaydırma, parlaklık, kontrast ve gürültü değerlerinde oynamalar yapılmış ve bina tespiti üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise depremde hasar gören binaların tespit edilmesi sağlanmıştır (Ma vd., 2020). Bu çalışmada DarkNet derin öğrenme mimarisi temeli üzerine YOLO-V3 yaklaşımı ile tespitteki doğruluk oranını arttırmaya yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada yaklaşık %91 başarı oranı elde edilmiş, YOLO-V3 kullanılarak %5.24 oranında bir performans artışı gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında nispeten düşük çözünürlüğe sahip bir veri seti ile eğitim yapılarak bu veri setinde yer alan uydu görüntülerinden bina bölge tespiti ve çatı tipi sınıflandırması yapılmıştır. Görece olarak düşük çözünürlükteki bu verilerin evrişimsel sinir ağları tarafından nasıl ele alınabileceği konusu araştırmanın temel sorularından birisi olarak ortaya atılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde materyal ve metot anlatılmış, bu kapsamında; model eğitimi, arayüz tasarımı ve test aşamaları açıklanmıştır. Takip eden bölümde ise çalışmanın sonuçları ile birlikte tartışma ortaya konmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Gerçekleştirilen çalışma; model eğitimi, arayüz tasarımı ve test olmak üzere üç başlık altında toplanabilir.

2.1. Model Eğitimi

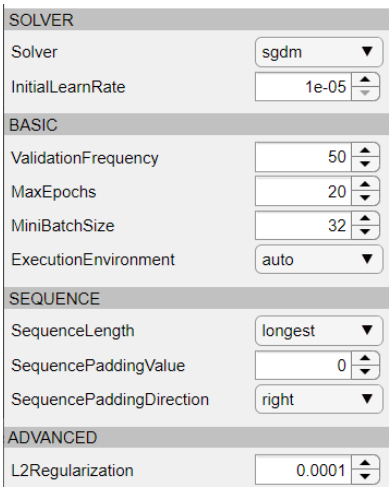
Eğitim aşaması modelin uygulanabilirliği ve yüksek hassasiyette doğruluğu için kritik bir adımdır. Eğitimin başarı oranının artması test sonuçlarının başarı oranını aynı oranda arttırmaktadır. Eğitimin başarı seviyesini etkileyen etmenler vardır. Bunlar; eğitilecek veri setinin büyüklüğü ve çözünürlük kalitesi, CNN mimarisinin yapısı ve eğitim parametreleridir. İlk CNN ağı 1988 yılında Yann

LeCun tarafından ortaya atılan, 1998'lere kadar iyileştirmeleri devam eden LeNet isimli mimaridir (Şeker, 2017). LeNet ile başlayan CNN serüveni zamanla farklı mimari dizaynlar oluşturularak günümüze kadar gelmiştir. Konvolüsyonel sinir ağı mimarisi tabanlı geliştirilen yöntemlere AlexNet, VGG, GoogleNet, Clarifai örnek verilebilir (Tan vd., 2021). Bu mimariler birçok problemin çözümünde kullanılmıştır. Çalışmamızda AlexNet, GoogleNet ve DarkNet53 mimarileri kullanılarak bina bölge tespiti ve sınıflandırılması üzerindeki başarı oranları incelenmiştir. Elde edilen başarı oranlarına göre, düşük çözünürlükteki görüntülerin hangi mimariler için daha iyi sonuçlar verebileceği yönünde çıkarımlar yapılmıştır.

Eğitim aşamasında kullanılan derin öğrenme mimarisinin parametreleri eğitimin süresini ve doğruluk oranını doğrudan etkilemektedir. En çok kullanılan parametreler; "learning rate", "max epoch" ve "mini batch size" olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu parametreleri en uygun şekilde ayarlamak başarılı sonuçları daha kısa bir eğitim süresi içerisinde almamıza olanak sağlar.

Bu çalışma kapsamında seçilen üç farklı CNN mimarisi birbirleriyle karşılaştırılacağı için eğitim parametreleri her üç mimari için de aynı değerlere sahiptir. Eğitim sürecinde kullanılacak parametreler ve aldıkları değerler Şekil 1'de gösterilmektedir.

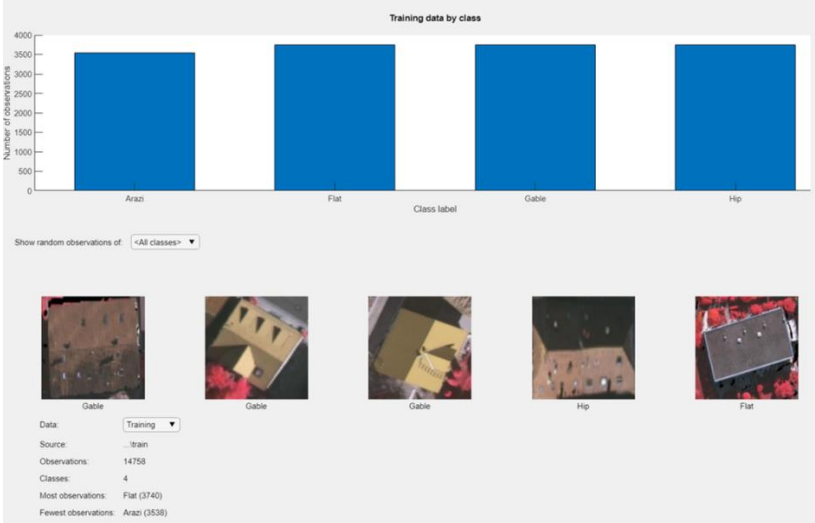
Şekil.1: Eğitim Parametre Değerleri



Eğitim sürecinin en temel yapıtaşlarından biri de veri setidir. Veri setleri, eğitilmesi istenilen nesnelere ait görüntü kümeleridir. Veri setleri için önem arz eden iki konu vardır. Bunlar veri seti büyüklüğü ve görüntü kalitesidir.

Eğitim aşamasında veri setleri içerisindeki nesnelere ait görüntüler ile model eğitilir. Bu aşama aslında bir beynin çalışma sistemi ile birebir aynıdır. Bu eğitimde nesneye ait olan özellikler çıkarılarak modelin nesneyi öğrenmesi sağlanır. Derin öğrenme yöntemlerinin kullanıması için büyük bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır (Özel vd., 2021). Modele sunulan farklılaştırılmış görüntü sayısı arttıkça modelin eğitim seviyesi de artar ancak belli bir seviyeden sonra görüntü sayısının artması eğitimin kalitesini düşürmeye başlar. Bu sebeple başarılı bir eğitim için veri setine ait görüntü miktarının en uygun seviyede seçilmesi gerekmektedir. Diğer bir kriter ise eğitilen görüntülerin uzamsal çözünürlüğüdür. Görüntü içerisindeki nesne ne kadar anlaşılır ve nesneye ait ayrıntılar ne derece belirgin olursa modelin eğitimi de aynı oranda başarılı olacaktır. Bu çalışmada özellikle veri setine ait görüntüler ve test edilen görüntüler düşük çözünürlükte seçilmiştir. Bunun amacı CNN mimarilerinin düşük çözünürlüklü görüntüler üzerindeki başarı seviyesi ölçebilmektir. Veri setinde "Düz" (Flat), "Üçgen" (Gable) ve "Sarkık" (Hip) çatı sınıflarına ait, her bir sınıf için yaklaşık 4000 adet görüntü vardır. Bu görüntüler düşük çözünürlükte ve sadece çatı bölgelerini içermektedir. Veri setine ait örnek görüntüler ve çatı sınıflarına ait eğitim örneklerinin sayıları aşağıda gösterilmektedir (Şekil 2).

Şekil.2: Eğitim Veri Seti Büyüklükleri ve Bazı Örnek Görüntüler

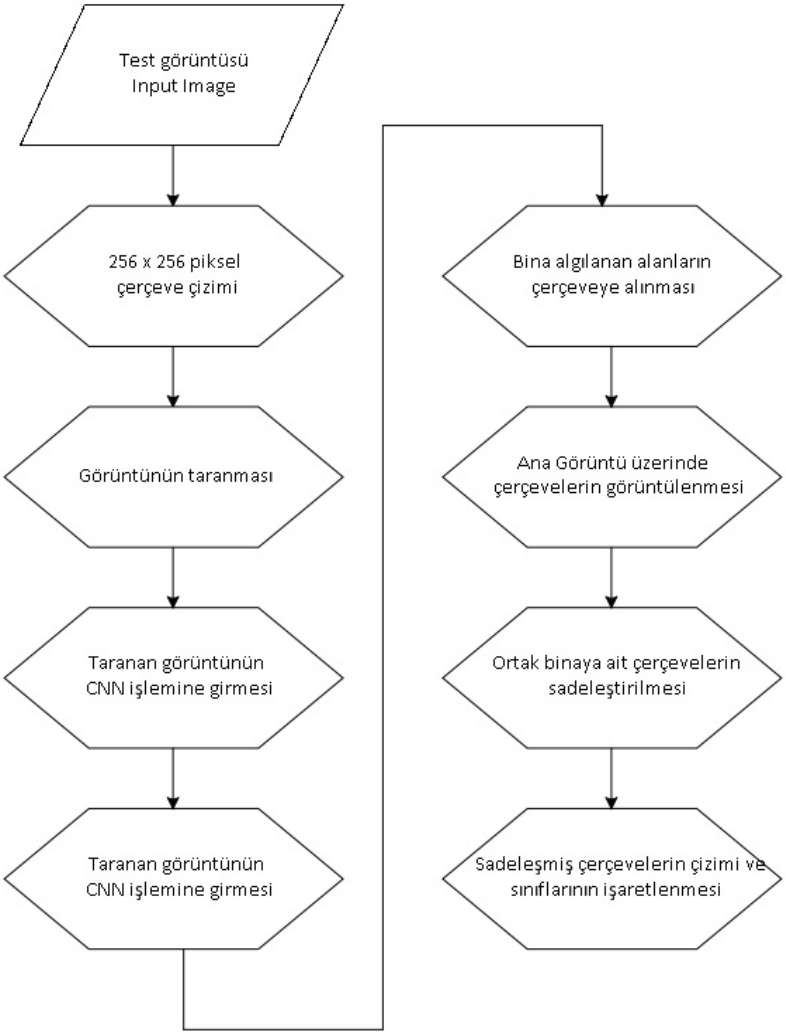


Eğitim için seçilen veri seti yukarıda belirtilen parametreler kullanılarak Matlab programlama ortamının 'Derin Öğrenme Araç Kutusu' kullanılarak eğitilmiştir. Veri setinin % 85'i eğitim, %15'i ise test süreci için kullanılmıştır. Eğitim aşamasında elde dilen başarı yüzdesi ve çalışma süreleri mimarilerin binalara ait çatı tiplerinin sınıflandırılmasındaki başarı oranlarını yansıtmaktadır. AlexNet, GoogleNet ve DarkNet53 mimarilerine ait eğitim başarı oranları sırası ile % 91.59, % 98.50, % 99.28 şeklinde elde edilmiştir.

2.2. Arayüz Tasarımı

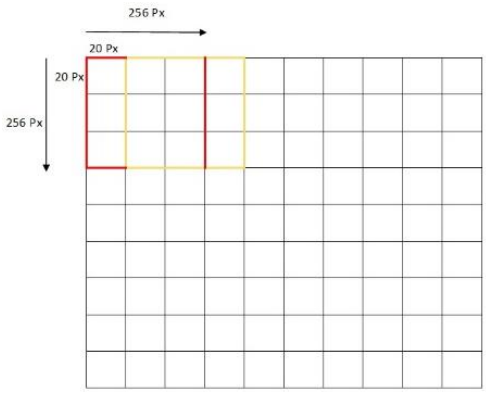
Arayüz çalışmaları da Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Burada tasarlanan arayüz ile, girdi alınması, tanımlama, sınıflandırma ve çıktı üretimi gibi işlemler tek bir ekran üzerinden pratik bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Girdi olarak alınan test görüntüsü binaların konumlarını ve sınıflarını gösterir şekilde çıktı vermektedir. Arayüz tasarımında test verisi parçalara bölünerek ve eğitilen model içerisine dahil edilerek sınıflandırmaya sokulur. Böylelikle bina olarak algılanan görüntüler işaretlenir ve çıktı verisi hazır hale gelir. Tasarlanan yapı birden fazla aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; "Tarama", "Tespit", "Sınıflandırma" ve "Birleştirme" aşamalarıdır. Bu aşamalardan "Tarama", "Tespit" ve "Sınıflandırma" adımları ardışık olarak gerçekleştirilen işlemlerdir. Her görüntü sırasıyla tarama, tespit ve sınıflandırma işlemlerine girer. Ana görüntünün tamamı taranınca son işlem olarak birleştirme işlemi uygulanır. Arayüz tasarımına ait işlem akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.

Şekil.3: İşlem Akış Diyagramı



Çalışmada tek bir bina içeren görüntülerin yanı sıra birden fazla binaya sahip görüntülerin de analiz ediliyor olması nedeniyle bir tarama algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma kısaca, girdi olarak alınan test görüntüsünü 256 x 256 piksel boyutundaki bir çerçeve ile taramaktadır. Tarama algoritması, çerçevenin sırasıyla soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru hareket ettirilmesi prensibine dayalıdır. Bu çerçeve 20 piksellik bir basamak değeri ile kaydırılarak tüm görüntü üzerinde dolaşımına imkan tanınır.

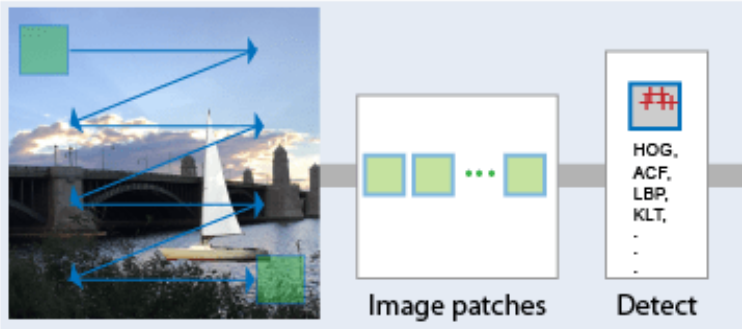
Şekil.4: Çerçevenin Tarama Hareket Yönü



Tespit işlemi tarama işlemi ile entegre olarak işlemektedir. Her tarama verisi, daha önceden eğitilmiş CNN mimarisine sokularak görüntünün ilgili parçasının bina bölgesi olup olmadığı tespit

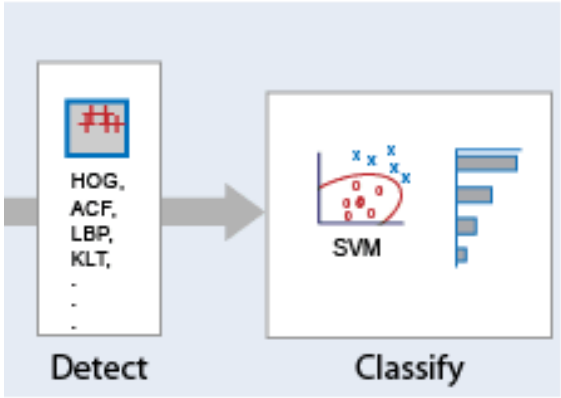
edilir. Bina olarak değerlendirilen çerçeve pozisyonunun konumu işaretlenerek çerçevenin görüntü üzerindeki hareketine devam edilir ve bir sonraki görüntü parçasına geçilir. Bina olarak tanımlanan ve işaretlenen görüntünün koordinatları ayrı bir yerde kaydedilerek binalara ait koordinat değerleri liste halinde saklanır. Bu süreci özetleyen örnek bir görsele Şekil 5'te yer verilmiştir.

Şekil.5: Görüntü Tarama Hareketi Yönü



Sınıflandırma aşaması, bina bölgelerinin tespit aşamasında elde edilen sonuçlara göre çalışmaktadır. Seçili görüntü, çatı tipi tespiti için eğitilen modele sokularak önceden tanımlanmış üç adet sınıfa ait skor değerleri belirlenir. Bu skor değerleri 0 ile 1 arasında oluşan olasılık değerlerdir. Üç sınıfa ait skor değerlerinin toplamı 1 olup buna göre tahmin değerleri dağıtılır. En yüksek skora ait sınıf seçilerek binanın sahip olduğu çatı sınıfının tahmini yapılır (Şekil 6).

Şekil.6: Bina Bölge Tespiti ve Çatı Sınıflandırılmasına Ait İşlem Özeti



Test görüntülerinin tamamı 256 x 256'lık bir çerçeve ve 20 piksellik kaydırma değeri ile tarandıktan sonra son aşama olan 'Birleştirme' safhasına geçilir. Birleştirme safhasının görevi bir önceki aşamada bina bölgesi olarak tespit edilen görüntülerde sadeleştirme yapmaktır. 256 x 256 boyutlarında seçilen tarama çerçevesi tarama esnasında binayı tek bir kare içerisine alamayabilir. Bunun sebebi, bina görüntüsünün çerçeve boyutlarından daha büyük olması ile açıklanabilir. Diğer bir ihtimal ise binanın kaydırma piksel boyutu olan 20 pikselden büyük olmasıdır. Örneğin, bir bina 20 piksel ile 256 piksel arasında bir büyüklükte olursa tek görüntü içerisinde yer alır ancak bu değerlerden farklı olursa birden fazla tarama çerçevesi içerisinde görüntülenebilir. Bu sebeple binanın birden fazla görüntülenmesi durumunda bir sadeleştirmeye gitmek gerekmektedir. Aynı binaya ait veya farklı binalar olma durumları aralarındaki mesafe, sınıfları değerlendirilerek bir eşik değer doğrultusunda belirlenir. Aynı olduğu tahmin edilen görüntüler birleştirilerek yeni bir koordinat değeri oluşturulur. Böylelikle sadeleştirme yapılarak çıktı elde edilir. Sonrasında bu koordinat değerleri sınıfları ile beraber ana test görüntüsü üzerinde işaretlenir (Şekil 7).

Şekil.7: Test Görüntüleri Üzerinde Bina Bölgelerinin Tespiti (sol) ve Sadeleştirilmesi (sağ)

2.3. Test

Bu aşama, yapılan çalışmanın deneysel sonuçlarının alındığı çıktı aşamasıdır. Bir başka deyişle, tasarlanan arayüzü kullanarak eğitilen modeli test ettiğimiz ve çalışmanın tespit ve sınıflandırma doğruluğunu ortaya koyan aşama olarak nitelendirilebilir. Test aşaması, entegre olarak tasarladığımız arayüze girdi olarak verilen test görüntüsü içerisindeki binaların yerlerini tespit eder ve çatı tiplerini çıktı olarak verir.

Arayüzün ve eğitilen CNN modellerinin test edilmesi için 10 adet görüntüden oluşan bir veri seti oluşturulmuştur. Veri seti Google Earth üzerinden manuel yöntemlerle elde edilmiştir. Görüntülerin çekim yükseklik değerleri farklı seçilmiştir. Bu durum, görüntü üzerindeki binaların ve diğer cisimlerin boyutlarının farklı olması anlamına gelmektedir. Çalışmamızda bina bölgeleri ve çatı tipi sınıflarının tespiti yapılırken aynı zamanda CNN mimarilerinin; görüntü çözünürlüğü, bina şekli ve rengi ile bina boyutu gibi çeşitli etmenler üzerindeki başarısı da gözlemlenmek istenmiştir.

Test görüntüleri oluşturulurken seçilen binaların birbirinden şekil, çatı rengi ve boyutça farklı olması sağlanmış ve çözünürlük belli bir oranda düşürülmüştür. Örnek bir test görüntüsüne Şekil 8'de yer verilmektedir.

Şekil.8: Test Görüntü Örneği

3. SONUÇLAR

Üç farklı CNN mimarisi kullanılarak birden fazla bina içeren 10 adet test görüntüsü işleme sokulmuş, bina bölgelerinin tespiti ve çatılarının sınıflandırılmaları için doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada çıkarılması hedeflenen iki ana sonuç bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi, ele alınan CNN mimarilerinin bina bölge tespitindeki ve çatı tiplerinin sınıflandırılmasındaki başarısıdır. Bina bölge tespitine yönelik başarım değerleri AlexNet, GoogleNet ve DarkNet53 için sırasıyla %92.30, %87.18, %38.48 olarak elde edilmiştir. Öte yandan, binalara ait çatı tiplerinin sınıflandırılmasında Top-

1 ve Top-2 olmak üzere iki farklı sonuç hesaplanmıştır. Üç farklı çatı sınıfı için elde edilen en yüksek skor 'Top-1' değeri olarak nitelendirilir. 'Top-2' ölçütü ise tespit edilen çatı sınıfının en olası iki sınıftan birine dahil olma durumudur. Elde edilen 'Top-1' ve 'Top-2' değerleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Top-1 ve Top-2 Ölçütlerine Göre Sınıflandırma Doğruluk Yüzdeleri

	TOP-1 (%)	TOP-2 (%)
ALEXNET	37,14	68,57
GOOGLENET	15,15	57,57
DARKNET53	15,38	38,46

Çalışma sonucunda kullanılan üç farklı yapay sinir ağı modelinin bina bölge tespiti ve çatı sınıflandırılmasında verdiği sonuçlar gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlara göre DarkNet53'ün bina bölge tespiti için uygun olmayan bir mimariye sahip olduğu değerlendirilmiştir. Bina bölge tespiti için en uygun mimarinin %92,30 ile AlexNet olduğu ancak GoogleNet mimarisinin de kullanıma elverişli olduğu değerlendirilmiştir. AlexNet ve GoogleNet mimarilerinin bina bölge tespiti hususunda elde etmiş oldukları yüksek doğruluk, görüntü çözünürlüğünün çalışma sonucunu çok fazla etkilemediği sonucuna varmamızı sağlamaktadır.

Çatı tipi sınıflandırmasında ise her üç mimarinin de düşük başarım değerleri ürettiği, ancak en yüksek doğruluğu %37,14 ile yine AlexNet mimarisinin verdiği gözlemlenmiştir. Eğitim ve test için kullanılan veri seti çözünürlüğünün düşük olmasının sınıflandırmada belirleyici bir etken olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle düz çatı sınıfının yüksek oranda betonarme olması ve gri renk tonunda olması, gri renkli olan diğer çatı sınıfları ile karışıklığa sebebiyet vermiş ve eğitim verisindeki düşük çözünürlük sebebiyle ayırt edici faktörler öğrenmeye dahil olamamıştır.

Çalışmamızda diğer birçok araştırmanın aksine doğruluk oranını arttırıcı etkenleri kullanarak yüksek sonuçlar almanın yerine, doğruluk oranına etki eden olumsuz şartların etkileri gözlemlenmeye çalışılmıştır. Çalışmamız, yapay sinir ağları yöntemiyle eğitilen modellerde bina bölge tespiti için çözünürlük etkeninin göz ardı edilebileceğini ancak çatı tipi sınıflandırmasının göz ardı edilemeyecek boyutta önem taşıdığını göstermiştir.

4. KAYNAKÇA

CHİTTURİ, G. (2020). Building Detection in Deformed Satellite Images Using Mask R-CNN, Yüksek Lisans Tezi, Blekinge Teknoloji Enstitüsü, İsveç.

MA, H., LİU, Y., REN, Y. ve YU, J. (2020). "Detection of Collapsed Buildings in Post-Earthquake Remote Sensing Images Based on the Improved YOLOv3", Remote Sensing, 12(1): 44.

MATHWORKS (2022). "Getting Started with YOLO v2", https://ch.mathworks.com/help/vision/ug/getting-started-with-yolo-v2.html, 12.03.2022

ÖZEL, M. A., BAYSAL, S.S. ve ŞAHİN, M. (2021). "Derin Öğrenme Algoritması (YOLO) ile Dinamik Test Süresince Süspansiyon Parçalarında Çatlak Tespiti". Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2021 (HORA), 1-5.

ŞEKER, A., DİRİ, B. ve BALIK H.H. (2017). "Derin Öğrenme Yöntemleri ve Uygulamaları Hakkında Bir İnceleme", Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(3): 47-64.

TAN, F.G., YÜKSEL, A.S., AYDEMİR, E. ve ERSOY, M. (2021). "Derin Öğrenme Teknikleri ile Nesne Tespiti ve Takibi Üzerine Bir İnceleme", European Journal of Science and Technology, 25: 159-171.

Presentation ID / Sunum No= 61

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID:

Algal Biyokütlenin Atık Su Arıtımı, Biyoyakıt, Aktif Karbon ve Biyoürünlerde Kullanılması

Dr. Öğretim Üyesi Yunus Emre Şimşek[1]
[1]Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü,
e-mail:yunusemre.simsek@bilecik.edu.tr

Özet

2050 yılına kadar Dünya nüfusunun 10 milyar insana ulaşacağı tahmin edilmektedir. Artan bu nüfus ile birlikte hızlı sanayileşmenin getirdiği çevre sorunları insanları ve ekosistemi tehdit eder seviyelere ulaşacaktır. Algler atık su yöntemleri kullanılarak çevre sorunlarını en aza indirme potansiyeline sahiptirler. Algler karasal bitkilerden (terrestrial plants)10 kat daha hızlı büyür ve tarımın elverişli olmadığı alanlarda rahatlıkla yetişebilmektedirler. Taze suya da ihtiyaç duymadıklarından karasal bitkilerden (land crops) daha verimli bir biçimde ekimi yapılabilmektedir. Geleneksel tarımla karşılaşılan yoğun su ve gübre kullanımına da ihtiyaç duymazlar. Ayrıca algler atık su yönetimini yanında tıp (ilaç ve ilaç taşıyıcı sistemler), biyoyakıtlar, biyogübreler, gıda takviyeleri ve aktif karbon gibi değerli ürünlere dönüştürülebilmektedir. Alglerin bu geniş kullanımının yanı sıra teknolojik ve ekonomik engellerin aşılması için algler üzerine bilimsel çalışmalar bütün hızıyla sürmektedir. Bu çalışma alglerin atık su arıtımı, biyoenerji üretimi, biyoaktif değerli yan ürünler ve aktif karbon üretimi üzerine son yıllarda yapılan çalışmalara genel bir bakış açısı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: : Alg, Atık Su Arıtımı, Biyoyakıt, Aktif Karbon, Biyoürünler

Usage of Algal Biomass in Industrial Wastewater Treatment, Biofuel, Activated Carbon and Bioproducts

Abstract

It is estimated that the World population will reach up to 10 billion people by 2050. Alongside the increasing population, environmental problems brought about rapid industrialization will reach the levels that threaten people and the ecosystem. Algae boast the potential to minimize environmental problems by using wastewater treatment methods. Algae grows ten times faster than terrestrial plants and can easily cultivate in the areas which the agriculture is not suitable in. Because they nod need fresh water, they can be grown more efficiently than land crops. Moreover, they do not need the intensive use of water and fertilizers encountered in traditional agriculture. Algae, in addition to wastewater treatment, can also be transformed into valuable products such as medical products (drug and drug delivery

systems), biofuels, biofertilizers, food supplements and activated carbon. Besides the wide use of algae, scientific studies on algae continues at full speed in order to overcome technological and economic obstacles. This paper provides an overview of recent studies on wastewater treatment, bioenergy production, bioactive valuable byproducts and activated carbon production from algae.

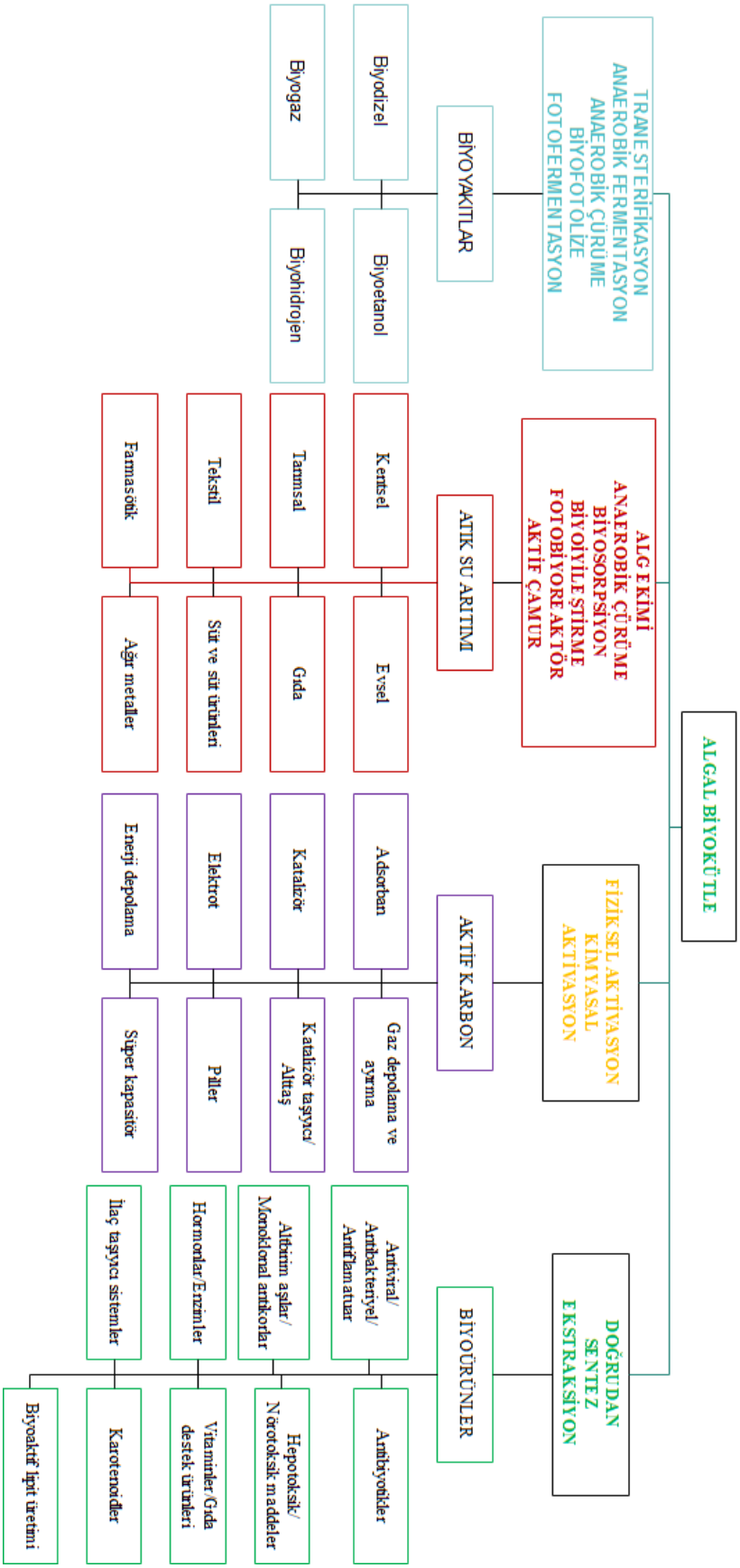
Keywords: Alga, Wastewater Treatment, Biofuel, Activated Carbon, Bioproducts

1. GİRİŞ

Algler çeşitli sulu çevrede yetişen ya da yetiştirilebilen çoğunlukla klorofil içeren ökaryotik organizmaların genel adıdır. Alglerin en eski yaşam formlarından biri olduğu düşünülmektedir. Günümüzde 100000 yakın alg türü tanımlanmış olup bu sayının çok fazlasının olduğu düşünülmektedir. Karasal bitkiler gibi çoğu alg atmosferik CO_2'den inorganik karbonu alır ve fotosentez ile gün ışığını kimyasal enerjiye dönüştüren fotootototroflar olarak yetişir. Fotosentez ile oluşan şekerler daha sonra biyokütle maddesini oluşturan lipitler, karbonhidratlar ve proteinler gibi başka hücresel bileşenlere dönüşürler [Radmer ve Parker, 1994:93; Darzins vd., 2010:5]. Algler genel olarak büyüklüklerine göre makro algler ve mikro algler olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar. Tatlı ya da tuzlu sularda bulunan makro algler (su otları) 50 cm'den 60 m'e kadar uzayabilen çok hücreli organizmalardan oluşmaktadır. Karasal bitkilerle karşılaştırıldığında büyüme hızları oldukça yüksek olup kültürlenmemiş algin verimi 3-11.3 (kuru kg alg/m^2yıl) iken, kültürlenmişin verimi 13 (kuru kg alg/m^2yıl) ulaşabilmektedir. Fotosentetik pigmentlerin bileşimine göre makro algler yeşil (Chlorophyceae), kırmızı (Rhodophyceae) ve kahverengi (Phaeophyceae) türleri olarak sınıflandırılır [Darzins vd., 2010:16; Neveuxvd., 2014:678; Kraan, 2013:35; Rosenberg ve Ramus, 1982:252]. Mikro algler ise temel fotosentetik pigmenti klorofil olan boyu nano ve milimetre arasında değişebilen tek hücreli organizmalardır. Deniz ve taze su sulu ortamlarında ve tüm toprak tiplerinin yüzeylerinde bulunabilirler. Genelde fotosentetik organizmalar olmalarına rağmen ışıksız ortamda heterotrofik olarak yetişebilmektedir. Mikro algler kimyasal ve morfolojik karakteristiklerine göre sınıflandırılırlar. Pigment bileşimine, hücre yapısına, yaşam döngüsüne göre mikro algler yeşil alg (Chlorophyceae), mavi-yeşil alg yada siyanobakteriler (Cynophyceae), sarı-kahverengi algler (Chrysophyceae), diatomlar (Bacillariophyceae) ve östigmatofitler (Eustigmatopphyceae) olarak adlandırılırlar [Darzins vd., 2010:18; Garofalo, 2009:74].

Sanayileşmenin ve dünya nüfusunun hızlı artışıyla birlikte hava, kara ve su kirliliği ekolojinin geri dönülemez şekilde bozulmasına ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Ağır metaller, boyar maddeler, nükleer atıklar, kimyasal gübreler, zirai ilaçlar, hidrokarbonlar, organik ve inorganik kirleticiler, toz partiküller (aresoller), kozmetik sanayi yan ürünleri gibi çeşitli son derece zehirli kimyasallar bu kirliliğe neden olmaktadır. Fizikokimyasal ve biyolojik süreçler, bu kirleticiler tarafından etkilenmiş çevredeki kirleticilerin uzaklaştırılması ve/veya iyileştirilmesi üzerine çalışmalar bütün hızıyla devam etmektedir. Sanayide atık su arıtımı için en yaygın kullanılan fizikokimyasal yöntemler adsorpsiyon, membran filtrasyonu, iyon değişimi, pıhtılaştırma (koagülasyon), elektrokimyasal arıtım, ozmos, oksidazyon, ozonlama, çöktürme ve buharlaştırmadır. Son yıllarda ise biyolojik atık su arıtımı üzerine yapılan çalışmalara hız verilmiştir. Biyolojik atık su arıtım süreçleri, biyosorpsiyon, aerobik olarak atık çamur arıtımı, damlamalı filtre, yükseltgenme havuzu ve aerobik sindirim süreçlerini içermekte iken; anaerobik süreçler anaerobik sindirim, septik tank ve anaerobik gölet/havuz süreçlerinden oluşmaktadır. Kimyasal atık su arıtımı, atık su arıtımı için en hızlı yöntem olsa da, işlenmiş atık su çevre ve canlı organizmalar için çok sayıda olumsuz etkilere sahip yapay kimyasal içermektedir [Ahmad vd., 2016:214; Crini ve Lichtfouse, 2019:145; Rani vd., 2019:86]. Biyolojik iyileştirme (bioremediation) ya da kısaca biyoiyileştirme düşük maliyeti, çevre dostu ve uzun dönem etkinliğinden dolayı en ümit verici biyolojik arıtım süreçlerinden birsidir. Canlı organizmanın hücre duvarları aracılığıyla kirleticileri soğurduğu (absorbe) bir süreç olan biyobirikim (bioaccumulation) süreci ve canlı veya ölü biyokütle kullanılarak ağır metal veya boyar madde gibi kirleticilerin atık sulardan uzaklaştırılmasını içeren biyosorpsiyon mekanizması biyoiyileştirme sürecinin iki ana mekanizmasıdır [Pavithra vd., 2020:1]. Tüm bu süreçlerde kullanılacak kaynakların seçiminde az maliyetli, güvenilir ve çevreye dost yeni malzemelere gerek duyulmaktadır. Bu kriterlerin yanında atık suya kolayca uyum sağlayabilen ve direnç gösterebilen alglere ilişkin çalışmalara son yıllarda büyük bir hız verilmiştir [Kalra vd., 2021:101794].

Artan petrol fiyatları, doğal petrol rezervlerinin hızlıca tüketilmesi ve fosil yakıtların çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar ve küresel ısınma sorununa neden olmasından dolayı, petrolün yerini alabilecek biyoyakıtlar olarak alglerin kullanılabilirliği çalışmaları tüm Dünya'da devam etmektedir. Soya, şeker kamışı ve bitkisel yağlar içeren nişasta bazlı ya da yenilebilir bitkisel kaynaklı birinci nesil biyoyakıtları üretmek için kullanılan biyokütlelerdir. İkinci nesil yakıtlar, birinci nesil yakıtlardan daha farklı üretim süreçlerini içermektedir. İkinci nesil biyoyakıtlar, lignosellülozik bazlı ağaçsı/odunsu biyokütle, enerji amaçlı üretilen Miscanthus, Jatropha ve Moringa gibi bitkiler, tarımsal atıklar veya artıklar ve algleri içermektedir. Bu kaynaklardan çok karmaşık termokimyasal ve biyolojik dönüşüm süreçleri ile çok değerli olan katı, sıvı ve gaz formunda değerli olan biyoyakıtlar üretilebilmektedir. Algler çevresel etkileri azaltan öteki biyoyakıt kaynaklarından daha çevreci ve daha ucuz birer enerji kaynağıdır. Alglerden biyodizel, biyoetanol ve biyohidrojenin yanında çok değerli yan ürünler de elde edilmektir [Jiang vd., 2021:111395; Saravanan vd., 2021: 129226]. Şekil 1'de alglerin farklı alanlarda kullanımı ve çeşitli yöntemlerle değerli ürünlere dönüşüm süreçleri gösterilmektedir.



Şekil 26. Alglerin Dönüşüm Süreçleriyle Çeşitli Alanlarda Kullanılması

2. ALGLERİN ATIK SU ARITIMINDA KULLANILMASI

Çeşitli sanayiler su kaynaklarına önemli miktarlarda kirleticiler salmaktadır. Sanayi türüne göre ağır metaller, boyalar, mineraller, uçucu organikler, yağlar, inorganikler, katı partiküller ve pestisitler gibi kirleticiler atık sularda bulunmaktadır. Ayrıca sanayi ya da kentsel/evsel atık suları nitrojen ve fosfor yönünden zengin olan taze ve tuzlu su ekosistemine etkileyen kirleticilerde üretmektedir. Çevreye bırakılmadan önce bu atık sulardaki kirleticilerin hemen uzaklaştırılması gerekmektedir. Atık sulardaki azot ve fosfor gibi besleyiciler kullanılarak alglerin bu sularda ekimi yapılır ve bu kirleticilerin miktarlarının azaltılması ve/veya çok değerli ürünlerin elde edilmesi sağlanmış olmaktadır. Mikro besleyiciler, vitaminler, iz mineraller, nitrojen ve fosfor algin ekimi ve gelişimi için gereklidir. Chmalydomonas , Galderia sulphuria, Dunliealla salina ve Nannocloropsis gibi algler uygun sıcaklık, pH ve optimal besi kültürü ortamlarında yatay ve düşey tüp, yosun havuzu (raceway pond) ve düz panel gibi ekim ortamlarında yüksek azot ve fosfor gideriminde kullanılmaktadırlar [Empran vd., 2020:101043; Hariz vd., 2019:100907; Choi vd., 2018:333].

Kentsel atıkların büyük bir kısmı evsel atıklardan oluşmaktadır. Genelde bu atıklar işlem görmeden lağımlara, denizlere, göllere ve nehirlere akıtılmaktadır. Bu tip atıkların fizikokimysal özellikleri pH, KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı), toplam nitrojen, fosfat, potasyum, metaller ve mikrobiyal yükten oluşmaktadır [İbrahim vd., 2020:5]. Qu ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada Scenedesmus obliquus algi kültür ortamı kullanılarak kentsel atıklardan %75 veriminde azotun giderilebildiğini göstermişlerdir [Qu vd., 2020: 105483]. Ayrıca alg lipid içeriği, alg kültür ortamına gelen ışık içeriğinin artışı alg içerisindeki lipitlerin (yağlı asit bileşimi) bozularak daha yüksek miktarlarda oleik asit ($C_{18}H_{34}O_2$) ve daha düşük miktarlarda linolenik asit ($C_{18}H_{30}O_2$) gibi yan ürünlerinin ortaya çıktığını göstermektedir [Nzayisenga vd., 2020:6].

Tekstil endüstrisinde oluşan atıkların -özellikle tekstil boyalarının- sulara salınması ötrofikasyon, azalmış fotosentez aktivitesi ve sulu sistemde biyobirikmiş toksinlere neden olmaktadır. Tekstil atık sularının iyileştirilmesinde alg ekimi (yosunlama) geleneksel atık su arıtımı süreçlerine bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Atık sulardaki boyalar biyodönüşüm/biyobozunum veya biyosorpsiyon süreçleri ile de alg büyütmesi kullanılarak giderilebilmektedir. Bu şekilde sadece boyar maddelerin giderilmesi/bozundurulmasının yanında biyoürünler, biyoyakıtlar ve biyoenerji gibi yan ürünlerde ortaya çıkmaktadır [Sharma vd., 2021:101802]. Spirulina platensisalginin Aktif Kırmızı 120 tekstil boyasının gideriminde etkin olarak (% 99'a kadar giderim) kullanılabileceği literatürde gösterilmiştir [Cardoso vd., 2021:150]. Sabitlenmiş (immobilized) Desmodesmus alginin biyoiyileştirme süreci ile metilen mavisi ve malasit yeşili boyar maddelerinin % 98 giderim verimine sahip olduğu belirtilmiştir [Al-Fawwaz ve Abdullah, 2016:95].

Palmiye, ayçiçek, mısır, zeytin ve soya yağı ekstraksiyonunda, kahve çekirdeklerini işlenmesinde, Cassavadan nişasta ve şeker kamışı/pancarından şeker eldesi gibi tarımsal ürünlerin işlenmesi sonucunda oluşan atıklar tarımsak kökenli atıkları oluşturmaktadır. Ayrıca gıda işleme tesisleri gıdanın üretimi, hazırlanması ve tüketiminden oluşan katı ve sıvı atıklarda tarımsal atıklar gibi büyük miktarlarda atık sulara neden olmaktadır. Bu atık sular doğru bir giderime uğramadan su rezervuarlarına salındıkları zaman sucul bitkiler (macrophte) ve toksin üreten siyanobakteriler ürettikleri bilinmektedir. Genelde bu tip atıkların giderimi için oksijensiz çürütme (anaerobic digestion) yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntem ile atık sulardaki kirleticiler giderilmek kalınmaz, ayrıca süreç sonucunda değerli bir yan ürün olarak büyük miktarlarda biyogazda oluşmaktadır [Ahmad vd., 2016:216]. Bir ton ham palmiye yağı üretiminde 5-7.5 ton suya ihtiyaç duyulmakta ve bu miktar palmiye yağı değirmen atığı (PYDA) formunda atık suya neden olmaktadır. PYDA suyuna Nannochloropsis occulata ve Tetraselmis suecica alglerinin ekimi yapılarak 16. Günün sonunda Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) % 95, Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) % 97, Toplam Organik Karbon (TOK) %75, Toplam Azot (TA) % 91 ve yağ ve gliserinlerin % 5 kadarının giderimi gerçekleştirilmiştir [Shah vd., 2016:205]. Manyoktan nişasta üretiminde oluşan atık suların yatay sabit yatak anaerobik reaktörüde Spirulina platensis algnin kullanılmasıyla KOİ'nin % 86.2 ve toplam katıların % 82.5'i giderilmiştir [Wattheier vd., 2019:6].

Ham süt, işlenmiş süt, yıkama suyu ve dezenfektanlar ile pastörizasyon ve homojenizasyon işlemleri sonucu oluşan atıklar süt ve süt ürünleri atık sularını oluşturmaktadır. Algler kullanılarak bu atık suların giderilmesinde açık havuz alg ekimi ve foto biyoreaktörler kullanılmaktadır. Ascohloris alginin ekimi ile (KOİ)'nin % 95 üzerinde giderimi gerçekleştirilmiştir [Kumar vd., 2019:952]. Tetraselmis indica'nın

(KOİ) % 87.49, Toplam Çözünmüş Nitrojenin (TÇN) %83.76 ve Toplam Çözünmüş Fosforun (TÇF) % 79.83' e kadar giderim verimine ulaşılabildiği literatürde gösterilmiştir [Talapatra vd., 2021].

Farmasötik atık sular ilaç sanayisinin oluşturduğu atık sulardır. Bu atık sular yaklaşık olarak % 99.9'u su ve % 0.1 oranında çözünmüş katılardan oluşmaktadır. Çözünmüş katılar yüksek miktarlarda organik madde, mikrobiyal toksisite, tuz ve özellikle antibiyotikleri içeren atık ilaç yan ürünlerinden oluşmaktadır. Antibiyotikler bakteri öldürücü (antibakteriyel), mantar öldürücü (antifungal) ve parazit öldürücü (antiparasitic) özelliklere sahip kimyasallardır. Bu atıkların giderilmesinde algler kullanılarak biyosorpsiyon, aktif çamur ve aerobik çürütme yöntemleri ile giderim gerçekleştirilmektedir. Antibiyotiklerde kullanılan 7-amino cephalosporanic asitin (7-CPA) Chlorella algi ile biyosopsiyon yöntemi kullanılarak biyosorpsiyon kapasitesi 4.74 mg/g ile giderimi gerçekleştirilmiştir. Aynı antibiyotik Chlamydomonas reinhardtii ve Mychomastes algleri kullanılarak biyosorpsiyonla sırasıyla 3.09 mg/g ve 2.95 mg/g giderim kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir [Guo vd., 2016:288]. Tetrasilin gideriminde Scenedesmus quadricaudanın alginin 295.34 mg/g ve Tetraselmis suecica alginin ise 56.25 mg/g biyosopsiyon kapasitelerine sahip olduğu bulunmuştur [Daneshvar vd., 2018:528].

Ağır metaller sulu çevrede toksik üreten, ekosisteme ve bitkilere/hayvanlara son derece zarar veren atık suların en yaygın bileşenlerinden biridir. Doğada kendiliğinden bozulmaya dirençli olan ağır metaller gıda zincirine girerek insanlar için çok tehlikeli sağlık riskleri oluştururlar. Bazı biyolojik kökenli malzemeler kendiliğinden ağır metalleri tutma özelliğine sahiptirler. Algler sahip oldukları lipitler, karbonhidratlar ve proteinleri içeren çok fonksiyonlu makro molekülere sahiptirler. Bu moleküller hidroksil, sülfihidril, fosfat, karbonil, karboksil, amin ve amidler alg yüzeyinde negatif yüklü olarak bulunarak ağır metalleri kendi yüzeylerine çekmektedirler. Algler kullanılarak giderim süreci doğrudan algin veya aktif karbona dönüşümü ile sağlanır. Biyosorpsiyon yöntemi kullanılarak Ceramium rubrum alginin bakır gideriminde 25.51 mg/g biyosorpsiyon kapasitesine [Imani vd., 2011: 2778], Desmodesmus algi demir gideriminde % 80 ve mangan gideriminde % 60 giderime sahip olduğu gösterilmiştir [Abinandan vd., 2019:14].

3. ALGLERDEN BİYOYAKIT ÜRETİMİ

Biyoenerji doğal ya da biyolojik kaynaklardan üretilen yenilenebilir enerji olarak tanımlanabilir. Biyoenerji küresel ısınmayı azaltan ve temiz enerji sağlayan kısa ve orta dönem bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yirmi yılda biyoyakıt kaynağı olarak alglerin enerji amaçlı kullanılmasına ilişkin pek çok çalışma yapılmaktadır. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında CO_2 üretimi ve tüketimi arasındaki dengeyi sağlayıp çevreyi koruyan algal biyoenerji, başarılı bir biçimde CO_2 emisyonlarını azaltmaktadır [Merlo vd., 2021:1373]. Mikro alglerden üretilen biyodizelin CO_2 emisyonlarını % 78.5 oranında azalttığı Van Gerpen tarafından gösterilmiştir [Van Gerpen, 2005:1105]. Algal biyokütlenin fosil yakıtlara göre (a) yaygın alg biyokütlesinin kolayca bulunabilmesi/üretilebilmesi (b) çevreye dost, (c) yakıldıkları zaman düşük CO_2 ve NO_x emisyonları üretmesi, (d) çevreye, ekonomiye ve üreticiye büyük kazançlar sağlaması (e) biyolojik olarak kendiliğinden bozunabilmesi ve (f) uzun dönem sürdürülebilir enerjiye büyük katkılar sağlaması gibi avantajlara sahiptir [Ahmad vd., 2016]. Mısır, buğday, şeker kamışı ve manyok gibi geleneksel bitkilerden üretilen birinci nesil biyoyakıtlar insanlar için temel gıda kaynaklarını oluşturduklarından ancak sınırlı bir kaynağa sahiptirler. Yenilenebilir ve/veya enerji amaçlı üretilen enerji bitkileri, odun, kereste, ot ve tarımsal atıklar/yan ürünlerinden elde edilen ikinci nesil biyoyakıtları oluşturmaktadır. Yenebilir ve yenilenemez kaynaklardan üretilen birinci ve ikinci nesil biyoyakıtlara alternatif ya da bu enerji kaynaklarına enerji sağlayan algler veya alg biyokütlesi üçüncü nesil biyoyakıtlar olarak sınıflandırılmaktadır [Chaudhary ve Loganathan, 2019:1385]. Alglerden üretilen ana biyoyakıtlar biyodizel, biyoetanol, biyogaz ve biyohidrojendir.

Biyodizel, petrol dizelinin yerini alabilecek yenilenebilir biyokütlenin lipitlerden üretilen sürdürülebilir yakıtlardır. Genelde üretim süreci yağların alkoller ile tepkimeye girip ester ve gliserole dönüşüm sürecini içeren transesterifikasyonuna dayanmaktadır. Alg lipit içeriği biyodizel üretiminin verimini ve kalitesini etkileyen en önemli değişkenlerden biridir. Geleneksel petrol kökenli dizel yakıtlarla karşılaştırıldığında alg biyokütlesinden üretilen biyodizelin düşük emisyonlara ve katı partikül salınıma neden olduğu bilinmektedir. Ancak alg biyodizelinin soğuk çevre koşullarında oksidasyon stabilitesinin son derece sınırlı olduğu da bilinmektedir. Milano ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada transesterifikasyon öncesi ön işlemler ve dönüşüm süreci parametrelerinin optimizasyonu ile Chlorella, Nannochloropsis Oculata ve Botryococcus braunii, Scenedesmus obliquus ve Saccharomyces cerevisiae

alglerinden elde edilen biyodizelin oksidasyon stabilitesini artırdıklarını belirtmişlerdir [Milano vd., 2016:194]. Setan sayısı, viskozite, kalorifik değer ve erime noktası taşıt motorlarının performansını ve biyodizel kalitesini belirlemede kullanılmaktadır.

Biyoetanol üçüncü nesil biyoyakıt kaynağı olan alglerden üretilen şu an için en değerli biyoyakıttır. Genelde kimyasal, mekanik, enzimatik ön işlemden geçirilmiş alglerin; alg ekimi, sıvılaştırma, sakarifikasyon, anaerobik fermantasyon ve biyoetanol saflaştırılması için distilasyon adımlarını içermektedir. Süreç sonunda üretilen biyoetanolün yüksek bir oktan sayısına ve buharlaşma entalpisine sahip olup, taşıt yakıtı olarak kullanılan benzine alternatif bir yakıt türüdür. Chlorella sorokiniana alginin asit hidrolizasyonu ile 0.464 g/g alg [Constantino vd., 2021:102329] ve Chlorococcum humicola alginin ise % 26 biyoetanol verimine sahip olduğu [Harun ve Danquah, 2011:307] gösterilmiştir. Porphyridium cruentumun ise asit hidroliz ve fermantasyon işlemleri sonucunda %70.3 biyoetanol dönüşümüne sahiptir [Kim vd., 2017:48].

Algler alg ekimi ve anaerobik çürüme ve anaerobik fermantasyon süreçleriyle elektrik, yakıt hücreleri ve sıvı yakıt üretmek için kullanılabilen biyogaz üretmek için kullanılabilirler. Alg biyokütlesi lignin ve selüloz içeriğinden dolayı mükemmel biyogaz kaynağıdır. Bu süreçlerin sonunda, biyogaz %55-75 CH_4 ve %25-45 CO_2 içermektedir. Anaerobik süreç sonucunda oluşan biyogazın yanında geriye kalan biyokütle toprak için gerekli besleyicileri de içermektedir. Scenedesmus, Euglana, Spirulina ve Ulva algleri biyogaz üretiminde ticari olarak kullanılmaktadırlar [Nagarajan vd., 2017:374]. Ancak ötrofikasyon ve zararlı kimyasalların bu süreçte oluşması biyogaz üretim sürecini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Genelde bu olumsuz etkiler anaerobik çürüme ortamına bazı mikroorganizmaların eklenmesi ile giderilmektedir. Parachlorella kessleri ve Scenedesmus obliquus alglerinden sırasıyla uçucu katı başına yaklaşık olarak 70 mL ve 59 mL biyogaz üretilmiştir [Klassen vd., 2015:48]. Arthrospira platensisden elde edilen biyogaz üretimi ise 4 g/L saatdir [Hermann vd., 2016:335].

Yüksek ısıl değeri ve temiz bir enerji kaynağı olarak alglerden biyohidrojen üretimi ışığa bağımlı ya da ışığa bağımsız olarak iki farklı yöntemle üretilebilmektedir. Işığa bağımlı üretim süreçlerinde algler ve siyano bakteriler biyofotolize (biyolojik ışık bozulum) edilirken, ışığa bağımsız üretim sürecinde fotosentetik bakteriler ile fotofermantasyon işlemi ile biyohidrojen üretimi yapılmaktadır. Bu süreç ışığa bağımlı değildir, çünkü organik moleküller anaerobik bakteriler ile mayalama işlemi koyu fermantasyon (dark fermetation) ile gerçekleştirilmektedir. Biyohidrojen en yüksek enerji yoğunluğuna (142 MJ/kg) ve dönüşümüne sahip olup, biyogaz üretim boyunca sera gazları üretilmez ve yan ürün olarak suyun çıktığı çevre dostu bir üretim sürecidir. Chlorella vulgaris alginden koyu fermantasyonla 2.87 mmmol H_2/g alg gazı üretilmiştir [Lunpom vd., 2019:3311].

4. ALGLERDEN AKTİF KARBON ÜRETİMİ

Aktif karbon yüksek yüzey alanına sahip ve son derece gözenekli malzemeler olduklarından atık suların arıtılmasında adsorban olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca toksik gazların çevreden uzaklaştırılması, gaz depolama ve ayırma, katalizör ve katalizör taşıyıcısı/alttaşı, elektrot malzemesi, piller, enerji depolama ve süper kapasitör olarak da kulanım alanına sahiptir. Aktif karbon üretim süreci çeşitli gaz ortamında (buhar, CO_2, hava ve N_2 gibi) 800-1000 °C'de biyokütlenin karbonizasyonunu içeren fiziksel aktivasyon ile ya da kimyasal başlatıcılar (NaOH, KOH, $ZnCl_2$, H_3PO_4, HCl, H_2SO_4 gibi) kullanılarak inert atmosferde 350-600 °C'de kimyasal aktivasyon ile üretilmektedir. Üretim sürecine ve üretim sürecindeki değişkenlerin optimizasyonuna ve kullanılan biyokütleye bağlı olarak elde edilen aktif karbonların %90'a kadar karbon içerdiği ve 4200 m^2/g yüzey alanlarına kadar ulaşılabildiği literatürde gösterilmiştir. Arthrospira platensis alginin 550 °C'de su buharı ortamında elde edilen aktif karbonun yüzey alanının 2200 m^2/g ve mikro gözeneklerden oluştuğu belirtilmiştir [Chang vd., 2019].

Adsorpsiyon ile giderim süreci, güvenirliliği ve kolayca işletilmesi bakımından atık sulardan kirleticilerin uzaklaştırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. 600 °C'de karbonize edilen Chlorella alginden üretilen aktif karbonun p-nitrofenollerin gideriminde yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaştığı (204 mg/g alg) ve ticari aktif karbondan % 140 daha yüksek adsorban kapasitesine ulaştığı bulunmuştur [Zheng vd., 2017:1462]. Spirulina alginden çeşitli sıcaklıklarda doğrudan karbonizasyon ile üretilen aktif karbonların tetrasilin giderimindeki etkisi Choi ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. En yüksek giderim 750 °C'de üretilen aktif karbonda 132.8 mg/g olduğu gösterilmiştir [Choi vd., 2020:136282].

Alglerden üretilen aktif karbonlar tekstil boyar maddelerin giderilmesinde de kullanılmaktadır. Ulotrix zonata alginden 800 °C'de malasit yeşili tekstil boyar maddesinin gideriminde yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu (5306.2 mg/g) gösterilmiştir [Chen vd., 2018:122947]. Adsorban olarak metal tuzlarının ve ağır metal iyonlarının algal aktif karbon ile giderimide yapılmaktadır. Örneğin Laminaria japonica'nın 450 °C'de karbonizasyonu ile üretilen aktif karbon adsorbanın fosfat giderimi 31.2 mg/g'dır [Jung vd., 2016:1025]. Spirulina farklı sıcaklıklarda üretilen aktif karbonlarının cıva ağır metal giderimi çalışmaları Ge ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. En yüksek Hg^{2+} giderimi 350 °C'de üretilen adsorbanına (12.7 mg/g] aittir [Ge vd., 2020:115187].

Yüksek yüzey alanı ve iyi gelişmiş mikro gözenek yapısından dolayı algal aktif karbonlar H_2 depolama ve CO_2 tutma yeteneklerine de sahiptirler. Entemorpha prolifera algini 600 °C'de KOH aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonun 6.48 mmol/g CO_2 tutma kapasite sahiptir [Zhang vd., 2012:188]. Chlorococcum alginin 700 °C'de KOH aktivasyonu ile elde edilen karbonun 4.03 mmol/g CO_2 tutma kapasite sahip olduğu gösterilmiştir [Luo vd., 2016]. Enteromorpha prolifera'dan iki kademeli KOH ve H_3PO_4 aktivasyonu ile 800 °C'de elde edilen aktif karbonun 20 bar basınçta 7.05 g/g H_2 depolama kapasitesi olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir [Wu vd., 2017:32799].

Yüksek stabilitesi ve güç yoğunluğundan dolayı enerji depolama sistemleri arasında süper kapasitörler öne çıkmaktadır. Sanki kapasitans (psedo-capacitance) elektrik çift katmanlı kapasitanslarda karbonlu malzemeler ana aktif bileşenini oluşturmaktadır. İlk olarak 2006 yılında deniz yosunlarının 600 °C'de doğrudan karbonizasyonu ile elde edilen karbonun 198 F/g kapasitans sahip olduğu gösterilmiştir [Pinero ve Beguin, 2006:1881]. Kelp makro alginden KOH aktivasyonu ile elde edilen karbonun 261 g/F kapasitansa sahiptir [Wu vd., 2015:311]. Cladophora glomerata alginden 900 °C'de HNO_3 kimyasal aktivasyonu elde aktif karbonların ise 376 F/g kapasitans değerine sahiptir [Pourhosseini vd., 2017:295]. Yüksek enerji yoğunluğu ve uzun yaşam ömürlerinden dolayı en önemli enerji depolama araçlarından biriside lityum pillerdir. Alglerden elde edilen aktif karbonun bu pillerde elektrot olarak uygunluğu ise araştırılmaktadır. Cladophora glomerata alginin 500 °C'de $FeCl_3$ kimyasal aktivasyonu ile elde edilen karbonun ilk deşarj kapasitesi 740 mAh/g olduğu bulunmuştur [Salimi vd., 2019:710]. $Ni(NO_3)_2$ aktivasyonu ile 800 °C'de Kırmızı alg laver'in 1006 mAh/g tersinir kapasiteye sahip olduğu bulunmuştur [Ouyang vd., 2019:114].

Alg türevli aktif karbonlar kirleticilerin küçük moleküllere dönüştürülmesinde katalizör olarak kullanılabilmektedir. Spirulinadan elde edilen karbonun persülfat aktivasyonu ve sulfametokazol yükseltgenmesinde yüksek bir etkinliğe sahiptir [Ho vd., 2019:84]. İki adımlı KOH aktivasyonu ile Sargassum tereneriumundan elde edilen aktif karbonlar fenol hidrojelenmesi reaksiyonlarında Ni/Co katalizör desteği olarak kullanılmış ve fenolün %99.9 dönüşüm oranı ile siklohekzanole dönüşümü gerçekleştirilmiştir [Kumar vd., 2020:109533].

5. ALGLERİN DEĞERLİ BİYOÜRÜNLERE DÖNÜŞÜMÜ

Özellikle mikroalgler antibiyotikler, altbirim aşılar, monoklonal antikorlar, hepotoksik ve nörotoksik maddeler, hormonlar, enzimler ve farmokolojik ve tedavi edici gibi maddelerin, kimyasal yöntemlerle sentezlemesinin güç olduğu alternatif biyoaktif molekülere sahiptir. Chorella zofigiensis, Scenedesmus, Selenastraceae, Pectinodesmus alglerinin bileşenleri olan ester-astaksantin, glukan, β-karoten, Kantaksantinin kan yağlarının düşürülmesinde, kandaki hemoglobinin artırılmasında ve karaciğerin korunmasında (hepotoprotektif ajanı); Dunaliella salina, Chlorella, Nannochloropsis oculate, Tetraselmis alglerinin bileşenleri olan glutasyon, β-karoten, kriptozantin, zeaksantin, α-karoten, lutein ve kantaksantinin kanser önleyici, göz hücrelerini koruyucu, hipertansiyon önleyici, antioksidan ve analjezik; polidoymamış asitler, β-karoten, γ-linolenik asit, lösin, Vitamin B1 ve B12, provitamin A, Vitamin K izolökin bileşinlerince zengin Artrospira platensis, Tetraselmis suecica, Dunaliella tertiolecta alglerinin antioksidan, bağışıklık sistemi güçlendirici, doku plazminojen aktivatörü, kolesterol düşürücü, anti tümör ve şizofren risklerini azaltan özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir [Barrow ve Shahidi, 2007; Gong ve Huang, 2020:101897; Archer vd., 2019:101671; Bhosale ve Bernstein, 2005:450; Gonçalves vd., 2019:101032; Andrade vd., 2018:47; Becker, 2007:208; Mobin ve Alam, 2017:515; Sathasivam vd., 2019:710; Spolaore vd., 2006:88]. Antiviral, antibakteriyel ve antioksidan özelliklerinin yanında kanser hücreleri gibi çok özel hücrelere ilaçların ya da genlerin taşınmasında ilaç taşıyıcı sistemler olarak algler kullanılabilir. Kusurlu ya da kayıp genom genetik hastalıklara sahip hastalarda bulunur. Silika nanopartiküllerin gen transferinde düşük çözünürlük/stabilite ve yüksek

toksititeli geleneksel ilaçların bu kısıtlayıcı etkilerinin kaldırılmasında vücudun çok özel bölgelerine gönderilmesi/zerk edilmesi olarak kullanılabilmektedir. Aljinat, karajenan, laminarin ve fukoidan gibi alglerde bulunan bu polisakkaritler silikon nanopartiküllere dönüştürülebilir ve yüzeyindeki hidrofilik gruplar aracılığıyla biyomoleküller ile etkileşime girmede kullanılabilir [Shankar vd., 2016:34]. Kahverengi alglerin (Phaeophyta) dış iskelet sisteminde amorf silikaya sahip oduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu algler doğal silika kaynağı olup katyonik reajanlar (örneğin katyonik aminosilan) ile işlemden geçirildiklerinde gen ileten taşıcı olarak kullandırılabilmektedirler [Santhanam vd., 2019]. α ve β karotenler ve ksantofiller (lutein, astaksantin, zeakstin ve fukosantin) potansiyel biyolojik uygulamaları olan antioksidan ve antiinflamatuvar mikroalg kaotenoidlerdir. Kalp dolaşım sistemi, obezite, şeker, bazı kanser türleri ve sinirsel bazı komplikasyonların azaltılmasında kullanılabileceği gösterilmiştir [Bonet vd., 2020:158676].

SONUÇ

Bu çalışmada alglerin atık su arıtımı, biyoenerji üretimi ve yüksek değerli biyoürünlerin üretiminde alglerin kullanılmasına yönelik kısa bir çalışmaya yer verilmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik açısından alglerin farklı yöntemlerle atık suların arıtımında kullanılması üzerine son yıllarda artan çalışmalarla birlikte; alg biyokütlesi kullanılarak bütünleşik biyorafineri sistemlerin kurulması ve işletilmesi, döngüsel ekonomi ve daha yeşil sanayi uygulamalarını sağlamaktadır. Bir enerji kaynağı olarak algler ve alg biyokütlesinden üretilen biyoyakıtların tüm süreç maliyetlerini en aza indirerek üçüncü nesil biyoyakıt olarak da kullanılabilir. Karbonlu malzemeler fizikokimyasal ve yapısal özelliklerinden dolayı farklı sanayi alanlarında kullanılırlar. Biyokütle yaşayan veya ölü bitki ve hayvan kökenli yenilenebilir organik maddelerdir. Doğrudan karbonizasyon, hidrotermal karbonizasyon ve kimyasal aktivasyon süreçleriyle biyokütle kolayca karbonlu malzemelere dönüştürülebilir. Sulu biyokütle kaynağı olarak algler bu dönüşüm süreçleriyle çok değerli olan ve geniş kullanım alanına sahip ürünlere dönüştürülmektedir. Elde edilen bu ürünler atık su arıtımı, koku giderimi, gıda, kozmetik ve eczacılık sanayinde, gaz depolama ve ayırma süreçlerinde, demir-çelik endüstrisinde, katalizör ve katalizör taşıyıcısı, süper kapasitör, elektrot ve pil üretiminde kullanılmaktadır. Algal karbonlar ucuz, temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak fosil kökenli biyokütleden ve polimerlerden daha avantajlı bir konuma sahiptirler. Alg izolasyonu, üretim yönetimi, toplanması ve ekstraksiyonu gibi zorluklara rağmen bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların yakın gelecekte alglerin enerji ve çevre uygulamalarında çok daha başarılı bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

ABINANDAN, S., SUBASHCHANDRABOSE, S.R., PANNEERSELVAN, L., VENKATESWARLU, K., MEGHARAJ, M. (2019). “Potential of acid-tolerant microalgae, desmodesmus sp. MAS1 and heterochlorella sp. MAS3, in heavy metal removal and biodiesel production at acidic pH”, Bioresource Technology, 278: 9–16.

AHMAD, A., BUANG, A., BHAT, A. (2016). “Renewable and sustainable bioenergy production from microalgal co-cultivation with palm oil mill effluent (POME): a review.”, Renewable sustainable Energy Reviews, 65:214-234.

AL-FAWWAZ, A.T., ve ABDULLAH, M. (2016). “Decolorization of methylene blue and malachite green by immobilized desmodesmus sp. isolated from North Jordan”, International Journal of Environmental Science and Development. 7:95.

ANDRADE, L., ANDRADE, C., DIAS, M., NASCIMENTO, C., MENDES, M. (2018). “Chlorella and spirulinamicroalgae as sources of functional foods”, Nutraceuticals, and Food Supplements”, 6:45–58.

ARCHER, L., MC GEE, D., PASKULİAKOVA, A., MCCOY, G.R., SMYTH, T., GILLESPIE, E., et al., (2019). “Fatty acid profiling of new irish microalgal isolates producing the high-value metabolites EPA and DHA”, Algal Research, 44:101671.

BARROW, C., ve SHAHİDİ, F., 2007. Marine Nutraceuticals and Functional Foods. CRC Press.

BECKER, E.W. (2007). “Micro-algae as a source of protein”, Biotechnology Advances, 25:207–210.

BHOSALE, P., ve BERNSTEIN, P.S. (2005). “Microbial xanthophylls.”, Applied Microbiology and Biotechnology, 68: 445–455.

BONET, M.L., RIBOT, J., GALMÉS, S., SERRA, F., PALOU, A., (2020). “Carotenoids and carotenoid conversion products in adipose tissue biology and obesity: pre-clinical and human studiesBBA Molecular and Cell Biology of Lipids, 11:158676

CARDOSO, N.F., LIMA, E.C., ROYER, B., BACH,M.V., DOTTO, G.L., PINTO, L.A.A., et.al. (2012). “Comparison of Spirulina platensis microalgae and commercial activated carbon as adsorbents for the removal of reactive red 120 dye from aqueous effluents”, Journal of Hazardous Materials, 241:146–153.

CHAUDHARY, L., PRADHAN, P., SONI, N., SINGH, P., TIWARI, A. (2014). “Algae as a feedstock for bioethanol production: new entrance in biofuel World”, International Journal of ChemTech Research, 6:1381–1389.

CHENG, H., JI, R., T, BIAN, Y. R, et al., (2020). “From macroalgae to porous graphitized nitrogen-doped biochars -Using aquatic biota to treat polycyclic aromatic hydrocarbons-contaminated water” Bioresource Technology, 303:122947.

CHOI, Y.K., CHOI, T.R., GURAV R. Et. al., (2020). “Adsorption behavior of tetracycline onto Spirulina sp. (microalgae)-derived biochars produced at different temperatures”, Science of the Total Environment, 710:136282.

CHOI, Y.-K., JANG, H.M., KAN, E. (2018). “Microalgal biomass and lipid production on dairy effluent using a novel microalga, chlorella sp. isolated from dairy wastewater”, Biotechnology and Bioprocess Engineering, 23: 333–340.

CONSTANTINO, A., RODRIGUES, B., LEON, R., BARROS, R., RAPOSO, S. (2021). “Alternative chemoenzymatic hydrolysis strategy applied to different microalgae species for bioethanol production”, Algal Research, 56:102329.

CRINI, G., LICHTFOUSE, E. (2019). “Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment”, Environmental Chemistry Letters volume 17:145–155.

DANESHVAR, E., ZARRİNMEHR, M.J., HASHTJIN, A.M., FARHADIAN, O., BHATNAGAR, A. (2018). “Versatile applications of freshwater and marine water microalgae in dairy wastewater treatment, lipid extraction and tetracycline biosorption”, Bioresource Technology, 268:523–530.

DARZINS, A., PIENKOS, P., EDYE, P. (2010). "Current status and potential for algal biofuels production”, A report to IEA Bioenergy Task, 39:1-64.

EMPARAN, Q., JYE, Y.S., DANQUAH, M.K., HARUN, R. (2020). “Cultivation of Nannochloropsis sp. microalgae in palm oil mill effluent (POME) media for phycoremediation and biomass production: Effect of microalgae cells with and without beads”, Journal of Water Process Engineering, 33:101043.

GAROFALO, R. (2009) "Algae and aquatic biomass for a sustainable production of 2nd generation biofuels" AquaFUELs-Taxonomy, Biology and Biotechnology, 1-258.

GE, Y., M, ZHU, S.S, CHANG, J.S, et al., (2020), “Immobilization of Hg(II) on high-salinity Spirulina residue-induced biochar from aqueous solutions: Sorption and transformation mechanisms by the dual-mode isotherms”, Environmental Pollution, 265:115087.

GONÇALVES, C.F., MENEGOL, T., RECH, R. (2019). “Biochemical composition of green microalgae Pseudoneochloris marina grown under different temperature and light conditions”, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology , 18:101032.

GONG, Y., ve HUANG, J. (2020). “Characterization of four untappedmicroalgae for the production of lipids and carotenoids”, Algal Research. 49:101897.

GUO,W.-Q., ZHENG, H.-S., LI, S., DU, J.-S., FENG, X.-C., YIN, R.-L., et al., (2016). "Removal of cephalosporin antibiotics 7-ACA from wastewater during the cultivation of lipidaccumulating microalgae", Bioresource Technology, 221:284–290.

HARIZ, H.B., TAKRIFF, M.S., NHM, YASIN, BA-ABBAD, M.M., HAKIMI, N.I.N.M. (2019). "Potential of the microalgae-based integrated wastewater treatment and CO2 fixation system to treat Palm Oil Mill Effluent (POME) by indigenous microalgae; Scenedesmus sp. and Chlorella sp.", J Journal of Water Process Engineering, 32:100907.

HARUN, R., ve DANQUAH, M.K. (2011). "Influence of acid pre-treatment onmicroalgal biomass for bioethanol production", Process Biochemistry. 46:304–309.

HERRMANN, C., KALITA, N.,WALL, D., XIA, A., MURPHY, J.D., (2016). "Optimised biogas production from microalgae through co-digestion with carbon-rich co-substrates", Bioresource Technology, 214:328–3

IBRAHIM, S., EL-LIETHY, M.A., ELWAKEEL, K.Z., HASAN, M.A.E.-G., AL ZANATY, A.M., KAMEL, M.M. (2020). "Role of identified bacterial consortium in treatment of Quhafa Wastewater Treatment Plant influent in Fayuom, Egypt", Environmental Monitoring and Assessment, 192:1–10.

IMANI, S., REZAEİ-ZARCHI, S., HASHEMI,M., BORNA, H., JAVID, A., ABARGHOUEI, H.B. (2011). "Hg, Cd and Pb heavy metal bioremediation by Dunaliella alga", Journal of Medicinal Plants Research, 5:2775–2780.

JIANG, L., LI, Y., PEI, H. (2021). "Algal–bacterial consortia for bioproduct generation and wastewater treatment", Renewable & Sustainable Energy Reviews, 149:111395.

JUNG, K.W, HWANG, M.J, JEONG, T.U, et al., (2015). "A novel approach for preparation of modified-biochar derived from marine macroalgae: Dual purpose electro-modification for improvement of surface area and metal impregnation", Bioresource Technology, 191:342-345.

KALRA, R., GAUR, S., GOEL, M., (2021). "Microalgae bioremediation: a perspective towards wastewater treatment along with industrial carotenoids production", The Journal of Water Process Engineering, 40:101794.

KIM, H.M., OH, C.H., BAE, H.-J. (2017). "Comparison of red microalgae (Porphyridium cruentum) culture conditions for bioethanol production", Bioresource Technology. 233:44–50.

KLASSEN, V., BLIFERNEZ-KLASSEN, O., HOEKZEMA, Y., MUSSGNUG, J.H., KRUSE, O. (2015). "A novel one-stage cultivation/fermentation strategy for improved biogas production with microalgal biomass", Journal of Biotechnology, 215:44–51.

KRAAN, S. (2013). "Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainable biofuel production", Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 18:27-46.

KUMAR, A., KUMAR, J., BHASKAR, T. (2020). "High surface area biochar from sargassum tenerrimum as potential catalyst support for selective phenol hydrogenation", Environmental Research, 186:109533.

KUMAR, A.K., SHARMA, S., SHAH, E., PARIKH, B.S., PATEL, A., DIXIT, G., et al. (2019). "Cultivation of Ascochloris sp. ADW007-enriched microalga in raw dairy wastewater for enhanced biomass and lipid productivity", International Journal of Environmental Science and Technology, 16:943–954.

LUNPROM, S., PHANDUANG, O., SALAKKAM, A., LIAO, Q., REUNGSANG, A., 2019. "A sequential process of anaerobic solid-state fermentation followed by dark fermentation for biohydrogen production from Chlorella sp", The International Journal of Hydrogen Energy, 44, 3306–3316.

MERLO, S., GABARRELL DURANY, X., PEDROSO TONON, A., ROSSI, S. (2021). "Marine microalgae contribution to sustainable development", Water 13:1373.

MILANO, J., ONG, H.C., MASJUKI, H., CHONG, W., LAM, M.K., LOH, P.K., et al., (2016). “Microalgae biofuels as an alternative to fossil fuel for power generation”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 58:180–197.

NAGARAJAN, D., LEE, D.-J., KONDO, A., CHANG, J.-S., 2017. Recent insights into biohydrogen production by microalgae–from biophotolysis to dark fermentation. Bioresource Technology, 227: 373–387.

NEVEUX, N., MAGNUSSON, M., MASCHMEYER, T., NYS, R., PAUL, N.A. (2014). "Comparing the potential production and value of high-energy liquid fuels and protein from marine and freshwater macroalgae" GCB Bioenergy, 7(4):673-689.

NZAYISENGA, J.C., FARGE, X., GROLL, S.L., SELLSTEDT, A. (2020). “Effects of light intensity on growth and lipid production in microalgae grown in wastewater”, Biotechnolgy and Biofuels 13:1–8.

OUYANG, H. B., GONG, Q. Q., LI, C. Y., ET AL. (2019). “Porphyra derived hierarchical porous carbon with high graphitization for ultra-stable lithium-ion batteries”, Materials Letters, 235:111-115.

PALMER, R.J. ve PARKER, B.C. (1994). “Commercial applications of algae: opportunities and constraints”, Journal of Applied Phycology, 6:93-98.

PAVITHRA, K.G., KUMAR, P.S., JAIKUMAR, V., VARDHAN, K.H., SUNDARRAJAN, P., (2020). “Microalgae for biofuel production and removal of heavy metals: a review”, Environmental Chemistry Letters, 1-16.

POURHOSSEINI, S. E. M., NOROUZI, O., NADERI, H. R. (2017) “Study of micro/macro ordered porous carbon with olive-shaped structure derived from Cladophora glomerata macroalgae as efficient working electrodes of supercapacitors”, Biomass and Bioenergy, 107:287-298.

QU, F., JIN, W., ZHOU, X.,WANG, M., CHEN, C., TU, R., ET AL. (2020). “Nitrogen ion beam implantation for enhanced lipid accumulation of Scenedesmus obliquus inmunicipal wastewater”, Biomass Bioenergy, 134:105483.

RANI, N., SANGWAN, P., JOSHI, M., SAGAR, A., BALA, K., (2019). “Microbes: A Key Player in Industrial

RAYMUNDO-PIÑERO, E., LEROUX, F., BÉGUIN, F. (2006). “A high-performance carbon for supercapacitors obtained by carbonization of a seaweed biopolymer”, Advanced Materials, 18(14):1877-1882.

ROSENBERG, C., RAMUS, J. (1982). "Ecological growth strategies in the seaweeds Gracilaria foliifera (Rhodophyceae) and Ulva sp.(Chlorophyceae): soluble nitrogen and reserve carbohydrates" Marine Biology, 66:251-259.

SALIMI, P., NOROUZI, O., POURHOSEINI, S. E. M. et al. (2019). “Magnetic biochar obtained through catalytic pyrolysis of macroalgae: A promising anode material for Li-ion batteries”, Renewable Energy, 140:704-714.

SARAVANAN, A., KUMAR, P.S., GOVARTHANAN, M., GEORGE, C.S., VAISHNAVI, S., MOULISHWARAN, B. (2021). “Adsorption characteristics ofmagnetic nanoparticles coatedmixed fungal biomass for toxic Cr (VI) ions in aquatic environment”, Chemosphere, 267:129226.

SATHASIVAM, R., RADHAKRISHNAN, R., HASHEM, A., ABD_ALLAH, E.F. (2019). “Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine”, Saudi Journal of Biological Sciences, 26:709–722.

SHAH, S., AHMAD, A., OTHMAN, M., ABDULLAH, M. (2016). “Effects of palmoil mill effluentmedia on cell growth and lipid content of Nannochloropsis oculata and Tetraselmis suecica”, International Journal of Green Energy, 3:200–207.

SHARMA, J., SHARMA, S., SONI, V. (2021). “Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: a review”, Regional Studies in Marine Science, 45:101802.

TALAPATRA, N., GAUTAM, R.,MITTAL, V., GHOSH, U.K. (2021). "A comparative study of the growth ofmicroalgae-bacteria symbiotic consortium with the axenic culture of microalgae in dairy wastewater through extraction and quantification of chlorophyll", Materials Today, in Press.

VAN GERPEN, J. (2005). "Biodiesel processing and production", Fuel Processing Technology, 86:1097–1107.

WATTHIER, E., ANDREANI, C.L., TORRES, D.G.B., KUCZMAN, O., TAVARES, M.H.F., LOPES, D.D., et al., (2019). "Cassava wastewater treatment in fixed-bed reactors: organic matter removal and biogas production", Frontiers in Sustainable Food Systems, 3:1-8.

WU, X. X, TIAN, Z. W., HU, L. Q., et al. (2017). "Macroalgae-derived nitrogen-doped hierarchical porous carbons with high performance for H2storage and supercapacitors" RSC Advances, 7(52):32795-32805.

ZHANG, Z.Q, WANG, K., ATKINSON, J.D, et al. (2012), "Sustainable and hierarchical porous Enteromorpha prolifera based carbon for CO_2 capture", Journal of Hazardous Materials, 229-230:183-191.

ZHENG, H.S., GUO, W, LI, S. (2017). "Adsorption of p-nitrophenols (PNP) on microalgal biochar: Analysis of high adsorption capacity and mechanism", Bioresource Technology, 244:1456-1464.

Presentation ID / Sunum No= 62

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-8587-2013 / 0000-0001-8936-6284

Çevre Dostu, Çapraz Bağlı Kitosan/ Sodyum Aljinat/ Vermikülit Çift Ağ Hidrojelinin Hazırlanması

Prof. Dr. Emek Möröydor Derun[1], Arş. Gör. Deniz Uygunöz[1], Oktay Safarov[1], Çiğdem Kılıç[1]
[1]Yildiz Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Chemical Engineering, Istanbul, 34210, Turkey
Corresponding author: Emek Möröydor Derun, e-mail: moroydor@yildiz.edu.tr

Özet

Literatürde çeşitli adsorbanlar kullanarak çalışmalar yapılmış ve sudaki ağır metallerin giderilmesi araştırılmıştır. Bu adsorbanlar arasında görece yeni bir kompozit olan hidrojel, doğada en çok bulunan polisakkaritlerden biri olan kitosan ve doğal bir biyopolimer olan sodyum aljinat kullanılarak sentezlenebilmektedir. Bu yöntemle, hidrojelin çevreye zararsız ve doğada bol miktarda bulunabilen hammaddelerden üretilebilmesi ile oldukça verimli sonuçlar alınacaktır. Ek olarak, kil minerallerinin adsorpsiyonda yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada; kalsiyum karbonat, kitosan, sodyum aljinat, vermikülit kil minerali kullanılarak çapraz bağlı çift ağ hidrojelinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Yarı-çözünme-asitleştirme-sol-jel geçişi (SD-A-SGT) (semi-dissolution acidification sol-gel transition method) yöntemi ile hidrojelin oluşumu sağlanmıştır. Farklı miktarlarda vermikülit katılarak hidrojel yapısı oluşturulmuş ve en başarılı yapı toplam kütle fraksiyonu %4'te tutularak 1 gram vermikülit ilavesi ile elde edilmiştir. Dondurularak kurutulmuş hidrojelin IR spektrumları, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile ölçülmüştür. FT-IR analizi, vermikülitin Si-O bağının germe titreşimlerine karşılık gelen yaklaşık 958 cm-1'deki bantların sentezlenen kompozit hidrojelde bulunmadığını ortaya çıkarmış ve vermikülit yüzeyinde sodyum aljinat grupları olan -COO- ve -OH'nin etkileşimde olduğunu göstermiştir. Kompozit hidrojelin ağır metal adsorpsiyon performansının ve mekanizmasının daha sonra çeşitli koşullar altında Pb2+, Cu2+, Cr3+ ve Cd2+ kullanılarak kapsamlı bir şekilde araştırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından finanse edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojel Sentezi, Yarı-Çözünme Asitleştirme-Sol-Jel Geçişi, Çevre Dostu, Vermikülit, Kitosan, Sodyum Aljinat

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından finanse edilmektedir.

Preparation of Environmentally Friendly Cross-linked Chitosan/ Sodium Alginate/ Vermiculite Double Network Hydrogel

Abstract

In the literature, investigations have been performed using various adsorbents, and the removal of heavy metals in water has been examined. Hydrogel, a relatively novel composite among these adsorbents, could be produced by combining chitosan, one of nature's most common polysaccharides, with sodium alginate, a natural biopolymer. Producing the hydrogel using raw elements that are harmless to the environment and abundant in nature would yield extremely efficient results with this approach. Furthermore, it is well known that clay minerals are commonly employed in adsorption. In this study, the synthesis of cross-linked double network hydrogel with calcium carbonate, chitosan, sodium alginate, vermiculite clay is accomplished. The semi-dissolution acidification sol-gel transition technique is used to create the hydrogel (SD-A-SGT). A hydrogel structure was created by adding different amounts of vermiculite and the best structure was achieved with 1 grams of vermiculite by keeping the total mass fraction at 4%. The IR spectra of the freeze-dried hydrogel were measured by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). FT-IR analysis revealed that the bands at around 958 cm-1 corresponding to the stretching vibrations of the vermiculite's Si-O bond were no longer exist in the composite hydrogel, indicating that interactions between the sodium alginate groups of -COO- and -OH occur on the surface of vermiculite. The further investigations about the study are to determine the performance and mechanism of heavy metal adsorption in the composite hydrogel by using Pb^{2+}, Cu^{2+}, Cr^{3+}, and Cd^{2+} under a variety of conditions.

This study is funded by TUBITAK' 2209-A Research Project Support Program for Undergraduate Students

Keywords: Hydrogel Synthesis, Semi-Dissolution Acidification Sol-Gel Transition, Ecologically-Friendly, Vermiculite Clay, Chitosan,

1. INTRODUCTION

Water is an essential requirement for both people and wildlife. Despite the fact that the global need for water is increasing year after year, many forms of pollution have harmed potential water supplies (UNESCO, 2018). In past few years, industrial and urban activities in the developing countries have grown, causing a rise in heavy metal pollution. Activities involving waste recycling and disposal of solid wastes (Herat et al.,2012:1113-1129; Olafisoye et al.,2013: 1431-1439; Perkins et al., 2014: 286-295; Wu et al., 2015: 217-225), along with the release of wastewater effluents from diverse industries, together with coal-fired power stations (Demirak et al.,2006:1451-1458) and mining (Archundia et al., 2017:44-60), are a crucial issue that represents pollution sources, while emissions from vehicles and other urban activities make a contribution to it (Pandey and Pandey 2009: 361-378; Prasse et al., 2012:1954-1979).

Heavy metal ions may remain in water for a considerable time and spread via the food chain, thereby even trace amounts of metal ions in water pose a significant risk to human welfare and the ecology (Akpor 2014: 2-37; Man et al., 2021:153). Arsenic (As), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), cadmium (Cd), nickel (Ni), zinc (Zn) and lead (Pb) are the most common heavy metal pollutants in the environment (Tchounwou et al., 2012:133-164). Inter-ion chemical precipitation, coagulation, membrane filtration, electro dialysis, ion exchange, and adsorption are all conventional heavy metal removal procedures presently (Crini and Lichtfouse 2019:145-155; Wang et al., 2021:403). Adsorption is the most extensively utilized technique due to its excellent removal effectiveness and simplicity of use. The adsorbent is the prerequisite for successful pollutant removal in the adsorption process. As an outcome, the emphasis of scientific research has switched toward the formation of low-cost, high-efficiency and easy-to-prepare adsorbents (Burakov et al., 2018: 702-712).

Clays excel other commercially available adsorbents due to its low cost, abundant availability, large surface area, immensely strong adsorption capabilities, non-toxicity, and remarkable ion exchange capacity (Crini and Badot 2010). Due to their negative charge, high cation exchange capability, and porous structure, most clay minerals are widely utilized to adsorb metal cations from solutions. Vermiculite clay mineral has proven to be a promising adsorbent for the adsorption of numerous toxic metal ions in its natural raw form (Uddin 2017:438-462).

Hydrogels are three-dimensional networks created by the cross-linking of polymer chains, either physically or chemically (Tang et al., 2020). Cross-linked hydrogels are frequently employed in the field of removal of heavy metal pollutants due to their rich functional groups on the surface and effective water absorption capacity (Ahmed 2015: 105-121). Nonetheless, the majority of recently developed hydrogel adsorbents cross linking with harmful chemical linking agents (Chen et al., 2019: 94-101; Zhao et al., 2019:224; Sharifzadeh et al., 2020:110). The removal of these toxic contaminants that remain in the hydrogel is extremely challenging, resulting in secondary pollution and a variety of negative impacts on the environment. Non-covalent interactions enable physically bonded hydrogels to crosslink without the need of toxic chemical crosslinking agents. Some research has been performed research about the adsorption of heavy metals using physically formed hydrogels (Yu et al., 2018: 1-6); however, the results have been average. As a result, the development of ecologically friendly hydrogel adsorbents with high adsorption performance is essential for heavy metal pollution treatment. The polymer/clay hydrogel composite has received lots of interest thanks to its inexpensive manufacturing cost and good adsorption capability for various pigments (Wang et al., 2008:1-3). Based on the benefits of vermiculite and hydrogel composites, research examined the efficacy of chitosan-g-poly (acrylic acid)/ vermiculite hydrogel composites to remove Pb (II) and Cd (II) ions from aqueous solutions. According to the findings, at 303 K, more than 90% of total adsorption occurred in around 3 minutes for both Pb (II) and Cd (II) adsorption, and equilibrium was attained after 15 minutes of contact time (Wang and Wang 2012: 38-49). Additionally, a bio composite chitosan-vermiculite was created by crosslinking cationic biopolymer chitosan in raw vermiculite, and the adsorption capabilities for Cd (II) and Pb (II) were studied. Based on the results of this analysis, the CTS-VMT composite has the potential to be employed as an environmentally friendly adsorbent for the removal of Cd (II) and Pb (II) (Chen et al., 2018:74-82).

Chitosan (CTS), one of the most prevalent natural polysaccharides in nature, is a suitable option for heavy metal adsorption due to its rich functional groups and non-toxic, ecologically benign qualities (Rinaudo 2006: 603-632). Similarly, sodium alginate (SA), a natural biopolymer, is being investigated as a promising alternative for heavy metal adsorption (Wang et al., 2018:318-356). The CTS/SA composite hydrogel, on the other hand, has a basic structure. As a result, the hydrogel's mechanical strength and heavy metal adsorption capabilities are determined to be inadequate. To circumvent these limitations, clay-containing composite hydrogels have gained importance. In the present research, it is aimed to synthesize a novel composite hydrogel for heavy metal adsorption in water, which has never been attempted previously as far as is known. Instead of adding acid to the solution, the semi-dissolution acidification sol-gel transition (SD-A-SGT) technique allows the sol-gel transition to be conducted merely with the help of acid gas by maintaining it in a closed environment with acid. Vermiculite clay mineral will be introduced in the construction of this composite gel, which has the potential to increase the hydrogel's adsorption capacity. Apart from that, a chitosan/ sodium alginate/ bentonite hydrogel was prepared, and heavy metal adsorption experiments in water were performed (Lin et al., 2021). In the planned study, the objective is to further improve the hydrogel developed in the literature projects and ensure that it is synthesized in the most appropriate method for heavy metal adsorption. It is believed that using vermiculite clay material instead of bentonite will increase adsorbance potential. In another study, the dual adsorption of heavy metals from aqueous solution on natural clays was examined, and it was reported that vermiculite clay mineral was far more effective than bentonite and sepiolite clay minerals in adsorbing Pb (II) and Cu (II) (Padilla-Ortega et al., 2013:535-546).

2. MATERIALS and METHOD

2.1 Materials

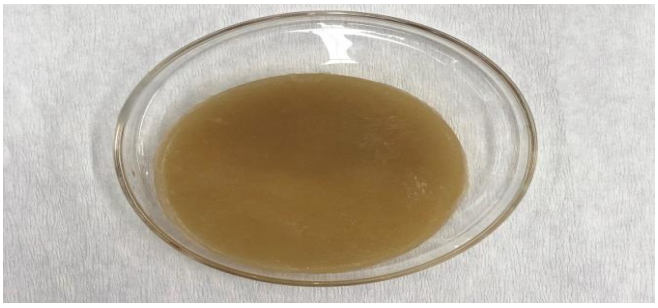
Vermiculite (VMT), sodium alginate (SA), chitosan (CTS) and calcium carbonate ($CaCO_3$) were acquired from Sigma Aldrich Co. De-ionized water was obtained from GFL Water Distillation Units 2004. Vermiculite was ground and sieved to 180 μm mesh size before the ultrasonic dispersion.

2.2 Method

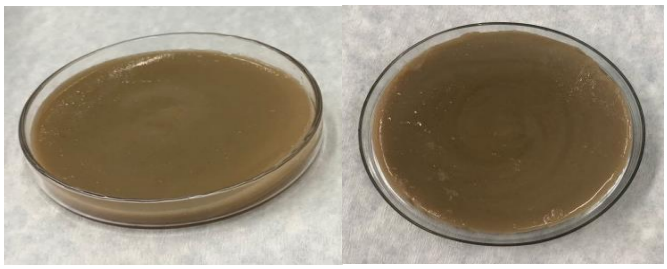
The CTS/SA/VMT composite hydrogel was created by making reference to the semi-dissolution-acidification-sol-gel transition (SDA-SGT) approach (Zhao et al., 2018:603-609). Briefly, a specific amount of sodium alginate and distilled water were mixed with magnetic stirrer until homogeneous mixture was formed. Following that, calcium carbonate chitosan powder, and ultrasonically disseminated vermiculite were added to solution to form homogenous solution. The temperature of the mixture was kept at room temperature. After stirring, mixture was placed onto a Petri dish for 30 minutes to eliminate air bubbles. Then, mixed liquid was put in a closed container with 100 mL of acetic acid and waited for 24 hours. The mixture was exposed to volatile acid gas, which resulted in the formation of the hydrogel. Hydrogel was washed with distilled water several times to eliminate acid traces. Set of experiments were carried out with different amounts of vermiculite (1-2-3 grams) and total mass percentage was kept at 4%. To study the characteristics, synthesized hydrogel was freeze-dried.

Fig. 1 CTS/SA/VMT Composite Hydrogels a) 1 gram of VMT b) 2 grams of VMT c) 3 grams of VMT

a)



b) c)



2.3 Characterization

The FT-IR spectra of SA, CTS, VMT and freeze-dried CTS/SA/VMT composite hydrogel (Fig. 2) were investigated with a Perkin Elmer Spectrum FTIR spectrometer in absorbance mode using the ATR transmission technique.

Fig. 2 Freeze-dried CTS/SA/MT Composite Hydrogel

2.4 Formation Mechanism

Electrostatic contact allows protonated chitosan to be cross-linked with sodium alginate to generate polyelectrolyte gels. Because of the instantaneous interaction, the SD-A-SGT approach efficiently overcomes the limitations of nonhomogeneous dispersion between cationic and anionic polyelectrolytes (Luo et al., 2015; Schoubben et al., 2010: 363-369). Rather of dissolving directly in the acetic acid solution, the chitosan powder, calcium carbonate, and vermiculite were equally disseminated in the homogenous sodium alginate mixture to produce a homogeneous solution. The solution was put in a container and subjected to an acid medium for a period of time. Because of the acid gas transferred into the mixture's exterior and interior, chitosan' amino -acid group was gradually protonated to $–NH_3^+$ with the influence of H^+ then electrostatically cross-linked with $–COO^-$ sodium alginate to create CTS/SA network (Tang et al., 2020). $CaCO_3$ was subdivided to calcium ions, that were subsequently cross-linked with -L-guluronic on SA to create a new network (Vieira et al., 2018: 2713-2723). Vermiculite had been disseminated uniformly throughout the cross-linked network, increasing the tensile properties and adsorption capacity of the hydrogel and resulting in a CTS/SA/VMT physical hydrogel. Final gel form achieved as shown in Fig. 1.

3. RESULTS

Table 1. FTIR Peaks of Raw Materials

Sample	IR Band (cm^{-1})	Description
Sodium Alginate	3000-3600	Stretching vibrations of O-H bonds (Daemi and Barikani, 2012: 2023-2028)
	2920-2850	Stretching vibrations of aliphatic C-H (Daemi and Barikani , 2012: 2023-2028)
	1600-1400	Indication of carbonyl and carboxyl groups (Osman and Suliman , 2020)
	921	C-O stretching (Osman and Suliman 2020)
	3706	Mg_3-OH stretching (Janek et al., 2009)
Vermiculite	958	Si-O stretching
	756	Al-O stretching
	665	Si-O deformation
Chitosan	3750	Stretching vibrations of N-H (Silva et al., 2012)
	3000	C-H bond
	1160-1000	Vibrations of CO groups
	1680-1480	Vibrations of carbonyl bonds (C=O)

The FT-IR spectrum of the chitosan, vermiculite, sodium alginate and CTS/SA/VMT hydrogel are given in Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 and Fig. 7, respectively. From the Fig. 4, According to the spectrum, CTS has two peaks at 1651 cm^{-1} and 1537 cm^{-1}, which are induced as for the carbonyl group' vibration as well as bending vibration of the protonated amine group (Su et al., 2020). From the Fig. 3, the composite hydrogel did not include these two peaks, although a new absorption peak appeared at 1533 cm^{-1}, suggesting the chitosan' amino group had been protonated to $–NH_3^+$ (Fernandez and Ingber 2011: 480-484). The -COO- peaks in sodium alginate with their distinctive features are typically at 1593 cm^{-1} and 1406 cm^{-1} in the Fig. 5. However, at hydrogel, they moved to 1533 cm^{-1} and 1402 cm^{-1} in the Fig. 6. This shows the interaction of $-COO^-$ with $–NH_3^+$ of chitosan and calcium ions (Tang et al., 2020). Bound water zone of vermiculite is at 3650 cm^{-1} and changed by the acid and polymer chain influences in the Fig. 5. The bands at around 958 cm^{-1} corresponding to the Si-O bond's stretching vibrations were no longer present in the composite, which shows that on the surface of VMT, interactions among the groups of - COO^- and -OH occur. (Liu et al., 2010: 486-493). In addition, the results of FT-IR are tabulated in the Table 1.

Fig. 3 IR spectrums of CTS, CTS/SA/VMT, SA and VMT

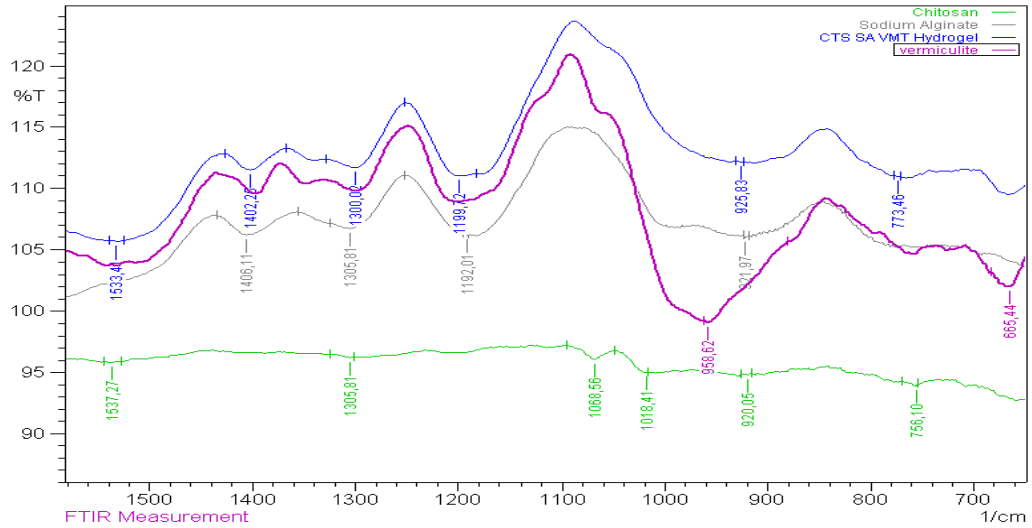


Fig 4. IR spectrum of chitosan

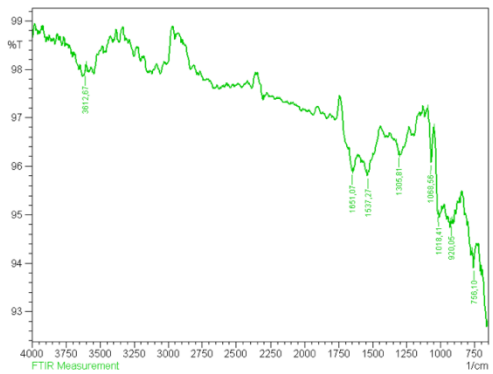


Fig 5. IR spectrum of vermiculite

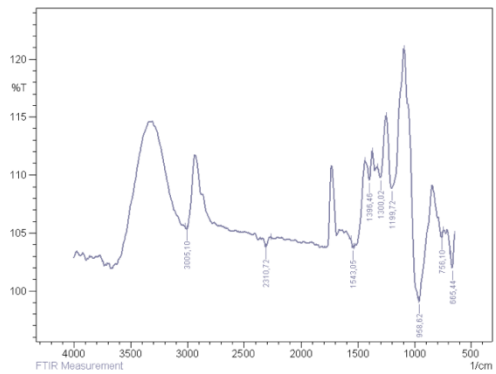


Fig 6. IR spectrum of sodium alginate

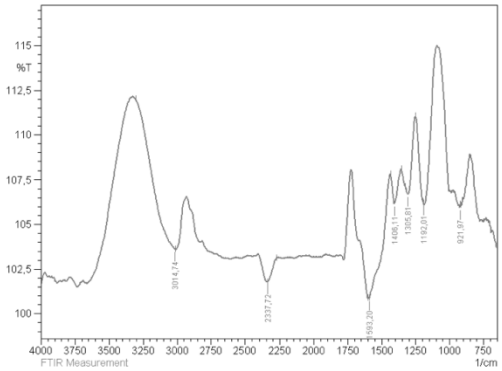
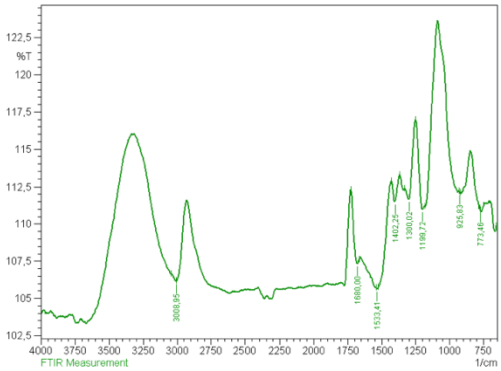


Fig 7. IR spectrum of CTS/SA/VMT



4. DISCUSSION

This study is reported the semi-dissolution acidification sol–gel transition approach to synthesize the CTS/SA/VMT composite hydrogel from low-cost and ecologically friendly components (sodium alginate, chitosan, calcium carbonate, and vermiculite). The activation of vermiculite and construction of hydrogel were accomplished at the same time and considerably simplified the operating procedure in

contrast to earlier comparable studies (Wang, 2012: 38-49; Liu et al., 2010) This formation was energy saving and environmentally friendly as it was carried out at room temperatures and normal pressures without using any toxic regents. FTIR analyses suggest that the hydrogel was formed of physically cross-linked chitosan/ sodium alginate and calcium ions/ sodium alginate networks.

5. CONCLUSION

Hydrogels have a great deal of potential in many areas. Due to the wide range of polymer morphologies, cross-link methodologies, and structures possible with hydrogel-based materials, implementations such as bioengineering, beauty items and skincare products, bioseparations, industrial remediation, environmental assets, catalysis, and agriculture are possible. Further studies for characterization analyses will accomplished with X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-ray Diffraction (XRD) analysis and adsorption performance on different heavy metal ions will be evaluated.

Acknowledgement:

This research is supported by TUBITAK' 2209-A Research Project Support Program for Undergraduate Students with the application number of 1919B012101619.

6. REFERENCES

Ahmed E. M. (2015). ‘’Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review’’, Journal of advanced research, 6(2): 105–121.

Akpor, Oghenerobor. (2014). ‘’Heavy Metal Pollutants in Wastewater Effluents: Sources, Effects and Remediation’’, Advances in Bioscience and Bioengineering, 2(4): 37-43.

Ap, Denisse & Duwig, Celine & Spadini, Lorenzo & Uzu, Gaëlle & Guedron, Stephane & Morel, Marie-Christine & Cortez, Rafael & Ramos Ramos, Oswaldo & Chincheros, J. & Martins, Jean. (2016). ‘’How Uncontrolled Urban Expansion Increases the Contamination of the Titicaca Lake Basin (El Alto, La Paz, Bolivia)’’, Water, Air, & Soil Pollution, 228(1): 10.

Burakov, A. E., Galunin, E. V., Burakova, I. V., Kucherova, A. E., Agarwal, S., Tkachev, A. G., & Gupta, V. K. (2018). ‘’Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes: A review’’, Ecotoxicology and environmental safety, 148: 702–712.

Chen L., P. Wu, Chen M., X. Lai, Z. Ahmed, N. Zhu, Z. Dang, Y. Bi, T. Liu. (2018). ‘’Preparation and characterization of the eco-friendly chitosan/vermiculite biocomposite with excellent removal capacity for cadmium and lead’’, Applied Clay Science, 159:74-82.

Chen, X., Li, P., Kang, Y., Zeng, X., Xie, Y., Zhang, Y., Wang, Y., & Xie, T. (2019). ‘’Preparation of temperature-sensitive Xanthan/NIPA hydrogel using citric acid as crosslinking agent for bisphenol A adsorption’’, Carbohydrate polymers, 206: 94–101.

Crini G., P.M. Badot. (2010). Sorption processes and pollution : conventional and non-conventional sorbents for pollutant removal from wastewaters, Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté, DL 2010, cop. 2010.

Crini, G., & Lichtfouse, E. (2018). ‘’Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment’’, Environmental Chemistry Letters, 17: 145-155.

Daemi H., Barikani M. (2012). ‘’Synthesis and characterization of calcium alginate nanoparticles, sodium homopolymannuronate salt and its calcium nanoparticles’’, Scientia Iranica, 19(6):2023-2028.

Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A. L., & Ozdemir, N. (2006). ''Heavy metals in water, sediment and tissues of Leuciscus cephalus from a stream in southwestern Turkey'', Chemosphere, 63(9): 1451–1458.

Fernandez, J. G., & Ingber, D. E. (2012). ''Unexpected strength and toughness in chitosan-fibroin laminates inspired by insect cuticle'', Advanced materials, 24(4): 480–484.

Herat, S. & Agamuthu, P. (2012). ''E-waste: a problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in Asian countries'', Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 30(11): 1113–1129.

Janek M., I. Bugár, D. Lorenc, V. Szöcs, D. Velič, D. Chorvát. (2009). ''Terahertz time-domain spectroscopy of selected layered silicates'', Clays Clay Miner, 57: 416–424.

Lin Z., Yang Y., Liang Z., Zeng L., Zhang A. (2021). ''Preparation of Chitosan/Calcium Alginate/Bentonite Composite Hydrogel and Its Heavy Metal Ions Adsorption Properties'', Polymers, 13(11): 1891.

Liu, Y., Zheng, Y., & Wang, A. (2010). ''Enhanced adsorption of Methylene Blue from aqueous solution by chitosan-g-poly (acrylic acid)/vermiculite hydrogel composites'', Journal of environmental sciences (China), 22(4): 486–493.

Luo, F., Sun, T. L., Nakajima, T., Kurokawa, T., Zhao, Y., Sato, K., Ihsan, A. B., Li, X., Guo, H., & Gong, J. P. (2015). ''Oppositely charged polyelectrolytes form tough, self-healing, and rebuildable hydrogels'', Advanced materials, 27(17): 2722–2727.

Man, Y., Wang, B., Wang, J., Slaný, M., Yan, H., Li, P., El-Naggar, A., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., & Feng, X. (2021). ''Use of biochar to reduce mercury accumulation in Oryza sativa L: A trial for sustainable management of historically polluted farmlands'', Environment international, 153(106527).

Olafisoye, O.B., Adefioye, T., & Osibote, O.A. (2013).''Heavy metals contamination of water, soil, and plants around an electronic waste dumpsite'', Polish Journal of Environmental Studies, (22): 1431-1439.

Osman N., Suliman T., Osman K. (2020). ''Characterization of Native Alginates of Common Alginophytes from the Red Sea Coast of Sudan'', International Journal of Secondary Metabolite , 7(4):266-274 .

Padilla-Ortega E., R. Leyva-Ramos, J.V. Flores-Cano. (2013). ''Binary adsorption of heavy metals from aqueous solution onto natural clays'', Chemical Engineering Journal, 225: 535-546.

Pandey J. & Pandey U. (2009). ''Atmospheric Deposition and Heavy Metal Contamination in an Organic Farming System in a Seasonally Dry Tropical Region of India'', Journal of Sustainable Agriculture, 33(4): 361-378.

Perkins, D. N., Brune Drisse, M. N., Nxele, T., & Sly, P. D. (2014). ''E-waste: a global hazard'', Annals of global health, 80(4): 286–295.

Prasse C., W. Zech, F. Itanna & B. Glaser. (2012). ''Contamination and source assessment of metals, polychlorinated biphenyls, and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils from Addis Ababa, Ethiopia'', Toxicological & Environmental Chemistry, 94(10): 1954-1979.

Rinaudo M. (2006). ''Chitin and chitosan: Properties and applications'', Prog. Polym., 31: 603–632.

Schoubben, P. Blasi, S. Giovagnoli, C. Rossi, M. Ricci. (2010). ''Development of a scalable procedure for fine calcium alginate particle preparation'', Chemical Engineering Journal, 160:363–369.

Sharifzadeh, G., Hezaveh, H., Muhamad, I. I., Hashim, S., & Khairuddin, N. (2020). ''Montmorillonite-based polyacrylamide hydrogel rings for controlled vaginal drug delivery'', Materials science & engineering. C, Materials for biological applications, 110: 110609.

Silva, S. M. , Braga, C. R. , Fook, M. V. , Raposo, C. M. , Carvalho, L. H. , & Canedo, E. L. (2012). ''Application of Infrared Spectroscopy to Analysis of Chitosan/Clay Nanocomposites'', Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology, London, United Kingdom.

Su, Z., Han, Q., Zhang, F., Meng, X., & Liu, B. (2020). ''Preparation, characterization and antibacterial properties of 6-deoxy-6-arginine modified chitosan'', Carbohydrate polymers, 230:115635.

Tang S. , Yang J. , Lin L. , Peng K. , Chen Y. , Jin S. , Yao W. (2020). '' Construction of physically crosslinked chitosan/sodium alginate/calcium ion double-network hydrogel and its application to heavy metal ions removal'', Chemical Engineering Journal, 393:124728.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). ''Heavy metal toxicity and the environment'', Experientia supplementum 101: 133–164.

Uddin M. K. (2017) ''A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade'', Chemical Engineering Journal, 308: 438-462.

UNESCO (2018). ''UN World Water Development Report, Nature-based Solutions for Water'', http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2018-nature-based-solutions/.

Vieira, Ricardo & Vilela, Pâmela & Becegato, Valter & Paulino, Alexandre. (2018). ''Chitosan-based hydrogel and chitosan/acid-activated montmorillonite composite hydrogel for the adsorption and removal of Pb +2 and Ni +2 ions accommodated in aqueous solutions'', Journal of Environmental Chemical Engineering, 6(2):2713-2723.

Wang B., Wan Y., Y. Zheng, X. Lee, T. Liu, Z. Yu, J. Huang, Y.S. Ok, J. Chen, B. Gao. (2018). ''Alginate-based composites for environmental applications: A critical review'', Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 49(4):1-39.

Wang X., Wang A. (2012). ''Equilibrium isotherm and mechanism studies of Pb(II) and Cd(II) ions onto hydrogel composite based on vermiculite'', Desalination and Water Treatment, 48(1-3):38-49.

Wang, Li & Wang, Aiqin. (2008). ''Removal of methylene blue from aqueous solution using chitosan-g-poly(acrylic acid)/montmorillonite superadsorbent nanocomposite'', Colloids and Surfaces A-physicochemical and Engineering Aspects - COLLOID SURFACE A. 322: 47-53.

Wang, Quan & Shaheen, Sabry & Jiang, Yahui & li, Ronghua & Slaný, Michal & Abdelrahman, Hamada & Kwon, Eilhann & Bolan, Nanthi & Rinklebe, Jörg & Zhang, Zengqiang. (2021). ''Fe/Mn- and P-modified drinking water treatment residuals reduced Cu and Pb phytoavailability and uptake in a mining soil'', Journal of Hazardous Materials, 403: 123628.

Wu, Q., Leung, J. Y., Geng, X., Chen, S., Huang, X., Li, H., Huang, Z., Zhu, L., Chen, J., & Lu, Y. (2015). ''Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: implications for dissemination of heavy metals'', The Science of the total environment, (506-507): 217–225.

Yu, C., Tang, X., Liu, S., Yang, Y., Shen, X., & Gao, C. (2018). ''Laponite crosslinked starch/polyvinyl alcohol hydrogels by freezing/thawing process and studying their cadmium ion absorption'', International journal of biological macromolecules, 117:1–6.

Zhao J., Chen Y., Yao Y., Tong Z., Li P., Yang Z., Jin S. (2018). '' Preparation of the polyelectrolyte complex hydrogel of biopolymers via a semi-dissolution acidification sol-gel transition method and its application in solid-state supercapacitors'', Journal of Power Sources, 378:603-609.

Zhao, B., Jiang, H., Lin, Z., Xu, S., Xie, J., & Zhang, A. (2019). ''Preparation of acrylamide/acrylic acid cellulose hydrogels for the adsorption of heavy metal ions'', Carbohydrate polymers, 224: 115022.

Presentation ID / Sunum No= 65

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-3190-2202

AQP- Bazlı Biyomimetik Membranlar İçin Yeni Aquaporin (AQP) Proteinlerinin Keşfi

Araştırmacı Şevval Uysalcan[1], Prof. Dr. Nevin Gül Karagüler[2], Dr. Öğretim Üyesi Esra Ateş Genceli[3], Prof. Dr. İsmail Koyuncu[4]

[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik, İstanbul Türkiye
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, Moleküler Biyoloji Genetik- Biyoteknoloji Araştırmalar Merkezi (MOBGAM) İstanbul, Türkiye
[3]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği, İstanbul, Türkiye
[4]İstanbul Teknik Üniversitesi, Prof.Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi (MEMTEK), İstanbul, Türkiye
******sevvaluysalcan-96@hotmail.com*

Özet

Su kanalları olarak bilinen aquaporinler (akuaporinler), hücre için hayati bir öneme sahiptir ve geçmişten günümüze büyük bir ilgi kaynağı olmuştur. Peter Agre, ilk aquaporin proteinini 1992 yılında keşfetmiş ve 2003 yılında Nobel Kimya ödülünün yarısını almaya hak kazanmıştır. Bakteriden memeli hücresine kadar bu zar proteiniyle, zorlu koşullarda fonksiyonelliğini koruyarak endüstri ve sağlık alanında kullanılabilecek yeni aquaporin proteinlerinin eldesine yönelik çalışmalar günümüzde yoğun bir şekilde devam etmektedir. Özellikle su/atık su arıtma alanında karşılaşılan çeşitli dezavantajların (örneğin maliyet etkinliği ve mekanik ve kimyasal stabilite), Aqp-bazlı biyomimetik membranlar kullanılması ile aşılabileceği veya en aza indirgeneceğine dair umut taşıyan çalışmalar mevcuttur1. Bu proje kapsamında, endüstriyel açıdan büyük öneme sahip yeni keşfedilen aquaporin proteinlerinin, karakterizasyonu ve biyoteknolojik potansiyellerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ülkemizde tuz oranı yüksek bir göl olan Acıgöl'den (Denizli) halofilik özellikte AGTR yeni bir suş olarak izole edilmiştir. Bu organizmanın genom bilgisi tanımlanmış ve biri 831, diğeri 795 baz uzunluğu olmak üzere iki adet aquaporin kodlayan gen bulundurduğu tespit edilmiştir. Bir başka ekstrem ortama sahip Armutlu'dan (Yalova) sediment örnekleri alınmış ve buradan da termofilik bir bakteri olan Geobacillus thermoleovorans ARTR1 izole edilmiştir. Bu organizmanın da 819 baz uzunluğunda aquaporin kodlayan gen dizisi belirlenmiştir. Ekstremofilik aquaporinlerin zorlu şartlar gerektiren endüstriyel işlemlerde (yüksek sıcaklık, yüksek pH) kararlılıklarını analiz etmek amacıyla literatürde herhangi bir çalışması bulunmayan halofilik Virgibacillus AGTR ve termofilik Geobacillus thermoleovorans ARTR1 suşlarından toplamda 3 adet ekstremofilik aquaporin geni izole edilmiş ve uygun primerler tasarlanarak PCR yöntemi ile çoğaltılmışlardır. Aquaporinler, pET28a (+) ekspresyon vektörü aracılığı ile E. coli (C43) konak organizmasında rekombinant olarak üretilmiş ve saflaştırılmıştır. Geobacillus thermoleovorans ARTR1 suşundan elde edilen aquaporin lipozomlara gömülerek, yüksek sıcaklık ve

yüksek tuz ortamına maruz bırakılmış ve su geçirgenlikleri karakterize edilmiştir. Termal kararlılığa sahip yeni aquaporin proteininin yüksek sıcaklık ve yüksek tuz ortamında dahi kontrol grubuna kıyasla daha iyi kapasiteyle suyu geçirebildiği tespit edilmiştir. Biyomimetik membran üretimine yönelik iyi bir aday olacakları düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Aquaporin, Biyomimetik Membranlar, Rekombinant Üretim

Discovery of Novel Aquaporin Proteins for AQP-Based Biomimetic Membranes

Abstract

Aquaporins, known as water channels, have vital importance for the cell and have been a source of great interest from past to present. The first discovery of aquaporin was made by Peter Agree in 1992. He was awarded the Nobel Prize in Chemistry with the discovery of this membrane protein, which is necessary for most cells from bacteria to mammalian cells. Many studies are still in progress to obtain novel aquaporin protein that can be used in industry and health by preserving its functionality under harsh conditions. It is believed to overcome, or minimize, several disadvantages (e.g. cost efficiency and mechanical and chemical stability) of Aqp-based biomimetic membranes, especially in the field of water/wastewater treatment1. Within the scope of this project, it is aimed to characterize and examine the biotechnological potential of newly discovered aquaporins that may have significance for industrial processes. A halophilic bacterium Virgibacillus sp. AGTR was isolated as a new strain from Acıgöl (Denizli) Turkey. The genomic information of this organism was obtained and it was determined that it contains two aquaporin-encoding genes, one with 831 bases and the other with 795 bases. Sediment samples were taken from another extreme environment, Armutlu (Yalova) Turkey, and a thermophilic bacterium Geobacillus thermoleovorans ARTR1 was isolated. The 819 base-long aquaporin-encoding gene sequence of this organism was determined by the genomic information analysis. To analyze the stability of extremophilic aquaporins in industrial processes that are requiring harsh conditions (high temperature, high pH), for the first time three extremophilic aquaporin genes were isolated from both halophilic Virgibacillus sp. AGTR and thermophilic Geobacillus thermoleovorans ARTR1 strains. At the begining of this study, a set of suitable primers for the isolated aquaporin genes were designed and amplified by the PCR method. Aquaporins were produced recombinantly in the E.coli (C43) host organism via the expression vector pET28a (+) and purified. Then, aquaporins obtained from Geobacillus thermoleovorans ARTR1 strain were encapsulated in liposomes and water permeability was characterized by exposing aquaporins to high temperature and high salt environment. It is observed that the novel thermostable aquaporin protein has a higher capacity in water permeability compared to the control group in high temperature and high salt environments. These extreme aquaporin proteins have a high potential to be good candidates for aqp-based biomimetic membranes.

Keywords: Aquaporins, Biomimetic Membranes Protein, Recombinant Production

1. GİRİŞ

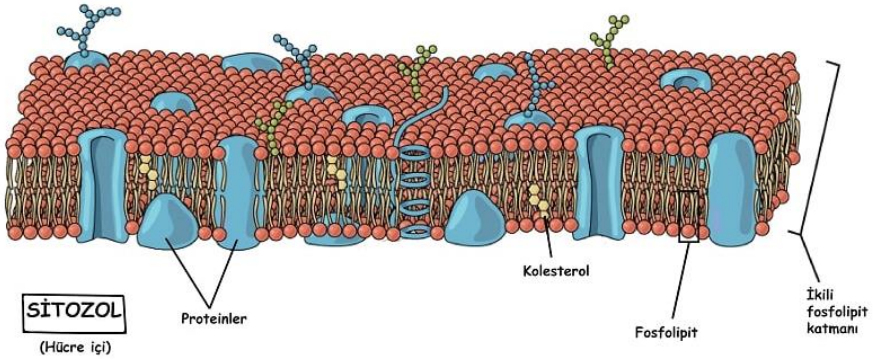
1.1 Akışkan Zar Modeli

19. yüzyılın başlarında, hücrelerin bitki hücrelerinden ayrılmasının keşfinden sonra, 1965 yılında Robert Hooke'un Hücre Zarı Teorisinin aslında bir yanlış yönlendirme olduğu ortaya çıkmıştır (Edidin M., 2003). O zamana kadar hücre duvarı, bitkilerin hücre duvarlarına sahip olması ve üzerinde çalışılabilen tek organizma olması nedeniyle hücre zarı olarak biliniyordu. Ancak 1890'da birçok bilim insanı hücre zarının var olduğunu, fakat bunun sadece ikincil bir yapıya sahip olduğunu belirtmiştir. 1972 yılına kadar Davson ve Danielli lipid çift tabaka hipotezi üzerine çalışmalarını sürdürmüşler ve Gorter ve Grendel`de membran yapısı ile ilgili çalışmalarına devam etmişlerdir (Gorter E., Grendel F., 1925). Singer ve Nicolson, bugün hala kabul gören Akışkan Mozaik Modelini önermişlerdir (S. J. Singer ve G. L. Nicolson, 1972). Bu modele göre hücreler, çok çeşitli protein, karbonhidrat ve lipit moleküllerinden

oluşan ve hücre için hayati öneme sahip organik ve inorganik moleküllerin, iyonların ve suyun geçisini sağlayan akışkan mozaik modele uygun hücre membranlarına sahiptir.

1.2 Biyolojik Membran Proteinleri

Membran proteinleri, biyolojik membranların bir parçası olan proteinlerdir. Membran proteinleri, Şekil 1.1'de görüldüğü gibi hücre zarının üzerinde veya içine yerleştirilmiştir. Hücrenin membranında bulunan bu proteinler biyolojik membran proteinleri olarak adlandırılırlar ve tüm proteinlerin yaklaşık % 25-30'unu oluştururlar. Fakat, membran proteinlerinin önemli bir kısmı, hala kısmen hidrofobik yüzeyleri, esneklikleri ve stabilite eksiklikleri nedeniyle tam olarak aydınlatılamamıştır.

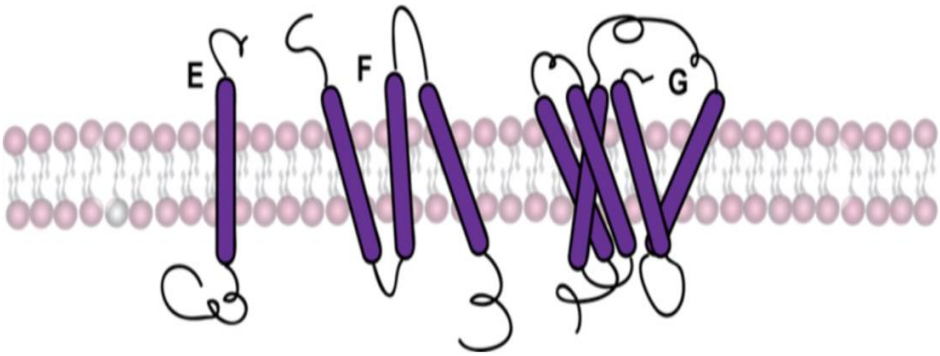


Şekil 1.1 : Akışkan Mozaik Model ve zar proteinleri (Membrane Proteins, 2021).

Biyolojik membran proteinleri bulundukları yere bağlı olarak iki alt katagoride incelenirler; bunlar integral membran proteinleri ve periferal membran proteinleridir.

1.2.1 İntegral Membran Proteinleri

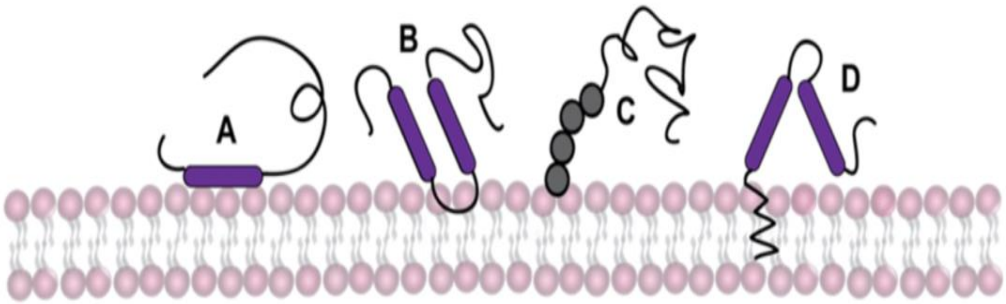
Biyolojik membran proteinlerinden biri olan integral membran proteinleri (IMP), tüm proteomun (Whitelegge, J. P., 2013) dörtte birini oluştururlar ve hücre zarları arasındaki molekül, enerji ve bilgi akışını kontrol ederler. Şekil 1.2'de gösterildiği gibi, biyolojik membranı oluşturan lipit çift katmanı içerisinde gömülü olarak bulunurlar ve membranı bir ya da daha fazla bölgeden (transmembran) keserler. Biyolojik membrana çok güçlü etkileşimlerle bağlandıklarından, bu proteinleri biyolojik membrandan ayırmak için deterjanlar, polar olmayan çözücüler veya bazen denatüre edici maddeler kullanılır (Lin, S. H. & Guidotti, G., 2009).



Şekil 1.2 : Integral membran protein örnekleri (Ariöz, C., 2014).

1.2.2 Periferal Membran Proteinleri

Periferik membran proteinleri membrana veya integral membran proteinlerine hidrofobik, elekstrostatik ve diğer kovalent olmayan etkileşimler ile geçici olarak bağlanırlar. Bu nedenle integral membran proteinlerine kıyasla yüksek pH veya yüksek tuz konsantrasyonu içeren bir çözelti ile muamelenin ardından membrandan kısmen daha kolay olacak şekilde ayrıştırılabilirler.



Şekil 1.3 : Peripheral membran protein örnekleri (Ariöz, C., 2014).

1.3 Aquaporin (Aqp)

Aquaporinler, suyun ve yüksüz çözünen maddelerin hücresel membran boyunca difüzyonunu kolaylaştıran ve insanlardan bakterilere kadar tüm organizmalarda geniş çapta dağılan integral membran proteinleridir. Yüksek su geçirgenliğinin yanı sıra aquaporinler, iyonları, üre, gliserol ve glikoz gibi küçük molekülleri seçici olarak reddetmektedir. Genellikle 26-32 kDa'lık bir moleküler kütleye sahip olan aquaporinlerin, N ve C uç kısımları sitoplazmada bulunurken, proteinin membrana gömülü halde bulunan asparagin-prolin-alanin ("NPA motifi") desenine sahip, ikisi hidrofobik (B, E) olmak üzere hücre membranının içine veya dışına kıvrılan beş bölgesi (A-E) vardır (Yılmaz, H., Özdemir, F. İ., 2020). Bu motif hidrofilik bir yol oluşturarak su moleküllerinin geçişini sağlar. Burada su moleküllerine bağlanmaya yardımcı olup, diğer moleküllerin girmesini engelleyen amino asit kümesinden oluşan ar / R seçicilik filtresi bulunmaktadır (Sui, H., 2001). Bu seçici geçirgen filtre NPA motifinin B ve E bölgelerinde bulunmakla birlikte dar bir bölge oluşturmaktadır. Bu darlık su molekülleri arasındaki hidrojen bağlarını zayıflatmaktadır. Böylece pozitif yük taşıyan argininlerin su molekülleri ile etkileşime girmesini ve istenmeyen protonları ve molekülleri filtrelemesini sağlar (Hub, J. S. ve De Groot, B. L., 2008). Sonuç olarak, aquaporinlerden sadece su geçişi sağlanarak gözeneklere girmeye çalışan herhangi bir molekülün girmesi engellenmiş olur. Son yıllarda aquaporinlerin rekombinant üretimi ve yapı / fonksiyon analizleri üzerine yayınlanan birçok çalışma mevcuttur (Verkman, A. S. ve Mitra, A. K., 2000), (Maurel, C., 2015). Aquaporinler, hücre membranından su transferinde 10-100 kata kadar artış sağlarlar (Yılmaz, H., 2020). Ayrıca bu proteinler, hücre dışı sinyallerin iletimi veya maddelerin membran aracılığıyla taşınması gibi çeşitli kritik rollere sahip olduklarından, endüstriyel açıdan da aquaproteinler membranlara gömülerek suyun yeniden kullanımı ve tuzdan arındırma gibi membran uygulamaları ile arıtım sistemleri için büyük bir potansiyel oluşturmaktadır (Sengur-Tasdemir, 2018), (Sengur-Tasdemir, 2019).

1.3.1 Ekstremofilik Aquaporinler

Prokaryotik aquaporinler ilk olarak *Escherichia coli* 'de tanımlanmıştır ve bugüne kadar aquaporin proteinini elde etmek için yapılan çalışmalarda *Rhodobacter sphaeroides* (Erbakan, M., 2015), *Lactococcus lactis* (Froger, A., Rolland, 2001), *Saccharomyces cerevisiae* (Andre, B., 1995), *Mathanothermobacter marburgensis* (Kozono, D., 2003), *Photobactetrium profundum* SS9 (Wei, P., Wang, Q., 2017) and *Halomonas elongate* (Yılmaz, H., Özdemir, F. İ., 2020) gibi mikroorganizmalar kullanılmıştır. Aynı zamanda, hücre içermeyen protein ekspresyon sistemleri (cell-free expression systems) gibi yöntemler kullanılarak da aquaporinlerin üretilmesine yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde

devam etmektedir (Yue, K., 2020). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, katalaz-negatif *Streptococcus*'tan elde edilen bir aquaporinin, endojen H_2O_2'nin dışarı akışını kolaylaştırdığı ve bu nedenle H_2O_2 detoksifikasyonunda ve ayrıca türler arası rekabette önemli roller oynadığı ortaya konmuştur (Tong, H., 2019). Bir diğer örnek ise ekstremofilik (halofilik) gram negatif bakteri olan tuzlu göl ortamında yetişen *Halomonas elongata*'dır (Öztürk, A., 2020). *H. elongata* aquaporininin, biyomimetik membran üretimi için uygun bir alternatif olduğu önerilmiştir. Yapılan bu çalışma ile, *Halomonas*'tan elde edilen aquaporin membranının su geçirgenliğinde dikkat çekici artış gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen diğer bir sonuç ise, membran yapısına eklenen *E.coli* aquaporini ile % 27 oranında glikozu reddetme kapasitesi artarken, aynı oranda su geçirme potansiyelinin de arttırılmış olmasıdır.

Yukarıda bahsedildiği üzere, ekstrem ortamlardan izole edilen organizmalardan elde edilen aquaporinler, endüstriyel açıdan büyük önem taşımaktadırlar. Özellikle su/atık su arıtma alanında karşılaşılan çeşitli dezavantajların (örneğin maliyet etkinliği ve mekanik ve kimyasal stabilite), Aqp-bazlı biyomimetik membranların kullanılması ile aşılabileceği veya en aza indirgeneceğine dair umut taşıyan çalışmalar mevcuttur (Abaie, E., 2021).

Literatürde yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, bu proje kapsamında aquaporin proteinin kodlayan genin halofilik ve termofilik bakteriler gibi ekstrem koşullarda yaşayan bakterilerden tanımlanması ve karakterizasyonunun gerçekleştirilecek olması literatüre sağlayacağı katkı açısından büyük önem taşımaktadır. Tuz tutunumunda yüksek performans gösteren aquaporin proteini, ekstrem koşullarda yaşayan mikroorganizmalardan elde edildiğinde yüksek sıcaklıkta ve yüksek pH aralığında aktivite göstermesi sayesinde bu proteinin endüstride kullanım alanı genişleyecektir. Ayrıca, ekstrem özelliğe sahip organizmalardan elde edilen yeni aquaporin proteinlerinin farklı konakçı sistemlerde rekombinant olarak üretilmesi, proteinlerin yüksek miktarda üretilmesine imkan sağlayacak ve endüstriyel alanda kullanımına imkan tanıyacaktır.

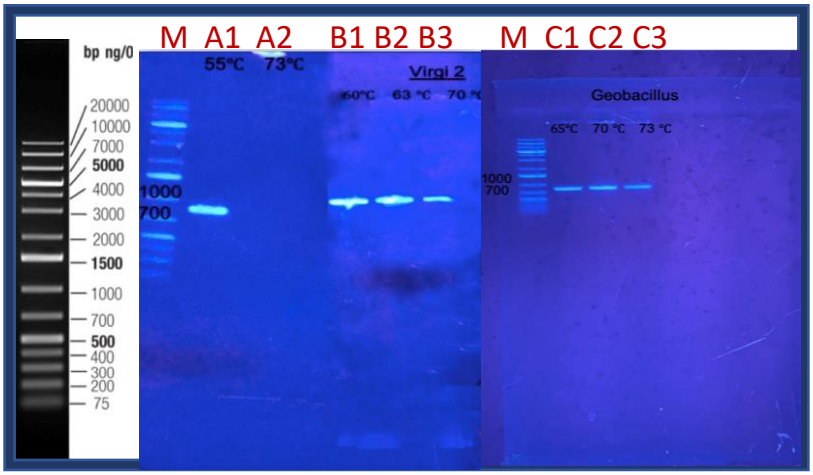
1.4 Biyomimetik Membran Üretiminde Aquaporinler

Biyolojik su kanalı proteinleri aquaporinlerin keşfinden bu yana, ticari olarak uygulanabilecek Aqp-bazlı ayırma membranlarının üretimine yönelik kapsamlı çabalar sarf edilmiştir. Aqp'lerin benzersiz yapılarının ve taşıma özelliklerinin araştırılması, biyomimetik ayırma malzemelerinin protein bazlıdan yapay kanal bazlı membranlara evrimi ile sonuçlanmıştır (Abaie, E., 2021). Endüstriyel açıdan biyomimetik membranlarda kullanılabilecek olan aquaporin proteini, ekstrem organizmalardan üretilerek zorlu koşullar altında gerçekleşen atık su arıtımında (yüksek sıcaklık, yüksek pH) ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda rekombinant üretimin sağlayacağı avantaj ile düşük maliyetli ve çok miktarda üretimi ile aquaporin , ekonomik açıdan biyoteknolojik alanlarda daha rahat bir kullanım alanı sağlayacaktır.

2. SONUÇLAR

2.1 Aquaporinlerin Genlerinin İzole Edilmesi ve Çoğaltılması

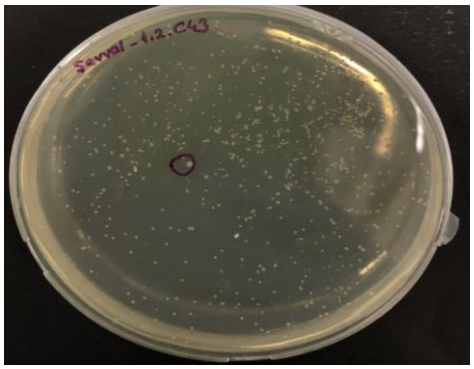
Ülkemizin ekstrem bölgelerinden tanımlanan Halofilik *Virgibacillus sp.* AGTR ve termofilik *Geobacillus thermoleovorans* ARTR1 mikroorganizmaları kendi spesifik büyüme ortamlarına uygun olacak şekilde büyütülmüştür ve genomik DNA analizleri yapılmıştır. *Virgibacillus sp.* AGTR suşunda bulunan 2 farklı aquaporin için forward (ileri) ve reverse (tersi) olmak üzere toplamda 4 adet primer ve *Geobacillus thermoleovorans* ARTR1 suşunda bulunan 1 aquaporin için ise forward (ileri) ve reverse (tersi) olmak üzere toplamda 2 adet primer tasarlanmıştır. Tasarlanan primerler ile hedef gen bölgelerini çoğaltmak için PZR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu) kurulmuştur. Bu adım sonrasında agaroz jel elektroforezi ile ilgili gen bölgelerinin istenilen boyutta olup olmadığı görülmüştür.



Şekil 2.1 : PZR ürünleri. A1 ve A2 : *Virgibacillus* 1'e ait 830 baz uzunluğunda 55°C ve 73°C'de çoğaltılmış PZR ürünleri. B1, B2 ve B3 : *Virgibacillus* 2'ye ait 795 baz uzunluğundaki 60°C, 63°C, 70°C' de çoğaltılmış PZR ürünleri. C1, C2, C3 : *Geobacillus'*a ait 819 baz uzunluğundaki 65°C, 70°C, 73°C 'de çoğaltılmış PZR ürünü. M: Marker.

2.2 Hedef Genlerin Vektöre Klonlanması ve Transformasyon

Aktif gen bölgeleri, histidin kuyruğu içeren pET28a (+) ekspresyon vektörüne klonlanmıştır. Bu aşamada kesim ve ligasyon enzimleri ile muamele edildikten sonra istenilen genin bu vektör içine eklenmesi sağlanmıştır. Klonlama sonrasında, vektör, *E.coli* 'ye ait olan konak hücrelere (C43, BL21, Rosetta) transforme edilmiştir.

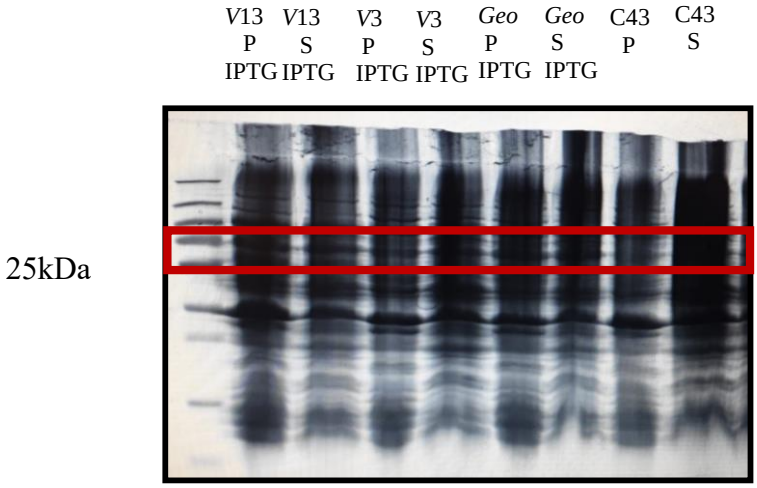


Şekil 2.2 : *E.coli* C43 konak hücresine transformasyon.

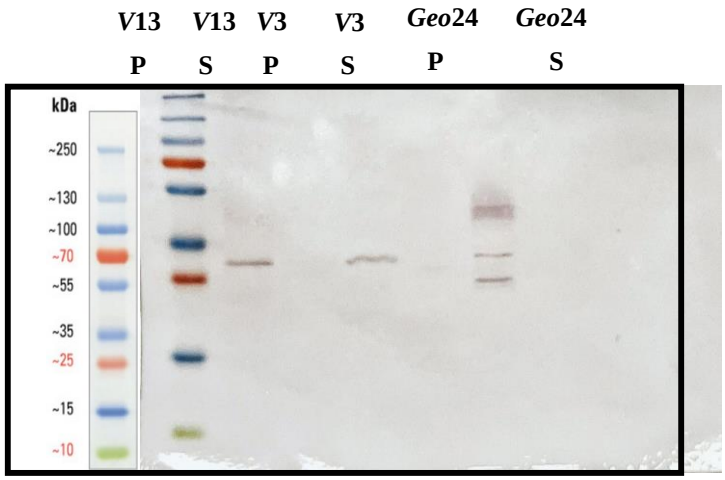
Burada ekspresyon vektörünün gerekli gen bölgelerini içerdiği ve aynı zamanda bu vektörün de konak hücrelerin içerisinde olduğunu doğrulamak amacıyla koloni PZR, kontrol kesimi ve dizileme işlemleri uygulanmıştır. Bu yöntemler ile hedef gen bölgesinin doğru moleküler boyutta olduğu ve aynı zamanda ekspresyon vektörünün de bu geni içerdiği doğrulanmıştır. Yapılan koloni PZR ile de hangi kolonilerin pozitif (plazmit içeren) olduğu belirlenmiş ve o koloniler ile protein ekspresyonu aşamasına devam edilmiştir.

2.3 Protein Ekspresyonu

Transformasyondan sonra, farklı IPTG konsantrasyonlarında ve sürelerinde inkübe edilen hücreler için optimum sıcaklık, konsantrasyon ve inkübasyon süresi belirlenmiştir. Membran proteinlerinin ekspresyon ve saflaştırma süreçleri zor olduğu için bu kısımda birçok farklı yöntem denenerek optimal koşullar belirlenmiştir. Aquaporin bir integral membran proteini olduğu için, OG (Octyl-beta-Glucoside Detergent) kullanılarak ekspresyon süreci ilerletilmiştir. Elde edilen yüksek miktardaki ekspresyon bantları, yüklü molekülleri elektrik alan varlığında moleküler kütlelerine göre ayıran ve analitik bir metod olan SDS-PAGE elektroforez yöntemi ile 29-30 kDa boyutunda görülmesi üzerine protein ekspresyonu doğrulanmıştır. Daha sonrasında, hedef proteinin üretildiğinden emin olmak için Western Blot analizi yapılmıştır.



Şekil 2.3 : SDS-PAGE sonucu. P: Pelet, S: Supernatant.

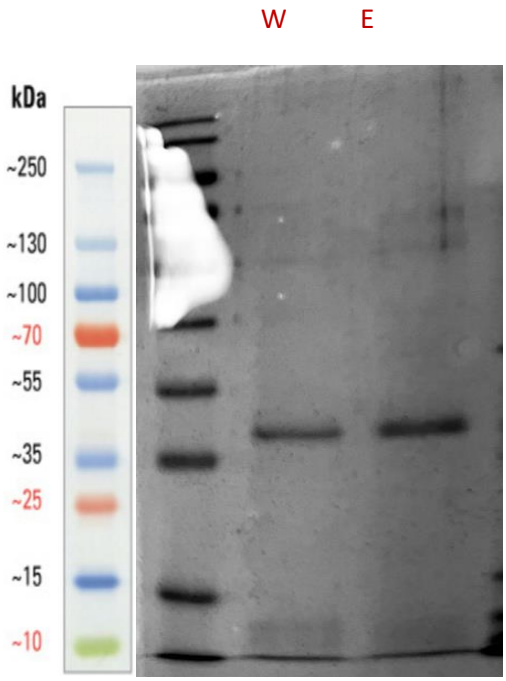


Şekil 2.4 : Western Blot Analizi sonucu. P: Peet, S: Supernatant

Buradan alınan sonuca göre proteinler saflaştırılmak için hazırlanmışlardır. Bu aşamaya geçmeden önce protein örneklerinden diyaliz işlemiyle fazla deterjan ortamdan uzaklaştırılmıştır.

2.4 His-tag Protein Saflaştırması

En iyi ekspresyon koşullarının belirlenmesinin ardından His-tag kolon kromotografi yöntemi kullanılarak, proteinler saflaştırılmıştır. SDS-PAGE elektroforez yöntemi ile proteinlerin saflığı kontrol edilmiştir. Saflaştırma sürecinde, kullanılan deterjan miktarı için optimum koşul belirlenmiş, ultrafiltrasyon tekniği ile kirlilikler uzaklaştırılmış ve lipozom üretim aşamasına geçilmiştir.



Şekil 2.5 : Ultrafiltrasyon ile elde edilen yeterli saflıktaki aquaporinler; 1- Wash (Yıkama) örnekleri, 2- Elüsyon örnekleri.

2.5 Lipozom ve Proteolipozom Üretimi

Yeterli saflıkta elde edilen aquaporinler için lipozom üretimi 1:100 (aqp:lipid) oranında hazırlanmıştır. Lipozom üretimi için DOPC (Dipalmitoylphosphatidylcholine) lipit molekülü kullanılmıştır. Lipozoma aquaporinleri gömmek için ise OG deterjanı kullanılmış ancak sonrasında BioBeads'ler aracılığı ile deterjan ortamdan uzaklaştırılmıştır. *Geobacillus thermoleovorans* ARTR1 suşundan elde edilen aquaporin lipozomlara gömülerek, yüksek sıcaklık ve yüksek tuz ortamına maruz bırakılmış ve su geçirgenlikleri karakterize edilmiştir. Elde edilen boş lipozomun ve aquaporin içeren proteolipozomun su ve tuz geçirgenliği karakterizasyonlarını test etmek için SX20 Stopped-Flow Spektrometre cihazı kullanılmıştır. Termal kararlılığa sahip yeni aquaporin proteininin yüksek sıcaklık ve yüksek tuz ortamında dahi kontrol grubuna kıyasla daha iyi kapasiteyle suyu geçirebildiği tespit edilmiştir. Su geçirgenliği arttığı için lipozomun büzüşmesiyle doğru orantılı olarak ölçülen k değerinde artış beklenmektedir.Tablo 2.1'de listelenen sonuçlar göstermektedir ki, aqp ekli lipozomda su geçirgenliği hem oda sıcaklığında hem de 40 °C'de aquaporin içermeyen lipozoma kıyasla daha fazladır. Başlangıç denemeleri tamamlanan termal aquaporin proteini, biyomimetik membran üretimine yönelik iyi bir aday olacağı konusunda umut vadetmektedir.

Tablo 2.1 : Lipozom ve Proteolipozom arasında su geçirgenliği k (s^{-1}) karşılaştırması.

Örnekler	Sıcaklık	k (s^{-1})
Kontrol	Oda Sıcaklığı	22
Proteolipozom		78
	40 °C	
Kontrol		11
Proteolipozom		44

3. KAYNAKÇA

Abaie, E., Xu, L., and Yue-xiao Shen, Y. (2021). Abaie, E., Xu, L., & Shen, Y. X. (2021). Bioinspired and biomimetic membranes for water purification and chemical separation: A review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, *15*(6), 1-33.

Andre, B. (1995). An overview of membrane transport proteins in Saccharomyces cerevisiae. *Yeast*, 11(16), 1575-1611.

Ariöz, C. (2014). *Exploring the Interplay of Lipids and Membrane Proteins* (Doctoral dissertation, Department of Biochemistry and Biophysics, Stockholm University).

Edidin, M. (2003). Lipids on the frontier: a century of cell-membrane bilayers. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *4*(5), 414-418.

Erbakan, M., Curtis, B. S., Nixon, B. T., Kumar, M., & Curtis, W. R. (2015). Advancing Rhodobacter sphaeroides as a platform for expression of functional membrane proteins. *Protein expression and purification*, *115*, 109-117.

Fluid Mosaic Model. (2020). https://bio.libretexts.org/@go/page/12739

Froger, A., Rolland, J. P., Bron, P., Lagrée, V., Le Cahérec, F., Deschamps, S., ... & Delamarche, C. (2001). Functional characterization of a microbial aquaglyceroporin. *Microbiology*, *147*(5), 1129-1135.

Gorter, E., & Grendel, F. J. E. M. (1925). On bimolecular layers of lipoids on the chromocytes of the blood. *The Journal of experimental medicine*, *41*(4), 439.

Hub, J. S., & De Groot, B. L. (2008). Mechanism of selectivity in aquaporins and aquaglyceroporins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(4), 1198-1203.

Johansson, I., Karlsson, M., Johanson, U., Larsson, C., & Kjellbom, P. (2000). The role of aquaporins in cellular and whole plant water balance. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, *1465*(1-2), 324-342.

Kozono, D., Ding, X., Iwasaki, I., Meng, X., Kamagata, Y., Agre, P., & Kitagawa, Y. (2003). Functional expression and characterization of an archaeal aquaporin: AqpM from Methanothermobacter marburgensis. *Journal of Biological Chemistry*, *278*(12), 10649-10656.

Maurel, C., Boursiac, Y., Luu, D. T., Santoni, V., Shahzad, Z., & Verdoucq, L. (2015). Aquaporins in plants. *Physiological reviews*, *95*(4), 1321-1358.

Öztürk, A., Yıldız, A., Yılmaz, H., Ergenekon, P., & Özkan, M. (2020). Organic solute rejection capacities of Escherichia coli and Halomonas elongata aquaporin-incorporated nanofiltration membranes. *Separation Science and Technology*, *55*(13), 2362-2368.

Sengur-Tasdemir, R., Kilic, A., Tutuncu, H. E., Ergon-Can, T., Gul-Karaguler, N., Ates-Genceli, E., ... & Koyuncu, I. (2019). Characterization of aquaporin Z-incorporated proteoliposomes with QCM-D. *Surface Innovations*, *7*(2), 133-142.

Sengur-Tasdemir, R., Sayinli, B., Urper, G. M., Tutuncu, H. E., Gul-Karaguler, N., Ates-Genceli, E., ... & Koyuncu, I. (2018). Hollow fiber nanofiltration membranes with integrated aquaporin Z. *New Journal of Chemistry*, *42*(21), 17769-17778.

Singer, S. J., & Nicolson, G. L. (1972). The Fluid Mosaic Model of the Structure of Cell Membranes: Cell membranes are viewed as two-dimensional solutions of oriented globular proteins and lipids. *Science*, *175*(4023), 720-731.

Sui, H., Han, B. G., Lee, J. K., Walian, P., & Jap, B. K. (2001). Structural basis of water-specific transport through the AQP1 water channel. *Nature*, 414(6866), 872-878.

Tong, H., Hu, Q., Zhu, L., & Dong, X. (2019). Prokaryotic aquaporins. *Cells*, 8(11), 1316.

Verkman, A. S., & Mitra, A. K. (2000). Structure and function of aquaporin water channels. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*, *278*(1), F13-F28.

Wei, P., Wang, Q., Hang, B., Shi, F., Cai, J., Huang, L., & Xu, Z. (2017). High-level cell-free expression and functional characterization of a novel aquaporin from Photobactetrium profundum SS9. *Process Biochemistry*, 59, 172-179.

Yılmaz, H., Özdemir, F. İ., Ergenekon, P., & Özkan, M. (2020). Affinity tag effect on the salt rejection potential of Halomonas elongata aquaporin incorporated in thin film nanocomposite membrane. *Protein Expression and Purification*, 173, 105664.

Yue, K., Jiang, J., Zhang, P., & Kai, L. (2020). Functional Analysis of Aquaporin Water Permeability Using an Escherichia coli-Based Cell-Free Protein Synthesis System. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 1000.

Presentation ID / Sunum No= 83

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-4678-6972

Derin Öğrenme İle Trafik İşaretlerinin Tespiti

Öğr. Gör. Dr Ecem İren[1]
[1]*Bilgisayar Programcılığı Programı, İzmir Kavram MYO,*
E-mail: ecem.iren@kavram.edu.tr

Özet

Nesne Algılama, fotoğraflar, videolar ve gerçek zamanlı görüntülerdeki nesneleri algılamaya odaklanan, bilgisayarla görme ve görüntü işleme ile ilgili bir bilgisayar teknolojisidir. Son yıllarda R-CNN, Faster R-CNN, Single Shot Detector (SSD) ve YOLO (Sadece Bir Kez Bak) gibi bazı derin öğrenme tabanlı algılama algoritmaları geliştirilmiştir. Bu çalışmada, trafik işaretlerini içeren seti üzerinde YOLOV5 algoritmasının nesne tanıma performansı analiz edilmiştir. İki aşamalı algılama algoritmalarından farklı olarak YOLO, üç katmandan oluşan tek bir aşamada nesne algılayıcı olarak çalışmaktadır. Öznitelik çıkarma işlemlerinin yapıldığı ilk katman Omurga (Backbone) olarak adlandırılır. Bu katman, model omurgası olarak Çapraz Aşama Kısmi Ağlar (CSPNet) yapısını kullanarak hedef görüntüden ayırt edici özellikler üretmektedir. Boyun (Neck) olarak adlandırılan ikinci katmanda ise özellik piramitleri oluşturulmaktadır. Özellik piramitleri yardımıyla nesnenin farklı boyutları ve ölçekleri tespit edilebilmektedir. Baş (Head) katmanında ise nesne konumları algılanmakta ve sınırlayıcı kutu koordinatları üretilmektedir. Veri setinin eğitim sürecinin ardından kesinlik, geri çağırma, doğruluk, mAP gibi bazı metriklerle performans analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Nesne Tanıma Algoritmaları, YOLO, YOLOV5, Trafik İşaret Tespiti

Traffic Sign Detection Using Deep Learning Algorithm

Abstract

Object Detection is a computer technology related with computer vision and image processing that focuses on detecting objects in photos, videos, and real-time images. In recent years, there has been improved some deep learning based detection algorithms such as R-CNN, Faster R-CNN, Single Shot Detector (SSD) and YOLO (You Only Look Once). In this study, detection performance of YOLOV5 algorithm is analyzed on a traffic sign dataset. Unlike the two-stage detection algorithms, YOLO works as an object detector in a single stage consisting of three layers. First layer is called as Backbone in which feature extraction operations are carried out. This layer produces the distinctive features from the target image by using Cross Stage Partial Networks (CSPNet) structure as model backbone. Moreover,

feature pyramids are generated in the second layer named as Neck. Different sizes and scales of the object can be detected with the help of feature pyramids. Finally, object positions are detected and bounding box coordinates are outputted in the head layer. In addition, performance analysis is done with some metrics like precision, recall, accuracy, mAP (mean average precision) after the process of training the dataset.

Keywords: Deep Learning, Object Detection Algorithms, YOLO, YOLOV5, Traffic Sign Detection

1. INTRODUCTION

Object Detection is a computer technology related with computer vision and image processing that focuses on detecting objects in photos, videos, and real-time images. Today, there is a need for computers to recognize objects just like humans. In this context, many fast and accurate algorithms have been developed and continue to be improved for object detection and image processing. Image processing can be defined as transforming the relevant image into digital form and making changes on the image using various methods in order to solve a problem at hand. Predictions are made on the data labeled with deep learning (Yıldırım and Çağıl, 2020; Zhao et al., 2019). In recent years, there has been improved some deep learning-based detection algorithms such as R-CNN, Faster R-CNN, Single Shot Detector (SSD) and YOLO (You Only Look Once). One of the most frequently used algorithms among the developed algorithms is the YOLO. YOLO emerged in 2017 as an algorithm capable of real-time object detection in the fastest way. It is a fast and accurate algorithm compared to other algorithms doing real-time object detection and average precision (AP) of the YOLO algorithm is found higher than those of them (Avcı and Yıldırım, 2021). YOLO is an algorithm that uses convolutional neural networks for object detection. Compared to recognition algorithms, a detection algorithm not only predicts class labels but also detects the positions of objects. Unlike the two-stage detection algorithms, YOLO works as an object detector in a single stage consisting of three layers. Yolo applies a single CNN (Convolutional Neural Network) to the picture, divides the picture into grids and estimates the relevant confidence score for each grid and bounding boxes are analyzed with the estimated confidence score (Redmon et al., 2015). In this study, detection performance of YOLOV5 algorithm is analyzed on a traffic sign dataset.

2. METHOD AND MATERIAL

In this study, traffic sign dataset from Kaggle (Sichkar, 2020) is used to analyze the performance of YOLOV5 shown in Figure 1. Training process is carried out on Jupyter Notebook environment. Firstly, dataset is divided into two parts as images and labels folders (Figure 2). While images folder includes the actual training and validation images, labels folder holds the x and y coordinates of training and validation images. In addition, while 80% of the 740 dataset images are chosen as training, 20% of them are selected for validation steps.

Figure 1. Sample Images from the Dataset

```
#cycle for train dir
for x in range(countForTrain):

    fileJpg = choice(imgs) # get name of random image from origin dir
    fileXml = fileJpg[:-4] +'.txt' # get name of corresponding annotation file

    #move both files into train dir
    #shutil.move(os.path.join(crsPath, fileJpg), os.path.join(trainimagePath, fileJpg))
    #shutil.move(os.path.join(crsPath, fileXml), os.path.join(trainlabelPath, fileXml))
    shutil.copy(os.path.join(crsPath, fileJpg), os.path.join(trainimagePath, fileJpg))
    shutil.copy(os.path.join(crsPath, fileXml), os.path.join(trainlabelPath, fileXml))


    #remove files from arrays
    imgs.remove(fileJpg)
    xmls.remove(fileXml)



#cycle for test dir
for x in range(countForVal):

    fileJpg = choice(imgs) # get name of random image from origin dir
    fileXml = fileJpg[:-4] +'.txt' # get name of corresponding annotation file

    #move both files into train dir
    #shutil.move(os.path.join(crsPath, fileJpg), os.path.join(valimagePath, fileJpg))
    #shutil.move(os.path.join(crsPath, fileXml), os.path.join(vallabelPath, fileXml))
    shutil.copy(os.path.join(crsPath, fileJpg), os.path.join(valimagePath, fileJpg))
```

Figure 2. Dividing Dataset into Two Parts (Images and Labels)

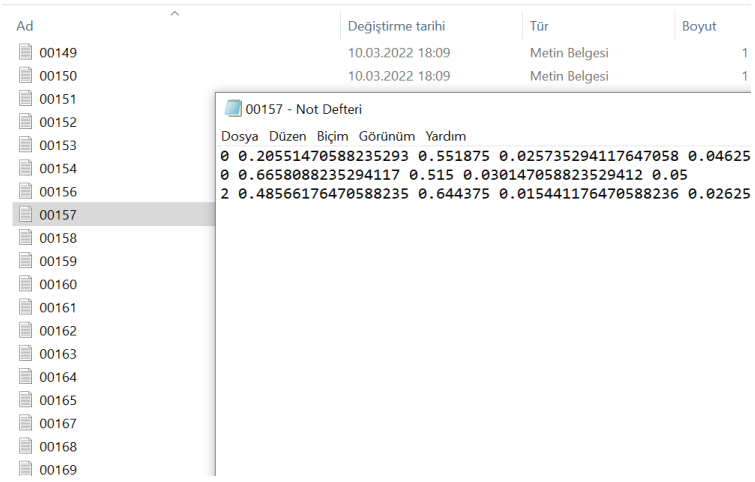


Figure 3. Labels (Annotations) File for an Image Including Label and Coordinates

Dataset is labelled as four classes such as speed limit, yield, mandatory and other represented with Figure 4. Number of classes, class names and paths of training and validation images are defined in dataset.yaml file which is necessary to start the training process properly. Training parameters consist of image size as 416 x 416, batch size 16, number of epochs (training iteration) 30 and predefined weights of yolov5.

```
# train and val data
train: ../dataset/images/train/
val: ../dataset/images/val/

# number of classes
nc: 4

# class names
names: ['speed limit', 'yield', 'mandatory', 'other']
```

Figure 4. dataset.yaml File

```
In [20]: !python train.py --img 415 --batch 16 --epochs 30 --data dataset.yaml --weights yolov5s.pt --cache
```

Figure 5. Training Parameters

YOLOV5 (Jocher, 2020) has three layers illustrated in Figure 6 and first layer is called as Backbone in which feature extraction operations are carried out. This layer produces the distinctive features from the target image by using Cross Stage Partial Networks (CSPNet) structure as model backbone. Moreover, feature pyramids are generated in the second layer named as Neck. Different sizes and scales of the object can be detected with the help of feature pyramids. Finally, object positions are detected and bounding box coordinates are outputted in the head layer (Önler, 2021).

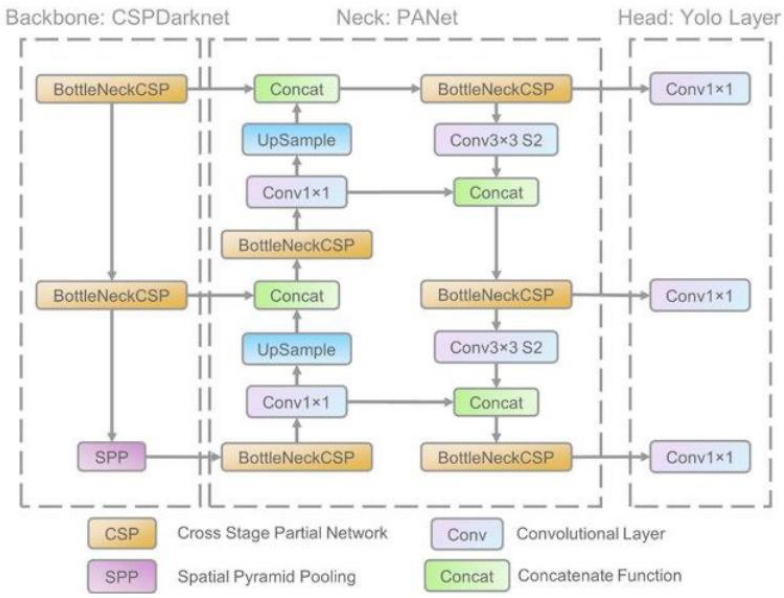


Figure 6. Structure of YOLOV5 (Xu, 2021)

3. EXPERIMENTAL RESULTS

In this study, after the completion of approximately two hours of training, trained dataset is evaluated in terms of mAP, precision, recall and F1 score. Precision (P) means how many of the values are predicted as positives and include valid object class. Recall refers to how much of the data that have to be predicted as positive is estimated as positive and correctly. Therefore, recall is an important metric calculating ratio of true predictions in the total number objects in an image. F1 Score is a metric that shows harmonic mean of the precision and recall. Moreover, TP is the bounding box on the image that detects traffic signs correctly. FP is the location of the bounding box that detects a background or other object as a traffic sign. FN means there is a traffic sign in the image but it is not detected (Nepal and Hussein, 2022; Rahmaniar and Hernawan, 2021; Önal and Dandıl, 2021).

$$Precision\ (P) = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall\ (R) = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1\ Score\ (F1) = 2\ x\ \frac{P\ x\ R}{P + R}$$

$$Average\ Precision\ (AP) = \int_0^1 p(r)\ dr$$

$$Mean\ Average\ Precision\ (mAP) = \frac{1}{n}\sum_1^n A\ P_i$$

From Table 1, precision, recall, F1 Score and mAP values of each class categories can be seen. The highest F1 score and mAP values are obtained in yield class with the values of 0.861 and 0.902 respectively. The overall performance of Yolov5 model is found as 0.779 and 0.82 in terms of F1 score and mAP metrics leading that it can be considered as a good method at object recognition. Figure 7 depicts the bounding boxes with class probabilities on the validation dataset.

Table 1. Performance Metrics of Yolov5 Model

Class Category	**Precision**	**Recall**	**F1 Score**	**mAP**
Speed Limit	0.835	0.818	0.826	0.895
Yield	0.828	0.898	0.861	0.902
Mandatory	0.714	0.8	0.754	0.805
Other	0.681	0.664	0.672	0.679
All (General)	0.764	0.795	0.779	0.82

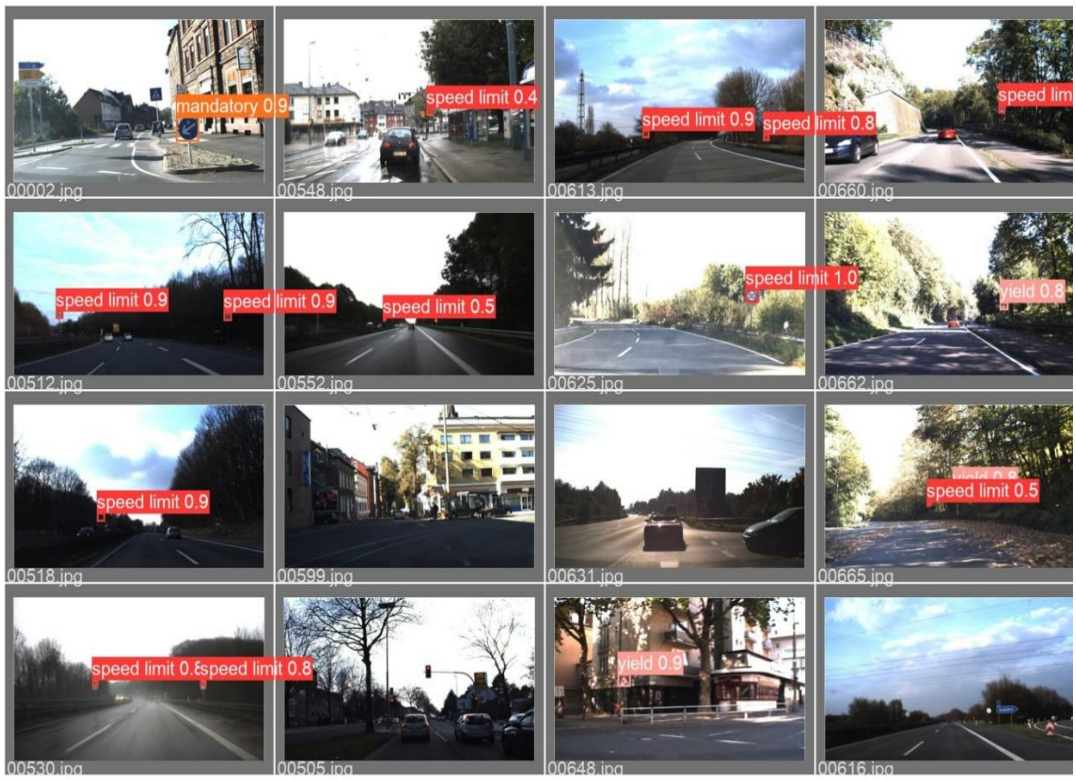


Figure 7. A Sample of Class Predictions

Values of precision, recall and mAP values changed frequently per epoch during the training can be illustrated with graphical representation in Figure 8. Precision value achieves the peak point at fifteenth epoch and highest recall and mAP values are observed at the last and 26. iterations, respectively. On the other hand, mAP value becomes stable and does not have a significant change after 21. epoch.

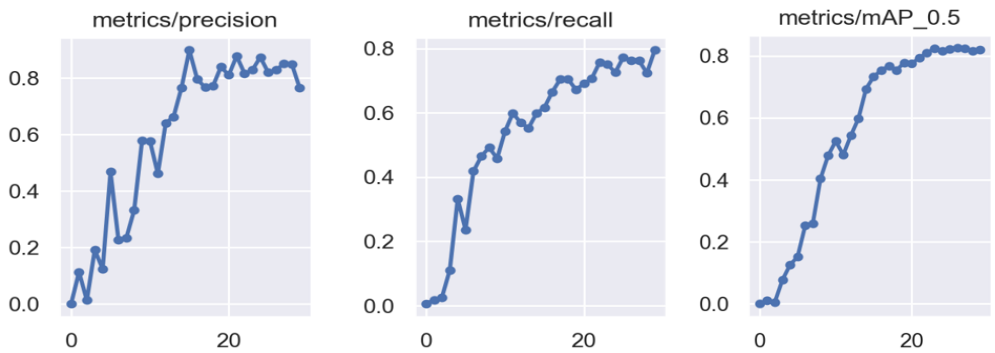


Figure 8. Graphical Representation of Performance Metrics

Figure 9 demonstrates the behaviour of precision and recall values with confidence parameter per each class label.

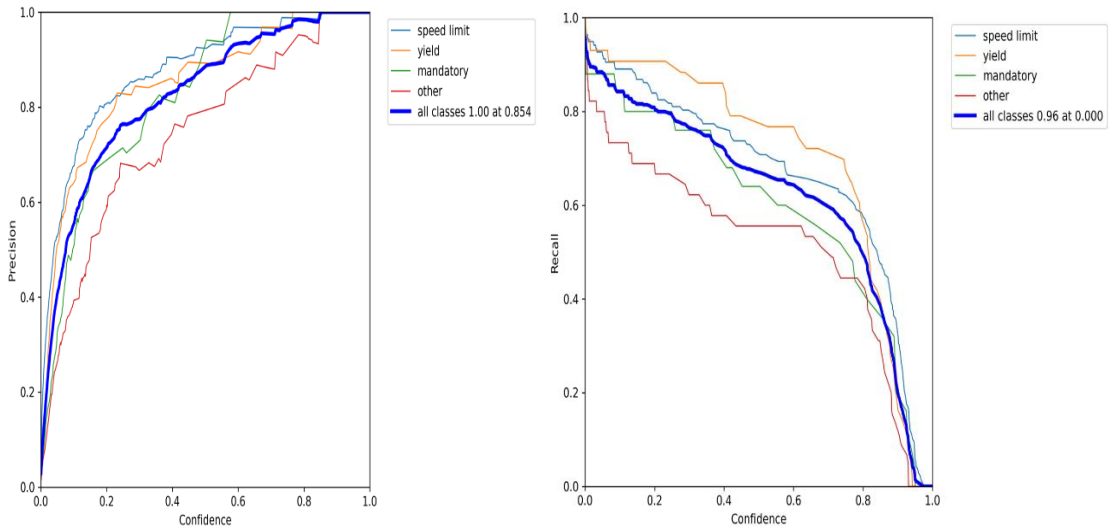


Figure 9. Graphical Representation of Precision and Recall with Confidence for Each Classes

4. CONCLUSION

In conclusion, a performance analysis of YOLOV5 algorithm is realized on Jupyter Notebook environment with in the context of the study. The overall performance of Yolov5 model on traffic dataset is found as approximately 78% in terms of F1 Score with 82% mAP value. It can be understood that this algorithm can be applied with the aim of object detection with these promising results. Beside them, the accuracy of the object detection system can be improved by increasing the dataset size with new images and training (epoch) number.

REFERENCES

1. Yıldırım, B. and Cağıl, G. (2020). “Bir Montaj Parçasının Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme ile Tespiti”, Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications, 3(2): 31-37. DOI: 10.38016/jista.710144.
2. Zhao, Z. Q., Zheng, P., Xu, S. T. and Wu, X. (2019). “Object Detection with Deep Learning: A Review”, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, arXiv, 1-21. DOI: 10.1109/TNNLS.2018.2876865.
3. Avcı, İ. and Yıldırım, M. (2021). “Görme Engelli Bireyler İçin Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Modeli”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2021 (ICAENS): 220-227. DOI: 10.31590/ejosat.995726.
4. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi, A. (2015). “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”, arXiv, 779-788.
5. Sichkar, V. (2020). “Traffic Signs Dataset in YOLO format”, https://www.kaggle.com/valentynsichkar/traffic-signs-dataset-in-yolo-format, 10.03.2022.
6. Jocher, G. (2020). “YOLOV5”, https://github.com/ultralytics/yolov5/, 08.03.2022.
7. Önler, E. (2021). “Real Time Pest Detection Using YOLOv5”, International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 14(3): 232–246.
8. Xu, R., Lin, H., Lu, K., Cao, L., and Liu, Y. (2021), “A forest fire detection system based on ensemble learning”, Forests, 12(2): 1-16. DOI: https://doi.org/10.3390/f12020217
9. Nepal, U and Hossein, E. (2022). "Comparing YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 for Autonomous Landing Spot Detection in Faulty UAVs", Sensors, 22(2): 1-15. DOI: https://doi.org/10.3390/s22020464.
10. Rahmaniar, W. and Hernawan, A. (2021). “Real-Time Human Detection Using Deep Learning on Embedded Platforms: A Review”, Journal of Robotics and Control (JRC), 2(6): 462-468. DOI: 10.18196/jrc.26123.

11. Önal, O. & Dandıl, E. (2021). "Object Detection for Safe Working Environments using YOLOv4 Deep Learning Model", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Özel Sayı 2021 (HORA) , 343-351. DOI: 10.31590/ejosat.951733.

Presentation ID / Sunum No= 87

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-9889-4051

En Küçük Kareler Yöntemi İle Fire Oranlarının Azaltılması: Bir Üretim İşletmesinde Uygulama

Öğr. Gör. Medine Nur Türkoğlu Elitaş[1], Muhammed Kır[2]
[1]*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bilecik*
medine.elitas@bilecik.edu.tr
[2]*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya*
muhammedkir@gmail.com

Özet

Regresyon analizi, farklı değişkenler arasındaki ilişkiyi, matematiksel bir model ile açıklayan bir istatistik analiz tekniğidir. Bu tür analizlerde kullanılan metotlar bir ve çok değişkenli metotlar olarak ele alınabilir. Tek değişkenli metotların kullanımı ve uygulama alanları kompleks değildir. Çok değişkenli metotlar ise uygulama bakımından daha karmaşıktır. Bu çalışmada ikinci nesil bir analiz tekniği olan En Küçük Kareler Tekniği incelenmiş ve bir işletmeye ait problem çözülmüştür. Çalışmada bir içecek üretim şirketinin üretmiş olduğu 1.500 ml ürününün dolum seviyesinin üretim hızındaki değişiklikler sonucunda nasıl değiştiği en küçük kareler yöntemi ile ele alınmıştır. Yapılan bu çalışma ile işletme tarafından deneme yanılma yolu ile yapılan üretim hızı ve dolum seviyesi çalışmaları sırasında ortaya çıkan ürün, hammadde, ambalaj malzemeleri, iş gücü ve enerji kayıplarının önüne geçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Regresyon Analizi, En Küçük Kareler Tekniği, İş Gücü ve Enerji Kayıpları.

Reducing Rates of Watage With the Least Squares Technique: An Application in a Production Company

Abstract

It is a statistical analysis technique that characterizes with a mathematical model called regression model. The methods used in statistical analysis can be considered as univariate and multivariate methods. Usage and applications of one variable methods are simple. Multivariate methods are more complicated in terms of implementation. In this study, information about the Least Squares Technique,

which is a second generation analysis technique, a problem of a company has been solved. In this study, how the filling level of the 1,500 ml product produced by a beverage production company changes as a result of the changes in the production speed, has been discussed with the least squares method. With this study, the product, raw material, packaging materials, man power and energy losses during the production speed and filling level studies made by the enterprise through trial and error have been prevented.

Keywords: Regression Analysis, Least Squares Technique, Labor and Energy Losses.

1. GİRİŞ

Küreselleşen dünya, gelişen teknolojiler ile birlikte işletmeler tüm dünya ile rekabet etmek durumunda kalmaktadır. Yıkıcı rekabetin oluşturduğu maliyet baskısı sebebiyle işletmeler tüm kaynakları en verimli şekilde kullanarak, bu rekabette varlıklarını sürdürebilme çabası içerisindedir. Oluşan bu küresel rekabet ortamı müşteri beklentilerini yükselterek, işletmelerin müşterilerinin beklentisini karşılayacak olan kalitedeki ürünleri, müşterilerinin beklentisini karşılayacak olan fiyatlardan, en kısa sürede müşterilerine ulaştırmak için çalışmasını zorunlu kılmıştır. Bu beklentileri karşılayabilmek için işletmeler birçok üretim problemleriyle karşı karşıya kalmıştır. Özellikle kâr marjlarının çok düşük, pazardaki ürün yaşam döngüsünün çok kısa, pazarlama ve ürün tutundurma maliyetlerinin çok yüksek, müşteri beğeni kriterlerinin değişken ve çok çeşitli olduğu, yatırım maliyetlerinin yüksek ve yatırımı hayata geçirme sürelerinin uzun, olduğu sektörlerde ise maliyetleri minimize ederek, ürün kalitesini maksimize edecek çalışmaların yapılması işletmelerin karşı karşıya kaldığı önemli problemlerdir.

Bu çalışmada bir üretim tesisinde üretilen ürünün, müşteri memnuniyetini maksimize etmek için üretimdeki kalite hatalarının minimize edilmesi ve maliyetleri düşürebilmek için üretim ve kalite problemleri sebebiyle oluşan firelerin minimize edilmesi amaçlanmıştır. En küçük kareler yöntemi ile üretim ve kalite problemleri sebebiyle oluşan firelerinin azaltılması uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın amacı üretim tesisinde üretimi yapılmakta olan bir ürünün farklı üretim parametreleri sebebiyle üretim hızındaki değişikliklerin ürünün dolum seviyesine olan etkileri sebebiyle oluşan fire miktarlarının minimize edilmesidir.

En küçük kareler yöntemiyle elde edilen tahminlerin güvenilir olması model hatalarının beklenen değerinin sıfır, birbirinden bağımsız, normal dağılımlı ve sabit varyanslı olmasına bağlıdır. Birim değerlerinin birbirinden bağımız olmaması regresyon analizinde hata terimleri arasında sistematik bir bağlantıya sebep olmaktadır. Bu tip veriler arasındaki ardışık bağımlılık sorunu farklı yapısal özellikler taşımaktadır. Dolayısıyla, bu tip verilerle geliştirilen modellerde ardışık bağımlılık sorununun saptanması ve çözüm yöntemleri de farklılık arz etmektedir (Albayrak, 2014: 1-20).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bükey ve Çetin (2017), Türkiye'de Gelir Dağılımına Etki Eden Faktörlerin En Küçük Kareler Yöntemi ile Analizini incelemişlerdir. Bu çalışmanın hedefi, Türkiye'de gelir dağılımına etki eden faktörlerin En Küçük Kareler Yöntemi ile analiz edilmesidir. Analiz sonuçlarına göre iktisadi büyüme ve vergi yükü değişkenleri anlamsız olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, cari işlemler dengesindeki bir birim artış Gini katsayısını yaklaşık 0.53 birim; enflasyondaki bir birim artış Gini katsayısını yaklaşık 0.06 birim, faizdeki bir birim artış ise Gini katsayısını yaklaşık 0.05 birim artırmaktadır (Bükey ve Çetin, 2017:103-117).

Xiao vd. (2006), PeertoPeer için bir SpaceTime Difüzyon Şeması En Küçük Kareler Tahmini adlı çalışmalarında, her sensörün aldığı bir sensör ağının çeşitli zamanlarda, bazı bilinmeyen parametrelerin ölçümleri ile bağımsız Gauss seslerini incelemişlerdir. Bir uzay zamanı önermişlerdir. Sadece eşler arası iletişim sistemine dayanan difüzyon şeması ve her düğümün asemptotik olarak hesaplamasına izin veren bilinmeyen parametrelerin küresel maksimum olabilirlik tahmini gerçekleşmiştir. Bu şemanın güvenilir ve güvenilir olmayan iletişim bağlantılarına sahip olan ve dinamik olarak değişen topoloji ile ağ oluşturulmuştur (Xiao vd., 2006:168-176).

Albayrak (2014) çalışmasında 11.01.2002 ile 10.08.2012 dönemine ait 553 haftalık zaman serileri kullanılarak makroekonomik değişkenleri ile sermaye hareketlerinin BIST-100 endeksi üzerine olan etkilerini EKK ve otoregresyon teknikleri ile çözümleyerek karşılaştırmıştır (Albayrak, 2014:1-20).

Şahinler (2000), En Küçük Kareler Yöntemi ile Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri' ni araştırmıştır. Bu çalışmanın amacı; bu yöntemlerin en çok kullanılanları kısaca özetlemek ve yeterli bir regresyon modeli oluşturabilmek için dikkat edilmesi gereken önemli hususları içeren bir yol önermektir. Bu çalışmada, en küçük kareler tekniği ile yeterli bir regresyon modeli oluşturulurken mutlaka gözden geçirilmesi gereken önemli hususlar, yukarıda bahsedilen istatistiklerin nasıl hesaplandığından çok, ne amaçla kullanıldığı ve elde edilen değerlerin nasıl yorumlanacağı üzerinde durularak sayısal örnekler ile adım adım açıklanmıştır (Şahinler, 2000:57-73).

Albayrak (2008), en küçük kareler tekniğinin en önemli varsayımlarından biri olan sabit varyans varsayımını ampirik bir uygulama üzerinde tartışmayı amaçlamıştır. Bu çalışmada, Zonguldak'ta toplam asılı partiküller madde düzeylerindeki trend ve mevsimlik faktörler uygun olan ağırlıklı regresyon metoduyla araştırılmaktadır. Araştırmada AR analizi ile elde edilen sonuçlardan, düzeltilmiş-R^2 değerinin %91 ve toplam asılı partiküller düzeylerinin ilgili dönemde yıllık trendinin negatif ve yaklaşık olarak-1.467 um/m^3 olduğu ve bunun 0.000 anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu anlaşılmaktadır (Albayrak, 2008:111-134).

Bulut ve Alın (2009), Kısmi En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi Algoritmalarından Nipals ve PLS - Kernel Algoritmalarının Karşılaştırılması ve Bir Uygulama üzerine çalışmıştır. Bu çalışmada NIPALS ile PLS-Kernel algoritması hakkında bilgi verilerek, iki algoritmanın On dokuz Mayıs Üniversitesi Beden Eğitimi Meslek Yüksek Okulu'ndan alınan verilere uygulanması ile bulunan sonuçlar verilmektedir (Bulut ve Alın, 2009:127-138).

Çakır (2019), Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM) ve Bir Uygulama üzerine çalışmıştır. Çalışmada avantajlardan ve modelin bazı dezavantajlarından bahsedilmiş ayrıca elde edilen sonuçların nasıl yorumlanacağı hakkında bilgiler sunulmuştur. Uygulama adımları SmartPLS 3.2 programında gerçekleştirilmiş, tablolar ve şekiller yorumları ile birlikte sunulmuştur (Çakır, 2019:111-128).

Rathert vd. (2011), Japon bıldırcınlarında iç kalite özelliklerinden olan Ak yüksekliği, Ak genişliği, Ak uzunluk, Sarı uzunluk ve Sarı Yüksekliğinin Temel Bileşenler Regresyon metoduyla belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla 20-24 haftalık yaşlar arasındaki çiftleşmiş Japon bıldırcınlarından toplanan yumurtalar kullanılmıştır. Regresyon tahmin denklemlerinin uyum iyiliği LS yönteminde %29.24-%68.25, PCR yönteminde ise %29.12-%66.72 aralığında bulunmuştur (Rathert vd., 2011:687-692).

3. METOT

En küçük kareler metodu ile parametrelerin tahmini sapmaları ve hataların kareleri toplamını minimize eden doğru seçilir (Gürsakal, 2002). Bu durum hata kareleri toplamının minimum düzeyde olması anlamına gelir. Yani,

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - Y_i)^2 = \sum (Y_i - a - b.X_i)^2 = \min \qquad (1)$$

olması gerekir. Bu yönteme en küçük kareler metodu adı verilmektedir. Bu fonksiyonun minimum olabilmesi için a ve b parametrelerine göre birinci dereceden türevleri bulunup sıfıra eşitledikten sonra gerekli işlemler yapıldığında,

$$\sum Y_i = n.\alpha + b.\sum X_i$$

$$\sum X_i \,.\, Y_i = \alpha.\sum X_i + b.\sum X_i^2 \qquad (2)$$

normal denklemler adı verilen denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sistemi sayesinde a ve b parametreleri kolaylıkla bulunabilir (Karagöz, 1999:198). Bu parametreler bulunduğunda regresyon modeli,

$$\check{Y} = \alpha + b.X \qquad (3)$$

biçiminde yazılır.

Tahminin Standart Hatası

Regresyon analizinde gerçek ve tahmini Y değerleri arasındaki farklar, hataları meydana getirmektedir. Bağımlı değişken ile bir tek bağımsız değişken kullanıldığında tahminin standart hatası,

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{(Y-\check{Y})^2}{n-2}} \qquad (4)$$

eşitliği ile bulunur [Kohler, 1988:591].

Katsayıların Anlamlılık Testi

Bir bağımlı ve bir bağımsız değişkenli model için α ve β parametreleri test edilecektir. Bilindiği gibi α'nın kestirimi a olan regresyon sabiti ve b ise β'nın kestirimi olup regresyon katsayısıdır. Regresyon modelindeki regresyon katsayısına ilişkin yapılan test, regresyon doğrusunun anlamlılığını da test etmektedir (Yüzer, 2009:264-272). Parametrelerin testi için kurulan hipotez;

H_0: $\beta = 0$

H_1: $\beta \neq 0$

şeklinde oluşturulur. Katsayıların anlamlılık testi için t dağılışı kullanılır. Test istatistiği,

$$t_h = \frac{b-\beta}{S_b}, \left[S_b = \sqrt{\frac{S_{YX}^2}{(X_i-\dot{X})^2}} \; ; \; S_{YX}^2 = \frac{\sum(Y_i-\hat{Y})^2}{n-2}\right] \qquad (5)$$

eşitliği ile bulunur. Tek yönlü testte t_c ile gösterilen tablo değeri $t_{\alpha(n-2)}$, iki yönlü testte ise $t_{\alpha/2(n-2)}$ olarak belirlenir. Yapılan analizler sonucunda $t_h > t_c$ ise H_0 hipotezi reddedilir (Yıldız ve Bircan, 1999: 219).

Belirlilik Katsayısı

Regresyon denkleminin verilere olan uyumunun sağlanıp sağlanmadığının bir göstergesi de açıklanabilen değişimin toplam değişime olan oranıdır. Bu oran belirlilik katsayısı olarak isimlendirilir ve bağımlı değişkendeki değişimin bağımsız değişken tarafından açıklanabilirliğini gösterir. Korelasyon katsayısının karesine eşit olan belirlilik katsayısı R^2 olmak üzere,

$0 \leq R^2 \leq 1$ biçimindedir (Yüzer, 2009:264-272).

Bağımsız değişkenin bağımlı değişkenin varyansının yüzde kaçını açıkladığının göstergesi olan belirlilik katsayısı,

$$R_{YX}^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i-\bar{Y})^2}{\sum(Y_i-\bar{Y})^2} \text{ veya } R_{YX}^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i-\hat{Y}_i)^2}{\sum Y_i-\bar{Y})^2} \qquad (6)$$

eşitliklerinden herhangi biri ile bulunabilir. Bu katsayı regresyonda önemli bir kavramdır. Bu değerin 1'e yakın olması bağımlı değişkendeki varyansın büyük bir kısmını modeldeki bağımsız değişkenin açıkladığı sonucuna varılır (Yavuz, 2009:1).

4. UYGULAMA

Bir üretim işletmesi üretimlerini yapmakta kullandığı 2 ürün hazırlama ünitesi ve 8 Farklı üretim hattı ile üretim hatları için şişe üretiminde kullandığı 6 adet enjeksiyon makineleri bulunmaktadır. Firma Pet şişede çeşitli ölçülerde aseptik meyve suyu, içecek ve soğuk çay üretmektedir, Aseptik karton kutularda 1000 ml ve 200 ml ölçülerinde meyve suyu ve içecek üretimi yapmaktadır. Cam şişede 200 ml meyve suyu ve içecek üretimi yapmaktadır. 250 ml hdpe (high density polyetylene – yüksek yoğunlukta polietilen) şişede İçecek üretimi yapmaktadır.
Firma üretimi en temel sınıflandırmayla iki hiyerarşik aşamaya ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi ürün hazırlama, diğeri ise dolum ve paketleme üniteleridir. Ürün hazırlama ünitesinde yapılan işlemleri kısaca meyve nektarı veya içeceklerinin standartlara ve spektlere uygun bir şekilde hazırlanması olarak özetleyebiliriz.

Ürün hazırlama süreci tamamen otomasyon sistemi üzerinden yürütülmektedir. Otomasyon programında ürünün hazırlanacağı JPT (Juice Prepration Tank- Meyve suyu hazırlama tankı) seçilir. Tank seçimi üretim planlama departmanının belirlediği plana göre üretimi yapılacak olan parti miktarı göz önüne alınarak yapılır. Sonrasında otomasyon programında üretilecek olan ürüne ait reçete (ürün ağacı) seçimi yapılır ve üretilecek olan üretim miktarı girilir. Otomasyon sistemi otomatik olarak önceden sıralanmış reçete basamaklarını (ilk su girişi, flex mix çevrimi, şeker ve toz yükleme, varil konsantre yükleme, karıştırıcının devreye girişi, flex mix durdurma ve son su ayarlama) gerçekleştirir. Reçetenin (ürün ağacının) basamak basamak ilerlemesi sırasında bir sonraki basamağa geçiş daima operatörün onayı ile gerçekleşir. Yani sistem başlanan basamağı otomatik olarak tamamlarken bir sonraki basamağa geçişte operatör onayını şart koşar. Operatörün kontrolünde hazırlanmış olan ürünler ürünün özelliğine göre aseptik tank veya son ürün tanklarına doldurularak, dolum ve paketleme aşamasını bekler.

Dolum ve paketleme ünitesinde yapılan işlemleri kısaca ürün hazırlama ünitesinde hazırlanmış olan meyve nektarı veya içeceklerinin standartlara ve spektlere uygun bir şekilde dolumunun yapılması, paketlenmesi, paletlenmesi ve satışa hazır hale getirilmesi olarak özetleyebiliriz. Dolum ve paketleme süreci tamamen otomasyon sistemi üzerinden yürütülmektedir. Üretim hattının özelliğine göre üretilecek olan ürünün doldurulacağı şişe veya karton ambalaj malzemesinin pet preformdan üretilecek ise preform yüklemesi, kağıt aseptik ambalaj ise ambalaj malzemesi yüklemesi, hdpe şişe ise şişe yüklemesi üretim hattına yapılır. Bu süreç üretim planlama departmanı tarafından üretimi yapılacak olan ürünlerin, üretim departmanına bildirilmesi ile başlar. Üretim departmanı gerekli makine hazırlık işlemleri ve gerekiyorsa kalıp değişimi işlemlerini yapar. Tüm hat üretim için hazır olduğunda Üretim Departmanı üretimi başlatır. Sonra üretim yapılacak hatta göre ilgili aseptik tanktan veya son ürün tankından dolum makinesinin haznesine gelmiş olan doluma hazır ürün, dolum makinesine ait dolum nozulu ile ambalaja doldurulur, kapaklanır, üretim tarihleri kodlanır, etiketlenir, paketlenir, paletlenir ve depolanır.

İşletmenin üretimini yaptığı 1.500 ml ürünün dolum miktarları, dolum sırasında ürünün köpürmesi gibi sebeplerden dolayı üretim hızına bağlı olarak değişmektedir. Üretim hızı değişimi ile şişeye eksik ya da fazla ürün doldurulabilmektedir. Bu durum ise üretim firelerine sebep olmaktadır. Üretim hızı değiştirildiğinde üretilen ürün, kalite spektlerindeki toleranslar dahilinde olabilmekte, ancak toleransın üst sınırına yakın olması durumunda fazla dolum yapıldığından ürün kaybı oluşmaktadır. Eğer üretilen ürünler kalite spektleri toleransları dahilinde değilse, kalite departmanı tarafından reddedilmekte ve ürünler tamamen fire olmaktadır. İşletme farklı üretim hızları ile üretim yapmak istemekte ve aynı zamanda üretim firelerini minimize etmek istemektedir. İşletme farklı üretim hızları ile elde edeceği dolum seviyelerini deneme yanılma yapmadan hesaplayabilmek istemektedir. Bunun sebebi ise deneme yanılma yolu ile yapılan hesaplamalarda çok fazla ürün, iş gücü ve enerji israfı olmaktadır. Bu sebeple farklı üretim hızları ile elde edeceği dolum seviyelerini hesaplayabilmek için en küçük kareler yöntemi ile standart sapması minimum olacak bir denklem oluşturmak istemektedir. İşletmenin daha önce deneme yanılma yoluyla tespit ettiği üretim hızları ve dolum seviyeleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Üretim Hızları ve Dolum Seviyeleri Değerleri.

Üretim Hızı (şişe/h)	17.000	18.000	18.200	18.300	18.400	18.600	18.800	19.000	19.400	19.800	20.000	20.400	21.000	21.500	22.000
Dolum Seviyesi (ml)	1.510	1.505	1.500	1.500	1.497	1.496	1.493	1.492	1.484	1.480	1.475	1.468	1.455	1.442	1.434

Bu verilerle doğrusal regresyon denkleminde a ve b katsayılarını en küçük kareler yöntemi ile belirleyebilmek için normal denklemler Tablo 2'deki gibi elde edilir.

Tablo 2. En Küçük Kareler Yöntemi ile Elde Edilen Değerler.

	Xi	Yi	Xi^2	Xi.Yi
	17.000	1.510	289.000.000	25.670.000
	18.000	1.505	324.000.000	27.090.000
	18.200	1.500	327.610.000	27.150.000
	18.300	1.500	334.890.000	27.450.000
	18.400	1.497	338.560.000	27.544.800
	18.600	1.496	345.960.000	27.825.600
	18.800	1.493	353.440.000	28.068.400
	19.000	1.492	361.000.000	28.348.000
	19.400	1.484	376.360.000	28.789.600
	19.800	1.480	392.040.000	29.304.000
	20.000	1.475	400.000.000	29.500.000
	20.400	1.468	416.160.000	29.947.200
	21.000	1.455	441.000.000	30.555.000
	21.500	1.442	462.250.000	31.003.000
	22.000	1.434	484.000.000	31.548.000
Toplamlar	290.400	22.231	5.646.270.000	429.793.600

$$\sum Y_i = n.\alpha + b\sum X_i$$

$$\sum X_i . Y_i = \alpha\sum X_i + b\sum X_i^2 \qquad (7)$$

22.231 = 15a + 290.400 b

429.793.600 = 290.400 a + 5.646.270.000 b

Denklemlerin çözümünden,

a = 1.795,6987 ve b = - 0,0162 olarak bulunur.

Y = 1.795,6987- 0,0162 X denklemi bulunur.

Elde ettiğimiz denklem ile üretim hızının 16.000 şişe/h olduğunda dolum seviyesinin hangi değeri alacağını hesaplayalım.

Y = 1.795,6987 - 0,0162 . 16.000

Y = 1536,4987 ml olarak bulunur. Bulunan bu değer kabul edilebilir sınırlar dışında olduğundan 16.000 şişe/h dolum hızı ile üretim yapılması fireleri artıracağından, bu hız ile üretim yapılması uygun değildir.

Elde ettiğimiz denklem ile üretim hızının 18.500 şişe/h olduğunda dolum seviyesinin hangi değeri alacağını hesaplayalım.

Y = 1.795,6987 - 0,0162 . 18.500

Y = 1.495,9987 ml olarak bulunur. Bulunan bu değer kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğundan 18.500 şişe/h dolum hızı ile üretim yapılması uygundur.

Standart hatası ise gözlem sayısı 15 olduğu için aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{\sum(Y-\hat{Y})^2}{n-2}} \qquad (8)$$

Tablo 3. Standart Hata Hesaplama Değerleri.

	Yi	$\widehat{Yi}$	$Yi - \widehat{Yi}$	$(Yi - \widehat{Yi})$^2
	1.510	1.520,2987	-10,2987	106
	1.505	1.504,0987	0,9013	0,8123
	1.500	1.500,8587	-0,8587	0,7374
	1.500	1.499,2387	0,7613	0,5796
	1.497	1.497,6187	-0,6187	0,3828
	1.496	1.494,3787	1,6213	2,6286
	1.493	1.491,1387	1,8613	3,4644
	1.492	1.487,8987	4,1013	16,8207
	1.484	1.481,4187	2,5813	6,6631
	1.480	1.474,9387	5,0613	25,6168
	1.475	1.471,6987	3,3013	10,8986
	1.468	1.465,2187	2,7813	7,7356
	1.455	1.455,4987	-0,4987	0,2487
	1.442	1.447,3987	-5,3987	29,1460
	1.434	1.439,2987	-5,2987	28,0762
Toplamlar	22.231	22.231	0	239,8740

$$Sy = \sqrt{\frac{239,8740}{13}} = 4,2956 \text{ ml}$$

Bu standart hata bize gerçek dolum seviyesinin 4, 2956 ml lik bir hata ile temsil edildiğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada bir içecek üretim şirketinin üretmiş olduğu 1.500 ml ürününün dolum seviyesinin üretim hızındaki değişiklikler sonucunda nasıl değiştiği en küçük kareler yöntemi ile ele alınmıştır. Yapılan çalışmada işletmenin deneme yanılma yolu ile elde ettiği üretim hızı ve dolum seviyelerine ait veri setleri kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile hata oranını minimize edecek bir denklem bulunmuştur. Bulunan denklemin daha sonra standart hata oranı hesaplanmıştır. Bulunan standart hata oranının işletme koşulları için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Daha sonra üretim hızı değişiklikleri ile oluşabilecek olan farklı dolum seviyelerine ait hesaplamalar yapılarak, işletme için en doğru olan üretim hızları ve dolum seviyeleri tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile işletme tarafından deneme yanılma yolu ile yapılan üretim hızı ve dolum seviyesi çalışmaları sırasında ortaya çıkan ürün, hammadde, ambalaj malzemeleri, iş gücü ve enerji kayıplarının önüne geçilmiştir. Deneme yanılma metodu ile üretim hızı ve dolum seviyesi tespiti yerine bulunan denklem ile hesaplama yapılma yöntemi tercih edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

[1] ALBAYRAK, A.S. (2014). "Otokorelasyon Durumunda En Küçük Kareler Tekniğinin Alternatifi Otoregresyon Teknikleri ve Bir Uygulama", SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, (19): 1-20.

[2] ALBAYRAK, A.S. (2008). "Değişen Varyans Durumunda En Küçük Kareler Tekniğinin Alternatifi Ağırlıklı Regresyon Analizi ve Bir Uygulama", Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi, 10(2): 111-134.

[3] BULUT, E. ve ALIN, A. (2009). "Kısmi En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi Algoritmalarından Nipals ve PLS-Kernel Algoritmalarının Karşılaştırılması ve Bir Uygulama", Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F Dergisi, 24(2): 127-138.

[4] BÜKEY A.M. ve ÇETİN, B.I. (2017). "Türkiye'de Gelir Dağılımına Etki Eden Faktörlerin En Küçük Kareler Yöntemi ile Analizi", Maliye Araştırmaları Dergisi, 3 (1):103-117.

[5] ÇAKIR, F.S. (2019). "Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM) ve Bir Uygulama", Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi, 5(9): 111-128.

[6] GÜRSAKAL, N. (2002) Bilgisayar Uygulamalı İstatistik II, Alfa, İstanbul.

[7] KARAGÖZ, M. (1999). İstatistik Yöntemleri, Dördüncü Baskı, Malatya: 198.

[8] KOHLER, H. (1988). Statistics for Business and Economics, U.S.A.:Scott, Foresman and Company: 591.

[9] RATHERT, T.Ç., ÜÇKARDEŞ, F., NARİNÇ, D. ve AKSOY, T. (2011). "Comparision of Principal Component Regression with the Least Square Method in Prediction of Internal Egg Quality Characteristics in Japanese Quails", Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi, 17(5): 687-692.

[10] ŞAHİNLER, S. (2000). "En Küçük Kareler Yöntemi ile Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri", MKÜ Ziraat Fakültesi dergisi 5(1-2): 57-73.

[11] YAVUZ, S. (2009). " Regresyon Analizinde Doğrusala Dönüştürme Yöntemleri ve Bir Uygulama", Sütçü İmam Üniversitesi İİB Dergisi, (13): 1.

[12] YILDIZ, N. ve BİRCAN, H. (1999). İstatistiğe Giriş, Aktif Yayınevi, İkinci Baskı, Erzurum: 219.

[13] YÜZER, Ali F. (2009). İstatistik, Anadolu Üniversitesi, Yayın No:1448, Eskisehir:264-272.

[14] XIAO, L., BOYD, S. and LALL, S. (2006). "A Space-Time Diffusion Scheme For Peer-To-Peer Least-Squares Estimation", Proceedings of the 5th İnternational Conference on Information Processing in Sensor Networks, 168-176.

Presentation ID / Sunum No= 88

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-6437-5990

Bir Tasarım Projesi: Kanola Tohumlarından Biyodizel Üretimi

Maya Mahfuz[1], Berfin Kökçek[1], Hayriye Nur Serin[1], Dr. Öğretim Üyesi Evren Altıok[1]
[1]*Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü*
maya_mahfuz@yahoo.com, berfinkokcek1@gmail.com, nurserin07@icloud.com, evrenaltiok@gmail.com

Özet

Dünyada enerji tüketimi her yıl yaklaşık %6 oranında büyümektedir.Ancak bu artışı karşılayacak fosil ve benzeri yakıtlar büyük oranda azalmaktadır.Dolayısıyla yakın zaman içerisinde fosil yakıtlarınenerji ihtiyacını karşılayamayacak duruma geleceği göz önünde bulundurularak alternatif bir çözüm planlanmalıdır.Bu proje, biyodizel üretimineyönelik tasarım ve proses optimizasyonu çalışmalarını içermektedir. Projedekanola tohumlarından kullanım kalitesi yüksek biyodizel üretimi amaçlanmaktadır. Biyodizel, yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir bazik katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol (metil veya etil alkol) ile esterleşmereaksiyonu (Transesterifikasyon) sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Proses optimizasyonu çalışmaları ile 2324 kg/gün kanola tohumu işlenerek, 807.95 kg kanola yağı elde edilmiş, 136.1 kg metaoksit çözeltisi ile birlikte % 74 verimle 781 kg biyodizel üretimine ulaşılmıştır. Bununla birlikte, yüksek protein içeriğine sahip 1315.27 kg küspe, 273.17 kg biyogübre ve 94.79 kg gliserin elde edilmiştir. %45-55 arasında yüksek protein içeriği ile küspe, sindirimde önemli rol oynayan selüloz, lif ve fenolik maddeler gibi bileşenleri ile önemli bir besin kaynağı oluşturmaktadır. İşlem, sıfır atık hedefini sağlayacak şekilde optimize edilmiştir. Kütle ve enerji denklikleri ile birlikte maliyet hesapları, yatırım giderleri ve işletme masrafları ile birlikte bütün olarak irdelenmiş ve komple analiz gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde fayda/maliyet açısından avantajlar sergileyen tasarım projesi, yağsız kanola küspesi proteinleri işlenerek besleyici özellikleri ile diyette gıda takviyesi, biyogübre zirai alanda, gliserin ise kimya sanayiinde değerlendirilecektir. Sıfır atık hedefi ile proses atıklarının ekonomik değere dönüştürülmesi ile projenin teknik fizibilitesi iyileştirildi. Bununla birlikte, kanola tohumu, yüksek kalitede biyodizel üretimi amacıyla kullanıldığında sadece enerji alternatifi olarak değil ayrıca proses yan ürünlerinde yaratılabilecek ekonomik değerler açısından da dikkat çekmektedir. Ülkemizde yetiştirilmesinin mümkün olduğu kanola bitkisinin üretiminin de yaygınlaşabileceği dikkate alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Transesterifikasyon, Kanola Tohumu, Proses Optimizasyonu

Abstract

World energy consumption is growing by about 6% every year. Fossil fuels are increasingly unable to meet this demand. For this reason, alternative energy sources should be looked for. This project includes design and process optimization studies for biodiesel production. The aim of the project is to produce high quality biodiesel from canola seeds. Biodiesel is a product formed as a result of the esterification reaction (transesterification) of oils obtained from oilseed plants or animal oils with a short-chain alcohol (methyl or ethyl alcohol) in the presence of a basic catalyst and used as fuel. With the process optimization studies, 807.95kg of canola oil was obtained by processing 2324kg/day canola seeds, and 781kg of biodiesel was produced with a yield of 74% (with 136.1kg of methoxide solution). In addition, 1315.27kg of pulp with high protein content, 273.17kg of biofertilizer and 94.79kg of glycerine were produced as by-products. With its high protein content of 45-55%, defatted canola pulp is an important food source with its components such as cellulose, fibres and phenolic substances that play an important role in digestion. The process has been optimized to achieve the zero waste goal. Mass and energy balances, cost calculations, investment expenses and operating costs were examined in detail and a complete analysis was carried out. With this feasible design project, in addition to the apparent cost/benefit advantages, the nutritional properties of the by-products of the process can be considered as nutritional supplements, and as biofertilizers with its rich mineral content. Canola seed is used not only for the production of high quality biodiesel, but also it draws attention in terms of created economic values. It should be taken into account that the production of the canola plant may also become widespread in our country.

Keywords: Biodiesel, Transesterification, Canola Seed, Process Optimization

GİRİŞ

Kanola tohumları yüksek yağ asitleri kompozisyonuna sahip sağlıklı bir yağ bitkisinin tohumudur. Kanola bitkisi diğer yağ bitkileri ile karşılaştırıldığında bitkisel yağ kaynağı olarak dünyada en çok üretim yapılan bitkileri arasında ilk 3 sırada yer almaktadır. Kanola tohumunda bulunan %45 yağ, %16-24 protein, zengin oleik ve linoleik asit miktarı ve yağının kaynama noktasının yüksek olmasından dolayı önemli bir yağ bitkisidir (İşler N. , 2018). Bu bitkinin genetik kökeni Anadolu'dur. Ülkemizde Kanola veya Rapiska olarak da bilinmektedir. Kanola tohumu içerdiği yağ oranı sebebi ile biyodizel üretiminde tercih edilmektedir. Bununla birlikte sağlıklı olmasından dolayı yemeklik yağ olarak da kullanılmakla birlikte biyodizel üretiminde önemli bir açığın kapatılmasına yardımcı olacak alternatif bir bitkidir. Ayrıca kanola bitkisinin yağı çıkarıldıktan sonra geriye kalan küspede %38-40 protein bulunduğundan dolayı hayvanlar için oldukça sağlıklı bir yem olarak kullanılmaktadır (Süzer S. , 2004).

Kanola tohumlarından yağ eldesi prosesleri basit işlemlerle mümkün olup düşük maliyetle planlanabilir. Kanola tohumunun bahsedilen özellikleri göz önünde bulundurulduğunda biyodizel üretimi için oldukça avantaj sağlamaktadır. Fosil yakıtların kullanımı iklim değişikliklerine, küresel ısınmaya, toksik ve kanserojen maddeler nedeni ile çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Erdoğan Z. , Zeydan Ö., Sert H., 2008). Bu durum sera gazı salınımının artmasına ve dolayısıyla olumsuz etkileri ile çevre kirliliğinin kontrolsüz şekilde artmasına neden olmaktadır. Biyodizel üretiminin rüzgar ve güneş enerjileri gibi diğer alternatif enerji kaynakları üretimine kıyasla, daha az maliyetli ve kolay üretilebiliyor özellikte olması, üretiminin giderek yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, biyodizel üretiminin özellikle tarım, sanayi ve çevre sektörlerinin birlikte çalışmasına olanak vermesi, bu sektörlere ilave istihdam ve gelir olanakları da sağlaması, biyodizel teknolojisinin hızlı gelişmesine neden olmaktadır (Sabancı vd., 2010). Bu bakımdan kanola tohumları alternatif ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilerek üretilen biyodizelin tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de kullanımı yaygın hale getirilebilir.

Kanola tohumundan üretilmesi hedeflenen biyodizelin avantajları şu şekilde sıralanabilir; bitkisel kaynaktan elde edilmesi, dizel yakıt yerine doğrudan kullanılabilmesi, yenilenebilir ve çevreci bir yakıt

olması, zehirli atık içermemesi, egzos duman gazlarını azaltması, doğada güvenli ve hızlı çözünmesi, bakterilerle ayrışabilmesi, kükürtsüz olması. Bu nedenlerle, biyodizel, kalorifer kazanlarında, model uçaklarda, soba, fener ve diğer ısıtıcılarda, dökümcülükte, jeneratör yakıtı, demiryolu yağlayıcısı, çok amaçlı makine yağlayıcısı olarak da kullanılmaktadır.

Türkiye'de biyodizel üretimi 2005 yılı sonunda ALBİYOR'e göre 450 000 ton üretim kapasitesine, TOBB kapasite raporlarına göre ise 878 000 ton/yıl üretim kapasitesine ulaşmıştır.

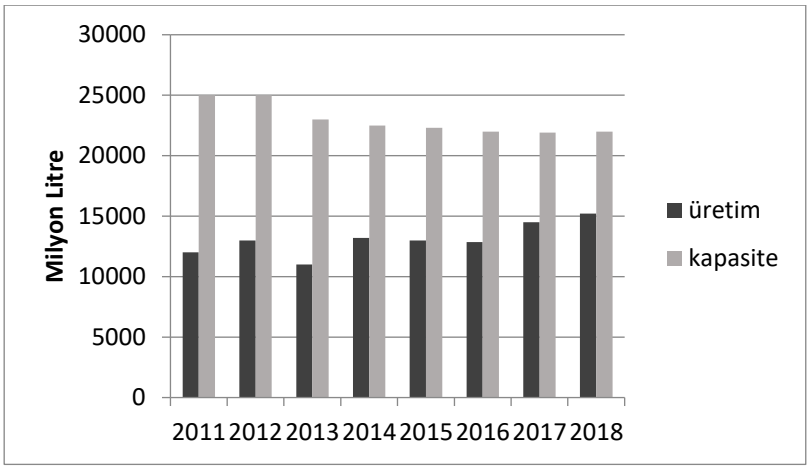
Ülkemizde mevzuat gereği biyodizel üretmek için EPDK'dan İşleme Lisansı alan firma sayısı 13 olup, düzenli ve dönemsel üretim yapan firma sayısı 10'un altındadır (Biyodizel sanayii derneği raporu, 2019). Biyodizel üretiminde %32 ile pamuk yağı, %30 ile atık yağlar, %26 ile kanola yağı kullanılmaktadır. Buna göre ülkemizde 2019 yılı itibariyle 28000 ton kanola yağı kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen biyodizelin çoğu harmanlama olarak fosil yakıtlarla kullanılmaktadır (harmanlama oran %0.5 olarak belirlenmiş durumdadır). Tablo 1'e göre biyodizel üretimi ile kısmi olarak ilişkili firma sayısı 56, kurulu kapasite ise 978.436 ton/yıl dır.

Tablo 1. Türkiye'de kurulu kapasitenin illere göre dağılımı.

İl	Firma sayısı	Kapasite (Ton/yıl)
İzmit	7	160.004
Gaziantep	16	158.004
Ankara	11	71.040
Mersin	4	70.534
Adana	7	58.745
Bursa	6	46.062
İzmir	5	35.562

Türkiye'de çok bölünmüşlük ve terkedilmişlikten kaynaklanan kullanılmayan alan 1,900,000 hektardır. Bu alanlar değerlendirildiği takdirde yılda 1,250,000 ton biyodizel üretimi mümkün olabilir. Gübre, küspe ve gliserin gibi yan ürünler ile tarıma ve imalat sanayiine önemli katkı sağlanabilir. Önümüzdeki süreçlerde, çevre etkileri üretimde bir maliyet unsuru haline gelecek ve emisyonlarını indiremeyen fabrikalar biyoyakıt üreticilerinden emisyon sertifikası alarak ihracat yapabilecek, kriz dönemleri için stratejik üretim tesisleri ve rezervler oluşturulabilecektir (Acaroğlu, M., 2001). Dünyada biyodizel, 3. Milenyum'un yakıtı olarak ifade edilmekte olup biyodizel üretimi dünyada her geçen gün artmakta, üretim yapan ülkelere her geçen gün yeni ülkeler ilave olmaktadır. Özellikle AB' nın 2003 yılındaki biyoyakıtlar direktifiyle petrodizele katılım mecburiyeti biyodizel üretiminin hızla artmasına sebebiyet vermiştir (Fangrui, Milford, 1999).

Avrupa'da biyodizel üretimi 2018 yılında 18,000 milyon litreyi aşmış durumdadır (Şekil 1).



Şekil 1. Avrupa'da Biyodizel Üretim Kapasiteleri

Biyodizel dizel yakıt ile belirli oranlarda kullanıldığı gibi %100 oranında da kullanılabilir, toksik bileşenler üretmez, çevre dostudur. Biyodizelin yapısındaki C16-C18 metil esterleri hızlı ve kolayca parçalanarak çözülür, biyolojik ayrışması mümkündür.

Biyodizelin tutuşma derecesi, dizel yakıtlardan daha yüksektir. (>110 °C) Bu özelliği sayesinde depolanması ve taşınması güvenilirdir (Chattopadhyay, S.,and Sen, R., 2013). Biyodizelin dezavantajları ise, akma noktası dizel yakıtlara göre daha yüksektir. Bitkisel yağların hammadde kaynağı olarak kullanılmasını etkileyen başlıca faktör viskozitelerinin yüksek olmasıdır (Verm ve ark., 2016). Hammadde olarak kullanılan bitkisel yağların tohumlarının, ekstrakte edilme işleminde tohum zarının çıkarılmamasından dolayı egzoz borularında ve filtrelerde tıkanmaya neden olabilmektedir. Diğer bir sorun ise yakıt olarak kullanılacak bitkisel yağın doymamış yağ içermesidir (Lin L., Cunshan Z., Vittayapadung S, 2011).

Kanola tohumlarını biyodizel açısından kullanımı değerlendirildiğinde biyoenerji kaynağı olarak büyük bir katkı yaratacağı öngörülmüştür. Dünyada enerji tüketimi artışını fosil ve benzeri yakıtlar karşılayamaz duruma gelecektir. Dolayısıyla ihtiyaç analizi, yakın zaman diliminde fosil yakıtların enerji gereksinimini karşılayamayacak duruma geleceği tespiti yapılmıştır. Dünya, ihtiyacı karşılayabilmek için yeni alternatif, yeşil ve doğa dostu enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır.

Bu proje kapsamında kanola tohumlarından biyodizel üretimi hedeflenmektedir. Kanola tohumu bileşen içeriği Tablo 2'de verilmektedir. Yağ içeriği tohum cinsine, mevsime ve yetiştirme usullerine gore % 30 ila %49.5 arasında değişmektedir. Dikkat çeken bir diğer bileşen ise %30 lara ulaşabilen yüksek protein içeriğidir.

Tablo 2. Kanola tohumunun bileşen içeriği (Yun ve ark., 2017).

Parametreler	% dağılım
Kuru madde	89.1 – 95
Ham protein (HP)	14 – 30
Ham yağ	30.6 - 49.5
Ham selüloz	7.2 – 10
Lif	5.2
Kül	2.8 – 7.8

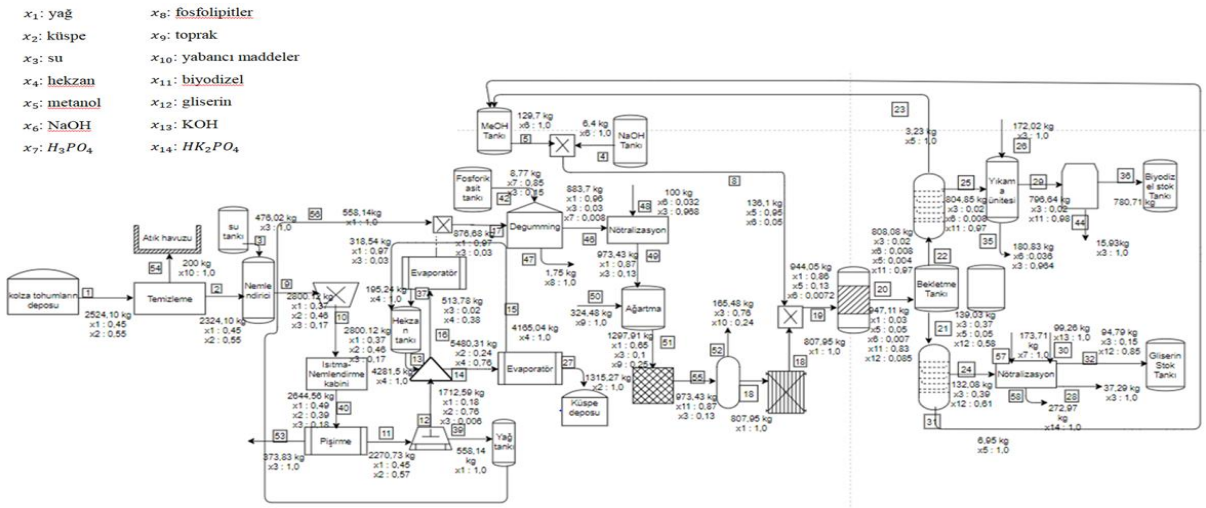
Kanola yağının yakıt olarak kullanılması için ilk olarak viskozitelerini düşürecek işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Bu yağın viskozitesi ısıl ve kimyasal yöntem uygulanarak azaltılması amaçlanmaktadır. Bu konudaki çalışmaları arttırılarak, verimli üretim yöntemlerin belirlenmesi kullanım kalitesi yüksek biyodizel üretiminin sağlanmasının ülkemizin ekonomisinin menfaatine

olacağı ifade edilmektedir (Aksoy L., 2010). Biyodizel üretiminde kanola, ayçiçek, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (methanol veya etanol) reaksiyonu sonucu açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür (Loong ve Idris, 2014). Bu yağlı bitkilerden elde edilen yağların yakıt olarak kullanılması için yağların viskozitesi kimyasal yöntem uygulanarak azaltılabilmektedir. Üretimdeki en önemli nokta ise biyodizelin saflık derecesidir. Bu nedenle rafinasyon aşaması önem kazanmaktadır. Diğer bir önemli faktör ise biyodizelin %99 değeri üzerinde saf üretilebilmesidir.

Biyodizel Üretim Projesi

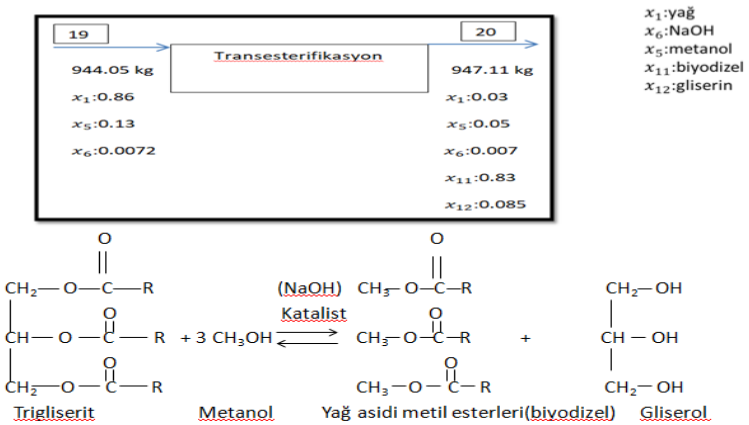
Proje kapsamında kanola tohumları, üretilmesi hedeflenen biyodizel için çeşitli proseslere tabi tutulmaktadır. Öncelikle kanola tohumlarından yağ elde etmek amacı ile temizleme işlemi yapılarak kanola tohumlarındaki yabancı maddeler uzaklaştırılmaktadır. Temizlenen tohumların öğütülmesi için nemlendirilme işlemi, üzerlerine su püskürterek yapılacaktır. Nemlendirilen tohumlara öğütme işlemi gerçekleştirilecektir. Öğütülmüş hamura 90 °C ve 40 dakika süre ile pişirme işlemi uygulanacaktır. Uygulanan işlem sonunda hamur, tepsili kurutucu ile 65 °C ve 6 saat boyunca kurutulacaktır.

Nem değeri % 5 seviyelerine düşürüldükten sonra mekanik preslemede %40 ve solvent (hegzan) ekstraksiyonu yardımı (soxhelet, 60 °C, 4 döngü) (4281.5 L solvent/2324.10kg kanola tohumu) ile %60 kanola yağı alınmaktadır. Kalan küspede çözgen, 6000 kg kapasiteye sahip evaporatör ile (40 °C, 2 saat) uzaklaştırılmaktadır ve küspede protein içeriği belirlenmektedir. Şekil 2'de detaylı üretim akış şeması verilmektedir.



Şekil 2. Biyodizel üretimi detaylı akış diyagramı.

Ön çalışmalardan sonra detaylı akış diyagramı geliştirilerek optimize edilmiştir. Tüm üniteler ve unsurlar, giren-çıkan akımlar çalışılmıştır. Ön işlemlerden çıkan yağ, rafinasyon işlemlerine tabi tutularak işlem sonunda saf yağ haline getirilmiştir. Transesterifikasyon işleminde (Şekil 3) düşük maliyet nedeni ile bazik katalizör olarak kullanılan sodyum hidroksit- alkol ile tepkimeye girerek bekletme tankında yoğunluk farkına göre üst fazda ham biyodizel ve alt fazla yan ürün olan gliserin toplanmıştır. Şayet karışım homojen bir jel halinde ise reaksiyon başarısız olmaktadır. Transesterifikasyon sonucunda ürün olarak biyodizel, gliserin ve az miktarda sabun elde edilmektedir (Leung DYC, Wu X, Leung MKH, 2010).



Şekil 3. Transesterifikasyon işlemi ve kimyasal denklemi.

Elde edilen üründeki fazla bazik katalizörü uzaklaştırmak amacı ile yıkama ve kurutma işlemleri uygulanmaktadır. Böylece fazla alkolün geri kazanımı yapılarak maliyet düşürülmektedir. Son olarak %99 saflıkta ham biyodizel ve nötralizasyon prosesi ile yan ürün olan ham gliserin elde edilmiştir. Burada elde edilen ham gliserin ilaç ve kozmetik sektöründe kullanılmaktadır.

İşlemin sonucunda çıkan biyodizel, kükürt içermemesinden dolayı, biyodizel işletmelerinde enerji kaynağı ile oksidasyon katalizatörü olarak kullanılabilmektedir. Böylece zararlı emisyon değerleri daha da düşük seviyelere indirilebilmektedir.

Elde edilen biyodizelin saklanması ve depolanması da oldukça önemli bir aşamadır. Biyodizel soğuk iklim şartlarında depolama kurallarına uymak şartı ile en az 1 yıl süre ile depolanabilir. Depolama için petrodizelin depolandığı tanklar ve ortamlar kullanılabilir. Uzun süreli depolanmış biyodizelin kullanımından önce pH değeri, özgül ağırlığı ve viskozite değerleri test edilmelidir. Eğer biyodizel nemli ve ılık iklimde depolanacak ise biyodizel depo tanklarına katkı maddesi ilave etmek gerekmektedir. Biyodizelin özgül ağırlığı, motordaki performansı hakkında bilgi vermektedir. Çünkü özgül ağırlık viskozite ile ilgilidir. ASTM standardına göre biyodizelin özgül ağırlığı 15 °C'de 0.9'dan fazla olmamalıdır. Yine kinematik viskozitesi 40 °C'de 6'dan fazla olmamalıdır. Tasarımda bu kritik hususlar dikkatli şekilde ele alınmıştır ve proses optimizasyonunda değerlendirilmiştir. Beklenen ideal parametreler proses tasarımına yerleştirilip kontrol noktaları oluşturulmuştur ve izleme sistemleri geliştirilmiştir.

SONUÇ

Bu proje kanola tohumundan biyodizel üretimi üzerine tasarım işlemlerini, kurulum, yatırım, işletme ve genel giderler olmak üzere maliyet analizlerini, kapasite artırımı ile satış rakamının optimize edilmesini ve karlılık analizlerini kapsamaktadır. Buna göre; 2324 kg/gün kanola tohumu işlenerek, 807.95 kg kanola yağı elde edilmiştir. Kanola yağından biyodizel üretiminde 136.1 kg metaoksit çözeltisi kullanılmış ve %74 verimle 781 kg (yıllık üretim: 56991.83 kg) biyodizel elde edilmiştir. İşlemde, 1315.27 kg küspe, 273.17 kg biyogübre ve 94.79 kg gliserin elde edilmiştir. Küspe, %45-55 arasında yüksek protein içeriği ile değerlendirilmesi gereken yan üründür (Heendeniya R.G., 2008). Biyodizel üretim ekipman, kurulum, üretim startup su-elektrik, tesisat-enerji-transfer ekipmanları-kontrol üniteleri vb. gibi yardımcı unsurları kapsayan sabit yatırım maliyeti, ekipman fiyatı 3093194.73 TL olarak hesaplanmıştır. Biyodizel üretiminde bir batch işlemde süreç 5 gün 2 saat 16 dakika tamamlanarak, satış geliri yıllık 831112.64 TL'dir. Yan ürün olarak elde edilen gliserin (4 gün 20 saat 58 dakika) den ise yıllık 290942.27 TL gelir, diğer bir yan ürün olan küspeden ise yıllık gelir 111017.01 TL olarak hesaplanmıştır. İşletme giderleri ve masrafları birlikte amortisman değerleri dikkate alındığında yıllık gelir 1435531.72 TL olarak belirlenmiştir. Bu da yatırımın 3 yılda amorte edilebileceğini göstermektedir.

Ülkemizde biyodizel ihtiyacı ancak sınırlı olarak karşılanabiliyor olmasına rağmen ihtiyaç hızla artmaktadır. Bu da ilave ve alternatif yatırımlarla biyodizel üretiminin yakın zaman içerisinde planlanmasını gerekli kılmaktadır. Kanola tohumu üretimi için ülkemiz uygun iklim ve toprak yapısına

sahip olup yıllık iki hasat ürün alınması, kanola tohumlarının işlenerek biyodizel üretiminde etkili olarak kullanılabilecek olması, üretim fizibilitesini iyileştirmektedir. Üretimde sıfır atık konsepti yakalanmış, çıkan tüm yan ürünlerde ekonomik olarak değerlendirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Acaroğlu, M. (2005). AB ve Türkiyede Biyodizel Potansiyeli ve Biyodizel Üretiminin Geleceği, *Ulusal Biyodizel Sunuştayı*, Ankara.
- Aksoy, L. (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 45-52.
- Chee Loong, T., Idris, A. (2014). Rapid alkali catalyzed transesterification of microalgae lipids to biodiesel using simultaneous cooling and microwave heating and its optimization, Bioresource Technol., 174, 311–315.
- Fangrui, M., Milford, A.H. (1999). Biodiesel production: a review, *Biosource Technology*, 70, 1-15.
- Heendeniya RG. (2008). Utilization of Canola Seed Fractions in Ruminant Feeds. Master Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- https://www.albiyobir.org.tr/ (2010) adresinden alındı, erişim tarihi: 2021.
- Erdoğan Z., Zeydan H., Sert H. (2008) İklim Değişikliği ve Sağlık Üzerine Etkileri, İ.Ü.F.N. *Hem. Dergisi*, 61, 71-76.
- Leung, D. Y. C., Wu, X., Leung, M. K. H. (2010) A review on biodiesel production using catalyzed transesterification, *Appl. Energy*, 87, 4,1083–1095.
- Lin L., Cunshan Z., Vittayapadung S., Xiangqian S., Mingdong D. (2011). Opportunities and challenges for biodieselfuel, *Applied Energy*, 88, 1020–1031.
- İşler N., (2007) Kolza (Kanola) tarımı, M.K.Ü. Ziraat Fakültesi yayınları,Tarla Bitkileri Bölümü.
- Sabancı A., Yaşar B., Öztürk H., Ören M., Atal N. (2010). Türkiyede Biyodizel ve Biyoetonal Üretiminin Tarım Sektörü Açısından Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi.
- Schwab A., Bagby O., Freedman B. (1987) Preparation and Properties of Diesel Fuels From Vegetable Oils, *Fuel* 66, 1372-8.
- Süzer S. (2004). Kanola tarımı. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü.
- Şentürk T. (2011) Yağlı Tohumlu Bitkiler Üretim Hedefleri ve Destekleme Politikaları, Ulusal Biyodizel Sunuşstayı.
- Verma P., Sharma M., Dwivedi G. (2016). Evaluation and Enhancement of Cold Flow Properties of Palmoil and its Biodiesel, *Energy Reports*, 2, 8–13.
- Yun H., Lei X., Lee S., Kim I. (2017) Rapeseed Meal and Canola Meal Can Partially Replace Soybean Meal as a Protein Source in Finishing Pigs. *Journal of Applied Animal Research*, 46, 1-5.

Presentation ID / Sunum No= 89

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-0229-2943

Havalimanı Terminal Binalarında Farklı Aydınlatma Armatürlerinin Ekonomik ve Çevresel Analizi

Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Kadri Akyüz[1], Prof. Dr. Önder Altuntaş[2]
[1]*Dicle Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu, mkadri.akyuz@dicle.edu.tr*
[2]*Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, oaltuntas@eskisehir.edu.tr*

Özet

Havalimanı terminal binaları hava ulaşımına erişimi sağlayan kilit yapılardır. Yolcuların ihtiyaçlarının karşılanması ve konfor şartlarının sağlanması terminal binalarında çok yüksek miktarda enerji tüketimine neden olur. Bu çalışmada Hasan Polatkan Havalimanı terminal binasında mevcut aydınlatma armatürlerinin daha verimli aydınlatma elemanlarıyla değişiminin ekonomik ve çevresel analizleri gerçekleştirilmiştir. Ekonomik ve çevresel analizler mevcut aydınlatma elemanlarının yüksek performansa sahip T8 floresan lamba, yüksek basınçlı sodyum lamba (HPS) ve LED (ışık yayan diyotlar) armatürlerle kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonunda ekonomik ve çevresel açıdan en iyi seçeneğin LED armatürler olduğu belirlenmiştir. Mevcut armatürlerin LED ile değişimi sonucu yılda 70045 kWh enerji tasarruf edilebileceği belirlenmişiştir. Bununla beraber mevcut armatürlerin LED ile değişimiyle yılda 38244 kg CO2 eşdeğer (CO2e) sera gazı tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Mevcut aydınlatma elemanlarının LED ile değişimiyle ilk yatırım maliyetlerinin ise 1.74 yılda karşılanabileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, Enerji Tüketimi, Havalimanları, Çevresel Etki

Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Kadri AKYÜZ[1], Prof.Dr. Önder ALTUNTAŞ[2]

Özet

Havalimanı terminal binaları hava ulaşımına erişimi sağlayan kilit yapılardır. Yolcuların ihtiyaçlarının karşılanması ve konfor şartlarının sağlanması terminal binalarında çok yüksek miktarda enerji tüketimine neden olur. Bu çalışmada Hasan Polatkan Havalimanı terminal binasında mevcut aydınlatma armatürlerinin daha verimli aydınlatma elemanlarıyla değişiminin ekonomik ve çevresel analizleri gerçekleştirilmiştir. Ekonomik ve çevresel analizler mevcut aydınlatma elemanlarının yüksek performansa sahip T8 floresan lamba, yüksek basınçlı sodyum lamba (HPS) ve LED (ışık yayan diyotlar) armatürlerle kıyaslanmıştır. Mevcut aydınlatma armatürlerinin LED ile değişimi ekonomik ve çevresel açıdan en iyi seçenek olarak belirlenmiştir. Mevcut armatürlerin LED ile değişimi sonucu yılda

70.045 kWh enerji tasarruf edilebileceği belirlenmişiştir. Bununla beraber mevcut armatürlerin LED ile değişimiyle yılda 38.244 kg CO_2 eşdeğer (CO_{2e}) sera gazı tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Mevcut aydınlatmanın LED ile değişimiyle ilk yatırım maliyetlerinin ise 1,74 yılda karşılanabileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma, Enerji tüketimi, Havalimanları, Çevresel etki

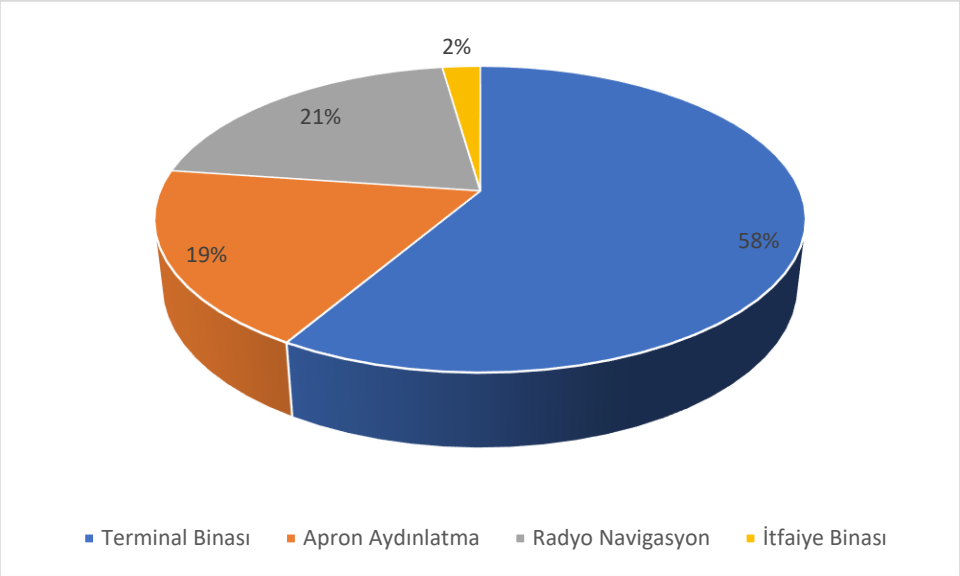
1.GİRİŞ

Havalimanı, tamamen veya kısmen hava araçlarının gelişi, kalkışı ve yüzey hareketi için kullanılması öngörülen karada veya suda (herhangi bir bina, tesisat veya teçhizat dahil) belirlenmiş bir alan olarak tanımlanır (ICAO, 2009). Havalimanları terminal binaları hava taşımacılığına ulaşımın sağlandığı kritik yapılardır. Terminal binaları çok büyük alan ve hacme sahip yapılardır ve buralarda termal ve görsel konfor şartlarının sağlanması çok yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır (Costa vd., 2012; Ortega Alba ve Manana; 2016).

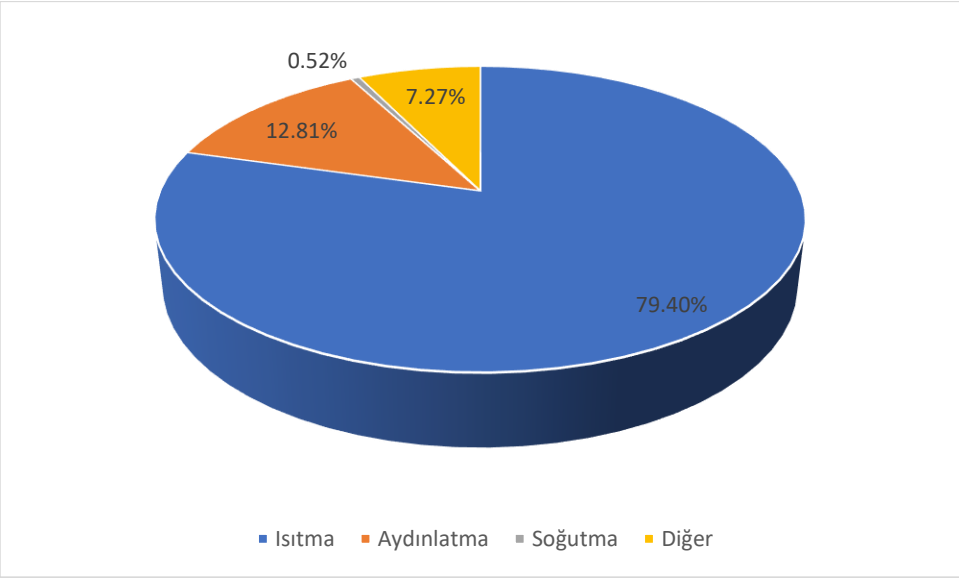
Havalimanlarında enerji tüketimini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Terminal binasının mimari yapısı ve havalimanının bulduğu bölgenin iklim koşulları enerji tüketimini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Terminal binalarında en önemli enerji kullanıcısı ısıtma, soğutma, iklimlendirme ve havalandırma (HVAC) sistemidir bu nedenle terminal binası dış zarfı enerji verimliliği projelerinde üzerinde en çok durulması gereken konudur (Balaras vd., 2003). Bunun yanında terminal binalarının aydınlatılması da yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Terminal binalarının mimarileri gün ışığından optimum yararlanacak şekilde tasarlanmalıdır. Bununla beraber aydınlatma amaçlı kullanılan armatürlerin verimli ve uzun ömürlü olmaları enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmaktadır (Dulac vd., 2013).

2. HASAN POLATKAN HAVALİMANI ENERJİ TÜKETİMİ

Şekil 2'de Hasan Polatkan Havalimanı terminal binasında enerji tüketim yüzdeleri verilmiştir. Havalimanı Eskişehir ilinde bulunmakta ve kış aylarında soğuk bir bölgede olduğundan en yüksek enerji %79.40 ile terminal binasının ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Terminal binasında ısıtmadan sonra enerji tüketiminde en yüksek paya sahip yapı %12.81' ile aydınlatma sistemidir. Günlük yaşamın önemli bir parçası olan aydınlatma konut, ticari ve endüstri sektöründe en önemli elektrik kullanıcılarından biridir. Havalimanı terminal binalarında elektrik enerjisinin önemli bir kısmı aydınlatma amacıyla kullanılması ve çok daha verimli aydınlatma elemanlarının (lamba ve armatür) varlığı enerji verimliliği adına önemli bir fırsattır. Havalimanlarında görsel konfordan ödün vermeden aydınlatma sisteminin, minimum miktarda elektrik kullanarak, istenen aydınlatma seviyesine ulaşmak için doğru şekilde tasarlanması gerekmektedir.



Şekil 1. Hasan Polatkan Havalimanında enerji tüketim yüzdeleri



Şekil 2. Havalimanı terminal binası enerji tüketim yüzdeleri

Bu çalışmada Hasan Polatkan havalimanı terminal binasının mevcut aydınlatma yapısının daha verimli aydınlatma elemanları ile değişiminin maliyet analizi ve çevresel analizi gerçekleştirilerek en iyi seçenek belirlenmiştir. Maliyet analizi ve çevresel etki değerlendirilirken mevcut aydınlatma armatürleri yüksek performansa sahip T8 floresan lamba, yüksek basınçlı sodyum lamba (HPS) ve LED (ışık yayan diyotlar) armatürlerle kıyaslanmıştır.

3. YÖNTEM

3.1. Kurlu Güç ve Ekonomik Analizler

Mevcut aydınlatma elemanlarının diğer aydınlatma elamanları ile değişiminin maliyet hesapları yapılarak en etkin çözüm belirlenebilir. Aydınlatma için lambaların kullanım ömrü boyunca toplam maliyeti yaşam döngü maliyeti (YDM) olarak ifade edilmiş ve,

$$YDM = Enerji\ Maliyeti + Lamba\ Maliyeti \tag{1}$$

denklemiyle belirlenmiştir (Dixit, vd., 2015).

Hasan Polatkan Havalimanı terminal binası için mevcut aydınlatma yapısının daha verimli aydınlatma elemanlarıyla değişimi sonucu enerji tasarrufları değerlendirilip en iyi seçenek belirlenmitir. Bu kapsamda aydınlatma için kurulu güç hesabı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır. (Petrecca, 2014).

$$e = \frac{\Phi}{P} \tag{2}$$

Φ lamba başına nominal lümen (lm), P lamba başına giriş gücü (Watt) ve e (lm/W) lamba etkinlik faktörünü ifade eder. Toplam (lamba ve balast) etkinlik faktörü ise,

$$e_T = \frac{\Phi}{P_T} \tag{3}$$

denklemiyle belirlenir. P_T toplam (lamba ve balast) giriş gücünü ifade eder. Giriş gücü başına efektif lümen,

$$i = \frac{e_T\, xfxgxh}{10^6} \tag{4}$$

denklemiyle hesaplanır. f, g ve h sırasıyla kullanım katsayısı, lümen azalma faktörü ve kirlenme faktörüdür. Lamba başına efektif lümen ise,

$$l = \frac{\Phi xfxgxh}{10^6} \tag{5}$$

denklemiyle hesaplanır. Toplam gerekli lümen,

$$I = mxn \tag{6}$$

denklemiyle hesaplanır. *m* ve *n* sırasıyla ortalama gerekli lüx ve aydınlatılacak alanı ifade eder. Gerekli toplam lamba sayısı,

$$p = \frac{I}{l} \tag{7}$$

denklemiyle hesaplandıktan sonra toplam kurulu güç,

$$q = \frac{I}{i} \tag{8}$$

denklemiyle belirlenir. Birim alan başına kurulu güç,

$$q_b = \frac{q}{n} \tag{9}$$

denklemiyle belirlenir. Yıllık enerji tüketimi (ET) ise,

$$ET = \frac{txq}{1000} \tag{10}$$

denklemiyle kWh/yıl olarak hesaplanır ve t çalışma saatini ifade eder. Yıllık enerji tasarrufu (ES) ise,

$$ES = ET_{Ref} - ET_y \tag{11}$$

denklemiyle belirlenir. Burada ET_{Ref} ve ET_ysırasıyla mevcut aydınlatma yapısı ve yeni aydınlatma yapısını ifade eder. Yıllık parasal tasarruf *ES* değerinin elektriğin birim fiyatı (TL/kWh) ile çarpılmasıyla elde edilir. Geri ödeme süresi ise ilk yatırım maliyetinin (YM) geri kazanılma süresidir ve

$$GÖS = -\frac{\Delta YM}{\Delta İM} \tag{12}$$

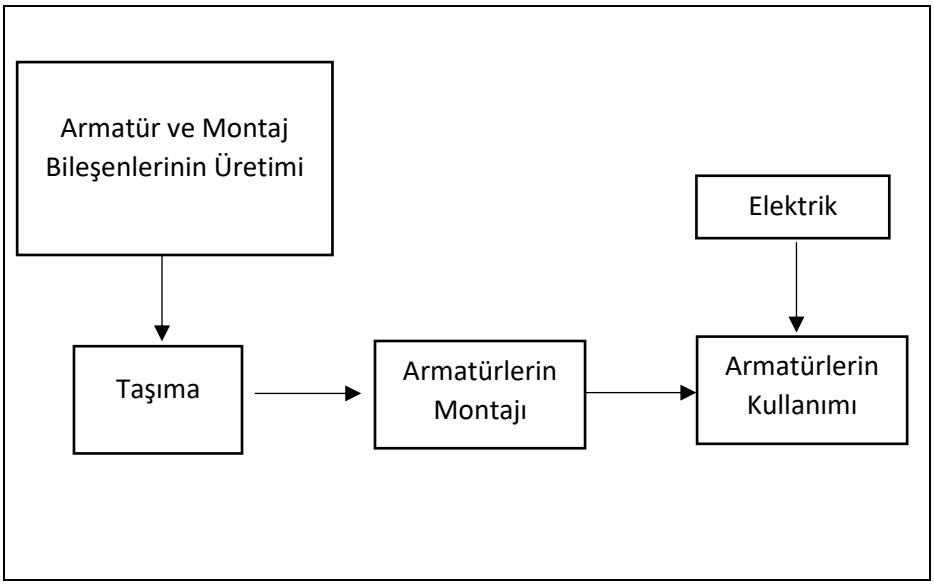
ifadesiyle hesaplanabilir. Burada İM işletme maliyetlerindeki değişimi ifade eder (Mahlia, vd., 2011).

3.2. Çevresel Analizler

Bu çalışmada çevresel analizler Yaşam Döngü Değerlendirme (YDD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YDD analizi, bir ürünün veya sürecin ham maddesinin doğadan elde edilmesi ile başlayıp, atık olarak doğaya geri dönene kadar (beşikten-mezara) geçen süreçte tüm çevresel boyutlarını değerlendiren bir yöntemdir. Yaşam döngü aşamaları, hammaddenin doğadan elde edilmesi, işlenmesi, ürüne veya hizmete dönüştürülmesi, taşınması ve dağıtımı, tüketici tarafından kullanılması, atık veya geri dönüşümüne kadar tüm aşamaları içerir (Khasreen, vd., 2009). YDD yöntemi amaç ve kapsam, envanter analizi, etki değerlendirme ve yorumlama aşamalarından oluşmaktadır (ISO, 2006).

Bu çalışmada çevresel analizlerin gerçekleştirildiği sistem sınırları Şekil 3 ile gösterilmiştir. Bu kapsamda armatür ve montaj bileşenlerinin fabrikada üretilmesi, paketlenmesi, taşınması, montajı ve armatürlerin kullanımı sistem sınırları içindeki süreçlerdir. İşlevsel birim olarak 1 kg armatür üretimi seçilerek yapılan YDD analizinde üretilen armatürlerin 250 km kamyon ile taşındığı kabulü yapılmıştır.

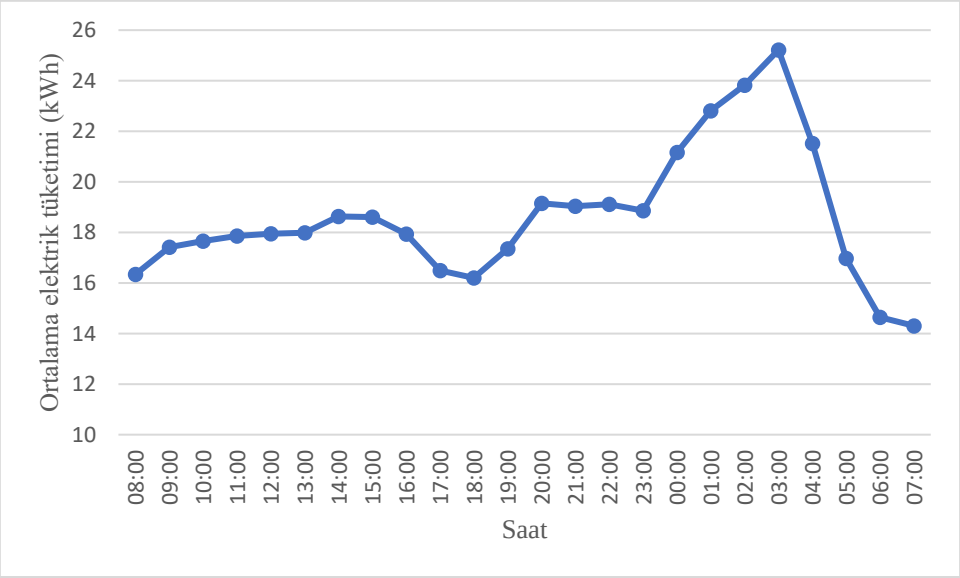
Bu çalışmada etki değerlendirme yöntemi olarak küresek ısınma potansiyeli belirlenmiştir (GWP). Şekil 2'deki tüm süreçlerin ve Türkiye'de karma elektrik üretiminin GWP kg CO_2 eşdeğer (CO_2e) olarak ifade edilmiş ve Sima Pro 8.3.0.0 yazılımında mevcut ecoinvent 3 veri tabanından elde edilmiştir. IPCC 2013 IPCC 2007'nin güncellenmiş versiyonu olup Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (International Panel on Climate Change, IPCC) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle iklim değişikliği faktörünün etkileri 20, 100 ve 500 yıllık zaman dilimleri için hesaplanabilir. Bu çalışmada küresel ısınma potansiyelinin (GWP) etkileri 100 yıllık zaman dilimi için hesaplanmıştır.



Şekil 3. Armatürler için sistem sınırları

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Terminal binası elektrik tüketimi 2 yıl boyunca izlenmiş ve elektrik tüketimi kaydedilmiştir. Şekil 4'te terminal binasında 24 saat içinde gerçekleşen ortalama elektrik tüketimi gösterilmiştir. Akşam 18:00'dan sonra elektrik tüketiminde ciddi bir artış meydana gelmektedir. Bu artışın temel nedeni gece terminal binasındaki aydınlatma ihtiyacıdır. 24 saatlik dilim içerisinde en yüksek ortalama elektrik tüketimi saat 03:00 da olup 25,12 kWh olarak gerçekleşmiştir.



Şekil4. *Terminal binasında saatlik ortalama elektrik tüketimi*

Terminal binasının aydınlatma amaçlı kurulu gücü hesaplanarak elektrik projesindeki değer ile kıyaslanmıştır. Hesaplanan kurulu güç ile gerçek kurulu güç arasında %2'lik çok küçük bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Ekonomik analizler mevcut aydınlatma elemanlarının yüksek performansa sahip T8 floresan lamba, yüksek basınçlı sodyum lamba (HPS) ve LED (ışık yayan diyotlar) armatürlerle kıyaslanmış ve YDM değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Hesaplamalar yapılırken mevcut lambalara eşdeğer ve gerekli aydınlatma ihtiyacından ödün vermeksizin daha verimli lamba ve armatürlerle kıyaslamalar yapılmıştır (Dixit vd., 2015).

Tablo1. *Farklı ışık kaynakları için YDM sonuçları*

Lamba	Ömür	50000 saat kullanım için gerekli lamba sayısı	Lamba maliyeti (Dolar)	50000 saat kullanım için gerekli enerji (kWh)	Enerji Maliyeti (Dolar)	YDM (Dolar)
Mevcut	3000	17	52	2500	255	307
T8	20000	3	18	1600	163	182
HPS	24000	3	23	1750	179	202
LED	50000	1	26	900	92	118

Tablo 2'de görüldüğü gibi LED armatürlerin toplam maliyetinin diğer lambalarla kıyaslandığında ekonomik açıdan en etkin çözüm olduğu sonucuna varılabilir. Enerji tasarrufu açısından değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlar Tablo 2'de listelenmiştir.

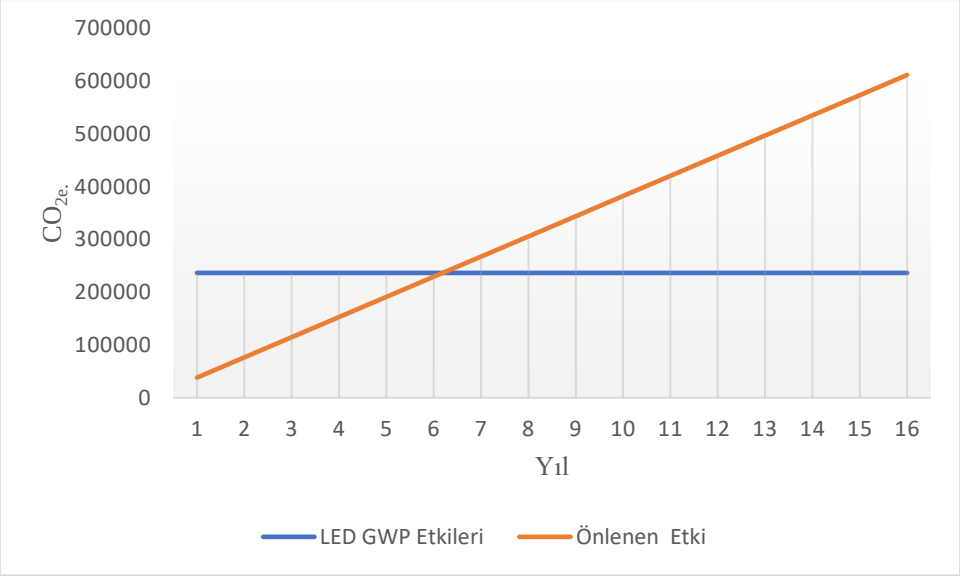
Tablo2. *Aydınlatma elemanlarının karşılaştırılması*

Lamba	Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh)	Yıllık Para Tasarrufu (Dolar)
LED -Mevcut	70045	7156
LED- T8	17516	1790
LED- HPS	25172	2572

Tablo 2'den görüldüğü üzere terminal binasında aydınlatma amaçlı kullanılan lambaların LED armatürlerle ile değişimi sonucunda yıllık 70.045 kWh enerji tasarrufu sağlanır. Tablo 1 ve Tablo'den elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde terminal binasındaki lambaların LED armatürlerle değişimi enerji tasarrufu açısından ve ekonomik açıdan en iyi seçenek olduğu görülmektedir. Terminal binasındaki lambaların LED armatürlerle değiştirilmesi sonucunda ekonomik geri ödeme süresi ise 1,74 yıl olarak bulunmuştur.

LED armatürler, uzun ömürlü ve yüksek etkinlik faktörüne sahip çok verimli aydınlatma elemanlarıdır. Bu bölümde terminal binasında bulunan aydınlatma yapısının LED ile değişiminin çevresel analizleri gerçekleştirilecektir. Mevcut aydınlatma yapısı dikkate alınarak, daha yüksek etkinlik faktörüne sahip LED armatürler için YDD analizi gerçekleştirilmiştir. Terminal binası aydınlatmasında LED armatürler kullanılması ile yıllık 38.244 kg CO_2e. Sera gazı tasarrufu sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

Yapılan YDD analizlerinde Şekil 5'te görüldüğü üzere ekonomik geri ödeme süresinde olduğu gibi çevresel geri ödeme süresi de hesaplanmıştır. Şekil 3'te verilen sistem sınırlarında LED armatürlerin toplam çevresel etkisi ile tasarruf edilen elektriğin yıllara göre çevresel etkisi oranlanarak çevresel geri ödeme süresi hesaplanmıştır. LED armatürlerin üretimden ve kullanımından kaynaklı çevresel etkilerini, tasarruf edilen elektrik enerjisinden dolayı 6,2 yılda karşılanacağı sonucuna varılmıştır. LED armatürlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri göz önüne alındığında en büyük etkinin (%96-%99) kullanım aşamasında olduğu ayrıca yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Kompakt floresan lambalarla karşılaştırıldığında çevresel etkilerinin %41- %50 oranında daha az olduğu görülmektedir (Principi ve Fioretti, 2014). Bununla beraber LED armatürler yüksek basınçlı sodyum lambalarla kıyaslandığında çevresel etkilerinin %41 daha az olduğu yapılan çalışma sonuçlarından elde edilmiştir (Tähkämö ve Halonen ,2015).



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**.27**. *LED sera gazları geri ödeme süresi*

4. SONUÇ

Bu çalışmada Hasan Polatkan havalimanı terminal binasında yüksek enerji tüketimine neden olan aydınlatma armatürlerinin yüksek performansa sahip T8 floresan lamba, yüksek basınçlı sodyum lamba (HPS) ve LED (ışık yayan diyotlar) armatürlerle değişiminin ekonomik ve çevresel analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut aydınlatma armatürlerinin en ekonomik ve en çevreci olanlar ile değiştirilmesi amaçlanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonunda ekonomik ve çevresel açıdan en iyi seçeneğin LED armatürler olduğu sonucuna varılmıştır. Analizler sonucunda mevcut armatürlerin LED ile değişimiyle yıllık 70.045 kWh enerji tasarrufu sağlanacağı sonucuna varılmıştır. Terminal binasındaki lambaların LED armatürlerle değiştirilmesi sonucunda ekonomik geri ödeme süresi ise 1,74 yıl olarak bulunmuştur. Ekonomik analizlerin yanı sıra YDD yöntemiyle yapılan çevresel analizde LED armatürlerin mevcut armatürlere göre yılda 38.244 kg CO_2e sera gazı tasarrufu sağladığı sonucuna varılmıştır. Bununyanında LED armatürlerin üretiminden başlayıp kullanım ömrünü dolduruncaya dek neden olduğu çevresel etkilerin ise 6,2 yılda dengeleneceği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 1610F668 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Balaras, C. A., Dascalaki, E., Gaglia, A., & Droutsa, K. (2003). Energy conservation potential, HVAC installations and operational issues in Hellenic airports. *Energy and buildings*, 35(11), 1105-1120.

Costa, A., Blanes, L. M., Donnelly, C., & Keane, M. M. (2012). Review of EU airport energy interests and priorities with respect to ICT, energy efficiency and enhanced building operation.

Dixit, A., Pathak, G., & Sudhakar, K. (2015). Comparative study of life cycle cost of modern light sources used in domestic lighting. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4, 364-370.

Dulac, J., LaFrance, M., Trudeau, N., & Yamada, H. (2013). *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Oppourtunities to 2050.* Paris: International Energy Agency.

I. C. A. O. (2009). *Annex-14: Aerodromes, Volume I–Aerodrome design and operations* (Fifth Edition). International Civil Aviation Organisation.

ISO. (2006). *14040: Environmental management–life cycle assessment–principles and framework.* London: British Standards Institution.

Khasreen, M. M., Banfill, P. F., & Menzies, G. F. (2009). Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674-701.

Mahlia, T. M. I., Razak, H. A., & Nursahida, M. A. (2011). Life cycle cost analysis and payback period of lighting retrofit at the University of Malaya. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1125-1132.

Ortega Alba, S., & Manana, M. (2016). Energy research in airports: A review. *Energies*, 9(5), 349.

Principi, P., & Fioretti, R. (2014). A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office–compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED)–a case study. *Journal of Cleaner Production*, *83*, 96-107.

Tähkämö, L., & Halonen, L. (2015). Life cycle assessment of road lighting luminaires–Comparison of light-emitting diode and high-pressure sodium technologies. *Journal of Cleaner Production*, *93*, 234-242.

Presentation ID / Sunum No= 91

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID:

Dokuma Kumaşların Renklendirilmesinde Biyomimetik Yaklaşımlar

İpek Yıldıran[1], Prof. Dr. Dilek Kut[2], Buğçe Sevinç[1], Esra Mert[1], Prof. Dr. Burcu Yılmaz[3]
[1]AR-GE Merkezi Müdürü, SYK Tekstil AR-GE Merkezi
[2]Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü,
[3]AR-Ge Merkezi Mühendisi, SYK Tekstil AR-GE Merkezi
[4]Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü
y.ipek@sykteks.com, dilek@uludag.edu.tr, bugcesevinc@sykteks.com, esramert@sykteks.com, burcuyilmaz@marmara.edu.tr

Özet

Biyomimetik, mühendislik yöntemlerini kullanımıyla, doğada var olan canlıları çözümleyerek, biyolojik yapılarını, hareketlerini ve diğer işlemlerini mühendislik bilgisi içinde açıklamaktır. Bu yaklaşımın tekstil alanında kullanımı çeşitli araştırmalara konu olmaktadır. Biyomimetik yaklaşımla doğayı taklit ederek ya da doğadan ilham alarak tekstil tasarımları ortaya koyulabileceği gibi, renk, doku ve işlevsellik de sağlanabilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde yeni fonksiyonel özellikler kazanmış ve performansı iyileşmiş tekstil yüzeyleri, hidrofobik, sürtünme kuvveti azaltılmış, fotonik, süper adezyon özelliğine sahip, uv ve termal koruma sağlayan olmak üzere altı grup altında değerlendirilmektedir. Morpho kelebeği kanadı üzerindeki mikro ve nano çıkıntıların kelebeğe hidrofobluk, kendi kendini temizleme, kimyasallara karşı direnç ve flor ışınımı özelliklerini kazandırmaktadır. Kanadın al üst katmanı ayrı özelliklerdedir. Alt katman yapısı kelebeğe yanardöner görünüm özelliği sağlarken, üst katman yapısı ise süper hidrofobluk ve kendi kendini temizleme özelliklerini sağlamaktadır. Bu sistemden esinlenilen bu araştırma çalışmasında, morpho kelebeği kanadının yüzey yapısının taklit edilmesiyle, kanattakine benzer fotonik yüzeyler oluşturulmaya çalışılmış ve yenilikçi kumaş yapılarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Dairesel ve w olmak üzere iki farklı kesitte poliester iplik temin edilerek bu ipliklerle seçilen farklı konstrüksiyonlarda, morpho kelebeği kanadını taklit eden, ortalama 70 g/m2 gramajda kumaşlar dokunmuştur. Dokunan kumaşların fiziksel özellikleri ve stereo mikroskop altında TL 3 ışık kaynağında görünümleri incelenmiştir. Farklı ışık yansımasının renk koyuluğu üzerindeki etkisi ise spektrofotometrik ölçüm yoluyla tespit edilmiştir. Morpho kelebeği kanadı yapısı benzeri kumaşları geliştirirken ortaya koyulacak özel kumaş konstrüksiyonlarıyla bunlara uygulanacak renklendirme işlemlerinde daha az boyarmadde ve kimyasal madde kullanımı hedeflenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, morpho kelebeği kanadına benzer fotonik yüzeyler oluşturmaya yönelik dokuma konstrüksiyonları üzerinde sistematik ve detaylı bir çalışma ile yanar döner görünümlü, susuz kumaş renklendirmenin mümkün olabileceği görülmüştür. Böylece doğanın sunduğu mükemmel yapısal renklendirme taklit edilebilirse, sentetik boyarmaddelerle

renklendirilmiş tekstil materyallerine kıyasla daha çevreci ürünler ortaya koyulabilecektir. Bu sayede biyomimetik yaklaşımla yenilikçi ve sürdürülebilir kumaşların üretilerek ekonomik fayda sağlanacağı açıktır.

Anahtar Kelimeler: Biyomimetik, Morpho Kelebeği, Dokuma Kumaş, Sürdürülebilirlik

Biomimetic Approaches To The Coloring of Woven Fabrics

Abstract

Biomimetics is to explain the biological structures, movements and other properties of living things, within the framework of engineering knowledge. The use of this approach in the field of textiles has been the subject of different researches. With the biomimetic approach, textile design can be created by imitating or inspired by nature, as well as color, texture and functionality. Thanks to this approach, textile surfaces that have gainednew functional properties and improved performance are evaluated under six groups: hydrophobic, reduced friction force, photonic, süper-adhesive, UV protective and thermal protection. The micro and nano protrusions on the Morpho butterfly wing give the butterfly the properties of super hydrophobicity, self-cleaning, resistance to chemicals and fluorine radiation. The lower and upper layers of the wing have separate features. The lower layer structure provides the butterfly with an iridescent appearances, while the upper layer structure provides super hydrophobicitya and self-cleaning properties. In this research work inspired by the aforementioned system, it was aimed to create photonic surfaces similar to those in the wing by imitating the surface structure of the morpho butterfly wing, and it was aimed to develop innovative fabric structures. Polyester yarns in different cross-sections, circular and -W-, were used and with an average weight of 70 g/m^2, imitating the Morpho butterfly wing, in different constructions with these yarns were produced woven fabrics. The physical properties of the woven fabrics and their appearance in TL3 light source under stereo microscope were examined. The effect of different light reflection on color darkness was determined by spectrophotometric measurement. While developing fabrics similar to Morpho butterfly wing structure, it is aimed to use less dyestuff and chemicals in the coloring processes to be applied to them with special fabric constructions. When all the resultes obtained are evaluated in general, it has been seen that it is possible to color an iridescent, fabric with a systematic and detailed study on woven constructions to create photonic surfaces similar to a Morpho butterfly wing. Thus, if the perfect structural coloring offered by nature can be imitated, more enviromentally friendly products can be produced compared to textile materials colored by using intense -synthetic dyesuff. In this way, it is clear that the production of innovative and sustainable fabrics with a biomimetic approach will be provide economic benefits in terms of both product variety and less dyestuff-less colored waste.

Keywords: Biomimetic, morpho butterfly, woven fabric, sustainability

1. GİRİŞ

Biyomimetik, doğada var olan canlıları çözümleyerek, biyolojik yapılarını, hareketlerini ve diğer özelliklerini mühendislik bilgisi içinde açıklamaktır. Gelişen teknolojiyle beraber doğada var olan canlıların spesifik özelliklerinin saptanması ve bu özelliklerin kullanılarak çeşitli makinaların, cihazların, robotların ya da sistemlerin tasarlanması mümkün olmuştur. NASA'nın açıklanan 2025 yol haritası da, sanayi devriminden bu yanan biyolojik ilham (bio-inspired) uygulamalarının çoğalacağını göstermektedir. Bu durumda biyolojik ilham kaynakları sanayide farklı sektörlere artarak esin kaynağı olmaya devam edecektir. Tekstil sektöründe de biyomimetik yaklaşım sayesinde yeni fonksiyonel özellikler kazanmış ve performansı iyileşmiş tekstil yüzeyleri elde etmek mümkündür. Biyomimetik yani biyobenzetim yaklaşımıyla bitkilere benzetimle süper hidrofob, kendi kendini temizleyebilen ya da hidrofilik tekstil yüzeyleri, böcekler, örümcekler, kertenkeleler ve kurbağalara benzetimle süper hidrofob ya da ıslak ve kuru yüzeylerde adhezyona sahip tekstiller, kuşlara benzetimle izolasyona ya da kamuflaja sahip tekstil yüzeyleri, deniz kabuklularına, dişlere ve kemiklere benzetimle yüksek mekanik

dayanıma sahip tekstiller, güve gözüne benzetimle yansıtmayan yüzeyler ya da yapısal renkler, kutup ayısı derisi ve postuna benzetimle termal izolasyon özelliğine sahip tekstiller, biyolojik sistemlere benzetimle kendini ısıtan tekstil yüzeyleri ya da sensör parçalar geliştirilebilmektedir. Bu örnekler çoğaltılabilir. Bu kapsamda biyomimetik yaklaşımla elde edilen tekstil yüzeyleri hidrofobik yüzeyler, sürtünme kuvveti azaltılmış yüzeyler, f**otonik yüzeyler,** süper adhezyon özelliğine sahip yüzeyler, UV koruyucu yüzeyler ve termal koruma sağlayan yüzeyler olmak üzere altı grup altında değerlendirilebilir (Canpolat vd.,2014).

Doğa, sadece dokuma ya da örme yüzeylerden oluşan tekstiler için değil dokusuz tekstil yüzeyleri için de önemli bir ilham kaynağıdır. Doğanın sunduğu mükemmel yapısal renklendirme taklit edilerek, sentetik boyarmaddelerle renklendirilmiş tekstil materyallerine kıyasla daha çevreci ürünler ortaya konulabilir. Bunun yanı sıra solmaz ve UV koruyucu özelliğe sahip tekstil yüzeyleri de üretilebilir (Das vd., 2017).

Biyomimetik yaklaşımdan sadece tekstil üretim sürecinde değil, tekstil tasarım sürecinde de faydalanılabilmektedir. Doğayı taklit ederek ya da doğadan ilham alarak ortaya konan tasarımlarda, rengin yanı sıra dokuyu ve işlevselliği geliştiren biyobenzetimler yapılmıştır. Bu tasarımlarla en az miktarlarda madde ve enerji kullanılarak, en fazla miktarda fayda ve devamlılık sağlamak temel hedef olmuştur. Mühendislerin ve tasarımcıların beraberce gerçekleştirecekleri çalışmalarla doğadan ilham alarak üretilen ürünlerin ve bu ürünlerin tüketicilerle buluşma hızının artacağı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. (Geyik Değerli, 2020).

Tekstil endüstrisinin üretim esnasında neden olduğu çevreye zararlı etkileri azaltmak için fonksiyonel tekstillerin üretiminde biyomimetik potansiyel kullanılmalıdır. Biyomimetik yaklaşımla biyolojik yapıların taklidi için eklemeli imalat ve mikro/nano ölçekte dokuma yöntemleri en uygun yöntemler arasındadır. Mikro/nano ölçekte filamentlerin kullanımıyla köpek balığı derisi, kelebek kanadı, böcekler üzerindeki mikro yapı ve yaprakların yapıları taklit edilebilmiştir (Weerasingle vd., 2019). Bitkilerin iç su taşıma ağının taklit edilmesiyle su emici ve çabuk kuruyan spor giysilerin tasarlanması ve üretilmesi mümkün olmuştur. Ağaç benzeri dal yapısının taklit edilmesiyle geliştirilen örme kumaş yapılarıyla nem tutma performansı iyileşmiş yazlık giysilik kumaşlar üretilmiştir (Sun, 2020).

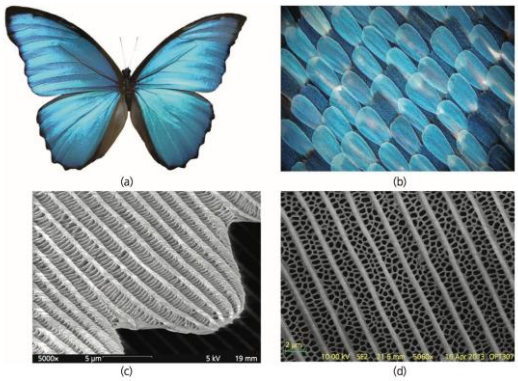
Tekstil materyallerinin, doğada melaninden kaynaklanan yapısal renklerle renklendirilmesi alternatif çevre dostu boyama yöntemi olarak değerlendirilmektedir. Biyomimetik yaklaşımla melanin benzeri polidopamin kullanılarak, ipek üzerine laboratuvar ölçekli nano kaplamalar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar renkli tekstillerin yüksek renk haslıklarına sahip olduğunu göstermiştir (Liu vd., 2021)

Morpho kelebeği kanadı üzerindeki mikro ve nano çıkıntılar kelebeğe süper hidrofobluk, kendi kendini temizleme, kimyasallara karşı direnç ve flor ışınımı özelliklerini kazandırmaktadır. Kanadın alt ve üst katmanının ayrı özellikler sağladığı görülmüştür. Alt katman yapısı kelebeğe yanardöner görünüm özelliği sağlarken, üst katman yapısı super hidrofobluk ve kendi kendini temizleme özelliklerini sağlamaktadır. Bu sistemden esinlenilerek silisyum nano partikülleri ile polistren moleküllerinin bağlanmasıyla tekstil uygulamalarında yanardöner görünüm ve hidrofobiklik özelliği birarada sağlanabilmiştir. Kelebek kanadının yanı sıra güve gözü, mavi penguen tüyleri, Japon mücevher böceği derisi ve/veya tavus kuşu tüyü imitasyonları sayesinde fotonik yüzeyler ve görüş açısına bağlı yanardöner renkler elde edilebilmektedir. Bu yaklaşımla ortaya çıkan tekstil ürün uygulamaları, kumaşlarda sahtecilik koruması ve farklı baskı teknolojileriyle üretilmiş materyaller olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür ürünlerin üretiminde düşük sıcaklıklarda atomik tabaka birikimi ve sol-jel yaygın kullanılan metotlar olarak değerlenmiştir (Canpolat vd., 2014).

Gerçekleştirilen bu çalışmanın temel hedefi ise, Morpho kelebeği kanadının yüzeyindeki dokuya gelen ışığı yansıtan geometrik (lamelli) yapının taklit edilmesiyle fotonik tekstil yüzeyler oluşturularak daha az boyarmadde, enerji ve işçilikle sürdürülebilir renkli dokuma kumaş üretmektir.

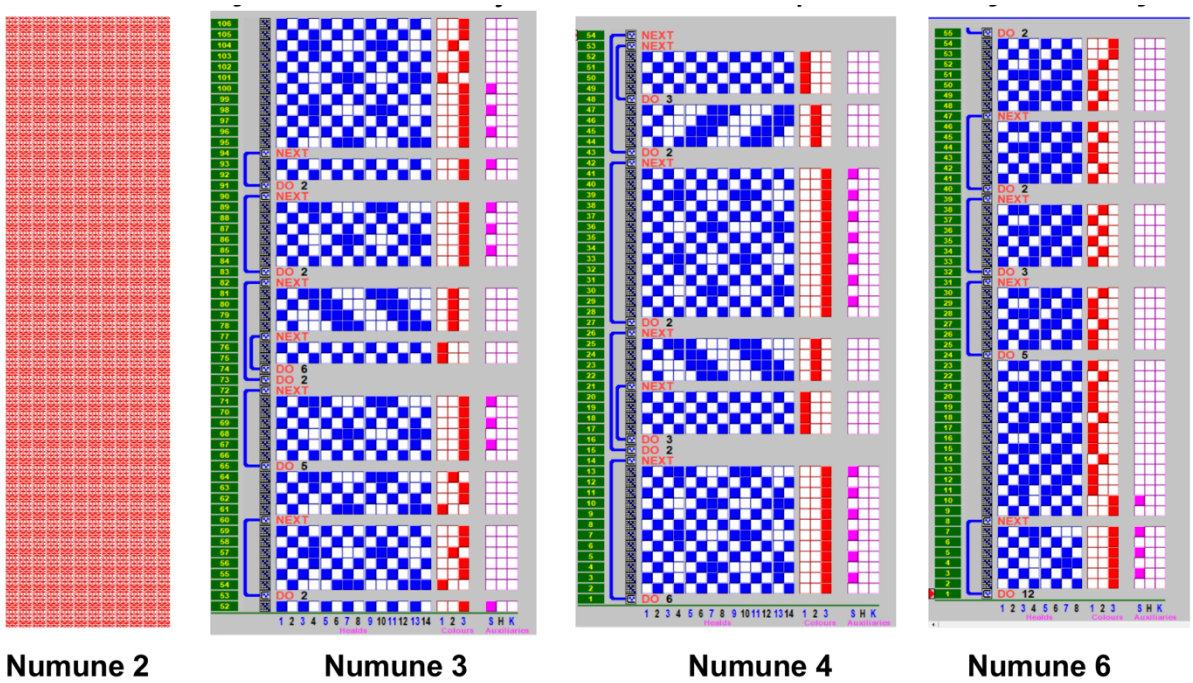
2. MATERYAL VE METOT

Dairesel ve W olmak üzere iki farklı kesitte poliester iplik kullanılarak 8 farklı konstrüksiyonda kumaşlar dokunmuştur. İlk olarak aynı dokuma parametrelerinde 4 farklı örgü raporunda çözgüde 20 Den PET Mono yarı mat, atkıda 70 Den PET F72 Tex Puntalı yarı mat, 150 Den PET F288 Soft puntalı, 20 Den PET Mono Parlak ipliklerle armürlü dokuma makinasında tarak eni 170 cm, tarak numarası 24/2 ve atkı sıklığı 32 olarak dokunmuştur. W kesit olarak, çözgüde 20 Den PET Mono yarı mat, atkıda 78 Den PET F48 yarı mat puntalı-Polycool(W KESİT), tarak eni 170 cm, tarak numarası 24/2, atkı sıklığı 46 ve 50 olarak biri Bezayağı diğeri Dimi örgüde armürlü dokuma makinasında iki farklı kalite dokunmuştur. Dairesel kesit olarak, çözgüde 20 Den PET Mono yarı mat, atkıda 78 Den PET F48 yarı mat puntalı (dairesel kesit) ipliklerle armürlü dokuma makinasında tarak eni 170 cm tarak numarası 24/2, atkı sıklıkları 46 ve 50, örgüleri Bezayağı ve Dimi olarak iki farklı kalite dokunmuştur. Dokuma konstrüksiyonları seçilirken Şekil 1'de görülmekte olan Morpho kelebeği kanadının lamelli yapısı taklit edilmeye çalışılmıştır. Dokunan kumaşların gramajları ortalama 70 g/m^2 'dir.



Şekil 1. Morpho kelebeği kanadı görselleri (Das vd., 2017:7)

Seçilen konstrüksiyonlardan Numune 2-4 ve 6'ya ait armür planları Şekil 2'de görülmektedir.



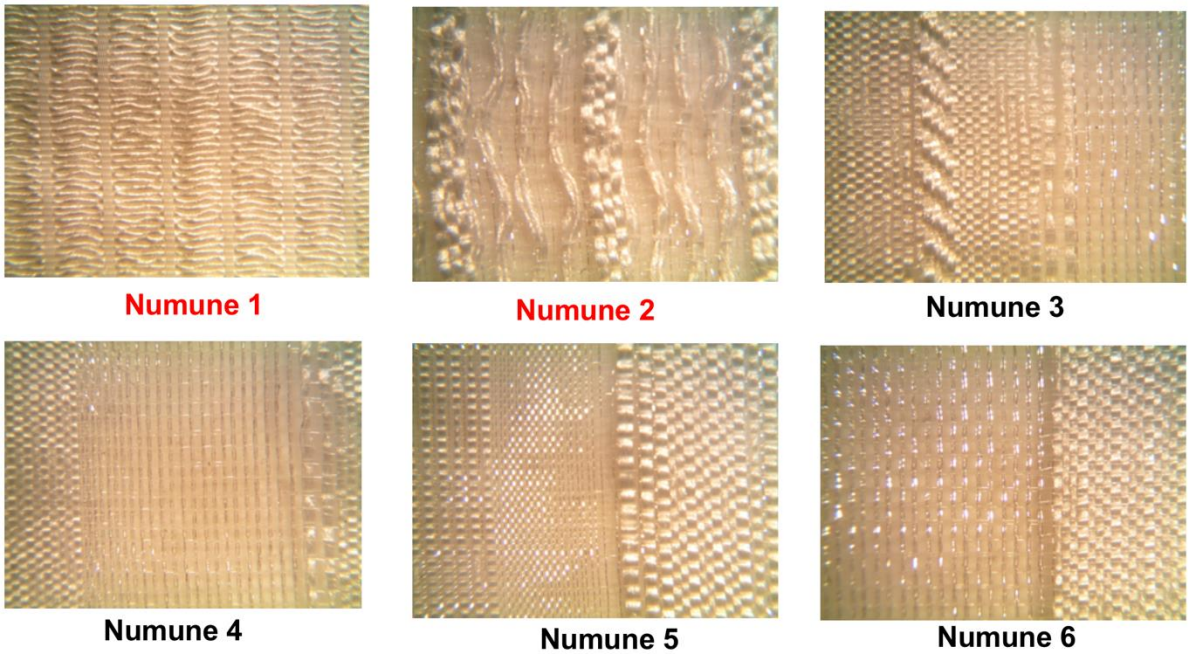
Şekil 2. Numune 2-4 ve 6'ya ait armür planları

Haşılı (PVA) sökülmüş dokuma kumaşlar Fongs HT Kumaş Boyama Makinası'nda %2 renk şiddetinde boyanmıştır. Boyama işlemleri, %2 dispers boyarmadde, 1 g/L dispergatör (Rudolf Duraner), 0.5 g/L iyon tutucu (Rudolf Duraner), 0.8 g/L tamponlama maddesi (Busan) içeren reçeteye göre 130 °C'de 60 dakika sürede gerçekleştirilmiştir. Boyama sonrası tüm kumaşlara 80 °C'de 20 dakika indirgen yıkama yapılmıştır.

Dokunmuş ve dokunduktan sonra boyanmış kumaş örneklerinin yüzeyleri OLYMPUS SZ-PT (Japan) Stereo Mikroskop ve TL 3 Işık Kaynağı (6) ile mikroskop altında incelenmiştir. Kumaşların renk ölçümleri 45°/0 geometrisinde X-rite spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin parlaklık (brightness) ölçümleri ise TAPPI T-452 standardına göre tespit edilmiştir.

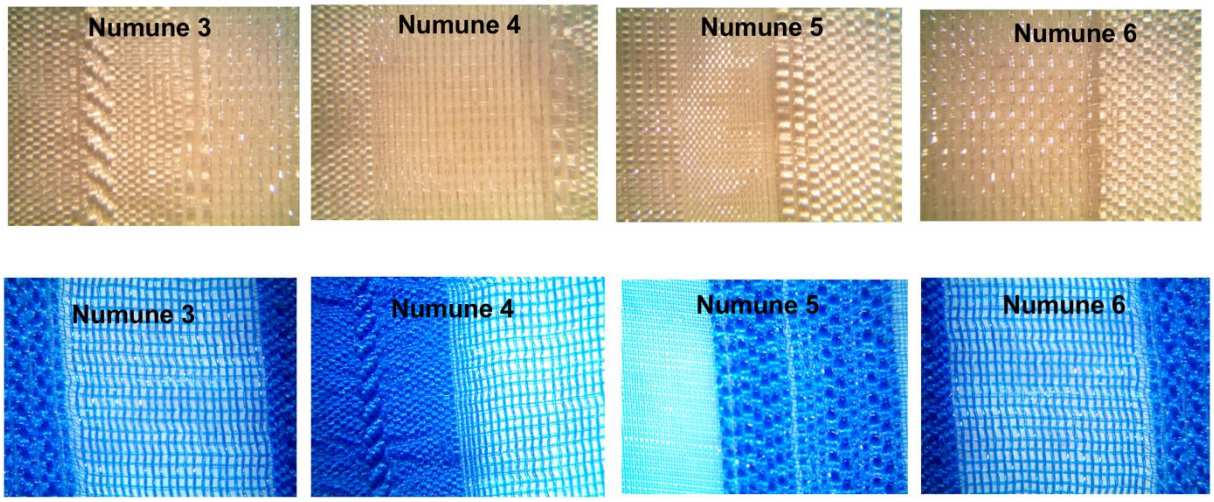
3. SONUÇLAR

Dairesel kesitli ipliklerle dokunmuş ve dokunduktan sonra seçilerek boyanmış kumaş numunelerine ait mikroskop görüntüleri Şekil 3 ve 4'de görülmektedir.



Şekil 3. Dairesel kesitli ipliklerle dokunmuş kumaş numunelerinin mikroskop görüntüleri

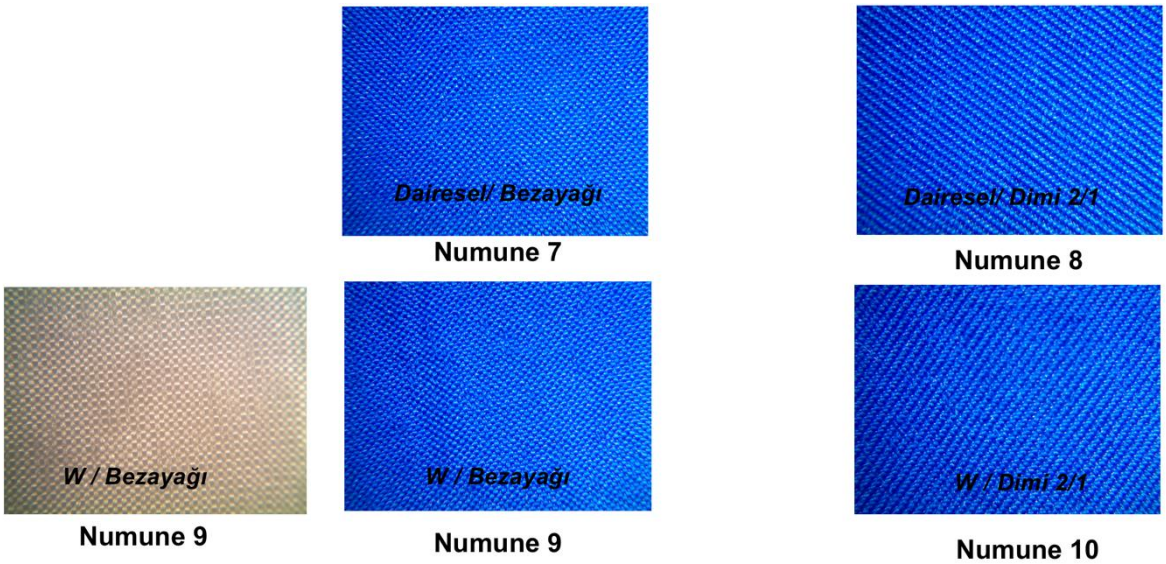
Mikroskop görüntüleri incelendiğinde Numune 3-6'da yanar döner etki ya da diğer bir ifadeyle parlaklık daha fazla görüldüğünden bu numuneler boyanarak, boyama sonrası mikroskop altında görünümleri incelenmiş, Şekil 4.' de görselleri sunulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. Dairesel kesitli ipliklerle dokunduktan sonra seçilerek boyanmış kumaş numunelerinin mikroskop görüntüleri

Boyama sonrasında kumaş numunelerinde parlaklık etkisinin devam etmekte olduğu tespit edilmiştir.

W kesitli ipliklerle dokunan kumaşlarda parlaklık etkisinin tespiti için hem dairesel hem de w kesitli ipliklerle bezayağı ve dimi 2/1 olmak üzere iki farklı tipte kumaşlar dokunmuştur. Kumaşların mikroskop altındaki görünümlerini gösteren görseller Şekil 5.'de sunulmuştur.



Şekil 5. Dairesel ve w kesitli ipliklerle dokunan kumaş numunelerine ait mikroskop görüntüleri

Elde edilen mikroskop görüntüleri iplik kesitinin hedef görünüme ulaşmada önemli bir parametre olacağını ortaya koymuştur.

Tablo 1 ve 2'de dokunmuş ve dokunduktan sonra boyanmış numunelere ait spektrofotometrik ölçüm sonuçları verilmektedir. Dokuma türüne göre parlaklığı arttırmada ve kelebek kanadının yapısını taklit etmede yararlanılan geçişli bölgeler transparan olarak tanımlanarak, bu bölgelere ait renk ölçümleri ayrıca yapılmıştır.

Tablo 1. Boyanmamış kumaşlara ait renk ölçümü sonuçları

Numuneler (Boyanmamış)		**L***	**a***	**b***	**C***	**h°**	**X**	**Y**	**Z**
Numune 1		90.53	0.01	0.29	0.31	70.97	74.69	77.45	60.90
Numune 2		87.15	0.05	1.68	1.68	88.30	68.02	70.03	56.40
Numune 3		92.36	0.01	1.83	1.83	89.69	78.62	73.50	76.19
	Transparan	88.27	0.02	2.18	2.18	89.47	70.13	72.63	57.79
Numune 4		91.31	0.01	2.12	2.12	89.73	76.41	70.92	63.11
	Transparan	89.91	0.01	2.13	2.13	89.73	73.43	76.09	60.63
Numune 5		94.61	0.03	2.34	2.34	89.27	83.77	86.69	68.95
	Transparan	91.84	0.02	1.88	1.88	89.94	77.48	80.34	64.31
Numune 6		93.81	0.02	1.66	1.66	89.31	81.88	84.83	68.19
	Transparan	86.89	0.72	2.57	2.67	74.35	67.80	69.98	55.28
Numune 9		941.02	0.05	1.26	-	-	824.76	855.06	691.67

Boyanmamış ve boyanmış kumaşların CIELab renk koordinatları karşılaştırıldıklarında özellikle 0-100 aralığında olması gereken L* değerinde yüksek sapmaların olduğu görülmüştür. Bu durum söz konusu özelliklerde üretilen kumaşların renk ölçümlerinin sağlıklı şekilde gerçekleştirilmesi için farklı yöntemlerin geliştirilmesi konusunda ayrıca çalışılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Boyanmış kumaşlara ait renk ölçümü sonuçları

Numuneler (Boyanmış)		**L***	**a***	**b***	**C***	**h°**	**X**	**Y**	**Z**
Numune 3		35.08	-33.68	-48.23	58.53	235.07	78.59	85.36	26.11
	Transparan	45.75	-84.23	-45.59	95.78	208.42	13.21	15.09	36.27
Numune 4		34.63	-30.71	-48.26	57.20	237.53	76.85	83.16	25.70
	Transparan	46.45	-93.80	-45.18	104.11	205.72	13.53	15.60	36.84
Numune 5		36.46	-43.51	-46.70	63.83	227.03	84.21	9.26	26.63
	Transparan	46.34	-89.43	-48.52	100.20	206.81	13.52	15.52	39.16
Numune 6		33.94	-29.00	-48.18	56.23	238.96	73.88	79.80	24.98
	Transparan	43.72	-90.59	-46.21	101.70	207.03	11.82	13.64	34.24
Numune 7		338.70	-20.79	-460.66	-	-	74.42	79.46	237.52
Numune 8		33.59	-26.68	-463.51	-	-	72.54	78.12	236.44
Numune 9		336.73	-15.61	-45.81	-	-	74.07	7.85	234.30
Numune 10		330.78	-11.20	462.33	-	-	71.87	75.70	231.11

Dokunmuş ve dokunduktan sonra boyanan seçilmiş konstrüksiyonlara ait parlaklık sonuçları ise Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3. ise TAPPI T-452 standardına göre numunelerin parlaklık (brightness) ölçüm sonuçları

Boyanmamış Numuneler		**Parlaklık**	**Boyanmış Numuneler**		**Parlaklık**
Numune 1		70.63	**Numune 3**		32.49
Numune 2		66.98		Transparan	47.57
Numune 3		75.62	**Numune 4**		31.88
	Transparan	67.69		Transparan	42.62
Numune 4		74.21	**Numune 5**		30.65
	Transparan	75.21		Transparan	47.87
Numune 5		75.94	**Numune 6**		31.05
	Transparan	72.37		Transparan	41.66
Numune 6		78.48	**Numune 7**		29.56
	Transparan	60.72	**Numune 8**		28.75
Numune 9		81.51	**Numune 9**		28.81
			Numune 10		28.21

Boyama sonrasında kumaş numunelerinin parlaklıkları azalmakla beraber, konstrüksiyon açısından parlaklık oranında değişim görülmemektedir. Dokuma konstrüksiyonu Morpho kelebeği kanadının lamelli yapısına yaklaştıkça, parlaklık ya da diğer bir ifadeyle yanar döner görünüm artmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışmaya esin kaynağı olan Morpho kelebeğinin en belirgin özelliği, kanadında renk verici herhangi bir pigment içermeyen lamelli yapıdır. Kumaşlarda pigment kullanılmadan renk eldesi için iplik kesit ve özellikleri ile dokuma konstrüksiyonu farklılıkları yardımıyla Morpho kelebeğinin kanadındaki lamelli yapı taklit edilmiştir. Böylece parlaklıkta istenilen sonuçlar elde dilmiştir.

Elde edilen tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, bu yapıdan kaynaklı kanadın üzerine düşen ışığı farklı yansıtma prensibi taklit edilerek dokunan poliester kumaşlarda renk geçişleri gözlenmiştir.

Morpho kelebeği kanadına benzer fotonik yüzeyler oluşturmaya yönelik dokuma konstrüksiyonları üzerinde sistematik ve detaylı bir çalışma ile yanar döner görünüm ve daha düşük boyarmadde konsantrasyonlarında boyamalar yapılarak renk geçişlerinin ve tüketicilerin beğenisine sunulabilecek özellikte kumaş yapılarının elde edilebileceği görülmüştür. Söz konusu yaklaşımla en az su, kimyasal madde, enerji ve işçilikle kumaş üretimi sağlanabileceğinden sürdürülebilirliğe katkı sağlanacaktır.

5. KAYNAKLAR

CANPOLAT, Ş., KILINÇ, M., GÜRBÜZ, N.R., KUT, D. (2014). “Tekstil Uygulamalarında Biyomimetik Yaklaşımlar”. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13 (25), 91-111.

DAS, S., KUMAR, A., SHANMUGAM.N., JOSE, S. (2017). “Potansial of Biomimicry in the Field of Textile Technology”, Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials.

GEYİK DEĞERLİ, N. (2020). “Tekstilde İnovatif Tasarım Yaklaşımı: Biyomimikri”. İdil, 68, 675-685.

LIU, X., LIU, H., ZHENG, H., FANG, Y. (2021). "Biomimetic Fabrication of Melanin-like Polydopamine Nanofilm Coating For Structural Colorization of Textile". Progress in Organic Coating, 152, 106138.

SUN, M. (2020). "Research and Application of Biomimetic Textile Materials in Fashion Design", IOP Conference Series: Earth and Enviromental Science, 440

WEERASINGLE, D., PERERA, S., DISSANAYAKE, DGK. (2019). "Application of Biomimicmicry for Sustainable Functionalization of Textiles: Review of Current Status and Prospectus" Textile Reseach Journal 89(19-20) 4282-4294

Presentation ID / Sunum No= 97

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-8240-7709

Kokulu Nevresimlerin Performans ve Haslık Özelliklerinin İncelenmesi

Hatice Çoşkun[1,2], Doç. Dr. Ayşe Ebru Tayyar[3]
[1]*Uşak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye*
1843073011@ogr.usak.edu.tr
[2]*Ağaoğlu Tekstil Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Ar-Ge Merkezi, Türkiye*
tchaticecakir@gmail.com
[3]*Uşak Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Türkiye*
ayseebru.tayyar@usak.edu.tr

Özet

Mikrokapsüller, kontrollü salım yeteneğinden ve uzun süreli etki sağlamasından dolayı tekstil endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Mikrokapsüldeki öz maddenin işlevselliğine göre bu yapıların çeşitliliği artmaktadır. Bu çalışmada polimerik bir duvar maddesi kullanılarak üretilmiş lavanta kokusu içeren ve ticari olarak satın alınan sıvı formdaki mikrokapsüller kullanılmıştır. Çalışmanın amacı; mikrokapsüllerin %100 pamuklu dokuma kumaşlara rotasyon baskı metodu ile aktarılması ve bunların performans ve haslık özelliklerinin incelenmesidir. Üretilen kokulu kumaşlar 5, 10, 15 ve 20 kez tekrarlı yıkamalara maruz bırakılmıştır. Ön çalışmalarda tekrarlı yıkamalar sonucunda elde edilen kumaş numunelerinin koku kalıcılıkları, birbirinden bağımsız farklı demografik özelliklere sahip denek gruplarına anket metodu uygulanarak belirlenmiştir. Sonuç olarak yıkama sayılarının artmasıyla koku kalıcılığının azaldığına ve 20 yıkamaya kadar koku kalıcılığının orta düzeyde sağlandığına ulaşılmıştır. Bu çalışmada ise işlem görmemiş ve baskı metodu kullanılmış kumaş numunelerinin ve bunların tekrarlı yıkanmış hallerinin ilgili standartlar doğrultusunda performans ve haslık özellikleri incelenmiştir. Proses esnasında kullanılan mikrokapsüllerin, kimyasal maddelerin ve ajanların kumaş numunelerindeki performans ve haslık değerlerini olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel Tekstiller, Aromatik Tekstiller, Mikrokapsülasyon Teknolojisi, Kokulu Mikrokapsüller, Yıkama Dayanımı, Koku Kalıcılığı.

Research of the Performance and Fastness Properties of Odor Beddings

Abstract

Microcapsules have an important level in the textile industry as they have controlled release and long-lasting effects. Their diversity increases according to the properties of the core substance in the microcapsule. In this study, commercially purchased liquid microcapsules containing lavender scent produced using a polymeric wall material were used. The aim of the study; transferring microcapsules

to 100% cotton woven fabrics by rotation printing method and researching their performance and fastness properties. The scented fabrics produced for this aim were washed 5, 10, 15 and 20 cycles. In the beginning studies, the odor permanence of the fabric samples obtained as a result of repeated washings was determined by applying the questionnaire method to independent test groups with different demographic characteristics. As a result, the permanence of odor decreased with the increase in the number of washings, and the permanence of odor up to 20 cycles washings is at intermediate. In this study, the performance and fastness properties of untreated fabric samples and their repeated washing were researched in with the relevant standards. It has been determined that the microcapsules, chemicals and agents used during the process do not adversely affect the performance and fastness values of the fabric samples.

Keywords: Functional Textiles, Aromatic Textiles, Microencapsulation Technology, Scented Microcapsules, Washing Durability, Odor Permanence.

1.GİRİŞ

Mikrokapsül katı bir partikülün, sıvı damlasının veya gaz kabarcığının etrafında bir film tabakası oluşturacak maddeyle kaplanarak muntazam bir duvar ile çevrilmiş mikro yapılardır (Göde ve Kebapçı, 2013; Köksal ve Göde, 2017). Mikrokapsüllerde kaplanan maddeye öz, kaplama için kullanılan maddeye ise duvar adı verilmektedir [3]. Öz maddenin türüne göre mikrokapsüllerin işlevselliği değişmektedir. Mikrokapsüller dış etkenlere (basınç, sıcaklık, sürtünme ve mekanik güç vb.) maruz bırakıldığında, duvar madde patlamakta, duvar madde içerisine hapsedilmiş öz madde serbest kalmaya başlamaktadır ve sağlanan etki uzun süreli olmaktadır (Gönülşen vd., 2016; Atav vd., 2017). Bu teknolojide birçok etken madde ve güzel kokular kapsüllenebilmektedir. Kokular, uçucu bileşenlere sahip olduklarından (Aydın vd., 2011) dolayı kapsüllenerek tekstil yüzeylerine aplike edildiğinde daha kalıcı koku sağlanmaktadır. Bu tekstillerin yıkamalara karşı dayanımları hakkında literatürdeki yapılan çalışmalar incelendiğinde en fazla kullanılan yöntem emdirmedir ve kumaşların 50 kez yıkanmaları sonucunda koku yoğunluğunun "zayıf" olarak sübjektif değerlendirildiğine ulaşılmıştır (Monllor vd., 2007; Hu vd., 2011; Rana vd., 2017; Sharma ve Goel, 2018; Stan vd., 2019). Bu çalışmada, lavanta kokusuna sahip mikrokapsüller rotasyon baskı yöntemleri kullanılarak %100 pamuklu dokuma kumaşlara aktarılmıştır. Üretilen kumaş numunelerinin ve bunların tekrarlı yıkanmış hallerinin ilgili standartlar doğrultusunda performans ve haslık testleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Literatür incelendiğinde, kokulu mikrokapsüllerin rotasyon baskı yöntemi kullanılarak %100 pamuklu dokuma kumaşlara aktarılması ve bu kumaşların tekrarlı yıkamalar sonucunda haslık ve performans değerlendirilmesi konusundaki çalışmalara rastlanmamıştır.

2.MATERYAL VE METOT

Çalışmada Ne 30/1 incelikteki ipliklerle bezayağı dokunmuş, ön terbiyesi tamamlanmış 271 gr/m^2 ağırlığındaki %100 dokuma kumaşlar Ağaoğlu Tekstil San. Tic. A. Ş'den, lavanta kokulu mikrokapsüller Tekstil ve Kimya Sanayi Dış Tic. Ltd. Şti.'den, FX 531 noniyonik çapraz bağlayıcı ve VNO 500 yumuşatma apre maddesi Rudolf Duraner GmbH 'den tedarik edilmiştir.

2.1.Rotasyon Baskı Yöntemi

Baskı tekniğinde kullanılan pigment baskı patına lavanta kokulu mikrokapsüller (100 gr/kg) (Golja vd., 2013), çapraz bağlayıcı (%10) ilave edilerek rotasyon baskı yöntemi ile kumaşlara aplike edilmiştir. Apre prosesinde %1 yumuşatıcı apre malzemesi kullanılmıştır.

2.2.Yıkama İşlemi

Kumaş numuneleri EN ISO 6330-2012 standardına göre 5, 10, 15 ve 20 tekrarlı yıkama yapılarak kurutma makinesinde kurutulmuştur. Test edilecek kumaşlar standart atmosfer koşullarında (20 ºC±2 sıcaklık ve %65 ±2 bağıl nem) 24 saat kondüsyonlanmıştır.

2.3.Haslık ve Performans Testleri

Çalışmada uygulanan testlerin ve standartların detaylı bilgileri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Uygulanan Testler ve Standartlar

Test Türü	İlgili Standart
Yıkama Haslığı	TS EN ISO 105-C06
Asidik Ter Haslığı	TS EN ISO 105-E04
Alkali Ter Haslığı	TS EN ISO 105-E04
Su Haslığı	TS EN ISO 105-E01
Kuru Sürtme Haslığı	TS EN ISO 105-X12
Yaş Sürtme Haslığı	TS EN ISO 105-X12
Yırtılma Mukavemeti	TS EN ISO 13937-2
Pilling	TS EN ISO 12945-2
Aşınma Dayanımı	TS EN ISO 12947-4

3.BULGULAR

Haslık test sonuçları incelendiğinde; değerlerin en yüksek seviyelerde sonuçlandığı görülmektedir. Dolayısıyla kullanılan kimyasal maddelerin ve mikrokapsüllerin kumaş numunelerinin haslık değerlerini olumsuz yönde etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 2. Uygulanan Haslık Testleri ve Sonuçları

Haslık Test Türleri	İşlemsiz Kumaş Numuneleri			İşlemli Kumaş Numuneleri		
	Yıkama Yapılmamı	10 Yıkama Yapılmış	20 Yıkama Yapılmış	Yıkama Yapılmamı	10 Yıkama Yapılmış	20 Yıkama Yapılmış
Yıkama	5	5	5	5	5	5
Asidik Ter	5	5	5	5	5	5
Alkali Ter	5	5	5	5	5	5
Su	5	5	5	5	5	5
Kuru Sürtme	4-5	5	5	5	5	5
Yaş Sürtme	4-5	4-5	5	4	4-5	5

Performans test sonuçları incelendiğinde; baskı ile muamele edilmiş kumaş numunelerinin yırtılma mukavemetleri (çözgü ve atkı yönündeki) işlem görmemiş kumaş numunelerine göre artış göstermiştir. Bunun sebebinin yöntemde kullanılan baskı patının kumaş üzerinde koruyucu katman oluşturması olduğu düşünülmektedir. Aşınma dayanımı ve pilling sonuçlarında ise önemli derecede değişiklikler görülmemiştir.

Tablo 3. Uygulanan Performans Testleri ve Sonuçları

Haslık Test Türleri	İşlemsiz Kumaş Numuneleri			İşlemli Kumaş Numuneleri		
	Yıkama Yapılmamı	10 Yıkama Yapılmıs	20 Yıkama Yapılmıs	Yıkama Yapılmamı	10 Yıkama Yapılmıs	20 Yıkama Yapılmış
Yırtılma Mukavemeti						
Çözgü Yönünde (N)	5,73	5,54	5,28	5,39	5,92	6,26
Atkı Yönünde (N)	5,25	5,33	5,07	5,27	5,51	5,74
Aşınma Dayanımı (Skor)	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5
Pilling (Skor)	4	4-5	4-5	5	4	4

4.DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Literatürde rotasyon baskı metodu kullanılarak kokulu mikrokapsüllerin dokuma kumaşlara aplike edilmesi ve bunların tekrarlı yıkamalar sonucunda haslık ve performans değerlerinin incelenmesi hakkında çalışmalara rastlanmadığı için bu çalışmaya ait analiz ve testlerin bulguları, önceki çalışmalar ile kıyaslanamamaktadır.

Ön çalışmalarda rotasyon baskı metodu kullanılarak mikrokapsüllerin aktarıldığı kumaş numunelerinin tekrarlı yıkamalar sonucunda koku kalıcılıkları sübjektif metotlar ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda kokuların 20 yıkamaya kadar dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında ise bu kumaş numunelerinin tekrarlı yıkamalara karşı haslık ve performans değerleri araştırılmıştır. İlgili standartlar doğrultusunda kumaşların haslık değerlerinin en yüksek seviyelerde olduğu incelenmiştir. Ayrıca performans değerleri incelendiğinde özellikle yırtılma mukavemetlerini (çözgü ve atkı yönündeki) olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin baskı yönteminde kullanılan baskı patının mikrokapsüller üzerinde koruyucu bir katman görevi üstlendiği düşünülmektedir. Bu bilgilerin farklı koku türleri ile farklı konstrüksiyondaki kumaşlar için yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

ATAV, R., NAMIRTI, O., YAVAŞ, A., GÖKTEPE, F. (2017). “Dendrimer Teknolojisi Kullanılarak Aromaterapi Özelliğine Sahip Fonksiyonel Yünlü Kumaş Eldesi”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(1), 227-231.

AYDIN, N., ÖZTÜRK, G., KARABOYACI, M., ALAY, S. (2011). “Koku İçeren Mikrokapsül Uygulanmış Akrilik El Örgüsü İpliklerden Örülen Kumaşların Karakterizasyonu”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(1), 67-74.

EYÜPOĞLU, S. ve KUT, D. (2016). "Mikrokapsülasyon Teknolojisi Ve Tekstil Sektöründe Kullanımı", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 15(29), 9-28.

GOLJA, B., ŠUMİGA, B., FORTE TAVČER, P. (2013). "Fragrant Finishing Of Cotton Withmicrocapsules: Comparison Between Printing And Impregnation", Coloration Technology, 129(5), 338-346.

GÖDE, F. ve KEBAPÇI, K. (2013). "Gül Kokusu İçeren Mikrokapsüller", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(2), 32-35.

GÖNÜLŞEN, İ., SARIIŞIK, M., ERKAN, G., OKUR, S. (2016). "Portakal Yağı İçeren Mikro ve Moleküler Kapsül Aktarılmış Kumaşlardan Salım Davranışlarının İncelenmesi", Tekstil ve Mühendis, 23(101), 21-33.

HU, J., ZUOBİNG, X. I. A. O., RUJUN, Z. H. O. U., SHUANGSHUANG, M. A., MİNGXİ, W. A. N. G., ZHEN, L. I. (2011). "Properties Of Aroma Sustained-Release Cotton Fabric With Rose Fragrance Nanocapsule", Chinese Journal of Chemical Engineering, 19(3), 523-528.

KÖKSAL, E., GÖDE, F. (2017). "Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile E Vitamini İçeren Mikrokapsül Üretimi", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 12(1), 1-14.

MONLLOR, P., BONET, M. A., CASES, F. (2007). "Characterization Of The Behaviour Of Flavour Microcapsules in Cotton Fabrics", European Polymer Journal, 43(6), 2481-2490.

RANA, M., SİNGH, S. S. J., YADAV, S. (2017). "Effect Of Microencapsulated Plant Extracts On Mosquito Repellency", Journal of Applied and Natural Science, 9(4), 2127-2131.

SHARMA, R., GOEL, A. (2018). "Development Of Insect Repellent Finish By A Simple Coacervation Microencapsulation Technique", International Journal of Clothing Science and Technology, 30, 152-158.

STAN, M. S., CHİRİLA, L., POPESCU, A., RADULESCU, D. M., RADULESCU, D. E., & DİNİSCHİOTU, A.(2019). "Essential Oil Microcapsules Immobilized On Textiles And Certain Induced Effects", Materials, 12(12), 2029.

Presentation ID / Sunum No= 8

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-6106-388X

Gazlı İçecek Şişeleme Makinesi Üreten Bir İşletmede Üretim Çizelgeleme

Dr. Öğretim Üyesi Şebnem Demirkol Akyol[1]
[1]*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*
sebnem.demirkol@deu.edu.tr

Özet

Çizelgeleme belirli ihtiyaçları kısıtları veya hedefleri karşılamak amacıyla öncelik belirleme veya faaliyetleri düzenleme işidir. Diğer bir değişle çizelgeleme belirlenen sürelerde, mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılarak, ilgili görevlere tahsisi olarak tanımlanabilir. Çizelgeleme kavramı imalat veya hizmet endüstrisinde karşımıza çıkan bir karar verme sürecidir. Çizelgeleme probleminde bir veya daha fazla amaç optimize edilmek istenirken, bir yandan da probleme özgü kısıtların karşılanması gerekir. Bu çalışma kapsamında, gazlı içecek şişeleme makinesi üreten bir fabrika için üretim çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan üretim ortamında aktif olarak çalışan 5 makine ve bu makinelerde yapılması gereken 45 adet iş bulunmaktadır. Ayrıca, işler arasında öncelik ilişkileri söz konusudur. Literatürde akış tipi atölye çizelgelemesi olarak yer bulan mevcut problemde amaç, en büyük tamamlanma zamanını en küçüklemektir. Problemin çözümü için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, 5683 dakika olan en büyük tamamlanma zamanı 5268 dakikaya düşürülmüştür. Bu da üretimdeki en büyük tamamlanma zamanında %7,3'lük bir iyileştirme elde edildiği anlamına gelmektedir. Hiçbir ek maliyet gerektirmeden, sadece işlerin sıralanışının değiştirilmesiyle elde edilen bu iyileştirme firma tarafından büyük ilgiyle karşılanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atölye Tipi Çizelgeleme, Matematiksel Model, Optimizasyon

Production Scheduling in a Soda Bottling Machine Company

Abstract

Scheduling is the work of prioritizing or organizing activities to meet certain needs, constraints or objectives. Scheduling can be defined as the allocation of the available resources to the relevant tasks in the most efficient way, within the specified time. The concept of scheduling is a decision-making process that we encounter in the manufacturing or service industry. In a scheduling problem, one or more objectives must be optimized, while at the same time problem-specific constraints must be satisfied. In this study, the production scheduling problem for a factory producing a beverage bottling machine is discussed. There are 5 machines actively working in the production environment and 45 jobs that need to be executed. Moreover, there are precedence relations between jobs. In the current problem, which is defined in the literature as flow shop scheduling, the aim is to minimize the makespan. A

mathematical model has been developed to solve the problem. As a result of the study, the makespan was reduced to 5268 minutes from 5683 minutes. This means that an improvement of 7.3% was achieved. This improvement, which was achieved by changing order of the works without requiring any additional costs, was met with great interest by the company.

Keywords: Flow Shop Scheduling, Mathematical modelling, Optimization

1. GİRİŞ

Çizelgeleme insanlık kadar eski bir kavramdır. Çizelgeleme belirli ihtiyaçları kısıtları veya hedefleri karşılamak amacıyla öncelik belirleme veya faaliyetleri düzenleme işidir. Çizelgeleme kavramı hem imalat hem de hizmet endüstrisinde ortaya çıkar. Belirlenen sürelerde, mevcut kaynakları en verimli şekilde kullanarak, bir veya daha fazla amacı en iyileyecek şekilde ilgili görevlerin tahsis edilmesidir. Bir organizasyondaki mevcut kaynaklara örnek olarak, fabrikadaki makineler, havaalanındaki uçaklar, inşaatta çalışan ekipler; görevlere örnek olarak ise, üretim sürecindeki işler, havaalanındaki inişler kalkışlar, inşaat projesindeki aşamalar verilebilir. Her görevin öncelik ilişkileri, en erken başlama ve en geç bitme zamanı olabilir. Çizelgelemede, pek çok farklı amaç olabilir bunlar; teslim süresinin en küçüklenmesi, geciken iş sayısının en küçüklenmesi, fazla mesai çalışmalarının en küçüklenmesi, yarı mamul envanterinin en küçüklenmesi şeklinde sıralanabilir.

Hemen her sektörde karşı karşıya kalınan çizelgeleme problemi, araştırmacıların da ilgisini çekmiştir ve on yıllardır çalışılmaktadır. Taşgetiren vd. (2006) parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını ve değişken komşuluk arama yönteminlerini kullanarak atölye tipi çizelgeleme problemine çözüm geliştirmişlerdir. Çalışmanın amacı işlerin tamamlanma zamanını en küçüklemektir. Gomes vd. (2013) sipariş üzerine üretim yapan esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için karma tam sayılı bir matematiksel model geliştirmiştir. Dawd ve Ayvaz (2017) tek makine çizelgeleme problemini ele almıştır. Yazarlar, toplam gecikmeyi en küçükleme amacıyla bir dal sınır algoritması önermişlerdir. Bilgin vd. (2018) farklı özelliklere sahip işgücünü çizelgeleme problemini çalışmışlardır. Farklı ihtiyaçları ve öncelikleri bulunan işler için uygun ekipman ve çalışanlar belirlenmiştir. Problemin çözümünde matematiksel modele ek olarak 3 aşamalı bir sezgisel yöntem izlenmiştir. Zhou vd. (2019) geliştirdikleri öncelik kurullarını çizelgeleme problemine uygulamışlardır. Kucukkoc (2019) tekli ve çoklu üç boyutlu baskı makinelerinin zamanlama problemleri için performans ölçülerinin en uygun değerlerini bulmaya çalışmıştır. Problem farklı makine yapılanmalarını dikkate alınarak çözülmüştür. Çözümde karışık tam sayılı matematiksel model kullanılmıştır. Karabulut ve Saraç (2019) esnek atölye tipi çizelgeleme problemini çözmek amacıyla üç aşamalı bir prosedür uygulamıştır. Bu aşamalar; sıra bağımlı hazırlık süreli çizelgeleme, tek makine çizelgeleme ve paralel makine çizelgelemedir. Çalışmanın amacı toplam gecikmeyi en küçüklemektir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde problemin formal tanımı verilmiş ve geliştirilen çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Üçüncü bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmiş ve bu sonuçlar hakkında yorumlar yapılmıştır. Son olarak, dördüncü bölümde yapılan çalışmanın sonucu ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar açıklanmıştır.

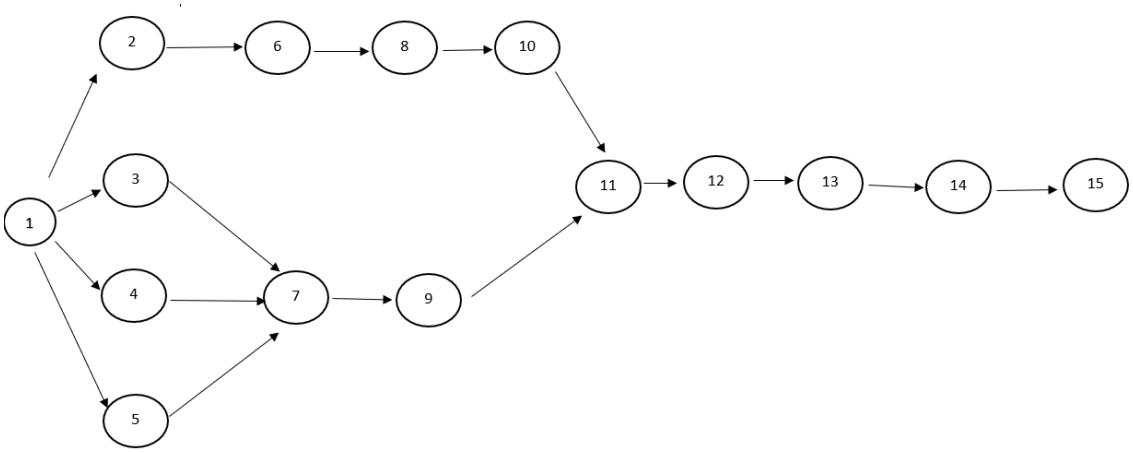
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Problemin Tanımı

Ele alınan problemde atölye tipi üretim yapan bir firmada üretim çizelgeleme çalışması yapılmıştır. Firma gazlı içecek dolumu yapan makinelerin imalatını yapmaktadır. Çizelgelemesi yapılacak işler şu şekilde sınıflandırılmıştır. Makineler bağ grubu olarak nitelendirilen alt bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bağ grupları da kendi içerisinde bileşenlere ayrılmaktadır ve bu alt bileşenlerin toplamı makine büyüklüğüne göre yüzlerce ya da binlerce parçadan oluşmaktadır. Çalışmanın başlangıcında 45 adet işin 5 farklı makinede işlem süreleri hesaplanmıştır. Bu veriler Tablo 1'de yer almaktadır. Verilen standart süreler dakika cinsindendir. Tablo 1'den de görülebileceği gibi işler, 15 farklı bağ grubuna; ve her bağ grubu da 3'er adet alt işe ayrılmıştır. Bağ grubu bazında öncelik ilişkileri Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İşlerin Standart Süreleri

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
P_{11}	272,71	331,61	218,57	279,46	158,27
P_{12}	250,00	331,61	296,54	273,79	263,25
P_{13}	199,15	157,77	219,29	249,09	292,43
P_{21}	198,55	154,45	208,47	334,95	188,95
P_{22}	208,36	221,54	275,72	209,27	243,94
P_{23}	164,90	202,14	156,66	182,24	218,10
P_{31}	160,33	106,67	116,21	87,12	70,93
P_{32}	181,53	202,03	151,47	209,77	175,36
P_{33}	208,87	192,90	156,52	117,56	150,88
P_{41}	79,73	115,22	95,58	143,88	99,96
P_{42}	89,84	117,77	83,23	92,54	138,83
P_{43}	139,73	83,77	119,83	106,01	118,24
P_{51}	88,50	147,05	205,91	147,40	201,33
P_{52}	75,15	59,18	85,15	107,72	120,04
P_{53}	61,95	98,85	80,76	109,55	73,45
P_{61}	205,91	261,48	149,71	205,30	147,13
P_{62}	113,89	140,88	173,04	185,81	163,61
P_{63}	59,39	82,73	107,54	69,64	97,91
P_{71}	231,41	207,98	217,82	188,26	154,17
P_{72}	146,15	122,23	94,43	106,75	54,96
P_{73}	81,75	81,78	77,59	111,64	77,99
P_{81}	117,56	83,98	80,42	87,12	196,36
P_{82}	77,99	118,38	92,30	102,17	102,18
P_{83}	104,57	70,67	69,45	83,04	104,11
P_{91}	198,61	209,58	263,96	324,51	181,98
P_{92}	140,56	111,32	95,98	108,32	100,72
P_{93}	60,39	69,26	72,12	85,55	94,60
$P_{10\,1}$	157,45	204,80	275,28	212,96	319,70
$P_{10\,2}$	83,21	85,59	98,52	92,66	101,02
$P_{10\,3}$	67,79	77,48	91,97	96,72	87,47
$P_{11\,1}$	102,40	92,08	157,07	181,35	146,17
$P_{11\,2}$	58,11	58,94	70,99	68,93	57,94
$P_{11\,3}$	43,48	52,27	58,71	60,44	72,42
$P_{12\,1}$	66,02	87,33	97,90	138,46	87,15
$P_{12\,2}$	100,00	102,03	76,29	72,04	82,16
$P_{12\,3}$	38,03	56,27	51,26	64,56	66,70
$P_{13\,1}$	80,16	11,12	10,76	132,84	147,80
$P_{13\,2}$	55,80	51,92	52,19	58,80	62,20
$P_{13\,3}$	46,14	56,37	58,65	68,87	60,75
$P_{14\,1}$	154,15	192,38	92,47	262,15	146,89
$P_{14\,2}$	59,47	53,85	54,95	67,54	77,30
$P_{14\,3}$	71,32	54,69	61,78	53,95	67,45
$P_{15\,1}$	212,90	172,79	274,01	180,83	230,49
$P_{15\,2}$	102,93	59,50	75,95	70,05	63,89
$P_{15\,3}$	71,33	67,758	60,157	86,92	83,306



Şekil 1. İşlerin Öncelik İlişkisi

2.2. Matematiksel Model

Çalışmada kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir.

n: Toplam iş sayısı

m: Toplam makine sayısı

i: İşler i=1,2,….,15

j: Makineler j=1,2,3,4,5;

k: Operasyonlar k=1,2,3

h: Öncelik ilişkileri indisi h=1,2,….h_i

J_i : i. iş

k_i : J_i işine ait operasyon sayısı (her işin 3 operasyonu vardır.)

O_{ik} : i işinin k. Operasyonu

M_j: j. Makine (toplamda 5 makinemiz vardır)

P_{ikj} : O_{ik} operasyonunun j. Makine üzerindeki işlem süresi

t_{ik} : O_{ik} operasyonun başlama zamanı

Tm_{jh} : h. Önceliğe sahip j. Makinenin başlama zamanı.

U : m boyutundaki makineler kümesi

U_{ik} : O_{ik} operasyonu için kullanılabilecek makine sayısı

PS_{ik} : O_{ik} operasyonunun makine atandıktan sonraki işlem süresi

C_{ik} : O_{ik} operasyonunun işlem zamanı

C_{max} : En son biten operasyonun işlem zamanı

Karar Değişkenleri:

y_{jik} = 1 O_{ik} operasyonu için j makinesi seçilecekse

0 Aksi halde

X_{jikl} = 1 O_{ik} operasyonunun l sırada işlenmesi için j makinesi seçilecekse

0 Aksi halde

Amaç Fonksiyonu:

Min C_{max} = (C_{ik}) (1)

Kısıtlar:

t_{ik} + Psik $\leq t_{i,k+1}$ i=1,2…n; h=1,2…h_{i-1} (2)

$T_{mj,h}$ + Psik . $X_{jikh} \leq T_{mj,h+1}$ (3)

$T_{mj,h} \leq t_{i,k+(1-X_{j,i,k,h}).L}$ (4)

$T_{mj,h}$ + (1- $X_{j,i,k,h}$).L (5)

$Y_{j,i,k} \leq a_{j,i,k}$ (6)

$$\Sigma \sum_k x_{j,i,k,h} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_h y_{j,i,k,h} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_h x_{j,i,k,h} = y_{j,i,k} \quad (9)$$

$t_{i,k} \geq 0$ (10)

$P_{sik} \geq 0$ (11)

$T_{mj,h} \geq 0$ (12)

$X_{j,i,k,h} \in (0,1)$ (13)

$y_{j,i,k} \in (0,1)$ (14)

Amaç fonksiyonu son işin sistemi terk ettiği süreyi en küçükler. Eşitlik (2) işlerin öncelik ilişkilerini belirtir. Eşitlik (3) her makineye aynı anda yalnızca tek bir operasyon atanmasını garanti eder. Eşitlik (4), O_{ik} işinin atandığı k makinesi boşta kaldığı anda işleme alınmasını sağlar. Eşitlik (5), O_{ik} işinin kendinden önce gelen aynı işe ait operasyonun O_{ik-1} tamamlandıktan sonra işleme alınmasını sağlar. Eşitlik (6) operasyonun, yapılabilineceği makineye atanmasını garanti eder. Eşitlik (7) operasyonun makineye atanmasını ve işlerin makine üzerindeki sırasını belirlemeyi sağlar. Eşitlik (8) operasyonun yalnızca tek bir makinede işleneceğini sınırlayan kısıttır. Eşitlik (9) her işe ait operasyonların öncelik kısıtının da işlenmesini sağlar. Eşitlik (10), (11) ve (12) değişkenlerin sıfırdan büyük eşit olmasını sağlar. Eşitlik (13) ve (14), operasyonların makine atama ve sıralamasını belirleyen değişkenlerini 0 veya 1 olmaya zorlayan kısıtlardır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Matematiksel model Lingo çözücüsünde çözdürülmüş ve en iyi çözüm 144. iterasyonda gözlenmiştir. İyilşetirme çalışması yapılmadan önce son işin sistemi terk ettiği süre 5683 dakika iken, yapılan çizelgeleme çalışması sonucunda bu değer 5268 dakikaya indirilmiştir.

4. SONUÇ

Çizelgeleme problemi hemen hemen tüm sektörlerde ortaya çıkan bir atama problemdir. Bu çalışmada, gazlı içecek dolumu yapan makineler üreten ve İzmir ilinde ikamet eden bir işletme incelenmiştir. 45 adet işin 5 farklı makineye atandığı atölye tipi çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için bir matematiksel model geliştirilmiş ve Lingo çözücüsünde çözdürülmüştür. Elde edilen sonuçlar, son işin sistemi terk ettiği sürenin 5683 dakikadan 5268 dakikaya düştüğünü göstermiştir. Bu durum %7,3'lük bir iyileştirmeye tekabül etmektedir. Ayrıca bu iyileştirmenin gerçekleştirilmesi için hiçbir ek maliyet ortaya çıkmamış, yalnızca işlerin sıralamaları değiştirilerek bu sonuca ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

BİLGİN, G. K., YÜCEL, E., & KUYZU, G. (2018). Öncelik Seviyelerine Sahip Çoklu Yetenek Gerektiren İşler için Ekip Oluşturma, Çizelgeleme ve Rotalama. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20(60), 930-945.

DAWD, S. T., & AYVAZ, B. (2017). A branch and bound approach for single machine scheduling problem. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(31), 43-55.

GOMES, M. C., BARBOSA-PÓVOA, A. P., & NOVAİS, A. Q. (2013). Reactive scheduling in a make-to-order flexible job shop with re-entrant process and assembly: a mathematical programming approach. International Journal of Production Research, 51(17), 5120-5141.

KARABULUT, M. A., & SARAÇ, T. (2019). Kapasite kısıtlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için üç aşamalı bir çözüm yaklaşımı ve bir işletmede uygulanması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27(3), 233-241.

KUCUKKOC, I. (2019). MILP models to minimise makespan in additive manufacturing machine scheduling problems. Computers & Operations Research, 105, 58-67.

TASGETİREN, M. F., SEVKLİ, M., LİANG, Y. C., & YENİSEY, M. M. (2006). A particle swarm optimization and differential evolution algorithms for job shop scheduling problem. International Journal of Operations Research, 3(2), 120-135.

ZHOU, J., WANG, T., CONG, P., LU, P., WEI, T., & CHEN, M. (2019). Cost and makespan-aware workflow scheduling in hybrid clouds. Journal of Systems Architecture, 100, 101631.

Presentation ID / Sunum No= 48

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-4556-4331

Kırsal Alandaki Endüstri Mirası ve Koruma Sorunları: Değirmenler

Dr. Öğretim Üyesi Sezgi Giray Küçük[1]
[1]*Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mimari Restorasyon Programı*
sezgi.giray.kucuk@msgsu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, antik dönemden bu yana üretime büyük katkılarda bulunmuş endüstri yapılarından olan değirmenler, kullanılan güç kaynağı ve üretilen ürüne göre sınıflandırılarak, değirmeni oluşturan öğeler, malzemeleri, yapım teknikleri ve tarih içindeki gelişimi bağlamında incelenmekte ve değirmenlerin günümüz durumları ile koruma sorunları gözler önüne serilmektedir. İnsanların temel yiyeceği olan ekmeğin ham maddesi olan unun üretimi için gereken tahılların, insan gücüyle öğütülmesi ile el değirmenleri, ilk kullanılan değirmenler olmuştur. Daha sonra hayvanların ve doğanın gücünden yararlanılarak at, su, yel, buhar değirmenleri ortaya çıkmıştır. Özellikle Orta Çağ'da enerji üretiminde büyük paya sahip olan değirmenler, günümüzde eski önemini yitirmiş, yerini daha büyük ölçekli, fabrika, hidroelektrik santral gibi yapılara bırakmıştır. Büyük bir kısmı kırsal alanda konumlanan ve işlevsiz kalan pek çok değirmen yapısı zaman içinde yıkılmış, bazıları harap olmuş, bazıları ise yeni işlev verildiği için korunabilmiştir. Mevcut yapıların yeniden kullanımı, yapının bulunduğu çevreye ekonomik, kültürel ve sosyal anlamda katkı sağlamaktadır. Kırsal peyzajın değerli endüstri yapılarından olan değirmenlerin, özgün niteliklerini koruyacak şekilde işlevlendirilerek restore edilmeleri, hem mevcut yapıların hayata katılmasıyla ekonomik olarak, hem de kültür varlığı değeri taşıyan yapıların yaşatılması ve geçmiş kültürlerin geleceğe aktarılmasıyla kültürel olarak, büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Değirmen, Kırsal, Koruma, Endüstri Mirası, Yel

Industrial Heritage in Rural Area and Conservation Problems: Mills

Abstract

In this study, the mills, which are among the industrial structures that have made great contributions to production since ancient times, are classified according to the power source used and the product produced, and the elements that make up the mill are examined in the context of their materials, construction techniques and their development in history, and the present situation of the mills and the conservation problems are revealed. Hand mills became the first mills to be used by grinding the grains required for the production of flour, which is the raw material of bread, which is the basic food of people, by human power. Later, horse, water, wind and steam mills emerged by using the power of animals and

nature. Mills, which had a large share in energy production especially in the Middle Ages, have lost their former importance today and have been replaced by larger-scale structures such as factories and hydroelectric power stations. Many mill structures, most of which are located in rural areas and become dysfunctional, were demolished over time, some of them were destroyed, and some of them were preserved because they were given a new function. The reuse of existing buildings contributes to the region in which the building is located, in economic, cultural and social terms. Restoring the mills, which are valuable industrial structures of the rural landscape, in a way that preserves their original qualities, is of great importance both economically by incorporating the existing structures into life, and culturally by keeping the structures with cultural asset value alive and transferring the past cultures to the future.

Keywords: Mill, Rural, Conservation, Industrial Heritage, Wind.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze, ihtiyaçlar çerçevesinde pek çok icat yapılmıştır. Temel yiyecek olan ekmeğin üretimi için gerekli buğday, arpa, mısır gibi tahılların un haline getirilmesi de tarih içerisinde, ihtiyaç duyulan başlıca aletlerden olmuş ve böylece değirmen keşfedilmiştir. Öncelikle elde iki taş arasında ezilerek ufalanan ve un haline getirilen tahıl, daha sonraları sırasıyla el değirmeninin ve at, eşek gibi hayvanların çevirdiği değirmenin bulunmasıyla daha kolay bir şekilde öğütülmeye başlanmıştır. Doğanın su ve rüzgâr gücünün keşfedilmesi ve enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla bulunan su ve yel değirmenlerine, el değirmenlerine kıyasla daha büyük mekanizma ve dolayısıyla mekân gerekmiş, böylece değirmenler için özel yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Doğa içerisinde, kırsal alanda yer alan bu yapıların strüktürel açıdan dayanıklı olması gereken beden duvarları, değirmen taşı gibi mimari öğelerinde taş malzeme, değirmen kanatları, mekanizması ve yapının çatısı gibi, daha hafif ve gerektiğinde hareket edebilmesi beklenen öğelerinde ise genellikle ahşap kullanılmıştır.

2. DEĞİRMENLER

Değirmen, tahıl gibi taneli ürünleri öğütmeye yarayan araç ya da aygıt ile bu aygıtın bulunduğu ya da kurulu olduğu yapıya denmektedir (Büyük Larousse, 1986). Anadolu Selçuklularında ve Osmanlı Türkçesinde Farsça kökenli "âsiyâb" sözcüğünün de değirmen için kullanıldığı bilinmektedir (Bir vd., 2012). Değirmenler, kullanılan güç kaynağına göre ve üretilen ürüne göre sınıflandırılabilir.

Kullanılan güç kaynağına göre değirmenler, yel (rüzgâr), su, buhar, at, el değirmenleri olarak ayrılabilir. Rüzgâr gücü, su gücü ve buhar makineleri ilk kez değirmenlerde kullanılmıştır (Ezgeç, 1998). Fatih Kanunnamesi'nde değirmenler, dolap değirmeni, karaca değirmeni (su değirmeni) ve yel değirmeni olarak üç tipe ayrılmıştır (Arıkan ve Martal, 1998).

Üretilen ürüne göre yapılan sınıflandırmada en sık, un değirmenlerine rastlanmaktadır. Tahılların öğütülerek un haline dönüştürülmesi, on bin yıldır medeniyetlerin en önemli ve sürekli gelişen bir parçası olmuştur. Un değirmenleri muhtemelen hayvan gücünün kullanıldığı ilk endüstri alanıdır. Bunun yanı sıra barut değirmeni, çeltik veya bulgur (dink değirmeni), yağ değirmeni, kâğıt değirmeni gibi örneklere de rastlanmaktadır.

2.1. El Değirmenleri

Enerji teknolojisinin ilk dönemleri insan gücü ve hayvan gücünün yaygın kullanımı ile tanımlanmaktadır. Canlı enerji kaynaklarından cansız enerji kaynaklarına geçiş sürecinde önemli ilk gelişmeler M.Ö. 6. ve 5. yüzyıllara tarihlenen ve ekseni üzerinde dönen el değirmenlerinin kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Değirmenin ilkel örnekleri, insan soyunun toprağa bağlandığı ve ilk tarım etkinliklerinin başladığı döneme kadar uzanır. Tahıl tanelerini iki taş arasında ezerek un elde etmeye başlayan insanlar, bu işlemi geliştirerek ilk el değirmenlerini ortaya çıkarmışlardır. Bu tarihten önce, öğütme taşları kullanılmıştır. Biri yassı diğeri yuvarlak ve üst üste konumlanmış iki taşın arasındaki tahıl, insan gücüyle ezilerek un elde edilmiştir. Daha sonra bu düzenek geliştirilerek, iki yassı yuvarlak taşın ortalarındaki deliklerden geçen ahşap mil ve üstteki diske takılan bir kol ile daha kolay

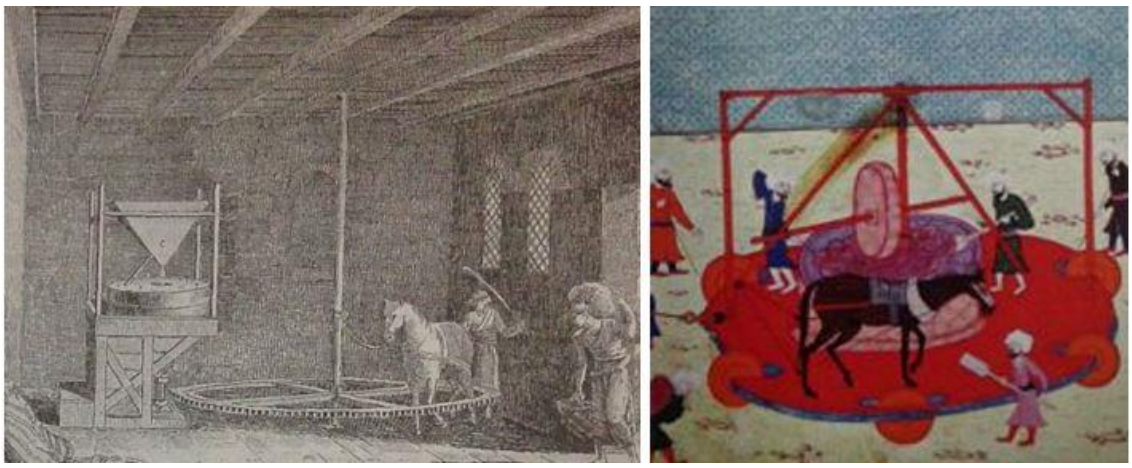
dönmesi sağlanmıştır (Bir ve Kayral, 2001) (Şekil 1). Çeşitli arkeolojik araştırmalarda bu tip öğütme araçlarının yanında ezgi taşları, havan ve dibeklere de rastlanmıştır (Maşalı, 2006).

Şekil 1: El değirmeni örneği (Bir vd., 2012).

El değirmenlerinin ilk kez Anadolu'da ortaya çıktığı hususunda araştırmacılar hemfikirdir (Tosun Soyel ve Ahunbay, 2009). Bu değirmenlerinin yaygınlaşmasıyla dönel devinimli makine fikrinin gelişmesi sağlanmıştır. Özellikle hayvan gücü ile hareket ettirilen un değirmenleri ile ilgili olarak arkeolojik ve belgesel veriler, bu türün Roma İmparatorluğu döneminde tüm Akdeniz ülkelerinde kullanılmaya başlandığını göstermektedir. Ancak su çarkının keşfinin M.Ö. 1. yüzyıla kadar gerçekleştirilemediği anlaşılmaktadır.

2.2. At Değirmenleri

Geçmiş dönemlerden beri, özellikle tarım toplumlarında, at, eşek, öküz gibi hayvanların gücünden pek çok alanda faydalanılmıştır. Değirmenler de bunlardan biri olup genellikle değirmen taşını döndürmede atlar kullanılmıştır. İstanbul'da Bizans döneminden 19. yüzyılın ortalarına değin, at ile çalışan küçük semt değirmenleri var olmuştur. At gücüyle çalışan değirmenlerde, hububatı öğütmek için kullanılan her bir değirmen taşını dört at çevirmekteydi. Maliyetleri bu nedenle diğer değirmenlere kıyasla daha fazlaydı fakat bu tür değirmenlerin çalışmasında belli bir istikrarın olması bir avantajdı (Sakaoğlu, 1996) (Şekil 2). Su ve rüzgâr gücüyle çalışan değirmenler ise tabiat şartlarına bağlı olduğu için her zaman aynı verimlilikte olmamışlardır.



Şekil 2: a) At değirmeni (Sakaoğlu, 1996). b) Surnâme'de at değirmenleri tasviri (Atasoy, 1997).

Evliya Çelebi, 17. yüzyılın ortalarındaki durumu belirtirken İstanbul'da mahalle aralarındaki küçük değirmenlerde midillilerin bu iş için kullanıldığını söylemiştir. Uncu ve değirmencilerin asıl iş yerleri Unkapanı ve Beyazıt'taydı. Beyazıt'taki değirmenci esnafı 1870'te burada bir meydan düzenlemesi yapılıncaya kadar faaliyetlerini sürdürmüşlerdir. Buradaki son at değirmeni ise 1940'lara değin çalışmıştır. Midilli koşularak döndürülen bu değirmende İstanbullu kadınlar dişbuğdayı ve aşurelik kırdırmışlardır (Sakaoğlu, 1996).

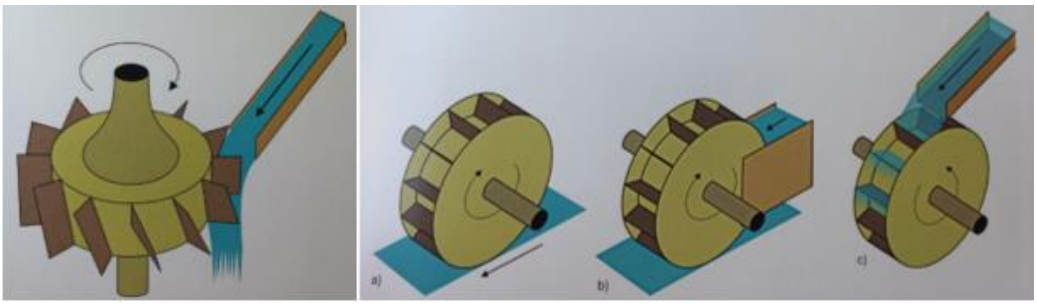
İstanbul değirmencilerinin ihtiyaç duydukları taşlar, Foça'da Seng-i Asiyâb Mukataası tarafından imal edilmekte ve İstanbul'a getirilmekteydi (Arıkan, 2016). Foça'dan başka bir yerden değirmen taşı getirilmesine izin verilmemekteydi. Çünkü Seng-i Asiyâb Mukataası gelirinin büyük bir kısmı, Foça'da imal edilen taşlardan sağlanmaktaydı. Dolayısıyla İstanbul'a Foça'dan başka bir yerden değirmen taşı

getirilmesi devletin zarara uğraması anlamına gelmekteydi. Foça'da imal edilen ve İstanbul'da değirmencilere satılan taşlardan "horos" denilen taşın eni sekiz karış, kalınlığı ise sekiz parmaktı. Buna karşılık "çarh" denilen taşın eni on iki karış, kalınlığı ise sekiz parmaktı.

2.3. Su Değirmenleri

Antik dönemden beri kullanılagelen su değirmenleri, Orta Çağ Avrupa'sında Doğu Akdeniz Bölgesi'nde M.Ö. 150-100 yıllarında ortaya çıkmıştır. Anadolu'da ise Amasyalı Strabon, bilinen en eski su değirmeninin Kelkit Irmağı üzerine Mithridates Krallığı döneminde M.Ö. 1. yüzyılda inşa edildiğini yazmıştır (Danışman, 2003). Diğer bir kaynakta ise ilk su değirmeninin M.Ö. 18 tarihinde Pontus Krallığı'nda kullanıldığı ifade edilmektedir (Arıkan ve Martal, 1998).

Su değirmenleri, kullanılan çarkın konumuna göre yatay ve dikey su çarkları olarak adlandırılmıştır. Yatay su çarkları, dikey milli olup, dikeyle yaklaşık otuz derecelik açı yapan ve milin alt kısmına yakın bir tekerlek göbeğine sabitlenmiş bir dizi kanattan oluşmaktaydı ve bunlara "Norse Değirmeni" de denmekteydi. Su, dik bir açıyla alçalan tahta oluk yardımıyla kanatların üzerine akıtılırdı (Şekil 3). Bu şekilde değirmen taşı, bir dikey mil yardımıyla dişlilere gerek kalmadan doğrudan döndürülürdü. Bu sistem bir kontrol mekanizmasının eklenmesi dışında 2000 yıl boyunca değişmeden kalmıştır (Landels, 1996). Dikey su çarkları ise, düşey milli olup bunun da çeşitleri bulunmaktadır. Romalı mimar-mühendis Vitrivius, Orta Çağ Avrupa'sının endüstrileşmesinde büyük bir önem taşıyan bu değirmen türünü anlatan ilk kişi olduğundan (Gimpel, 1973), bu tip çarklar anlatıcısının adı ile "Vitruvian" olarak da anılır. Vitruvius'un tanımına göre, bu çarkın dış çevresinde nehirdeki akım tarafından döndürülen kanatlar vardır. Bu sistemde üretilecek gücün büyüklüğü, akan suyun hızı ve suyun etki ettiği kanatların alanına bağlıdır. Dikey su çarkları, çevrilme yönüne göre, üstten çevrilen, alttan çevrilen ve göğüsten çevrilen çarklar olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Şekil 3). Bunların arasında enerji verimi en yüksek olanı, üstten çevrilen çarklardır. Üstten çevrilen çarklarda su belli bir yükseklikten akarak çarkı döndürürken, elde edilen enerji diğerlerine göre çok daha fazla olmasına karşın, sistemin ilk yapım maliyeti yüksek olur çünkü suyun belli bir yüksekliğe çıkartılması pahalıya mal olur. Buna karşın alttan çevrilen çarklar için gerekli tek düzenek yalnızca bir nehir ya da dere kenarında inşa edilen dikey bir duvar olur. Bu nedenle eskiçağda verimliliği daha düşük olmasına rağmen alttan çevrilen çarklar tercih edilmiştir (Landels, 1996).

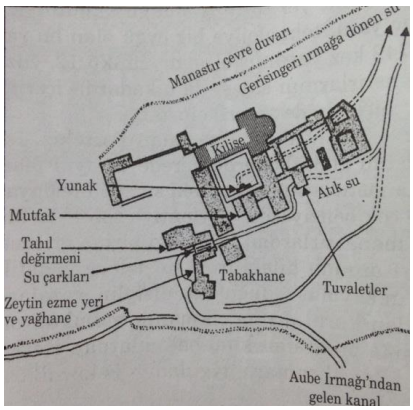


Şekil 3: Soldaki şekilde yatay su çarkı (düşey milli eğik kanatlı türbin tipi çark) (Bir vd., 2012). Sağdaki dikey su çarkı; a) yatay milli alttan çevirmeli, b) yatay milli göğüslemeli, c) yatay milli üstten çevirmeli su çarkları (dikey su çarkı).

Su, Orta Çağ'da önemli bir enerji haline gelmiş ve yalnız değirmen taşlarının değil, hızar, bıçkı ve diğer çarkların döndürülmesinde temel bir araç işlevi görmüştür. Férnand Braudel, "Mekanik İhtilal" olarak nitelediği bütün teknik gelişmelerin su ve yel değirmenlerinin hızlı bir biçimde artışına ortam hazırladığını vurgulamaktadır. Su değirmenleri özellikle köylerin çevresine akarsu boylarına kurulmuş, ikinci aşamada da kentlerin yakınlarına sıralanmıştır (Arıkan ve Martal, 1998). Marc Bloch'un, su değirmenleri ile ilgili makalesinde değindiği gibi, su değirmenlerinin geniş ölçüde işlemeye başlaması, oldukça önemli teknik, ekonomik ve toplumsal sonuçlar doğurmuştur. İnsan ya da hayvan gücünün yerini su almış, o zamana kadar görülmeyen bir iş bölümü gündeme gelmiştir. Çünkü eskiden tahıl döven kişiler hem değirmencilik hem de fırıncılık yapıyorlardı. Değirmenlerin inşası ile un yapımı ile ekmek üretimi de birbirinden ayrılmıştır (Arıkan ve Martal, 1998).

Su gücünün kullanımı ile ilgili önemli bir saptamanın da J. Gimpel (2005) tarafından yapıldığı görülmektedir. Fransa'da 1136 yılında yapımına başlanan Clairvaux Manastırı, iki nehrin sularının

birleştiği noktaya kurulmuştur. Buradaki suyun gücünden faydalanarak manastırın hemen hemen tüm işinin görüldüğü, Clairvaux Raporu'nda ifade edilmiştir. Bu raporda, suyun önce değirmene gelip buğdayı öğütecek taşları döndürdüğü, unu kepekten ayıracak ince elekleri çalkaladığı, kıyafetlerin yıkanması için dibeklerdeki büyük tokmakları indirip kaldırdığı, tabakhanede ayakkabı yapımı için derilerin işlenmesine yardımcı olduğu ve en sonunda tüm pislikleri toplayıp götürerek her yanı tertemiz yaptığı, öyküsel bir üslupla anlatılarak, tüm büyün bu işlerin, su gücü olmasa pek çok hayvan ve insanın yorulmasına sebep olacağı ve dolayısıyla suyun önemine dikkat çekilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Clairvaux Manastırı'nın planında değirmenler, su çarkları, tabakhane (Gimpel, 2005).

Osmanlı İmparatorluğu'nda da kullanılan enerji çeşidine göre, su, yel, sel, el değirmenleri, üretilen ürün çeşidine göre, çeltik değirmenleri (dink) ve tahunhane denilen yağ değirmenleri kullanılmıştır (Arıkan ve Martal, 1998). Osmanlı İmparatorluğunda değirmenlerin gelir getirmiş olması sebebiyle bazı yapılara vakfedildikleri ve bu yapıların ayakta kalmasını sağladıkları da bilinmektedir.

Su gücü ile çalışan değirmenler de kendi içinde su yükseldiğinde kullanılan gel-git değirmenleri, sel bastığında kullanılan sel değirmenleri, bir halat yardımı ile kıyıya bağlı olan ve su üzerinde yüzen sal değirmenleri şeklinde çeşitlenir (Gimpel, 2005). Sal değirmenlerinde salın kenarında bulunan paletli dolap, sal nehir dibine ağırlıklarla demirli ve kıyıya iplerle bağlı olduğundan akan nehir tarafından çevrilir. Bir dişli takımı, hareketi dikey mile iletilir. Dikey milin üst yatağını sabit bir değirmen taşı oluşturur. Milin üst ucu, sabit taşın üzerinde dönebildiğinden değirmen taşını çevirir. Bu taşın ortasına dökülen buğday taneleri taşlar arasında ezilir, oluşan un sabit taştaki bir delikten çuvallara aktarılırdı (Bir ve Kayral, 1998). Osmanlıların savaş esnasında bazı acil durumlarda Tuna Nehri üzerinde çalışan değirmen gemilerini toplatarak, akarsuyu aşabilmek amaçlı köprü yapımı için kullandığı bilinmektedir. Bu değirmen gemilerinin, Tuna Nehri üzerinde demirlemiş olarak duran ve ırmak akıntısından yararlanarak çalışan su değirmenleri (Tanyeli ve Tanyeli, 1990) yani sal değirmenleri olduğu anlaşılmaktadır.

2.4. Yel Değirmenleri

Öğütme tekniklerinin gelişim sürecinde rüzgâr gücünün etkin olarak kullanılması su çarklarından çok daha sonra olmuştur. Yel değirmenleri M.S. 5. yüzyılın başlarında Çinliler tarafından bulunmuştur. Bu değirmenlere, 7. yüzyılda doğuda, özellikle İran'da sıkça rastlanmaktadır. Önceleri sulamada kullanılan rüzgâr gücü hemen ardından değirmenlerde kullanılmaya başlandı. İlk yel değirmenleri genellikle iki katlıydı. Değirmen taşları ile yel değirmeninin kanatları aynı dik aks üzerinde olmak üzere, rüzgâr kanatları zemin katta, değirmen taşları üst katta bulunurdu (Şekil 5a). Rüzgâr hangi yönden eserse essin, dönen çark vasıtasıyla değirmen taşının hareketi sağlanmış olurdu. 12. yüzyılda rüzgâr gücü, uzak ve yakın doğuda değirmenciliğin yanı sıra diğer alanlarda da en önemli enerji kaynağı haline gelmişti. 12. yüzyıl başlarında Avrupa'da kullanılmaya başlanan yel değirmenlerinin çıkış noktası hakkında pek çok farklı düşünce vardır. Bazıları yel değirmenlerinin İran'dan Rusya ve İskandinavya vasıtasıyla Avrupa'ya geçtiği yönündedir. Bu görüşlere karşın, Batı Avrupa değirmenleri doğudakilerden oldukça farklıdır. Avrupa'da kanatlar dik olarak yerleştirilerek, bilinen anlamıyla yel değirmenleri kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 5b). Bu düzenleme ile daha büyük ve verimli güç elde edilmesine karşın değirmen kanatlarının hâkim rüzgâr yönüne çevrilmesi gerekmekteydi. Ege'de hâkim rüzgâra doğru yerleştirilmiş basit yel değirmenlerinin çatıları konik biçimde samanla kaplıydı. Buna karşın Batı Avrupa'da daha

geliştirilmiş yel değirmenleri bulunmaktaydı. Ahşap bir ayak üzerine yerleştirilen kanatlar gövde ile beraber dönerek yüzünü hâkim rüzgâra çevirebiliyordu. Bununla beraber kanatların ve değirmenin bir ayak üzerinde taşınması çok zordu. Bu sorun da 1430'da Alman mühendisler tarafından çözüldü. Yeni sistemde ana gövde sabit tutulurken kanatları taşıyan çatı kısmının ahşap çokgen taşıyıcılar üzerindeki tekerlekler ya da tuğla silindirler vasıtasıyla döndürülmesi sağlanıyordu (Landels, 1996). Yel değirmenleri, un üretiminin yanı sıra bir dönem boyunca sulama ve tekstil sanayinde de kullanıldı. 19. yüzyılın sonlarında İngiltere'de yel değirmenleri hala inşa edilmekteydi. Ancak endüstri alanındaki gelişmelerden sonra, rüzgâr gücü su gücü gibi giderek önemini yitirdi. Önceleri buhar makinelerinin daha sonra da dizel motorların bu değirmenlere adaptasyonu ile rüzgâr gücünden faydalanmayı sağlayan değirmen kanatları ortadan kalktı.

Şekil 5: a) Afganistan Herat'ta düşey milli yel değirmenlerinin kalıntıları (Yel Değirmeni, 2011).

b) Muğla Bodrum'da yatay milli yel değirmeni, 2011 (fotoğraf yazar tarafından çekilmiştir).

2.5. Buhar Değirmenleri

Rüzgâr ve su gücünün yerini zamanla buhar gücü almıştır. İlk buhar makinesi 1698 tarihli olsa da buhar makinesi 1712'lerden itibaren Newcomen'ın yaptığı çalışmalar sayesinde su gücüne alternatif olarak düşünülmeye başlandı. Ancak bu geçiş dönemi oldukça ilginçtir. Önceleri buhar makineleri suyu değirmenin üst katına pompalıyor ve bu su geleneksel su değirmenini çalıştırıyordu. Newcomen'ın geliştirdiği buhar makinesini su değirmenlerine ilk uyarlayan bu konuda pek çok çalışması bulunan Smeaton'dır. 1781 yılındaki bu uygulamadan sonra, 1784 yılında Boulton ve Watt çarkların aynı zamanda çalıştırılmasını sağlayan motoru geliştirdiler. 19. yüzyılın buhar makineleri üzerinde yapılan çalışmalar devam ederken, hala su çarkları ana güç kaynağıydılar. Nitekim 1824 yılında Fransız Poncelet, bentlere eğim vererek suyun akış hızının arttılırması ve çarkın üzerindeki pervanelerin kavislendirilmesi suretiyle, su gücü ile çalışan değirmen teknolojisinde büyük gelişmeler kaydetti. Amerikalı Oliver Evans su değirmenlerini daha da geliştirdiyse de aynı dönemde buhar türbinlerinin kullanılmaya başlanması sonucu Evans'ın çalışmaları bir işe yaramadı (Winter, 1970).

3. DEĞİRMENLERİN GÜNÜMÜZ DURUMU VE KORUMA SORUNLARI

Günümüzde, nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve sanayileşme gibi sebeplerle enerjiye olan talep oldukça artmış, dolayısıyla enerji kaynakları da bir hayli çeşitlenmiştir. Kömür, petrol, doğal gaz günümüzde kullanılan fosil kaynaklı; uranyum ve toryum çekirdek kaynaklı, yenilenemez enerji kaynaklarından, hidrolik, güneş, biyokütle, jeotermal, dalga, gel-git, hidrojen ise yenilenebilir enerji kaynaklarındandır (Koç ve Kaya, 2015).

Enerji kaynaklarının değişiminin yanı sıra, kuraklık ve değişen yağış rejimi, açılan derin su kuyuları, sanayileşmenin artması gibi sebeplerle su değirmenlerinin üzerinde yer aldığı derelerin suları azalmış, bazıları ise kurumuştur. Dolayısıyla su değirmenlerinin sayısı azalmıştır. Elektrikle çalışan şehir değirmenlerinin de bu azalışı hızlandırdığı ortadadır. Günümüzde, hala eskiden olduğu gibi, su ve rüzgâr, enerji kaynağı olarak kullanılmaya devam edilmektedir. Ancak geleneksel değirmenlerin yerini büyük ölçekli hidroelektrik santraller ve rüzgâr türbinleri almıştır. El ve at değirmenlerinin ise pek kullanım alanı yoktur. Zaman içinde, geleneksel yaşantının teknolojik gelişmeye karşı koyamaması sonucu, kırsal alanlarda yer alan birçok su ve yel değirmeni, kaderine terk edilmiştir. Pek çoğu yıkılmış veya yıkılmaya yüz tutmuş, makine ve taşları sökülmüştür. Bazılarının masif taş kütleli beden duvarları kalmış, ahşap çatısı yok olmuştur. Bu değirmenlerin büyük kısmı, özel mülkiyette olduğundan, devlet tarafından korunmaları söz konusu olamamıştır. Atalarından miras kalan değirmenleri çalıştırmaya

kararlı birkaç kişi tarafından bazı değirmenler günümüzde hala kullanılmaktadır. Ancak bu kişiler, değirmenden yeteri kadar gelir elde edemediklerini söylemektedir. Yapıların kullanıcıları, hayvan yemi öğütmek isteyen köylüler veya kendi ürettikleri buğdayı un haline getirmek isteyen az sayıda kişidir. Kullanılan değirmenlerin "sepet" gibi bazı kısımları plastik parçalar ile değiştirilmiş, özgünlüğü zedelenmiştir. Muş-Varto'daki yüz elli yıllık (Muş Ovası Gazetesi, 2013), Sakarya-Taraklı'daki beş yüz yıllık (Geyve Yöresi, 2013). Hatay-Erzin'deki yüz yıllık su değirmenleri (Yurt haber, 2012) güçlükle ayakta duran fakat hala çalışan değirmenlere örnek olarak gösterilebilir.

Muğla-Bodrum, Datça, Marmaris, Bursa-Gölyazı, İzmir-Foça, Aydın-Didim, Bolu-Göynük, Balıkesir-Cunda gibi çeşitli şehirlerin rüzgârlı tepelerine kurulmuş olan yel değirmenleri, uzun yıllar kullanılmıştır. Bodrum'un rüzgâr alan tepesinde art arda sıralanmış beş değirmen, hemen dikkati çeker. 2011 yılında tarafımdan yapılmış gözlemlere göre, Bodrum'un geleneksel mimarisi gibi beyaz boyalı olan bu değirmenlerden biri restore edilmiş vaziyette (Şekil 5b) olup diğer değirmenler kullanılmamaktadır. Değirmenlerin kısmen de olsa beden duvarları mevcut olup çatıları yıkılmıştır. Yalnızca biri oldukça harap haldedir ve Bodrum değirmenlerinin yapım tekniği ile ilgili bilgi vermektedir (Şekil 6a). Restore edilmiş yel değirmeninin cephesi, taşlar kısmen görülecek şekilde kireç ile sıvanmıştır (Şekil 5b). Çatısı yeni ahşaplar ile tekrar inşa edilmiş, üzerine yağmurdan korunmak için, alüminyum olduğu düşünülen bir kaplama yapılmıştır. Kapı ve pencere doğramaları yenilenmiş, yelken bezleri olmaksızın sembolik bir pervane takılmıştır. Beden duvarı örgüsünde moloz taş, bağlayıcı olarak ise kireç harcı kullanılmıştır. Çatıyı tutması amaçlı konulduğu düşünülen iki kütük, işlenmeden ham halde beden duvarlarına kısmen oturtulmuştur (Şekil 6b). Bu kütüklerin daha küçükleri kapı boşluğu üzerinde, lento işleviyle kullanılmıştır. Merdivenler blok olarak, moloz taş duvar örgüsünün üzerine oturtulmuş, kısmen de beden duvarına geçirilmiştir (Şekil 6c).

Şekil 6: a) Harap haldeki yel değirmeni b) Çatıyı tutan kütükler c) Merdivenler, 2011 (fotoğraflar yazar tarafından çekilmiştir).

Dünya genelinde, özellikle Avrupa ve Amerika'da 1960'lardan itibaren özgün işlevlerini yitiren su değirmenlerinin turizme yönelik çeşitli kullanımlarla değerlendirildiği bilinmektedir. Bazıları su değirmeni müzesi (Water Mill Museum, 2022), bir kısmı organik undan pasta, çörek satılan bir kafe, hediyelik eşya mağazası, ya da çeşitli kursların düzenlendiği bir merkez olarak (Little Salkeld Watermill, 2022), bazıları ise ek yapılarak pansiyon/otel ya da restoran olarak (Archello, 2022) işlevlendirilmiştir. Bu örneklerin hemen tümünde, yapının değirmencilik geçmişine atıfta bulunmak amacıyla, su öğesinin tasarımın bir parçası olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir (Tosun Soyel ve Ahunbay, 2011). Cunda Adası'nın yüksekçe bir tepesinde yer alan Agios Yannis Kilisesi'nin yanındaki yel değirmeni de yeniden işlev verilerek kullanılan yapılara örnektir. Arkeolojik kazılar sonucu temeline rastlanıp yeniden inşa edilen yel değirmeni, restore edilmiş olup, 2007'den beri kent kitaplığı olarak kullanılmaktadır (Şekil 7) (Kent Kütüphanesi, 2022). Değirmenlerin mümkün olabildiği takdirde yerlerinde ve özgün çevreleriyle birlikte, mümkün olamadığı durumlarda ise özgün düzenek biçimleri ile müze gibi farklı bir mekânda korunmaları sağlanmalıdır. Özgün düzenekleri korunmuş olduğu taktirde, çalışan bir değirmen veya fabrika gibi işlev açısından uygun bir yerdeki sisteme de dâhil edilebilirler (Maşalı, 2006).

Şekil 7: Cunda'da kitaplık olarak kullanılan kilise ve yel değirmeni (Kent Kütüphanesi, 2022).

4. SONUÇ

Antik dönemden günümüze kullanılmakta olan, tahılların öğütülmesi amacıyla kullanımı başlayan değirmenler, önce el, daha sonra at, su, yel ve buhar değirmenleri olarak çeşitlenmiştir. Özellikle Orta Çağ'ın enerji üretiminde büyük payı olan değirmenler, bir dönemin üretim sistemine ışık tutan önemli endüstri yapılarındandır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle enerji kaynakları değişmiş ve çeşitlenmiş, yeni yapılan büyük tesisler, değirmenlerin yerini almış olup değirmen yapılarının büyük çoğu işlevsiz kalmıştır. Bu da kırsal peyzajın ünik öğelerinden olan bu değerli kültür varlıklarının zaman içinde harap olmalarına, bazen yıkılıp yok olmalarına sebep olmuştur. Değirmenlerin, özgün öğelerinin muhafaza edilerek ve yeni bir işlev verilerek korunması, geçmişimiz ile kültürel bağlarımızı korumak ve kültür varlıklarımızı gelecek nesillere aktarmak çerçevesinde oldukça büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

ARCHELLO (2022). "Old Mill Hotel", https://archello.com/project/old-mill-hotel, 04.03.2022.

ARIKAN, Z. (2016). Şap Ticaretinden Tuz Ticaretine Foça ve Mirası, İzmir Akdeniz Akademisi Tarih Kitaplığı-2, İzmir.

ARIKAN, Z. ve MARTAL, A. (1998). "İzmir'de İlk Buharlı Un Fabrikası" Güneydoğu Avrupa Araştırmaları Dergisi 1992-1998, 1998 (12): 1-22, Prof. Dr. Cengiz Orhonlu Hatıra Sayısı.

ATASOY, N. (1997). 1582 Surname-i Humayun an Imperial Celebration, Koçbank Yayınları, İstanbul.

BİR, A., ACAR, Ş., KAÇAR, M., (2012). Anadolu'nun Değirmenleri, YEM Yayınevi, İstanbul.

BİR, A., KAYRAL M., (2001). "Dikey Milli Türbin Tipi Su Değirmenleri, Mahmut Şevket Paşa Su Değirmeni Örneği," 1.Türk Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi Bildirileri, 15–17 Kasım 2001, İSKİ Yayınları, İstanbul 2003: 61-74.

BİR, A., KAYRAL, M. (1998). "Osmanlı Döneminde Anadolu'da Kullanıldığı Bilinen Alttan Çevirmeli Su Değirmenleri ve Su Kaldırma Düzenekleri", s. 173–186, (Ed.) GÜNERGUN, F., Osmanlı Bilimi Araştırmaları II, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi (1986). "Değirmenler", Gelişim Yayınları, İstanbul.

DANIŞMAN, G., (2003). "Anadolu Enerji Teknolojileri Tarihçesi ve 18. Yüzyıl Sonunda Osmanlı Yönetiminin Sanayileşmede Kaçırdığı Fırsatın Yeniden Değerlendirilmesi", s.95-113, (Ed.) DÖLEN, E. ve KAÇAR, M., 1. Türk Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi Bildirileri, Türk Bilim Tarih Kurumu, İstanbul.

EZGEÇ, P. (1998). Kasımpaşa Un Fabrikası Restorasyon Projesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

GEYVE YÖRESİ (2013). "5 Asırlık Değirmen Teknolojiye Direniyor", http://www.geyveyoresi.com/taraklida-5-asirlik-su-degirmeni/, 04.03.2022

GİMPEL, J., (2005). Ortaçağ'da Endüstri Devrimi, Tübitak Yayınları, Ankara.

KENT KÜTÜPHANESİ (2022). "Rahmi M. Koç Müzesi, Sevim ve Necdet Kent Kitaplığı", http://www.rmk-museum.org.tr/cunda-sevim-necdet-kent-kutuphanesi/ana-sayfa?city=ayvalik, 04.03.2022

KOÇ, E., KAYA, K. (2015). "Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu," Mühendis ve Makina Dergisi, İstanbul 2015 (56) 668: 36-47.

LANDELS, J. G., (1996). Eski Yunan ve Roma'da Mühendislik, Tübitak Yayınları, Ankara.

LITTLE SALKELD WATERMILL (2022). "Little Salkeld Watermill", www.organicmill.co.uk, 04.03.2022.

MAŞALI, D. (2006). Boyabat'ın Geleneksel Mimarisinde Endüstri Yapıları: Değirmenler ve Şamlılar Çeltik Fabrikası, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

MUŞ OVASI GAZETESİ (2012). "Tarihi Su Değirmeni Yaşatılıyor", http://www.mus.gen.tr/haber-35515-mus-tarihi-su-degirmeni-yasatiliyor-haberi.html, 04.03.2022.

SAKAOĞLU, N., (1994). "Değirmenler", Dünden Bugüne İstanbul Ansiklopedisi, Tarih Vakfı Yurt Yayınları, İstanbul, 18-19.

TANYELİ G., TANYELİ U., (1990). "Osmanlı Yüzer Köprüleri" ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 1990 (10): 5-17.

TOSUN SOYEL N., AHUNBAY Z., (2011). "Kuzey Kıbrıs'taki Tarihi Su Değirmenlerinin Koruma ve Yeniden Kullanım Önerileri", İTÜ Dergisi A, 2011 (10): 105-115.

WATER MILL MUSEUM (2022). "Water Mill Museum" https://watermillmuseum.org/, 04.03.2022.

YEL DEĞİRMENİ (2011). "Yel Değirmeni", https://hacibektasmobil.com/gezirehberi/yel-degirmeni/, 04.03.2022

YURT HABER (2012). "Yüz Yıllık Su Değirmeni Sahipsiz Kaldı", https://www.mynet.com/100-yillik-su-degirmeni-sahipsiz-kaldi-180100123247, 04.03.2022.

YÜKSEKOVA (2012). "Asırlık değirmen teknolojiye karşı direniyor", https://www.yuksekovahaber.com.tr/haber/asirlik-degirmen-teknolojiye-karsi-direniyor-88330.htm, 04.03.2022.

Presentation ID / Sunum No= 56

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-8043-1067 / 0000-0003-2834-8394 / 0000-0002-4950-2162

304 Kalite Paslanmaz Çeliklerde Yaygın Olarak Uygulanan Yüzey Kaplamalarının Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi

Mervenur Soyuğuz[1], Rumeysa Eryılmaz[1], Dr. Öğretim Üyesi Elif Uzun Kart[1]
[1]*Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,* Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
E-posta: *mervenursoyuguz@marun.edu.tr (sorumlu yazar), rumeysaeryilmaz@marun.edu.tr, elif.uzun@marmara.edu.tr*

Özet

Dünyada oldukça yaygın bir biçimde kullanılan AISI 304 kalite paslanmaz çelikler mükemmel mukavemet, tokluk, kaynaklanabilirlik ve yüksek korozyon dayanım özelliklerine sahiptir. Ancak bu tip çeliklerin çalışma koşullarına bağlı olarak performansları düşebilmektedir. Bu nedenle AISI 304 kalite paslanmaz çeliklere üretim sonrası yorulma ömrünü, performansını, tribolojik dayanımını, korozyon dayanımını arttırmak ve yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanım alanına göre farklılık gösteren çeşitli kaplama işlemleri uygulanmaktadır. Kaplama işlemleri çeliğin dayanımına ve performansına olumlu etki etse de gerek kullanılan materyallerden gerek kaplama yöntemlerinin karakterlerinden dolayı ekonomi, çevre ve toplum üzerinde ağır bir yük oluşabilmektedir. Küresel çevre sorunlarıyla karşı karşıya olduğumuz ve artan tüketimin ekonomik ve toplumsal gereksinimleri karşılayamadığı bu günlerde, endüstriyel üretimin tüm alanlarında 'temiz' teknolojilerin geliştirilerek küresel anlamda ekonomik ve toplumsal politikaların çevre politikaları ile birlikte ele alınarak incelenmesini zorunlu hale gelmiştir. Bu sebeple yapılan çalışma kapsamında, AISI 304 kalite paslanmaz çeliklere yaygın olarak uygulanan galvanizleme, elektrokaplama, fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD) gibi yüzey kaplama işlemlerinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri incelenerek bu yöntemlerin sürdürülebilirlik açısından değerlendirmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 304 Paslanmaz Çelik, Sürdürülebilirlik, Galvanizleme, Elektrolitik Kaplama, Fiziksel Buhar Biriktirme, Kimyasal Buhar Biriktirme

Investigation of Surface Coatings Widely Applied On 304 Quality Stainless Steel in Terms of Sustainability

Abstract

AISI 304 quality stainless steels are commonly used in the world due to their excellent strength, toughness, weldability, and high corrosion resistance. However, the performances of such steels can be decreased depending on the working conditions. Therefore, various coating operations are applied to

AISI 304 quality stainless steel after production in order to increase the performance, tribological strength, corrosion strength and to improve the surface properties regarding final usage. Although the coating operations are positively impacted to the strength and performance of the steel, a heavy burden on the economy, environment, and society may occur due to the characteristics of the coating methods required and the materials used. In these days that we are facing the economic and social requirements of global environmental problems and increasing consumption, in all areas of industrial production, "clean" technologies have been developed and to be examined with the environmental policies of economic and social policies in the global sense of economic and social policies. For this reason, in the scope of this study, it was evaluated in terms of sustainability by examining the environmental, economic, and social effects of surface coating operations, such as galvanizing, electroplating, physical steam accumulation (PVD), chemical steam accumulation (CVD), which are widely applied to AISI 304 quality stainless steels.

Keywords: 304 Stainless Steel, Sustainability, Hot Dip, Electrolytic Coating, Physical Vapor Deposition (PVD), Chemical Vapor Deposition (CVD).

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya kaynaklarını korumak, mevcut nüfusun ekonomik ve toplumsal gereksinimlerinin karşılamak ayrıca gelecek kuşaklara yaşanılabilir bir doğal çevre bırakmak amacıyla ortaya çıkan sürdürülebilirlik kavramı, üretim sistemlerinde çevreye uyumlu teknolojilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Millar vd., 2012; OECD, 2009). Küresel çevre sorunlarıyla karşı karşıya olduğumuz ve artan tüketimin ekonomik ve toplumsal gereksinimleri karşılayamadığı bu son günlerde mevcut süreçlerin sürdürülebilir tekniklerle yapılması büyük bir önem arz etmektedir. Bu sebeple ekonomik ve toplumsal politikaların çevre politikaları ile birlikte alınarak her alanda yer alan sistemlerin hepsini ilgilendiren "Sürdürülebilir Kalkınma" stratejilerinin uygulamaya geçirilmesi zorunlu hale gelmiştir (Commission vd., 1991; Ramsen, 2010). Bu durum ise endüstriyel üretimin tüm alanlarında 'temiz' teknolojilerin geliştirilmesine sebep olmuştur (United Nations, 2022). Tüm bunlar dikkate alındığında metallerin üretim ve üretim sonrası ikincil işlem süreçlerinde enerji sarfiyatının ve açığa çıkan kimyasal, atık vb. gibi ürünlerin çevresel olumsuz etkilerinin azaltılması ayrıca atık/yan ürünlerin kullanımının arttırılması oldukça önemlidir.

Tüm dünyada yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler, ülkemizde de endüstriyel olarak hemen her alanda kullanılmaktadır. Bu tip çelikler en az %10,5 oranında krom içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanabilmektedir (Çakmakkaya vd., 2019). Paslanmaz çeliklerin yüzeyinde krom sayesinde oluşan ince ve yoğun krom oksit tabakası, malzemenin yüzeyinde meydana gelen korozyonun daha derinlere inmesini engelleyerek bu malzemelere korozyona karşı yüksek dayanım özelliği kazandırmaktadır (Odabaş, 2002). Bu sebeple paslanmaz çelikler, korozif ortamlarda çalışacak makine ve yapı elemanlarının en önemli malzemesi olmakla birlikte; üstün mekanik özellikleri sayesinde de tıp, havacılık, nükleer, gıda, savunma sanayi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Özbek vd., 2015) Paslanmaz çeliklere krom haricinde östenit yapıcı nikel ve mangan elementlerinin ilave edilmesiyle oluşan östenitik çelikler ise paslanmaz çelik üretimin %70'ini oluşturarak en yaygın kullanılan paslanmaz çelikler olarak bilinmektedir (Odabaş, 2002; Özbek vd., 2015). Östenitik çelikler grubunun da en yaygın kullanılan çelik türü ise 304 kalite paslanmaz çeliklerdir (Özbek vd., 2015). 304 kalite paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiş olup %18 krom, %8 nikel ve %2 mangan elementlerini içermeleri bu çeliklere mükemmel mukavemet, tokluk, kaynaklanabilirlik ve yüksek korozyon dayanım özellikleri kazandırmaktadır (Akka vd. 2013; Austral Wright Metals 2022; Corrosionpedia, 2022).

Tablo 1. AISI 304 Paslanmaz çeliğin içerdiği alaşım elementleri oranı (Özbek vd., 2015).

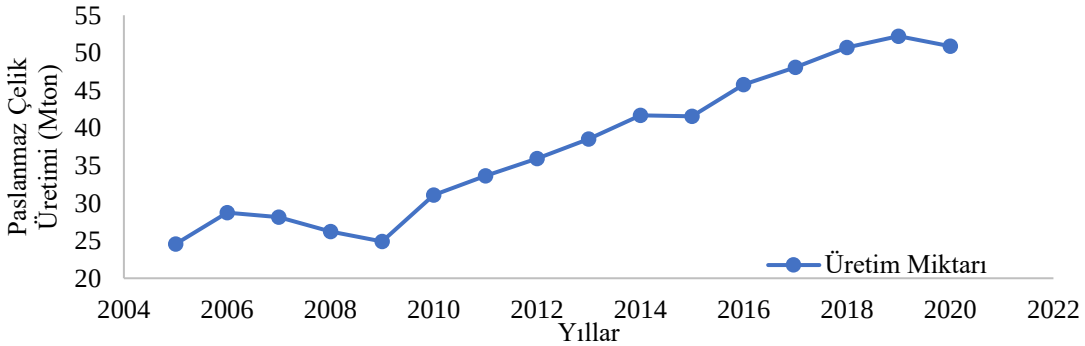
Element	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
Miktar (%)	0.08	2	0.75	0.045	0.03	18.35	8.12	0.07	0.23

Yüzey kaplama işlemlerine olan yatkınlıkları paslanmaz çeliklerin birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmalarını sağlamıştır. Çünkü metal yüzeyinde belli bir noktada başlayan korozyon, zaman içinde metalin iç kısımlarına doğru ilerleyerek malzemede çürüme ve yüksek oranda deformasyon oluşumuna sebep olmaktadır. 'Metallerin yüzeylerini korumak metalin kendisini korumaktır' ilkesi esas alındığında malzeme yüzeyinde meydana gelen korozyonun çeşitli yüzey kaplama işlemleriyle önlenebilmesi gerekmektedir (Kimtasgalvaniz, 2022). Bu nedenle yüzey kaplama işlemleri, malzemenin mekanik özellerini arttırmak ve korozif ortam koşullarında daha yüksek dayanım göstermesini sağlamak amacıyla daha da önemli bir hale gelmiştir (Harimkar, 2014).

Bu koşullar paslanmaz çelikler için yüzey kaplama uygulamalarının son yıllarda artmasına yol açmıştır. Paslanmaz çelikler arasında 304 kalite paslanmaz çelikler ise kaplama işlemleri için en çok tercih edilen çelik türü olarak bilinmektedir. 304 kalite paslanmaz çeliklere uygulanan yüzey kaplama işlemleri genellikle elektro kaplama, fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, galvanizleme yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır (Dan vd., 2022). Bu yöntemler malzemenin korozyon dayanımı ve mekanik özelliklerini arttırsa da enerji, su ve hammadde sarfiyatları, kullanılan kimyasalların ve açığa çıkan atıkların çevreye zarar vermesi gibi çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan dezavantajı bulunmaktadır (Avrupa Komisyonu, 2006). Yüzey kaplama uygulamalarının bu olumsuz etkileri göz önüne alındığında, birçok alanda yeşil teknolojilerin uygulamaya geçilme zorunluluğunun olduğu bu dönemde söz konusu işlemlerin de sürdürülebilirlik ve çevre açısından ele alınması büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışma kapsamında, endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 304 kalite paslanmaz çeliklere uygulanan yüzey kaplama işlemlerinin çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerinin sürdürülebilir açıdan incelenmesi amaçlanmıştır.

2. METODOLOJİ

Günümüzde nüfusa, ekonomik ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan ürün ihtiyacı geniş kullanım alanlarına sahip paslanmaz çelik ürünleri için de talebin artmasına yol açmıştır. Şekil 1'de 2005–2020 yıllarında dünya paslanmaz çelik üretiminin büyüme grafiği verilmiştir. 2009 ekonomik krizi, 2015 finansal krizi ve 2020 Covid-19 salgını hariç hep üst üste büyüme göstermiştir (ISSF, 2022). En yüksek üretim hacmi 52 Mton ile 2019 yılında gerçekleşmiş olup bu miktarın yıllık ortalama %2.8'lik büyüme ile 58.5 Mton'a ulaşması beklenmektedir(Statisca Research Department, 2022). Paslanmaz çeliklerin yüzey kaplama işlemlerine yatkınlığı bu talebin artmasındaki en önemli nedenlerdendir (Dorofeeva vd., 2022).



Şekil 1. 2005–2020 yılları dünya paslanmaz çelik üretimi (Statisca Research Department, 2022).

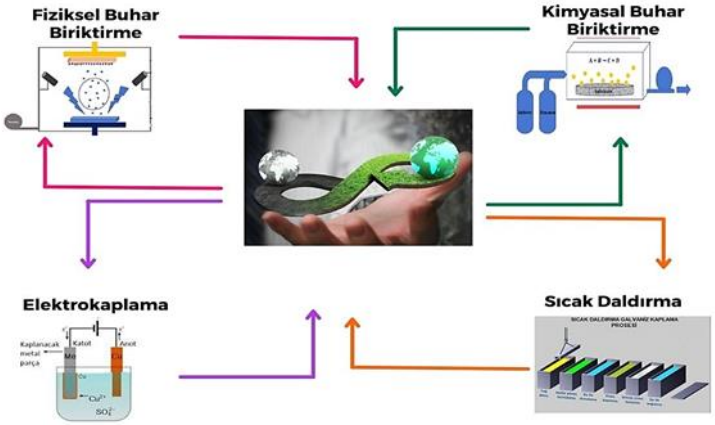
Yüzey kaplama işlemleri malzemenin korozyon dayanımını ve mekanik özelliklerini arttırsa da çevresel, ekonomik ve toplum sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle daha temiz kaplama teknolojilerinin geliştirilmesi paydaşlar için elzemdir. Endüstriyel üretimin tüm alanlarında 'temiz' teknolojilerin geliştirilmesi, bugün dünya çapındaki ülkelerin çevre yasaları ve programları tarafından gerekli görülen ve başlatılan temel bir görevdir. Buna yönelik tüm dünyada sürdürülebilir tekniklerin uygulamaya geçilmesi amacıyla 2030 Gündemi kapsamında, Şekil 2'de verilen toplam on yedi (17) "Sürdürülebilir Kalkınma Amacı (SKA)" tanımlanmıştır (United Nations, 2022). Sürdürülebilir kalkınma insanı temel alarak insan sağlığını ve doğal dengeyi koruyan, sürekli bir ekonomik kalkınmaya olanak veren, doğal kaynakların akılcı yönetimi, gelecek kuşaklara yaşanılabilir bir doğal, fiziksel ve toplumsal çevre bırakma amaçlarıyla oldukça önemli bir kavramdır (Dalhousie

University, 2022). Bu yaklaşım kapsamında küresel anlamda ekonomik ve toplumsal politikaların çevre politikaları ile birlikte ele alınmasını gerekmektedir (Legrand Group, 2022).

Şekil 2. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (United Nations, 2022).

2.1 Çevresel Etkiler

Endüstriyel üretim süreçlerinde kullanılan kimyasalların ve açığa çıkan atıkların insan sağlığı ve çevre üzerindeki birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır (Lachance ve Bénard 2007). Endüstride tehlikeli atıkların kontrol altına alınması ve atık sorununun önlenmesi çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir önem arz etmektedir (Mmereki vd., 2016). Toksik etkisi ispatlanmış bazı kimyasalların üretim sürecinden aşamalı olarak kaldırılması yeşil teknolojiler kullanılarak üretim yapılmasını ayrıca tehlikeli kimyasalların döngüsel ekonomiye olan olumsuz etkilerinin de azaltılması açısından gerekli bir adım olarak düşünülmektedir. Yüzey kaplamalarında kullanılan ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan kadmiyum, kurşun, nikel, krom, bakır ve çinko gibi ağır metallerin çevreye ve insan sağlına önemli ölçüde zarar verme potansiyeli bulunduğundan kullanımları çeşitli sınırlandırmalara tabidir. Kaplama yöntemleri Şekil 3'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3. 304 Paslanmaz çeliğe uygulanan yaygın yüzey kaplama yöntemlerinin şematiği(Dan ve diğerleri, 2022; Galmetsan, 2022; İscep, 2022; Paras, 2021)

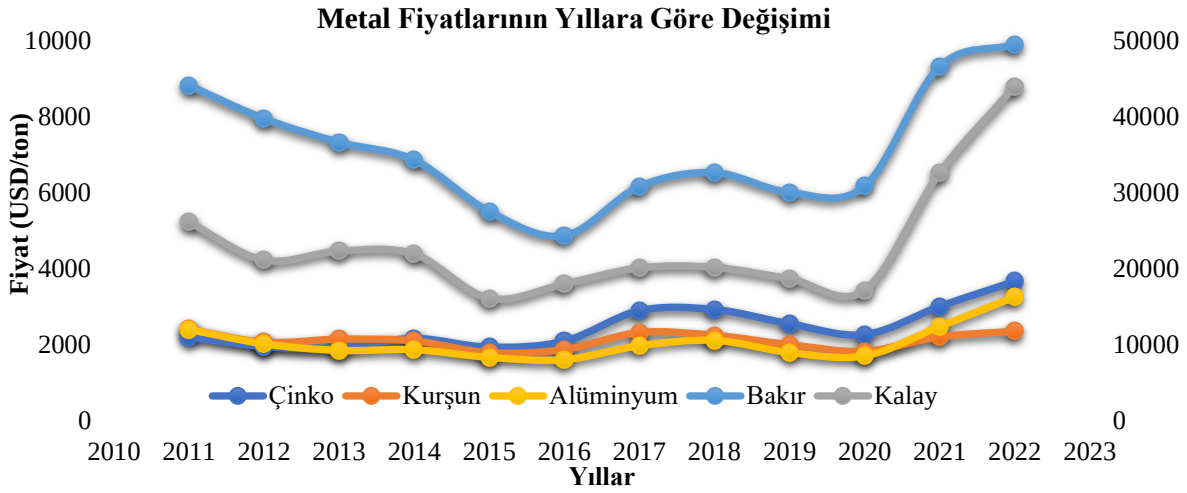
Bu yöntemlerden galvanizleme yöntemi çelik yüzeyine çinko, kalay, kadmiyum, alüminyum veya kurşun kaplanması esasına dayanmaktadır (Kimtasgalvaniz, 2022). Ayrıca kadmiyumun "Su Çerçeve Yönergesi"ne göre tehlike maddeler arasında öncelikli bir metal olduğu da vurgulanmıştır (Avrupa Komisyonu, 2006). Galvanizleme yöntemi genellikle asitle temizleme, kaplama ve pasivasyon olmak üzere üç temel işlem basamağı uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Asitleme temizleme işleminde oksit tabakaları sülfürik asit veya hidroklorik asit kullanılarak uzaklaştırılmaktadır (Karadoğan, 2016). Galvanizleme yöntemiyle yapılan çinko kaplama sonrası yüksek oranda SO_2 gazı ve çinko tuzu açığa çıkarak bu atıklar çevreye önemli ölçüde zarar vermektedir. Hafif sanayi bölgelerinde galvaniz

kaplamalar malzeme için yeterli koruma sağlayabiliyorken ağır sanayi bölgelerinde ise malzemenin aşırı korozif koşullara dayanımının arttırılması amacıyla galvaniz kaplamaların boya sistemi ile güçlendirilmesi gerekmektedir (Akbaş, 2009). Galvaniz kaplama sonrasında atık su işleme ve tasfiye etme işlemleri sırasında açığa çıkan gazlar ve aerosoller, galvaniz kaplama yapan işyerlerinde çalışanların metal buharı ve dumanı, elektrolitik çözelti, solvent, ağır metal ve inorganik asit gibi tehlikeli kimyasallara maruz kalmalarına sebep olmaktadır (Karadoğan, 2016). Eğer atık oluşumu önlenemiyorsa üretilen miktarlarının mümkün olduğu kadar en düşük seviyelere indirilebilmesi sürdürülebilir bir çevre oluşturmak için büyük bir gerekliliktir. Atık oluşumu önlenemez veya miktar olarak azaltılmaz ise atıkların geri dönüştürümünün gerçekleştirileceği sistemler araştırılarak bu atıklardan ana ürün/yan ürün eldesi gerçekleştirilmelidir (Yılmaz vd. 2011). Bunlar dikkate alındığında galvanizleme işlemi sırasında çinko banyolarının üzeri örtülerek çevreye salınan zehirli gazların minimum düzeye indirilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca galvanizme işlemi sonrası açığa baca gazı tozları gibi çinko içerikli atıkların çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında bu atıklardan çinko metalinin geri kazanımı atık yönetimi için önemli bir adım olacaktır (Yılmaz vd., 2011). Elektrokaplama yöntemi çelik yüzeyinin elektrolitik bir ortamda metalik bir malzeme ile kaplanma esasına dayanmaktadır (Bandinelli vd., 2021). Elektrokaplama endüstrisinde açığa çıkan atık sular ekonomik açıdan arıtma ve geri kazanımı mümkün olmayan Cu, Zn, Cr, Ni, Cd vb. metal iyonları içermektedir (Belova vd., 2020; Upadhyay, 2006). Sürdürülebilir teknolojilere artan ilgi göz önüne alındığında, literatürde elektrokaplama endüstrisinde açığa çıkan atık su problemlerinin önlenmesi amacıyla (Azmi vd., 2018; Belova vd., 2020; Upadhyay, 2006) birçok çevre dostu yöntem geliştirilmiştir (Bandinelli vd., 2021). Atık oluşumu tamamen önlenemiyor olsa da bu zararlı kimyasalların istenmeyen etkileri atık suların arıtılmasıyla ortadan kaldırılabilmektedir (Belova vd., 2020). Ağır metallerin atık sulardan uzaklaştırılmasında; kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon, redüksiyon, iyon değişimi, filtrasyon, elektrokimyasal işlemler, membran teknolojisi, ters osmoz, adsorpsiyon gibi yöntemler kullanılmaktadır (Yılmaz, 2008). CVD yönteminde ise kaplama işlemi kapalı bir ortamda ısıtılmış metal yüzeyinin ortama verilen gaz ile kimyasal reaksiyonu sonucu gerçekleşmektedir (Paras, 2021). CVD kaplama yönteminde kimyasal reaksiyonların yaklaşık 1000°C'de gerçekleşmesi yüksek enerji sarfiyatına sebep olmakla birlikte kullanılan gazların zehirli ve yanıcı olması kullanımlarını sınırlamaktadır (Temir, 2013). Bu kaplama yöntemlerinin aksine daha sürdürülebilir olduğu düşünülen PVD yönteminde ise, katı bir malzemenin buharlaştırılmış formunun çeşitli alt tabakalar üzerine yoğunlaştırılmasıyla ince filmleri biriktirme esasına dayanmaktadır (Geyter vd., 2011). Özellikle galvanizleme yönteminde çevreye önemli ölçüde zarar veren tehlikeli atık ve gazların açığa çıkmasının aksine PVD işlemi sonrası herhangi tehlikeli atık ve gaz oluşumu gerçekleşmemektedir. Bu sebeple PVD yönteminde çevresel endişe yaratan kimyasalların kullanmaması sebebiyle açığa çıkan atıkların bertaraf zorunluluğunun olmadığı vurgulanmıştır (Dan vd., 2022).

2.2 Ekonomik Etkiler

Günümüzde ekonomi şartları sürdürülebilir kalkınma konularını önemli bir konuma getirmiştir. Küresel COVID-19 salgını, dünyanın çoğu ülkesinde ekonomik aktiviteyi önemli ölçüde kesintiye uğratmıştır. Bu gibi sorunlardan etkilenen kaplama sektörü, sürdürülebilir kaplama tekniklerine olan talepleri artırarak akademi ve endüstride yaygınlaşmasına yönelik çabaları da beraberinde getirmiştir. Kaplama sektöründe emisyon ve atık çıktıları oluşturan bir dizi bakım döngüsü gerektirmektedir. Fakat aşındırıcı ortamlar hariç, sıcak daldırma galvanizli çelik 70 yıl veya daha fazla bir süre bakım gerektirmeden uzun ömür sağlamaktadır. Diğer kaplama sistemlerinde ise, kaplama yüzeyi patlatılarak veya yakılarak atık ya da emisyonlar oluşmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerde sadece çelik geri kazanılmaktadır. Ancak galvanizleme yönteminde ise çelik haricinde çinkonun da geri dönüşümü sağlanmaktadır (Genel Galvanizciler Derneği, 2018). Bununla birlikte galvanizleme potasında kullanılacak olan çinko ve diğer kimyasal maddeler maliyet açısından hizmetin yaklaşık %68'ini oluşturmaktadır (Rachman, 2018). Ek olarak galvanizleme yönteminin pazar payı incelendiğinde küresel pazarın 2019' da yaklaşık 85 milyar USD değerine ulaştığı ve 2020-2026 yılları arasında yaklaşık %5' lik bir bileşik yıllık büyüme hızında (BYBH) artacağı tahmin edilmektedir (Value Market Research, 2021). Elektrokaplama yönteminde ise pazar büyüklüğünün 2021 yılına kadar 3,80 Milyar USD'ye ulaşacağı ve 2016 ve 2021 yılları arasında %4,34' lük bir BYBH kaydedeceği tahmin edilmektedir (Markets and Markets Research Private Ltd 2022). Bunlarla birlikte fiziksel buhar biriktirmenin küresel pazar büyüklüğü 2020' de 22,43 milyar USD'ye ulaşmıştır. Bunun 2021' de 23.56

milyar dolardan tahmini olarak %8.2'lik bir BYBH'da 2028'de 40.97 milyar dolara çıkması beklenmektedir (IndustryARC, 2022). PVD yönteminin yüksek vakum ve özel biriktirme odalarında gerçekleştirilmesi maliyet artışına sebep olacağı için endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Sonuç olarak, tüm kaplama hattını kurmak yüksek bir sermaye maliyeti gerektirmektedir. Bu teknolojinin, geleneksel yöntemlerle finansal olarak rekabet edebilmesi için kaplanacak metalin yüzeyde birikme oranının talepleri karşılaması gerektirmektedir. CVD yöntemlerinde yüksek vakumlu sistemlere ihtiyaç duyulmaması sebebiyle (Keleşoğlu, 2022). CVD uygulamalarının pazar büyüklüğü ise 2018 yılında 25,19 Milyar USD'ye ulaşmıştır ve 2019' dan 2026' ya kadar %9,83' lük bir BYBH' da büyüyerek 2026' ya kadar 53,24 Milyar USD'ye ulaşması beklenmektedir (Verific Market, 2022). Elektrokaplama ve galvanizleme yöntemlerinde çelik yüzeyine kaplanacak metallerin yıllara göre maliyet dağılımı Şekil 4'de verilmiştir. Çinkonun ton fiyatının 3.000 USD (2020 Nisan ayında fiyat 1.900 USD seviyesine gerilemiştir) seviyesinin üzerinde olması, galvaniz yapan bütün işletmelerin dikkatlerini çinko sarfiyatını azaltmaya yönelik sistemler kullanmasını zorunlu hale getirmiştir (Rachman, 2018). Bu sebeple ikincil kaynak olarak kullanılabilecek bu atıkların değerlendirilmesi ve yeniden kazanılması ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Ayrıca galvanizme işlemi sonrası açığa baca gazı tozları gibi çinko içerikli atıkların çevreye verdiği zararlar da göz önüne alındığında bu atıklardan çinko metalinin geri kazanımı çevresel ve ekonomik sürdürebilirliğin birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu sebeple galvanizleme işlemi sonrasında açığa çıkan atıkların ve baca gazı tozlarının içeriğinde ekonomik miktarda çinko bulunması halinde Şekil 4' de çinko maliyetinde artış göz önüne alındığında bu atıklardan geri dönüşüm prosesleriyle çinko geri kazanımı oldukça önemlidir. Ayrıca çinko banyoları üzerinin örtülerek buharlaşma kayıplarının azaltılması da ekonomik açıdan çinko sarfiyatını önemli ölçüde azaltmaktadır (Yılmaz vd., 2011).



Şekil 4. Metal fiyatlarının yıllara göre değişimi (Westmetall, 2022).

2.3 Sosyal Etkiler

Toplumun sağlık, beslenme, barınma ve eğitim gibi temel ihtiyaçlarını karşılamak, bütün bireylerin uyum içerisinde yaşadığı ve sosyal eşitliğinin sağlandığı bir toplum yaratmak sosyal sürdürülebilirliğin temel hedefleri arasındadır (Vallance vd., 2011). Sanayileşme, hızlı nüfus artışı, kentleşme, tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi tüm dünyada yaşanan gelişmeler; çevrenin hızlı bir şekilde kirlenmesine sebep olmakla birlikle toplumun yaşam kalitesini de düşürerek halk sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Commission vd., 1991; Lachance ve Bénard, 2007). Kaplama endüstrisinde elektro kaplama ve galvanizleme yöntemlerinde kullanılan kimyasalların ve açığa çıkan atıkların çevreye verdiği zararlar insan sağlığını da önemli ölçüde etkilemektedir (Lachance ve Bénard, 2007). Havalandırma sistemlerinin yetersiz olması ayrıca galvaniz kaplama esnasında açığa çıkan H_2 gazı ve tahriş edici diğer kimyasal maddelerin zararlarından korunmak için Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) ekipmanının kullanılmaması yaralanmaya ve birçok hastalığa olmaktadır. Galvaniz kaplama sırasında açığa çıkan boğucu özelliğe sahip H_2 gazının çalışanların sağlığını etkilememesi amacıyla çalışma ortamdaki hidrojen oranının özel ekipmanlar kullanılarak kontrol edilmesi gerekmektedir (Karadoğan, 2016). Ayrıca CVD yönteminde de kullanılan zehirli, yanıcı birçok gazın doğaya ve ortama

zarar vermeden filtreleme sistemleriyle uzaklaştırılması gerekmektedir (Genel Galvanizciler Derneği, 2018). Sosyal sürdürülebilirliğin halk sağlığının korunması ve tüm canlıların uyum içinde yaşayacağı bir ortam yaratma hedefleri dikkate alındığında PVD kaplama yönteminde çevreyi ve insan sağlığını olumsuz etkileyen zehirli atıkların oluşmaması bu yöntemin çevreci bir proses olduğunu vurgulamaktadır (Dan vd., 2022) .

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğal kaynakların ve hammaddelerin tükenebilir olması bu kaynakların daha verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca bu kaynakları doğadan temin ederken ve işlerken doğaya, topluma ve gelecek nesilleri gözetmeye dikkat edilmelidir. Bu makale kapsamında ele alınan yüzey kaplama işlemleri de doğadan kazanılan, işlenerek son ürün haline getirilen çeliklerin daha verimli ve uzun süre kullanılmasını sağlayacak kaplama yöntemlerini sosyal, çevresel ve ekonomik açıdan incelenmesini ele almaktadır.

Sıcak daldırma kaplama işlemi kadmiyum, kurşun, nikel, krom, bakır ve çinko gibi ağır metallerin kullanımını gerektirmektedir. Bu metallerin bir kısmı insan ve çevre sağlığı açısından oldukça toksik ve tehlikelidir. Bununla birlikte galvanizlenmiş çelik ürünleri ortalama 70 yıla kadar bakım gerekmeksizin performans düşüşü olmadan kullanılabilirler. Kurşun kaplamalar ise kurşunun biyolojik ve çevresel zararlarından dolayı daha az tercih edilse de özel kullanım alanları içerinde hala kullanılmaktadır. Ayrıca kurşunun kolay geri dönüştürülebilir olması da bu durum üzerinde etkilidir. Çinko kaplamalarda buharlaşma kayıplarının çeşitli sistemler ile azaltılması üretim verimini artırmakta, metal emisyonunu ise azaltmaktadır.

Bir diğer yaygın kullanılan elektro kaplamada ise her ne kadar kullanılan kimyasallar ve metaller tehlikeli olsa da yüzey performansının çok iyi olması bu kaplama metodunu vazgeçilmez hale getirmiştir. Bu nedenle ilgili ve gerekli tedbirler altında uzun vadede sürdürülebilir bir yöntemdir. Bununla birlikte kaplama metallerinin geri dönüştürülme yüzdeleri göz ününe alındığında ekonomik olarak sürdürülebilir bir tekniktir. Bu yöntem çok farklı geometrik şekillerin kaplanmasında da tercih sebebidir. Tehlikeli kimyasal ve gazların kullanıldığı diğer kaplama yöntemi CVD olmakla beraber, enerji tüketiminin fazla olması ve ortaya çıkan gazların filtreleme sisteminden geçerek en az zarar ile havaya ihtiva etmesi hedef alınmaktadır. Bu yönteme nazaran daha sürdürülebilir olduğu gerekçesiyle kullanım sahası artan PVD ise kapalı bir sistemde vakum altında herhangi bir kimyasal gaz ve zehirli atık oluşturmaması sebebiyle daha çevreci bir proses olduğu vurgulanmıştır.

Sonuç olarak kaplama teknik ve teknolojileri iyileştikçe çevre ve toplum üzerindeki olumsuz etkileri de azalacaktır. Ayrıca var olan teknolojilerin de daha ileri standartlar atında uygulanması bu yöntemlerin zararlı sonuçlarını hafifletecektir.

TEŞEKKÜR

Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü Üretim metalurjisi laboratuvar ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

AKBAŞ, A. (2009). Erdemir 7140 Mikro Alaşımlı Çelik Levhaların Sıcak Daldırma Galvaniz Yöntemiyle Kaplanması ve Galvaniz Alaşım Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

AKKAŞ, M. (2013). Östenitik Paslanmaz Çeliğin Bor Katkılı Ni_3 Al İle Kaplanabilirliğinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

AUSTRAL WRIGHT METALS. (2022). "Typical Applications For 304 Stainless Steel", https://www.australwright.com.au/technical-data/alloys/stainless-steel/grade-304-vs-304l/

AVRUPA KOMİSYONU (2006). "Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Metallerin ve Plastiklerin Yüzey İşlemleri", https://webdosya.csb.gov.tr/db/ippc/duyurular/plast-kler-n-ve-metaller-n-yuzey-

islemler--stm-bref-v2.2-20190326150424.pdf

AZMI, A. A., JAI, J., ZAMANHURI, N. A., YAHYA, A. (2018). Precious Metals Recovery from Electroplating Wastewater: A Review. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 358(1). doi:10.1088/1757-899X/358/1/012024

ÇAKMAKKAYA, M., TALAŞ, Ş., YASAN, H. A. ve EROĞLU, M. İ. (2019). AISI 420 Paslanmaz Çeliklerin M42 Çelik Tel ile Kaynağı Sonrası Soğuma Ortamına Bağlı Mekanik ve Morfolojik Özelliklerindeki Değişimler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 2, 10–19.

ODABAŞ, C. (2002). Paslanmaz Çelikler: Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri. Askaynak, 1–81.http://www.askaynak.com.tr/contents/34/20110704120329_paslanmaz-celikler.pdf

CEPAL, N. (1991). Economıc Commıssıon For Latın Amerıca And The Carıbbean (1991). Sustaınable Development: Changıng Productıon Patterns, Socıal Equıty And The Envıronment.

CORROSIONPEDİA (2022). "304 Grade Stainless Steel", https://www.corrosionpedia.com/definition/1549/304-grade-stainless-steel

DISINGER, J. F., ve ROTH, C. E. (2000). Environmental Literacy. Journal of Wildlife Rehabilitation, 23(3), 25–26. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0916:el]2.0.co;2

DAN, A., BİJALWAN, P. K., PATHAK, A. S. ve BHAGAT, A. N. (2022). *A Review On Physical Vapor Deposition-Based Metallic Coatings On Steel As An Alternative To Conventional Galvanized Coatings*, *Journal of Coatings Technology and Research*. Springer US. doi:10.1007/s11998-021-00564-z

MMEREKI, D., BALDWIN, A., LI,H and LI. H., (2016). The Management of Hazardous Waste in Developing Countries. doi:DOI: 10.5772/63055

DOROFEEVA, T., GUBAIDULİNA, T., SERGEEV, V. ve FEDORISCHEVA, M. (2022). Si-Al-N-O Multi-Layer Coatings with Increased Corrosion Resistance Deposited on Stainless Steel by Magnetron Sputtering. *Metals*, *12*(2). doi:10.3390/met12020254

KELEŞOĞLU, E. (2022). Sert Kaplamalar: Üretim Teknikleri ve Özellikleri.

GALMETSAN (2022). "Sıcak Daldırma Galvanizleme İşlemleri (Prosesler)", https://galmetsan.com.tr/sicak-daldirma-galvanizleme-islemleri/

GENEL GALVANİZCİLER DERNEĞİ (2018). "Sürdürülebilir Tasarım İçin Sıcak Daldırma Galvaniz", https://www.galder.org.tr/wp-content/uploads/2020/04/ST_SDG.pdf

HARIMKAR, S. P. (2014). Progress in surface treatment and processing of coatings. *Jom*, *66*(6), 1043–1044. doi:10.1007/s11837-014-0976-1

PEDERSEN, H., BARRY, S, T., SUNDQVIST, J. (2021). Green CVD—Toward a sustainable philosophy for thin film deposition by chemical vapor deposition. *Journal of Vacuum Science & Technology A*, *39*(5), 051001. doi:10.1116/6.0001125

INDUSTRYARC. (2022). "Physical Vapor Deposition Coatings Market", https://www.industryarc.com/Research/Physical-Vapor-Deposition-Coatings-Market-Research-503085

INTERNATIONAL STAINLESS STEEL FORUM. (2022). Economical sustainability. *2022*. https://www.worldstainless.org/sustainability/economic/

İSCEP. (2022)."Döngüsel Ekonomi Nedir? Neden Önemlidir?", https://iscep.medium.com/döngüsel-ekonomi-nedir-neden-önemlidir-7fa510dd84f7

KARADOĞAN, E. T. (2016). Galvaniz Kaplama Yapan İşyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği risklerinin tespiti ve kimyasal maruziyetin değerlendirilmesi

KİMTASGALVANİZ (2022). "Metal Yüzeylerinin Korunma Yöntemleri ve Pasivasyon",

https://kimtasgalvaniz.com/haberler/detay/metal-yuzeylerinin-korunma-yontemleri-ve-pasivasyon

LACHANCE, P. ve BÉNARD, P. (2007). International Journal of Green. *International Journal of Green Energy*, *4*(July), 377–384.

BELOVA, L., VIALKOVA, E., GLUSHCHENKO, E., BURDEEV, V., PARFENOV, Y. (2020). Treatment of electroplating wastewaters. *E3S Web of Conferences*, *203*, 1–7. doi:10.1051/e3sconf/202020303009

LEGRAND GROUP. (2022). "Sustaınable Development: Defınıtıon, Background, Issues And Objectıves Defınıtıon", https://www.legrandgroup.com/en/sustainable-development-description

MARKETS AND MARKETS RESEARCH PRİVATE Ltd. (2022). "E-Coat Market", https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electrocoating-market-29663206.html?gclid=CjwKCAiAsYyRBhACEiwAkJFKopb0Ss_COizBq18Dx2fpig-j_RbauLv9gyusLnX6se7su-TSffnNrhoC-soQAvD_BwE

MILLAR, C., HIND, P. ve MAGALA, S. (2012). Sustainability and the need for change: Organisational change and transformational vision. *Journal of Organizational Change Management*, *25*(4), 489–500. doi:10.1108/09534811211239272

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT COMPANY. (2009). Sustainable Manufacturing and Eco-innovation: Towards a Green Economy. *Policy Brief*, (june), 1–8. www.oecd.org/publications/Policybriefs%5Cn adresinden erişildi.

ÖZBEK, N. A., ÇİÇEK, A., GÜLESİN, M. ve ÖZBEK, O. (2015). "AISI 304 ve AISI 316 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi", *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, *20*(1), 43–49. doi:10.31202/ecjse.67151

PARAS, A. K. (2021). Anti-Bacterial and Anti-Viral Polymeric Coatings. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820352-1.00118-8

MORENT, R., DE GEYTER, N. (2011). Improved Textile Functionality Through Surface Modifications.

RACHMAN, T. (2018). ZINC. *Angewandte Chemie International Edition*, *6(11), 951–952.*, (703), 10–27. https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs-2018-zinc.pdf

RAMSDEN, J. J. (2010). What is sustainability? *Nanotechnology Perceptions*, *6*(3), 179–195. doi:10.4024/N14RA10A.ntp.06.03

BANDINELLI, R., FANI, V. ve BINDI, B. (2021). Electroplating and PVD Finishing Technologies in the Fashion Industry: Perspectives and Scenarios. *Sustainability*, *13*(8), 4453. doi:10.3390/su13084453

YILMAZ, S., (2008). Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu İle Arıtımı, *Revista de Trabajo Social*, *11*(75), 23–26.

STATISTA RESEARCH DEPARTMENT. (2022). Global Stainless Steel Melt Shop Production From 2005 To 2020. https://www.statista.com/statistics/223028/world-stainless-steel-production/

TEMIR, O. (2013). Examination Of The Wear Behavior Of Micro-Hard Metal İnserts With Different Compositions.

UNİTED NATIONS. (2022). "Sustainable Development Goals", https://sdgs.un.org

UPADHYAY, K. (2006). Solution For Wastewater Problem Related To Electroplating İndustry: An Overview. *Journal of Industrial Pollution Control*, *22*(1), 59–66. https://www.icontrolpollution.com/articles/solution-for-wastewater-problem-related-to-electroplating-industry--an-overview-.pdf

VALLANCE, S., PERKINS, H. C. ve DIXON, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum*, *42*(3), 342–348. doi:10.1016/j.geoforum.2011.01.002

VALUE MARKET RESEARCH (2021). "Hot-Dip Galvanizing Market Overview" https://www.valuemarketresearch.com/report/hot-dip-galvanizing-market

VERIFIED MARKET (2022). "Chemical Vapor Deposition (CVD) Market Size And Forecast", https://www.verifiedmarketresearch.com/product/chemical-vapor-deposition-cvd-market/

WESTMETALL (2022). "Market data" https://www.westmetall.com/en/markdaten.php?action=diagram&field=LME_Cu_cash

YILMAZ, Ö., YETİŞ, Ü., K. T. (2011). Sektörel Atık Klavuzları. *T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, 74. https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/Metal_Kaplama_Kilavuzu.pdf

Presentation ID / Sunum No= 63

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1488-7602 / 0000-0002-9092-0622

Evsel Atık Yönetim Çözümlerinin Kente Entegre Edilmesi

Rumeysa Selvet Savruk[1], Doç.Dr. Serhat Başdoğan[2]
[1]*Yıldız Teknik Üniversitesi, savrukrumeysa@gmail.com*
[2]*Yıldız Teknik Üniversitesi, serhatb@yildiz.edu.tr*

Özet

Döngüsel kentlere geçişte mevcut doğrusal ekonomik sisteme bağlı karmaşık ve acil sorunlardan biri kentsel atık yönetimidir. Günümüzde gelişmişlik ve gelir düzeyine göre değişse de kentlerdeki atık yönetim sistemleri çoğunlukla merkezi ve kent ölçeğindedir. Bu sistemler ise pahalı ve sürdürülebilir değildir dolayısıyla merkezi olmayan sürdürülebilir atık yönetim sistemleri gereklidir. Bu amaçla çalışma kapsamında merkezi olmayan atık yönetim çözümlerinin neler olduğu, kentsel alana nasıl entegre edilebileceği, kentsel kaliteyi artırarak ve döngüsel kentler hedefine ulaşılmasına nasıl katkıda bulunabileceği analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında genellikle mahalle veya yapı ölçeğinde; evsel atıkların azaltılmasını, yeniden kullanılmasını ve geri dönüştürülmesini amaçlayan atık çözümleri tespit edilmiştir. Ardından bu sistemlerin kente entegre edildiği çalışmalar incelenmiştir. Kentlerdeki düşük maliyetli mekanizmalar kullanarak yönetilmesini sağlayan bu sistemlerin farklı ölçeklerde; üretilen atığın, cinsi, miktarı ve nüfus, iklim, eğitim seviyesi, kent yapısı gibi yerel özelliklere göre hane, mahalle, kent ve ülke ölçeğinde yönetimsel olarak planlanması ve kademeli olarak yerleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Özellikle atığın büyük kısmını üreten konut alanlarında sakinlerin katılımını sağlayan aktiviteler ve mekanlar toplum temelli dönüşüm için önemli bir adım olmuştur. Bu müdahalelerin sürdürülebilir kent için sıfır atık hedefine ulaşılmasına büyük oranda katkıda bulunabileceği, toplumsal etkileşimleri güçlendirdiği, yeni iş fırsatları yarattığı dolayısıyla ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Kentler, Kentsel Metabolizma, Evsel Katı Atık, Merkezi Olmayan Atık Yönetimi, Sürdürülebilirlik

Integrating Domestic Waste Management Solutions Into the City

Abstract

One of the complex and urgent problems related to the current linear economic system in the transition to circular cities is urban waste management. Although it changes according to the level of development and income, waste management systems in cities are mostly central and urban scale. These systems, on the other hand, are expensive and not sustainable, so decentralized sustainable waste management systems are required. For this purpose, within the scope of the study, what decentralized waste management solutions are, how they can be integrated into the urban area, how they can contribute

to the achievement of the circular cities goal by increasing the urban quality have been analyzed. Within the scope of the study, generally at the neighborhood or building scale; Waste solutions aimed at reducing, reusing and recycling household waste have been identified. Then, the studies in which these systems were integrated into the city were examined. These systems, which enable them to be managed by using low-cost mechanisms in cities, are available at different scales; It has been concluded that the waste produced should be planned and gradually placed at the scale of households, neighborhoods, cities and countries according to local characteristics such as type, amount and population, climate, education level, urban structure. Particularly in the residential areas that generate most of the waste, the activities and spaces that enable the participation of the residents have been an important step for the community-based transformation. It has been seen that these interventions can contribute to the achievement of the zero waste goal for a sustainable city, strengthen social interactions, create new job opportunities, and thus provide economic, environmental and social benefits.

Keywords: Circular Cities, Urban Metabolism, Domestic Solid Waste, Decentralized Waste Management, Sustainability

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşme ile paralel hızlı kentleşme ve nüfus artışı tüm dünyada insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki baskısını daha da artırmaktadır. Bu süreçte üretim ve pazarlama faaliyetlerindeki genişleme, doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz kılarken, sürekli artan tüketim eğilimi ile birlikte oluşan atıklar da, hem miktar hem de zararlı içerikleri nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. (Kaçtıoğlu ve Şengül, 2010:90) Ayrıca kişi başına düşen yüksek miktardaki atıkları yönetmek ve bertaraf etmek de imkansızlaşmaktadır. Kentte önemli bir sorun teşkil eden evsel nitelikli katı atıklar ise; (ÇŞB,2022:5) tanımına göre; belediyenin toplamakla sorumlu olduğu kullanım faaliyetleri sonrası oluşan tehlikeli ve zararlı sınıfına girmeyen insan ve çevre açısından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken atıkları ifade etmektedir.

Günümüzde kaynağı ne olursa olsun (evsel, ticari ya da endüstriyel) bu atıklar; kullanım değerini yitirmesi ve dolayısıyla kişi için mali değerini kaybetmesi olarak sonuçlanmaktadır. Bu doğrusal ekonomik sisteme bağlı, parçalı ve yetersiz kentsel atık yönetimi ise; çevreyi, iklimi, toplumu ve ekosistemleri etkilemektedir. Oysa atıkların çoğu potansiyel olarak kullanılabilir niteliktedir. Bu atıklardan geri dönüştürülebilir veya kazanılabilir malzemelerin ayrılması, kentsel alandaki atıklar yoğun bir şekilde karıştırıldığı için imkansızlaşmaktadır.

Dünya Bankası'nın 2018 yılında yayınladığı What a Waste 2.0 raporunda, ortalama bir kent günde kişi başı 0,74 kilogram ayak izine denk gelen 2,01 milyar ton (yıllık) katı atık üretiyor. Hızlı nüfus artışı ve kentleşmeyle birlikte acil önlem alınmazsa yıllık atık üretiminin 2050 yılına kadar %70 daha artacağı tahmin edilmektedir. Onlarca yıllık ekonomik büyümeden kaynaklanan yönetilmeyen ve uygun olmayan şekilde yönetilen atıklar, toplumun her düzeyinde acil eylem gerektirmektedir. (Kaza vd.,2018:1)

Kentsel atık sektörü, birçok disiplini kapsayan, süreçleri bütünleştirici ve döngüsel stratejilere dönüştüren sistemik değişiklikler gerektirmektedir. Özünde sistem düşüncesi olan döngüsel bir ekonomi yaklaşımı benimsemek, atık sorunlarının ele alınmasında çeşitli ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar sağlar. (Yang vd., 2019:260)

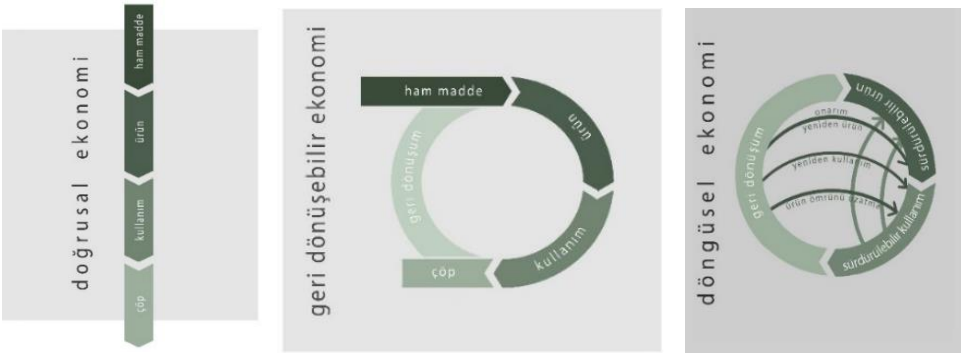
Mevcut merkezi atık yönetimi; kapıdan kapıya, tek portal konteynerler ve çok portallı kapalı konteynerleri içerir. Bu konteynırlarda toplanan atıklar önce transfer istasyonlarına ardından kentsel tipolojilere bağlı olarak şehirdeki belirlenen toplama alanına taşınır. Bu yönetim sistemi pahalıdır. Atık yönetimi, düşük gelirli ülkelerde belediye bütçelerinin yaklaşık %20'sini oluşturduğu birçok yerel yönetim için tek en yüksek bütçe kalemi olabilir. Orta gelirli ülkelerde, katı atık yönetimi genellikle belediye bütçelerinin %10'undan fazlasını oluşturur ve yüksek gelirli ülkelerde yaklaşık %4'ünü oluşturur. (Kaza vd.,2018:1)

Merkezi olmayan atık yönetimi; toplumun; atıkları kentte küçük ölçekte, kendi bölgelerinde yöneten ve işleyen, hepsini veya bir kısmını merkezi bir tesisine veya bertaraf alanlarına göndermeden düşük maliyetli mekanizmalar kullanarak yönetilmesidir. Atıklarla yaşamanın kaçınılmaz geleceğine uyum sağlamak için merkezi olmayan atık yönetiminin kentlere entegre edilmelidir. Bu araştırma kapsamında da kentsel atık yönetiminde merkezi olmayan çözümlerin neler olduğu kente nasıl entegre edileceği ve sonuçları ele alınmıştır.

2. DÖNGÜSEL EKONOMİ

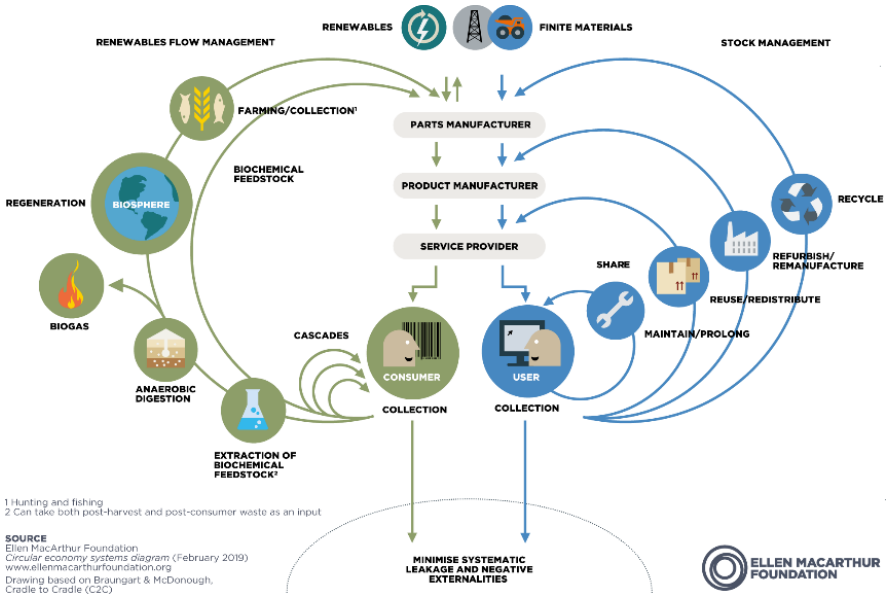
Döngüsel ekonomi; ürün, malzeme ve kaynakların değerinin ekonomide olabildiği kadar uzun tutulduğu ve atık miktarının en düşük olduğu bir ekonomik yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. (Koçan vd. 2019:528)

Şekil 28 Ekonomi Modelleri



Döngüsel ekonomi kapsamında çalışmalar yapan Ellen Macarthur Vakfı'nın hazırladığı kelebek diyagramı olarak bilinen döngüsel ekonomi sistem diyagramı, ekonomideki sürekli malzeme akışını gösterir. İki ana döngü vardır; teknik döngü ve biyolojik döngü. Teknik döngüde ürünler yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim ve geri dönüşüm yoluyla ekonomide dolaşımda tutulur. Bu sayede malzemeler kullanımda kalır ve asla atık olmaz. Biyolojik döngüde, biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerden elde edilen besinler, kompostlama veya anaerobik sindirim gibi işlemler yoluyla geri döndürülür. Bu, arazinin yenilenmesini sağlar, böylece döngü devam edebilir. (Ellen Macarthur Foundation, 2022)

Şekil 2 Döngüsel Ekonomi Sistem Diyagramı (Ellen Macarthur Foundation, 2022)



Sürdürülebilir kentleşme ile üretim, tüketim ve atık dengesinin kurulması, enerji sistemlerinde geri dönüşüm modellerinin benimsenmesi, doğal alanların korunması ve ekolojik ayak izinin azaltılması başta olmak üzere bir dizi mekânsal, sosyal, kurumsal, çevresel ve ekonomik bileşenlere dayalı kentleşme hedeflenmektedir. Bu amaçla üç temel amaç üzerine odaklanılmalıdır: döngüsel tedarik zinciri oluşturmak (döngüsel üretim ve tüketim sistemleri için yenilenebilir, geri dönüştürülebilir ve/veya doğada çözünebilir kaynak girdileri sağlanması), kaynak iyileştirme (işletmenin kaynak kayıplarını önleyerek kaynak akışlarının verimli hale getirilmesi, kaynakların ekonomik değerinin maksimize edilmesi) ve ürün ömrünün (ürünlerin ve diğer varlıkların yaşam döngüsünün) uzatılmasıdır. Bunun için ürünlerin/kaynakların tamiri, yeniden üretimi, güncellenmesi/yükseltmesi tekrar kullanım için satılması alternatifleri uygulanabilir. (Özsoy, 2018:135)

Bu sürdürülebilir yaklaşımda, atık değerli bir kaynak olarak görülür. Kentsel atık yönetiminde bu döngüsel ekonomik sistemi benimseyen, birçok perspektif ve disiplini kapsayan bütüncül sürdürülebilir sistemik değişiklikler gerekmektedir.

3. ATIKLARIN GERİ DÖNÜŞÜMÜ VE KAZANIMIYLA İLGİLİ ÇÖZÜMLER

Sunulan atık çözümleri, merkezi olmayan, genellikle kentsel bölgelerde uygulanabilen küçük ölçekli çözümlerdir.

3.1 Organik Atıklar İçin Çözümler:

Kompost Kutuları: Kompostlama ayrışabilir organik maddelerin mikroorganizmalarca biyokimyasal yollarla ayrıştırılmasıdır. Oluşan ürün toprağın hacmini artırır, mineral eklemesiyle gübre haline getirilebilir. Kompostlama genelde şehir ölçeğinde büyük tesislerde yapılmasına rağmen günümüzde kompostlama için çeşitli ölçeklerde farklı model ve büyüklüklerde birçok yöntem kullanılmaktadır. Örneğin 4 kişilik bir aile için kent bahçesinde 1m^2 lik alan yeterli olacaktır. Bu sistem yapı, mahalle ve şehir ölçeğinde uygulanabilmektedir.

Anaerobik Çürütme Tesisleri: Bu tesisler organik atıkları gübre, su ve biyogaza dönüştürür. Bu sistemin işleyebilmesi için ihtiyaç duyulan alan yaklaşık 70 metrekaredir. (çürütücü reaktörü için 20 m^2 ve tesisler arasında depolama ve açık alan için bir yer) Biyorafineri siyah su ve organik atıkları biyogaz, gübre ve çamurda işler, yan ürün olarak ısı üretir. Kent içinde sosyal işlevlerle bütünleştirilen tesis şeklinde mekansal tasarımları da mevcuttur. (Şekil 3) Bu sistem mahalle ve kent ölçeğinde uygulanabilmektedir.

Şekil 3 Biopolus: Bir Biyofabrika Olan BioMakery

Şekil 4 Topluluk Kompost Alanları

Öğütücüler: Mutfak lavabosunun altına yerleştirilebilen gıda atığı öğütücü, organik atıkları küçük parçalara ayırır ve mutfak borusundan atık arıtma veya kanalizasyon sistemine boşaltır. Bu sistem atıkları kanalizasyon yoluyla uzaklaştırarak, atıkların poşetlerde biriktirilmesi ihtiyacını kaldırır. Bu sayede doğada çözünebilen organik atıklar zararsız biçimde evden uzaklaştırılır, birikmeyeceği için çöp miktarı azalır ve kötü kokuların oluşumu engellenir.

3.2 Geri Dönüştürülebilir Atıklar İçin Çözümler:

Atık Toplama Merkezleri: 2019 yılından itibaren kullanılan bu ters otomat sistemi cam, kompozit, plastik şişe ve kutuların toplandığı bunun kuponlarla teşvik edildiği Avrupa'da süpermarketlerde uygulanan başarılı bir yöntemdir. Bu girişimle ileriki yıllarda geri dönüşüm oranını %90'ın üzerine çıkarması umulmaktadır. Bu sistem şimdilik mahalle ölçeğinde uygulanabilmektedir.

Atık Bankaları: Kent içine yerleştirilen bu bankalar ayrıştırılmış şekilde teneke, cam, kağıt, tekstil, e-atık, bitkisel atık yağ, atık pil ve plastik atıklar alıp karşılığında çeşitli kupon veya indirim kazandıran uygulamalardır. Bu bankalar mahalle düzeyinde uygulanabilmektedir.

Geri Dönüşüm Merkezleri: Mevcut şehir ölçeğinde bulunan atık geri dönüşüm merkezlerinin yerine mahalle ölçeğinde toplumun dahil edildiği herkesin erişebileceği kendin-yap temalı sosyal mekanlar ve ortak çalışma alanlarının yer aldığı çeşitli projeler bulunmaktadır. Örneğin 2012 yılında Colombes'de yerel ve bölgesel stratejiler sunan R-URBAN topluluğunun ürettiği RecycLab; atıkların yerel ölçekte geri dönüştürülmesine ve yeniden kullanılmasına, ayrıca eko-inşaat geliştirmeye ve bilgi birikimini artırmaya yönelik faaliyetler sunan bir geri dönüşüm ve eko-inşaat birimidir. Mahallede geri dönüşümü sağlayan faaliyetlerini günümüze kadar sürdürmektedir. (R Urban, 2012) Bu ve benzeri mekanlar sosyal bir ortam da oluşturan mahalle ölçeğinde uygulanabilecek bir sistemdir.

Şekil 5 Atölyeler ve Ortak Çalışma Alanların Yer Aldığı Recyclab (R Urban, 2012)

Cam Kırıcılar: Cam geri dönüşüm endüstrisine taşınmak üzere camın kırıldığı ve toz halinde paketlendiği bir sistemdir. Bu makineler bir cam kabı orijinal boyutunun kabaca 1/20'sine kadar düşürebilir. Bu, geri dönüşüm veya atma için camın saklanmasını ve taşınmasını kolaylaştırır ve ayrıca geri dönüşüm tesislerinin cam kapları yeniden kullanılabilir bir forma dönüştürmesini sağlar. Barlar,

gece kulüpleri, geri dönüşüm merkezleri, kantinler ve cam şişe ve kavanoz birikimi olan ve depolama alanını minimuma indirmesi gereken alanlar için idealdir. Bu sistem binalara yaklaşık 50 mt uzaklığında yerleştirilecek şekilde mahalle ölçeğinde veya yapı ölçeğinde uygulanabilmektedir.

Onarım Kafeler: İlk kez Hollanda'da girişimci Martine Postma tarafından kurulan repair café; kırık, yıpranmış ve hasar görmüş eşyaların getirilip tamir edildiği ve nasıl onarıldığının öğrenildiği bir atölyedir. Onarım için gerekli araç ve gereçleri bulundurur. Giysi, mobilya, bisiklet, oyuncak, kırık veya hasarlı çanak çömlek, mutfak gereçleri, elektrikli aletler, onarım bilgi becerisine sahip uzman gönüllüler ile birlikte tamir edilmektedirler. (Repair Café, 2022) Herkese açık olan kafelerde ayrıca kendin yap üzerine yayınlar sunan okuma salonları bulunmaktadır. Ekipler çeşitli workshoplar ve etkinliklerle halkı bu kafelere teşvik etmektedir. Bu atölyeler hem onarım bilgisinin yaygınlaşması hem de sürdürülebilir bir toplum için ilk koşul olan zihniyet değişikliğine katkıda bulunur. Bu kafeler mahalle ölçeğinde uygulanabilmektedir.

Şekil 6 Repair Cafe (Repair Café, 2022)

İkinci El Mağazaları: 2018 yılında Amerika'da depolama sahalarına 11,3 milyon ton katı atık tekstil ürünü alınmış bu, katı atıkların tamamının % 7,7'siydi. (EPA, 2021) Tekstil ürünleri üretimi önemli miktarda kimyasal, su, enerji ve diğer doğal kaynaklar gerektirir. Malzemelerin bir çöplükte ayrışması 200 yılı aşkın bir süre alabilir. (Brown, 2021) İkinci el mağazalarının yaygınlaştırılması ve erişilebilirliği tekstil atıklarında büyük miktarda tasarruf sağlayacaktır. Bu mağazalar mahalle ve kent ölçeğinde uygulanabilmektedir.

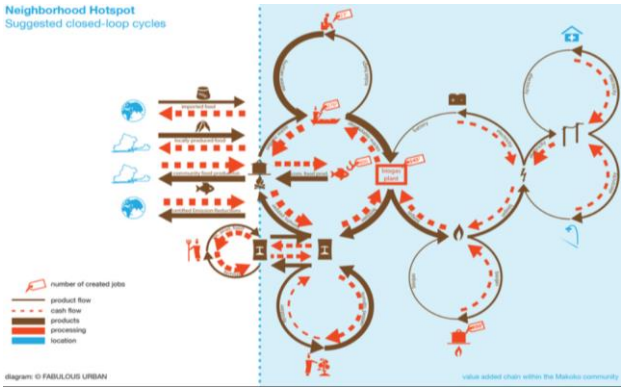
4. MEVCUT UYGULAMALAR

Bu bölümde araştırma kapsamında merkezi olmayan atık sistemi uygulanan çeşitli projeler, teoriler ve vakalar incelenmiştir.

Makoko kentsel tasarımı, toplumun katılımını ön planda tutan katı atık yönetimi için kapsamlı bir sistem getirmektedir. Sürdürülebilir, yeni, merkezi olmayan tasarım; Makoko sakinlerinin bunlara kolayca erişebilmelerini sağlamak için tüm mahalleye dağılmıştır. Atıklar toplanıp tekne ile bu belirlenen noktalara transfer edilir. Organik atıklar; bir biyolojik sindiricide işlenip ardından günlük aktiviteleri desteklemek için biyogaz ve gübreye dönüştürülür. Geri dönüştürülebilir katı atıklar sıkıştırak veya işlenerek geri dönüşüm şirketlerine satılır. Bu noktalarda atık toplama, ayırma ve ezme için bazı çalışanlara ve zanaatkarlara ihtiyaç olacaktır bu da yeni iş kollarının oluşumunu destekleyecektir. Makoko şehir planı, tasarım çözümlerini sosyo-ekonomik bir perspektifle getirmekte, sadece tesis veya peyzaj çözümlerinin ötesindedir. Bütüncül ve sürdürülebilir toplum kalkınmasının bir örneğini ortaya koymaktadır.

Şekil 7 Kentte Oluşturulan Sosyal Alanlar

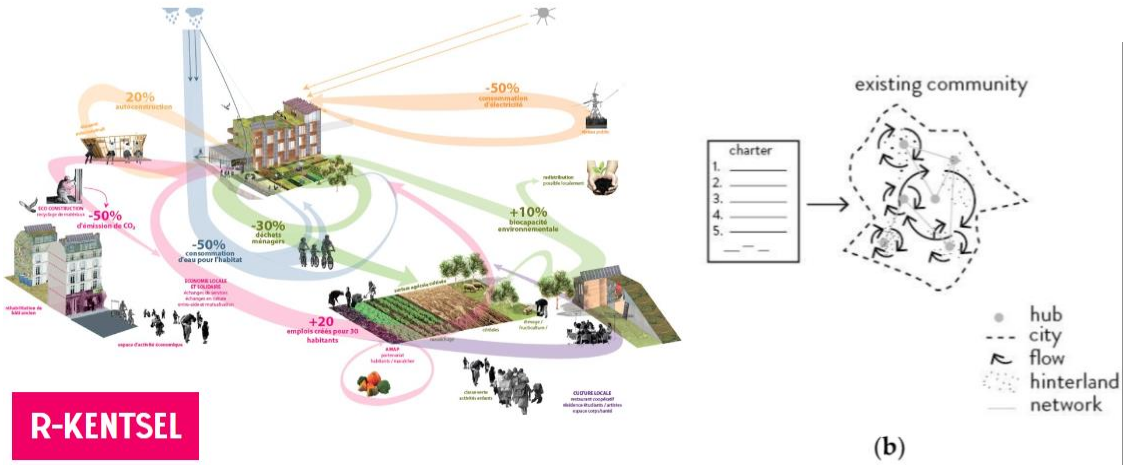
Şekil 8Atıktan Değere Kapalı Döngünün İşleyişi



R-Urban, kentsel ve kırsal arasında alternatif yaşam, üretim ve tüketim modellerini ortaya çıkaran yerel olarak kapalı ekolojik döngüleri başlatmaktadır. Yerel sürdürülebilir kaynak kullanımı yoluyla üretim ve tüketim arasındaki bu denge, yerel ağlar aracılığıyla birbirini destekleyen işbirlikçi uygulamalarla bu değişimlere dahil olması gereken vatandaşların yaşam ve çalışma yaşam tarzlarında değişiklikler olmadan gerçekleşemez. Bu faaliyetler aracılığıyla sürdürülebilirlik vurgusu yapılarak üretim-tüketim akışları, ağları ve devreleri oluşturulacaktır. R-URBAN, aynı amaçlara ulaşmak için çalışan yerel ve bölgesel düzeylerde ortaya çıkan projelere eşlik etmek de dahil olmak üzere, bu projeye vatandaş katılımını kolaylaştıracak araçlar ve kaynaklar sağlar. Proje, vatandaşları yeni projeleri bir araya getiren ve Colombes ve çevresinde yerel halkı aktif olarak dahil eden tamamlayıcı kentsel işlevlere sahip esnek bir ağ oluşturulmasını önermektedir:

- AgroCité – mikro-deneysel bir çiftlik, topluluk bahçeleri, eğitim ve kültür alanları ve enerji üretimi, kompostlama ve yağmur suyu geri dönüşümü için cihazlardan oluşan bir kentsel tarım birimi.
- RecyLab – kentsel atıkların geri dönüştürülmesi ve eko-inşaat malzemelerine dönüştürülmesi için bir dizi ekipmanın etrafına inşa edilmiş bir geri dönüşüm ve yeşil bina.
- ECoHab – bir dizi deneysel üniteden ve kısmen kendi kendine inşa edilmiş topluluk alanlarından oluşan kooperatif ve ekolojik bir yerleşim birimi.
- AnimaLab – Agrocité'de bulunan bir yerli çiftlik, arı kovanı ve tavuk kümesi gibi hayvansal üretim alanları, yerel dağıtım ağına entegre edilir ve Agrocité'nin mağazası aracılığıyla yeniden kullanılır veya satılır. (R Urban, 2022)

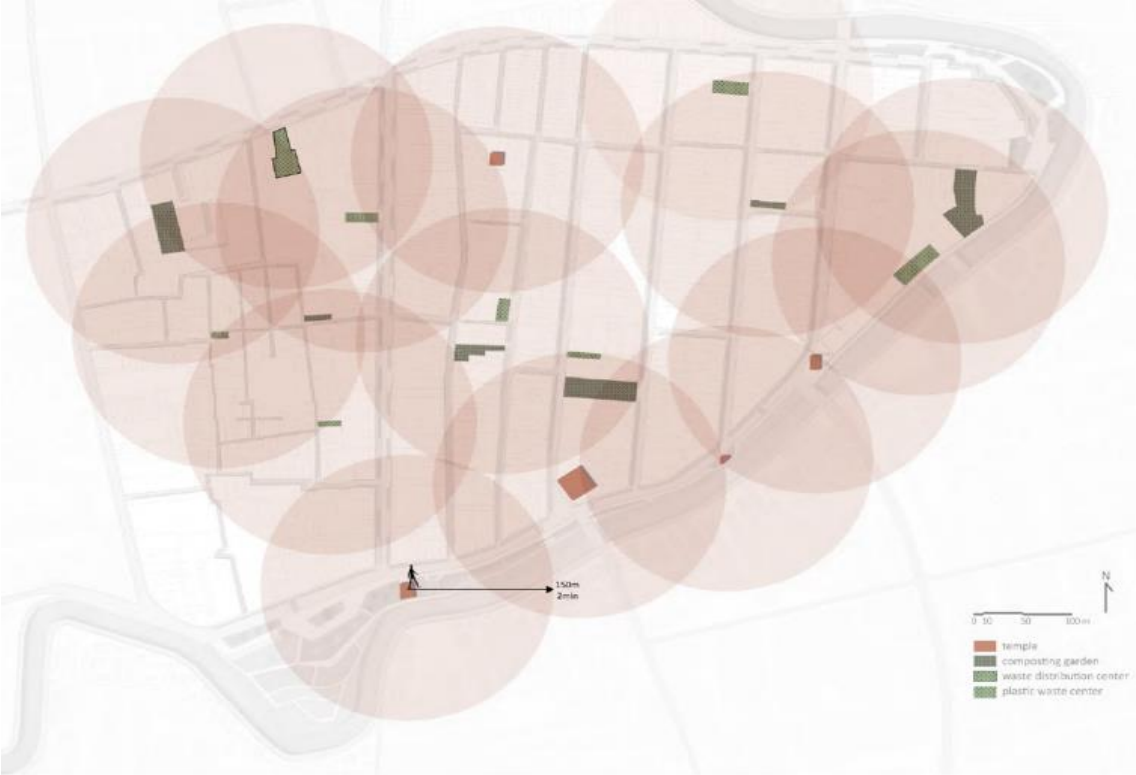
Şekil 9 R Urban Kapalı Döngü (R Urban, 2022)



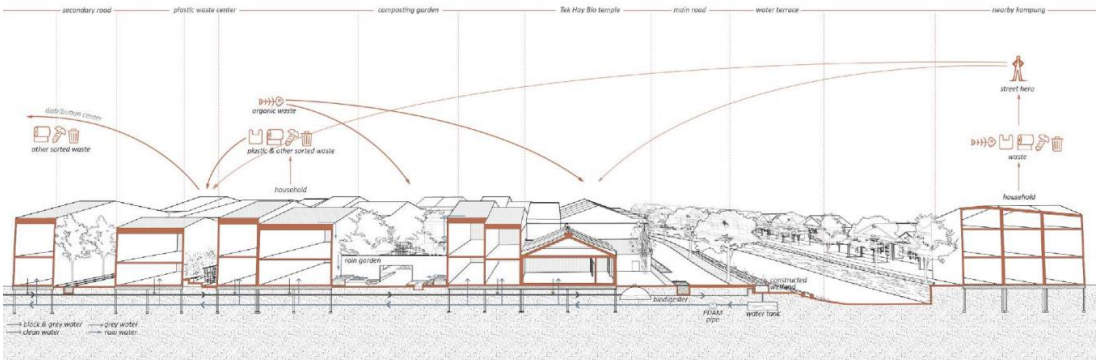
Living with the waste projesi; Endonezya'nın Semarang kentinde merkezi olmayan atık yönetimi sistemlerini kurarak daha iyi bir yaşam yaratmayı hedeflemektedir. Çalışma atık konusunu peyzaj müdahaleleri ile mekansal olarak ele almaktadır. Nüfus, atık miktarı, atığın cinsi gibi faktörler

göz önüne alınarak belirlenen kampung alanlarına atık çözümleri entegre edilmiştir. Kompost bahçeleri, geri dönüşüm merkezleri, atık değişim alanları halkın da katılımının sağlandığı sosyal mekanlar şeklinde tasarlanmıştır. Bu alanlar kentte kullanılmayan boş alanlara, yeşil alanlara veya yeniden işlevlendirilen binalara yerleştirilmiştir. Proje sağlıklı bir çevreye katkıda bulunmayı, sosyal ve ekonomik etkiler yaratırken aynı zamanda atık konusunda zihniyet ve davranış değişikliğinin başlangıç noktası haline gelmesini amaçlamıştır.

Şekil 10 Semarang'da Seçilen Mahallede Belirlenen Katı Atık Altyapı Erişimi (Liu, 2020:25)

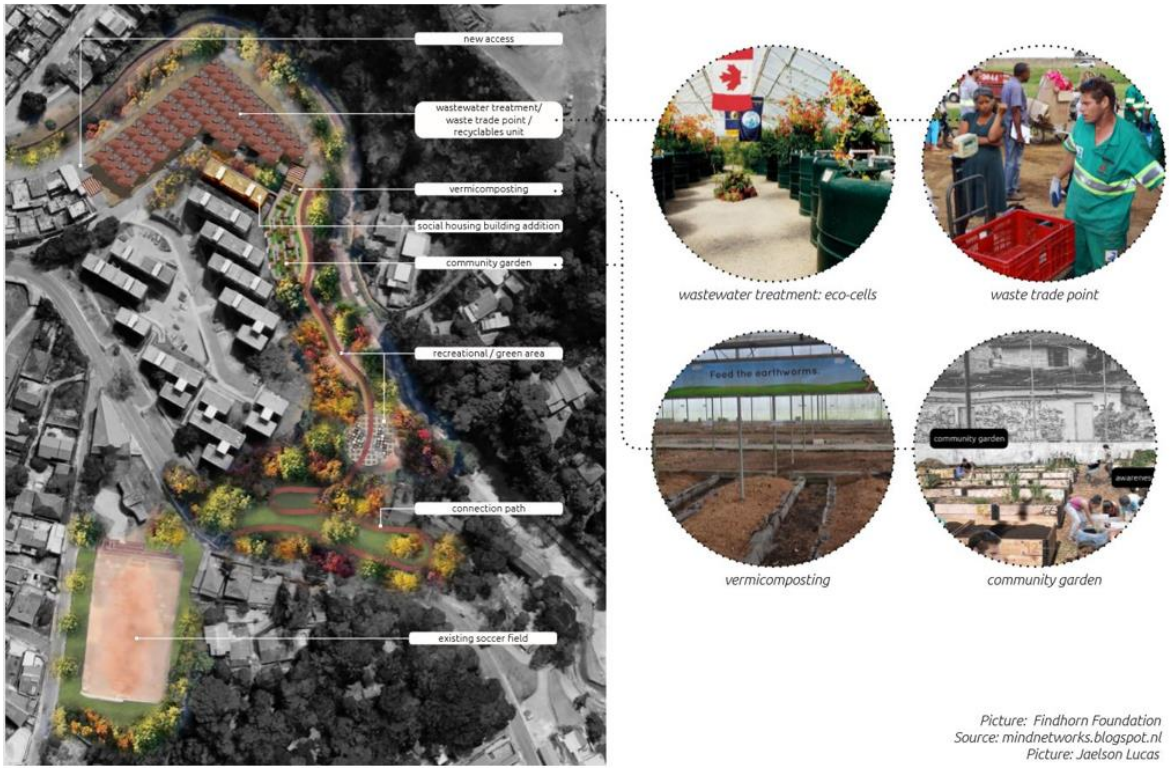


Şekil 11 Seçilen Mahalle İçin Yapılan Detaylı Tasarım(Liu,2020:84)



Metabolik Horizon projesi; yoğun ve sosyal donatıdan yoksun bir toplu konut kompleksinde üretilen yüksek miktardaki atık su ve katı atık problemlerini kaynağında çözüme kavuşturmuştur. Ayrıca bu tesisin uygulanması; hem gecekondu alanlarını hem de sosyal konutu iyileştirmek için bir fırsat olarak görülmüştür. Böylece ihtiyaç duyulan sosyal işlevleri de sistem dahilinde düşük gelirli yerel halkın katılımının sağlandığı (ticaret noktası) bir fırsata dönüşebilir. Çeşitli aktivite-atölye birimleri de toplum ruhunu kamusal alan entegrasyonuyla sağlamış olacaktır.

Şekil 12 Urban Machine Sistemi (Eboli, 2018)



5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Yakın gelecek düşünüldüğünde ortaya çıkacak yüksek ham madde-enerji ihtiyacı ve hızla artan atık miktarları kentlerde sürdürülebilir sistemleri mecburi kılacaktır. Kentte atığın yönetimi de bu gerekliliklerden birisidir. Gelişmiş ülkelerde bu sistemlere daha fazla değer verilse de atık toplama hala geleneksel yöntemler şeklinde çöp kamyonlarıyla aktarma istasyonlarına ardından bertaraf sahalarına gönderilmektedir. Bu sistem bütçe, yakıt tüketimi, iş gücü, ekipman kullanımı ve zaman açısından verimli değildir. Doğrusal sistemin merkeziyetçilikten döngüsel ve kendini yöneten sisteme dönüşmesi gereklidir. Akıllı atık yönetim sistemleri bu sorunları çözmeye odaklanmakta şehir dışına taşınması yerine üretim alanında yeniden kaynağa dönüştürülmesini sağlamaktadır. Yapılan araştırmada kentsel atık yönetimiyle ilgili yapı, mahalle, kent, ülke genelinde çözümler olduğu görülmüştür. Atık müdahaleleri her ölçekte ayrı planlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu projeler farklı sorumluluklar için sakinler, belediyeler, kamu kuruluşları, uzmanlar, mimarlar, kent tasarımcıları, peyzaj mimarları gibi çeşitli aktörleri kapsayacaktır.

Araştırma kapsamında incelenen projelerde atık yönetim müdahaleleri mahalle ölçeğinde ve yereldir. Üretilen atığın cinsi, miktarı, o bölgedeki iklim, nüfus, eğitim seviyesi, mahallenin işlevi gibi sosyal, ekonomik, politik, teknolojik, çevresel parametreler atık yönetim çözümleri için yol göstericidir. Buradan atık yönetim sistemlerinin belirlenmesi için kentin detaylı analizi yapılması gerektiği görülmüştür.

Projelerde kaynak-atık akışı, döngüleri kapatacak şekilde kurgulanmıştır. Öncelikli hedef sürdürülebilirlik için de gerekli olan kaynak tüketimini azaltma, sonrasında yeniden kullanma ve son çare oluşmuş atığı geri dönüştürmeye odaklanmıştır.

Yeni atık akışları mekansal olarak kurgulanmış sosyal bir alan içerisinde sakinlerin dahil olduğu günlük yaşamlarına karışmaktadır ve bu yaklaşım, her şeyden önce sosyal, çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik için gerekli olan vatandaş katılımına olanak sağlar. Bilgi ve deneyimi artırarak atık zihniyetlerini değiştirmeye katkıda bulunur. Bu da toplum temelli dönüşüm için çok önemlidir. Bir başka sosyal fayda da kurulan sistem üzerinde yeni iş kolları yaratılmasıdır.

Bu sistemler atık toplama kamyonlarının daha az kullanılmasını sağlar. Bu da trafik yoğunluğunu ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde düşürecektir. Uzun vadede, depolama alanlarındaki atık miktarının azalması ve atıklardan kaynaklanan kirliliğin azalması açısından daha büyük bir etkiye sahip olabilir.

Mahalle düzeyinde atık yönetimi; atıkların toplanılmasını, yönetilmesini, mekansal müdahalelerle ziyaretçilerin katılımının sağlanmasını, geri dönüştürülmüş ürünler yaratılmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır. bu küçük ölçekli yönetim; psikolojik, fiziksel, sosyal ve ekonomik refah sağlamıştır.

Yapılı çevrede bu atık yönetim çözümleri kentin detaylı analizi sonrası belli aşamalarla kente entegre edilebilir. Yaşam şeklini etkili, hızlı ve sürdürülebilir uygulamalarla değiştirmek için yerel sakinlerin dahil edilmesi önemlidir. Yeni inşa edilecek bölgelerde; kentsel alanların tasarımını sağlayan mimarlar, kentsel plancılar, peyzaj tasarımcıları konuda uzman disiplinlerle birlikte sürdürülebilirlik çerçevesinde belirtilen ilkelerle tasarımlarına tüm bu atık yönetim sistemleri için altyapı oluşturabilirler.

Atıkların büyük çoğunluğu konutlardan gelmektedir. Özellikle bütün olarak tasarlanan toplu konutlar peyzaj tasarımı, rekreasyonel donatılar ve diğer mekanlar oluşturmada da etkin olduğundan potansiyel teşkil eder. Devlet politikaları ve teşvikleriyle yeni üretilecek konut komplekslerinde bu sistemler için (hatta daha etkin kullanıma uygun altyapı) belli yönetmelikler uygulanabilir. Belediye bütçelerinin atık yönetimine ne kadar bütçe ayırdığı verilerini de göz önünde bulundurursak bu yaklaşım ekonomik kalkınmayı da büyük ölçüde etkileyecektir. Ayrıca yüksek miktarda organik atık oluşturan havaalanları, oteller, avmler bu sistemlerin daha gelişmişlerini barındırabilir.

KAYNAKLAR

BROWN, R. (2021). “The Environmental Crisis Caused By Textile Waste”, https://www.roadrunnerwm.com/blog/textile-waste-environmental-crisis, 02.03.2022

ÇŞB (2018).“Atıklar”, https://webdosya.csb.gov.tr/db/bolu/icerikler/atiklar-20180222082452.pdf, 07.03.2022.

EBOLI, C. C. (2018). “Metabolic Horizon: a regional strategy for Belo Horizonte Metropolitan Region’s (RMBH) Wastewater And Solid Waste”, Master Thesis, Delft University of Technology, Netherlands.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2022). “The Butterfly Diagram: Visualising The Circular Economy”, https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram, 07.03.2022.

EPA (2021). “Facts and Figures About Materials, Waste and Recycling”, https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/textiles-material-specific-data, 03.03.2022.

KAÇTIOĞLU, S. ve ŞENGÜL, Ü. (2010). “Erzurum Kenti Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü İçin Tersine Lojistik Ağı Tasarımı Ve Bir Karma Tamsayılı Programlama Modeli”, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2010 (1):89-112.

KAZA, S. ; YAO, L. ; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. (2018). What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, World Bank, Washington.

KOÇAN, A.; GÜLTEKİN D.; BAŞTUĞ, M. (2019). Yeni Ekonomi ve İş Modelleri: Döngüsel Ekonomi ve Paylaşım Ekosistemleri, Uluslararası Ekonomi Araştırmaları ve Finansal Piyasalar Kongresi, Gaziantep.

LIU, X. (2020). “Living With The Waste: Creating A Better Life İmage By Constructing Decentralized Waste Management İn Kampung Kranggan, Semarang”, Master Thesis, Delft University of Technology, Netherlands.

ÖZCAN (2016). “Kent Planlamada Sürdürülebilirlik Gündemi: Bir Kavramsallaştırma Denemesi.” Avrasya Terim Dergisi, 2016 4(2), 7-17.

ÖZSOY, T. (2018). “Döngüsel Ekonomi: Almanya’daki Durumun Bir Özeti.” Global Journal of Economics and Business Studies, 2019 (14), 129-143.

R URBAN (2012). “RecycLab”, http://r-urban.net/en/projects/recyclab/, 06.03.2022.

R URBAN (2022). “R-Urban: Stratégie De Résilience Urbaine”, http://r-urban.net/accueil/, 06.03.2022.

REPAIR CAFÉ (2022). “Wat is een Repair Café ? ”, https://www.repaircafe.org/over/, 04.03.2022.

YANG, A.; NG, K. S.; YAKOVLEVA, N. (2019). “Sustainable Waste Management Through Synergistic Utilisation Of Commercial And Domestic Organic Waste For Efficient Resource Recovery And Valorisation İn The UK”, Journal of Cleaner Production, 2019 (227): 248-262.

Presentation ID / Sunum No= 81

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-9720-1700

Kullanıcı Odaklı Tasarım Uygulamalarında Yapay Gün Işığı Sistemleri: Standard Dose Mağaza Örneği

Prof. Dr. Prof. Dr. Mehmet Lütfi Hidayetoğlu[1], Araştırmacı Emine Cavlan[2]
[1]*Selçuk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü*
mlhidayetoglu@selcuk.edu.tr.com
[2]*Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü*
icmimaremineyalcin@gmail.com

Özet

İnsanların mekânları daha nitelikli ve olumlu olarak algılamaları ve mekânlara kendilerini ait hissetmeleri için iç mekân çevresel faktörlerinden yararlanılır. Bu bağlamda mekânda kullanılacak ışık ve aydınlatma tercihlerinin, kullanıcıların algıları ve değerlendirmelerini nasıl etkilediklerinin bilinmesi ve tasarım kararlarının bu doğrultuda verilmesi kullanıcı odaklı tasarımın önemli bir aşamasıdır. Bu açıdan ele alındığında mekânda doğal ışık kullanımının avantajları öne çıktığı bilinmektedir. Ancak doğal ışığın, zamana, yönelişe, konuma göre kontrol edilemez oluşu da önemli dezavantajları da bilinmektedir. Gün ışığının nitelikleri ve olumsuz özellikleri göz önünde bulundurularak yeni nesil yapay aydınlatma sistemleri geliştirmiştir. Bu çalışmada, Coelux, yapay gün ışığı sistemlerinin teknik özellikleri bir uygulama projesi örneği ile incelenmiştir. Coelux, tasarımcıların teknolojiye bağlı olarak geliştirdikleri, güneş ve gökyüzünün oluşturduğu doğal ışığı ve görüntüyü, yapay olarak üreten LED tabanlı yüksek teknolojik pencerelerdir. Bu kapsamda Coelux, yapay gün ışığı penceresinin teknik özellikleri, kullanım imkânları ve uygulama detayları "Standard Dose" isimli mağaza projesi üzerinden detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yapay gün ışığı penceresi kullanımının gün ışığı almayan penceresiz iç mekânlar için çok önemli ve kullanıcı odaklı bir teknoloji olduğu değerlendirilmiştir. Tasarımcı ve yüklenicilere, kullanıcıları tarafından doğru algılanan mekânlar oluşturmada önemli fırsatlar sunabileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kullanıcı Odaklı Tasarım, Doğal Işık, Yapay Işık, Yapay Gün Işığı, Coelux

Artificial Daylight Systems in User-Centered Design Applications: Example of Standard Dose Storage

Abstract

Indoor environmental factors are used for people to perceive the spaces as more qualified and positive and to feel that they belong to the spaces. In this context, knowing how the light and lighting preferences to be used in the space affect the perceptions and evaluations of the users and making design

decisions in this direction is an important stage of user centered design. From this point of view, it is known that the advantages of using natural light in space come to the fore. However, the fact that natural light cannot be controlled according to time, orientation, location, and its important disadvantages are also known. It has developed new generation artificial lighting systems by considering the qualities and negative characteristics of daylight. In this study, the technical features of Coelux artificial daylight systems are examined with an example of an application project. Coelux is an LED-based high-tech window that artificially produces the natural light and image created by the sun and the sky, developed by designers depending on technology. In this context, the technical features, usage possibilities, and application details of the Coelux artificial daylight window were examined in detail through the store project named "Standard Dose". As a result of this study, it has been evaluated that the use of artificial daylight windows is a very important and user-oriented technology for windowless interiors that do not receive daylight. It has been emphasized that it can offer designers and contractors significant opportunities to create spaces that are perceived correctly by their users.

Keywords: User Centeted Design, Natural Light, Artificial Light, Artificial Daylight, Coelux

Bu çalışma; Emine Çavlan'ın Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Yüksek Lisans programında yürütülen yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

1. GİRİŞ

Işık, insanın varoluşundan itibaren hayatını ve çevresini etkileyen, her anında ihtiyaç duyduğu en önemli unsurlardan birisi olmuştur. Kavram olarak ışığı öğrenen insan, kaynağını araştırmayı, oluşum ve gelişim sürecini tanımlamayı, ışığı keşfettikten sonra kullanma tekniklerini, ihtiyaçlarına göre şekillendirmeyi başarmıştır. İnsan, çevrenin tanımlanmasını, duyular vasıtasıyla keşfettikten sonra, algılama ve tanımlama yöntemi ile ışığı kullanmayı öğrenirken bu oluşum sürecini aydınlatma kavramını öğrenerek, tanımlayarak ve geliştirerek devam ettirmiştir.

İnsanlar, yaşadıkları ve bulundukları ortamları gün ışığını kullanarak, gün ışığının olmadığı durumlarda ise yapay ışık kullanarak aydınlatmaktadır. Aydınlatma ve ışığı kullanma kavramı teknolojiye ve zamana bağlı olarak önemli ölçüde değişerek gelişmiş, bu gelişim halen devam etmektedir. Yaşam şartlarına bağlı gelişen aydınlatma kavramı zorunlu bir ihtiyaç olarak görülmesine rağmen, özellikle insan sağlığına ve psikolojisine olan etkileri ile ön plana çıkmaktadır.

Çoğalan nüfusa bağlı artmaya devam eden binalar çok katlı yapılardan oluşurken bu binalar, üst katlarda gün ışığını içeriye alan, alt katlarda ise gün ışığını görmeyen penceresiz ve sadece yapay ışık kullanılarak aydınlatılan iç mekânlardan oluşmaktadır. Gün ışığı almayan penceresiz binalarda yaşayan insanlar uzun süre yapay ışığa maruz kalmaktadır. Bu duruma bağlı olarak insanlar yaşadıkları ve bulundukları ortamlarda gün ışığı almadıkları için psikolojik ve fiziksel yönden olumsuz yönde etkilenmektedir. İnsanın bir mekân içerisinde doğal ışığa ihtiyaç duyması doğal bir gereksinimdir. Fakat gün ışığının, zamana, yönelişe, konuma göre kontrol edilemeyen ve yetersiz kaldığı dezavantajları da bulunur.

Tasarımcılar, kullanıcılar üzerindeki olumsuz ve yetersiz gördükleri etkileri, engellemek ve ortadan kaldırmak için teknolojiden faydalanarak yeni nesil yapay aydınlatma sistemleri geliştirmiştir. Bu sistemler odağında insanı referans alan, kullanıcı odaklı gökyüzü görüntüsünü ve güneş ışığını taklit eden sistemlerden oluşmaktadır. 2009 yılında, "Coelux SRL" isimli bir aydınlatma firması, teknolojik yapay gün ışığı sistemlerini üretmiştir.

Bu çalışmada, ışık, aydınlatma ve insan kavramı, doğal ve yapay aydınlatma, doğal ışığın özellikleri, kullanıcı odaklı aydınlatma ve yapay gün ışığı sistemleri (Coelux) analiz edilmiştir. Bu kapsamda Coelux, yapay gün ışığı penceresinin teknik özellikleri, kullanım imkânları ve uygulama detayları "Standard Dose" isimli mağaza projesi üzerinden detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda yapay gün ışığı penceresi kullanımının hiç gün ışığı almayan penceresiz iç mekânlar için çok önemli ve kullanıcı odaklı bir teknoloji olduğu değerlendirilmiştir.

1.1. Aydınlatma ve İnsan

Aydınlatma kavramını anlayabilmek için öncelikle ışığın tanımlanması gerekir. Işık, göze tesir eden özel bir enerji şeklidir, dalga ve foton şeklinde yayıldığı kabul edilir. Elektromanyetik dalgaların doğrusal yayılımı olarak ifade edilir ve dalgalar, boylarına göre sıralandığında elektromanyetik spektrum (tayf) elde edilir. Bu tayfın 380-780 nm. dalga boyları arası (kızılötesi ve mor ötesi ışınların kaldığı alan) gözle görülebilir bölgedir (The Lighting Handbook, 2018). Işığın yayılma hızı boşlukta yaklaşık saniyede 300 000km'dir (Wikipedia, 2022).

Işık olmadan hiçbir ortam, nesne, biçim, renk ve doku gibi faktörler tanımlanamaz. İnsan çevresiyle olan ilişkiyi duyu organları aracılığıyla kurar. Görme duyusu ise çevreyle iletişimin kurulmasını sağlayan en önemli duyu organıdır. Görme olayı, ışık ışınlarının göze girmesiyle başlayan, beynin algılamasıyla sonuçlanan bir süreçtir. Işık, psikofiziksel bir nicelik olup, temel olarak bir algılama olarak açıklanabilir (The Lighting Handbook, 2018).

Aydınlatma, kısa tanımı ile nesnelerin ve ortamların gereği gibi görülebilmesini sağlamak amacı ile ışık uygulamaktır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonunca belirlenen tanıma göre, "*aydınlatma; nesnelere, çevrelerine ve ufak ya da büyük bölgelere, bunların görülebilmesi için, ışık uygulamaktır" olarak ifade edilir (Ünver, 2000).*

Işık, aydınlatma ve insan arasındaki ilişki etrafımızdaki nesneleri görme, görme olayının gerçekleşmesi ve iç mekân çevresel faktörlere göre tanımlanmasından çok daha fazlasını içermektedir. Işığın, içinde bulunan birçok karakteristik özelliği nedeniyle değişken yapıda olduğu için, ışığın, renk sıcaklığı, (CRI) renksel geriverim endeksi, kamaşma, parlama ve ışık şiddeti gibi değişken kabul edilen özelliklerinin yanı sıra, ayrıca insan metabolizması üzerinde fizyolojik ve psikolojik yönlerden de etkileri bulunur (Avcı ve Akbay, 2021).

Son yıllarda yapılan araştırmaların göze gelen ışığın nicelik ve nitelik bakımından, sirkadiyen ritim, biyolojik saat, biyolojik sistem, algı mekanizması ve psikolojik durum üzerinde etkili olduğu görülmüştür (Aktaş, 2012). Işığın insan üzerindeki etkilerini; daha iyi görme, güvenlik ve yön bulma (görsel), daha iyi hissetme, ruh hali (duyusal) ve daha fonksiyonel olma, bireysel performans (biyolojik) şeklinde özetleyebiliriz.

Işık; biyolojik saati, dünyanın aydınlık karanlık döngüsü ile senkronize eden birincil uyarıcı ve insan sağlığı üzerindeki etkileri ile önemli bir çevresel faktördür *(Memiş, 2019).* Işık, özellikle sirkadiyen sistem üzerinde etkilidir.

Sirkadiyen sistem, kendini tekrar eden biyolojik olayların temel döngüsüdür ve 24 saatlik bir döngüde davranışsal, zihinsel ve fiziksel değişikliklerle ilgili vücudun dengesi olarak açıklanabilir. Çevredeki dış uyaranlardan biri olan ışık, görme yoluyla insan vücuduna dâhil edilir ve süreç başlar. Sirkadyen görsel olarak ise, nöroendokrin ve nörodavranışsal tepkilerin işlenmesi ile retinada başlar (Avcı ve Akbay, 2021). Işığın sirkadiyen sistem üzerine olan etkileri değerlendirildiğinde, kullanıcıları doğru zamanda, doğru yapay ışık ile destekleyerek yapay ışığın; görsel, biyolojik ve psikolojik yönden etkilerinden faydalanarak yaşam konforunun artırılması üzerine "Kullanıcı Odaklı Aydınlatma" fikrini ortaya çıkmıştır. Işığın görsel ve görsel olmayan etkilerini yeni tasarım anlayışları ile bir araya getiren, aynı zamanda insan görüşüne dayanan aydınlatma kalitesinin geleneksel unsurlarını dikkate alarak tasarlanan, aydınlatma çözümlerini tanımlamayı amaçlayan bir deneyimdir (Houser ve Esposito, 2021).

2. AYDINLATMA TÜRLERİ

Aydınlatma türleri genel olarak ışık kaynağına göre, doğal ve yapay aydınlatma olmak üzere iki grupta incelenebilir.

2.1. Doğal Aydınlatma

Doğal ışık (gün ışığı), güneş ve gök ışığının değişik oranlarda birleşmesi sonucunda oluşmaktadır. Mevsime, iklime ve günün saatlerine göre devamlı değişlik gösteren, monoton olmayan devamlı değişen bir yapıdadır. Güneş ışığı atmosfer dışında kuramsal beyaz ışık niteliğindedir ve Güneş ışığının, güneşten yere ulaşması için geçen ortalama sürenin yaklaşık olarak 8 dk./sn. olduğu ve dünyaya yaklaşık 6000 °C sıcaklıkta ulaşmaktadır (Hidayetoğlu, 2010).

Kapalı alanların doğal ışıkla aydınlanmasını sağlayarak yapılan aydınlatmaya doğal aydınlatma denir. Doğal aydınlatmayı yapay aydınlatmadan ayıran en önemli özellik; cisimleri, hacimleri ve dokuları gerçeğe en yakın hali ile görülmesini ve algılanmasını sağlamasıdır. Mekânların günışığı ile aydınlatılması, kullanıcının görsel ve fizyolojik konforunun sağlanmasının yanı sıra enerji tüketiminin azaltılması açısından önemlidir (Akgün, 2018).

Doğal gün ışığının en önemli özelliği canlı, devingen olmasıdır. Yani güneş ışığının ortaya çıkardığı renkler ve yoğunluğu gün içerisinde sınırsız çeşitlilik sunar tüm bu özellikleri ile canlı, devingen bir nitelik gösterir. Gün ışığı ile aydınlatılan mekânlar ışığı dış mekândan almaktadır. Yapıya açılan herhangi bir pencereden gün ışığı iç mekâna girer. Gün ışığı sürdürülebilir bir enerji olduğu için ışık kaynağını yapılarda kullanmak yapay ışığa duyulan ihtiyacı önemli ölçüde azaltır.

Doğal aydınlatmanın insan üzerindeki olumlu etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu noktada doğal aydınlatmanın mekânlarda kullanımı hem ekonomik hem de kullanıcıların algısal performansı açısından çok avantajlıdır. Bun karşın doğal aydınlatmanın zamana, mevsimlere, hava durumuna ve yönelişe göre kontrol edilmez oluşu en önemli dezavantajlarıdır. Bu nedenle yapay aydınlatmalara ihtiyaç duyulur.

2.2. Yapay Aydınlatma

Yapay aydınlatma**,** doğal ışığın olmadığı, doğal gün ışığının yeterli olmadığı durumlarda ışık kaynağı kullanılarak yapılan aydınlatma türüne denir. Yani gün ışığı almayan veya az alan yerlerde, gün ışığından yoksun bulunan saatlerde ya da özel bir ortamın aydınlatmasında, mekânın gerekli aydınlık düzeyinin sağlanması için yapay aydınlatma kullanılır (Tuncay, 2006).

Yapay aydınlatma elektrikli ışık kaynaklarından temin edilir. Kullanılan ışık kaynaklarına göre; bu aydınlatma elemanları floresan lambalar, akkor lambalar, akkor halojen lambalar ve LED gibi türlerden oluşmaktadır. İç mekân aydınlatması, kapalı yerlerin aydınlatılmasıdır ve bu aydınlatma türünde tavan ve duvarlar yansıtma yolu ile çalışma düzlemine ışık gönderirler; dolayısıyla çalışma düzenin aydınlanmasına yardım eder (Hidayetoğlu, 2010).

Ev, okul, hastane, ofis, fabrika, tiyatro, sinema ve benzer iç mekân aydınlatmaları bu sınıfa girer. Bu aydınlatma türünde de aydınlatma aygıtının türüne göre alt türler bulunur. Bir mekânda renksel algılamanın sağlanmasında yapay ışığın rolü büyüktür. Yapay ışık ile aydınlatılan iç mekânlarda, görünürlüğün sağlanması, iyi bir görüntünün elde edilmesi, görüntünün gereği gibi olmasının sağlanması öngörülen üç temel ilkedir (Tuncay, 2006).

Yapay aydınlatma ampulün icadı ile şekil değiştirmiş, teknolojiye bağlı geliştirilen ürünler sayesinde artık sadece aydınlatma amacına hizmet vermemekte, nicelik ve nitelik özellikleri göz önünde bulundurularak kullanıcının görsel algılamasında değişikliklere sebep olmuştur. Bu değişiklikler, temelde daha iyi görme koşullarının sağlanması ve gecenin de insan hayatına kazandırılması amaçlarına dayanıyor. Ancak zaman içinde meydana gelen bu değişimler yapay aydınlatmanın sadece 'ışık sağlamak' olarak nitelendirilmeyeceğini göstermiştir. Bu alanda yapılan çalışmalar, insan gözünün anatomik ve fizyolojik yapısının daha detaylı olarak incelenmesi ile gelişme göstermiştir (Altuncu, 2008).

3. METOT

Bu çalışmada gün ışığı almayan mekânlarda kullanmak üzere tasarlanan ve gün ışığının görsel özelliklerini taklit eden ve insan üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu varsayılan yapay gün ışığı sistemi olan Coelux, ürünlerine odaklanılmıştır.

3.1. Yapay Gün Işığı Sistemleri (Coelux)

Kullanıcı odaklı aydınlatma kavramı üzerine insanı referans alan yeni nesil aydınlatma sistemleri tasarlanmıştır. Bunların arasında gökyüzünü ve güneşi iyi derece taklit edebilen sistemler bulunmaktadır. Bu sistemler ışığın "parlaklık, yön, kontrast ve renk sıcaklığı" gibi temel özellikleri dikkate alınarak ve tasarlanmaktadır. 2009 yılında, İtalya'da bir firma gün ışığını ve gökyüzünü iyi derecede taklit edebilen "Coelux" yapay gün ışığı sistemini geliştirmiştir. Coelux, güneşli bir günde evin içine giren güneş ve gökyüzü ışığını mükemmel bir şekilde taklit eden yeni bir tür iç mekân aydınlatması sunmaktadır (Coelux, 2022). Coelux, tasarımcıların teknolojiye bağlı olarak geliştirdikleri, güneş ve

gökyüzünün oluşturduğu doğal ışığı ve görüntüyü, yapay olarak üreten LED tabanlı yüksek teknolojik pencere sistemleri olarak tanımlanmaktadır.

Coelux, üç önemli teknolojiyi bir araya getirmektedir, bunlar şu şekilde açıklanabilir. İlki Güneş ışığının spektrumunu (elektromanyetik tayf) gösteren son teknoloji ile üretilmiş LED ışık sistemi olmasıdır. İkincisi, atmosferde oluşan Rayleigh saçılması (Işığın veya diğer elektromanyetik radyasyonun, ışığın dalga boyundan daha küçük tanecikler tarafından saçılımı. Gökyüzünün mavi görünmesi durumu) sürecini sağlayan, birkaç milimetre kalınlığında nano parçacıklardan oluşan yüzeylerden oluşmasıdır. Üçüncüsü ise nano yüzeylerin güneş ile gökyüzü arasındaki sonsuzluk algısını kullanıcılar üzerinde yaratmak için, optik sistem ile birleştirilmesi sonucunda üretilmiştir (Coelux, 2022) olmasıdır.

Coelux teknolojisi, uygun kontrast ve renk dağılımıyla, doğal ışığın ürettiği efektlere benzer efektlerle biç mekanı aydınlatır. Yapay güneş ışığı, yüksekte hizalanmış, düşük CCT (sarı-turuncu) doğrudan ışık bileşeni, güneş ışığını simüle ederek tanımlanmış, tek tip bir ışık huzmesi oluşturarak nesnelerin üzerine paralel, keskin gölgelerini yansıtır. Yapay gökyüzü ışığı, yüksek CCT (mavi) dağınık ışık bileşenlerini taklit eder. Mekânın içine gökyüzünün mavi yumuşak ışığını yansıtır. Nesnelerin şekilleri ve hacimleri güneş tarafından oluşturulan net gölgelerden oluşur.

Şekil-1: B&O Mağazası, Coelux, teknolojisini deneyimleyen insanlar

LED tabanlı yüksek teknolojik pencere sistemi (Coelux) güneş ışığını farklı açılara göre taklit eden üç farklı gruba ayrılmıştır, Bunlar;

- Coelux 60 Tropikal Işık: Işık ve gölgenin maksimum parlaklık kontrastına sahip, daha soğuk renk tonlarında ve 60 derecelik dikey gün ışığı ile yayılır.
- Coelux 45 Akdeniz Işığı: 45 derecelik ışık açısı ile yayılırken, eşit ve dengeli ışık sunar.
- Coelux 30 Kuzey Avrupa Işığı: Tavana ve duvara monte edilebilen ürünlerdir. Mekâna yayılan ışık uzun gölgeler oluşturur.

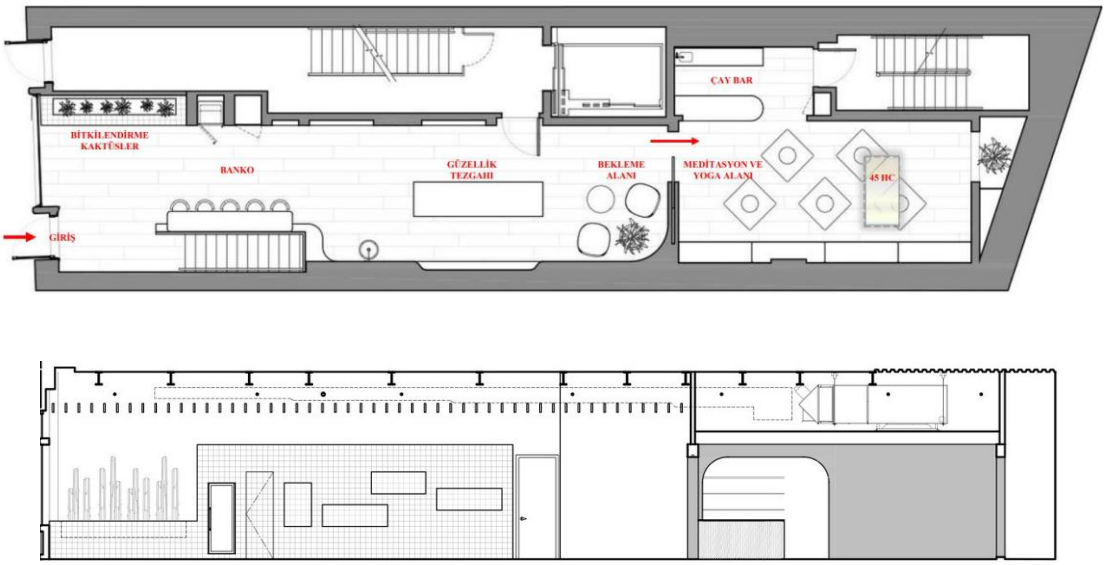
Yapay gün ışığı penceresi; ev, ofis, hastane, mağaza, okul, spor salonu ve havaalanı gibi birbirinden farklı işlevlerde kullanılan alanlarda tercih edilmektedir. Kullanıcıların ve mekânların ihtiyaçlarına göre uygulama ve seçimde ürün çeşitliliği sunmaktadır. Yapay gün ışığı sisteminin özellikleri ve uygulama detayları bir sonraki başlık altında "Standard Dose" mağaza örneği üzerinden detaylı bir şekilde incelenmiştir.

4. ARAŞTIRMA ALANI (STANDARD DOSE)

Araştırma alanı "Standard Dose" mağazası seçilmiştir. Araştırmaya konu olmasının sebebi; kurulumu yapılan Coelux, yapay gün ışığı penceresinin tamamen güneş ışığı almayan penceresiz kapalı bir alanda bulunmasıdır.

T-U-N-A Mimarlık ve SR proje tarafından, tasarım ve uygulaması yapılan, “Standard Dose” mağazası bitkisel kozmetik ürünler üreten ve satan bir mağazadır. Ürettiği bitkisel ürünleri mağazasında sergileyerek satışa sunarken bu ürünleri çeşitli eğitimlerle müşterilerine sunmaktadırlar. Mağazada bu eğitimler için yoga ve meditasyon aktiviteleri düzenlenmektedir. Coelux, yapay gün ışığı penceresi, yoga ve meditasyon eğitimlerinin verildiği alanın tavan yüzeyine uygulanmıştır. Aşağıdaki Şekil-2 üzerinde mağaza zemin kat yerleşimi ve yapay gün ışığı penceresinin plan üzerinde yerleşimi ve A-A Kesiti tavan uygulama detayı gösterilmiştir.

Şekil-2: Standard Dose Mağazası, Zemin Kat Planı ve A-A Kesiti



Mağaza, bodrum kat, zemin kat ve üst kat olmak üzere toplam 1400 m² alandan oluşmaktadır. Bodrum katta tedavi odaları, zemin katta ürünlerin sergilendiği alanlar, yoga ve meditasyon eğitimlerinin verildiği alanlardan oluşan mağaza da, üst katta ofisler ve ürün geliştirme odaları bulunur. İç mekân tasarımı minimalist tasarım anlayışı ile yapılmıştır, sade ürünlerin ön plana çıktığı, doğal görünümlü açık renklerin ve doğal malzemelerin hâkim olduğu bir mekândır.

Tasarımcılar alanı sabitlemek için merkezi bir özellik olarak duvar yüzeylerini kullandılar, duvar yüzeylerine açılan nişlerin içerisine ürünler yerleştirildi. Bu yüzeylere yerleştirilen ürünler ile tüm mağazada görsel bütünlük sağlandı. Doğal görünümlü duvar yüzeyleri, yerini keskin köşeleri bulunmayan mobilya, duvar ve kapı geçişlerine bırakmıştır. Tasarımcılar çarpıcı bir şekilde mekândaki dikkati başka bir noktaya çekmeyi başarmıştır, mekâna gelen insanları şaşırtmak, mekânın oran algısını değiştirmek için Coelux, yapay gün ışığı penceresini kullanmışlardır.

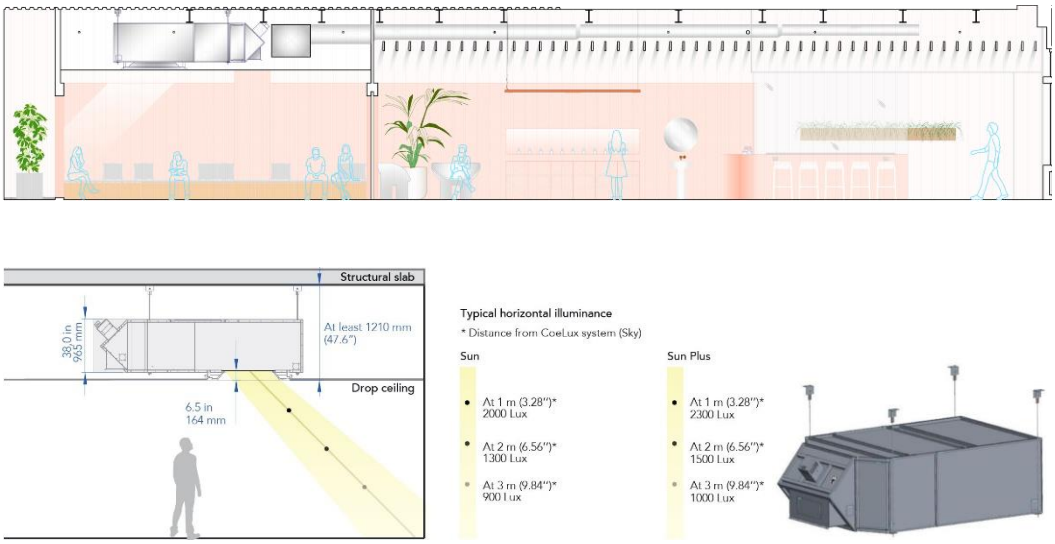
Şekil-3: Standard Dose Mağazası, İç mekân görseli 1.

Mağazanın ince, uzun dar yapısı ve mobilyaların yerleşimi mekâna giren kullanıcıları, yapay gün ışığı alanına yönlendirmektedir. Coleux yapay gün ışığı penceresinin bulunduğu alana, geçiş kemerli sürgülü bir kapıdan yapılır. Bu alanda bir çay bar, meditasyon ve yoga dersleri için yerleştirilmiş minderler ve oturma yerleri bulunmaktadır. Mekân tasarımının minimalist tasarım anlayışı bu alanda da devam ettirilmiştir. T-U-N-A 'nın mimarları, bu proje için yapay gün ışığı penceresini seçerken, özellikle karanlığın ve gölgenin sürekli sorun olduğu New York gibi yoğun bir şehrin coğrafi konumu, iklim şartları gibi doğal etkenleri göz önünde bulundurmuştur. Ayrıca teknolojinin etkileri özellikle ilgilerini çekmiştir (T-U-N-A, 2022).

Şekil-4: Standard Dose Mağazası, İç mekân görseli 2.

Asma tavan içerisine yüksek teknolojik pencere sisteminin en büyük ölçülerine sahip olan "High End" ürün ailesinden "45 HC" sistemi uygulanmıştır. Kurulum alanı için boşluk bırakılan alan, 3759 x 2491 x h:1210 mm ölçülerindedir. Pencere boyutu, 3698 x 2274 x h:1084 mm ölçülerindedir. Gökyüzü ışık boyutu, 1710 x 850 mm, maksimum güç tüketimi 300 W olan ürünün CRI değeri >92 olan ışık renk sıcaklığı 3900 K'dir. Toplam ışık çıkış miktarı 4100 lm olan LED ürünlerdir. Birim için 20 m² alan önerilmektedir.

Şekil-5: Standard Dose Mağazası, B-B Kesiti ve uygulama detayı. Farklı yüksekliklere göre değişen ışık lux değerleri.



Coelux mavi, parlak gökyüzü ve parlak güneşi gösteren derinlik ve sonsuzluk hissi yaratan bir sisteme sahiptir. 45 HC, teknolojik pencere sisteminin içinden 45 derecelik yapay gün ışığı yayılır, panelden geçen yapay ışık doğal gün ışığının sıcak renklerine sahiptir. Güçlü gökyüzü renklerine sahip olan ışık, gökyüzünün ışık renklerine benzer şekilde gölgelerle beraber renklenmiştir. Yapay güneş ışığı tavanda yer alan pencereden birebir görüntülenmektedir.

Coleux 45 HC sistemi içerisinde aynı zamanda yeni geliştirilmiş olan Ay görüntüsü sürümü de bulundurmaktadır. Bu sistem Sun & Moon (Güneş & Ay) olarak adlandırılmıştır. Dimmerlenebilir özelliğe sahip olan sistemler ürün dimmerlendiğinde ay ışığı görüntüsü oluşmaktadır. Bu özellik sayesinde günün istenilen saatinde ay ışığı görüntüsü izlenebilir ve gökyüzünde gece görüntülenebilir.

Şekil-6: Standard Dose Mağazası, İç mekân görseli 2.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ışık ve aydınlatma konusu ele alınmış doğal aydınlatma ve yapay aydınlatmanın zamana, insana ve teknolojiye bağlı değişimi incelenmiştir. Işığın insan üzerindeki etkilerinin gelişim süreci ele alınarak kullanıcı ve aydınlatma arasındaki bağ tartışılmıştır. Sonuç olarak, kullanıcı odaklı aydınlatma sistemlerinin aydınlatma tasarımlarında ve projelerinde uygulandığında odağında insan olduğu için olumlu yönde katkı sağladığı düşünülmektedir.

Doğal ışığın sirkadiyen sistemi destekleyen psikofiziksel döngüyü, doğal olarak sağlarken binalarda yetersiz ya da hiç gün ışığı almayan iç mekânlarda, yapay aydınlatmanın önemi büyük ölçüde artmaktadır. Bu bağlamda aydınlatma tasarımlarında üreticilerin daha konforlu, sağlıklı ve refah bir ortam yaratması için kullanıcı odaklı aydınlatma tasarımını destekleyerek tasarım ve üretim yapmaları önerilmektedir. Doğal aydınlatmanın, insan üzerindeki olumlu etkilerinin yapay aydınlatmaya göre daha fazla olduğu bilinirken, zamana, yönelişe, konuma göre kontrol edilemez oluşu gibi önemli dezavantajları da bulunmaktadır. Bu durumda gün ışığının olumsuz özellikleri düşünüldüğünde yapay aydınlatmanın önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Bu bağlamda kullanıcı odaklı tasarlanan yapay gün ışığı sistemlerinin iç mekâna kazandırdığı olumlu katkıları ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda yapay gün ışığı penceresi kullanımının gün ışığı almayan penceresiz iç mekânlar için çok önemli ve kullanıcı odaklı bir teknoloji olduğu değerlendirilmiştir. Tasarımcı ve yüklenicilere, kullanıcıları tarafından doğru algılanan mekânlar oluşturmada Coelux, yapay gün ışığı penceresinin önemli fırsatlar sunduğu görülmektedir.

Standard Dose, mağazasına seçilen yapay gün ışığı penceresi canlandırıcı ortam ile stresi azaltarak, duygusal iyiliği artırarak ve kişinin bilişsel fonksiyonlarını geliştirdiği görülmektedir. Standard Dose' a göre Coelux tasarımı, "dünyanın davranışını, atmosferini taklit eder ve zihinsel onarmayı desteklediği, stresi azalttığı, rahatlık ve duygusal yönden rahatlık hissini yükselttiği ve bilişsel işlevleri geliştirdiği kanıtlanmıştır" (Coelux, 2022). Coelux, özellikle doğal aydınlatmanın olmadığı penceresiz mekânlarda konforlu ve algılanabilir mekân yaratırken hayati bir bileşen olarak değerlendirilmiştir.

KAYNAKÇA

Akgün, B. (2018). Müze Sergileme Vitrinleri Ve Mağaza Vitrinlerinin Aydınlatma Tekniği Kuralları Açısından Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Aktaş, İ. (2012). Dinamik Aydınlatmanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altuncu, D. (2018). Gün Işığı Almayan Kapalı Mekânlarda Gün Işığı Etkisi Yaratan Uygulamaların Kullanıcı Algısına Etkisi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Avcı, N.A. ve Akbay, S. (2021). İnsan Odaklı Aydınlatma: Sirkadiyen Aydınlatma Tasarımı Ve İç Mekân İlişkisinin İrdelenmesi, 13. Ulusal Aydınlatma Kongresi, Aydınlatma Türk Milli Komitesi, Ankara.

COELUX SRL. (2022). Standard Dose, a New York Experience For Physical And Mental Well-Being, https://www.coelux.com/en/pj/standard-dose-for-wellbeing-9089 ,11.03.2022.

COELUX SRL. (2022). Bang&Olufsen (Vilnius - Lithuania),

https://www.coelux.com/en/pj/bang-olufs-en-13, 11.03.2022.

COELUX SRL. (2022). About us, https://www.coelux.com/en/about-us/index

Hidayetoğlu, M.L. (2010). Üniversite Eğitim Yapılarının İç Mekânlarında Kullanılan Renk Ve Işığın Mekânsal Algılama Ve Yön Bulmaya Etkileri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Houser, K.W. ve Esposito, T. (2021). Human-centric lighting: Foundational considerations and a five-step design process, Frontiers in Neurology, Switzerland.

Memiş, Ö. (2019). İnsan Odaklı Aydınlatmanın Farklı Ortamlar İçin İncelenmesi, İnsan Üzerindeki Fizyolojik Ve Psikolojik Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özkaya, M. ve Tüfekçi, T. (2000). Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Sema, T. (2006) Mimarlık Ve Renk Kavramı, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

T-U-N-A ARC. (2022). Standard Dose, https://www.t-u-n-a.com/standard-dose 11.03.2022.

Ünver, R. (2000). Aydınlatma ve Dini Yapılar, Tasarım Dergisi, İstanbul.

Zumtobel, L.G. (2018). The Lighting Handbook, Chartered Institution of Building Services Engineers, Austrıa.

Presentation ID / Sunum No= 95

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-6418-6890

Hava Kalitesinin Mekânsal Dağılımının İncelenmesi: Ankara Kent Merkezi Örneği

Onur Coşkun[1], Prof. Dr. Ülkü Duman Yüksel[2]
[1]*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, ocoskun1996@gmail.com*
[2]*Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, uduman@gazi.edu.tr*

Özet

Hava kirliliği günümüzde; insan, hayvan, bitki ve yapılı çevre üzerindeki olumsuz etkileri giderek artan bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazi kullanım kararları verilirken ekonomik faaliyetlerin öncelenerek yer seçiminin yapılması, kentsel alanlar yayılıp yapılı alanlar artarken açık ve yeşil alanların azalması, temiz hava sirkülasyonunu sağlayan koridorların engellenmesi, artan ulaşım emisyonları hava kirliliğinin, dolayısıyla kirliliğin kentli yaşantısı üzerindeki olumsuz etkilerinin giderek artmasına sebep olmuştur. Yapılan bu çalışmada Ankara il merkezinde yer alan 7 adet hava kalitesi izleme istasyonunun 2009 – 2019 yılları arasında ölçmüş olduğu, SO2 ve PM10 değerleri yıllık, mevsimlik ve günlük olarak analiz edilmiştir. Söz konusu değerlerin ulusal, uluslararası standartlara göre uygunluğu ve istasyonlarda ölçülen değerlerin eşik değerleri aştığı gün sayıları değerlendirilmiştir. 10 yıllık periyotta, Ankara kentindeki eşik değerleri en fazla aşan kirleticinin PM10 olduğu; 7 hava kalitesi izleme istasyonundan eşik değerlerin en fazla aşıldığı istasyonun ise kent merkezindeki Sıhhiye istasyonu olduğu; değerlerin ölçüm yapılan 1821 günden 1792'sinde (%98) WHO limit değerlerin üstüne çıktığı belirlenmiştir. Uzun yıllar boyunca Ankara için kritik bir kirletici olarak tanımlanan SO2'nin ise ölçüm yapılan 1334 günden 103 günde (%7) yine kent merkezi ve konut alanlarının yoğun olduğu bir bölge olan Bahçelievler istasyonunda WHO limit değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bulgular, Ankara kent merkezinde nüfus ve trafik yoğunluğunun ve buna ek olarak kentsel hareketliliğin fazla olduğu yerlerde hava kirliliğinin yüksek olduğunu ortaya koymakta; özellikle kent merkezinde hava kirliliği önlem alınması gereken bir tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hava Kirliliği, PM10, SO2, Arazi Kullanım Kararları, Ankara Kent Merkezi

Investigation of the Spatial Distribution of Air Quality: the Case of Ankara City Center

Abstract

Air pollution today; Negative effects on humans, animals, plants and the built environment are emerging as an increasing threat. While making land use decisions, choosing a location by prioritizing economic activities, decreasing open and green areas as urban areas spread and built areas increasing, preventing corridors providing fresh air circulation, increasing Transport emissions have led to an increase in air pollution, and therefore the negative effects of pollution on urban life. In this study, the SO2 and PM10 values, which were measured between 2009 and 2019 by 7 air quality monitoring stations located in the city center of Ankara, were analyzed annually, seasonally and daily. The conformity of the said values according to national and international standards and the number of days when the values measured at the stations exceeded the threshold values were evaluated. In the 10-year period, the pollutant exceeding the threshold values in the city of Ankara the most is PM10; Among the 7 air quality monitoring stations, the station where the threshold values are exceeded the most is the Sıhhiye station in the city center; It was determined that the values exceeded the WHO limit values in 1792 (98%) of 1821 days. It has been determined that SO2, which has been defined as a critical pollutant for Ankara for many years, exceeded the WHO limit values in 103 days (7%) from the 1334 days measured in Bahçelievler station, which is a region where the city center and residential areas are dense. The findings reveal that air pollution is high in Ankara city center where population and traffic density is high, and in addition to this, where urban mobility is high; Especially in the city center, air pollution emerges as a threat that needs to be taken care of.

Keywords: Air Pollution, Air Quality, Air Pollutants, Land Use Decisions

1. Giriş

Artan kentleşme ve sanayileşme sonucunda ortaya çıkan sorunlardan biri olan hava kirliliği, bina dışı açık havada bir veya daha fazla türden kirleticinin *insan, bitki ve hayvan yaşamına*, ticari veya kişisel eşyalara ve yaşamaktan zevk duyulabilecek bir çevre kalitesine zarar veren miktarda belli bir sürenin üstünde bulunması olarak tanımlanmaktadır (Müezzinoğlu, 1987).

Sanayi devriminin beraberinde getirdiği artan enerji kullanımı ile hava kirliliği çevresel bir sorun olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Ancak hava kirliliği sorununun tarihini ateşin bulunmasına kadar götürmek mümkündür. Ateşin bulunması ile, ısınma amaçlı kullanılan ateş hava kirliliğine sebep olmuştur. ***Sanayi devrimi*** ile Ortaçağ Batı Avrupa'sında oduna duyulan ihtiyaç sebebiyle ormanlık alanlar hızla yok edilmiş ve sonrasında *kömür kullanımının* artması ile hava kirliliği artış göstermiştir. Sanayi devriminden sonra gelişen ekonomik faaliyetler sonucunda hava kirliliği insan yaşamını olumsuz yönde etkileyen ve önüne geçilmesi gereken bir sorun olarak mevzuatlarda yerini almıştır. Bu kapsamda 13. Yüzyıl sonlarına doğru *Londra* hava kirliliğinden etkilenen ilk kent olarak tarihe geçmiş ve ilk yasal düzenleme Londra tarafından gerçekleştirilmiş ve kö*mür kullanımı yasaklanmıştır* (1273). Londra'da 1873 yılında yoğun sis nedeniyle yaklaşık 500 kişi, 1880'de ise 2000'den fazla kişi hayatını yitirmiştir ve bu olaylar ilerleyen dönemlerde daha ciddi boyutlarda gerçekleşmiştir. 19. Yüzyıl başlarında İngiltere'de sanayileşmenin etkisiyle ortaya çıkan hava kirliliğine yönelik olarak yapılan düzenlemeler sonrasında 1956'da ***Temiz Hava Yasası (Clean Air Act)*** kabul edilmiştir.

Ülkemizde ise hava kirliliği konusunda düzenlemelere, diğer sanayileşmiş ülkelere göre *geç kalınmıştır.* Nüfusun İstanbul dolaylarında yoğunlaşmış olmasından kaynaklı olarak hava kirliliğinin de öncelikli olarak bu alanlarda incelenmesi gerekmektedir. 19. Yüzyılda fabrikaların hava kirliliği unsuru olarak görünmüyor olmasında kaynaklı olarak yerleşim alanlarının dışında kurulmaları gibi bir anlayış henüz benimsenmemişti. Kentsel yerleşimlere yakın kurulan endüstriyel tesisler ve İstanbul'un yoğun bir deniz yolu ağına sahip olmasından kaynaklı olarak gelen gemilerden kaynaklanan duman da hava kirliliği konusunda etkisini göstermiştir.

Türkiye'de hava kirliliğinin 2 temel sebebi ***kentleşme*** ve ***sanayileşmenin*** kontrolsüz olarak gerçekleşmesidir. Artan sanayileşme ile ekonomik faaliyetlerin bir alanda ***kümelenmesi*** ve buna bağlı olarak bu alanlarda kentleşmenin yoğunlaşması ile hava kirliliği artış göstermiştir. Örneğin, 1951'de yeniden işletilmeye başlatılan Murgul Bakır Fabrikası'nın gazlarının 1961'e kadar kontrolsüz bir şekilde havaya verilmiş olması Türkiye'de endüstri kaynaklı ***ilk hava kirliliğine*** örnek olarak verilebilir. Ankara'da yaşanan hava kirliliği ise sanayisiz bir kirlilik olmakla birlikte kış aylarında evsel ısınmada kullanılan yakıt türünden kaynaklanmaktadır. Batı'da sanayileşmiş ülkelerdeki boyutlarda olmasa bile karbondioksit konsantrasyonunun artışına bağlı olarak 6 Ocak 1972 ve 15 Kasım 1975 tarihlerinde pek çok kişi hastalanmış, okullar tatil edilmiş ve günlük yaşam önemli ölçüde etkilenmiştir *(Sümer, 2014).*

2000 yılından sonrasına bakıldığına ise yapılan düzenlemelerin daha özel konu başlıklarına indirgendiği gözlenmektedir. 2008 yılında Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği 26898 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Söz konusu yönetmelik ile hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kriterleri esas alarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamak amaçlanmaktadır. 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun Ek 6 ncı maddesi ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunun 1 inci, 2 nci ve 9 uncu maddelerine dayanılarak hazırlanan bu yönetmelik Avrupa Birliğinin 96/62/EC, 99/30/EC, 2000/69/EC, 2002/3/EC ve 2004/107/EC sayılı direktiflerine paralel olarak düzenlenmiştir.

2. Hava Kirliliğinin Etkileri

Hava kirliliğinin etkileri temel anlamda 3 boyutta ele alınabilir. ***Küresel, bölgesel*** ve ***lokal*** ölçeklerde etki gösteren hava kirliliği [*Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları (Müezzinoğlu; 1987)*]; sera etkisi ve ozon tabakasının incelmesi, asit yağmurları ve yerleşim ve sanayi bölgelerinde görülen hava kirliliği, insan sağlığı, bitki ve hayvanlar, yapılı çevre ve iklim üzerinde olumsuz etki bırakmaktadır.

İnsan sağlığı üzerindeki etkilere bakıldığında her yıl 7 milyon insanın hava kirliliği sebebiyle yaşamını yitirdiği Dünya Sağlık Örgütü raporlarında yer almaktadır. Dünya nüfusunun %99'u hava kirletici sınır değerlerinin üzerinde yer alan bölgelerde yaşamaktadır aynı zamanda Avrupa'daki hava kirliliğinin yaşam beklentisini 8 aydan fazla azalttığı tahmin edilmektedir. Öncelikle akciğer kanseri, bronşit, eklem romatizması, raşitizm ve çeşitli kalp hastalıkları dikkat çekmektedir. Bunların yanı sıra göz yanması, nefes darlığı, iştahsızlık, kan zehirlenmesi gibi gündelik yaşantıyı olumsuz etkileyecek etkileri de bulunmaktadır.

Bitki ve hayvanlar üzerindeki hava kirliliği etkilerine bakıldığında ise bitkilerin türleri ve gelişme dönemlerine bağlı olarak farklılık gösteren olumsuz etkilere sebep olduğu bilinmektedir. Hava kirleticileri bitki yapraklarının yüzeyine teması ile yapraktaki solunum gözeneklerini tıkayarak karbondioksit özümlemesine katılarak olumsuz etkiler yapmaktadır. Klorofil miktarlarında azalmalara ve nekrozlara sebep olan bu faaliyetler sonucunda fotosentetik aktiviteler, çap gelişimi, boy ve yaprak alanlarındaki büyüme parametreleri olumsuz yönde etkilenmektedir. (Pandey ve Agrawal, 1994) Söz konusu etkiler incelendiğinde hassas tür ve genotiplerin rekabet güçlerinde önemli azalmalar meydana geldiği tespit edilmiş olup çiçeklenme evresinde yaşanan bozulma sebebiyle üreme-etkin popülasyon boyutunda azalma gözlenmiştir. (Longauer ve ark., 2004)

Yapılı çevre üzerindeki hava kirliliği etkilerine bakıldığında ise yapıların duvarlarında, kolonlarında, kirişlerinde ve yüzey boyalarında aşınmaların yaşandığı gözlemlenebilmektedir. Hava kirletici konsantrasyonlarının fazla olduğu alanlarda yapılı çevrenin etkilenerek yapısal anlamda bozunması sonucu yerleşim alanlarda enerji tüketimi giderek artmaktadır. Artan enerji kullanımı sonucu evsel kaynaklı hava kirleticileri de atmosfere salınmaktadır. Ekonomik faaliyetlerin konumlarına göre yer seçen konut alanlarında önlenmesi gereken bir sorun olarak karşımıza çıkan hava kirliliği uzun vadede söz konusu alanlarda ısı adası etkisi yaratmaktadır. Yapılı çevrede karşılaşılan ısının absorbe edilmesi sonucunda 'ısı adası' etkisi yüzey sıcaklıklarında artışa sebep olmaktadır. Bu sebeple kentsel faaliyetlerden dolayı artan hava kirliliğinin engellenebilmesi için yapılacak faaliyetlerin önüne geçilmektedir.

İklim üzerindeki hava kirliliği etkilerine bakıldığında hava kirleticilerinin atmosferdeki konsantrasyonlarının artması sera etkisinin kuvvetlenmesine ve yüzey sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Sera gazlarının konsantrasyonuna, uzun dalga boylu radyasyonun emilimi ve atmosferdeki yarılanma ömürleri etkili olmaktadır. Bununla birlikte CO_2 karbondioksit üretimi, sera etkisinde birinci derecede önemlidir ve CO_2 'in atmosferde uzun bir yaşam süresi vardır. $PM_{2.5}$ kirleticisinin bir bileşeni olan siyah karbon iklim değişikliğine doğrudan etki gösteren bir kirletici olarak karşımıza çıkmaktadır. Atmosfere salındığı andan itibaren birkaç gün veya maksimum 1 hafta atmosferde kalabilen kısa ömürlü bir kirletici olan siyah karbon bu süreçte iklim değişikliğine, tarımsal faaliyetlere ve insan sağlığına doğrudan etki etmektedir. Küresel ısınmaya CO_2'den 450 – 1500 kat daha fazla etki eden siyah karbon ısı ve ışık tarafından absorbe edilerek etkisini göstermektedir.

3. Hava Kirleticileri

Hava kirletici kaynaklar; ***doğal kaynaklar*** ve ***insan faaliyetleri*** sonucu meydana gelen (*antropojenik*) kaynaklar olmak üzere iki sınıfta ele alınmaktadır. Hava kirleticilerinin doğal kaynakları; volkanik patlamalar, orman yangınları, toz fırtınaları, okyanuslar ve denizler ve bitkiler olarak gösterilebilir. Başlıca antropojenik kaynaklar ise ulaştırma (uçaklar, motorlu taşıtlar, demiryolları ve gemiler), endüstri (termik santraller, endüstriyel prosesler ve katı atık yakma tesisleri) ve ısınma (katı, sıvı, gaz yakıt sobaları ve kalorifer kazanları) olarak sıralanabilir..

Azotoksitler (NO_X)

İnsan sağlığını en çok etkileyen azot oksit türü olması itibari ile, NO_2 kentsel bölgelerdeki en önemli hava kirleticilerinden biridir. NO_2 parametresi sırası ile ***trafik, ısınma ve sanayi bölgeleri*** ile oluşan bir kirleticidir. Yanmanın her türlüsünde salınan NO_x, insan kaynaklı olarak gübreleme sonucu oluşabildiği gibi araçlar gibi hareketli kaynaklardan da salınabilmektedir. Atmosferde kalıcılık süresi 1 gün olan NO_x'in küresel iklim değişimindeki payının ***%5*** olduğu düşünülmektedir. Atmosfere salınarak hava kirliliğine ve insan sağlığına olumsuz etki eden bu kirletici, diğer hava kirleticileriyle beraber hareket ettiğinde daha da zararlı hale gelebilmektedir.

Kükürt Dioksit (SO_2)

Gaz halindeki kirleticiler arasında yanıcı olmayan renksiz bir gaz olan kükürt oksitler en çok bilinen birincil hava kirleticilerdendir. Ana kaynağı kükürt oranı yüksek yağların, kömür ve linyitin yakılmasıdır. SO_2 ayrıca kükürt oranı yüksek bronz ve tunçun eritilmesiyle ortaya çıkmaktadır. SO_2 parametresi sırası ile ***ısınma, sanayi ve trafik bölgeleri*** ile oluşan bir kirleticidir. Antropojenik kükürt oksitlerin %80'inden fazlasının *endüstriyel kaynaklardan* meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bu emisyonların dünya üzerindeki durumuna bakıldığında en büyük payın Avrupa ile Kuzey Amerika olduğu görülür. SO_2'nin sayısal değerleri incelendiğinde, bütün dünyada her yıl salınan küresel emisyonların 132 milyon tonu, antropojenik emisyonların ise 50-75 milyon tonu bulduğu tahmin edilmektedir. 1978 yılında 28,816 milyon ton, 1980 yılında 27,897 milyon ton olarak hesaplanan emisyonlar 1990 yılında 22,025 milyon tona düşmüştür (Butler, 1979). Bu durum büyük ölçüde Avrupa Topluluğu ülkelerinin 1970'li yılların sonlarından itibaren uyguladığı *emisyon stratejileri* sonucunda meydana gelmiştir. Örneğin İngiltere, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Federal Almanya vb. ülkeler emisyonlarını aldıkları kararlar uyarınca indirmek için uğraşmaktadırlar. Bu bölgede eski teknoloji kullanımının hâkim olması atmosferde yörünge hareketi göz önüne alındığında ülkemizin batı bölgesinin birinci derece alıcı bölge olarak zarar görmesi kaçınılmazdır. Günümüzde sadece Newyork şehrinden yılda 1,5 milyon ton kükürdü atmosfere neşrettiği ABD'de yılda yaklaşık 26 milyon ton kükürt, İngiltere'de ise yılda yaklaşık 6 milyon ton SO2 ve tüm dünyada ise yılda yaklaşık 80 milyon ton SOx atmosfere salınmaktadır. Tüm dünyada ise yılda *yaklaşık olarak 80 milyon ton SOx* atmosfere verilmektedir. Bu, dünya SO2 konsantrasyonunu her yıl 0,006 ppm olarak arttırtmaktadır. Asit ve sülfatlar yağış yolu ile ancak 43 günlük bir süre içerisinde atmosferden uzaklaştırılmaktadır (İncecik, 1994).

Partiküler Madde (PM_{10}-$PM_{2.5}$)

Hava içinde askıda bulunan partiküllerin çeşitli ve kompleks karışımını içerir. Partiküler maddenin esas kaynakları ***fabrikalar, enerji tesisleri, yakma tesisleri, inşaat faaliyetleri, yangınlar ve rüzgârdır.*** Partiküllerin boyutu aerodinamik çapları 2,5 µm'den küçük olanlar $PM_{2.5}$ ve 10 µm'den küçük

olanlar PM_{10} olarak tanımlanmaktadır. Bu partiküller solunum sisteminde depolanabilirler. ABD'de yapılan istatistikler sadece endüstriyel proseslerden meydana gelen partikül emisyonlarını yılda 7,5 milyon ton olduğunu göstermiştir. EPA ise orman yangınları sonucu meydana gelen partikül emisyonlarının tüm emisyonlar içerisinde %25 olduğunu belirtmiştir. Kömür yanması ise partikül emisyonlarını %29'una karşı gelmektedir (NCAR, Information Office Pres Clipping, 1989).

Söz konusu hava kirleticilerinin kaynaklarına bakıldığında *insan kaynaklı yapılaşmalar, ekonomik faaliyetler ve yer seçimlerinin* önem arz ettiği dikkati çekmektedir. Artan kentleşme ile beraber gelişim gösteren ekonomik faaliyetler ve söz konusu ekonomik faaliyetlerin yer seçimlerine bağlı olarak istihdam sebebiyle kentli sayısının ve bu alanlardaki yoğunluğunun artması hava kirliliğinin *artış hızının artmasına* ve insan sağlığına etkisinin artmasına sebebiyet vermiştir. Uzun süredir kentsel alanlarda önlem alınması gereken bir sorun olan hava kirliliğinin arazi kullanım kararları ile önlenebilmesi mümkündür.

4. Materyal ve Yöntem

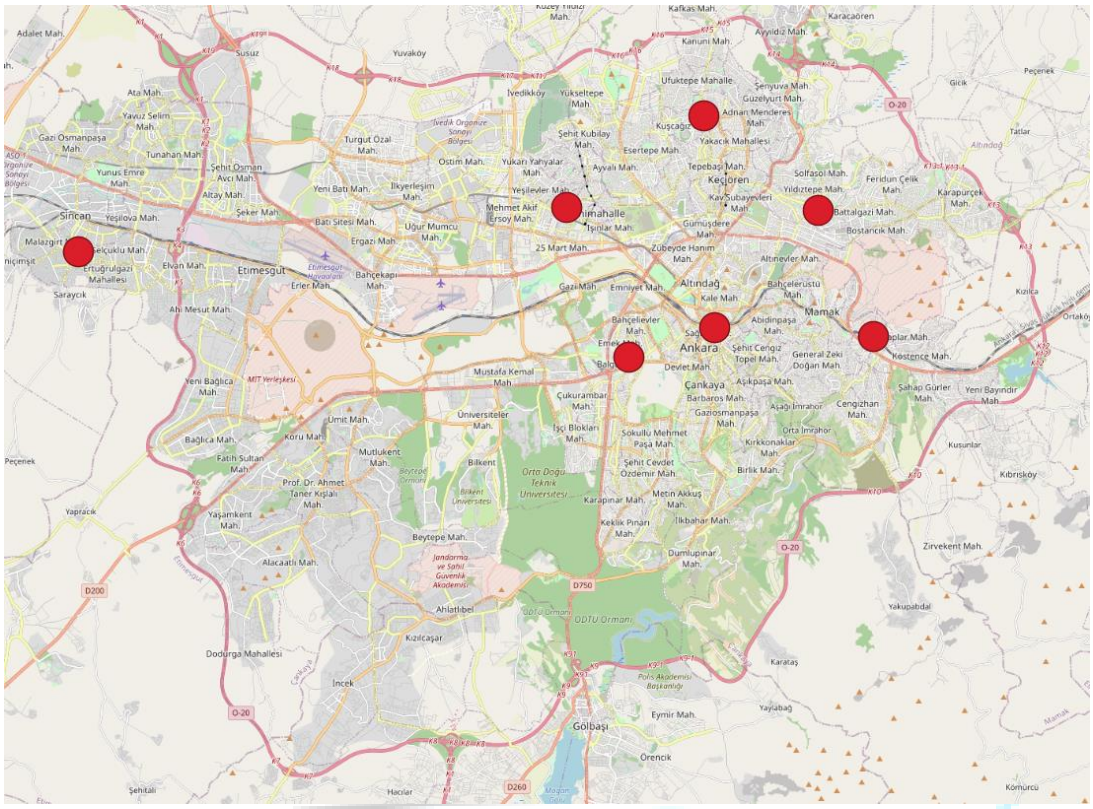
Hava kirleticileri olarak tanımlanan bileşenlerin kentli yaşantısına etkilerinin analiz edilebilmesi, olumsuz etkilerin önüne geçilerek doğru politika ve stratejilerin kurgulanabilmesi için düzenli ölçümler yapılmaktadır.

Söz konusu ölçümler T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından paylaşılmaktadır. Hava Kalitesi İzleme İstasyonları tarafından periyodik olarak yayınlanan bu verilerde ***NO_2, SO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$*** değerleri yayınlanmaktadır.

Söz konusu kirleticilerin analiz edilerek gerekli politika ve stratejilerin kurulabilmesi için gerekli olan ölçümler ülkemizde hava kalitesi izleme istasyonları ile yapılmakta olup değerler saatlik olarak Sürekli İzleme Merkezi'nde (http://sim.csb.gov.tr/) yayınlanmaktadır.

Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Verilerinin Analizi

Bu çalışma kapsamında Ankara il merkezinde yer alan Bahçelievler, Demetevler, Kayaş, Keçiören Sanatoryum, Sıhhiye, Sincan ve Siteler hava kalitesi izleme istasyonlarının tüm istasyonlarda toplanan ortak hava kirleticiler olan SO_2 ve PM_{10} verileri, 2009 – 2019 yılları için Sürekli İzleme Merkezinden temin edilmiştir. Bu istasyonların lokasyonları Şekil 1'de, karakteristik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Bu periyotta SO_2 ölçümünün yapılmadığı günler değerlendirilmeye alınmamış olup toplamda **1821** günlük ölçüm üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu ölçümlerin **1792**'sinde (%98) WHO limit değerlerin üstüne çıktığı belirlenmiştir. PM10 ölçümünün yapılmadığı günler değerlendirmeye alınmamış olup toplamda **1334** günlük ölçüm üzerinden değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Söz konusu ölçümlerin **103**'ünde WHO limit değerlerinin üstüne çıktığı belirlenmiştir.



Şekil 29: Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Konumları

Tablo 3: Hava Kalitesi İzleme İstasyonları Karakteristik Özellikleri

İstasyon Adı	Konumu	Karakteristik Özellikleri
Bahçelievler	Konut – Ticaret yoğunluğunun bulunduğu, kent merkezine yakın bölge	Yoğun nüfusa sahip kent merkezi, taşıt trafiği ve konut, ticaret, kamusal alanlar gibi karma kullanımların olduğu bir bölgede yer almaktadır.
Demetevler	Kent merkezine kuş uçuşu 7.5 km uzaklıkta, konut yoğunluğunun bulunduğu bölge	Yoğun nüfusa sahip, ulaşım akslarının kesişim noktasında ve trafiğin yoğun olduğu bir bölgede yer almaktadır.
Kayaş	Kent merkezine kuş uçuşu 6 km uzaklıkta, kent çeperi niteliğindeki bölge	Kent merkezine uzak, nüfusun seyrek olduğu, karma arazi kullanım kararlarının olduğu bir bölgede yer almaktadır.
Keçiören	Kent merkezine kuş uçuşu 10 km uzaklıkta, konut ve trafik yoğunluğunun bulunduğu kentin kuzey gelişme koridoru	Yoğun nüfusa sahip, ulaşım akslarının kesişim noktasında ve trafiğin yoğun olduğu bir bölgede yer almaktadır.

İstasyon Adı	Konumu	Karakteristik Özellikleri
Sıhhiye	Kent merkezine yakın, taşıt trafiğinin bulunduğu bölge	Kent merkezinde, farklı arazi kullanımlarının arasında, taşıt trafiğinin ve kentsel kullanımların fazla olduğu bir bölgede yer almaktadır.
Sincan	Kent çeperinde, banliyö yerleşim bölgesi	Kent merkezine kuş uçuşu 25 km mesafede yer alan, kentin batı gelişim koridorunda bulunan nüfus, taşıt yoğunluğun bulunduğu bölgede yer almaktadır.
Siteler	Sanayi bölgelerine yakın, taşıt trafiğinin bulunduğu bölge	Kent merkezine kuş uçuşu 7 km mesafede, sanayi bölgelerine yakın yerde ve taşıt trafiğinin yoğun olarak yaşandığı bir bölgede yer almaktadır.

5. Bulgular

Ankara'da yer alan 7 adet hava kalitesi izleme istasyonu verilerinin yıllara göre ortalaması incelendiğinde SO_2 kirleticisinin değerlerinin genellikle farklı arazi kullanım kararlarının bulunduğu bölgelerde, kentsel hareketliliğin ve taşıt trafiğinin fazla olduğu yerlerde standart değerlerin yüksek çıktığı gözlenmiştir. Mevsimsel değerlere bakıldığında ise söz konusu kirleticinin Ankara genelinde kent merkezine yakın istasyonlarda kış aylarında maksimum değerleri ölçtüğü tespit edilmiştir. Söz konusu incelemeler kapsamında yıllık ortalamalar ve min/max değerler Tablo 2, Tablo 3 ve Şekil 2'de gösterilmektedir. PM_{10} kirleticisinin değerlerine bakıldığında ise kent merkezine yakın, trafiğin çok ve iş merkezlerinin yoğun olduğu alanlarda standartların üzerinde değerlerin ölçüldüğü tespit edilmiştir. Mevsimsel değerlere bakıldığında ise maksimum değerlerin ölçüldüğü istasyonların konut yoğunluğunun fazla olduğu, kentsel hareketliğin çok olduğu ve trafiğin yoğun olduğu alanlarda konumlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, söz konusu ölçümlerin çoğunlukla yaz aylarında yapıldığı belirlenmiştir. Bu kapsamda yıllık ortalamalar ve min/max değerler Tablo 4, Tablo 5 ve Şekil 3'te verilmiştir.

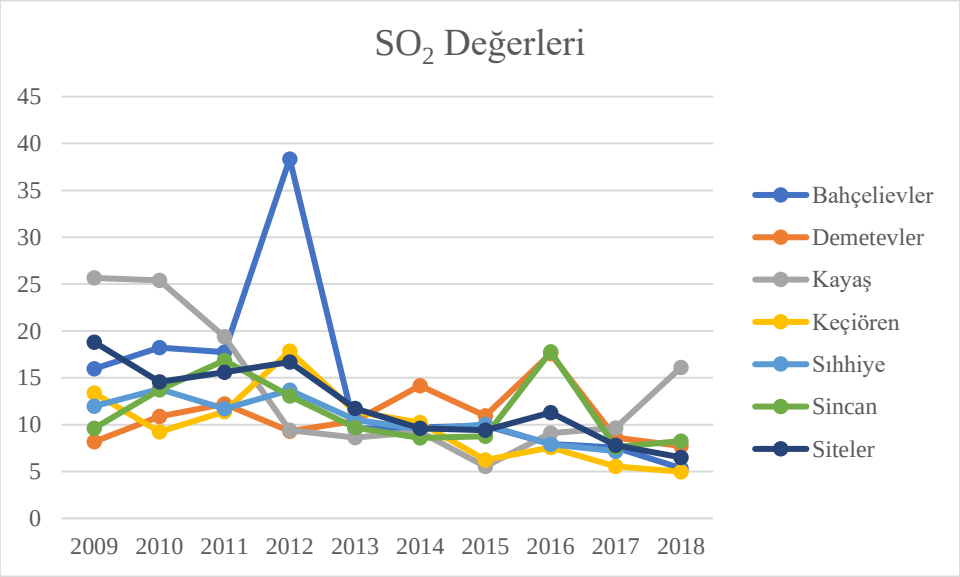
SO_2'nin yıllık değerlendirmesi;

Hava kalitesi izleme istasyonlarından temin edilen verilerden elde edilen sonuçlara göre yıllık ortalama SO_2 değerleri Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 4: Hava Kalitesi İzleme İstasyonları SO_2 Değerleri Yıllık Ortalamaları

SO2							
	Bahçelievler	**Demetevler**	**Kayaş**	**Keçiören**	**Sıhhiye**	**Sincan**	**Siteler**
2009	15.9634091	8.16592593	25.7	13.3575	11.971	9.6	18.815
2010	18.202905	10.857236	25.4	9.23627	13.801	13.719	14.574
2011	17.7432153	12.1907813	19.4	11.3958	11.708	16.868	15.597
2012	38.3505424	9.31011461	9.39	17.8336	13.686	13.069	16.671
2013	9.59282132	10.3927624	8.63	11.3916	10.537	9.6623	11.717
2014	9.69591503	14.1368328	9.25	10.2314	9.4923	8.5935	9.626
2015	9.87338658	10.9584831	5.54	6.22912	10.033	8.7569	9.3898
2016	7.9289899	17.562993	9.09	7.55613	7.9061	17.773	11.274
2017	7.5647191	8.61509589	9.64	5.56217	7.1643	7.6181	7.792
2018	5.34842593	7.72176991	16.1	4.97551		8.2454	6.5076

Söz konusu kirleticiye ait yıllara göre maksimum değerler grafik üzerinde işaretlenmiş olup, ilgili grafik aşağıda yer almaktadır. Elde edilen verilere göre farklı arazi kullanım kararlarını içeren, kentsel hareketliliğin fazla olduğu bölgeler dikkat çekmektedir.



Şekil 30: Yıllara göre SO_2 Değerleri

SO_2 kirleticisinin yıl içerisinde maksimum ve minimum değerleri ölçtüğü günler, kritik değerlerin aşıldığı günler ve söz konusu aşmanın yüzdelik hesapları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 5: SO_2 Ölçüm Değerleri

İstasyon Adı	Gözlem Yapılan Gün Sayısı	Min Değer Gözlendiği Tarih / Değer	Max Değer Gözlendiği Tarih / Değer	Kritik Değerleri Aştığı Gün Sayısı	Kritik Değerleri Aştığı Gün %'si
Bahçelievler	**1334**	04.03.2017 / 0.3	20.09.2012 / 116	103	%7
Demetevler		29.05.2011 / 0.7	02.03.2011 / 144.65	23	%1
Kayaş		24.08.2013 / 0.97	27.12.2010 / 130.5	53	%3
Keçiören		19.03.2015 / 0.68	24.01.2012 / 109.28	11	%0,8
Sıhhiye		23.12.2016 / 0.24	16.04.2013 / 88.38	18	%1
Sincan		18.11.2011 / 0.1	06.04.2012 / 192.3	42	%3
Siteler		06.09.2010 / 0.31	07.02.2011 / 132.02	39	%2

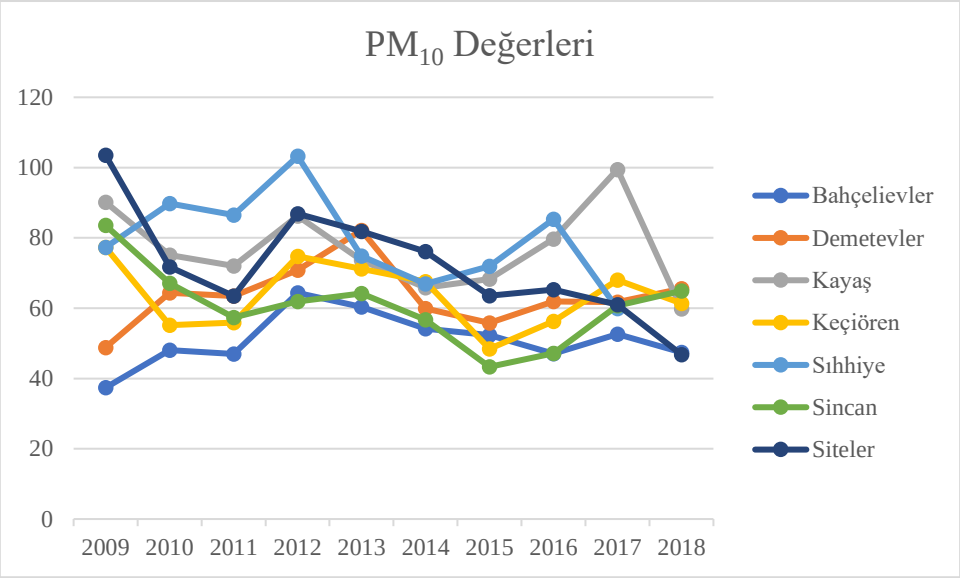
PM10'nun yıllık değerlendirmesi;

Hava kalitesi izleme istasyonlarından temin edilen verilerden elde edilen sonuçlara göre yıllık ortalama PM_{10} değerleri Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 6: Hava Kalitesi İzleme İstasyonları PM_{10} Değerleri Yıllık Ortalamaları

PM10							
	Bahçelievler	**Demetevler**	**Kayaş**	**Keçiören**	**Sıhhiye**	**Sincan**	**Siteler**
2009	37.3713636	48.8228	90.1	77.2975	77.307	83.55	103.51
2010	48.0597941	64.3842089	75.1	55.135	89.823	67.111	71.756
2011	46.9590556	63.4320635	72	55.8902	86.547	57.346	63.478
2012	64.3348424	70.8125496	86.3	74.7696	103.22	61.875	86.848
2013	60.3935294	82.1408475	73.6	71.157	74.875	64.169	81.814
2014	54.155136	59.9218539	65.8	67.5759	66.909	56.677	76.097
2015	52.3727729	55.7765278	68.3	48.4266	71.9	43.311	63.542
2016	47.0971885	61.8759259	79.7	56.2875	85.293	47.131	65.249
2017	52.5944904	61.715097	99.5	67.9948	59.885	60.723	61.006
2018	47.4308511	65.5498473	59.9	61.3195		64.932	46.798

Söz konusu kirleticiye ait yıllara göre maksimum değerler grafik üzerinde işaretlenmiş olup, ilgili grafik aşağıda yer almaktadır. Elde edilen verilere göre kent merkezine yakın, trafiğin ve nüfusun yoğun olduğu bölgeler dikkat çekmektedir.



Şekil 31: Yıllara göre PM_{10} Değerleri

PM_{10} kirleticisinin yıl içerisinde maksimum ve minimum değerleri ölçtüğü günler, kritik değerlerin aşıldığı günler ve söz konusu aşmanın yüzdelik hesapları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 7: PM_{10} Ölçüm Değerleri

İstasyon Adı	Gözlem Yapılan Gün Sayısı	Min Değer Gözlendiği Tarih / Değer	Max Değer Gözlendiği Tarih / Değer	Kritik Değerleri Aştığı Gün Sayısı	Kritik Değerleri Aştığı Gün %'si
Bahçelievler	**1821**	04.03.2012 / 3.1	03.11.2015 / 261.4	1015	%55
Demetevler		28.02.2012 / 9.3	23.07.2012 / 384.1	1720	%94
Kayaş		04.03.2012 / 3.1	13.06.2012 / 648.6	1751	%96
Keçiören		07.03.2012 / 2.3	12.06.2012 / 552.1	1720	%94
Sıhhiye		08.05.2014 / 1.8	16.09.2011 / 289.1	1792	%98
Sincan		06.02.2012 / 2.6	07.08.2012 / 257.5	1656	%90
Siteler		04.03.2012 / 8.9	12.02.2012 / 529.6	1775	%97

6. Sonuç

Ankara ilinde yer alan hava kalitesi izleme istasyonları verilerinden yola çıkarak artan kentleşme ve gelişen ekonomik faaliyetler sonucunda hava kirliliğinin kentsel alanlarda yaşayan insanlar için bir tehdit olduğu sonucuna varılabilmektedir. Ekonomik gelişmeler doğrultusunda kentsel alanlardaki ticari ve endüstriyel faaliyetlerin günden güne artış göstermesi hava kirliliği ve şehircilik açısından tehdit oluşturmaktadır. Değişen arazi kullanım kararları karşısında hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen verilere bakıldığında PM_{10} değerlerinin 2009'dan 2018 yılında doğru genel bir artış eğiliminde olduğu dikkati çekmektedir. SO_2 değerleri ise stabil seyretmekte olup mevsimsel olarak yakıt kullanımı ve endüstriyel proseslere bağlı olarak değişim göstermektedir. Anlık artış ve azalmaların yaşandığı dönemlerin ise mevsimlere bağlı olarak ısınma kaynaklı yakıt kullanımının artması veya endüstriyel faaliyetlerin farklılık göstermesi sebep olarak kabul edilebilir.

Ankara ilinde ölçüm sonuçları değerlendirilen hava kalitesi izleme istasyonlarından olan Bahçelievler hava kalitesi izleme istasyonu verileri analiz edildiğinde söz konusu alanda SO_2 değerleri, tüm

istasyonlarda ölçüm yapılan 1334 gün analiz edilmiş olup, 103 gün standart değerleri aştığı sonucuna varılmıştır. SO_2 kirleticisi temelde kentsel hareketlilik ve trafik kaynaklı olarak atmosfere salınmakta olması sebebiyle kent merkezine yakın bölgelerde standart değerlerin üzerinde ölçülmektedir.

Ankara ilinde ölçüm sonuçları değerlendirilen hava kalitesi izleme istasyonlarından olan Sıhhiye hava kalitesi izleme istasyonu verileri analiz edildiğinde söz konusu alanda PM_{10} değerlerinin 1792 gün standart değerleri aştığı sonucuna varılmıştır. PM_{10} kirleticisinin fabrikalar, enerji tesisleri, yakma tesisleri, inşaat faaliyetler, yangınlar vb. gibi kentsel fonksiyonların birçoğundan kaynaklanabiliyor olması sebebiyle ölçüm yapılan 1821 gün içerisinde 1792 gün eşik değeri aştığı sonucuna varılmıştır.

Bu kapsamda hava kalitesinin günden güne kentli yaşamındaki olumsuz etkisinin arttığı, önlem alınması gereken çevresel bir sorun olduğu sonucuna varılmıştır. Şehir planlama disiplini açısından bakıldığında arazi kullanım kararlarının yer seçimi esnasında doğal çevre bileşenlerinin de göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir. Örneğin, endüstriyel tesislerin yer seçimleri esnasında kentte yaşayan insanlar tarafından solunan havaya kirletici gazların salınımının önüne geçilmesi gerekmekte söz konusu tesislerde filtrelemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca endüstriyel prosesler sonucu çıkan atıkların deşarjı noktasında sulak alanların veya doğal çevrenin kirletilmesinin önüne geçilecek yöntemlerin belirlenmesi gerekmektedir. Ticari faaliyetlerin yer seçimi esnasında verilen kararlarda ulaşım için bir yük getireceği göz önünde bulundurularak karar verilmesi gerekmekte, bu sayede kentli yaşamının olumsuz yönde etkilenmesinin önüne geçilebilmesi sağlanmaktadır. Yapılı çevreler için yer seçimi ve konumlandırma yapılırken, kararın verildiği bölgelerdeki hakim rüzgar yönü göz önünde bulundurulmalı ve kentsel kullanımlar sonucu atmosfere salınan kirletici gazların söz konusu hakim rüzgar yönü dikkate alınarak konumlandırılan yapılar arasında oluşan hava koridorları sayesinde dağıtılması sağlanmalıdır.

Yıllardır kentli yaşamını olumsuz yönde etkileyen ve artık olumsuz etkinin ötesinde bir tehdit haline gelmiş olan hava kirliliğinin önüne geçilebilmesi için şehir planlama disiplini açısından alınabilecek önlemler ve benimsenmesi gereken politika ve stratejiler, ilgili karar vericiler tarafından da değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Müezzinoğlu, A. (1987). Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayınları, Yayın No: 0908.87.
2. İncecik, S., Kirliliği, H., & Matbaası, T. Ü. (1994). S. 26-41.
3. SÜMER, G. Ç. (2014). Hava Kirliği Kontrolü: Türkiye'de Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, (13), 37-56.
4. Narashid, R. H., & Mohd, W. M. N. W. (2010, December). Air quality monitoring using remote sensing and GIS technologies. In 2010 International Conference on Science and Social Research (CSSR 2010) (pp. 1186-1191). IEEE.
5. Bayar, R., & Karabacak, K. (2017). Ankara ili arazi örtüsü değişimi (2000-2012). Coğrafi Bilimler Dergisi, 15(1), 59-76.
6. Saleh, S. A. (2011). Air quality over Baghdad City using earth observation and Landsat thermal data. Journal of Asian Scientific Research, 1(6), 291-298.
7. Özcan, N. S. (2016). Kentsel hava kirliliğini etkileyen ve şehir planlama ile kontrol edilebilen fiziksel faktörlerin mekânsal istatistik yöntemleri ile incelenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, Türkiye.
8. Toros, H., BAĞIŞ, S., & Gemici, Z. (2018). Ankara'da hava kirliliği mekânsal dağılımının modellenmesi. Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, 1(1), 20-53.
9. Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., & Mordoğan, H. (2005). Uçucu küllerin özellikleri ve kullanım alanları. Türkiye, 19, 419-423.
10. Adams, M. D. (2020). Air pollution in Ontario, Canada during the COVID-19 State of Emergency. Science of the Total Environment, 742, 140516.

11. Bayram, H., Dörtbudak, Z., FİŞEKÇİ, E. F., KARGIN, M., & Bülbül, B. (2006). "Hava kirliliğinin insan sağlığına etkileri, dünyada, ülkemizde ve bölgemizde hava kirliliği sorunu" paneli ardından. Dicle Tıp Dergisi, 33(2), 105-112.
12. Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F., & Mensink, C. (2008). Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data. Atmospheric Environment, 42(20), 4884-4903.
13. BALIK, H., & YÜKSEL, Ü. D. (2014). Planlama sürecine iklim verilerinin entegrasyonu. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 7(2), 01-06.
14. Elkoca, E. (2003). Hava kirliliği ve bitkiler üzerindeki etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(4), 367-374.

Presentation ID / Sunum No= 5

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-0605-2816

Survival Analysis and Cox Regression

Araştırmacı Ali Saleh Mahdi Altarish[1], Prof. Dr. Kamil Alakuş[1]
[1]*Institute of Graduate Studies Department of Statistic, Ondokuz Mayis University, Samsun, Turkey, 55000-55999, ali_altarish@yahoo.com*
[2]*Institute of Graduate Studies Department of Statistics, Ondokuz Mayis University, Samsun, Turkey, 55000-55999, kamilalakus@gmail.com*

Abstract

Through this research, we discussed the Survival analysis, and knowing the variables affecting the survival function, we reviewed the Kaplan-Meier method to find out the differences between the two groups of treatment for prostate cancer patients. The sample taken was 38, The survival probability of the patients was estimated according to the type of treatment, and significant differences were found between them. And then we took other data to predict the regression line equation for survival time through the Cox regression method, data were processed and results were extracted by the SPSS program. A sample of size 30 was taken and the regression line equation was estimated with the presence of two variables and the extent of their influence on the equation was concluded

Keywords: Survival Data, Cox Regression, Survival Analysis, the Censoring, Hazard Function, Survival Function.

Hayatta Kalma Analizi ve Cox Regresyonu

Özet

Bu araştırma sayesinde, Hayatta Kalma analizini tartıştık ve hayatta kalma fonksiyonunu etkileyen değişkenleri bilerek, prostat kanseri hastaları için iki tedavi grubu arasındaki farkları bulmak için Kaplan-Meier yöntemini gözden geçirdik. Alınan örnek 38'di, Hastaların tedavi türüne göre hayatta kalma olasılıkları tahmin edildi ve aralarında önemli farklılıklar bulundu. Daha sonra Cox regresyon yöntemi ile hayatta kalma süresi için regresyon çizgisi denklemini tahmin etmek için diğer verileri aldık, veriler işlendi ve sonuçlar SPSS programı tarafından çıkarıldı. 30 büyüklüğünde bir örneklem alınmış ve regresyon çizgisi denklemi iki değişkenin varlığı ile tahmin edilmiş ve denklem üzerindeki etkilerinin kapsamı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hayatta Kalma Verileri, Cox Regresyon, Hayatta Kalma Analizi, Sansürleme, Tehlike Fonksiyonu, Hayatta Kalma Fonksiyonu.

INTRODUCTION

Survival Analysis

Survival Analysis is the term used scientifically or by statisticians to describe the analysis of data that corresponds to time from a well-defined origin of time until the occurrence of a specific event or endpoint [1].

What is between the beginning and the end of the event and it is possible that the end of the event at the time of the occurrence of the event under study is death or birth, and either the failure to determine the final state of the singular (the time of failure) [2].

For example, to find out the effect of two or more treatments on the survival of patients, in such a case the event of death is the meaning of the study, and with that, it is possible to obtain data of a similar form when the end is not fatal, such as pain relief or the time of the return of symptoms, and it is also possible. The application of this methodology in the analysis in other applied fields such as animal survival time in a specific study or seed storage times, etc.

Survival analysis has two characteristics. The first is that the survival time is calculated after determining the condition under study that was a specific disease condition. One of the statistical methods concerned with studying multiple response phenomena is multiple regression, and because of the special nature of survival data such as containing incomplete data

(Data is incomplete) In many species, it is not appropriate to use multiple regression, and the second characteristic is that most traditional methods such as regression models, analysis of variance, and (t) testing, become inappropriate in the case of the data being torsional, which means that the majority of the data is focused. On the right side of the distribution [3].

Because these two characteristics force us not to use multiple regression models and other statistical models, this ultimately led to the conclusion of the Cox regression model, and in order to better understand the concept of survival analysis, we must know some of the concepts of survival analysis, including the basic survival functions, the observational data [4].

Basic Survival Functions

Assuming that (T) represents a positive continuous random variable (survival time) which has a probability density function (f(t)) and a cumulative function (F (t)). To clarify the concept of the basic survival function, the following concepts must be understood:

Survivor Function

It is formulated as the probability of survival beyond time (t) (or at least until time t) and can be found by: -

$$\boldsymbol{S(t) = p(T \geq t) = 1 - F(t) = \int_{t}^{\infty} f(x)\, dx, \qquad t \geq 0 \ldots\ldots (1)}$$

$$\boldsymbol{f(t) = \frac{\partial F(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}\big(1 - S(t)\big) = -\frac{\partial S(t)}{\partial t} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)}$$

$$\boldsymbol{f(t) = \frac{-\partial S(t)}{\partial t} = f(x) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)}$$

Where f(t), probability density function, and F(t) also cumulative distribution function which is written as :

$$\boldsymbol{F(t) = 1 - S(t) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)}$$

Hazard Function

Also called the risk rate or the instantaneous current rate of occurrence of an event, it is denoted as h (t) and can be found by the following:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{p\left(t \le T < t + \Delta t \,/_{T} \ge t\right)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{-\bar{S}\,(t)}{S(t)} \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

The risk function is also known as the immediate failure rate or death rate (conditional probability). The risk function gives the probability of failure risk per unit over the period, which has an important role in analyzing the survival time data.

Cumulative Hazard Function

It is the sum of the risks that occur up to the arrival of time (t) and can be found by:

$$H(t) = \int_0^t f(x)dx = \int_0^t \frac{f(x)}{S(x)} dx \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

$$= \int_0^t \frac{1}{S(x)} \left[\frac{\partial S(x)}{\partial x}\right] dx = -LnS(t) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

$$\therefore S(t) = exp\left(-H(t)\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$$and\ F(t) = h(t) * exp\left(-H(t)\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

The Expectation of Life

Suppose μ represents the mean or predicted value of t, where:

$$\mu = \int_0^\infty t * f(t)\, dt \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

$$\mu = E(T) = \int_0^\infty S(t)\, dt \quad , \qquad S(0) = 1, \quad S(\infty) = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

Where S (t) represents the probability that the item will survive at time t, while E(t) represents the life expectancy of the item.

The Censoring

The concept of invisibility, observation, or observation is often repeated in semi-parametric models, especially in the Cox model, and here we have to clarify this concept, albeit briefly. There is vocabulary that records the occurrence of an event, while others cannot record the time when the event occurred.

Type The Censoring

There are several types of Censoring, which can be summarized in the following points:

1. Censorship of the first type: This type of disappearance is related to the number of vocabulary that occurred in the event, as we have a random variable (number of vocabulary). As for the duration of the study, it is fixed and also called static Censoring, as the study stops according to a period that the researcher pre-determines before the start of the study. And it divides into:
   a) Censorship on the right: In some cases of survival studies, the specified study period ends, but some items have exceeded the study period, in the words another length of stay of the item with the length of time of the study.
   b) Censorship on the left: Some items were included in the study, but the time of the occurrence of the event was not known to the researcher, for example, knowing the time of death. For people who have a specific disease, the time of infection is unknown.
2. Censorship of the second type: In this type of observation, a certain (fixed) number of items are specified for the study, but the time for completion of the study is unknown.
3. There is a third type of Censoring, but it is less frequent in studies in general and it is called Random Censoring, which is this type.

Cox Regression Model

Cox David (1972) formulated the Cox model as one of the relative risk models. It is based in its basic concept on the importance of the pre-study time as a fundamental factor, in other words, the main feature of this.

The method is to study the relationship between the time prior to the occurrence of the event under study with one variable or another variable in its independent capacity. The nature of the data is not required, whether it is quantitative, descriptive, or mixed, and one of the most prominent models used in this type of studies the Cox regression model [6].

Several books offer in-depth coverage of Cox's decline. These books assume basic knowledge of Statistical theory, especially with regression analysis. Collett (1994) provides a comprehensive introduction to

Themes. Hosmer and Lemeshow (1999) are almost entirely dedicated to this topic. Therneau and Grambsch (2000) presented a complete and recent discussion of this topic. We found their discussion of the rest

very useful analysis Klein and Mosheberger (1997) present a very readable calculation of survival analysis in General and includes a clear calculation of Cox's regression[7].

Survival analysis can be defined as a statistical method for analyzing data if the dependent variable is the previous time.

For the occurrence of the event under study, and the time may be in the form of hours, days, weeks, months, years from the beginning of the study until a period. The occurrence of an event is death, To begin with, it is important to point out the terms that can be given for survival analysis in different studies and research according to the overlap.

Other sciences with statistics, and depending on the nature of the data, in health and life statistics and life applications it is defined.

Analysis Hazard, but in engineering and mechanical studies, it is known as(Failure Analysis Time), or (Analysis Reliability), and in (psychological studies), it is known as history analysis (Analysis History Event)or (Analysis Duration), as well as a name in economics (Analysis Transition). etc, or anything else [8].

Properties Cox Regression Model

• semi-parametric model.

• There is no need to choose a specific probability model to represent the number of dwellings.

• The possibility of dealing with two types of separate and continuous measurements of event times.

• It is concerned with the effect of variables on risk.

• The vocabulary in which the values of the independent variables are equal has the same risk function.

Here we will use two examples once using survival analysis using the Kaplan-Meier method and the second example using Cox regression analysis.

We will comment on the results to see the differences between the two methods.

Kaplan & Meier Method

This method was proposed by the two scholars (Meier & Kaplan)in 1958 (AD) and it is also called the Kaplan-Meier estimation or the estimator of the marginal product, and it is defined as the probability of survival for the individual for a certain period taking into account the fact that time has multiple periods, as it is used to analyze survival data individually For each of the study variables with the dependent variable, which represents the time if the data contain more than one variable to give us a

broader understanding of the extent of the difference between the survival functions of two or more groups of the peripheral variable, and all the terms of the study, whether controlled or not, contribute to their assessment, and this is what distinguishes them from methods analyzing.

Other data survival data, such as life tables and the Cox regression model, use independent variables together to analyze the data. To measure the part of the injured person's life and for a certain period after treatment, the Kaplan-Meier estimate for control data can be calculated by the following formula:

$$\widehat{S}(t_i) = \prod_{i=1}^{n}\left(1-\frac{1}{ni}\right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots (12)$$

Suppose that we have n experimental units arranged according to the viewing times of these units in order $(t_1, t_2, \cdots, t_n)$ than The Kaplan-Meier estimate can be calculated with the following formula:

$$\widehat{S}(t_i) = \prod_{i:T_i \le t}\left(\frac{n-i}{n_i-i+1}\right)^{di} for\ t \le Tn \dots\dots\dots\dots\dots\dots (13)$$

Where (di) Represents the rank of observations in time (t_i).

Through the above we will, through the following example, we will use a survival analysis using Kaplan-Meier to compare two treatments that were tested on prostate cancer patients and take the second example we find out the variables affecting the survival function using Cox regression on the same example, using the SPSS program[12].

Items of Research

The most important thing that made this model popularly used in life analysis is the possibility of benefiting from it by estimating a portion of its mediators only to be on a semi-parametric model, which is useful for knowing the degree and shape of the effect of each independent variable on risk.

The formula for the Cox relative risk regression model is given as follows[9]:

$$h(t,X) = h_0(t) * exp\left(\sum_{i=1}^{p}\beta_i\ X_i\right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (14)$$

where $X = (X_1, X_2, \cdots, X_p)$ the variables predictors

$\beta = (\beta_i, \beta_2, \beta_3 \dots\dots . \beta_p)$ parameter of the model.

$h_0(t)$ The fundamental risk function (it is an intermediate function that takes the form of a non-negative probability distribution).

Here, it must be said that $(exp\left(\sum_{i=1}^{p}\beta_i\ X_i\right))$ is the amount of relative risk, which does not depend on time (t), meaning that the change in the explanatory variables (Xi) of increase or decrease does not depend on a specific point in time.

Also, the ratio between the two risk rates is fixed, It does not depend on time and is as follows:

$$\frac{h(t/x_1)}{h(t/x_2)} = \frac{h_0 \exp\ (\beta_1 X_1)}{h_0 \exp\ (\beta_2 X_2)} = e^{B(X_1 - X_2)} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (15)$$

This use of logarithmic transformation can provide a contribution to solving the difficulties encountered in the interpretation of Cox's regression model, By taking the logarithm of the risk function in the Cox regression model to read:

To become the risk function as in the equation using a logarithmic transformation :

A linear synthesis of the basic variables, noting that it compresses the outliers values of the data, helps to solve many problems, including the presence of extreme observations, the heterogeneity of the

variance, and the skewness of the distribution. The change in the independent variables is offset by a change in the logarithm of the risk function and not the dependent variable itself.

$$\boldsymbol{Log\ h(t) = \left(B_1X_1 + B_2X_2 + \cdots\cdots\cdots + B_pX_p\right)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{16})$$

To become the risk function as in the equation using a logarithmic transformation:

A linear synthesis of the basic variables, noting that it compresses the outliers values of the data, helps to solve many problems, including the presence of extreme observations, the heterogeneity of the variance, and the skewness of the distribution. The change in the independent variables is offset by a change in the logarithm of the risk function and not the dependent variable itself.

Method Estimating The Cox Regression Model

In 1975, the scientist Cox proposed the method Likelihood Partial to estimate the parameters of the model[10].

Cox regression, which is still used for this purpose until now, as this method highlights the likelihood of predicting or predicting the values of the variable dependent through the independent variables in the absence of knowledge of the nature of the underlying risk function (h0(t)).

The partial function is taken for the following form:

$$\boldsymbol{l_p(\beta) = \prod_{i=1}^{m} \frac{e^{xi\beta}}{\sum_{j\in R(ti)} e^{xi\beta}}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{17})$$

Where (m) is the number of failures, and (X_i) represents the variable values of the item whose time of slowing down (t_i) and the risk group (R_{ti}), meaning that all the terms at the risk of failure are:

$$\boldsymbol{R_{(t_i)} = \{j = t_j \geq t_i\}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{18})$$

And by taking the natural logarithm of the equivalent becomes

$$\boldsymbol{log\left(l_p(\beta)\right) = \sum_{i=1}^{m}\left\{x_i\beta - log \sum_{j\in R(ti)} e^{xi\beta}\right\}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{19})$$

After differentiating them and setting them equal to zero, we obtain the values of the parameters of the model.

Choosing The Best Independent Variables to Estimate The Model

Including most study variables in the regression model estimation leads to more comprehensive and general results about proximal phenomena

Introducing a large number of variables into the analysis process is costly in terms of time and effort, and not most of them.

Variables are important or some of them have no effect in the relationship with the dependent variable, and some variables have a great internal correlation.

The most important method used for this is the regression method The gradient depends on two methods, The Forward Selection Method and The Backward Deletion Method.

The Forward Selection Method

In this way, the regression equation begins, which is free of the independent variables (explanatory), in the first step (Step1), and in the next step (Step2), only one explanatory variable with the lowest value (value-P) is chosen from among the eating of the independent variables and in the next step. (Step3) A

second variable is inserted into the model, which corresponds to the lowest value (value-P) among the remaining variables and above it for the variable in the previous step, and so we continue to enter the variables to insert a variable in each step.

Until the ideal model is reached, provided that all the variables included in the model have a value (value-P) less than the level of the specified significance ($\propto$).

The Backward Deletion Method

In contrast to the previous method (backward deletion), as this method begins with the assumption that the model contains all independent variables in the first step (Step1), then in the next step (Step2) deletes the corresponding variable greater than -P (value), whose value is greater than the level of significance The determinant ($\propto$), and thus the independent variables will continue to be deleted once every step until the optimum model is reached that includes only the significant independent variables from them, i.e. those that have a value (P-value) less than the specified level of significance ($\propto$).

Interpretation of Cox Regression Model Parameters

The amount of change in the dependent variable (Y_i) as a result of changing the independent variable in one unit represents the interpretation of the parameters of the linear regression model as it is known, while the interpretation of the regression coefficients of the Cox model takes another form or formula as a result of the difference in the regression equation, and it can be expressed as the amount of change in the value of risk Modified logarithm$\big(h(t/x)\big)$ when the variable changes in one unit[1].

If the value of the Cox regression coefficient is negative and when the value of the independent variable increases by one unit, this leads to a decrease in the risk ratio, which means that the situation is heading towards the better, while if the value is relative to Cox, the regression coefficient is positive and when the value of the independent variable increases by one unit One, this increases the risk, which means the situation gets worse.

Evaluate The Estimated Cox Regression Model

After reconciling the model, it is necessary to know how well the model represents the data, which means that we can rely on the model estimated to describe the original data, and there are two ways to do this :[1],[11]

Morality Test of The Estimated Model

It is determined here whether the independent variables have a role in explaining the behavior of the dependent variable, where the fit of the model as a whole is known as computing the value of the coefficient of determination, which we can express here with the following formula:

Where R^2: The value of the coefficient of determination.

$Log\ L_f$ represents the logarithm of the partial weighting of the model that contains all the variables.

$Log\ L_0$: represents the logarithm of the partial weighting of the model that does not contain all the variables.

n: The total number of observations.

$$\boldsymbol{R^2 = 1 - exp\left[\frac{2}{n}\left(Log\ L_0 - Log\ L_f\right)\right]} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{20})$$

Test the Significantly of Estimated Parameters

The second method for verifying the significance of the estimated model is by evaluating the significance of each parameter of the estimated model separately. Its statistic is usually used as a parent (Statistic Wald), knowing that its parent statistic follows the chi-square distribution with one degree of freedom, and is calculated by:

$$\mathbf{W^2} = \left[\frac{\hat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathbf{j}}}{\mathbf{S.E}_{\hat{\boldsymbol{\beta}}_{\mathbf{j}}}}\right]^{\mathbf{2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots.(\mathbf{21})$$

Where $S.E_{\hat{\beta}_j}$: Represents the standard error of the model parameters.

$\hat{\beta}_j$: Represents the estimated parameter of the model.

Example [1]: The data in this example is a randomized controlled clinical trial comparing prostate cancer treatments in 1967 by the Collaborative Research Group for the Urology Department. The treatments used in the study were a placebo and (1.0) mg of (diethylstilbestrol). The time frame of the study was the date on which the patient was randomly selected for the study and the final point was the death of the patient. The data also contained variables of age, hemoglobin level, and the size of the primary tumor in square cm.

The table gives the data for (38) patients, where the survival times are given in months. The survival times are considered for patients who died from other causes or were lost during the monitoring process. A variable related to the disease status at the end of the study. Because of cancer, zero if he is properly controlled, and the individual treated with DES takes a value of 2 and takes a value of 1 if he is treated with a placebo.

Example [2]: Two treatment methods will be taken with a sample of 30 people who are monitored weekly, taking into account whether they are married or not. Married will be expressed as 1 and unmarried with 2.

We will use the SPSS statistical program to find out the statistical indicators and to analyze the data so that we can know which of the statistical indicators are of significance and statistical importance that can be relied upon regarding the study.

We entered the data and chose the Kaplan-Meier method to measure the differences between the two treatment methods, and the results are as follows in table (1):

Table (1): Case Processing Summary

			Censored	
Treatment	Total N	N of Events	N	Percent
The placebo	18	5	13	72.2%
des	20	1	19	95.0%
Overall	38	6	32	84.2%

In this table, it becomes clear to us that (18) of those treated with placebo died (5) and lost (13) while those treated with (DES) (20) died of them (1).

From the life table, we note the following, See Table (2):

Table (2): Survival Table

The placebo	1	15	2.000	censored	.	.	0	17
	2	7	14.000	died	.941	.057	1	16
	3	37	23.000	censored	.	.	1	15
	4	24	24.000	censored	.	.	1	14
	5	28	26.000	died	.874	.084	2	13
	6	34	36.000	died	.807	.101	3	12
	7	29	42.000	died	.739	.113	4	11
	8	8	43.000	censored	.	.	4	10
	9	6	51.000	censored	.	.	4	9
	10	10	52.000	censored	.	.	4	8
	11	4	58.000	censored	.	.	4	7
	12	11	59.000	censored	.	.	4	6
	13	27	61.000	censored	.	.	4	5
	14	38	62.000	censored	.	.	4	4
	15	1	65.000	censored	.	.	4	3
	16	16	67.000	censored	.	.	4	2
	17	22	67.000	censored	.	.	4	1
	18	21	69.000	died	.000	.000	5	0
des	1	32	5.000	censored	.	.	0	19
	2	9	16.000	censored	.	.	0	18
	3	19	28.000	censored	.	.	0	17
	4	25	45.000	censored	.	.	0	16
	5	20	50.000	died	.938	.061	1	15
	6	5	51.000	censored	.	.	1	14
	7	14	51.000	censored	.	.	1	13
	8	33	54.000	censored	.	.	1	12
	9	12	55.000	censored	.	.	1	11
	10	30	57.000	censored	.	.	1	10
	11	3	60.000	censored	.	.	1	9
	12	2	61.000	censored	.	.	1	8
	13	26	64.000	censored	.	.	1	7
	14	23	65.000	censored	.	.	1	6
	15	17	66.000	censored	.	.	1	5
	16	18	66.000	censored	.	.	1	4

17	36	67.000	censored	.	.	1	3
18	13	68.000	censored	.	.	1	2
19	31	70.000	censored	.	.	1	1
20	35	70.000	censored	.	.	1	0

We note in this life table, that patient No. 15 lost or dropped out of the study after two months from the start of the study, patient No. 7 reached death or died after 14 months, and that the probability of survival is (94%), and so for the rest of the placebo treatment We see that patient No. 21 died after 69 months, so we notice that the probability of surviving after 69 months is (0).

As for those treated with treatment (DES), patient No. 32 was lost from the study after 5 months, and patient No. 20 died after 50 months, and the probability of survival is (93%).

In Table(3), we note that the probability of survival for those treated with placebo treatment is 58 months, and the probability of survival for those treated with DES equals 68 months. look table (3):

Table (3): Means and Medians for Survival Time

	Mean[a]				Median			
			95% Confidence Interval				95% Confidence Interval	
Treatment	Estimate	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound	Estimate	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound
The placebo	58.840	5.067	48.909	68.772	69.000	.000	.	.
des	68.750	1.210	66.378	71.122	.	.	.	.
Overall	64.203	2.375	59.549	68.858	.	.	.	.

a. Estimation is limited to the largest survival time if it is censored.

From it, we note that the probability of survival for treatment (DES) is greater than the placebo treatment.

From the following table, we note the level of importance between the two treatments, see table(4):

Table (3): Overall Comparisons

	Chi-Square	df	Sig.
Log Rank (Mantel-Cox)	4.421	1	.035
Breslow (Generalized Wilcoxon)	3.416	1	.065
Tarone-Ware	3.659	1	.056

Test of equality of survival distributions for the different levels of Treatment.

We note that the value of (P_value=0.035) for the test (log-rank) is less than (0.05), meaning that there are statistically significant differences in favor of the DES treatment.

As for the other two tests, the value of (P_value) is greater than (0.05), and this means that there are no statistically significant differences between the two treatments.

In this Figure, through the graph of the survival function, the survival time for therapists is calculated using the two methods. See figure (1):

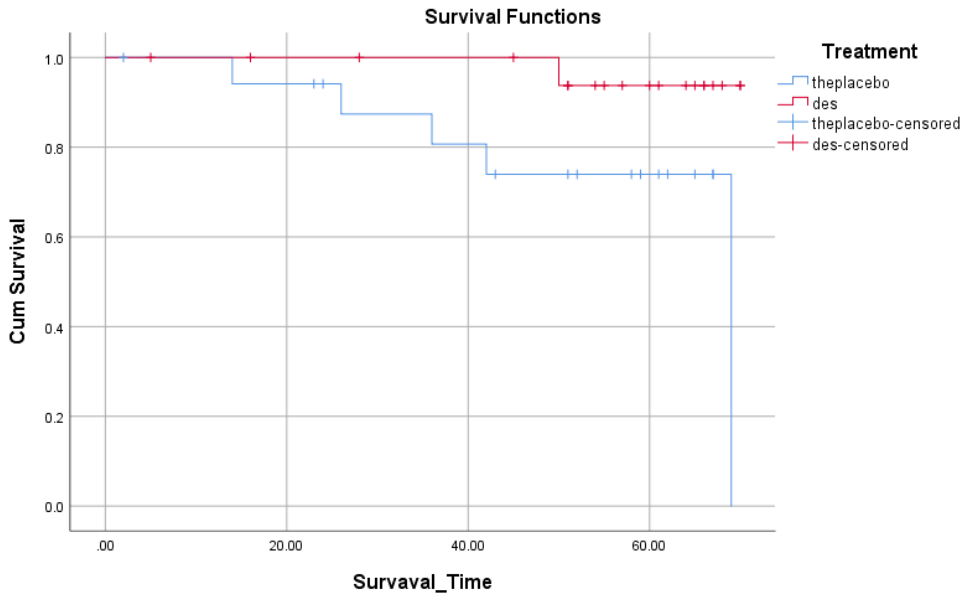


Figure (1) Survival Functions

In Example (2), the data will be defined on the spss program in the same way as before.

The general method will be taken in the program, and neither forward progress nor reverse deletion will be determined. We will get the results and interpret them as follows, Look at thetable (5):

Table(5): Case Processing Summary

		N	Percent
Cases available in the analysis	Event	19	63.3%
	Censored	10	33.3%
	Total	29	96.7%
Cases dropped	Cases with missing values	0	0.0%
	Cases with negative time	0	0.0%
	Censored cases before the earliest event in a stratum	1	3.3%
	Total	1	3.3%
Total		30	100.0%

a. Dependent Variable: TIME

From this table, we note that those who reached death (19), where their percentage is (63%), and those who lost (10) and (33%), and we notice that there is one case lost before the first death.

In this table, the efficiency of the prediction model is tested, see table(6):

Table (6): Coefficient

	Overall (score)			Change From Previous Step			Change From Previous Block		
-2 Log Likelihood	Chi-square	df	Sig.	Chi-square	df	Sig.	Chi-square	df	Sig.
58.952	23.602	2	.000	23.281	2	.000	23.281	2	.000

a. Beginning Block Number 1. Method = Enter

Since the value of (p_value=0.00) is less than (0.05), the current model is highly efficient.

In this table, the deviation coefficients are calculated for the predictive equation, and through the value of (h), see table (7):

Table (7): Variables in the Equation

	B	SE	Wald	df	Sig.	TREATMENT
TREATMENT	3.794	1.145	10.975	1	.001	nts44.451
SOCIL_STATUS	-1.529	.759	4.060	1	.044	.217

We can say that the variables (treatment methods and marital status) can predict the time model through which survival is carried out.

In this Figure, through the graph of the survival function, the survival time for therapists is calculated using the two methods. in this drawing, we know which is more likely to survive, as we note that married people, which represents the color blue, are more likely to survive than unmarried people. See figure (2):

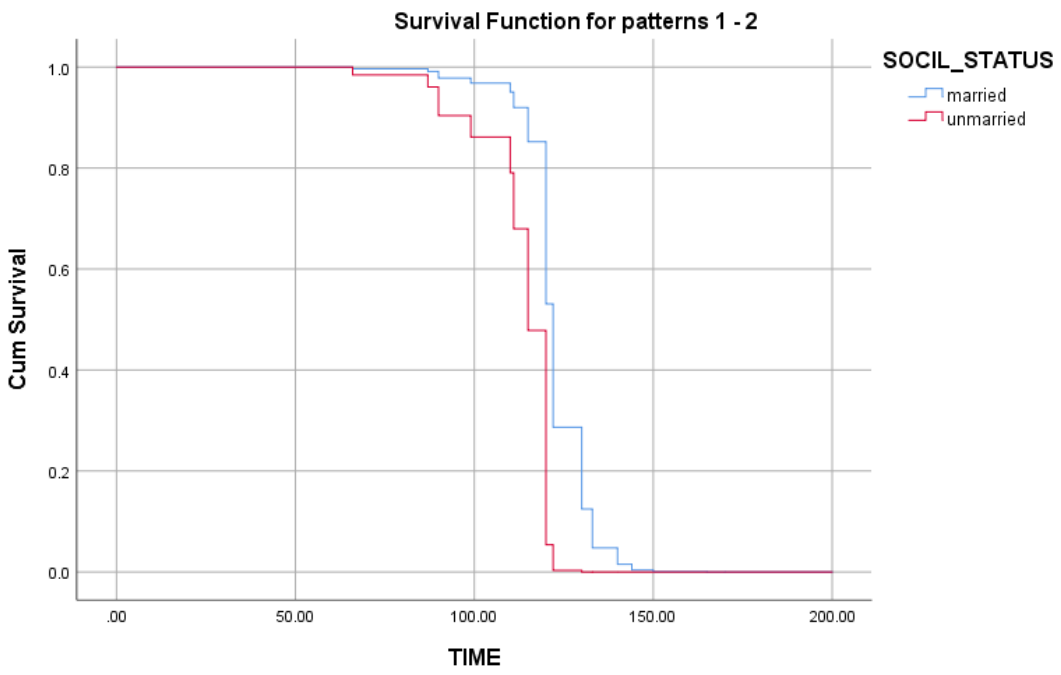


Figure (2) Survival Functions

CONCLUSIONS

• Through this research, it turns out that the Kaplan- Meier method is one of the important ways to show the differences between groups to show the knowledge of the highest probability of survival.

• Cox regression analysis is one of the best predictive methods for semi-parametric data.

• The larger the data, the better the result, especially in the field of medical research.

• The variable of marital status affects the likelihood of survival of patients, as well as treatment methods.

RECOMMENDATIONS

Through the research, we recommend using the Kaplan- Meier method to know the effect of different methods of treatment on the survival time of the dependent variable.

As for knowing the variables that affect the regression line equation, the Cox method is considered one of the best methods for predicting the estimated equation and knowing the independent variables that affect the survival time

REFERENCES

1. Collett, D. (2015). *Modeling survival data in medical research*. CRC press.
2. Abd ElHafeez, S., Torino, C., D'Arrigo, G., Bolignano, D., Provenzano, F., Mattace-Raso, F., ... & Tripepi, G. (2012). An overview on standard statistical methods for assessing exposure-outcome link in survival analysis (Part II): the Kaplan-Meier analysis and the Cox regression method. *Aging clinical and experimental research*, *24*(3), 203-206.
3. Murtada Farhan Huwai,2017, Using Cox Regression Model (COX) and The Kaplan-Meier Method to Study Survival Data
4. Collett, D. (2015). *Modeling survival data in medical research*. CRC press
5. Sen, P. K. (1995). Censoring in theory and practice: Statistical perspectives and controversies. *Lecture Notes-Monograph Series*, 177-192.

6. Lin, D. Y. (1994). Cox regression analysis of multivariate failure time data: the marginal approach. *Statistics in medicine*, *13*(21), 2233-2247.
7. Statistical Software | Sample Size Software | NCSS, COX regression
8. Vivekanandan, T., & Narayanan, S. J. (2019). A Hybrid Risk Assessment Model for Cardiovascular Disease Using Cox Regression Analysis and a 2-means clustering algorithm. *Computers in biology and medicine*, *113*, 103400.
9. (PDF) Finding the Least Possible Hazards in Cox Regression Model (researchgate.net)
10. Cox, D. R , "Partial likelihood" , Biometrika , Vol-62 ,No-3, P(269- 276) , 1975.
11. Mantel, N. (1966). Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising in its consideration. *Cancer Chemother Rep*, *50*(3), 163-170.
12. Bian, H. (2015). Survival analysis using SPSS. *East Carolina University*.

Presentation ID / Sunum No= 93

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID:

Implementation of a Software System for the Placement of the Whole University (Undergraduate and pre-license) Courses with the Monte Carlo Method

Doç. Dr. Rayimbek Sultanov[1], Öğr. Gör. Kasym Baryktabasov[2], Öğr. Gör. Mehmet Kenan Dönmez[3], Öğr. Gör. Mehmet Karadeniz[4], Öğr. Gör. Aybek Adanbaev[5]

[1]*Kyrgyz-Turkish Manas University, Faculty of Engineering, rayimbek.sultanov@manas.edu.kg*
[2]*Kyrgyz-Turkish Manas University, Faculty of Engineering, asym.baryktabasov@manas.edu.kg*
[3]*Kyrgyz-Turkish Manas University, Faculty of Engineering, mehmetkenan.donmez@manas.edu.kg*
[4]*Kyrgyz-Turkish Manas University, Faculty of Engineering, mehmet.karadeniz@manas.edu.kg*
[5]*Kyrgyz-Turkish Manas University, Faculty of Engineering, aybek@manas.edu.kg*

Abstract

The "Weekly Course Program", which is prepared on the basis of departments before the beginning of each semester in all academic units of the universities is a very complex, difficult and time consuming task. This action requires many internal correspondence and interviews. Getting support from the faculty members from different units or the faculty members from other universities as part-time or hourly-tuition for some courses makes the preparation of the weekly course program even more difficult. It is extremely difficult and complex to determine the spare time of such instructors and to adapt the free time to the related curriculum. Except those; providing appropriate classrooms or laboratories for some courses, suitable time for teaching staff, course hours, working hours and days, and administrative duties of some teaching staffs are the variables that should be examined together in the preparation of the weekly curriculum of the related unit. The degree of freedom of placement of elective courses in the curriculum, availability of courses from previous years where students have to attend, make very difficult not to overlap the lessons in the weekly curriculum. These problems can grow gradually as the institution expands over time. Even though there are more classrooms in the university than it should be, for some reasons, some academic units may complain that they cannot find suitable classrooms. In order to contribute to the solution of these problems and to use classrooms efficiently in time and quality, a centralized course placement software system was developed within "Kyrgyz-Turkish Manas University". Since the problem was NP (Non Deterministic Polynomial) type, the Monte Carlo method was used for its solution. Another benefit of the developed system is that the weekly course program in all undergraduate and pre-license departments of the university is made in less time with fewer people.

Keywords: Informatics, Information Technologies (Information and Communication Technologies), Monte Carlo Method, Educational Software, Weekly Schedule, Database, Software Development, Timesheet, Higher Education, Web-based Applications, Expert Systems

1. Introduction

Today, when we look at all the individual and organizational activities, it can be seen that the world is surrounded by information technologies. In Business; computers, fax, printer, computer aided design, production, management, order systems, in educational institutions; various information equipment, software and distance education systems, in the automobile industry; computer controlled systems, road computers, many electronic devices and white goods, embedded in electronic systems, various home computers, computer game layouts, automatic air conditioning and lighting systems, security systems, and mobile phones that can be individually transported and have many more features than normal computers, palm computers. More examples are possible (Dönmez ve Karadeniz, 2010).

Information technologies developing and advancing in all areas are being used in the field of education, both as a means and as a tool, in the process of management and in the process of education. Considering the basic characteristics expected to be in the educated manpower of today's information society, it is expected that the educational institutions that prepare individuals for the future according to the needs of the society will be in a system meeting these needs. For this reason, it is very important that information technologies are integrated into educational institutions as a tool, to become widespread and to be used effectively in the education-teaching process. (Tuti, 2005).

The university can be defined as an organization that internalize, enlarges and disseminates the intellectual culture of society. Since the University produces and disseminates information and produces solutions to the problems of societies, civilizations and our world, it has a direct relationship with knowledge and sciences. Science and the "science institution" the university comes and must come to mind first. Today, therefore, the first institution representing civilization, technique and technology is again university. (Bolay, 2011). In the light of all this information, effective use of current IT technologies, software and techniques in universities is important.

Computer software is used in the field of education, especially at universities. In addition to computer programs for education and training purposes, automation software is used in areas such as student affairs, accounting and budgeting, personnel works, movable property works, construction works, health and cultural unit works. Especially in the student affairs, all the records from the day of enrollment of the students to the day of graduation are kept on computer systems. These automation systems provide great convenience to the teaching staff in the evaluation process of the students. (Ateş ve Kestane, 2014). Still, accounting and budgeting automation software are indispensable software of universities. Nowadays, the use of software systems, where accounting and budgeting, personnel, movable goods and electronic documents are all integrated together is prominent.

However, the planning of training at many universities is labor intensive without the use of software systems. (Ateş ve Kestane, 2014).

It is natural for universities to have many academic units and many departments within these units. In the teaching process, each department serves according to a specific framework program. In the light of the information contained in these framework programs, it is possible to determine in which period, in which year, how many lesson hours will be given, and how many lesson hours will be given as theoretical or practical for each lecture. All academic units in the universities start to prepare the curriculum in the usual way before the beginning of each academic year.

Preparing "Weekly Schedule Program" is very difficult, complex, and time-consuming task. This work requires many correspondences and interviews.

Today, the qualifications and branches of educational institutions have been diversified, and a large number of branches have emerged, and the types of classrooms needed have increased. Accordingly, while the workload is increasing during the course preparation process, the efficient use of classrooms becomes difficult. In universities where there is a high number of faculties and departments and the number of departments continues to increase, it is becoming more and more difficult to assign courses to the appropriate classrooms demanding various types of classrooms. The planning of courses at these universities can be very difficult and time-consuming, and some classes may be difficult to find for lectures. The most typical problems are the inability to use the classrooms efficiently in terms of the

occupancy rate of the classrooms, the number of students, the availability of the classes required by the courses.

Getting support from the faculty members from different units or the faculty members from other universities as part-time or hourly tuition for some courses makes the preparation of the weekly course program even more difficult. It is extremely difficult and complex to determine the spare time of such instructors and to adapt the free time to the related curriculum. Naturally, each department is beginning to prepare a curriculum at the same time, and this courses the determination of the idle hours of such instructors often leads to the problem being solved.

Except those, providing appropriate classrooms or laboratories for some courses, suitable time for teaching staff, course hours, working hours and days, and administrative duties of some teaching staffs are the variables that should be examined together in the preparation of the weekly curriculum of the related unit. The degree of freedom of placement of elective courses in the curriculum, availability of courses from previous years where students have to attend, make very difficult not to overlap the lessons in the weekly curriculum.

In order to contribute to the solution of these problems and to use classrooms efficiently in time and quality, a centralized course placement software system was developed within "Kyrgyz-Turkish Manas University".

With this software system;

Efficient use of classrooms in time and quality is aimed.

Weekly course schedules are intended to be spent less time with fewer people.

The principle of using classrooms on the basis of faculty is tried to be abandoned. Accordingly, it is planned that the courses will be given in classrooms in faculty buildings where they belong as much as possible, and in classrooms located in the nearest faculty buildings. Thus, the efficiency of the classrooms in terms of capacity and usage is aimed.

Except for the compulsory cases, it was tried to prevent the arbitrary use of the courses in terms of day, hour and class.

It is aimed to eliminate the problems of overlapping of the courses taken by the students from the previous or next semesters, which are frequently encountered in the classical methods and which are difficult to correct. In addition to this, it is tried to prevent the overlapping of the elective courses of the department taken by the students in the semester course registrations and the elective courses taken from other disciplines with the compulsory courses.

It is aimed not to overlap the lectures of the lecturers and not to overlap the classrooms.

Where necessary (if the number of students is too high), for some practical and private lessons (In video-lectured and computer-based courses such as informatics), the simultaneous use of laboratories with little distance between them is intended.

Apart from many other administrative tasks such as senate, university board, faculty board of directors, department board, weekly department meetings and various commission memberships, it is aimed to take into consideration the empty day or empty hour requirements for the works such as graduate studies and project studies.

Except those, with this software system, it is aimed to eliminate the many problems and difficulties that occur during the preparation of weekly course programs with classical methods.

For this software system, all classes within the university were opened to common use, and each class was available to all faculties. This was quite difficult to achieve. Generally, classrooms with different features in the universities, normal classrooms and laboratories are given to the responsibilities of administrative staff such as faculty secretaries, department secretaries. Especially, special classes having special equipment such as projection devices, smart boards, TVs, or special laboratories including devices of which prices are tens of thousands of dollars are registered in this type of staff. These personnel are usually people who perform the course programs in classical ways or under control.

However, the realization of weekly course programs with a software system has frightened the administrative staff and causes them to be reluctant to use it. The biggest reason for this is clearly that the administrative and control authority is partially out of their hands despite the continued responsibility of these administrative staff.

In this case, they cannot be considered unfair. In order to eliminate this annoying dilemma in favor of the relevant administrative staff, the university administration was informed, and this problem was tried to be solved. In this way, these administrative staff, who are relieved, willing and long-term, will be able to get rid of the business process, and the process of preparing the software database has become easy to work.

In this way, especially with faculty secretaries, working with administrative staff such as department secretaries; Faculties, departments in these faculties, current framework programs of these departments, courses in these programs, the lecturers, and many special information about them were obtained. The classrooms, laboratories and their properties, capacities and their relations with the courses are among the information obtained. In addition to these, data and information have been reached through personnel affairs and student affairs. In this way, necessary data has been entered into the database created for the software system.

In this way, it is tried to ensure that the weekly course program software system can be used at the usable level and for each course the number of students and the most suitable class for the course is established. The university personnel whose technical and scientific aspects were to be completed by the technical and scientific aspects of the relevant software system have spent a lot of time in the process of collecting information and participating in the process of entering this information into the database. Among the biggest reasons for this; the fact that the administrative staff, such as the faculty secretary, who are required to enter the database of data in the faculties, have not yet adapted to the process. The reason may be these staff are in a lack of information and partly reluctant and working for the first time with such a system of software systems.

During the "centralized course placement software system" development process within “Kyrgyz-Turkish Manas University”, the resulting problem is NP-Hard (non-deterministically polynomial-non-deterministic polynomial) in terms of computer science.

Theory of computation is a branch of science that examines whether computer science can solve a problem with a specific algorithm and calculator model, or how to solve it quickly and efficiently. It is divided into two as Complexity Theory and Computability Theory. In complexity theory, problems are divided into computational complexity according to the fastest complexity they can be solved. The most important ones are P (deterministically polynomial) and NP (non deterministically polynomial) (Pekel, 2009).

NP-Hard problems are quite difficult problems and there is no optimal algorithm to solve these problems. The only methods that we can use are rule-based methods which produces good solutions (Boyacı, 2016).

As the input variables increase in such problems, the search space, ie the solution candidates, increases exponentially. For this reason, as the number of courses and classrooms increases, the possible solutions will increase exponentially, and the solution time for the direct search method is increasing exponentially. NP problems are not a problem solved by full automation. Referring to the studies, it can be seen that the complete solution can only be realized for very specific conditions.

Monte Carlo method and Genetic Algorithm are the preferred methods for solving NP-difficult problems. (Chappelier and Rajman, 2000; Panchal and Panchal, 2015). At the beginning of this study, both algorithms were applied on the problem and successful results were obtained with both methods. After the decision was made that the results were obtained in a shorter time with the Monte-Carlo method, the method was adopted in the software system.

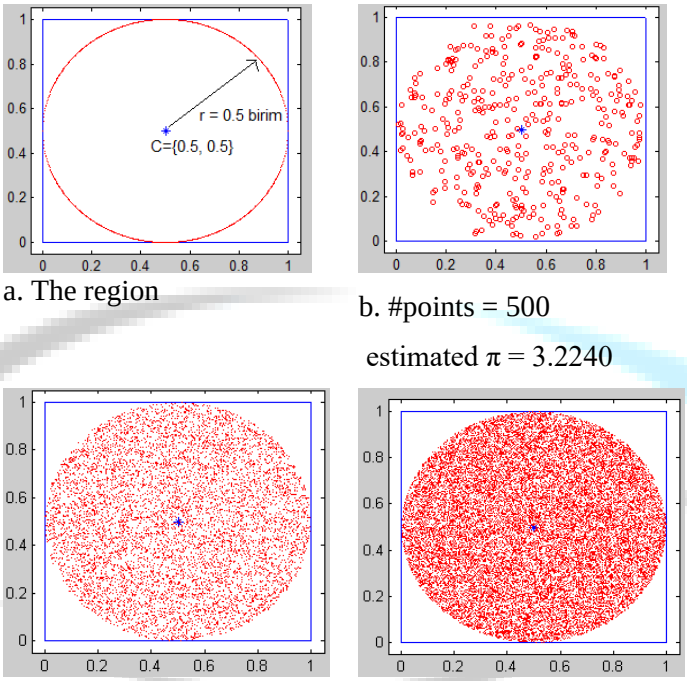
This article is composed of five sections. In the second part, the Monte-Carlo method is mentioned and in the third part, the application of this method in the solution of the problem is explained. In the fourth section, and conclusion is given in the fifth section.

2. Monte Carlo Method

Monte Carlo method is an algorithm that works on random samples. It is used in solution of difficult or impossible problems, especially in optimization problems (Kroese, Brereton, Taimre and Botev, 2014).

The method generates a number of candidate solutions and chooses the most appropriate one according to the criteria given by these solutions according to a given objective function. The production of candidate solutions in a way that will cover the determined solution space but not out of the specified constraints increases the efficiency and speed of the algorithm.

One example of the Monte Carlo method is the presence of an irregularly shaped area. (https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method). For example, let π number be estimated. For this, let's take a circle within a square (Figure 1.a). The ratio of the area of this circle to the area of the square will be π/4. Let us put the dots in the square randomly. When we divide the number of points in the circle by the total number of points, we get a number close to π/4 (Figure 1). MATLAB codes that perform this operation are given in Figure 2.



a. The region

b. #points = 500

estimated π = 3.2240

c. #points = 10000

estimated π = 3.1048

#points = 30000

estimated π = 3.1429

Figure 1. Using the Monte-Carlo method to estimate π

```
clc; clear; x=0; y=0;
N = 30000; n = 0;    % Number of dots per field with number of attempts
a = 0; u = 1; m = (a+u)/2; % lower limit, upper limit and center
hold off;   plot(m,m,'*');
axis([a-0.05 u+0.05 a-0.05 u+0.05]);
hold on;
% Draw square
line([a,u],[a,a]); line([a,u],[u,u]);
line([a,a],[a,u]); line([u,u],[a,u]);

% Choose random spots within the square % and calculate the circles falling into
for k=1:N
   x = rand(); y = rand();
   if sqrt((x-0.5)*(x-0.5) + …
      (y-0.5)*(y-0.5)) < 0.5
      n = n + 1;
      scatter(x,y,2,'r');
   end
end
% Calculate PI
disp(4*n/N); hold off;
```

Figure 2. MATLAB codes for estimating π

3. Application of the Method and Results

The method is based on selecting one of several randomly generated lesson plans according to a purpose function. A lesson program is produced by a computer program where courses are placed in a random course time and are evaluated according to the following objective function:

$$F(x, y, z) = 100x + y$$

Here, **x** refers to the number of hours taught by the lecturers who gave the courses and **y** is the same number of hours. This objective function has no constraint. The best solution is the solution that makes this objective function the least valuable. So this needs to be minimized.

According to this objective function, the most important selection indicator is the placement of courses. (**x**). It is desired that there will be no lesson left unplaced. As a result of the work of the program, the remaining courses are placed manually in the plan by a user if there are some remaining courses unplaced.

One of the most important advantages of the method is that the creation of random plans can be done in parallel. Since the created plans are not interdependent, they can also be created and evaluated by different computers in practice. In practice, 20 computers were used and 5000 plans were created and evaluated on each computer. The total number of plans created is one hundred thousand. In the best

solution, the majority of the courses were placed in the classroom without any overlap. The few courses that could not be placed were placed in classrooms by the administrator.

4. Conclusion

In order to contribute to the solution of these problems and to use classrooms efficiently in time and quality, a centralized course placement software system was developed within "Kyrgyz-Turkish Manas University".

Since the problem has NP complexity, Monte Carlo method has been used in its solution. The method is based on selecting one of several randomly generated course plans according to a objective function. In the selection of courses, the teaching hours of the lecturers were effective.

During the program, using 20 personal computers, one hundred thousand candidate course programs were produced and the optimal one was selected according to the objective function. In the best solution, the majority of the courses were placed in the classroom without any overlap.

5. References

Ateş, A. M., Kestane, Ö., (2014). "Üniversiteler İçin Haftalık Ders Programı Hazırlama Yazılımı", SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, Cilt: 4, Sayı: 2, Sayfa: 1-11.

Bolay, S. H., (2011). "Çağdaş Üniversitede Neler Önem Kazanmaktadır? What Becomes Important in the Contemporary University?", Yükseköğretim ve Bilim Dergisi/Journal of Higher Education and Science, ScienceDOI: 10.5961/jhes.2011.016.

Boyacı, A., (2016). "NP-hard problem örnekleri optimum çözülebilirler.", https://www.linkedin.com/pulse/np-hard-problem-%C3%B6rnekleri-optimum-%C3%A7%C3%B6z%C3%BClebilirler-arman-boyac%C4%B1-ph-d-, (09/11/2018).

Chappelier Jean-Cédric , Rajman M. , "Monte-Carlo Sampling for NP-Hard Maximization Problems in the Framework of Weighted Parsing", International Conference on Natural Language Processing, NLP 2000: Natural Language Processing — NLP 2000 pp 106-117.

Dönmez, M. K., Karadeniz, M., (2010). "Bilişim Teknolojilerine Giriş", Kyrgyz-Turkish Manas University Press, Bishkek.

https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method

Kroese, D. P.; Brereton, T.; Taimre, T.; Botev, Z. I. (2014). "Why the Monte Carlo method is so important today". WIREs Comput Stat. 6 (6): 386–392. doi:10.1002/wics.1314.

Panchal G. & Panchal D. (2015). "Solving NP hard Problems using Genetic Algorithm", Gaurang Panchal et al, (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 6 (2), 1824-1827.

Pekel, I. Ö., (2009). "Hesaplama Karmaşıklığı", https://e-bergi.com/y/hesaplama-karmasikligi/ (09/11/2018).

Tuti, S. (2005). "Eğitimde Bilişim Teknolojileri Kullanımı Performans Göstergeleri, Öğrenci Görüşleri ve Öz yeterlik Algılarının İncelenmesi" (investigation of the performance indicators on information and communication technologies in education, students' opinions and their perceived self-efficacy), Hacettepe University Institute of Science and Technology, Master Thesis.

Presentation ID / Sunum No= 20

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-2700-6296 / 0000-0002-8677-4941 / 0000-0002-9103-8869 / 0000-0001-7668-1496

Bazalt Tekstil Katkılı Harç ile Güçlendirilmiş Plakların Çarpma Yükü Etkisi Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi

Mehmet Enes Ünalan[1], Dr. Öğretim Üyesi Hakan Erol[2], Dr. Öğretim Üyesi Hasan Selim Şengel[3], Dr. Öğretim Üyesi Tolga Yılmaz[4]

[1]*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, unalanenes@gmail.com*
[1]*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, herol@ogu.edu.tr*
[1]*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, ssengel@ogu.edu.tr*
[2] *Konya Teknik Üniversitesi, tyilmaz@ktun.edu.tr*

Özet

Literatürde taşıyıcı betonarme elemanların çarpma yüküne karşı davranışları üzerine yapılan çalışmalar bulunsa da bazalt tekstil şeritler ile güçlendirilmiş plaklar üzerine yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Köprü ayaklarına araç çarpması, deniz kenarındaki betonarme yapılarda meydana gelen gemi kazaları, terör saldırıları sonucunda taşıyıcı betonarme elemanlar dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Meydana gelen bu dinamik yükler karşısında taşıyıcı elemanlar zarar görmekte ve yapı taşıyıcı sisteminde sorunlar yaşanabilmektedir. Bu yüzden taşıyıcı sistem tasarımı yapılırken elemanlar üzerindeki dinamik yükler de göz önüne alınmalıdır. Tez çalışması kapsamında bazalt tekstil katkılı harç ile güçlendirilmiş plakların çarpma yükü etkisi altındaki davranışının deneysel olarak incelenmesi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 16 adet plak bazalt tekstil şeritler ile güçlendirilmiş 1 adet plak ise referans numune olması için güçlendirilmeden boş bırakılmıştır. Deneyde 1000x1000x80 mm boyutlarında toplam 17 adet plağın ağırlık düşürücü deney aleti ile çarpma yükü etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Bazalt tekstil şeritler plaklara tek ve iki yönde ortagonal, tek ve iki yönde diyagonal ve şerit genişlikleri 50mm ve 100mm olacak şekilde farklı dizilimlerde uygulanmıştır. Plakların 8 tanesine ankraj uygulaması yapılmış ve numuneler üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Çalışma kapsamında çarpma yükünün plaklar üzerindeki etkisini ivmeölçer ve potansiyometrik konum algılayıcısı ile numunelerin ivme ve deplasman verileri LabVIEW SignalExpress yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ağırlık düşürücü deney aleti ile numunelerin üzerine düşürülen ağırlık sonrasında plaklarda meydana gelen çatlaklar incelenmiştir. Deneyler sonucunda betonarme plaklarda çatlak sayılarının azaldığı, maksimum deplasmanlarında ve kalıcı deplasmanlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çarpma Yükü, Ağırlık Düşürücü Test Düzeneği, Betonarme Plak, Bazalt Tekstil.

Experimental Investigation of the Behabior of Slabs Strengthening With Basalt Textile-Reinforced Mortar Under Impact Loading

Abstract

Although there are studies on the behavior of bearing reinforced concrete (RC) elements against impact load in the literature, the number of studies on slabs reinforced with basalt textile strips is quite low. As a result of vehicle crashes to bridge piers, ship accidents in reinforced concrete structures on the seaside, and terrorist attacks, bearing reinforced concrete elements are exposed to dynamic loads. In the face of these dynamic loads, the bearing elements are damaged and problems may occur in the building carrier system. Therefore, dynamic loads on the elements should also be taken into consideration while designing the carrier system. Within the scope of the study, 16 plates were reinforced with basalt textile strips and 1 plate was left blank to be a reference sample. In the experiment, the behavior of a total of 17 plates with the dimensions of 1000x1000x80 mm under the impact load was investigated with a weight reducing test device. Basalt textile strips were applied to the plates in different sequences, orthogonal in one and two directions, diagonal in one and two directions, and strip widths of 50mm and 100mm. 8 of the plates were anchored and their effects on the samples were also examined. Within the scope of the study, the effect of impact load on plates was transferred to the computer environment using the accelerometer and potentiometric position sensor and the acceleration and displacement data of the samples using LabVIEW SignalExpress software. Cracks that occurred on the plates after the weight dropped on the samples with the weight reducing tester was also examined. As a result of the experiments, it was observed that the number of cracks in reinforced concrete slabs decreased, their maximum displacements and permanent displacements decreased.

Keywords: Impact Load, Drop Weight Test Setup, Reinforced Concrete Plate, Basalt Textile.

GİRİŞ

Betonarme taşıyıcı elemanların yük taşıma kapasitesini iyileştirdiği düşünülen tekstil kompozitler; mevcut betonarme yapıların performansını artırmaktadır. Fiber tekstil malzemeler, betonarme yapıların birçok alanında önem kazanmıştır.

Yapılar statik yüklerin yanı sıra ömürleri boyunca kısa süreli dinamik yüklere veya dinamik darbe yüklerine (deprem, rüzgar, çarpma ya da yorulma) maruz kalabilmektedir. Statik ve dinamik yüklerin yanı sıra çarpma yüklemesi de tasarım aşamasında dikkate alınması gereken dinamik bir yüktür. M.A. Iqbal, V. Kumar ve A. K. Mittal (2016) tarafından yapılan çalışmada, öngerilmenin darbe etkisi altında davranışını tespit etmek için betonarme ve betonarme öngerilmeli plakların üzerinde darbe testleri yapılmıştır. Betona fiber eklemenin diğer birçok mühendislik özelliği arasında elemanın tokluğunu ve darbe direncini arttırdığı da bildirilmiştir P. Paramasivam (2018). Çarpma yüklemesi, betonarme taşıyıcı elemanların dış kuvvetlerin etkilerine maruz kalma durumudur. Bu etkiler; yapılara bulundukları konumla bağlantılı olarak araç, uçak gibi unsurların çarpması sonucunda meydana gelmektedir. Ayrıca çarpma yüklemesi; karakol askeri bölgelerdeki yapılarda da patlama vb. olaylar sonucunda oluşabilmektedir. Zheng-Ang Sui (2020) tarafından yapılan çalışmada, hasar görmüş prefabrike beton boşluklu plakları güçlendirmek için karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) ve tekstil takviyeli harç (TRM) güçlendirme teknikleri araştırılmıştır. Özgür Anil, Erkan Kantar, M. Cem Yilmaz (2015), hasar dağılımı, düşme sayısı, ivme, hız ve yer değiştirme değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sim ve diğ. (2005) betonarme yapılar için güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak üzere bazalt elyafların özelliklerini araştıran bir çalışma yapmıştır. M. Zineddin ve T. Krauthammer (2007) tarafından yapılan çalışmada, koruyucu tasarım tekniğini geliştirmek için darbe yükü altındaki yapısal beton plakaların dinamik davranışını anlamayı amaçlamıştır. Betona bazalt elyaf eklenmesi basınç dayanımında gözle görülür bir değişim sağlamazken, betonun şekil değiştirme enerji yutma özelliklerin belirgin bir şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir Li ve Xu"nun (2011).

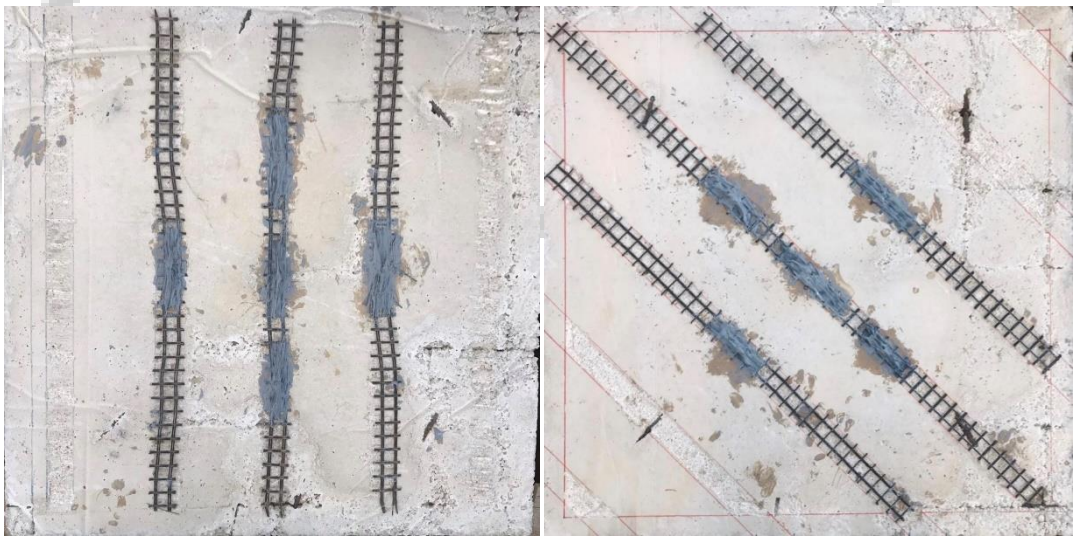
Çalışma kapsamında; betonarme yapılara araç çarpması, gemi kazaları ya da karakol gibi yapılarda meydana gelen patlamalar ve terör saldırıları sonucunda yapılarda oluşabilecek çarpma yüklemesi sonucunda meydana gelebilecek dinamik yüklerin iyileştirilebilmesi araştırılmıştır. Bunun yanı sıra, yapılarda herhangi bir hasar oluşmasa da mevcut taşıyıcı sistem elemanlarının değişen yönetmelik standartlarına uymaması durumu da betonarme elemanların güçlendirilerek yönetmelik standartlarına uygun hale getirilme gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Yapı, yönetmelik değişmeden önce güçlendirmeye ihtiyaç duymasa da değişen yönetmelik standartları bu ihtiyacı doğurabilmektedir.

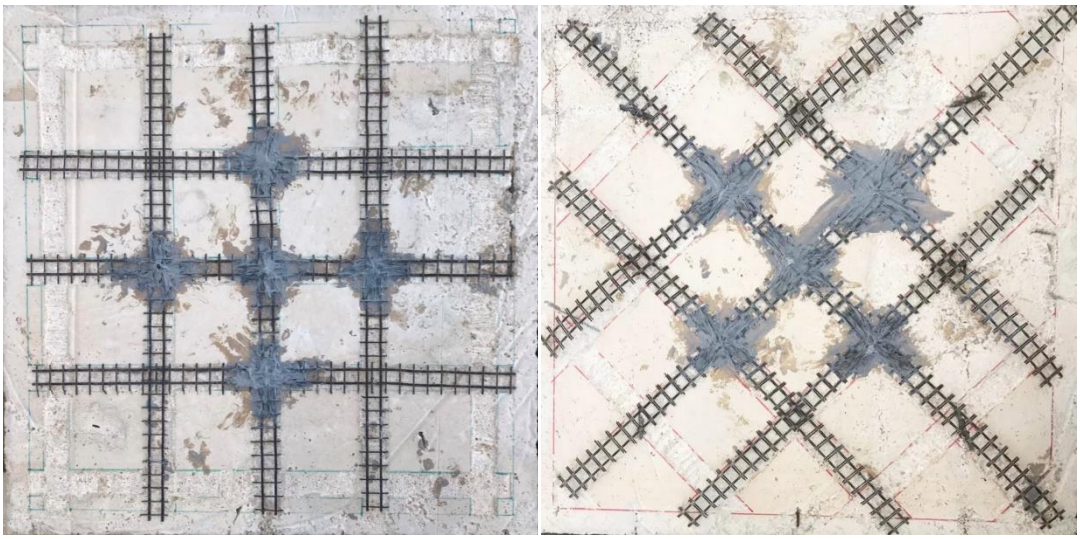
Deneysel çalışma kapsamında dört farklı güçlendirme dizilimi; ankrajlı, ankrajsız, 50 mm kalınlıkta fiber tekstil kullanımı olarak toplamda 8 adet plak bazalt fiber tekstil ile güçlendirilmiş ve ağırlık düşürücü test düzeneği ile darbe yüklemesi açısından incelenmiştir. Sonuçlar üretilen referans numune ile karşılaştırılmıştır.

MATERYAL YÖNTEM

Plakların hazırlanması kalıp yapımı ve donatıların hasır şeklinde bağlanması ile başlamış daha sonrasında ise beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında bazalt şeritler 50mm genişliğinde kesilmiş ve 8 farklı kombinasyon yapılarak plakların çarpma yükü altındaki davranışları incelenmiştir. 50 mm genişliğindeki bazalt şeritler plaklara yapıştırılmadan önce plaklar ters çevrilip pürüzlendirme işlemi yapılmıştır. Daha sonra şeritler plaklara tamir harcı ile yapıştırıldı ve harcın dayanım alması için numuneler 28 gün bekledi. Harç işlemi uygulanmadan önce güçlendirme malzemesinin yapıştırılacağı yüzeyler pürüzlendirilmiştir. Pürüzlendirilme işlemi harcın yüzeye daha iyi tutması için yapılmıştır. Daha sonra betonun içindeki su hızlı buharlaşıp beton içerisinde hava boşluklarının ve rötre çatlaklarının oluşmaması için numunelerin üzeri su tutma özelliği olan bir kumaşla ile kaplanmıştır.

Deneylerde on yedi adet plak kullanılmıştır. Plaklardan 8 tanesi bazalt tekstil şeritler ile güçlendirme yapılmıştır. Çarpma yükünün etkilerini kıyaslamak için referans numune olması adına bir adet plağa herhangi bir güçlendirme yapılmamıştır. Güçlendirme yapılacak döşemelere 50 mm genişliğindeki Bazalt Tekstil şeritlerin dört farklı yerleşim şekillerinde yapıştırılmıştır. 50 mm genişliğindeki Bazalt tekstil şeritler, Şekil 1'de, gibi konumlandırılmıştır.

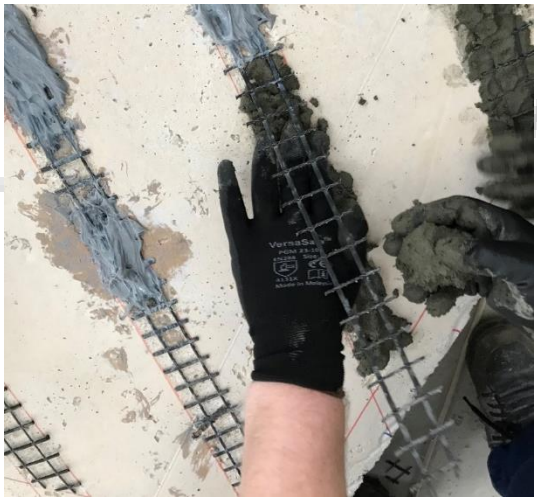




Şekil 1. Bazalt Tekstillerin şeritlerin ve ankrajların plak üzerindeki konumları

Pürüzlendirme işleminden sonra deney numunelerine Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'den Sikadur®-330 numaralı iki bileşenli epoksi esaslı doyurma reçinesi yapıştırıcı uygulanmıştır. İki bileşenli yapıştırıcının A bileşeni beyaz macun B bileşeni gri macundan meydana gelmektedir ve karışım sonucunda rengi açık gri macuna dönmektedir. Karışım oranı ise A macunu ve B macununu 4'e 1 oranında karıştırılması ile elde edilmiştir. Deney numunelerine yapıştırıcı reçine uygulanmadan önce güçlendirme malzemesinin yapıştırılacağı yüzeyler hava kompresör ile temizlenmiştir.

Bazalt tekstil şeritler betonarme döşemelere ankrajlı ve ankrajsız olarak yüksek dayanımlı tamir harcı ile yapıştırılmıştır. Ankraj yapılacak plaklar matkap ile delindikten sonra iki bileşenli epoksi esaslı yapıştırıcı ile bazalt ankrajlar deliklerin içerisine yerleştirilmiştir. Epoksiyle sabitlenen ankrajlar daha sonrasında yüksek dayanımlı tamir harcı ile döşemelere yapıştırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Bazalt şeritlerin yapıştırılacağı bölgelere harç uygulaması

İki bileşenli epoksi esaslı yapıştırıcının dayanım alması için gerekli süre geçtikten sonra bazalt şeritlerin yapıştırılacağı bölgelere harç uygulaması yapılmıştır. Bu işlem için 60 MPa dayanıma sahip tamir harcı hazırlanmış ve şeritlerin yapıştırılacağı bölgelere harç el ile yedirilmiştir.

Deney numuneleri deneye hazırlandıktan sonra strain-gauge'lerin yapıştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Strain-gauge'lerin yapıştırılması için pürüzsüz bir yüzeye ihtiyaç duyulduğu için plakların strain-gauge yapıştırılacak bölgeleri spiral yardımı ile zımparalanmıştır. Yüzeyler zımparalandıktan sonra hava kompresörü ve sünger ile temizlenmiştir.

Deney numuneleri hazırlandıktan sonra ağırlık düşürücü deney aletinin kurulumu yapılmıştır. Plakların konulacağı çelik mesnet yere sekiz farklı noktadan sabitlenmiştir. Daha sonra ağırlık düşürücü

deney aleti ile çarpma yükünün etkileri gözlemlenmiştir. Deney elemanlarına 84 kg'lık kütle 1,5m yükseklikten düşürülerek 1,236 kJ'lük çarpma enerjisi uygulanmıştır.

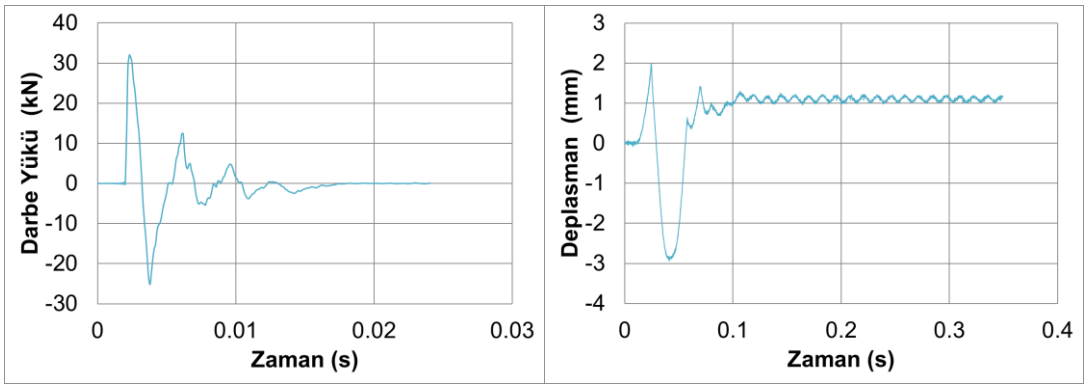
BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışma kapsamında ağırlık düşürücü test düzeneği ile ağırlık düşürülen plaklara çarpma yükü uygulanmış ve plakların bu yük altındaki davranışları incelenmiştir. Deneysel çalışmanın bulgular bölümünde plaklarda meydana gelen deplasman, ivme ve birim şekil değiştirmelerin zaman tanım alanında grafikleri çizilmiş ve betonarme plaklarda meydana gelen çatlak dağılımları da incelenmiştir. Çizelge 1'de deney sonuçları verilmiştir.

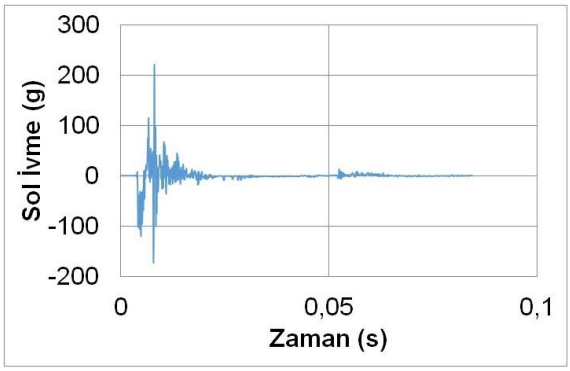
Çizelge 1. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar

Deney elemanı	Sol ivme (g)		Sağ ivme (g)		Maks Darbe Yükü (kN)	Deplasman (mm)		Gerinim (mm/mm)
	Maks	Min	Maks	Min		Maks	Kalıcı	
Referans	218.64	-171.97	216.89	-96.10	31.58	2.940	1.089	--
B50sOr	348.24	-217.61	344.32	-146.60	32.69	2.853	0.861	322.105
B50sDi	438.13	-191.29	446.51	-397.13	32.41	2.161	0.817	473.914
B50dOr	453.74	-349.86	448.67	-222.91	31.97	1.793	0.747	633.184
B50dDi	443.74	-445.42	453.74	-349.86	31.86	1.646	0.649	741.240
B50sOrA	461.08	-267.25	468.06	-206.09	32.09	1.731	0.939	218.784
B50sDiA	486.54	-347.83	492.61	-270.51	32.70	1.621	0.967	191.177
B50dOrA	508.13	-244.54	514.65	-488.91	30.82	1.492	0.632	180.584
B50dDiA	534.43	-348.80	529.54	-177.49	31.69	1.392	0.581	452.420

Yapılan deneysel çalışma, yüksek dayanımlı harçla uygulanan bazalt tekstil şeritlerinin döşemelerde darbe davranışına olumlu katkısı olmuştur. Uygulanan şeritler döşemelerin rijitliğini arttırmış, darbe yükünden dolayı döşemelerde oluşan ivmeler artmış, maksimum deplasman değerleri ve kalıcı deplasmanları azalmıştır. En iyi performans çift yönlü diyagonal ankrajlı numunede ortaya çıkmıştır. Şekil 3'de referans numunesine ait darbe yükü, deplasman ve ivme değerlerinin zamana göre değişimleri gösterilmiştir.



a) b)



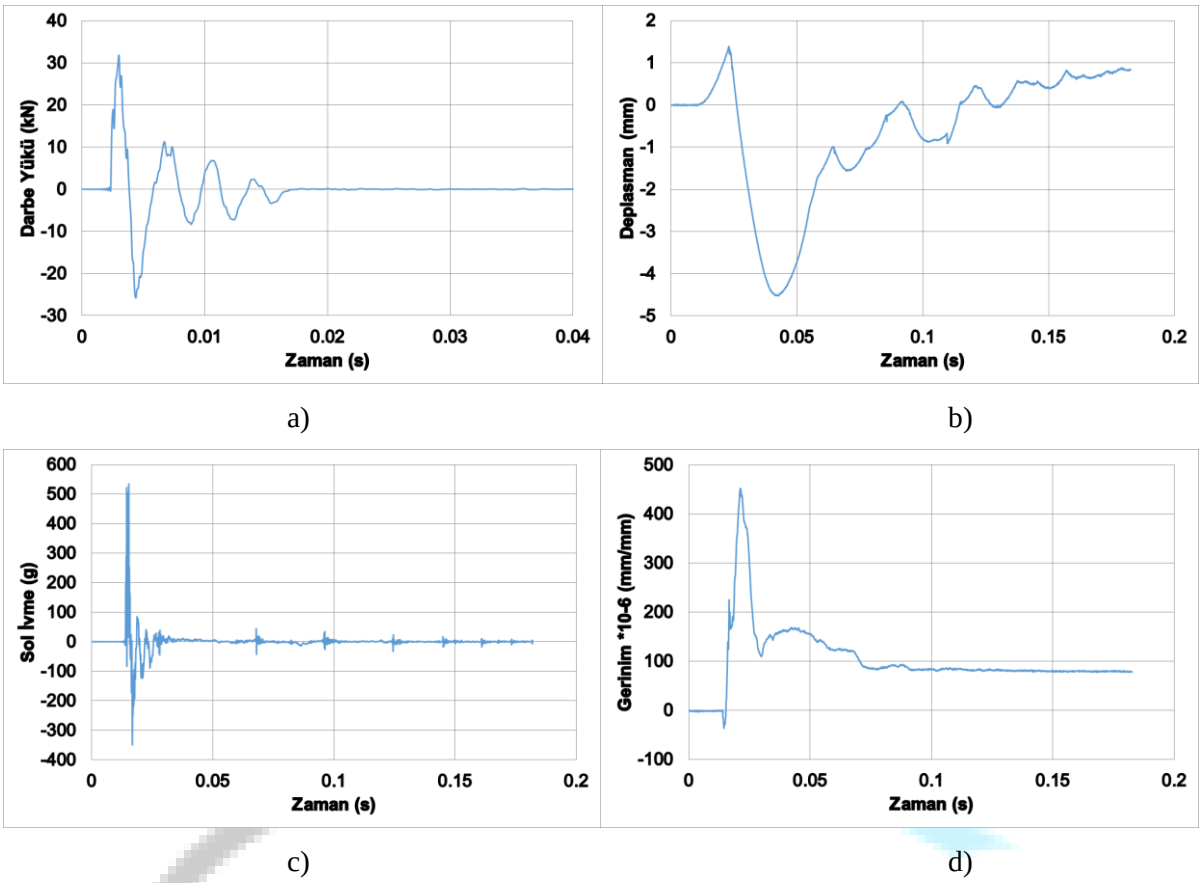
c)

Şekil 3. Referans numunesine ait a) Darbe yükü-zaman, b) Deplasman-zaman, c) İvme-zaman grafikleri

Referans numunesine etkiyen 1,236 kJ'lük darbe enerjisi sonrasında oluşan çatlak dağılımı ve hasar durumu şekil 4'de gösterilmiştir. Darbe sonrasında çatlakların döşemenin alt yüzeyinin tamamına yayıldığı, geniş çatakların olduğu, hatta küçük parçaların koparak düştüğü gözlenmiştir.

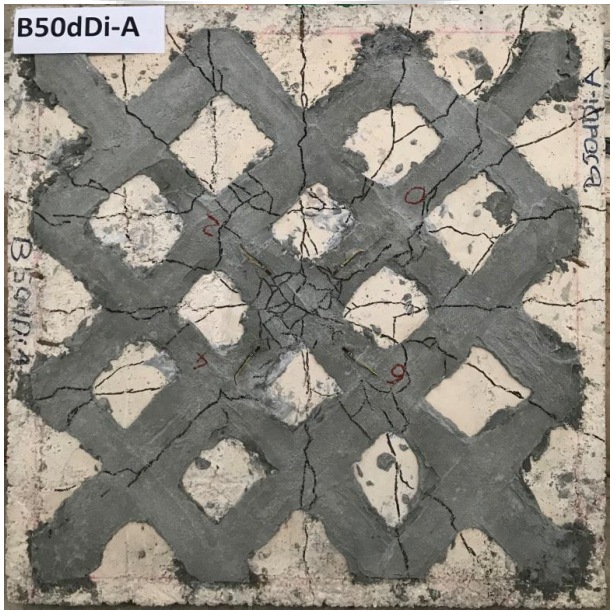
Şekil 4. Referans numunesi çatlak dağılımı

En büyük ivme değerlerinin, en küçük deplasman değerlerinin oluştuğu B50dDiA numunesinde elde edilen darbe yükü, deplasman, ivme ve gerinim değerlerinin zamana göre değişimleri şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. B50dDi-A numunesine ait, a) Darbe yükü-zaman, b) Deplasman-zaman, c) İvme-zaman, d) Gerinim-zaman grafikleri

B50dDi-A numunesine etkiyen 1,236 kJ'lük darbe enerjisi sonrasında oluşan çatlak dağılımı ve hasar durumu şekil 6'de gösterilmiştir. Darbe sonrasında çatlakların referans numuneye göre daha sınırlı bir bölgede kaldığı, çatlak genişliğinin azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 6. B50dDi-A numunesi çatlak dağılımı

SONUÇ

Yapılan çalışma kapsamında bazalt tekstil katkılı harç ile güçlendirilmiş plakların çarpma yükü etkisi altındaki davranışının deneysel olarak incelenmesi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 8 adet plak bazalt tekstil şeritler ile güçlendirilmiş 1 adet plak ise referans numune olması için güçlendirilmeden boş bırakılmıştır.

Deney sonrasında yapılan gözlemlerde, bazalt tekstil şeritler ile güçlendirilmiş betonarme plakların rijitliğinin arttığı, maksimum deplasman ve kalıcı deplasman değerlerinin referans numuneye göre azaldığı, ivme değerlerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Deney numunelerinin çarpma yüküne karşı gösterdikleri direncin ve enerji kapasitelerinin arttığı da yapılan ölçümler sonucunda bulunmuştur. Çalışmada plaklara tek ve iki yönde ortagonal, tek ve iki yönde diyagonal şeklinde yapıştırılan bazalt tekstil şeritlerin plaklar üzerinde farklı etkileri olduğu da gözlemlenmiştir. Tek yönde yapıştırılan bazalt tekstillerin maksimum deplasmanları ve kalıcı deplasman değerleri iki yönde tekstil kumaş yapıştırılan numunelere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer değişken olan ankraj uygulaması numuneleri kalıcı deplasman ve maksimum deplasman açısından olumlu yönde etkilemiştir.

Çalışma kapsamında yapılan güçlendirme işleminin betonarme plaklar üzerinde olumlu etkileri gözlenmiştir. En yüksek verim her iki yönde de diyagonal olarak bazalt şeritlerle güçlendirilmiş B50dDiA numunesinde görülmüştür. B50dDiA betonarme plağında çatlak sayısının daha az olduğu görülmüştür. Numune incelendiğinde, referans numunesine göre maksimum deplasmanda % 52,6, kalıcı deplasmanda %46,6 oranında azalma olduğu, kalıcı maksimum ivme değerinde % 144,4 oranında artmış olduğu gözlemlenmiştir.

Ankrajlı ve ankrajsız güçlendirmeler karşılaştırıldığında ankrajlı uygulamanın daha iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir. B50dDiA numunesi, B50dDi numunesine göre % 15,4 daha az maksimum deplasman, % 10,4 daha az kalıcı deplasman yaptığı gözlenmiştir. Maksimum ivme değerleri karşılaştırıldığında B50dDiA numunesinde % 20,4 oranında daha büyük ivme değerleri okunmuştur.

Sonuç olarak güçlendirmenin şeritler halinde uygulanması halinde, çift yönlü diyagonal doğrultuda uygulanması, ayrıca ankrajlarla şeritlerin betonarme döşemeye sabitlenmesi çarpma yüklemesi etkisi altındaki genel davranışı iyileştirmiş ve performansını daha fazla artırmıştır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Daire Başkanlığı tarafından desteklenmektedir (Proje No: 2020-15007 ve Proje No: 177). Yazarlar ve destekleri için Osmangazi Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Kaynaklar

M.A. Iqbal, V. Kumar ve A. K. Mittal (2016), Kumar, V., Iqbal, M. A., & Mittal, A. K. (2016). Damage induced in reinforced and prestressed concrete plates under drop impact loads. In Preceedings of The 4th International Conference on Protective Structures (ICPS4). Beijing, China (pp. 307-312).

P. Paramasivam (2018), Finite element analysis of rc walls with different geometries under impact loading.

Zheng-Ang Sui (2020), Flexural behavior of fire-damaged prefabricated rc hollow slabs strengthened with cfrp versus trm.

Özgür Anil, Erkan Kantar, M. Cem Yilmaz (2015) tarafından, Çarpma etkisine maruz kalmış yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin davranışlarındaki değişimin deneysel olarak incelenmesi.

Sim J, Park C, Moon DY, 2005. Characteristics of Basalt Fibre as a Strengthening Material for Concrete Structures. Composite Part B: Engineering, 36 (6-7): 504–512.

M. Zineddin ve T. Krauthammer (2007), Dynamic response and behavior of reinforced concrete slabs under impact loading.

Li ve Xu‟nun (2011), Impact characterization of basalt fiber reinforced geopolymeric concrete using a 100-mm-diameter split Hopkinson pressure bar.

Presentation ID / Sunum No= 90

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-5685-0296 / - / - / 0000-0003-3061-6431 / 0000-0001-7478-9882 / 0000-0003-1611-8452

Yer Karolarında Mat Sır Uygulaması İçin Reçete Geliştirmesi

Seher Taş Anlı[1], Mehmet Can Taplı[1], Aykut Kökoğlu[1], Fatma Nur Gülalan[2], Adem Korkmaz[2], Tuğçe Yağcı[3], Osman Çulha[3]

[1] *Yüksel Seramik A.Ş., sehertasanli@yukselseramik.com,*

[2] *Twin Ar-Ge Mühendislik TİC.LTD.ŞTİ, fatmanur.gulalan@twinarge.com.tr, adem.korkmaz@twinarge.com.tr,*

[3] *Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, tugce.yagci@cbu.edu.tr, osman.culha@twinarge.com.tr*

Özet

Seramik sektöründe seramik yer karolarının üretiminde giderek artan girdi maliyetleri, sektörü yeni üretim reçetesi geliştirmeye yöneltmektedir. Uygun reçete formülasyonuna göre öğütülmüş seramik hammaddelerinin bileşimiyle hazırlanan ve pişirim sonrası seramik bünye üzerinde oluşan camsı bir yapıya benzer tabakaya sır denir. Bu çalışmanın amacı yer karolarına uygulanan mat sırda maliyeti azaltmak ve yüzey özelliklerini geliştirmektir. Pişmiş sırlar farklı dokulara sahip olup parlak, opak, transparan yüzeyler bunlara örnek olarak verilebilmektedir. Yer mat sır uygulanan ürünler, düşük parlaklığa ve sert yüzeye sahip nihai ürünler sunmaktadır. Ayrıca, uygulanan sırın dijital porselen ürünlerin renginde farklılık yaratmaması beklenmektedir. Fabrika bünyesinde kullanılan yer mat sır reçetesinde, alternatif hammaddeler kullanarak veya mevcut hammaddelerin oranları değiştirilerek yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyetin düşürülmesi hedeflenmiştir. Reçete de kullanılan frit miktarı belirgin miktarda düşürülerek yerine feldspat miktarında artış gerçekleştirilmiş ve bu sayede yeni reçeteler geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında seramik sektöründe sıklıkla rastlanan göçük, deliklenme, sır havası gibi yüzey kusurları minimuma indirilmiş, ideal yüzey dokusunu sunabilecek yer mat sır çalışmaları yapılmıştır. Üretimde halihazırda kullanılan reçete baz alınarak yeni reçeteler geliştirilmiştir. Bu reçeteler laboratuvar ortamında, jet değirmenlerinde bilyeli öğütmeden geçirilerek engoplu ham karo üzerine uygulanmış ve hızlı pişirim gerçekleştirilmiştir. Pişmiş sırların spektrometre cihazı (L*,a*,b*) ile renk değerlerine ve glossmetre cihazıyla parlaklığına bakılmıştır. Reçeteler üzerinden denemelere devam edilerek belirtilen değerlerde uygunluk gösteren reçetenin üretim denemesi yapılarak yüzey standartlarını sağlayıp sağlamadığı test edilmiştir. Üretim denemesi yapılan reçeteler arasından aşınmazlık, çizilmezlik, asit dayanımı, pişme sonrası uygun aralıkta deformasyon özelliğini sağlayan reçete, üretim reçetesi olarak belirlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yeni reçetenin maliyeti beklenen ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mat Sır, Seramik, Yer Karosu

Recipe Development for Matte Glase Application On Floor Tiles

Abstract

Increasing input costs in the production of floor and wall tiles in the ceramic industry are leading the industry to develop new production recipes. The layer, similar to a glassy structure, formed on the ceramic body after firing and prepared with the composition of ground ceramic raw materials according to the appropriate recipe formulation is called glaze. The aim of this study is to reduce the cost of matt glaze applied to floor tiles and to improve surface properties. Baked glazes have different textures and glossy, opaque, transparent surfaces can be given as examples. Products with floor matte glaze offer final products with low gloss and hard surface. In addition, it is expected that the glaze applied will not make any difference in the color of digital porcelain products. In the floor mat glaze recipe used in the factory, it is aimed to improve the surface properties and reduce the cost by using alternative raw materials or by changing the ratios of the existing raw materials. The amount of frit used in the recipe was significantly reduced, and the amount of feldspar was increased, and new recipes were developed. Within the scope of the study, surface defects such as dents, perforations and glaze air, which are frequently encountered in the ceramic industry, were minimized, and matte glaze works were carried out to present the ideal surface texture. New recipes have been developed based on the recipe currently used in production. These recipes were applied on the raw tile with engobe after ball grinding in jet mills in the laboratory environment and rapid firing was achieved. The color values of the baked glazes were checked with a spectrometer (L*, a*, b*) and their gloss with a glossmeter device. Experiments were continued on the recipes and the production trial of the recipe that showed compliance with the specified values was tested whether it met the surface standards. The recipe that provides wear resistance, scratch resistance, acid resistance, deformation in the appropriate range after firing was determined as the production recipe among the recipes that were tested. As a result of the examinations, it was determined that the new prescription reduced the cost to the expected extent.

Keywords: Matte Glaze, Ceramic, Floor Tile

1.GİRİŞ

Seramik karo üretimi, bünye üzerine engop ve sır uygulaması hazırlanan bir reçeteye uygun olarak yapılarak pişirmek suretiyle yapılır. Bünye ve sır arasına uygulanan ara katmana engop denilmektedir. Ana hammadde olarak kil, kaolen ve feldispatlar kullanılmaktır. Ara yüzey görevi görür ve sır ve bünye arasında tutunmayı sağlar. Aynı zamanda, bünyeden gelen hataları örtme özelliğine sahiptir. Bünyenin renginin yüzeye yansıyarak oluşabilecek renk farklılıklarını engelleyici astar görevini görür. Genellikle yüksek beyazlığa sahip olmakla birlikte ihtiyaca bağlı olarak da renklendirme yapılmaktadır. Sırlama ise, reçeteye uygun olarak öğütme işlemi görmüş seramik hammaddelerinin bileşimiyle oluşan ve pişirim sonrası seramik bünye üzerinde oluşan camsı tabakaya sır denir. Ana hammadde olarak reçetede camsı yapıya sahip frit adı verilen malzeme kullanılır. Kimyasal olarak, alkali ve toprak alkalilerin oluşturdukları silikat karışımlarının uygun sıcaklıklarda eritilmesi ve soğutulması ile elde edilir.

Seramik sırların bünyeye uygulanma amaçları vardır. Seramik bünyeyi asit ve bazlara karşı dayanıklı hale getirilir. Pürüzlü bir yüzeye sahip olan seramik bünyeye pürüzsüz bir yüzey sağlayarak biyolojik korozyona engel olur. Nihai ürüne dekoratif bir görünüm eklerken müşteri taleplerine göre farklı doku bitişleri sunar.

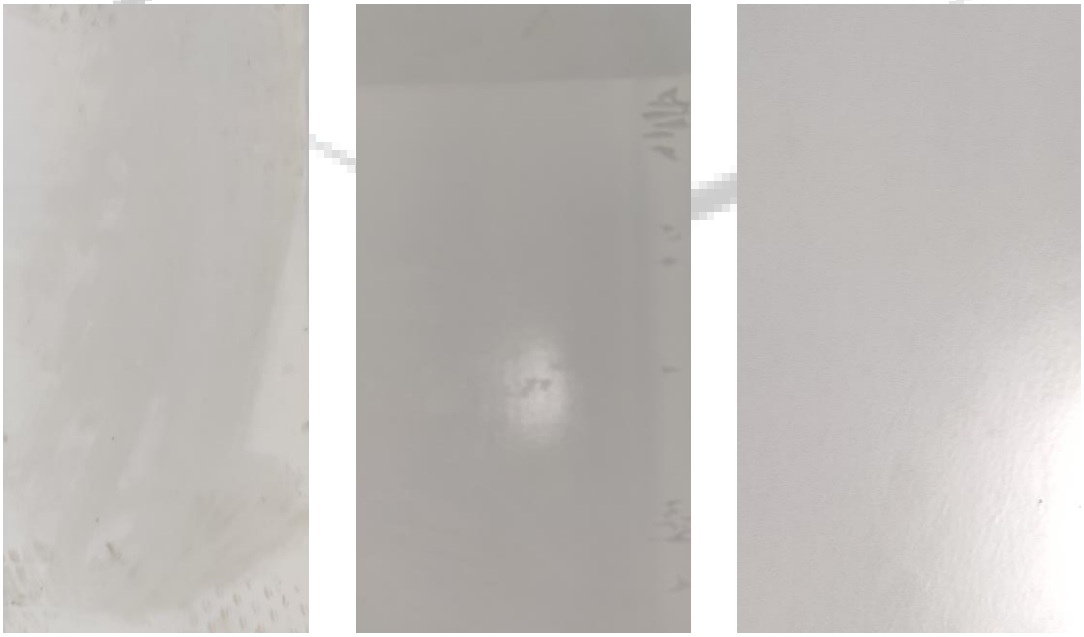
Bu çalışmanın gereksinimi olarak, seramik sektöründe özellikle seramik yer ve duvar karoları üretiminde giderek artan girdi maliyetleri, sektörü yeni üretim reçetesi formülasyonlarına yöneltmektedir. Bu projede de yer karolarında uygulana mat sırda maliyeti azaltmanın yanında yüzey özelliklerini, geliştirmek amaçlanmıştır.Yer mat sır uygulanan ürünler, düşük parlaklığa ve sert yüzeye sahip nihai ürünler sunmaktadır. Aynı zamanda uygulanan sırın dijital porselen ürünlerde renginde farklılık yaratmaması beklenmektedir. Bu amaçlara, fabrikamız bünyesinde kullanılan yer mat sır

reçetesinde, alternatif hammaddeler kullanarak veya mevcut hammaddelerin oranları değiştirilerek yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyetin düşürülmesi hedeflenmiştir.

Reçete de kullanılan frit miktarı önemli ölçüde düşürülerek yerine feldspat miktarında artış ve hammaddelerde yerlileştirilmeye gidilerek reçeteler geliştirilmiştir. Proje kapsamında fabrika ve sektör adına göçük, deliklenme, sır havası vs. gibi yüzey kusurlarının minimuma indirilmiş ideal yüzey dokusunu sunabilecek yer mat sır çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar için üretimde kullanılan reçete baz alınarak yeni reçeteler yazılmış ve laboratuar ortamında jet değirmenlerinde bilyeli öğütmeden geçirilerek engoplu ham karo üzerine uygulanarak hızlı pişirim yapılmıştır. Pişmiş sırların öncelikli olarak spektrometre cihazıyla renk (L,a,b) değerlerine ve glossymetre cihazıyla parlaklığına bakılmıştır.

Resim 1. Değirmende ve Elde Öğütme İşlemi

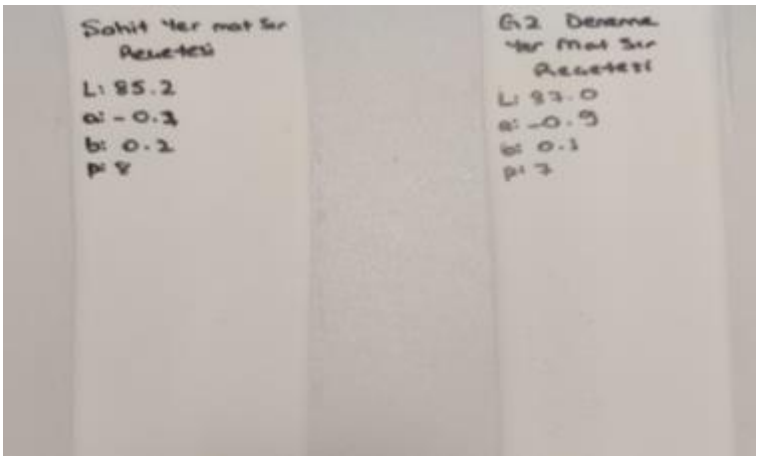
Resim 2. Seramik karolarda sır problemleri



GEÇMEYEN LEKEBÖLGESEL SIR KALKMASI YÜKSEK PARLAKLIK

Şahit sıra yakın özellik gösteren reçeteler üzerinden denemelere devam edilerek belirtilen değerlerde uygunluk gösteren reçetenin üretim denemesi yapılarak yüzey standartlarını sağlayıp sağlamadığı test edilmiştir.

Resim 3. Şahit (Standart Reçete) ve deneme reçetesi ile elde edilen karoların L,a,b ölçümleri



Tablo1. XRF verilerine göre kimyasal veriler,sıra giren oksit miktarları

SIRA GİREN OKSİTLER (%)	ŞAHİT REÇETE	DENEME
Al_2O_3	24,24	16,45
SiO_2	45,4	62,39
B_2O_3	0,40	0,72
K_2O	0,90	1,87
Na_2O	5,20	3,88
CaO	16,07	9,78
MgO	2,82	2,27
ZnO	7,83	2,43

Tablo2. Şahit reçeteye en yakın özellik gösteren reçetelerin karşılaştırılması

HAMMADE(%)	ŞAHİT REÇETE	DENEME REÇETE
KİL	10,5	10
KAOLEN	7,5	8
FELDİSPAT	22,5	29
DOLOMİT	8,0	6
KUVARS	-	2
KALSİT	8,0	-
ALUMİNA	5,5	-
FRİT 1	12,0	-
FRİT 2	7,5	11
FRİT 3	19,5	-
FRİT 4	-	34

2. SONUÇ

Sonuç olarak, üretim denemesi yapılan reçeteler arasından şahit reçeteye en yakın performansı sergileyen reçete üzerinden pilot üretim yapılarak aşınmazlık, leke testi, asit dayanımı, pişme sonrası uygun aralıkta deformasyon özelliğini sağlayan reçete üretim reçetesi olarak belirlenmiş ve maliyet incelemeleri yapıldığında maliyeti beklenen ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir (Tablo3).

Tablo 3. Standart test sonuçları

	STANDART	ŞAHİT	DENEME
YÜZEY SERTLİĞİ TESTİ	R9(38-42)	41	39
HARKOD TESTİ	+150, +175, +200	✓	✓
DEFORMASYON	0-+0,20	+0,15	+0,10
ASİT TESTİ	DAYANIM	✓	✓
LEKE TESTİ	DAYANIM	✓	✓
L*		86,2	87,0
a*		-0,7	-0,9
b*		0,2	0,1
PARLAKLIK		8	7

3. KAYNAKÇA

KAYA, O. (2010). "Porselen Karolar İçin Cam Seramik Sırların Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

TIĞ, M. ve ÇELİK, A. (2019). "Dijital Baskı ile Üretilen Sırlı Porselen Karo Yüzeylerinde Camsı Tabaka Oluşturan Sır Kompozisyonlarının Geliştirilmesi", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019 (19):212-218.

GÖNÜL, A. (2015). "ZrO_2─CaO─MgO─SiO_2 (ZrCMS) Firit Esaslı, Yüksek Aşınma Dayanımlı Yer Karosu Sırlarının Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı.

DOĞRUÖZ, T. (2002). "Yer Karosu Seramik Sırlarının Seger Formülasyonunda $SİO_2$ İle Al_2O_3 Arasındaki Oranın Sır Parlaklığı Üzerindeki Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

HOCAOGLU, E. (2004). "Diopsit Esaslı Angop Kompozisyonlarının Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Presentation ID / Sunum No= 58

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-2790-9578

Exopolysaccharide from Multiple Enzyme Producer *Bacillus licheniformis* 7G1A; Production On Citrus Waste Pretreated with Dilute Acid Hydrolysis and Rheological Evaluation Via Intrinsic Viscosity

Berna GENC[1]

[1]*Gumushane University, Faculty of Engineering and Life Sciences, Department of Genetic and Bioengineering, Gumushane, Turkey, bernagenc@gumushane.edu.tr*

Abstract

Microbial polysaccharides are more advantageous than plant polysaccharides and have attracted a lot of attention recently, with their short production time and remarkable chemical, biological and rheological properties. As microbial polysaccharide producers, thermophilic bacteria come to the fore when their high temperature resistance and biodiversity are taken into account. *Bacillaceae* family, on the other hand, are among the leading producers in microbial exopolysaccharide (EPS) production with their high productivity, recognition and easy workability. In this study, it was aimed to produce exopolysaccharide from *Bacillus licheniformis* 7G1A, a thermophilic bacterium identified by MALDI-TOF-MS method, by using orange peel, which was an agricultural waste, as a growth medium, and partial rheological characterization of this polysaccharide. In order for the orange peel to be used as a growth medium, dilute acid hydrolysis was carried out with different types of acids, thus facilitating the use of simple and complex sugars in the peel as a carbon source. The viscosity values of the crude extracts and the exopolysaccharides prepared at a certain concentration were tried to be determined in response to the changing shear rate at 25°C. The intrinsic viscosity values were calculated with the apparent viscosity values obtained and correlated with the molecular weights of the polysaccharides produced with two different models at a single concentration point.

Keywords: Exopolysaccharide, MALDI-TOF-MS, Molecular weight, Rheology, Dilute acid hydrolysis

Çoklu Enzim Üreticisi *Bacillus licheniformis* 7G1A'dan Ekzopolisakkarit; Seyreltik Asit Hidrolizi ile Ön İşleme Tabi Tutulmuş Narenciye Atığı Üzerinde Üretim ve İç Viskozite ile Reolojik Değerlendirme

Özet

Daha kısa sürede üretilebilmeleri ve dikkat çekici kimyasal, biyolojik ve reolojik özellikleri ile mikrobiyal polisakkaritler bitkisel polisakkaritlerden daha avantajlı ve son dönemde oldukça dikkat çeken ürünlerdir. Mikrobiyal polisakkarit üreticileri olarak, yüksek sıcaklık dayanıklılıkları ve biyoçeşitlilikleri göz önüne alındığında termofilik bakteriler ön plana çıkmaktadır. *Bacillaceae* ailesine

ait üyeler ise yüksek ürün verimlilikleri, bilinilirlikleri ve kolay çalışılabilirliği ile mikrobiyal ekzopolisakkarit (EPS) üretiminde başı çeken üreticilerdendir. Bu çalışmada, MALDI-TOF-MS yöntemi ile identifiye edilen ve termofilik bir bakteri olan *Bacillus licheniformis* 7G1A'dan, tarımsal bir atık olan portakal kabuğunun büyüme ortamı olarak kullanılmasıyla ekzopolisakkarit üretilmesi ve bu polisakkaritin kısmi reolojik karakterizasyonu amaçlanmıştır. Portakal kabuğunun büyüme ortamı olarak kullanılabilmesi için farklı türde asitler ile seyreltik asit hidrolizi gerçekleştirilmiş ve böylece kabuktaki basit ve karmaşık şekerlerin karbon kaynağı olarak kullanılması kolaylaştırılmıştır. Elde edilen ham ekstraktlar ve belli bir konsantrasyonda hazırlanan ekzopoliskkaritlerin viskozite değerleri 25°C'de değişen kayma hızına karşılık belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen görünür viskozite değerleri ile iç viskozite değerleri hesaplamış ve tek konsantrasyon noktasında iki farklı model ile üretilen polisakkaritlerin moleküler ağırlıkları ile ilişkilendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ekzopolisakkarit, MALDI-TOF-MS, Moleküler ağırlık, Reoloji, Seyreltik asit hidrolizi

1. INTRODUCTION

Microorganisms can adapt to various stress factors in order to maintain their vital activities. Many chemical and physical factors control the development and viability of organisms. One of the most important environmental factors controlling the vital activities of living things is temperature (Madigan and Martinko, 2006). Temperature causes denaturing of macromolecules in many microorganisms. Therefore, a significant number of organisms (macro and micro) can survive in temperature conditions below the boiling point of water. However, the temperature at which thermophilic bacteria (Aragno, 1992) that can live in hot springs, tropical soils, manure and faeces can live optimally is 55-60°C (Guagliardi et al. 1996).

The *Bacillaceae* family, which constitutes an important bacterial source in bioprocess studies, consists of Gram-positive and rod-shaped, endospore producing members. Among the *Bacillaceae* family, *Bacillus* is the largest and most studied genus in terms of the total number of species, the number of studies and publications (Mijakovic and Deutscher, 2015).

High molecular weight polysaccharides (Mohamed et al. 2018; Yang et al. 2018) produced during the metabolic activities of microorganisms are generally water-soluble, ionic or nonionic polymeric substances and are divided into two groups as intracellular (endo-) and extracellular (exo-) polysaccharides (Gruyer et al. 2002; Lee et al. 2007). Exopolysaccharides are naturally secreted into the extracellular environment by most microorganisms, which facilitates their recovery (Donot et al. 2012).

Microbial exopolysaccharides with significant structural differences are used in many biotechnological and medical applications. They are produced by bacteria, fungi and microalgae. Among the microbial origin biopolymers that can preserve their properties in industrial conditions, those produced from bacterial sources attract a lot of attention. Thermophilic bacteria, which can live at high temperatures, secrete polysaccharides with high molecular weight, different physicochemical and rheological properties, as a result of their adaptation.

Orange peel is an agricultural waste that is almost the first in all countries of the world. According to the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), citrus waste in worldwide is reported to be 104.15 Mt (millions of tons), of which 75.54 Mt is orange. In addition, considering that 20% of the orange is peel, the volume of waste orange peel corresponds to 15.10 Mt (Ayala et al. 2021). In this study, the exopolysaccharide production ability of thermophilic *Bacillus licheniformis* 7G1A was tried to be determined by using orange peel waste treated with different acids as growth medium and evaluated rheologically.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Microorganism

The exopolysaccharide producer 7G1A isolate identified by MALDI-TOF MS method was similar to *Bacillus licheniformis* with a score of 1.95.

2.2. Conventional identification of isolate

Gram reaction test was used to determine the cell wall structure of the isolate. Accordingly, the formation of the mucoid structure in the cell treated with KOH was evaluated as Gram (-) or its absence as Gram (+) (Powers 1995). As other conventional diagnostic methods, catalase test (Pikuta et al. 2000), oxidase test (Tarrand and Gröschel, 1982), urease and nitrate tests were performed (Prescott et al. 2002) Cheesbrough 2006).

2.3. Determining

2.3.1. Cellulase

To determine the ability of the isolate to produce cellulase enzyme, carboxymethylcellulose (CMC-10 g/L), peptone (5 g/L), yeast extract (5 g/L), KH_2PO_4 (1 g/L), $MgSO_4.7H_2O$ (0.2 g/L), NaCl (10 g/L) and agar (15 g/L) were prepared. After the medium was frozen, some of the isolate was left to grow on Nutrient agar (NA) medium at 55°C for 48 hours, and then planted in the middle of the cellulose medium and incubated. At the end of the period, the petri dish was stained with 0.1% (w/v) Congo red for 15 minutes. Excess paint was poured and treated with 1M NaCl for 20 minutes, and the formation of a yellow zone was evaluated as cellulase positive and its absence was evaluated as negative (Genc et al. 2015).

2.3.2. Xylanase

Determination of the ability to produce xylanase enzyme was made according to the procedure applied for cellulase enzyme. Only xylan was used instead of CMC in the medium content (Sari et al. 2018; Zamani et al. 2018).

2.3.3. Lipase

To test the ability to produce lipase enzyme, tributyrin agar medium containing 1% (v/v) glycerol tributyrate [meat peptone (2.5 g/L), casein peptone (2.5 g/L), yeast extract (3 g/L) and agar (12 g/L)] were prepared. After the medium was frozen, some amount of the isolate was taken from the isolate, which was left to grow on NA at 55°C for 48 hours, inoculated on solid medium and incubated. At the end of the period, the formation of a transparent zone around the growing colony was considered lipase positive, and its absence was considered lipase negative (Ertuğrul et al. 2007).

2.3.4. Protease

For proteolytic activity, a medium consisting of nutrient broth (NB) (20 g/L), skimmed milk powder (10 g/L) and agar (15 g/L) was prepared. After the medium was frozen, some amount of the isolate was taken from the isolate, which was left to grow on NA at 55°C for 48 hours, and was drawn on the solid medium and incubated. The formation of a transparent zone around the colony was considered protease positive, and its absence was considered negative (Panda et al. 2013).

2.3.5. Amylase

In order to determine the amylolytic properties of the isolate, nutrient agar medium containing 1% (w/v) soluble starch was prepared. After the medium was frozen, some amount of the isolate was taken from the isolate, which was left to grow on NA at 55°C for 48 hours, inoculated on solid medium and incubated. At the end of the period, the petri dish was treated with Lugol solution for 20 minutes and the formation of a transparent zone was accepted as positive for amylase and negative for its absence (Yanmis et al. 2015).

2.4. Exopolysaccharide (EPS) production

2.4.1. Pretreatment of raw material

Orange peels, which were cut into small pieces and dried, were used as raw material. In order to reveal the sugars in the orange peel, the dilute acid hydrolysis method with different acids has been tried. The operating conditions at the defined point was obtained in the optimization study with sulfuric acid and the same condition were also used for perchloric acid and acetic acid pretreatment. The non-acid condition was studied as control. Hydrolysis was carried out at 116°C for 15 minutes using 6% (w/v) peel and 0.5% (v/v) acid concentration (Talebnia et al. 2008).

2.4.2. Production media

As a result of hydrolysis, the particles that lost their shape but remained in the environment were neutralized without filtering. A loopful of 7G1A isolate was transferred to production medium and incubated at 55°C for 48 hours at 120 rpm.

After incubation, cell debris and orange peel particles were precipitated by centrifugation at 4000 rpm for 10 minutes and the resulting supernatant was named 'crude extract (CE)'. In order to remove protein impurities and to precipitate soluble microbial polysaccharides in the supernatant, trichloroacetic acid (TCA)(4%) and cold ethanol (2-fold) were added, respectively, and precipitated at 4000 rpm for 10 minutes and freeze-dried (Genc et al. 2021).

2.4.3. Concentration

Total carbohydrate analysis of the freeze-dried EPS was carried out with the phenol sulfuric acid method. For this, 0.5 mL of 1 g/L EPS solution prepared in water, 0.5 mL of 5% (w/v) phenol solution and 2.5 mL sulfuric acid were mixed and incubated for 10 minutes at room temperature. The samples were then cooled rapidly and absorbance values at 490nm wavelength were determined in the spectrophotometer against water. Glucose was used as standard.

Total protein amount was determined with 'Biuret' method. For this purpose, 5mL of biuret reagent was added to 1 mL (1 g/L) exopolysaccharide solution and incubated at 37°C for 30 minutes, then absorbance values were read against water at a wavelength of 540nm. bovine serum albumin was used to generate the standard plot. In addition, spectrum scanning was performed at 200-1000nm wavelength range.

2.4.4. Determination of rheological properties

In order to determine the rheological properties of EPS, a series of analyzes were carried out with Anton-Paar MCR102 rheometer using a PP50 plate sensor with 1 mm gap. The change in the apparent (apparent) viscosity values in the crude extract and EPS samples prepared at different concentrations was detected at 25°C at varying shear rates (20-100s^{-1}) (Stredansky et al. 1999). Internal viscosity values of exopolysaccharides obtained as a result of each acid hydrolysis were calculated according to equations 1 (Billmeyer) and 2 (Solomon-Ciuta).

$$[\eta] = 0.25 * \left\{ \frac{\eta r - 1 + 3 * \ln(\eta r)}{C} \right\} \text{(Equation 1)}$$

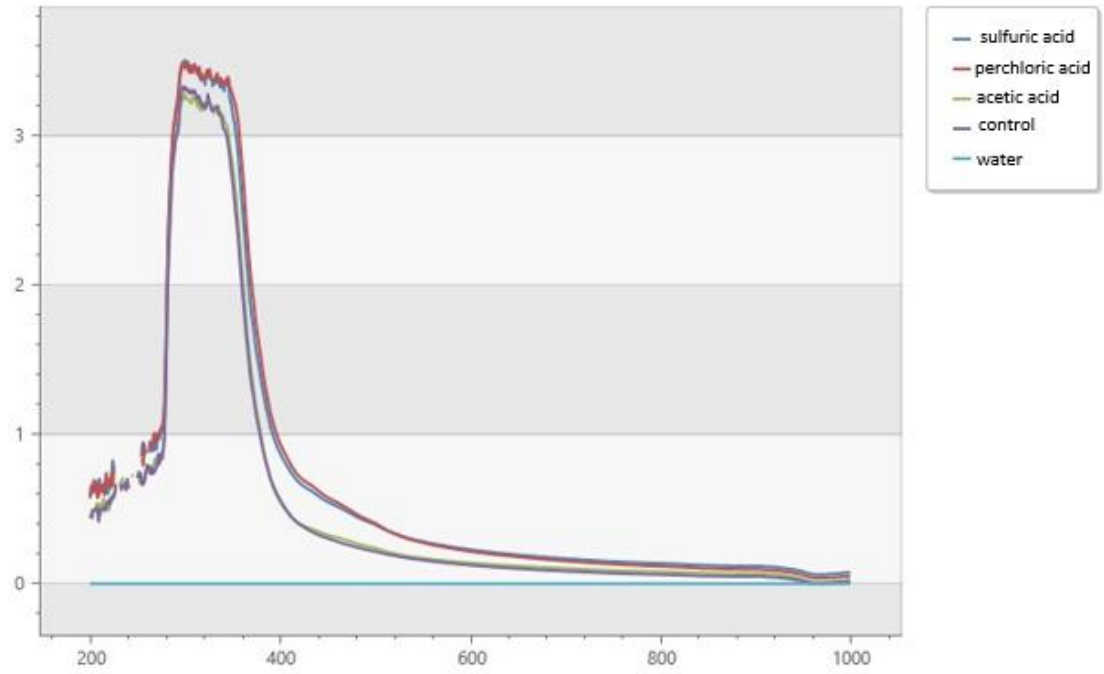
$$[\eta] = \frac{\sqrt{(2} * (\eta sp - \ln(\eta r))}{C} \qquad \text{(Equation 2)}$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of conventional tests of *Bacillus licheniformis* 7G1A, producer of exopolysaccharide (EPS), it was determined that Gram, catalase, oxidase and urease were positive and nitrate was negative. In addition, when trying to determine the ability to produce commercially important enzymes, it could produce lipase and cellulase enzymes in petri dishes.

Orange peel waste has a huge volume all over the world and the use of the waste which is defined as agro-industrial waste to create a product is valuable both environmentally and economically. At this point, in order to reveal the carbon source that microbial growth would need, the orange peel waste was hydrolyzed with different dilute acids to reveal the simple and complex structures in the peel and use as a carbon source for microbial polysaccharide production. At the end of the hydrolyses, the peel was not separated from the environment and it was aimed that *B. licheniformis* 7G1A, which was determined to be cellulolytic, reached the non-hydrolyzed parts.

Figure 1. Spectrums of EPSs from *B. licheniformis* 7G1A on orange peel pretreated with different acid hydrolysis



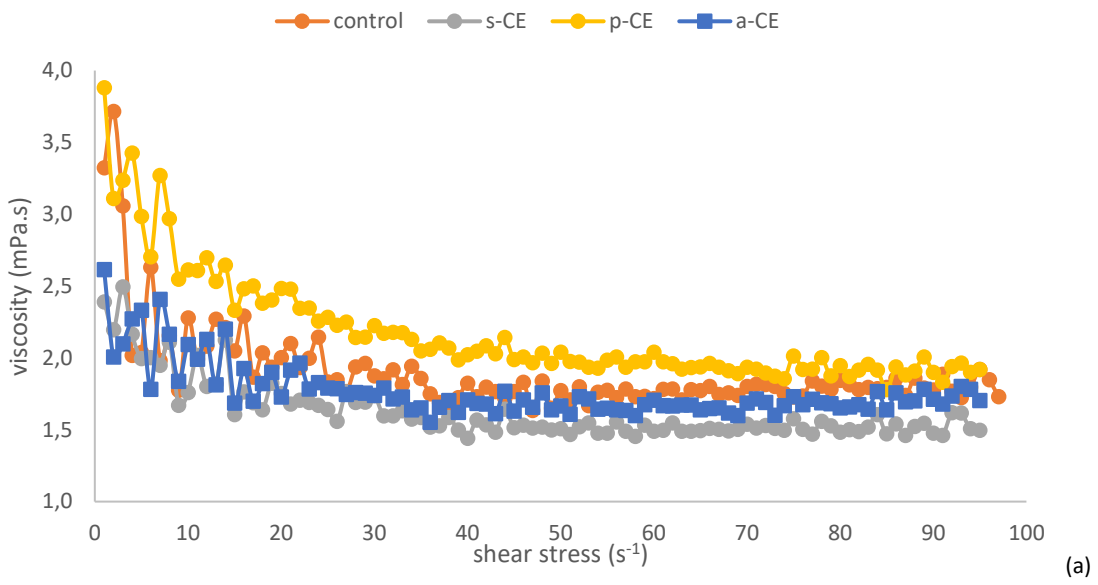
The amounts of exopolysaccharides obtained as a result of each acid hydrolysis were given in Table 1. Increasing EPS amounts and concentrations were obtained as a result of perchloric acid, acetic acid and sulfuric acid hydrolysis, respectively. Although exopolysaccharides from sulfuric and perchloric acid pretreatments contained protein in structure (Table 1), no nucleic acid was detected at 260 nm (Figure 1). Yu et al. (2016) reported that the polysaccharide from *B. mucilaginosus* SM-01 have not contain nucleic acid. Hu et al. (2019) reported that *Bacillus* sp. S-1 produced and purified polysaccharide with two fractions and the total carbohydrate concentrations were 0.01 and 0.035 g/L.

Table 1. EPS production of *B. licheniformis* 7G1A on orange peel pretreated with different acid hydrolysis

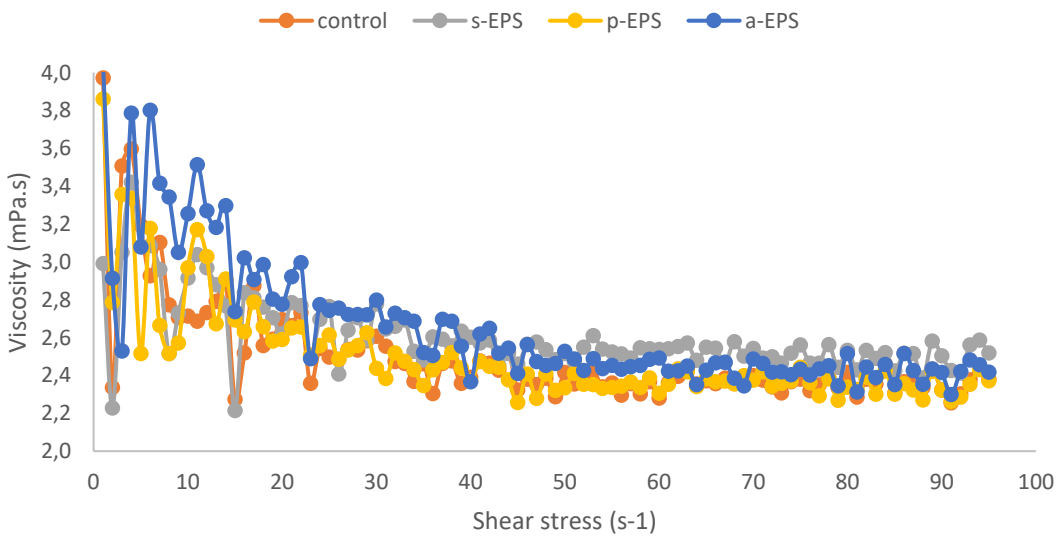
				Intrinsic viscosity (dL/g)	
	EPS (mg)	**Total carbohydrate (mg/mL)**	**Total protein (mg/mL)**	**Billmeyer**	**Solomon-Ciuta**
Sulfuric acid	200	4,5	0,48	0,31	0,44
Perchloric acid	330	6,1	1,84	0,28	0,37
Acetic acid	250	4,9	0	0,31	0,45

Internal viscosity (η), a measure of the hydrodynamic volume occupied by a given polymer in a given solvent, was also a measure of the contribution of a polymer to the viscosity of a solution (Freitas et al. 2011).

Figure 2. Viscosity changes of crude extracts (a) and EPSs (b) from *B. licheniformis* 7G1A on orange peel pretreated with different acid hydrolysis



(a)



The internal viscosity values of EPSs produced by *B. licheniformis* 7G1A medium obtained from pretreatment with three different acids were given in Table 1. In all three cases, the internal viscosity values of the EPSs were very close to each other. Szwengiel and M. Wiesner (2019) reported that the internal viscosity values of the levan from *B. subtilis* were in the range of 0.040-0.075 dL/g. Arvidson et al. (2006) determined the internal viscosity value of the levan from *Bacillus* sp. as 0.14 dL/g. When the internal viscosity values were compared, it was observed that these values were higher than their counterparts in literature. Considering that the internal viscosity was a measure of the molecular weight, it could be concluded that the higher the internal viscosity value was the higher the molecular weight.

The variations of viscosity versus shear rate in the crude extracts and EPSs were examined and the results were given in Figure 2. All the samples showed *non-newtonian (shear thinning)* flow. When the viscosity changes in the crude extracts were examined, it was observed that the viscosity of the crude extract in the case of the growth medium of the orange peel hydrolyzed with phosphoric acid was higher than the control production while the others did not cause a significant viscosity change. However, when the viscosity changes of the purified EPSs were examined, it was determined that the phosphoric acid showed values close to the control production and the microbial polysaccharide obtained from the hydrolysates with sulfuric and acetic acid pretreatment had higher viscosity changes. The reason for this was that different acids caused the hydrolysis of sugars in different ratios and types from the structure of the orange peel. In addition, as a result of the use of hydrolysates in different compositions as growth media, *B. licheniformis* 7G1A might produce different polysaccharides in the aspect of the composition, bonding degree, polymerization type, etc. Therefore, this difference would also be reflected in the viscosity values.

4. CONCLUSION

The use of orange peel as an agricultural waste, which has a large waste volume in the world, is a very important issue biotechnologically and environmentally. In this study, the sugar content of a waste with a high concentration and variety of monosaccharide composition was revealed by hydrolysis with dilute acid. As a result of the studies, a high concentration of microbial polysaccharide was obtained from *B. licheniformis* 7G1A. As a result of the rheological analyzes carried out to determine the effect of the obtained polysaccharides on the solution viscosity, it was observed that the viscosity of the polysaccharide changed according to the degree of purity. While EPS obtained with phosphoric acid in the crude extract gave high viscosity, EPS obtained with sulfuric and perchloric acid after purification gave high viscosity. This may be due to the different chemical structure of EPS produced due to acid treatment, and therefore the precipitation of polysaccharides with different structures as a result of alcohol precipitation.

In addition, the high intrinsic viscosity of the obtained polysaccharides when compared to their counterparts in the literature may be due to their high molecular weights. Therefore, under the guidance of this pioneering study, more detailed analyzes can be carried out. Considering that bacteria of the genus Bacillus have the ability to produce polysaccharides in a wide range, the polysaccharides in this study should be characterized and their use in biotechnological and medical fields should be determined.

5. REFERENCES

Aragno, M. (1992). Aerobic, chemolithoautotrophic, thermophilic bacteria. Thermophilic bacteria. J. K. Kristjansson. Iceland, CRC Press LLC: 77-103.

Arvidson, S. A., Rinehart, B. T., & Gadala-Maria, F. (2006). Concentration regimes of solutions of levan polysaccharide from *Bacillus* sp. Carbohydrate polymers, 65(2), 144-149. doi:10.1016/j.carbpol.2005.12.039.

Ayala, J. R., G. Montero, M. A. Coronado, C. García, M. A. Curiel-Alvarez, J. A. León, C. A. Sagaste and D. G. Montes (2021). Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars. Molecules (Basel, Switzerland) 26(5): 1348.

Cheesbrough, M. (2006). District laboratory practice in tropical countries, Cambridge university press.

Donot, F., Fontana, A., Baccou, J., & Schorr-Galindo, S. (2012). Microbial exopolysaccharides: main examples of synthesis, excretion, genetics and extraction. Carbohydrate polymers, 87(2), 951-962.

Ertuğrul, S., G. Dönmez and S. Takaç (2007). Isolation of lipase producing *Bacillus* sp. from olive mill wastewater and improving its enzyme activity. Journal of Hazardous Materials 149(3): 720-724.

Freitas, F., V. D. Alves and M. A. Reis (2011). Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. Trends in Biotechnology 29(8): 388-398.

Genc, B., H. Nadaroglu, A. Adiguzel and O. Baltaci (2015). Purification and characterization of an extracellular cellulase from *Anoxybacillus gonensis* O9 isolated from geothermal area in Turkey. Journal of Environmental Biology 36(6): 1319-1324.

Genc, B., M. Taskin and A. Adiguzel (2021). Exopolysaccharide of *Anoxybacillus pushchinoensis* G11 has antitumor and antibiofilm activities. Archives of Microbiology 203(5): 2101-2118.

Guagliardi, A., Martino, M., Iaccarino, I., De Rosa, M., Rossi, M., & Bartolucci, S. (1996). Purification and characterization of the alcohol dehydrogenase from a novel strain of *Bacillus stearothermophilus* growing at 70 C. The International Journal of Biochemistry and Cell Biology, 28(2), 239-246.

Gruyer, S., Legin, E., Bliard, C., Ball, S., & Duchiron, F. (2002). The endopolysaccharide metabolism of the hyperthermophilic archeon *Thermococcus hydrothermalis* : polymer structure and biosynthesis. Current Microbiology, 44(3), 206-211. doi:10.1007/s00284-001-0029-1

Hu, X., X. Pang, P. G. Wang and M. Chen (2019). Isolation and characterization of an antioxidant exopolysaccharide produced by *Bacillus* sp. S-1 from Sichuan Pickles. Carbohydrate Polymers 204: 9-16.

Lee, W. Y., Park, Y., Ahn, J. K., Ka, K. H., & Park, S. Y. (2007). Factors influencing the production of endopolysaccharide and exopolysaccharide from *Ganoderma applanatum*. Enzyme and microbial technology, 40(2), 249-254.

Madigan, M. T. and J. M. Martinko (2006). Brock biology of microorganisms. Upper Saddle River, NJ, Pearson Prentice Hall.

Mohamed, S. S., Amer, S. K., Selim, M. S., & Rifaat, H. M. (2018). Characterization and applications of exopolysaccharide produced by marine *Bacillus altitudinis* MSH2014 from Ras Mohamed, Sinai, Egypt. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(3), 204-209..

Panda, M. K., M. K. Sahu and K. Tayung (2013). Isolation and characterization of a thermophilic *Bacillus* sp. with protease activity isolated from hot spring of Tarabalo, Odisha, India. Iranian Journal of Microbiology 5(2): 159.

Pikuta, E., Lysenko, A., Chuvilskaya, N., Mendrock, U., Hippe, H., Suzina, N., Laurinavichius, K. (2000). Anoxybacillus pushchinensis gen. nov., sp. nov., a novel anaerobic, alkaliphilic, moderately thermophilic bacterium from manure, and description of *Anoxybacillus flavitherms* comb. nov. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 50(6), 2109-2117.

Powers, E. M. (1995). Efficacy of the ryu nonstaining KOH techniques for rapidly determining gram reactions of food-borne and waterborne bacteria and yeasts. Applied and environmental microbiology 61(10): 3756-3758.

Prescott, L. M and JP Harley (2002). Laboratory exercises in microbiology, McGraw-Hill Companies

Szwengiel, A. and M. Wiesner (2019). Effect of metal ions on levan synthesis efficiency and its parameters by levansucrase from *Bacillus subtilis*. International Journal of Biological Macromolecules 128: 237-243.

Sari, B., O. Faiz, B. Genc, M. Sisecioglu, A. Adiguzel and G. Adiguzel (2018). New xylanolytic enzyme from *Geobacillus galactosidasius* BS61 from a geothermal resource in Turkey. International Journal of Biological Macromolecules 119: 1017-1026.

Stredansky, M., E. Conti, L. Navarini and C. Bertocchi (1999). Production of bacterial exopolysaccharides by solid substrate fermentation. Process Biochemistry 34(1): 11-16.

Talebnia, F., M. Pourbafrani, M. Lundin and M. J. Taherzadeh (2008). Optimization Study of Citrus Wastes Saccharification by Dilute-Acid Hydrolysis. Bioresources 3(1): 108-122.

Tarrand, J. J. and D. Gröschel (1982). Rapid, modified oxidase test for oxidase-variable bacterial isolates. Journal of Clinical Microbiology 16(4): 772-774.

Yang, Y., Feng, F., Zhou, Q., Zhao, F., Du, R., Zhou, Z., & Han, Y. (2018). Isolation, purification and characterization of exopolysaccharide produced by *Leuconostoc pseudomesenteroides* YF32 from soybean paste. International Journal of Biological Macromolecules, 114, 529-535.

Yanmis, D., M. O. Baltaci, M. Gulluce and A. Adiguzel (2015). Identification of thermophilic strains from geothermal areas in Turkey by using conventional and molecular techniques. Research Journal of Biotechnology 10(1): 39-45.

Yu, L., S. Xu, C. Deng, H. Li, Q. Yang, Z. Xu and J. Chen (2016). Preparation and partial structural characterization of the exopolysaccharide from *Bacillus mucilaginosus* SM-01. Carbohydrate Polymers 146: 217-223.

Xinyuan Hu , Xin Panga , Peng George Wanga , Min C. (2019). Isolation and characterization of an antioxidant exopolysaccharide produced by *Bacillus* sp. S-1 from Sichuan Pickles,

Zamani, H., A. Salehzadeh and M. Abdolhosseini (2018). Isolation and molecular identification of a cellulotic bacterium from muncipal waste and investigation of its cellulase production. Bioscience Journal 34(3): 761-768.

Presentation ID / Sunum No= 60

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0001-5669-6412

Çift Girişli Tek Çıkışlı Bir DA-DA Dönüştürücü Tasarımı

Eren ŞENTÜRE[1], Prof. Dr. Necmi Altın[2]

[1]*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı*
[2]*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü*
erensenture@gmail.com

Özet

Günden güne artan enerji talebinin karşılanabilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılırken oluşan depolama ihtiyacı için de bataryalardan faydalanılmaktadır. Yükün ihtiyaç duyduğu gücün sağlanabilmesi amacıyla farklı gerilim seviyelerine sahip her bir kaynağı, birbirinden bağımsız ve ayrı dönüştürücülerle yüke bağlamak yerine daha az bileşen gerektiren ve maliyeti de daha düşük olan çok girişli tek çıkışlı dönüştürücülerin kullanımı tercih edilmektedir. Bu yöntemin kaynaklardan eşit seviyede yararlanabilmek için tasarlanan denetleyicilerin daha basit yapıda olması ve güç akışının daha kolay denetlenebilmesi gibi avantajlar sunar. Bu çalışmada, gerilimleri 24V ile 36V arasında değişkenlik gösteren ve farklı gerilimlere sahip iki ayrı kaynak kullanarak çıkışta 12V gerilim sağlayan çift girişli tek çıkışlı alçaltan DA-DA dönüştürücünün tasarımı yapılmıştır. Önerilen topoloji, iki adet PI kontrolör kullanılarak denetlenmektedir. Çıkış gerilimi ve kaynaklardan çekilen ortalama akımlar hesaplanarak oluşturulan PWM sinyalleri anahtarlama elemanlarına iletilmektedir. Bu sayede sabit 12V gerilim elde edilirken aynı zamanda her iki kaynaktan eşit oranda faydalanılmaktadır. Devrenin benzetim çalışmalarında MATLAB/Simulink programı kullanılmıştır. Yük alma, yük atma gibi farklı senaryolar benzetimlerde test edilerek sistemin performansı rapor edilmiştir. Böylelikle gerçeklenecek prototip devrenin üretimi öncesi denetleyici kararlılığı ve dönüştürücünün çalışabilirliği doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çift Girişli Tek Çıkışlı DA-DA Dönüştürücü, Çok Girişli Dönüştürücü, Akım Paylaşımı, Yük Paylaşımı

Design of A Dual Input Single Output DC-DC Converter

Abstract

While renewable energy sources are used to meet the increasing energy demand, batteries are also used to fullfill energy storage requirement. In order to supply the power demanded by the load, instead of connecting each source with different voltage levels to the load with independent and separate converters, it is preferred to use multi-input single-output converters, which require fewer components and have a lower cost. This method offers advantages such as simpler structure of the controllers

designed to utilize the resources equally and easier control of the power flow. In this study, the design of a dual-input single-output step-down DC-DC converter, which provides 12V voltage at the output, using two separate sources with different voltages and varying between 24V and 36V has been designed. The proposed topology is controlled using two PI controllers. The PWM signals generated by calculating the output voltage and the average currents drawn from the sources are sent to the switches. Thus, constant 12V output voltage is obtained and also both sources are utilized equally. MATLAB/Simulink software is used for simulations. Different scenarios such as loading and load shedding have been tested simulation studies and results are reported. Thus, the stability of the controller and the feasibility of the proposed converter is validated before the implementation of the prototype.

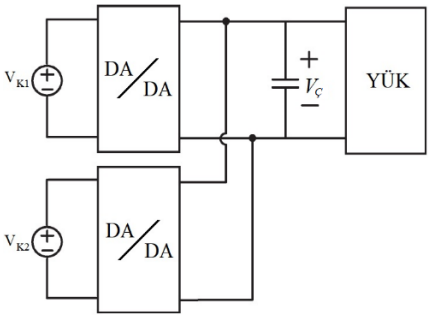
Keywords: Dual-Input Single-Output DC-DC Converter, Multi-Input Converter, Current Sharing, Load Sharing

1. GİRİŞ

Her geçen gün artan enerji talebini karşılayabilmek ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltabilmek için güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji gibi farklı yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır. Fakat yenilenebilir enerji kaynakları kesintili olma eğilimindedirler ve bu yüzden elektrik şebekesine entegre edilerek hibritleştirilmeleri gerekmektedir (Housseini vd., 2017; Shetty ve Raheman, 2017). Bu kaynaklardan elde edilen enerjinin batarya ve pil sistemlerinde depolanması ve ihtiyaç halinde depolanan enerjinin yükün çalışmak için ihtiyaç duyduğu uygun formda iletilmesi önem arz etmektedir. Üretilen ya da depolanan elektrik enerjisinin, aktarılacağı yükün elektriksel isterlerini doğru şekilde karşılayabilmesinde DA-DA dönüştürücülerin rolü büyüktür. Birden fazla kaynağın olduğu DA beslemeli sistemlerde birden fazla DA-DA dönüştürücü kullanılması durumunda çoklu giriş, çoklu çıkış oluşması ile, güç kalitesi, gerilim düzenlemesi ve kararsız tepkiler gibi büyük sorunlarla karşı karşıya kalınabilmektedir. Bundan dolayı son dönemdeki başlıca araştırma odaklarından biri de birden fazla gerilim kaynağının senkronize biçimde çalışmasını sağlamak ve DA-DA dönüştürücü(ler) kullanarak tek ve ortak bir çıkış elde etmek olmuştur (Li vd., 2009; Rahman vd., 2016).

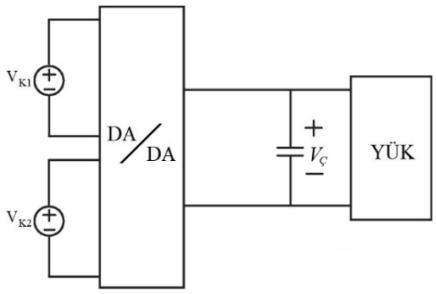
İki adet sabit ve eşdeğer çıkış gerilimi elde etmek için geleneksel olarak iki DA-DA dönüştürücüye birbirinden bağımsız birer adet gerilim kaynağı bağlanır ve bunlar daha sonra yükün talep ettiği elektrik enerjisini sağlamak için ortak bir doğru akım barasında toplanırlar. Şekil.1'de iki ayrı DA-DA dönüştürücülü ve bu dönüştürücü girişlerinin iki farklı gerilim kaynağına bağlı olduğu güç sisteminin blok şeması gösterilmektedir. Güç sistemini daha basitleştirmek, maliyetini azaltmak ve daha kolay şekilde kontrol edilebilir hale getirmek için Şekil.2'de gösterildiği gibi çift girişli bir DA-DA dönüştürücü kullanılabilir (Chen vd., 2006; Rehman vd., 2015).

Bu tip dönüştürücüler yenilebilir enerji kaynakları uygulamaları haricinde elektrikli ve hibrit araç sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sağladığı avantajlar, elektrikli ve hibrit araçların genel maliyetini azaltabilmekte verimliliğini ise potansiyel olarak artırabilmektedir (Khasim ve Dhanamjayulu, 2021; Nayak vd., 2021).



Şekil.1: İki ayrı DA/DA dönüştürücülü güç sistemi.

Ayrıca Şekil.1'de yer alan devre yapıları genellikle izole bir yapıya sahiptirler. İzolasyon için kullanılan transformatör sistemin boyutunu, maliyetini ve karmaşıklığını arttırır. Şekil.2'de gösterilen devre yapısı için izole olmayan devre yapıları kullanılabilir. İzole olmayan yapılar transformatör kullanmadıklarından basit, ekonomik ve kompakttırlar (Kanhav ve Chaudhari, 2018).



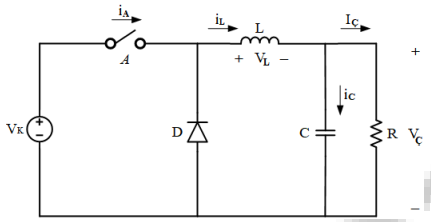
Şekil.2: Bir adet çift girişli DA/DA dönüştürücülü güç sistemi.

Bu çalışmada, kaynak gerilimleri 24V ile 36V arasında herhangi bir değerde olabilen aynı ya da farklı gerilim seviyelerine sahip iki ayrı kaynaktan 12V sabit çıkış gerilimi elde eden çift girişli tek çıkışlı alçaltan bir DA-DA dönüştürücü için topoloji ve denetleyici yapısı önerilmiştir. Önerilen yapıda kontrol birbiriyle bağıntılı olan iki adet PI denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmektedir. PI denetleyicilerden biri çıkış gerilimini sabit tutmaya çalışırken diğer denetleyici kaynaklardan her periyot boyunca çekilen ortalama akımları karşılaştırarak iki kaynaktan da eşit akım çekilmesini sağlamaktadır. PI denetleyici çıkışı ve PWM üreteci kullanılarak güç anahtarları kontrol edilmekte ve böylece çıkış gerilimi sabit tutulurken kaynakların eşit kullanılması da sağlanmaktadır. Önerilen dönüştürücü topolojisi ve denetim yaklaşımı benzetim sonuçları ile doğrulanmıştır.

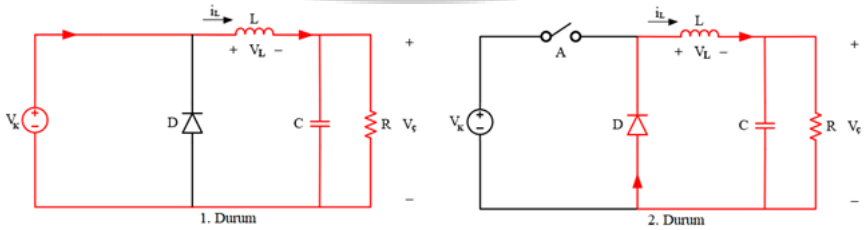
2. YÖNTEM

2.1. Geleneksel Alçaltan DA-DA Dönüştürücü

En temel DA-DA dönüştürücü yapılarından biri olan alçaltan DA-DA dönüştürücünün yapısı Şekil.3a'da, anahtar konumuna göre akımın izlediği yol ise Şekil.3b'de görülebilir. 1. Durumda *A* anahtarı iletimde ve diyot kesimdeyken bobin gerilim kaynağı tarafından enerjilendirilmektedir. 2. Durumda ise *A* anahtarı kesimde ve diyot iletimdedir bu esnada bobin üzerindeki enerji yüke doğru aktarılır.



Şekil.3a: Alçaltan DA-DA dönüştürücünün devre yapısı



Şekil.3b: Alçaltan DA-DA dönüştürücüde anahtar konumuna göre akımın izlediği yol

Kayıpların ihmal edildiği ideal bir alçaltan dönüştürücü için giriş ve çıkış denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir. V_k girişteki gerilim kaynağının değeri, I_k kaynaktan çekilen akım, $V_ç$ çıkış geriliminin değeri ve $I_ç$ yükün çektiği akımı temsil etmektedir (Rashid, 2017).

$$V_k I_k = V_ç I_ç \tag{2.1}$$

Anahtara gönderilen PWM sinyalinin görev döngüsü *D*, çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı ile bulunur.

$$V_ç / V_k = D \tag{2.2}$$

Görev döngüsü D aynı zamanda anahtarın iletimde kaldığı zamanın periyoda oranlanması ile de bulunabilir. Aşağıdaki denklemde t_{iletim} anahtarın iletimde kaldığı süreyi, t_{kesim} anahtarın kesimde kaldığı süreyi T ise anahtarlama periyodunu temsil eder.

$$D = (t_{iletim}) / (t_{iletim} + t_{kesim}) = t_{iletim} / T \quad (2.3)$$

Bobin akımın hiçbir zaman sıfıra inmediği ve üzerinden her daim akım aktığı çalışma modu sürekli iletim modu olarak adlandırılmaktadır. Dönüştürücüden yüksek verim almak isteniyorsa dönüştürücü sürekli akım modunda çalıştırılmalıdır (Mohan et al., 2003). Periyot başlangıcından diğer periyot başlangıcına kadar geçen sürede bobin üzerinde oluşan dalgalanma akımı Δi_L, belli bir seviyede tutulmak isteniyorsa kullanılması gereken minimum indüktans değeri L, aşağıdaki formülle bulunabilir. Frekans, $f = 1/T$ iken;

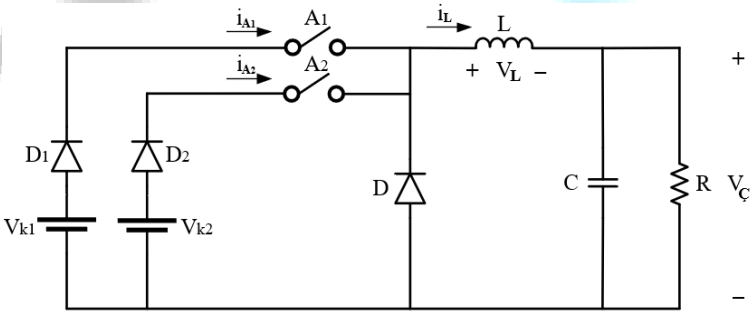
$$L = \frac{D\,(V_k - V_Ç)}{\Delta i_L \times f} \quad (2.4)$$

Çıkış devresindeki gerilim dalgalanması V_d'nin istenilen seviyede tutulması için kullanılan filtre kondansatörünün minimum kapasite değeri C, aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$C = \frac{\Delta i_L}{8 f V_d} \quad (2.5)$$

2.2. Önerilen Çift Girişli Tek Çıkışlı Alçaltan DA-DA Dönüştürücüsü

Geleneksel alçaltan DA-DA dönüştürücüye fazladan paralel bir anahtar ve kaynak eklenip ayrıyeten güç akışının yalnızca kaynaktan yüke doğru olmasını sağlayacak olan iki adet diyot, anahtarlar ve kaynaklar arasına yerleştirilerek oluşturulan çift girişli dönüştürücü yapısı Şekil.4'teki gibi sunulmuştur.



Şekil.4: Önerilen çift girişli tek çıkışlı alçaltan DA-DA dönüştürücü topolojisi

Geleneksel bir alçaltan dönüştürücüde tek bir anahtarın iletimde ve kesimdeyken oluşturduğu 2 durum bulunurken önerilen devre şemasında kontrol döngüsü için kullanılan bir adet daha anahtar eklenmesi ile anahtarların iletimde ve kesimdeyken oluşan durumlar Tablo.1 ve Tablo.2'de gösterilmiştir. Kaynakların her ikisinin eşit gerilimde ve iç dirençlerinin ihmal edildiği ideal bir devre yapısı olduğu varsayılırsa;

Durum	A_1	A_2	Kullanılan Kaynak
1	İletim	Kesim	V_{k1}
2	Kesim	İletim	V_{k2}
3	Kesim	Kesim	-
4	İletim	İletim	V_{k1} ve V_{k2}

Tablo.1: İdeal devredeki anahtar konumlarına göre oluşabilecek 4 farklı durum

1. Durum ve 2. Durumda yalnızca birer anahtar iletimde olduğundan yük bu esnada tek bir kaynaktan tarafından beslenecektir. 4. Durumda her iki anahtar da iletimde olduğundan ve bu konfigürasyonda devrenin kayıpsız ve ideal olduğu kabul edildiğinden her iki anahtara da aynı PWM sinyali

uygulandığında yükün çektiği akımlar V_{k1} ve V_{k2} kaynakları arasında paylaşılacaktır. 3. Durumda ise her iki anahtar da kesime gittiğinden dolayı serbest dolaşım akımı bobinden yüke doğru akacaktır.

Yukarıda her ne kadar kaynakların ikisinin de eşit gerilimde oldukları ve iç dirençlerinin ihmal edildiği varsayılsa da bunun pratikte mümkün olmayacağı açıktır. Kaynak gerilimlerinin birbirinden farklı ve de $V_{k1} > V_{k2}$ olduğu kabul edilirse oluşabilecek anahtar konumları ve akımlar Tablo.2'deki gibi olacaktır. Burada görüldüğü üzere kaynak gerilimlerinin farklı olduğu bir devrede Tablo.1'deki 4. Durum'un meydana gelmesi mümkün olmayacaktır. Bu sebepten dolayı anahtarların kontrol döngüsü ile denetlenmeleri gerekmektedir.

Bir örnekle açıklanacak olunursa; anahtarlama için kullanılacak yarı iletken elemanlar *n*-kanal bir MOSFET seçilirse, gerilimi yüksek olan kaynağa bağlı MOSFET iletimdeyken Kaynak (S) bacağında V_{k1} kadar gerilim oluşacaktır. Aynı gerilim miktarı, gerilimi daha az olan V_{k2}'ye bağlı MOSFET'in Kaynak (S) bacağında, Kanal (D) bacağından daha yüksek bir gerilime sebep olacağından V_{k2}'ye bağlı MOSFET iletime geçemeyecek ve MOSFET'in koruma diyotu devreye girerek akım Kaynak'tan Kanal'a doğru akmaya çalışacaktır. Bu durumda ise Şekil.4'te görüldüğü üzere kaynakların önünde bulunan D_2 diyotu kaynağa doğru oluşabilecek olan güç akışını keserek devreden yalnızca gerilimi büyük olan V_{k1} kaynağından ve A_1 anahtarı üzerinden akım geçmesini sağlayacaktır. Gerilim farklılığından dolayı anahtarlar aynı anda iletime giremeyecekleri gibi kaynakların iç direncindeki değişimler sebebiyle çekilen akımlarda da farklılıklar görülecektir. Bu durumda ise kaynaklar arasında ortalama akım paylaşımının sağlanabilmesi için anahtarlara uygulanan PWM sinyallerinin hesaplanması önem kazanacaktır.

Durum	**A_1**	**A_2**	**Kullanılan Kaynak**
1	İletim	Kesim	V_{k1}
2	Kesim	İletim	V_{k2}
3	Kesim	Kesim	-

Tablo.2: Gerilimleri farklı olan kaynaklarla oluşabilecek 3 farklı durum

Şekil.4'te topolojisi sunulan devrenin benzetimi MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılarak oluşturulan devrenin genel görüntüsü Şekil.5'teki gibidir. Devrenin kontrol edilebilmesi ve anahtarlama elemanlarına gönderilecek PWM sinyallerinin belirlenmesi için önerilen denetim şeması ise Şekil.6'da gösterilmiştir.

Denetim algoritmasında öncelikle çıkış gerilimi $V_ç$ ve çıkışta istenen 12V sabit gerilim değeri karşılaştırılır ve kaynaklardan periyot boyunca çekilen ortalama akım değerleri i_{ort1} ve i_{ort2} hesaplanıp bu değerler de birbirleriyle karşılaştırıldıktan sonra gerilim ve ortalama akım değerleri arasında oluşan farklar birbiriyle bağlantılı 2 adet PI denetleyiciye uygulanmaktadır. Ardından da PI çıkışlarından alınan sinyaller 100 kHz frekansa sahip testere dişi sinyali ile karşılaştırılmaktadırlar. Bu karşılaştırmalar sonucu oluşan PWM sinyalleri MOSFET'lerin Kapı (G) bacağına gönderilerek anahtarlamanın yapılması sağlanmaktadır. PI denetleyiciler için kullanılan K_p ve K_i parametre değerleri Tablo.3'te verilmiştir.

PI Kontrolör No	**K_p**	**K_i**
1	0.8	34
2	0.2	4

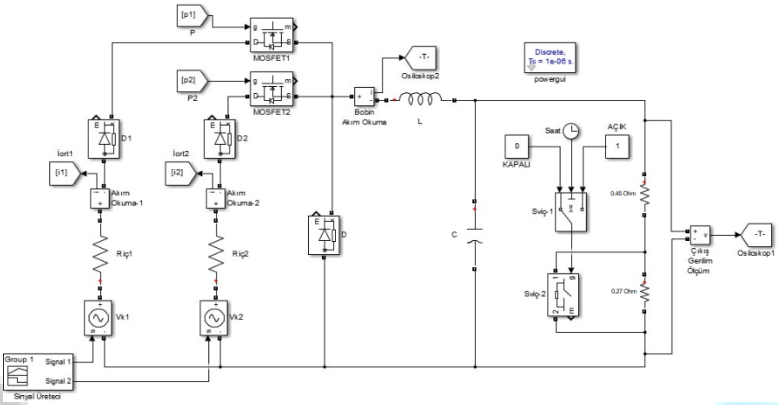
Tablo.3: PI denetleyici parametreleri

MATLAB/Simulink ortamında kurulan devrede benzetimi yapılan senaryoların kaynak değerleri, kaynakların iç dirençlerini temsil eden seri bağlı $R_{iç1}$ ve $R_{iç2}$ direnç değerleri Tablo.4'teki gibidir.

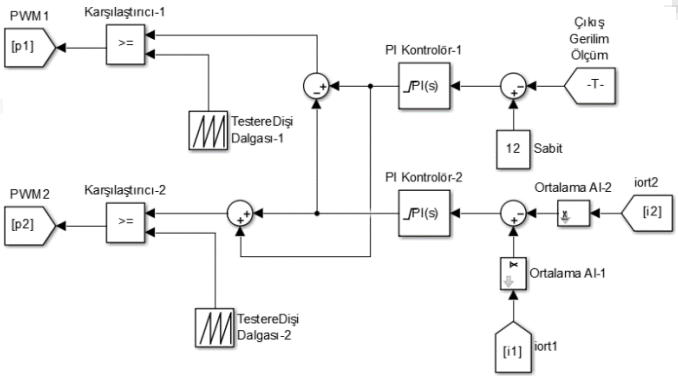
Senaryo No	Vk1	Vk2	R1	R2
1	24V	24V	0.001 Ω	0.05 Ω
2	24V	36V	0.001 Ω	0.05 Ω

Tablo.4: Simülasyon senaryolarındaki kaynak gerilim ve iç direnç değerleri

Devrenin daha sonra prototipinin yapılabilmesi amacıyla seçilen ve nominal şartlar altında dönüştürücünün 200W güç sağlanabilmesi için çıkışa 0.72 Ω değerine sahip temsili bir direnç bağlanmıştır. Simülasyonlar çalıştırılıp 200W güç aktarılırken çıkış geriliminin ve kaynaklardan çekilen ortalama akımların oluşturduğu grafikler Senaryo 1 için Şekil.7'de, Senaryo 2 için Şekil.8'de verilmiştir. Grafiklerde üstteki grafik çıkış gerilimi, alttaki grafik ise kaynaklardan çekilen ortalama akımların grafiğidir. Sonrasında ise çıkıştaki direnç değeri, yük alma ve atma senaryosunu oluşturabilmek için saat sinyali ve anahtarlar yardımıyla t = 3x10^{-3} s anında aktarılan gücü azaltıp arttırmak amacıyla kullanılmıştır.

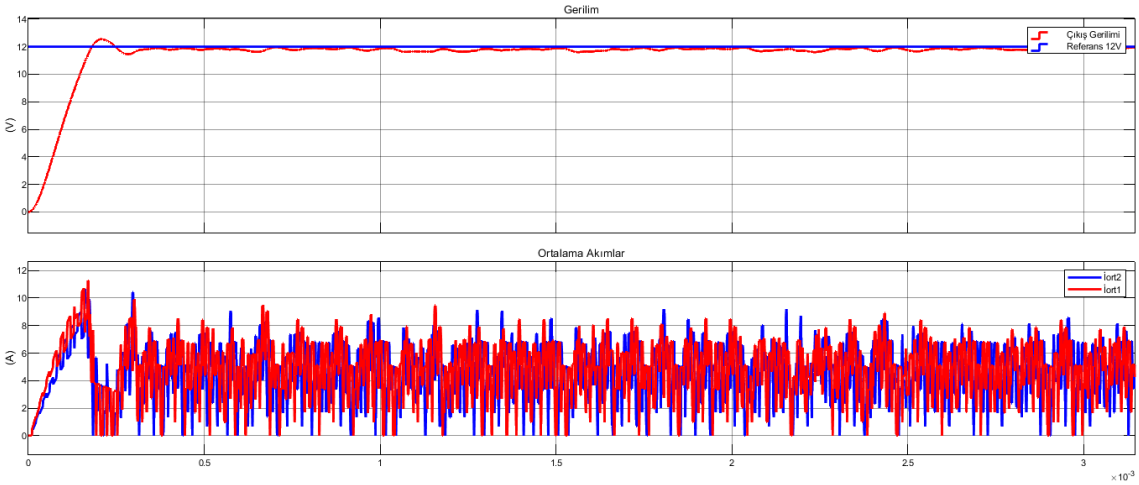


Şekil.5: MATLAB Simulink'te oluşturulan devrenin genel görüntüsü

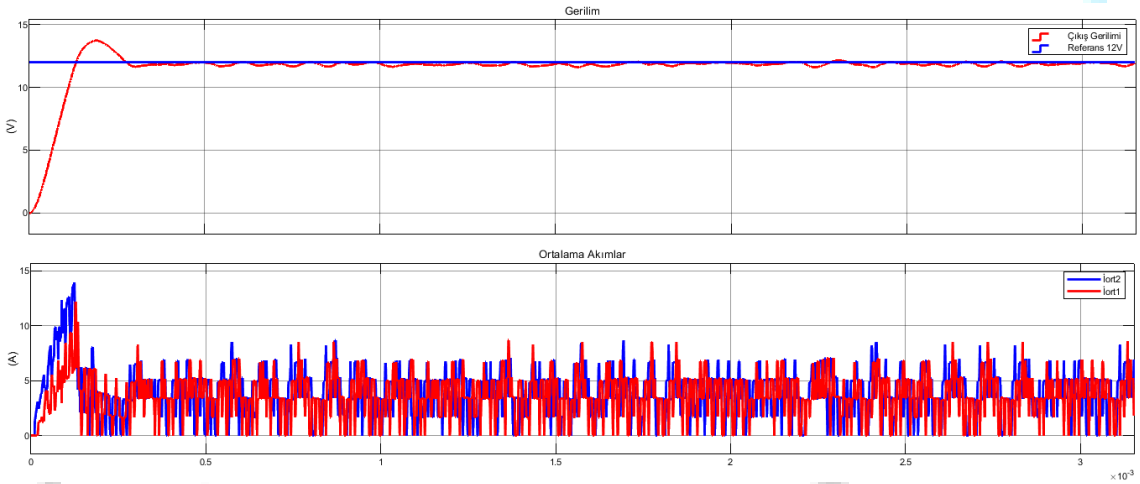


Şekil.6: Önerilen kontrol şeması ve PWM üretimi

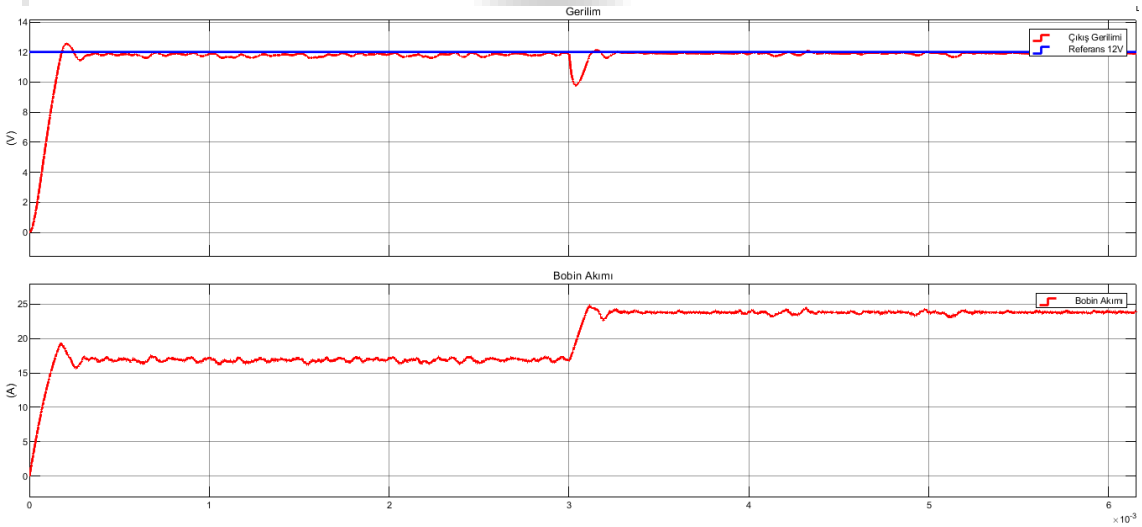
Senaryo 2'deki parametreler kullanılarak dönüştürücüden yüke 200W güç sağlanırken dönüştürücü denetleyicisinin kararlı bir şekilde çalıştığını görebilmek için çıkıştan çekilen akım arttırılıp 320W güce çıkılarak yük alma esnasındaki kontrolcü tepkisi ölçülmüştür. Şekil.9'da bulunan grafiklerde üstteki grafikte yük alma esnasında bobin üzerinde oluşan akım, alttaki grafikte ise çıkış gerilimindeki değişim görülebilir. Aynı şekilde 320W'dan 200W güce geri düşülerek yük atma esnasındaki denetleyici tepkisi de incelenmiştir. Şekil.10'da bulunan grafiklerde üstteki grafikte yük atma esnasında bobin üzerinde oluşan akım, alttaki grafikte ise çıkış gerilimindeki değişim görülebilir. Elde edilen sonuçlar, önerilen iki girişli bir çıkışlı alçaltan dönüştürücü ve denetim yönteminin farklı yük ve kaynak durumları için çıkış gerilimini sabit tuttuğu ve kaynaklardan eşit oranda yararlanılmasına imkân sağladığı görülmüştür.



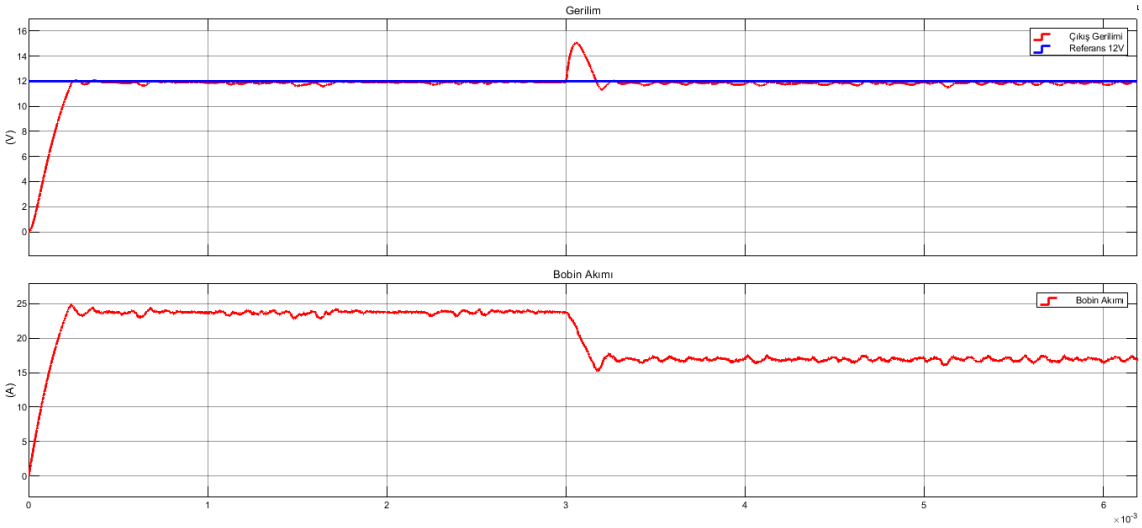
Şekil.7: Senaryo 1'deki gerilim ve iç direnç değerleri girildiğinde çıkış gerilimi ve kaynaklardan çekilen ortalama akımları gösteren grafikler



Şekil.8: Senaryo 2'deki gerilim ve iç direnç değerleri girildiğinde çıkış gerilimi ve kaynaklardan çekilen ortalama akımları gösteren grafikler



Şekil.9: Yük alma esnasında bobin akımı ve çıkış gerilimini gösteren grafikler



Şekil.10: Yük atma esnasında bobin akımı ve çıkış gerilimini gösteren grafikler

3. SONUÇ

Bu çalışmada iki ayrı kaynaktan, örneğin bataryadan beslenen bir yük için iki girişli bir çıkışlı bir alçaltan dönüştürücü tasarlanmıştır. Önerilen sistem ile birlikte farklı kaynak gerilimleri olma durumunda dahi yük gerilimini istenilen değerde tutmasının yanında kaynaklardan eşit oranda faydalanılmasını sağlayabilecek bir denetim yaklaşımı da sunulmuştur. Farklı parametreler ve çalışma koşulları için gerçekleştirilen benzetim çalışmaları sistemin kararlı şekilde çalıştığını göstermiştir. Ayrıca yük alma ve yük atma gibi farklı senaryolar da simülasyon ortamında denenmiş ve başarılı sonuçlar sunulmuştur. Dönüştürücü üzerinde yapılan yük alma ve yük atma senaryolarına bakıldığında önerilen denetleyici yapısının hızlı ve dinamik tepki sunduğu, 12V çıkış gerilimini sağlamaya devam ettiği gözlenmiştir. Farklı kaynaklardan çekilen ortalama akım grafikleri, kaynaklardan çekilen akımların ortalama değerlerinin hemen hemen aynı seviyede olduğu ve kaynakların sürekli olarak eşit oranda kullanılmalarının sağlandığı görülmüştür. Bu sayede prototip devrenin tasarım ve üretim süreçleri öncesinde önerilen devre yapısı ve denetleyici mekanizmasının kararlılığı ve işlevselliği doğrulanmıştır. Bundan sonraki süreçte prototip dönüştürücünün baskı devre kartı üretimi ile dizgi işlemleri tamamlanarak kodlanacak mikrodenetleyici geliştirme kartıyla denetimi sağlanarak deneysel çalışmalar sürdürülecektir.

4. KAYNAKÇA

Chen, Y.-M., Liu, Y.-C., ve Lin, S.-H. (2006). Double-input PWM DC/DC converter for high-/low-voltage sources. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *53*(5), 1538-1545.

Housseini, B., Okou, A. F., ve Beguenane, R. (2017). Robust nonlinear controller design for on-grid/off-grid wind energy battery-storage system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *9*(6), 5588-5598.

Kanhav, K., ve Chaudhari, M. (2018). Experimental realization of a multi-input buck--boost DC--DC converter. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *26*(3), 1453-1463.

Khasim, S. R., ve Dhanamjayulu, C. (2021). Selection parameters and synthesis of multi-input converters for electric vehicles: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *141*, 110804.

Li, Y., Ruan, X., Yang, D., ve Liu, F. (2009). Modeling, analysis and design for hybrid power systems with dual-input DC/DC converter. 2009 IEEE energy conversion congress and exposition,

Mohan, N., Undeland, T. M., ve Robbins, W. P. (2003). *Power electronics: converters, applications, and design*. John wiley & sons.

Nayak, P. S. R., Kamalapathi, K., Laxman, N., ve Tyagi, V. K. (2021). Design and Simulation Of BUCK-BOOST Type Dual Input DC-DC Converter for Battery Charging Application in Electric Vehicle. 2021 International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET),

Rahman, A. S. F., Razak, A. R. A., ve Hassan, S. I. S. (2016). A conceptual implementation of a buck converter for an off-grid hybrid system consisting of solar and wind turbine sources. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, *24*(5), 3782-3791.

Rashid, M. H. (2017). *Power electronics handbook*. Butterworth-Heinemann.

Rehman, Z., Al-Bahadly, I., ve Mukhopadhyay, S. (2015). Multiinput DC–DC converters in renewable energy applications–An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*, 521-539.

Shetty, S. N., ve Raheman, M. A. (2017). Modelling of dual input DC/DC converter for hybrid energy system. 2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT).

Presentation ID / Sunum No= 55

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-1954-4190

AML'DE İfadesi Değişen circRNA Ve miRNA'ların Biyoinformatik Analizi

Öğr. Gör. Dr. İlknur SUER[1], Dr. Murat KAYA[2], Dr. Öğr. Üyesi Cihat ERDOĞAN[3]

[1] *İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, Tıbbi Genetik Bilim Dalı (e-mail: ilknursuer@istanbul.edu.tr)*

[2] *İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, Tıbbi Genetik Bilim Dalı (e-mail: kmurat@istanbul.edu.tr)*

[3] *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü (e-mail: cihaterdogan@isparta.edu.tr)*

Özet

Akut miyeloid lösemi(AML), akut lösemiler arasında en yaygın gözlenen lösemi türüdür ve dünyada kansere bağlı ölümlerin ortalama %1 kadarından sorumlu olduğu bilinmektedir. Dairesel RNA'lar(circRNA'lar), mikroRNA(miRNA) süngerleri(sponge) olarak işlev görerek bu sayede hedefledikleri miRNA'ların hücredeki miktarlarını değiştirebilmektedir. Hücrede circRNA'ların ifade seviyelerinin artması hedef miRNA'ların ifade seviyelerinin azalmasına yol açacağından, ilgili miRNA'ların hedef genlerinin ifade düzeyleri de etkileneceği için gen regülasyonunda dolaylı yoldan önemli role sahiptirler. Hücresel aktivitelerin kontrolünde kritik düzenleyici moleküller olarak rol oynayan circRNA'ların ifadesindeki disregülasyon sonucunda kanser başta olmak üzere pek çok hastalık oluşabilmektedir. Çalışmamızda circRNA ekspresyon profillerini belirlemeye yönelik GSE94591, GSE116617 ve GSE163386 olmak üzere 3 farklı AML veri seti Gene Expression Omnibus(GEO) veritabanından elde edilmiştir. Analizde limma R paketi(v.3.46.0) kullanılarak AML tümör dokusunda normal dokuya kıyasla farklı ekspresyon gösterdiği belirlenen, p değeri 0,05'ten düşük ve mutlak kat değişim değeri (log2FC)≥0,5 olan circRNA'lar seçilmiştir. 3 GEO veri setinde; up-regüle 1564 circRNA'dan 8 tanesinin ortak olduğu belirlenirken benzer şekilde down-regüle 1749 circRNA'dan ise 9 tanesinin ortak olduğu tespit edilmiştir. Ardından GSE51908 ve GSE142699 veri setlerindeki log2FC≥1 olan miRNA'lar belirlenmiştir. Tespit edilen circRNA'ların hangi miRNA'lar ile etkileşimde olduğunu in silico olarak tespit edebilmek için CSCDv2.0 veritabanı kullanılmıştır. Sonuç olarak hsa_circ_0002224 ile hsa-miR-150-5p'nin AML'deki ilişkilerinin in vitro ve in vivo'da ileri çalışmalarla araştırılması gerektiği düşünülmüştür.

Anahtar kelimeler: AML, circRNA, Biyoinformatik, Geodataset

Bioinformatic analysis of differentially expressed circRNAs and miRNAs in AML

Abstract

Acute myeloid leukemia(AML) is the most common type of leukemia among acute leukemias and is known to be responsible for approximately 1% of cancer-related deaths in the world. Circular RNAs(circRNAs) act as microRNA(miRNA) sponges, thereby changing the amount of targeted miRNAs in the cell. Since the increase in the expression levels of circRNAs in the cell will lead to a decrease in the expression levels of the target miRNAs, the expression levels of the target genes of the related miRNAs will also be affected. Many diseases, especially cancer, can occur as a result of dysregulation in the expression of circRNAs, which play a role as critical regulatory molecules in cellular activities. In our study, 3 different AML datasets were obtained from the Gene Expression Omnibus(GEO) database; GSE94591, GSE116617 and GSE163386 were used to determine the circRNA expression profiles. In the analysis, circRNAs with a p-value of less than 0.05 and an absolute fold change of (log2FC)≥0.5, which were determined to have different expressions in AML tumor tissue compared to normal tissue, were selected using the limma R package(v.3.46.0). While 8 of the co-up-regulated circRNAs were determined in 1564 circRNAs, similarly, 9 of the co-down-regulated circRNAs were detected in 1749 circRNAs in 3 GEO datasets. Then, miRNAs with log2FC≥1 in the GSE51908 and GSE142699 datasets were determined. CSCDv2.0 database was used to determine which miRNAs and circRNAs interacted. According to the data obtained, it was thought that the relationships of hsa_circ_0002224 and hsa-miR-150-5p in AML should be investigated with further studies in vitro and in vivo.

Keywords: AML, circRNA, Bioinformatics, Geodataset

1.GİRİŞ

Akut miyeloid lösemi (AML), myeloid kökenli kök hücre prekürsörlerinde meydana gelen genetik ve epigenetik değişikliklere bağlı olarak myeloid hücrelerin kemik iliğinde aşırı üretimine yol açan yaygın bir lösemi türüdür (Pelcovits and Niroula 2020). t(15;17), t(8;21), t(9;11), t(6;9), t(9;22) gibi translokasyonlar, del(5q), -5, -7, -17 gibi kromozom sayısı anomalileri, inv(3) ve inv(16) gibi inversiyonlar, NPM1 ve CEBPA gibi genlerde görülen nokta mutasyonları AML etyopatogenezinde rol oynayan genetik değişiklikler arasında yer almaktadır (Liersch, Müller-Tidow et al. 2014, Pelcovits and Niroula 2020). AML'de hastalığın oluşumu ve ilerlemesi sürecinde rol oynayan epigenetik faktörlerden biri olan aberrant DNA metilasyonu sonucunda ifadesi değişen genler arasında Runx1, Gata3, Flk2, Foxo1, Cdkn1a genleri örnek verilebilir (Yang, Wong et al. 2019). SALL4 genini hedefleyerek hücre proliferasyonu ile ilişkili olarak gösterilen miR-485-5p (W., Wang et al. 2019), Kindlin-3 genine 3'UTR bölgesinden bağlanarak hücre apoptozunu indüklenmesiyle ilişkili olduğu bildirilen miR-4792 (Qin, Wang et al. 2020), FoxM1 üzerinden tümör supressör olarak hücrede rol oynayan miR-370 (Zhang, Zeng et al. 2012) gibi çeşitli miRNA'lar AML'de bildirilen diğer önemli epigenetik faktörler arasındadır.

Dairesel RNA'lar (circRNA'lar) mikroRNA'lar (miRNA'lar) için sünger (sponge) görevi görmelerine ek olarak alternatif kırpılma sürecinin de düzenlenmesinde rol oynayarak kodlandığı genin ifade şeklinde etkin rol oynayabilmektedirler. 5'- 3' uçları kovalent olarak bağlı olduğundan dairesel formda bulunan circRNA'lar lineer RNA'lara göre daha kararlı bir yapıya sahiptir. CircRNA dizisi üzerinde bulunan miRNA bağlanma bölgeleri sayesinde hedef miRNA'lar bu bölgelere bağlayarak tutulmakta ve ilgili miRNA'ların hücredeki miktarları değişebilmektedir (Tang, Ren et al. 2021). Özellikle son birkaç yılda yapılan çalışmalar ile circRNA'ların AML kanser süreci ile doğrudan ilişkili epigenetik faktörler olduğu ortaya konmuştur. Örneğin hsa_circ_0079480'nın miR-654-3p üzerinden HDGF gen ifadesini değiştirerek tümör progresyonunu artırdığı gösterilmiştir (Hu, Gu et al. 2020). Yine başka bir çalışmada circ_0002232/miR-92a-3p aksisi'nin AML'de PTEN ekspresyonunu regüle ettiği bildirilmiştir (Su, Zhao et al. 2020). CircPAN3'ün miR-153-5p/miR-183-5p-XIAP yoluyla AML'de ilaç direncinde rol oynadığı belirtilmiştir (Shang, Chen et al. 2019).

Son yıllarda hem yeni nesil dizileme tekniklerindeki gelişmeler sayesinde hem de biyoinformatik araçların daha etkin kullanımıyla birlikte kanser ve birçok hastalıkta önemli rolü bilinen miRNA ve genlerin düzenleyicileri olan circRNA'ların tanımlanması hız kazanmıştır (Chen, Wang et al. 2021). Tespit edilen binlerce circRNA arasından AML ile potansiyel olarak daha kuvvetli ilişkili olabilecek aday circRNA'ların belirlenebilmesi için farklı çalışmalardan elde edilen veri setlerinin metaanalizi oldukça önemlidir. Bu nedenle çalışmamızda GEO veri tabanından elde edilen GSE94591, GSE116617 ve GSE163386 veri setleri analiz edilerek AML'de kuvvetli biyo-belirteç olmaya aday circRNA'lar tespit edilmiştir. Ardından GSE51908 ve GSE142699 veri setleri analiz edilerek AML'de istatistiki olarak anlamlı seviyede değişen miRNA'lar belirlenmiştir. Bu circRNA'lar ile miRNA'lar arasında etkileşim olup olmadığı *in silico* olarak tespit edilmiştir.

2. MATERYAL METOT

2.1. AML Veri Setlerinde circRNA'ların Ekspresyon Profillerinin Analizi

Çalışmamızda circRNA ekspresyon profillerini belirlemeye yönelik GSE94591 (4 sağlıklı kontrol ve 6 AML hastası), GSE116617 (4 sağlıklı kontrol ve 8 AML hastası) ve GSE163386 (4 sağlıklı kontrol ve 5 AML hastası) olmak üzere 3 farklı AML veri seti Gene Expression Omnibus (GEO) veritabanından elde edilmiştir. Analizde limma R paketi (v.3.46.0) kullanılarak AML tümör dokusunda normal dokuya kıyasla farklı ekspresyon gösterdiği belirlenen, p değeri 0,05'ten düşük ve mutlak kat değişim değeri (log2FC) ≥0,5 olan circRNA'lar seçilmiştir.

2.2. AML Veri Setlerinde miRNA'ların Ekspresyon Profillerinin Analizi

Limma R paketi (v.3.46.0) kullanılarak, GSE51908 ve GSE142699 veri setlerindeki p değeri 0,05'ten düşük ve log2FC ≥1 olan miRNA'lar belirlenmiştir.

2.3. circRNA-miRNA İnteraksiyonlarının Tespiti

Tespit edilen circRNA'ların hangi miRNA'lar ile etkileşimde olduğunu *in silico* olarak tespit edebilmek için CSCD v2.0 veritabanı kullanılmıştır.

3. SONUÇ

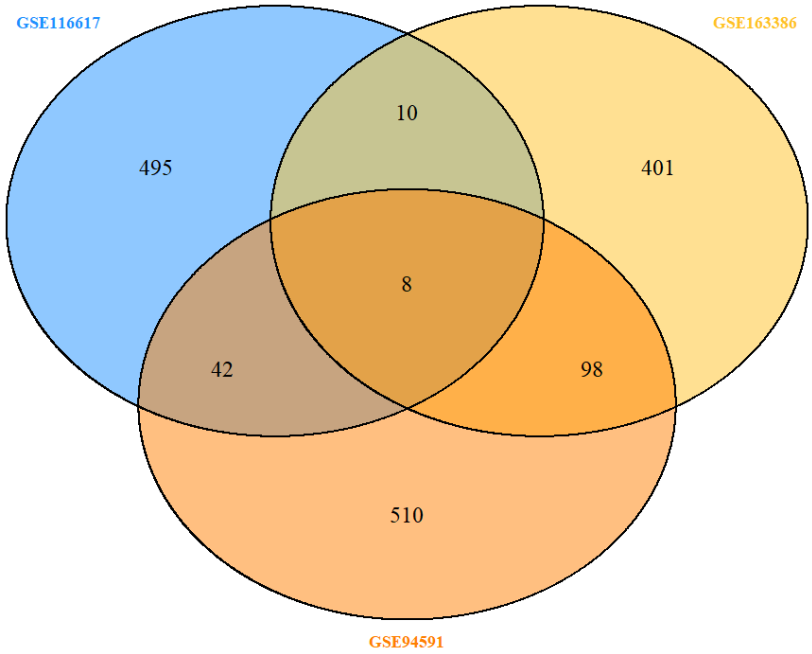
Yapılan meta-analiz sonucunda GSE94591, GSE116617 ve GSE163386 veri setlerinde; up-regüle 1564 circRNA'dan 8 tanesinin ortak olduğu belirlenirken benzer şekilde down-regüle 1749 circRNA'dan ise 9 tanesinin ortak olduğu tespit edilmiştir (**Şekil 1** ve **Şekil 2**). Bu 3 veri setinde de ortak olarak artan ve azalan circRNA'ların listesi **Tablo 1**'de belirtilmiştir. Diğer yandan GSE51908 ve GSE142699 veri setlerindeki p değeri 0,05'ten düşük ve log2FC ≥1 olan miRNA'lar arasından miR-150-5p'nin hsa_circ_0002224 ile etkileşim gösterdiği tespit edilmiştir. hsa_circ_0002224'ün veri setlerindeki tümör ve kontrol örneklerine ait ekspresyon sonuçları **Şekil 3**'te gösterilmiştir. Benzer şekilde miR-150-5p'nin tümör ve kontrol örneklerine ait ekspresyon sonuçları ise **Şekil 4**'te verilmiştir. hsa_circ_0002224 ile miR-150-5p'nin AML veri setlerinde tümör dokuda normal dokuya kıyasla kat değişimleri **Tablo 2**'de belirtilmiştir.

4. TARTIŞMA

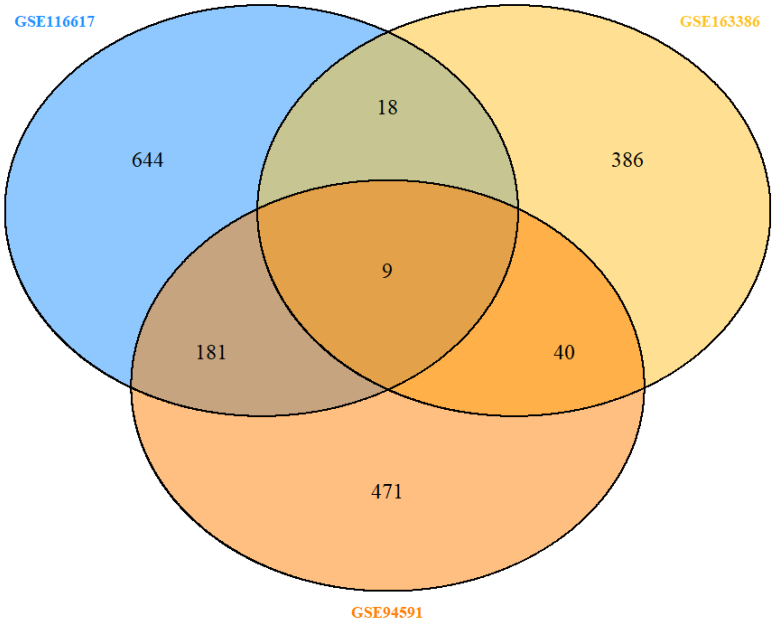
Dairesel RNA'lar (circRNA'lar), uzun kodlamayan RNA sınıfında yer alan ve miRNA'lar üzerinden dolaylı yoldan gen ekspresyonunun düzenlenmesinde görev alan moleküllerdir (Wang, Zhang et al. 2019, Chen, Wang et al. 2021). CircRNA'lar bilim dünyası için oldukça yeni bir konu olmasına rağmen AML (Shang, Chen et al. 2019) dahil, akciğer kanseri (Wan, Zhang et al. 2016), kolerektal kanser (Huang, Zhu et al. 2015), karaciğer kanseri (Guo, Zhang et al. 2017) gibi çok sayıda kanserde birçok circRNA'nın ifadesinin disregüle olduğu tespit edilmiştir. Halkasal yapıya sahip olmaları nedeniyle lineer RNA'lara kıyasla daha uzun yarı ömre sahiptirler ve enzimatik degredasyona karşı daha dirençli oldukları bilinmektedir. Bu nedenle kanserde potansiyel olarak güçlü biyo-belirteçler olabilecekleri düşünülmektedir (Kulcheski, Christoff et al. 2016). Çalışmamızda 3 veri setinde de ortak olarak down-

regüle olan circRNA'lardan hsa_circ_0004277'nin AML için önemli olabileceği belirtilmiştir (Li, Zhong et al. 2017), hsa_circ_0087862'nin ise literatürde akciğer kanseri (Li, Wan et al. 2020) ve bağışıklık sistemi ile ilişkili olabileceği ifade edilmiştir (He, Ren et al. 2019). hsa_circ_0052166'nın ise romatoid artrit ile ilişkili olabileceği gösterilmiştir (Wen, Liu et al. 2020). Yine çalışmamızda ifadesi ortak olarak up-regüle bulunan hsa_circ_0002224'ün hem akciğer hem de kolorektal kanserde benzer şekilde artan ifadeye sahip olduğu ve bu kanserlerde hsa_circ_0002224'ün kanser sürecinde önemli rol oynayabileceği vurgulanmıştır (Zhang, Wu et al. 2020, Yang, Zhou et al. 2021).Ayrıca hsa_circ_0002224'ün olası hedefi olarak tespit edilen miR-150-5p'nin hem AML hücre hatlarında (Morris, Zhang et al. 2013) hem de AML olgularında (Abdelhalim, Elgamal et al. 2018) azalmış ekspresyonu literatürde bildirilmiştir. Buna karşın henüz AML'de hsa_circ_0002224/ miR-150-5p ilişkisi hakkında bilgi bulunmamaktadır. Bu ilişkinin aydınlatılması ve hsa_circ_0002224/ miR-150-5p aksis üzerinden hangi genlerin hedeflenerek ekspresyonunun regüle edildiğinin tespit edilmesi oldukça önem taşımaktadır. AML için yeni biyo-belirteçlerin tanımlanması sayesinde hastalığın moleküler mekanizması aydınlatılabilecek ve bu şekilde AML'nin erken tanısı, prognoz takibi, etkin tedavisi mümkün olabilecektir. Bu nedenle önemli potansiyel biyo-belirteç olarak gösterilen circRNA'ların AML'deki rollerinin araştırılması oldukça gereklidir. Çalışmamızda tespit edilen circRNA'ların in vitro ve in vivo ortamda araştırılması verilerin doğrulanması açısından önemlidir.

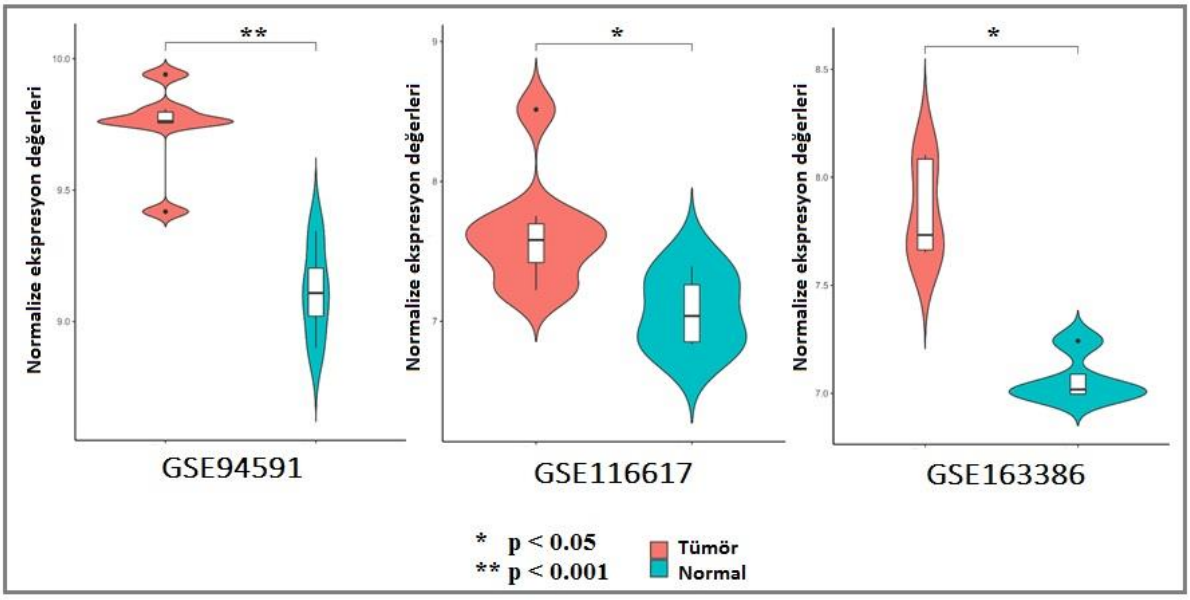
Şekil 1: Up-regüle circRNA'lar



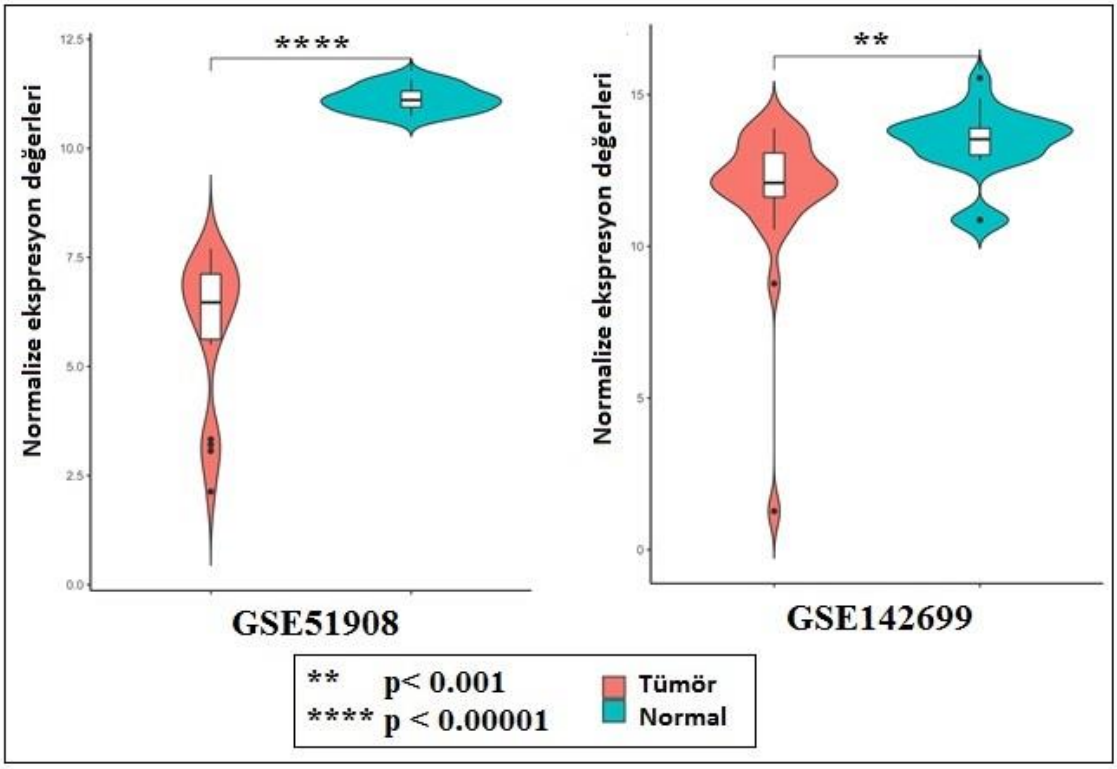
Şekil 2: Down-regüle circRNA'lar



Şekil 3: hsa_circ_0002224'ün AML'deki ekspresyonunun karşılaştırılması



Şekil 4: miR-150-5p'nin AML'deki ekspresyonunun karşılaştırılması



Tablo 1: 3 Veri Setindeki Ortak circRNA'lar

Up-regüle circRNA			Down-regüle circRNA	
circRNA	Alias		circRNA	Alias
hsa_circRNA_103362	hsa_circ_0065284		hsa_circRNA_100526	hsa_circ_0004277
hsa_circRNA_100199	hsa_circ_0012152		hsa_circRNA_100977	hsa_circ_0002089
hsa_circRNA_101726	hsa_circ_0038138		hsa_circRNA_102599	hsa_circ_0052166
hsa_circRNA_100593	hsa_circ_0002224		hsa_circRNA_100525	hsa_circ_0017443
hsa_circRNA_102517	hsa_circ_0005325		hsa_circRNA_104854	hsa_circ_0087862
hsa_circRNA_100509	hsa_circ_0017286		hsa_circRNA_102450	hsa_circ_0006877
hsa_circRNA_101413	hsa_circ_0032742		hsa_circRNA_102611	hsa_circ_0007334
hsa_circRNA_104735	hsa_circ_0001839		hsa_circRNA_000581	hsa_circ_0000569
			hsa_circRNA_104812	hsa_circ_0007351

Tablo 2: hsa_circ_0002224 ile miR-150-5p'nin AML Veri Setlerinde Tümör Dokuda Normal Dokuya Kıyasla Kat Değişimleri

circRNA	GSE94591		GSE116617		GSE163386	
hsa_circ_0002224	P.Değeri	logFC	P.Değeri	logFC	P.Değeri	logFC
	9,17E-04	0,63	3,81E-02	0,55	2,31E-04	0,78

miRNA	GSE51908		GSE142699	
miR-150-5p	P.Değeri	logFC	P.Değeri	logFC
	3,82E-11	-5,23	6,00E-03	-1,62

5. KAYNAKÇA

Abdelhalim, D. A., B. M. Elgamal, M. R. ElKafoury, N. M. Hassan, M. M. Hussein, M. M. Elhefnawi, A. M. Elfiky and M. Nabil (2018). "MicroRNA-150 down Regulation in Acute Myeloid Leukaemia Patients and Its Prognostic Implication." Open Access Maced J Med Sci **6**(11): 1993-2000.

Chen, L., C. Wang, H. Sun, J. Wang, Y. Liang, Y. Wang and G. Wong (2021). "The bioinformatics toolbox for circRNA discovery and analysis." Brief Bioinform **22**(2): 1706-1728.

Guo, W., J. Zhang, D. Zhang, S. Cao, G. Li, S. Zhang, Z. Wang, P. Wen, H. Yang, X. Shi, J. Pan and H. Ye (2017). "Polymorphisms and expression pattern of circular RNA circ-ITCH contributes to the carcinogenesis of hepatocellular carcinoma." Oncotarget **8**(29): 48169-48177.

He, J., M. Ren, H. Li, L. Yang, X. Wang and Q. Yang (2019). "Exosomal Circular RNA as a Biomarker Platform for the Early Diagnosis of Immune-Mediated Demyelinating Disease." Front Genet **10**: 860.

Hu, Q., Y. Gu, S. Chen, Y. Tian and S. Yang (2020). "Hsa_circ_0079480 promotes tumor progression in acute myeloid leukemia via miR-654-3p/HDGF axis." Aging (Albany NY) **13**(1): 1120-1131.

Huang, G., H. Zhu, Y. Shi, W. Wu, H. Cai and X. Chen (2015). "cir-ITCH plays an inhibitory role in colorectal cancer by regulating the Wnt/β-catenin pathway." PLoS One **10**(6): e0131225.

Kulcheski, F. R., A. P. Christoff and R. Margis (2016). "Circular RNAs are miRNA sponges and can be used as a new class of biomarker." J Biotechnol **238**: 42-51.

Li, L., K. Wan, L. Xiong, S. Liang, F. Tou and S. Guo (2020). "CircRNA hsa_circ_0087862 Acts as an Oncogene in Non-Small Cell Lung Cancer by Targeting miR-1253/RAB3D Axis." Onco Targets Ther **13**: 2873-2886.

Li, W., C. Zhong, J. Jiao, P. Li, B. Cui, C. Ji and D. Ma (2017). "Characterization of hsa_circ_0004277 as a New Biomarker for Acute Myeloid Leukemia via Circular RNA Profile and Bioinformatics Analysis." Int J Mol Sci **18**(3).

Liersch, R., C. Müller-Tidow, W. E. Berdel and U. Krug (2014). "Prognostic factors for acute myeloid leukaemia in adults--biological significance and clinical use." Br J Haematol **165**(1): 17-38.

Morris, V. A., A. Zhang, T. Yang, D. L. Stirewalt, R. Ramamurthy, S. Meshinchi and V. G. Oehler (2013). "MicroRNA-150 expression induces myeloid differentiation of human acute leukemia cells and normal hematopoietic progenitors." PLoS One **8**(9): e75815.

Pelcovits, A. and R. Niroula (2020). "Acute Myeloid Leukemia: A Review." R I Med J (2013) **103**(3): 38-40.

Qin, Y., Y. Wang and D. Liu (2020). "miR-4792 Inhibits Acute Myeloid Leukemia Cell Proliferation and Invasion and Promotes Cell Apoptosis by Targeting Kindlin-3." Oncol Res **28**(4): 357-369.

Shang, J., W. M. Chen, Z. H. Wang, T. N. Wei, Z. Z. Chen and W. B. Wu (2019). "CircPAN3 mediates drug resistance in acute myeloid leukemia through the miR-153-5p/miR-183-5p-XIAP axis." Exp Hematol **70**: 42-54.e43.

Su, X. Y., Q. Zhao, J. M. Ke, D. H. Wu, X. Zhu, J. Lin and Z. Q. Deng (2020). "Circ_0002232 Acts as a Potential Biomarker for AML and Reveals a Potential ceRNA Network of Circ_0002232/miR-92a-3p/PTEN." Cancer Manag Res **12**: 11871-11881.

Tang, X., H. Ren, M. Guo, J. Qian, Y. Yang and C. Gu (2021). "Review on circular RNAs and new insights into their roles in cancer." Comput Struct Biotechnol J **19**: 910-928.

W., L. W., H. R. Wang, W. G. Ji, S. L. Guo, H. X. Li and X. Y. Xu (2019). "MiRNA-485-5p suppresses the proliferation of acute myeloid leukemia via targeting SALL4." Eur Rev Med Pharmacol Sci **23**(11): 4842-4849.

Wan, L., L. Zhang, K. Fan, Z. X. Cheng, Q. C. Sun and J. J. Wang (2016). "Circular RNA-ITCH Suppresses Lung Cancer Proliferation via Inhibiting the Wnt/β-Catenin Pathway." Biomed Res Int **2016**: 1579490.

Wang, J., Q. Zhang, S. Zhou, H. Xu, D. Wang, J. Feng, J. Zhao and S. Zhong (2019). "Circular RNA expression in exosomes derived from breast cancer cells and patients." Epigenomics **11**(4): 411-421.

Wen, J., J. Liu, P. Zhang, H. Jiang, L. Xin, L. Wan, Y. Sun, D. Huang, Y. Sun, Y. Long, Y. Zhang, B. Bao and G. Sun (2020). "RNA-seq reveals the circular RNA and miRNA expression profile of peripheral blood mononuclear cells in patients with rheumatoid arthritis." Biosci Rep **40**(4).

Yang, X., M. P. M. Wong and R. K. Ng (2019). "Aberrant DNA Methylation in Acute Myeloid Leukemia and Its Clinical Implications." Int J Mol Sci **20**(18).

Yang, Y. B., J. X. Zhou, S. H. Qiu, J. S. He, J. H. Pan and Y. L. Pan (2021). "Identification of a Novel Ferroptosis-Related Gene Prediction Model for Clinical Prognosis and Immunotherapy of Colorectal Cancer." Dis Markers **2021**: 4846683.

Zhang, T., D. M. Wu, S. H. Deng, R. Han, T. Liu, J. Li and Y. Xu (2020). "RNAseq profiling of circRNA expression in radiation-treated A549 cells and bioinformatics analysis of radiation-related circRNA-miRNA networks." Oncol Lett **20**(2): 1557-1566.

Zhang, X., J. Zeng, M. Zhou, B. Li, Y. Zhang, T. Huang, L. Wang, J. Jia and C. Chen (2012). "The tumor suppressive role of miRNA-370 by targeting FoxM1 in acute myeloid leukemia." Mol Cancer **11**: 56.

Presentation ID / Sunum No= 43

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-7344-6666

ITS2 (Internal Transcribed Spacer 2) Bölgesinin Yapısal Özelliklerinin Bazı *Aethionema* W.T.Aiton Türlerinde Taksonomik Açıdan Kullanımı

Kurtuluş ÖZGİŞİ

Eskisehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
kurtulusozgisi@gmail.com

Özet

Ribozomal RNA dizilerinin dâhili kopyalanmış aralayıcıları (ITS, Internal Transcribed Spacer) organizmalar arasındaki filogenetik ilişkileri belirlemek için sıklıkla kullanılan genetik belirteçlerden bir tanesidir. Ribozomal RNA gen kümesi yedi farklı bileşenden oluşmaktadır ve bunlardan iki tanesi olan ITS1 ve ITS2, dizi olarak oldukça değişken olmasına rağmen, rRNA gen transkriptlerinin işlenmesinde anahtar bir işlevi olan korunmuş yapılara sahiptirler. Böyle korunmuş bir motifin belirlenmesi, organizmalar arasındaki ilişkilerin tanımlanmasına yardımcı olabilmektedir. ITS2 korunmuş bir ikincil yapıya sahip olduğundan bu yapıları araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, *Aethıonema* (Brassicaceae) cinsine ait beş farklı taksonun ITS2 ikincil yapıları belirlenmiştir. ITS2'de Telafi Edici Baz Değişiklikleri (Compensatory Base Changes, CBC's) olarak adlandırılan eşleşmiş baz çiftlerinin her iki tarafındaki nükleotid değişiklikleri türler arasındaki ilişkileri tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ITS2 ikincil yapısının sahip olduğu Telafi Edici Baz Değişiklikleri ve bunların taksonomik açıdan kullanılabilirliği de test edilmiştir. Analizler, ikincil yapıların bazı taksonlar da korunmuş; bazı taksonlarda ise yapısal olarak farklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca taksonlar arasında tespit edilen Telefi Edici Baz Değişiklikleri (CBC)'nin taksonları birbirinden ayırmada taksonomik olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Aethıonema*, Brassicaceae, ITS2, ikincil yapı.

Taxonomic Use Of Structural Features Of ITS2 (Internal Transcribed Spacer 2) Region In Some *Aethionema* W.T.Aiton Species

Abstract

Internal transcribed spacers (ITS) of ribosomal RNA sequences are one of the genetic markers frequently used to determine phylogenetic relationships among organisms. The ribosomal RNA gene cluster consists of seven different components, and two of them, ITS1 and ITS2, although highly variable in sequence, have conserved structures that have a key function in processing rRNA gene transcripts. Identifying such a conserved motif can help define relationships between organisms. Since ITS2 has a conserved secondary structure, these structures are frequently used by researchers. In this study, ITS2 secondary structures of five different taxa belonging to the genus *Aethionema* (Brassicaceae)

were determined. In ITS2, nucleotide changes on both sides of paired base pairs, called Compensatory Base Changes (CBC's), are widely used to detect relationships between species. In this study, the Compensatory Base Changes of the ITS2 secondary structure and their taxonomic usability were also tested. Analyzes showed that some taxa of secondary structures were also preserved; shows that some taxa are structurally different. In addition, it shows that the CBC detected between taxa can be used taxonomically to distinguish between taxa.

Keywords: *Aethionema*, Brassicaceae, ITS2, secondary structure.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, özellikle moleküler biyoloji alanında, sistematik çalışmalara yeni bakış açıları sağlamaktadır. Organizmaların filogenetik ilişkilerini anlamak için sınırlı sayıda ortolog gen bölgesi canlılar arsındaki filogenetik ilişkiyi belirlemek adına yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu moleküler belirteçlerden bir tanesi olan çekirdek DNA'sının (nrDNA) ITS (Internal Transcribed Spacer) bölgesi birçok organizmada bulunması; yeterli sinapomorfik karakter barındırması ve düşük maliyetlerle tespit edilebilmesi gibi nedenlerden ötürü filogenetik çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir moleküler belirteçtir (Hillis vd., 1991; Warwick vd., 2010).

Ribozomal RNA gen kümesi yedi farklı bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan üçü (18S, 5.8S ve 26S), RNA'ları üretmek için işlenen rRNA gen bölgeleridir. Bu yüksek oranda korunmuş rDNA ekzonlarından önce bir harici kopyalanmış aralayıcı gelir ve her bir gen sırasıyla iki dâhili kopyalanmış aralayıcı (ITS1 ve ITS2) ile birbirinden ayrılmaktadır (Baldwin vd., 1995).

Sitoplazma içerisindeki ribozomlar her ne kadar ITS bölgelerini içermese de, ITS bölgeleri rRNA'nın oluşturulmasında önemli rol almaktadır. Örneğin, 40S alt birimlerinin oluşumunun engellenmesi, ITS1'in merkezi kısmının delesyonlarına bağlıdır. Ayrıca ITS2'nin 5'-terminal bölgesindeki delesyonlar, 26S rRNA'nın oluşmasını bloke eder. Bu süreçler, ITS1 ve ITS2 bölgelerinin özel olarak ikincil katlanmaları ile yüksek oranda ilişkilidir ve ribozomal alt birimlerin oluşması için ITS bölgelerinin korunmuş bir ikincil yapısı gereklidir. ITS bölgeleri, nokta mutasyonları ve indeller nedeniyle yüksek bir mutasyon oranına sahip olsa da, bu ikincil yapının korunması rRNA'nın oluşması için kritik öneme sahiptir (Musters vd., 1990; Mai ve Coleman, 1997; Saha vd., 2017; Karpenko vd., 2018).

ITS bölgelerinin korunan ikincil yapıları ve bu yapıların sahip olduğu özellikler, türlerin sınırlarını anlamak için de kullanılmaktadır. ITS2'de Telafi Edici Baz Değişiklikleri (Compensatory Base Changes, CBC's) olarak adlandırılan eşleşmiş baz çiftlerinin her iki tarafındaki nükleotid değişiklikleri türler arasındaki ilişkileri tespit etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Mullineux ve Hausner, 2009).

Coleman ve Vacquier (2002)'in gerçekleştirdiği çalışmaya göre ITS2 ikincil yapısının korunan pozisyonlarındaki telafi edici bazlarda meydana gelen bir baz değişikliği bile taksonlar arasında melezleme/çaprazlamayı bloke etmektedir. Coleman ve Vacquier (2002)'in tespit ettiği bu bulgu biyolojik tür kavramı ile uyumlu olduğu için ITS2 ikincil yapısındaki baz değişimleri (CBC'ler) birçok araştırmacı tarafından tür sınırlandırma aracı olarak kullanılmaktadır (Musters vd., 1990; Mai ve Coleman, 1997; Saha vd., 2017; Karpenko vd., 2018).

Bu çalışmada sistematik anlamda tür sınırları netleştirilememiş bazı *Aethionema* (Brassicaceae) türlerinin ITS2 ikincil yapısı karakterize edilerek bu yapının tür sınırlamadaki etkinliğinin test edilmesi amaçlanmış ve beş farklı türün ITS2 sekonder yapıları oluşturularak bu yapıların taksonomik açıdan kullanılabilirliği test edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada kapsamında *Aethionema* cinse ait farklı taksonların ITS bölgesine ait sekans dizileri NCBI Gen Bankasından (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/) alınmıştır (Çizelge 1).

Çalışılan taksonlara ait ITS sekansları öncelikle ITS2 Veritabanı V (ITS2 database V; Ankenbrand vd., 2015)'de bulunan Hidden Markov Model (HMM) tabanlı lokus belirleme aracı kullanılarak analizlere tabi tutulmuş ve her taksonun ITS2 sekans dizileri tespit edilmiştir.

ITS2 sekans dizilerinin sınırlarını belirlemek için Ankenbrand vd. (2015)'nin önerdiği şekilde ITS2 Veritabanı V Lokus Belirleme Aracı'nda E-value<0.01; Organizma: Viridiplantae ve Minimum ITS2 uzunluğu >150 nt. opsiyonları kullanılmıştır.

ITS bölgesinin 5.8S ve 28S arasında konumlanan ITS2 dizilerinin konum belirleme işlemi sonrası her taksona ait ITS2 ikincil yapıları RNA Katlanması Tahmin Aracı olan Mfold (Zuker, 2003)'da 2.3 Enerji Kuralı ve 37 °C katlanma sıcaklığı opsiyonları kullanılarak tespit edilmiştir.

Mfold (Zuker, 2003) programının yanı sıra ITS2 sekanslarına ait ikincil yapıları tespit etmek için ITS2 Veri Bankası (http://its2.bioapps.biozentrum.uni-wuerzburg.de/ son erişim: 18/02/2022; Koetschan vd., 2012)'da kullanılmıştır. Elde edilen ITS2 ikincil yapıları sekans bilgileri ile birlikte 12 × 12 puanlama matrisi kullanan 4SALE programı ile eşzamanlı olarak hizalanmıştır. Her taksona ait ITS2 ikincil yapısı VARNA 3.9 (Darty vd., 2009) yazılımı kullanılarak görselleştirilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma kapsamında kullanılan *Aethionema* türlerinin ve NCBI erişim numaraları.

Tür	GenBank Erişim Kodu
***Aethionema arabicum* (L.) Andrz. ex DC.**	AY254539
***Aethionema armenum* Boiss.**	MT799721
***Aethionema coridifolium* Hort. ex Boiss.**	MT799725
***Aethionema dumanii* Vural & Adıgüzel**	MT799719
***Aethionema huber-morathii* P.H.Davis & Hedge**	MT799726
***Aethionema thomasianum* J.Gay**	MF543740

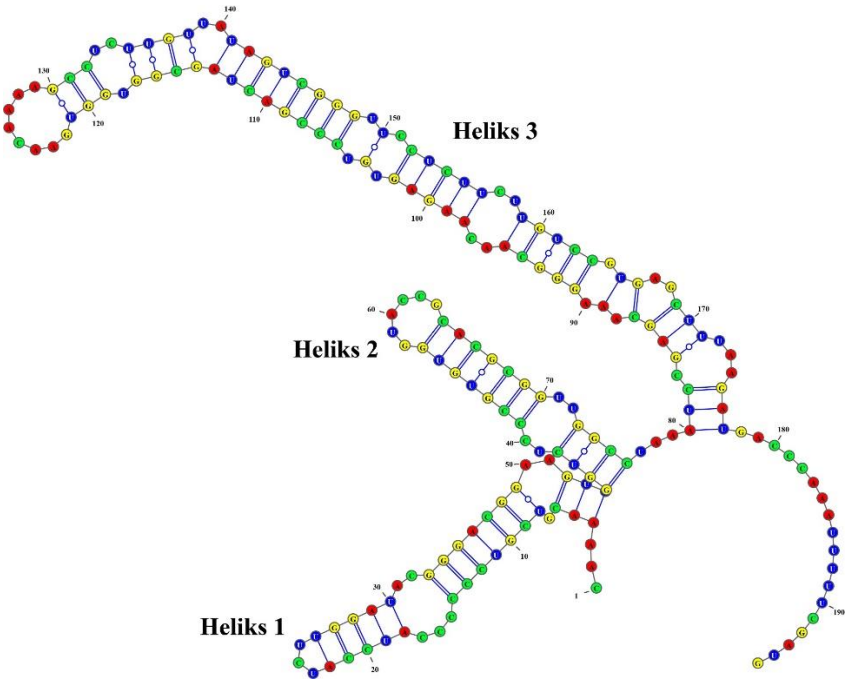
Taksonlara ait ITS2 sekonder yapısındaki sinapomorfik değişimleri ve Telafi Edici Baz Değişiklikleri (Compensatory Base Changes, CBC's)'ni tespit etmek için PAUP 4.0b10 (Swofford, 2002) programı kullanılmıştır. Sinapomorfik değişiklikleri PAUP 4.0b10 (Swofford, 2002) programında tespit edebilmek için öncelikle taksonların dâhil olduğu Maksimum Olasılık (Maximum Likelihood) filogenetik ağacı R (R core team, 2014) istatistik programında phangorn (Schliep, 2011) yazılımı kullanılarak ITS2 veri seti için oluşturulmuştur.

Oluşturulan filogenetik ağaç ve ITS2 sekansları PAUP 4.0b10 (Swofford, 2002) programında karakter durumu optimizasyonu DELTRAN seçeneği altında analiz edilmiş ve taksonlara ait tüm apomorfik ve sinapomorfik karakterler tespit edilmiştir. Tespit edilen Telafi Edici Baz Değişiklikleri (Compensatory Base Changes, CBC's) ilgili taksona ait ITS2 ikincil yapı üzerinde gösterilmiştir.

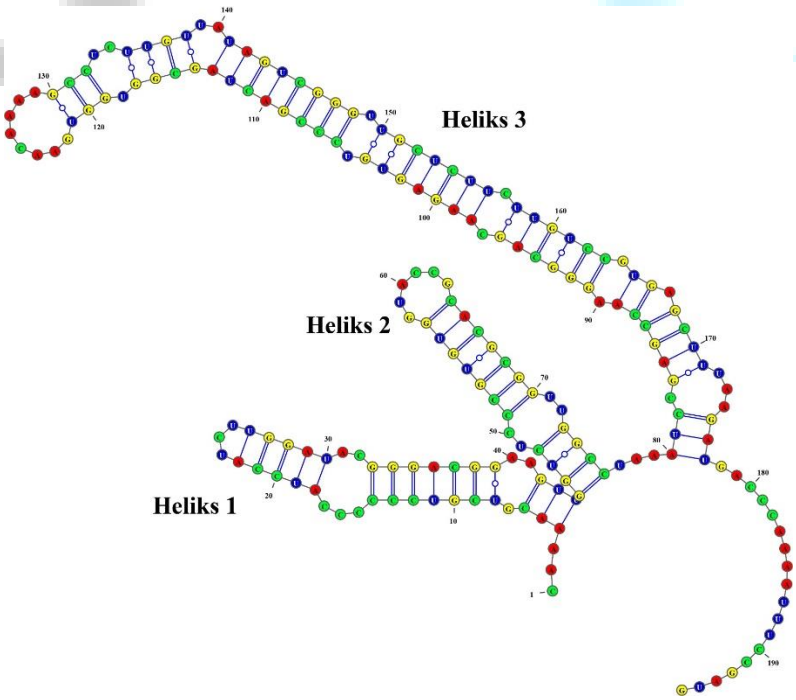
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında incelenen *Aethionema* türlerinin ITS2 bölgesinin 195 bp uzunluğunda olduğu tespit edilmiştir. Taksonlara ait ortalama ITS2 ikincil yapı sayısı ortalama 4.5 olup ITS2 sekanslarının ortalama GC içeriği %55.91'dir.

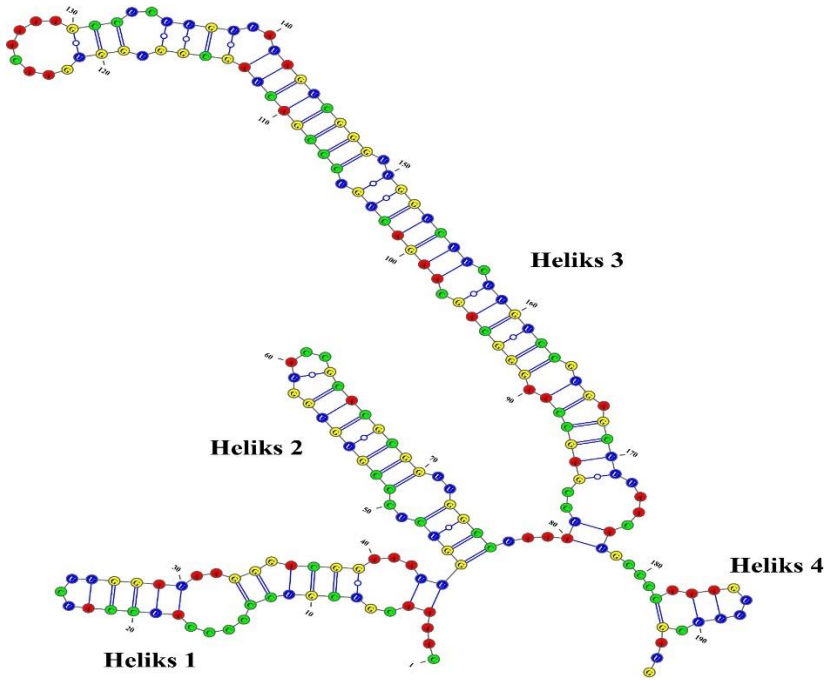
İncelenen bütün *Aethionema* türlerinden *Ae. coridifolium* ve *Ae. huber-morathii* türlerinin 3 parmaklı; *Ae. arabicum*, Ae. armenum ve *Ae. dumanii* türlerinin 4-Parmaklı ITS2 ikincil yapısına sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1-5).



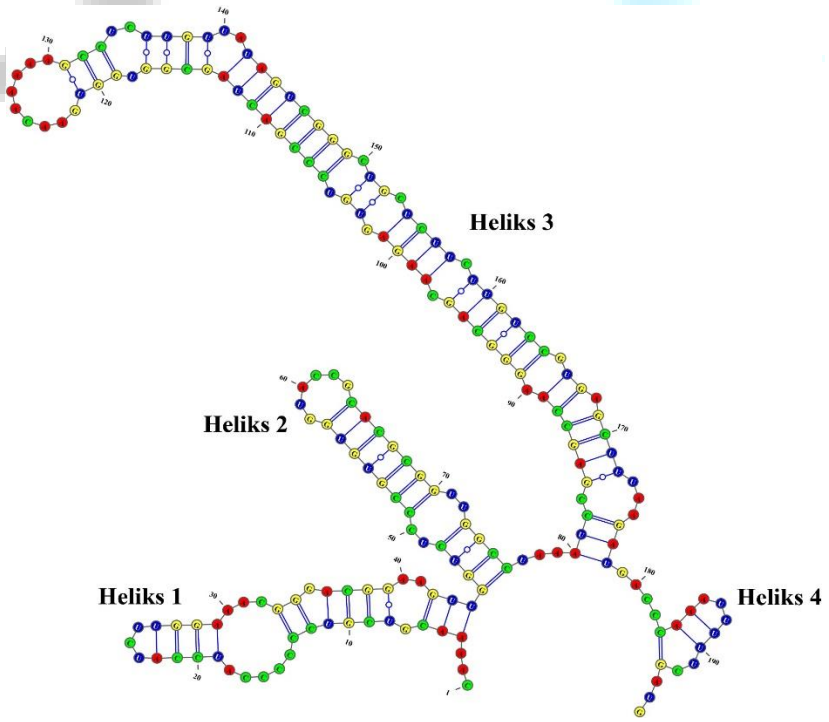
Şekil 1. *Ae. coridifolium* türünde 3-Parmaklı ITS2 sekonder yapısı



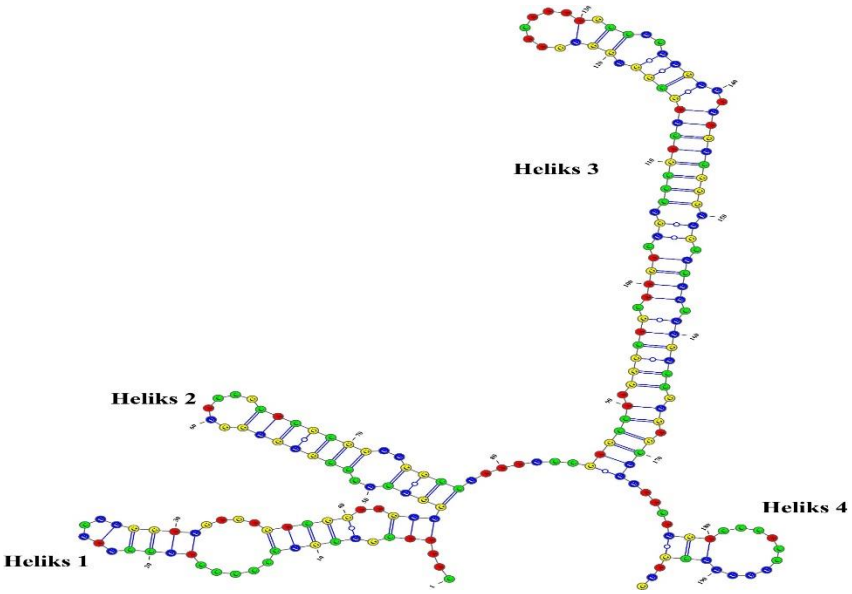
Şekil 2. *Ae. huber-morathii* türünde 3-Parmaklı ITS2 sekonder yapısı



Şekil 3. *Ae. arabicum* türünde 3-Parmaklı ITS2 sekonder yapısı

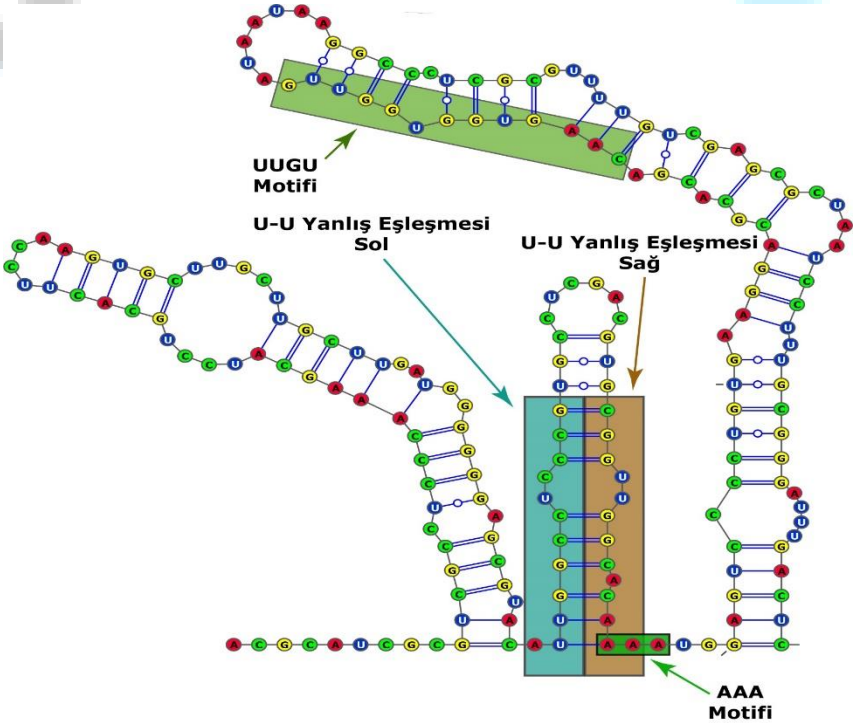


Şekil 4. *Ae. armenum* türünde 3-Parmaklı ITS2 sekonder yapısı



Şekil 5. *Ae. dumanii* türünde 3-Parmaklı ITS2 sekonder yapısı

İncelenen bütün *Aethionema* türlerinde ITS2 ikincil yapıların ikinci heliksinde tüm bitkilerde korunmuş olan U-U Yanlış Eşleşme Bölgesi (5′-AACUGGUCUCCCGUG, sol; 5′-CGCGGUUGGCCAAAA, sağ) bulunmaktadır. Ayrıca tüm taksonların ITS2 ikincil yapılarının üçüncü heliksinde yine tüm bitkilerde korunmuş olan UGGU (5′-GACAUGCGGUGGUGA) motifi; ikinci ve üçüncü heliksler arasında da korunmuş AAA motifi bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Bitkilerin ITS2 sekonder yapısında korunmuş bölgeler.

İncelenen *Aethionema* türlerinden 3 parmaklı ITS2 sekonder yapısına sahip olan *Ae. coridifolium* ve *Ae. huber-morathii* türlerinin birbirlerinden 151. baz pozisyonundaki farklılıkla ayrıldıkları görülmektedir. *Ae. coridifolium* türünde 151. pozisyondaki baz ekstra bir loop (halka) yaperken *Ae. huber-morathii*

türünde bu baz düz bir zincir yapısındadır ve CBC (Compensatory Base Change) olarak nitelendirilmektedir. Bu iki tür arasında ki CBC'nin varlığı bu iki türü birbirinden ayırmaktadır.

İncelenen *Aethionema* türlerinden 4 parmaklı ITS2 sekonder yapısına sahip olan türler incelendiğinde ise 2.; 3. ve 4. Heliks'teki yapısal farklılıklar nedeniyle türlerin birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir. *Ae. armenum* ve *Ae. dumanii* türleri 2. Helikslerinin uç kısmında halksal bir yapıya sahipken *Ae. arabicum* türünde bu 2. Heliksinde ekstra bir loop yapısı bulunmamaktadır. Bu taksonların 4. Heliksleri'de birbirlerinden yapısal olarak farklılık göstermektedir.

ITS2 sekonder yapıları birbirine en çok benzeyen *Ae. armenum* ve *Ae. dumanii* türleri birbirlerinden Heliks 1'deki yapısal ve CBC farklıları ile ayrılmaktadır. Bu iki tür arasında diğer taksonlar. Bu türlerden *Ae. dumanii* türünün 4. Heliks'inde ektra bir loop mevcutken *Ae. armenum* türünün 4. Heliks'i düz bir zincir şeklindedir.

Bu çalışma ile incelenen *Aethionema* türlerinin hem ITS2 ikincil yapısı hem de Telafi Edici Baz Değişiklikleri açısından birbirilerinden farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Coleman ve Vacquier'in (2002) çalışmalarında belirttiği ITS2 yapısal farklılığının ve taksonlar arasında tespit edilen bir adet telafi baz değişikliğinin (CBC) taksonları ayırmada önemli bir kriter kabul edilmesi, çalışma kapsamında ITS2 sekonder yapısı birbirinden farklı olan ve CBC içeren *Ae. arabicum*; *Ae. armenum*; *Ae. coridifolium*; *Ae. dumani* ve *Ae. huber-morathii* türlerinin birbirlerinden farklı birer tür olduğunu göstermektedir.

4. KAYNAKÇA

Ankenbrand, M. J., Keller, A., Wolf, M., Schultz, J., & Förster, F. (2015). ITS2 database V: Twice as much. Molecular Biology and Evolution, 32(11), 3030-3032.

Baldwin, B. G., Sanderson, M. J., Porter, J. M., Wojciechowski, M. F., Campbell, C. S., & Donoghue, M. J. (1995). The ITS region of nuclear ribosomal DNA: a valuable source of evidence on angiosperm phylogeny. Annals of the Missouri botanical garden, 247-277.

Coleman, A. W., & Vacquier, V. D. (2002). Exploring the phylogenetic utility of ITS sequences for animals: a test case for abalone (Haliotis). Journal of molecular evolution, 54(2), 246-257.

Darty, K., Denise, A., & Ponty, Y. (2009). VARNA: Interactive drawing and editing of the RNA secondary structure. Bioinformatics, 25(15), 1974.

Hillis, D. M., & Dixon, M. T. (1991). Ribosomal DNA: molecular evolution and phylogenetic inference. The Quarterly review of biology, 66(4), 411-453.

Koetschan, C., Hackl, T., Müller, T., Wolf, M., Förster, F., & Schultz, J. (2012). ITS2 database IV: interactive taxon sampling for internal transcribed spacer 2 based phylogenies. Molecular Phylogenetics and Evolution, 63(3), 585-588.

Mai, J. C., & Coleman, A. W. (1997). The internal transcribed spacer 2 exhibits a common secondary structure in green algae and flowering plants. Journal of Molecular Evolution, 44(3), 258-271.

Musters, W., Boon, K., Van der Sande, C. A., van Heerikhuizen, H., & Planta, R. J. (1990). Functional analysis of transcribed spacers of yeast ribosomal DNA. The EMBO journal, 9(12), 3989-3996.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing.

Saha, P. S., Sengupta, M., & Jha, S. (2017). Ribosomal DNA ITS1, 5.8 S and ITS2 secondary structure, nuclear DNA content and phytochemical analyses reveal distinctive characteristics of four subclades of Protasparagus. Journal of Systematics and Evolution, 55(1), 54-70.

Schliep, K. P. (2011). phangorn: phylogenetic analysis in R. Bioinformatics, 27(4), 592-593.

Swofford, D. L. (2002). PAUP*. Phylogenetic Analysis Using Parsimony (* and Other Methods). Version 4.,(Sinauer Associates Inc.: Sunderland, MA, USA.).

Warwick, S. I., Mummenhoff, K., Sauder, C. A., Koch, M. A., & Al-Shehbaz, I. A. (2010). Closing the gaps: phylogenetic relationships in the Brassicaceae based on DNA sequence data of nuclear ribosomal ITS region. Plant Systematics and Evolution, 285(3), 209-232.

Zuker, M. (2003). Mfold web server for nucleic acid folding and hybridization prediction. Nucleic acids research, 31(13), 3406-3415.

Presentation ID / Sunum No= 59

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-0456-9117

Otomatik Test Sistemlerinde Gürültü Figürü Ölçümü

Ozan ÖZDEMİR[1], Prof. Dr. Nursel AKÇAM[2]

[1]Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
[2]Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
ozan.ozdemir9307@gmail.com

Özet

Gürültü figürünün tanımı ve ölçüm teknikleri anlatılmaktadır. Tüm teknikler otomatik test sisteminde denenmiş ve testlerin sonuçları analiz edilmiştir. 7 – 14 GHz heterodin alıcı, RF yükselteç, filtre, mikser kullanılarak tasarlanmıştır. Her bir frekans için Y faktörü ve kazanç yöntemi kullanılarak gürültü figürü değerleri ölçülmüştür. Ayrıca bu yöntemlere ek olarak, yine Y faktörü yöntemi olan, ancak otomatik test düzeneğinde spektrum analizörün gürültü figürü ölçme seçeneği yöntemi yerine, gürültü kaynağının güç kaynağı ile kontrol edilmesi olan başka bir ölçüm kurulumu önerilmiştir. Yöntemlerin analizi makalede yer verilmiştir. Gürültü figürü ölçüm yazılımı Labwindows/CVI kullanılarak geliştirilmiştir. Sistem içinde yer alan tüm birimlerin kayıpları ve gürültü figürleri tek tek ölçülmüştür ve sonrasında Cascaded Noise Figure.exe adlı yazılım programına değerler girilerek sistemin gürültü değeri hesaplanmıştır. Gürültü figürü değerleri yukarıda bahsedilen iki yöntemle de ölçülmüştür. Tüm sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karmaşık test düzeneğinin ölçümlere etkisini incelemek için anahtarlama RF matrisi geliştirilmiş ve gürültü figürü değerleri her iki yöntem kullanılarak tekrardan ölçülmüştür. Y faktörü yöntemi bu alıcı için kazanç yöntemine göre daha uygun ve doğru bir yöntem olduğu görülmüştür. Gürültü üretecinin güç kaynağı tarafından kontrol edilmesi sayesinde kalibrasyona ihtiyaç duymadan daha fazla veri incelenebildiği görülmüştür. Bu yöntem sayesinde hızlı ve güvenilir sonuçlar alınmış, yöntemin otomatik test sistemi için daha uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gürültü, Gürültü Figürü, Y Faktör Yöntemi, Kazanç Yöntemi

Noise Figure Measurement With Automatic Test Systems

Abstract

Definition of noise figure and measurement techniques are explained. All techniques are experimented in the automatic test system and results of the tests are observed and discussed. 7 – 14 GHz heterodyne receiver is set by using amplifier, filter, mixer. Noise figure values are measured by using Y factor and gain method for each frequency. Also, additional to these methods, another measurement setup which is also Y factor method. Instead of using noise figure option of spectrum analyzer, controlling noise source by power supply is recommended. Detailed analysis of methods is given in this paper. Noise figure of all equipment in the system are measured and software programs are

developed by using Labwindows / CVI and the noise figure of the system is calculated by using this software program which is Cascaded Noise Figure.exe. After that, noise figure values are measured by two methods. All results are compared. Complex switch setup is designed to see effect of setup loss to measurements. Y factor method is more suitable and accurate than gain method for this receiver. By controlling noise source by power supply, except normalization of test setup, there is no need calibration data. The method is perfect for automatic test systems.

Keywords: Noise Figure, Noise, Cascaded Noise Figure, Y Factor Method, Gain Method

1. INTRODUCTION

Todays, radio frequency (RF) and microwave circuits and their designs have started to become more complex. During the RF or microwave receivers design, there are significant terms like harmonics, gain, noise figure (NF), P1dB, spurious, phase noise, sensitivity etc. Considering each term is associated with each other. When increasing gain of the receiver, can cause increasing of the NF of the systems, so therefore the design process, it should be determined which features are considered more important for the systems.

After the design, testing RF systems or cards can be expensive and complex according to the contents of the systems, especially at high frequency. Engineers aim increasing the accuracy and reducing the time usage and cost of price by selecting right test devices and methods. Basic RF test devices are spectrum / signal analyzer, signal generator, PXI systems, RF switches, noise sources etc. These devices can be changed by device under test (DUT) configuration (multi-channel structure, frequency, cards / components included in the system).

NF and noise factor is one of the most significant features of the system. Measuring the NF with correctly is a difficult and equally important for RF engineers.

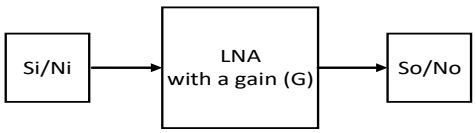
Test design engineers must select right correct measurement method for their test systems, because the gain of the system, mismatch, uncertainty or quality of test equipment can affect the results. For instance, if the NF value of the receiver is higher than excess noise ratio (ENR), the results are wrong or the receiver has low or no gain, gain method is also wrong method for this situation.

In this paper, definition of the NF and selecting correct technique of measurement of NF for automatic test systems are discussed. Firstly, a basic receiver is created, and NF values of the receiver are measured. Addition to the measurement, a graphical unit interface is designed by using Labwindows / CVI to calculate NF of the system's noise figure. After that, measured values are compared to the calculation values.

2. DEFINITION OF NOISE FIGURE

Noise figure can be described like degradation of the signal – to – noise ratio (SNR) between output and input power of the system. In theoretical, expected the output of the receiver that signal and noise by equally increase or decrease according to the input of the receiver, but components have additional noise and noise decreases the SNR Figure 1.

Figure 1. General Block Diagram



NF formula can be described as Eq.(1).

$$NF = (Si/Ni)/(So/No) \geq 1 \quad (1)$$

Where, Si/Ni is input signal to noise ratio, So/No is output signal to noise ratio of the circuit.

At T_0 =290 Kelvin input noise power:

$$N_i = kToB \quad (2)$$

If the Eq. (1) is simplified by using Eq. (2).

$$NF = N_o/G.N_i \quad (3)$$

$$NF = (GkT_oB + Nadd)/GkT_oB \quad (4)$$

Where;

- *F* is noise figure of the receiver,
- *G* is gain of the receiver,
- *To* is standard temperature,
- *Nadd* is additional noise,
- *k* is Boltzmann's constant,
- *B* is the bandwidth of the receiver.

If NF changes according to frequency or gain, active components are existed in the systems.

Passive components differ from the active components according to a simpler structure. Passive components cannot change thermal noise.

Nowadays, most receivers have complex design and most of them are separated from each other according to usage area. For instance, if the systems requirements have high sensitivity and low NF, low noise amplifier (LNA) can be used in front of receiver, also between antenna and receiver line can be kept short. Loss of passive components effects the NF of the system linearly. In cascaded systems, NF is not increased linearly if there is an amplifier. In a cascaded systems formula can be written:

$$Fcas = F_1 + \frac{F_2-1}{G_1} + \frac{F_3-1}{G_1G_2} \quad (5)$$

2.1 Noise Figure Measurement Methods

Two methods are widely used to means NF of the receiver which are Y factor method and gain method. These methods can be selected according to specifications of the receiver because both methods have advantages and disadvantages (Table 1).

Table 1. Conclusion of the noise figure measurement

	ADVANTAGES	DISADVANTAGES
Gain Method	Easy for setup configuration	Accuracy of measurement's is less for low noise figure / low gain Need of high-performance spectrum analyzer Mismatch error
Y Method	Accuracy of measurement's is more for various gain and noise figure, because based on comparison two measurements. Easy for setup configuration if used power supplied instead of noise figure option of the spectrum analyzer	For various noise figure, need of various ENR (noise source) Mismatch error

2.1.1 Y Factor (Hot & Cold) Method

This method is based on measuring noise figure of the receiver by calculating the ratios of two signals produced by using noise source or noise generator. Noise source can be used, after ENR table is

embedded to software program, also noise generator can be used, and it is controlled by software. Noise source was used for this paper.

$$\text{Noise Figure} = 10\log\left(\frac{\text{ENR}}{\text{Y}-1}\right) \tag{6}$$

Y is bigger versus "1" so can be eliminated "1". The Y-Factor is defined as the ratio of "hot" to "cold" measured noise power (in Watts),

$$\text{Y(dB)} = \text{Phot} - \text{Pcold} \tag{7}$$

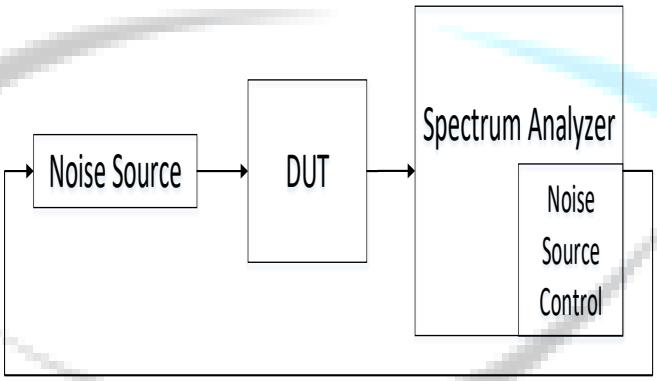
The term "hot" refers to the state of the noise source being powered on and adding noise to the device, much like a signal generator providing a voltage or power signal to the input of the device. "Cold" refers to the noise source being powered off, but still connected to the input of the DUT.

There are three steps for Y factor methods.

Firstly, ENR tables and DUT setup are adjusted. Setup is depended on whether the receiver has local oscillator (LO) or not.

After that calibration is the most significant step to obtain right measurements. If there is an element between DUT and noise source in the setup, they must be added to the calibration setup. Finally, test setup can be prepared, and measurements can be obtained in Figure 2.

Figure 2. Measurement Setup



For Y factor, sometimes difficult problems can be occurred. For instance, the receiver like Figure 1 is tested, the receiver has various LO values and constant intermediate frequency (IF). Noise source is controlled by spectrum analyzer. In this scenario, every time calibration file must be changed, because when the frequency is changed by software, but noise is produced randomly. Then the setup is become complicated. This problem can be called synchronization problem. The problem can be solved by making of controlling of the noise source is by power supply.

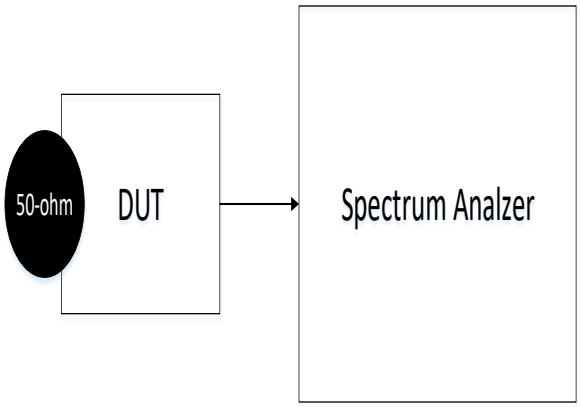
2.1.2 Gain (Cold Noise) Method

Another technique of measurement of noise figure is gain method. As the name suggest, the receiver must have gain. There is no tester like noise source etc. Spectrum analyzer is enough for this method, but tester (spectrum analyzer) has high performance for power density. Also, input of device should be terminated with 50-ohm load in

Figure 3. The formula of gain method is given:

$$\text{NF} = \text{Pcold}\left(\frac{\text{dBm}}{\text{Hz}}\right) - \left(-\frac{174\text{dBm}}{\text{Hz}}\right) - \text{Gain} \tag{8}$$

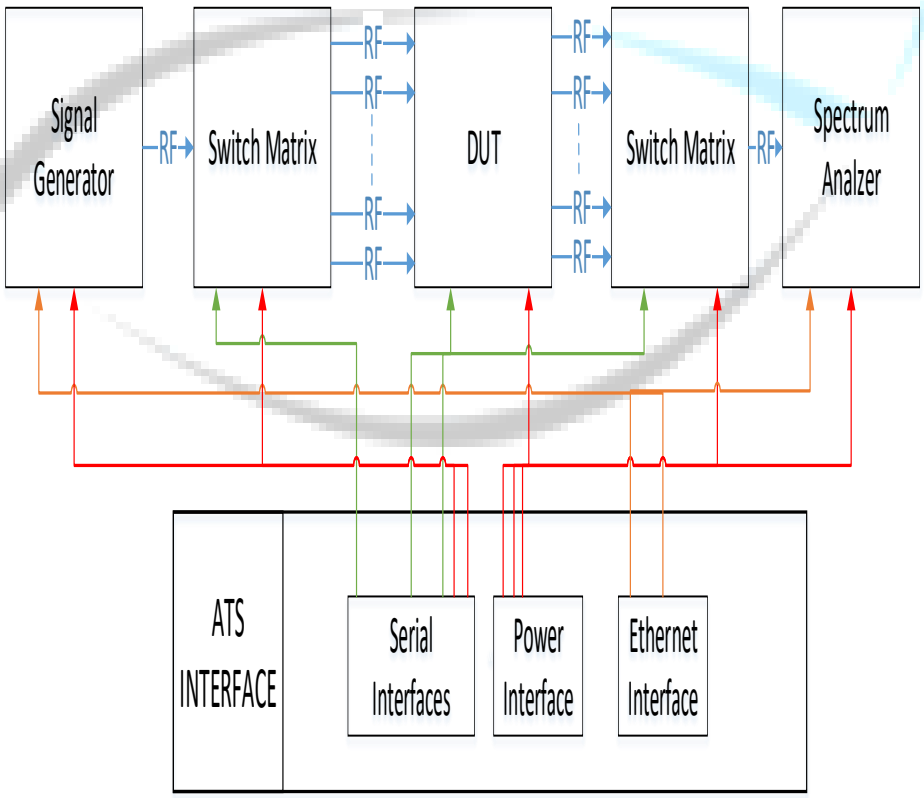
Figure 3. Example Of Test Setup For Gain Method



2.2 Automatic Test Systems

Automated test systems (ATS) are a widely used structure to test receivers in both production and design stages. By controlling test devices, device under test and switch matrix, most of features of a receiver can be obtained. Also, test repetitions can be done easily, and more detailed points can be viewed by changing frequency or power. In Figure 4. a classic ATS block diagram to test receivers is shown.

Figure 4. A Classic ATS Block Diagram To Test Receivers



For this study, first, heterodyne receiver is designed. In Figure. the receiver is shown which is tested by ATS. After that all units losses or gains are measured to analyze software. This software is developed for the study which is used for analyzer cascaded noise figure analyze. The software interface examples are in Figure 6. and Figure 5.

After that, all methods are applied to the receivers and compare the results between each other.

Figure 5. The Heterodyne Receiver Which Is Tested

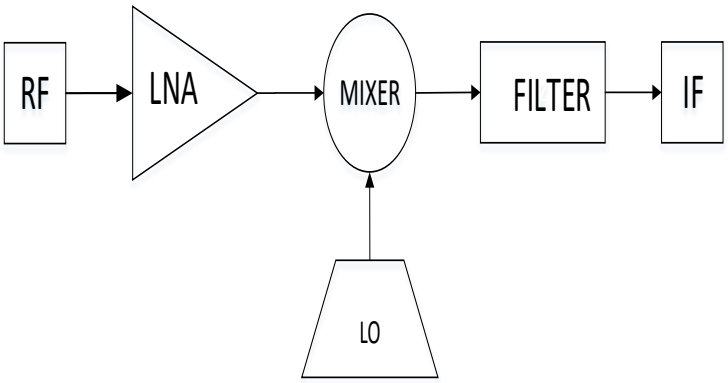


Figure 6. The Interface Of The Software

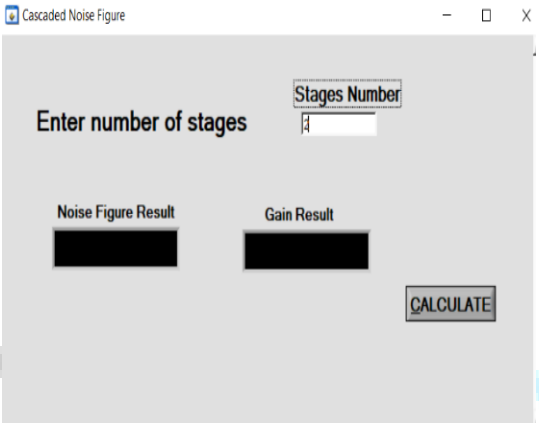
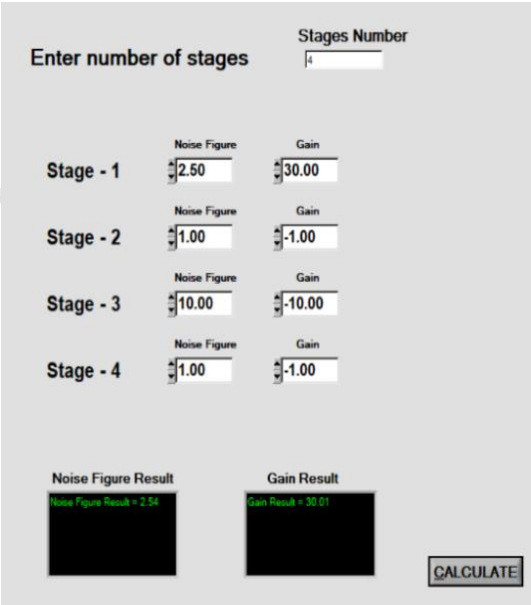
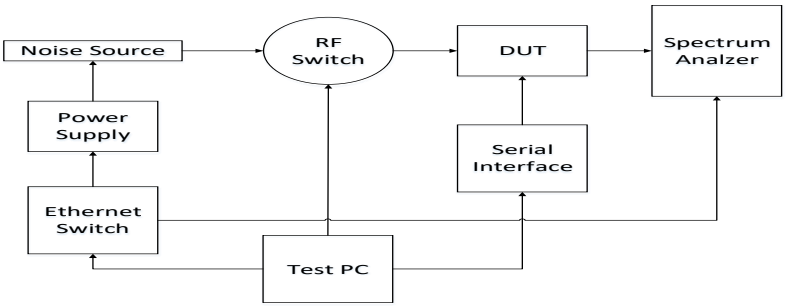


Figure 5. Entering The Number Of Stages And Values



Also, switch setup is expanded, and RF switch is added to setup to understand the effect of switch setup to measurements. In Figure 6. the setup is drawn, the test setup is normalized included cable and RF switch, the values are added to the results.

Figure 6. Expanded Test Setup



3. NOISE FIGURE MEASUREMENT RESULTS

All methods are applied the receiver in Figure. and values are obtained to compare each other. The results are shown in Figure 7. and Figure 8.

Figure 7. The results of hot and cold graph chart

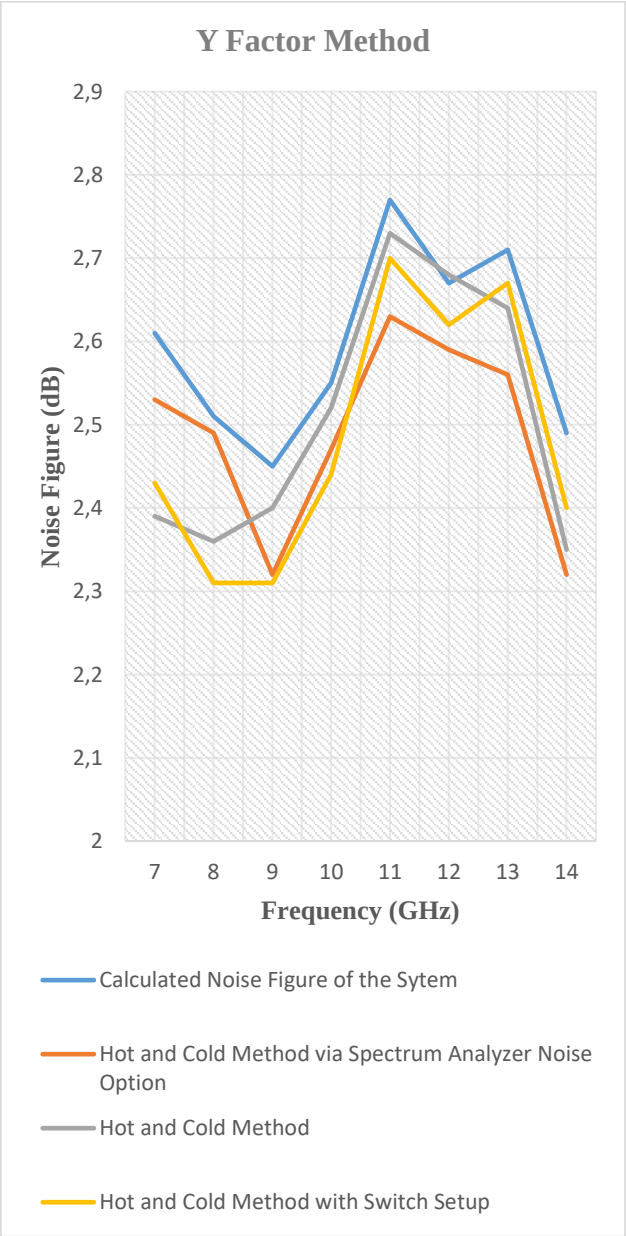
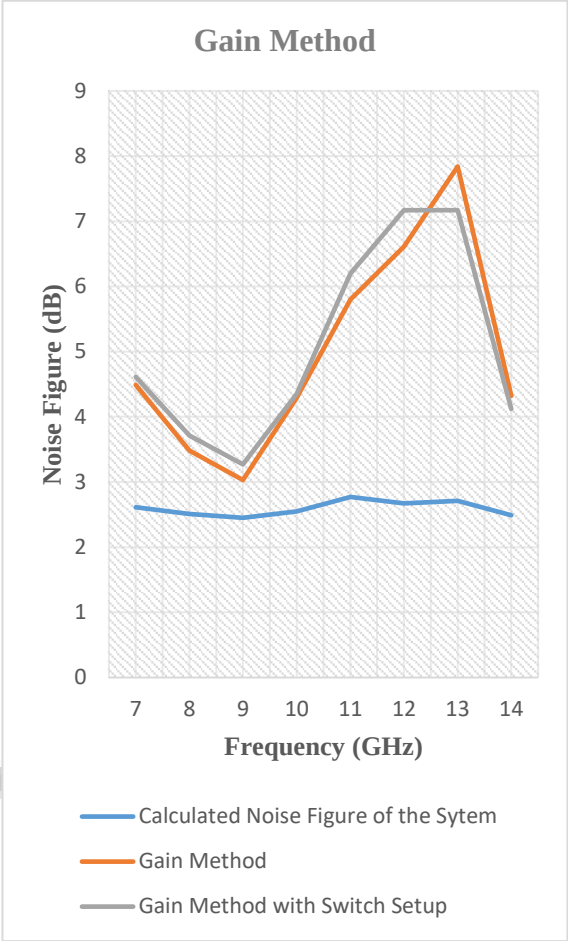


Figure 8. The results of gain method graph chart



4. DISCUSSION

In this paper, measurements of all methods and calculations are obtained. According to LNA datasheet, the typical noise figure of LNA is 2.5 dB and the passive components of S21 are measured with network analyzer. By using the Cascaded Noise Figure analyze software program, the results should be calculated. It was seen that the losses of passive components did not change the noise figure result much according to the cascaded formulation, because LNA has high gain.

Then, gain method is used for noise figure measurement, also, RF switch is added to test setup and normalized its loss. The main purpose of adding RF switch to setup is to understand viability of test setup for ATS.

After that noise figure of the receiver is measured with using spectrum analyzer and its noise figure option which is called Y factor method. If the receiver has upconverter or downconverter, the calibration is required before getting measurement, if the frequency is changed, because the other way which ENR value is used for the measurement cannot known by spectrum analyzer.

Finally, avoiding calibration data for each frequency and channel, another software is developed by using Labwindows / CVI and all control of the device is adjusted by software which makes configuration of the setup easier, and this test also is repeated by expanding the setup includes RF switch. There is no calibration data except normalization of the loss of cables and easily apply for ATS.

In a conclusion, power density is measurement twice for Phot and Pcold, so Y is calculated based on the relativity of the two measurements and the usage areas of the Y factor method are quite wide and applicable for ATS.

5. CONCLUSION

In a conclusion, Y factor method with controlling all devices include noise source by power supply is based on the relativity of the two measurements and there is no need calibration data except normalization of the cable and this method shortens the measurement time. By making interpolation of the ENR table, more points can be measurement. This is also advantage of the method. Main restriction of the method is that for various noise figure measurement needs various ENR source. This method is recommended for test measurement setups because it provides measurement accuracy, time saving, measuring of more points.

6. REFERENCES

1. ABL1800-33-3825, Wenteq Microwave Corp, United States.
2. Anritsu, Noise Figure Measurement Methods (MS269xA-017/MS2830A-017/MS2840A-0179), 2016
3. Hsu-Feng Hsiao, Chih-Ho Tu, Da-Chiang Chang, Ying-Zong luang, "Noise Figure Verification Using Cold-Source and Y-Factor Technique for Amplifier and Down-converted Mixer", *in Asia – Pasific Conference on Microwave*, 2014, p. 901
4. Joe Kelly and Frank Goh, Verigy, "The Basics of Noise Figure Measurements for ATE," Verigy, 2010.
5. N. Otegi, J.M. Collantes, M. Sayed, "Cold-Source Measurements for Noise Figure Calculation in Spectrum Analyzers" in ARFTG Conference, 2006, 10.1109/ARFTG.2006.4734387.
6. Richard J. Mohr, "Tutorial Mohr on Receiver Noise Characterization, Insights & Surprises," in Microwave Theory & Techniques Society of the IEEE Long Island Section, 2010
7. Tektronix, 2021) Noise Figure: Overview of Noise Measurement Methods (Online). Available:
8. https://www.tek.com/en/document/whitepaper/noise-figure-overview-noise-measurement-methods

Presentation ID / Sunum No= 41

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-1088-7886

Developing Antimicrobial Nanocomposite Scaffolds for Wound Dressing Applications

Seda Ceylan[1]

[1]*Department of Bioengineering, Faculty of Engineering, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Adana, Turkey*
Corresponding authors: Seda Ceylan: sceylan@atu.edu.tr

Abstract

Nanoparticles are increasingly used to target bacteria as an alternative to antibiotics. In other words, nanotechnology may be particularly advantageous in treating bacterial infections. For this purpose, Chitosan-PVA composite membranes loaded with $Cu_2ZnSnSe_4$ quantum dots (CZTSe QDs) as an antibacterial biomaterial to regulate the wound healing process were produced. CZTSe QDs particles were synthesized under hydrothermal conditions. Polymer-based nanocomposites with different concentrations of the synthesized nanoparticles were produced by the solvent casting method. After detailed physicochemical and morphological characterizations of CZTSe QDs and composite membranes, antibacterial activities extensively investigated against gram-positive and gram-negative bacterial and yeast strains. The results show that the preparation of composite scaffolds at a QDs concentration of 2% by weight has the best antimicrobial activity. Composite scaffold membranes, which can be obtained as a result of an easy production process, are thought to have great potential applications in tissue engineering as wound dressing material due to their high mechanical properties, wettability, strong antibacterial properties.

Keywords: CZTSe QDs, antimicrobial activity, biocompatibility

1. Introduction

Polymeric matrices have shown promising results as scaffolds for wound dressing applications. A vast variety of natural and synthetic polymers such as chitosan, gelatin, silk, polyvinyl alcohol (PVA) have been utilized for the production of wound dressings. PVA has gained lots of attention because of its mechanical and physical advantages over other polymers [1]. According to the production method, PVA can be formed in different shapes like film, foam, hydrogel and cryogel [2], [3]. In addition to this, chitosan is proven to be an anti-inflammatory, biocompatible, biodegradable and nontoxic polymer, which are important properties for tissue engineering applications. In biomedical applications, PVA and chitosan have been combined with different nanoparticles to achieve different properties to biomaterials such as antimicrobial activity and advanced mechanical properties [2], [4], [5]. Among the nanoparticles, the semiconductor chalcogenide compound $Cu_2ZnSnSe_4$ (CZTSe) is frequently preferred in solar cell applications with its 0.85-1.65eV band gap and high absorption coefficient, high

photoelectric conversion efficiency, and low toxicity [6]–[9]. The use of CZTSe NPs is almost limited to solar cell applications and has been the subject of fewer studies compared to Cu_2ZnSnS_4 (CZTS). However, the components contained in this quaternary structure are highly sensitive to microorganisms and are frequently used in antibacterial applications [10]–[16]. In particular, selenium (Se) in its structure has significant antioxidant and pro-oxidant behavior [17], [18]. In addition to being an important food source, it is found in the structure of at least 25 selenoproteins that perform various functions in the human body [19]. Recent studies have shown that Se can inhibit carcinogenic factors from attacking DNA, therefore inhibiting tumor growth and angiogenesis [20], [21]. Another paper reported by Kieliszek & Lipinski states that Se NPs can reduce the infectious behavior of covid-19 [22]. Undoubtedly, CZTSe NPs are an excellent alternative for many biological studies and biomedicine applications with their strong antibacterial, antimicrobial, antiviral and anticancer agents. CZTSe NPs and quantum dots (QD) can be produced by hot-injection [23]–[25], micro-wave [26], solution-based [27], solvothermal [28], hydrothermal [29] methods.

To the best of our knowledge, no research paper has yet been reported on the determination of the bioactivity of CZTSe QDs as an additive in a scaffold. In this study, CZTSe NPs were prepared in the form of QD and analyzed. In addition to these, CZTSe QDs were added to the scaffold production process to achieve an antimicrobial membrane for wound dressing applications. The effects of CZTSe QDs on the characteristics properties of PVA/chitosan scaffolds were analyzed. Antibacterial response of CZTSe QDs loaded membranes were also analyzed and reported.

2. Material and Methods

2.1 .Materials

Zinc chloride ($ZnCl_2$,>97%), tin(IV) chloride ($SnCl_4$; 99.995%), polyvinyl alcohol (PVA; 99% hydrolysed and Mn: 89,000-98,000 g mol^{-1}), chitosan ($C_{56}H_{103}N_9O_{39}$), acetic acid (CH_3COOH; ≥99%), glycerol ($C_3H_8O_3$; ≥99.0%, for molecular biology), selenium powder (99.9%), oleylamine ($C_{18}H_{37}N$; ≥98%), methanol (> 99.5%) were purchased from Sigma Aldrich. 1-Dodecanethiol (> 98%), copper chloride ($CuCl_2{\cdot}2H_2O$, 99.9%) were purchased from Thermo Fisher Scientific. Standard Gram-positive bacterium [*Staphylococcus aureus* american type culture collection (ATCC) 29213], Gram-negative bacterium (*Escherichia coli* ATCC 25922) and yeast (*Candida albicans* ATCC 90028) strains were used in antimicrobial activity experiments, and the strains were stored in brain-heart infusion broth (Merck, Germany) with 10% glycerine at -80°C.

2.2 . Preparation of CZTSe QDs

CZTSe QDs were prepared according to a previously reported procedure [25]. The synthesis was carried out in two steps: Firstly, 10 mL of oleylamine and 2 mmol of Se powder were refluxed for 1 hour at 150°C in a nitrogen environment in a two-necked round bottom flask to form the Se-oleylamine complex. Secondly, 0.2 mmol $CuCl_2{\cdot}2H_2O$, 0.1 mmol $ZnCl_2$ and 0.1 mmol $SnCl_4$, 10 mL oleylamine and 1 mL 1-Decanethiol were taken into a 50 mL round bottom flask and stirred and heated to 170 °C. The pre-prepared Se-oleylamine solution was rapidly injected into this homogeneous precursor solution under continuous stirring at 200 °C. The reaction was continued for another 10 minutes and then allowed to cool. It was then precipitated using 10 mL of cold methanol. The precipitate was washed by centrifugation 3 times using ethanol and methanol.

2.3 Preparation of P-C and P-C/CZTSe QDs membrane scaffolds

P-C and P-C/CZTSe QDs membranes were obtained by solvent casting technique. A 5% w/v PVA solution was prepared by dissolving 5 g of PVA in 100 ml of distilled water at 90 °C. Chitosan solution (1% w/v) was obtained by stirring 1 g of chitosan in 100 ml of 3% (v/v) acetic acid solution under a magnetic stirrer for 5 hours. The solutions were then mixed in a 1:1 ratio so that the final polymer solution volume was 2 ml. 10 µl of glycerol and different concentrations of CZTSe QDs (1.6%, 2.5, and 3.3% w/v) were added to the P-C solution as listed in Table 1. CZTSe QDs concentrations are given according to their ratio to the total amount of polymer in the solutions. The P-C/CZTSe QDs mixture

was stirred on a magnetic stirrer for 18 hours, then poured into PTFE molds and incubated at 40 °C for 24 hours.

Table 1. Compositions of ingredients of polymer solution with the ratio of CZTSe QDs.

Membrane name	PVA (w/v)	Chitosan (w/v)	CZTSe-QDs (w/w)
P-C	83 %	17 %	0 %
P-C/CZTSe (0.5)	83 %	17 %	1.6 %
P-C/CZTSe (1)	83 %	17 %	2.5 %
P-C/CZTSe (2)	83 %	17 %	3.3 %

2.4 . Characterization studies of CZTSe QDs

The synthesized particles were evaluated in terms of morphological and chemical properties. The micromorphology of CZTSe QD particles was investigated by TEM measurements (Hitachi HighTech HT7700). The particle size distribution was obtained by measuring the particle sizes on the images obtained from the TEM analysis. The phase structure of CZTSe QDs was determined by X-Ray Diffraction (XRD) device (Bruker Axs D8 Advance) using nickel filtered Cu-K_α radiation within the 2θ range from 10° to 70°. The absorbance spectra of CZTSe-QDs were recorded by using a UV-Vis spectrophotometer (Thermo Scientific Genesys 150).

2.5 Characterization studies of membrane scaffolds

FTIR (PerkinElmer, FTIR/FIR/NIR Spectrometer Frontier-ATR, USA) was used to analyze the main functional groups of ingredients and chemical interactions between PVA, chitosan, and CZTSe QDs. The spectra were obtained in the range of wavenumber from 4000 to 650 cm^{-1} with a resolution of 4 cm^{-1}. The contact angles (θ) of membranes were tested at room temperature using a contact angle measurement device (Attension, Biolin Scientific, Sweden). The measurements were obtained using distilled water at five independent points and presented as mean standard deviation. Images were taken with a surface-aligned camera 5 seconds after a water droplet came into contact with the membrane surface. The tensile properties of the membranes were analyzed using the texture analyzer, Stable MicroSystems (model TA.XTPlus, Surrey- England). The membranes were cut (40 × 10 mm) and the crosshead speed was set at 1 mm s^{-1} (load cell of 5 kg) under dry conditions. The initial distance between the grips was adjusted 30 mm. Elongation at break (%), tensile strength (MPa), young modulus (Mpa) were presented with three replicates.

2.6. Antimicrobial activity of film-forming solution (FFS) & membranes

Agar diffusion method

The antimicrobial effects of the CZTSe QDs loaded scaffold membranes were investigated by the agar diffusion method. The surfaces of the MHA and SDA were covered using sterile swabs with fresh bacterial and fungal suspensions that were adjusted to 0.5 McFarland turbidity. MHA and SDA plates were air-dried for 15 min. The membranes including CZTSe and blank membranes were cut to a diameter of 9 mm under aseptic conditions. The membranes were laid on the surface of the inoculated plates, and the plates were incubated at 37°C for 16-20 h. Inhibition zone diameters were measured in millimeters. Each sample was tested in triplicate, and mean inhibition zone diameters ± SD was reported. Ciprofloxacin and fluconazole disks were used as references, and the quality control ranges were evaluated according to the EUCAST criteria mentioned above.

3. Results and Discussions

3.1. Characterization results of the synthesized CZTSe QDs

The TEM image and the size distribution plot of CZTSe QDs were presented in Figures 1A and 1B, respectively. Figure 1A shows the presence of several small-sized dispersed CZTSe nanoparticles within the range of 5-7 nm. Although such nanoparticles have a high aggregation tendency, surfactants such as oleylamine seem to reduce this effect. The boundaries between the particles are blurred as expected due to the very small particle size distribution and the oleylamine presence on the particle surface [30].

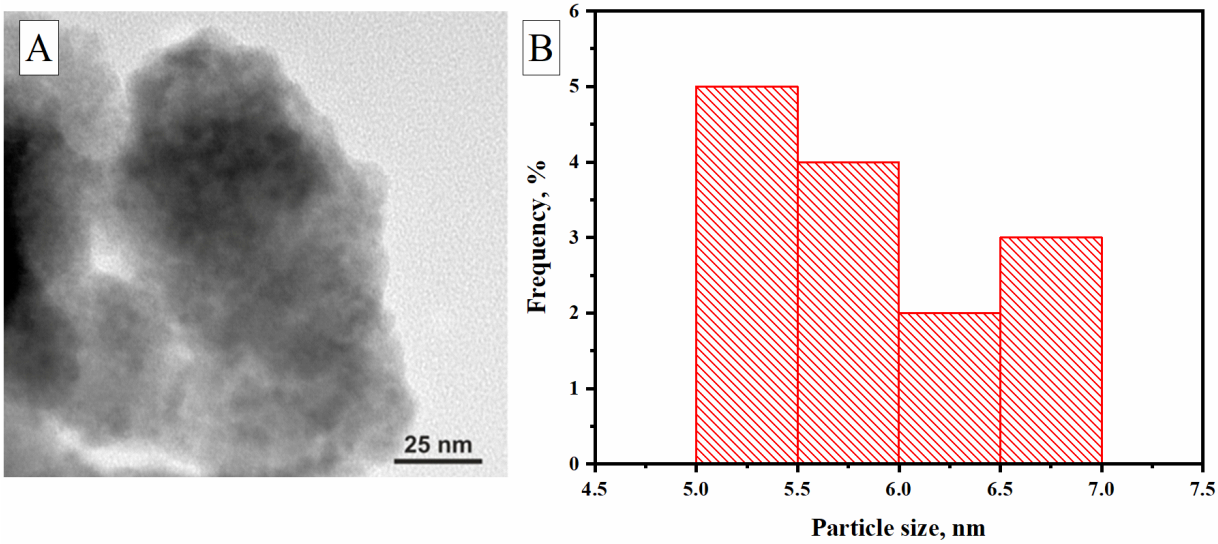


Fig. 1. (A) TEM image and (B) particle distribution plot of CZTSe QDs.

The UV-Visible absorption spectrum of CZTSe-QDs dispersed in ethanol was obtained by UV-Vis spectrometry, as shown in Figure 2A. The absorption spectrum observed over a wide wavelength range is similar to the CZTSe-QDs or nanocrystals obtained by a one-pot route [23].

Figure 2B shows the XRD pattern of the as-synthesized CZTSe QDs nanocrystalline particles. The diffraction pattern of the synthesized CZTSe QDs powder showed peaks at 2θ=27.62°, 45.83° and 53.45° which can be attributed to the (112), (204) and (312) planes, respectively. The diffraction peaks corresponding to these planes are related to the tetragonal phase of CZTSe-QDs (JCPDS No. 52-0868) [25], [31].

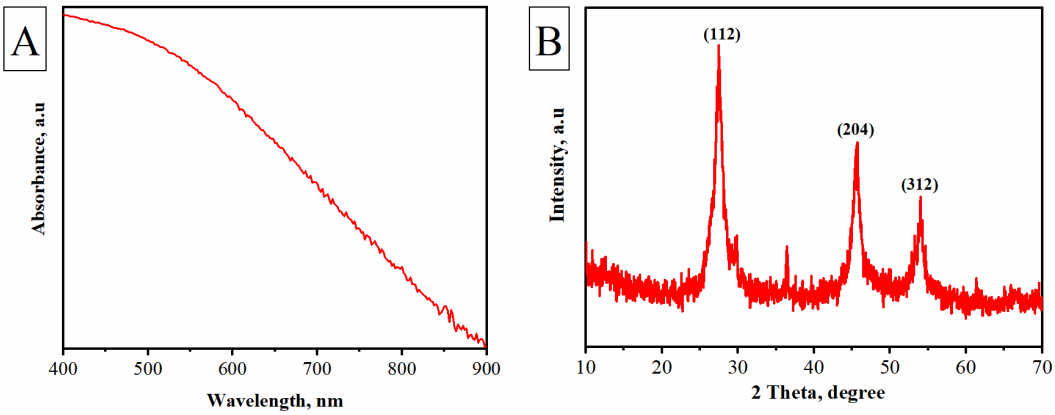


Fig. 2. A) UV spectrum, B) XRD pattern of CZTSe QDs.

3.2. Characterization studies of the membranes

FTIR spectra of P-C and CZTSe QDs loaded P-C membranes are shown in Figure 3A. Stretching vibration spectra of the amide group of chitosan polymer appear at 1560 cm^{-1}. Tripathi et al. also showed that the crystallization-sensitive band of PVA at 1140 cm^{-1} [32]. In addition to these, the peaks at 1441 cm^{-1} and 1369 cm^{-1} are assigned to the symmetrical stretching of O-C=O, and the peaks at 1083 cm^{-1} and 1017 cm^{-1} are related to stretching of C-O [33]. The FTIR spectrum also shows a broad absorption peak at 3000-3700 cm^{-1} attributed to O-H groups. Moreover, different characteristic peaks at wave numbers of 2900 cm^{-1} stretching (C-H), 1416 cm^{-1} scissoring (CH_2), and 1100 cm^{-1} stretching (C-O) are shown in the spectrum [2].

The color of the membrane turns black as the rate of CZTSe QDs increases because of the black color of the CZTS QDs (Figure 3B). Although the black CZTSe QDs particles are visible on the membrane

surface, these nanoparticles could not be confirmed by FTIR. In other words, the size of nanoparticles that we used is too small to be sensed by FTIR in the membrane. Similar results were also reported in different articles [34], [35].

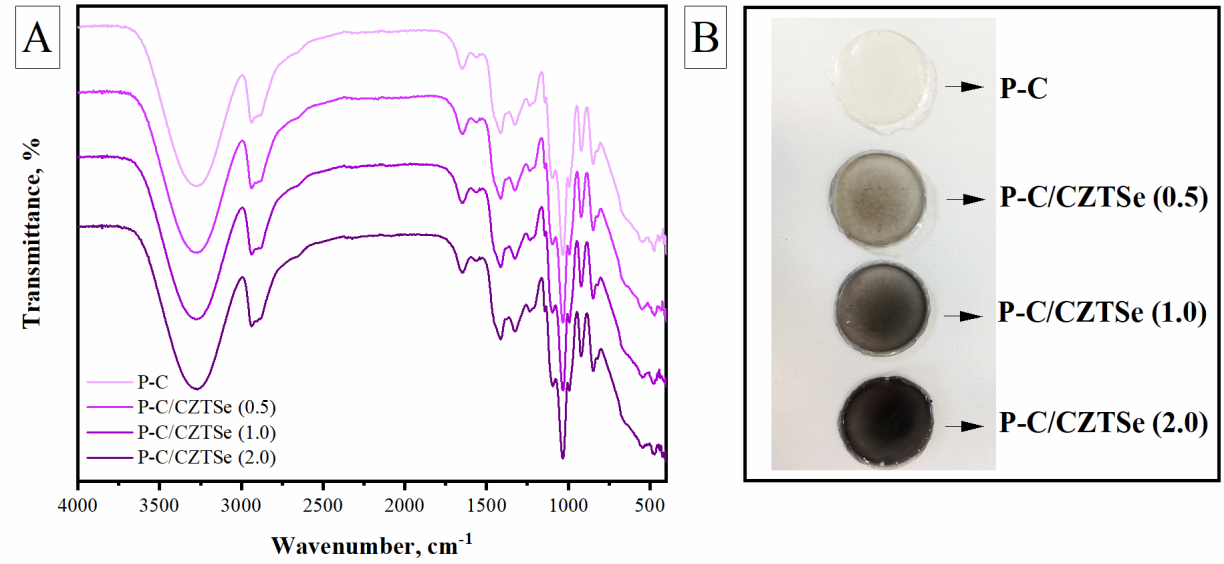


Fig. 3. A) FTIR spectra of P-C and CZTSe loaded membranes B) Photographs of plain P-C and CZTSe QDs loaded membranes.

The mechanical strength is an important property of skin scaffolds that must be evaluated. Mechanical responses are capable of regulating cell fate, and in addition to this, these signals modulate the response of cells to their microenvironment environment. The response of cells impacts new tissue formation and remodeling [36], [37]. Table 2 presents that the CZTSe QDs loaded nanocomposite membranes, in turn, demonstrate higher mechanical properties in comparison with plain P-C membranes. The results indicated that the addition of CZTSe QDs to the P-C membranes was accompanied by an increase in Young's modulus and tensile strength of P-C compared to the values of P-C/CZTSe (0.5), (1.0) and (2.0). Elongation at break was also increased with CZTSe QDs from 39.75% to 60.43%. P-C/CZTSe (2.0) membrane showed higher strength (16.04 MPa) compared with other membranes. In this regard, it has been reported that different particles such as bioglass and calcium phosphates [38], TiO [39] have been chiefly used as additives to enhance the poor mechanical properties of polymer composites.

Table 2. Mechanical properties of membranes

Membrane	Strength (MPa)	Young modulus(MPa)	Elongation at break (%)
P-C	5.70	0.28	39.75
P-C/CZTSe (0.5)	10.36	0.39	39.77
P-C/CZTSe (1.0)	14.79	0.47	70.94
P-C/CZTSe (2.0)	16.04	0.49	60.43

The surface contact angle of the membrane scaffolds was measured using sessile drop observation. The average contact angle values and the micrographs of the water droplet on each membrane are shown in Figure 4. The CZTSe additive indicated a slight decrease in the surface contact angle value of the water droplets. The addition of CZTSe QDs into the polymer solution improves the wettability properties of the membrane scaffolds. This CZTS may help the more effective use of scaffolds as dressing material as a result of e contribution. Surface wettability plays an important role in determining the function of the dressing, and hydrophilic surfaces with small contact angles (less than 90°) corresponded to high

wettability, are needed to improve cell adhesion, especially for most anchorage-dependent cell types during the wound healing process [40].

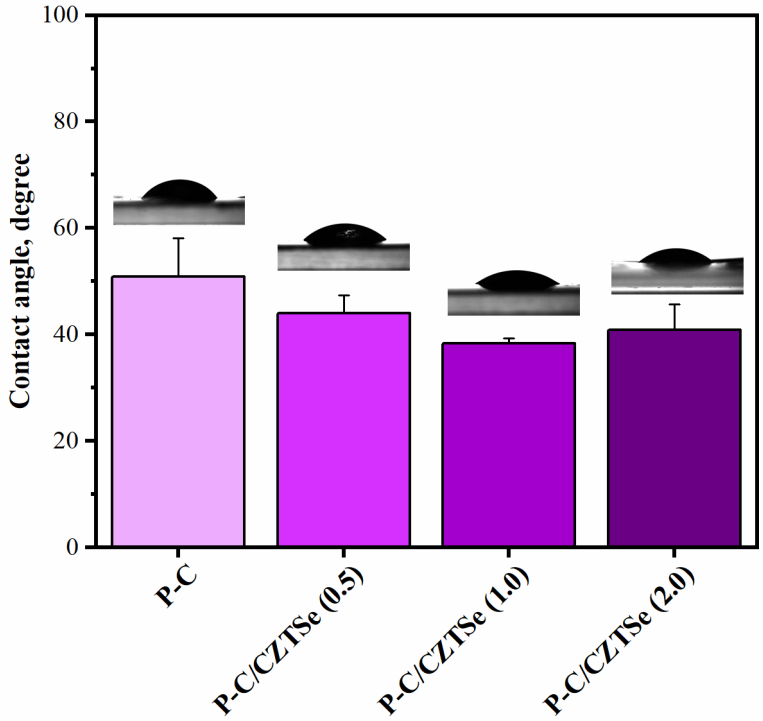


Fig 4. Contact angle measurement of membranes.

3.3. Antimicrobial studies

The antimicrobial activity of the final materials in membrane form was also studied by the agar diffusion method. Inhibition zone diameters and SD values were summarized in Table 3. According to the results, we demonstrated the inhibition zone diameters only in the presence of the P-C/CZTSe (2.0) at studied concentrations. The P-C/CZTSe (2.0) sample inhibited the growth of the *S. aureus* and *E. coli*, and the inhibition zone diameters were found to be 12 and 11 mm, respectively.

Table 3. Mean inhibition zone diameters of membrane scaffolds.

Samples	Mean diameter (mm)		
	S. aureus	*E. coli*	*C. albicans*
P-C	-	-	-
P-C/CZTSe (0.5)	-	-	-
P-C/CZTSe (1.0)	-	-	-
P-C/CZTSe (2.0)	12.00±0.00	11.00±0.00	-

(-): no inhibition zone

4. Conclusion

CZTSe loaded PVA/chitosan nanocomposite membrane scaffolds were fabricated via a straightforward approach. The synthesized P-C/CZTS QDs nanocomposites were characterized by physical, mechanical, and biological methods using pure P-C membrane as a control system. The antimicrobial activity study results demonstrated that the P-C/CZTSe (2) possessed antimicrobial effects against *S. aureus and E. coli*.. Overall, the above results demonstrated the CZTSe QDs incorporated membranes could be used as promising wound dressing materials for long-term healing.

REFERENCES

[1] K. Ou, X. Dong, C. Qin, X. Ji, and J. He, "Properties and toughening mechanisms of PVA/PAM double-network hydrogels prepared by freeze-thawing and anneal-swelling," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 77, pp. 1017–1026, 2017, doi: 10.1016/j.msec.2017.03.287.

[2] K. Kalantari, E. Mostafavi, B. Saleh, P. Soltantabar, and T. J. Webster, "Chitosan/PVA hydrogels incorporated with green synthesized cerium oxide nanoparticles for wound healing applications," *Eur. Polym. J.*, vol. 134, p. 109853, 2020, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2020.109853.

[3] D. Pamfil, E. Butnaru, and C. Vasile, "Poly (vinyl alcohol)/chitosan cryogels as PH responsive ciprofloxacin carriers," *J. Polym. Res.*, vol. 23, no. 8, 2016, doi: 10.1007/s10965-016-1042-1.

[4] C. You *et al.*, "Silver nanoparticle loaded collagen/chitosan scaffolds promote wound healing via regulating fibroblast migration and macrophage activation," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1038/s41598-017-10481-0.

[5] S. A. Poursamar, M. Azami, and M. Mozafari, "Controllable synthesis and characterization of porous polyvinyl alcohol/hydroxyapatite nanocomposite scaffolds via an in situ colloidal technique," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 84, no. 2, pp. 310–316, 2011, doi: 10.1016/j.colsurfb.2011.01.015.

[6] D. Shin, B. Saparov, and D. B. Mitzi, "Defect Engineering in Multinary Earth-Abundant Chalcogenide Photovoltaic Materials," *Adv. Energy Mater.*, vol. 7, no. 11, p. 1602366, Jun. 2017, doi: 10.1002/AENM.201602366.

[7] Y. F. Du *et al.*, "Solvothermal synthesis and characterization of quaternary Cu2ZnSnSe4 particles," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 15, no. 2, pp. 214–217, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.MSSP.2011.09.005.

[8] M. S. Rana, M. M. Islam, and M. Julkarnain, "Enhancement in efficiency of CZTS solar cell by using CZTSe BSF layer," *Sol. Energy*, vol. 226, pp. 272–287, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.SOLENER.2021.08.035.

[9] F.-I. Lai, J.-F. Yang, Y.-C. Hsu, and S.-Y. Kuo, "Enhanced solar cell performance of Cu2ZnSnSe4 thin films through structural control by using selenide stacked nanolayers in a non-toxic selenium atmosphere," *Sustain. Energy Fuels*, vol. 5, no. 14, pp. 3640–3647, Jul. 2021, doi: 10.1039/D1SE00139F.

[10] M. Vincent, P. Hartemann, and M. Engels-Deutsch, "Antimicrobial applications of copper," *Int. J. Hyg. Environ. Health*, vol. 219, no. 7, pp. 585–591, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.IJHEH.2016.06.003.

[11] X. Liang *et al.*, "Preparation and antibacterial activities of polyaniline/Cu0.05Zn0.95O nanocomposites," *Dalt. Trans.*, vol. 41, no. 9, pp. 2804–2811, Mar. 2012, doi: 10.1039/C2DT11823H.

[12] M. Zhao *et al.*, "A comparative antibacterial activity and cytocompatibility for different top layers of TiN, Ag or TiN-Ag on nanoscale TiN/Ag multilayers," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 473, pp. 334–342, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.APSUSC.2018.12.159.

[13] T. Huang, J. A. Holden, E. C. Reynolds, D. E. Heath, N. M. O'Brien-Simpson, and A. J. O'Connor, "Multifunctional Antimicrobial Polypeptide-Selenium Nanoparticles Combat Drug-Resistant Bacteria," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 12, no. 50, pp. 55696–55709, Dec. 2020, doi: 10.1021/ACSAMI.0C17550.

[14] L. D. Geoffrion *et al.*, "Naked Selenium Nanoparticles for Antibacterial and Anticancer Treatments," *ACS Omega*, 2020, doi: 10.1021/ACSOMEGA.9B03172.

[15] Y. Delgado-Beleño, C. E. Martinez-Nuñez, M. Cortez-Valadez, N. S. Flores-López, and M. Flores-Acosta, "Optical properties of silver, silver sulfide and silver selenide nanoparticles and

antibacterial applications," *Mater. Res. Bull.*, vol. 99, pp. 385–392, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.MATERRESBULL.2017.11.015.

[16] K. Kaviyarasu *et al.*, "Antiproliferative effects on human lung cell lines A549 activity of cadmium selenide nanoparticles extracted from cytotoxic effects: Investigation of bio-electronic application," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 76, pp. 1012–1025, Jul. 2017, doi: 10.1016/J.MSEC.2017.03.210.

[17] A. A. Menazea, S. A. Abdelbadie, and M. K. Ahmed, "Manipulation of AgNPs coated on selenium/carbonated hydroxyapatite/ε-polycaprolactone nano-fibrous via pulsed laser deposition for wound healing applications," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 508, p. 145299, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.APSUSC.2020.145299.

[18] Z. Qiu, Q. Tian, T. Zhang, D. Yang, and F. Qiu, "Fabrication of dynamic zero-valent iron/MnO2 nanowire membrane for efficient and recyclable selenium separation," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 230, p. 115847, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.SEPPUR.2019.115847.

[19] R. Alhasan, A. Kharma, P. Leroy, C. Jacob, and C. Gaucher, "Selenium Donors at the Junction of Inflammatory Diseases," *Curr. Pharm. Des.*, vol. 25, no. 15, pp. 1707–1716, Jul. 2019, doi: 10.2174/1381612825666190701153903.

[20] M. S. Ali, R. M. Hussein, and M. A. Kandeil, "The Pro-Oxidant, Apoptotic and Anti-Angiogenic Effects of Selenium Supplementation on Colorectal Tumors Induced by 1,2-Dimethylhydrazine in BALB/C Mice," *Reports Biochem. Mol. Biol.*, vol. 8, no. 3, p. 216, 2019.

[21] A. Shrivastava, L. M. Aggarwal, S. P. Mishra, H. D. Khanna, U. P. Shahi, and S. Pradhan, "Free radicals and antioxidants in normal versus cancerous cells — An overview," *Indian J. Biochem. Biophys.*, vol. 56, no. 1, pp. 7–19, 2019.

[22] M. Kieliszek and B. Lipinski, "Selenium supplementation in the prevention of coronavirus infections (COVID-19)," *Med. Hypotheses*, vol. 143, p. 109878, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.MEHY.2020.109878.

[23] C. Jin, P. Ramasamy, and J. Kim, "Facile hot-injection synthesis of stoichiometric Cu2ZnSnSe4 nanocrystals using bis(triethylsilyl) selenide," *Dalt. Trans.*, vol. 43, no. 25, pp. 9481–9485, Jun. 2014, doi: 10.1039/C4DT00688G.

[24] S. Engberg, Z. Li, J. Y. Lek, Y. M. Lam, and J. Schou, "Synthesis of large CZTSe nanoparticles through a two-step hot-injection method," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 117, pp. 96593–96600, Nov. 2015, doi: 10.1039/C5RA21153K.

[25] N. Singh, V. Murugadoss, S. Nemala, S. Mallick, and S. Angaiah, "Cu2ZnSnSe4 QDs sensitized electrospun porous TiO2 nanofibers as photoanode for high performance QDSC," *Sol. Energy*, vol. 171, pp. 571–579, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.SOLENER.2018.06.095.

[26] O. R. Vallejo, M. Sánchez, M. Pal, R. Espinal, J. Llorca, and P. J. Sebastian, "Synthesis and characterization of nanoparticles of CZTSe by microwave-assited chemical synthesis," *Mater. Res. Express*, vol. 3, no. 12, p. 125017, Dec. 2016, doi: 10.1088/2053-1591/3/12/125017.

[27] C.-J. Wang, S.-C. Shei, and S.-J. Chang, "Synthesis and characterization of CZTSe nanoinks using polyetheramine as solvent," *Opt. Mater. Express, Vol. 4, Issue 8, pp. 1593-1600*, vol. 4, no. 8, pp. 1593–1600, Aug. 2014, doi: 10.1364/OME.4.001593.

[28] R. B. V. Chalapathy, S. Das, J.-S. Ma, J.-C. Sung, and C.-H. Lu, "Characterization of Cu2ZnSnSe4 (CZTSe) nanoparticles synthesized via solvothermal method for solar cell applications," *J. Mater. Sci. Mater. Electron. 2015 2610*, vol. 26, no. 10, pp. 7673–7682, Jul. 2015, doi: 10.1007/S10854-015-3408-2.

[29] S. A. Vanalakar, G. L. Agawane, · A S Kamble, · P S Patil, and · J H Kim, "The green hydrothermal synthesis of nanostructured Cu 2 ZnSnSe 4 as solar cell material and study of their structural, optical and morphological properties," vol. 123, p. 782, 2017, doi: 10.1007/s00339-017-1407-2.

[30] X. Zhang, E. Fu, Y. Wang, and C. Zhang, "Fabrication of Cu2ZnSnS4 (CZTS) nanoparticle inks for growth of CZTS films for solar cells," *Nanomaterials*, vol. 9, no. 3, pp. 1–10, 2019, doi: 10.3390/nano9030336.

[31] B. A. Al Jahdaly *et al.*, "Selenium nanoparticles synthesized using an eco-friendly method: dye decolorization from aqueous solutions, cell viability, antioxidant, and antibacterial effectiveness," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 11, pp. 85–97, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.JMRT.2020.12.098.

[32] S. Tripathi, G. K. Mehrotra, and P. K. Dutta, "Physicochemical and bioactivity of cross-linked chitosan-PVA film for food packaging applications," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 45, no. 4, pp. 372–376, 2009, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2009.07.006.

[33] M. Koosha, D. Sadeghi, A. Solouk, S. Bagheri, S. Ghalei, and H. Mirzadeh, "Chitosan/gum tragacanth/PVA hybrid nanofibrous scaffold for tissue engineering applications," *Bioinspired, Biomim. Nanobiomaterials*, vol. 9, no. 1, pp. 16–23, Nov. 2019, doi: 10.1680/jbibn.18.00028.

[34] A. K. Thompson, C. Hackett, T. L. Grady, S. Enyinnia, Q. C. Moore, and F. M. Nave, "Development and characterization of membranes with PVA containing silver particles: A study of the addition and stability," *Polymers (Basel).*, vol. 12, no. 9, 2020, doi: 10.3390/POLYM12091937.

[35] L. Gharibshahi, E. Saion, E. Gharibshahi, A. H. Shaari, and K. A. Matori, "Structural and optical properties of ag nanoparticles synthesized by thermal treatment method," *Materials (Basel).*, vol. 10, no. 4, p. 402, 2017, doi: 10.3390/ma10040402.

[36] G. Sun, Y. I. Shen, and J. W. Harmon, "Engineering Pro-Regenerative Hydrogels for Scarless Wound Healing," *Adv. Healthc. Mater.*, vol. 7, no. 14, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1002/adhm.201800016.

[37] R. Eivazzadeh-Keihan *et al.*, "Alginate hydrogel-polyvinyl alcohol/silk fibroin/magnesium hydroxide nanorods: A novel scaffold with biological and antibacterial activity and improved mechanical properties," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 162, pp. 1959–1971, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.08.090.

[38] H. Liu, E. B. Slamovich, and T. J. Webster, "Less harmful acidic degradation of poly (lactic-co-glycolic acid) bone tissue engineering scaffolds through titania nanoparticle addition," *Int. J. Nanomedicine*, vol. 1, no. 4, p. 541, 2006.

[39] M. Rasoulianboroujeni *et al.*, "Development of 3D-printed PLGA/TiO 2 nanocomposite scaffolds for bone tissue engineering applications," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 96, no. December 2017, pp. 105–113, 2019, doi: 10.1016/j.msec.2018.10.077.

[40] W. C. Lin and N. A. M. Razali, "Temporary Wettability Tuning of PCL/PDMS Micro Pattern Using the Plasma Treatments," *Mater. 2019, Vol. 12, Page 644*, vol. 12, no. 4, p. 644, Feb. 2019, doi: 10.3390/MA12040644.

Presentation ID / Sunum No= 21

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID:

İ. Uzun: 0000-0001-9725-2009
S.Salihoğulları : 0000-0002-4923-281X
S. Sözeri: 0000-0003-3052-6495
E. K. Özyurt: 0000-0003-1156-5931
D. Durak: 0000-0003-2417-1763

Savunma Amaçlı Balistik Koruyucu Malzemeler ve Sayısal Bir Analiz

İbrahim UZUN[1], Dilek DURAK[2], Selen SALİHOĞULLARI[2], Serhat SÖZERİ[2], Erdoğan Koray ÖZYURT[2]

[1]Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Bölümü, uzun@kku.edu.tr
[2]TG Savunma Sanayi ve Elektronik Tic. Ltd. Şti. , selensalihogullari@tgsavunma.com

Özet

Silah teknolojisinin gelişimi ile birlikte, savunma amaçlı zırh teknolojisi de gelişmiştir. Balistik koruyucu zırhlar genelde sert ve yumuşak malzemeler olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir. Bu malzemeler tek başına bir katman olarak kullanılabildiği gibi, birden farklı katman ve birden farklı malzemeden oluşan kompozitler şeklinde de kullanılabilmektedir. Bu çalışmada yumuşak balistik malzemeler olarak bilinen Aramid, Para ARAMİD, HMWPE, PBD, PPID kumaşların özellikleri üzerine çalışılmıştır. Bu kumaşların fiziksel özellikleri, basınç ve çekme dayanımı, yoğunluk, ısıl iletkenlik ve sıcaklığa karşı davranışı tablo ve grafiklerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu malzemelerin yekpare veya kompozit kullanımları durumunda, koruma seviyeleri hakkında yapılan çalışmaların özet bilgileri verilmiştir. Bu çalışmalar teorik modeller olarak bilinen Woodward, Thompson, Lambert, Madhu, Gupta modelleridir. Bu çalışmada sayısal bir uygulama yapılarak, NIJ0101.06 (Ballistic Resistance of Body Armor) standardına göre farklı zırh tipleri(II, IIA ve IIIA) için analizler gerçekleştirilmiştir. Bu sayısal analizler, Kevlar® 29 lifli zırh tanımlanarak yapılmıştır. Analizler sonunda mühimmat ve hedef üzerindeki deformasyon değerleri, grafik ve görsellerle verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Balistik, Kompozit, Balistik Malzemeler, Sayısal Balistik Analiz

Defense Ballistic Protective Materials and a Numerical Analysis

Abstract

Development of weapon technology provide the development of defense armor technology. Ballistic protective armors are generally seperated in two groups as hard and soft. These materials can be used as a single layer or as composites consisting of more than one layer and more than one different material. In this study, Aramid, Para-Aramid, HMWPE, PBO, PPID fabrics known as soft ballistic materials were searched. The physical properties of these fabrics, pressure and tensile strength, density, thermal conductivity and behavior against temperature are given in comparison with tables and graphics.

When these materials are used as monolithic or composite, the summary information is provided for the studies conducted on defense levels. Woodward, Thompson, Lambert, Madhu and Gupta Models are known as theoretical models. In this study, a numerical application was made and analyzes were carried out for different armor types (II, IIA and IIIA) according to NIJ0101.06 (Ballistic Resistance of Body Armor). These numerical analyzes were made Kevlar® 29 fiber armor. At the end of the analyzes, ammunition and deformation values on the target are given with graphics and visuals.

Keywords: Ballistic, Composite, Ballistic Materials, Numerical Ballistic Analysis

1. GİRİŞ

Silah mühimmat tehditlerine karşı, kişisel koruyucu zırhlar önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Kişisel koruyucu malzemeler silahların ve mühimmatların gelişimi ile paralel olarak ilerlemiştir. Zamanla bu koruyucular, yumuşak tekstil esaslı, sert seramik ve kompozit malzemelerden oluşacak şekilde koruma seviyeleri artırılmıştır. Balistik koruyucular olarak da bilinen bu koruyucular ağırlıkları nedeniyle kişilerin taşıma ve hareket kabiliyetlerini sınırlandırmaktadır. Bu yüzden zırh üretiminde ağır olan metal ve türevlerinin yerini yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip liflerden oluşan kumaşlar (Aramid, Para-aramid, HMWE, PBO, PPID) almaya başlamıştır [1].

İşlevsel Derecelendirilmiş Malzemeler (İDM) kullanılarak malzemelerin dayanımları artırılmıştır. Bu malzemelerin ana yapı oranı değiştirilerek, tek bir yapı içerisinde farklı mekanik özelliklere sahip bölgeler ya da katmanlar oluşturulmaya çalışılmıştır[2]. Gözenekli malzemeler kullanılarak yapılan zırh çalışmalarında, enerji sönümlenmesi yüksek malzemeler tasarımlanmıştır. Buna benzer çalışmalarla seramiklerin tokluk değerlerini yükseltmek için elyaf katkılı, seramik esaslı kompozitler üzerinde de çalışmalar yapılmıştır[3, 4].

Yumuşak zırhlara ait ilk örnek, ipekten yapılmış zırh kullanan Ortaçağ Japonlarına aittir. 19.yy'ın sonlarına doğru ordu, yumuşak zırhın kullanılabilirliğini keşfetmiştir. Bu tür zırhlar düşük hızlı mermilere karşı koruma sağlayabiliyorken; yeni kuşak silahlara karşı güvenli bir koruma sağlayamamaktadırlar. 1931 yılında polis çalışanları için vücut zırhı geliştirilmiştir. Bu giysilerde naylon lifleri kullanılmış ancak ağır, kullanışsız ve etkisiz olduğu gözlemlenmiştir. 1960'lı yıllarda NIJ (National Institute of Justice) tarafından polislerin giyebileceği hafif ağırlıklı vücut zırhı üretebilmek amacıyla, araştırmalar başlatılmıştır. 1960'ın sonlarına doğru yeni liflerin gelişimiyle birlikte, gizlenebilir vücut zırhlarının kullanımı araştırılmıştır.

1970 yılında, DuPont firması tarafından üretilen Kevlar® esaslı kurşungeçirmez yelek, balistik korumada büyük ilerleme kaydetmiştir. 1971 ve 1976 yılları arasında, vücut zırhı gelişimi için NIJ tarafından dört ayrı bölümden oluşan yatırım yapılmıştır. Araştırmanın birinci bölümünü, Kevların® mermiyi tutup tutamayacağının test edilmesi oluşturmaktadır. İkinci bölüm, farklı çap ve hızdaki mermilerin nüfuzunun engellenmesi için gerekli olan katman sayısının analizini kapsamaktadır. Tıbbi testler ise araştırmanın üçüncü bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölümde, hayati tehlikeyi ortadan kaldıracak vücut zırhı seviyesinin araştırılması yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise vücut zırhının giyilebilirliği, konforu ve etkinliği ele alınmıştır.

1997 yılında, Wang ve Chou, tabakalı kompozitlerin zırh olarak kullanımındaki davranışlarını incelemişlerdir. Bu incelemede cam fiber destekli levhaların darbe altındaki direnç ve davranışları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Fiber kullanılarak üretilen kompozitlerin tek başına kullanılmaması gerektiğini vurgulamışlardır. Böyle durumlarda, ilk çarpışma yüzeyine, sert seramik tabaka ve sert koruyucu plakalar konulması gerektiği tespit edilmiştir. Yüksek ve düşük hızda çarpma test sonuçlarında enerji absorbsiyonunun, yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir[5].

Taşdemirci 2012, seramik kompozit zırhlarda balistik performansı deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Farklı ara katman malzemesi kullanılarak yapılan çalışmalarda, ara katman malzemesinin değişmesinin, gerilme dalgasının yayılımı üzerine etkili olduğu görülmüştür[6].

Malzemelerin balistik koruyuculukları bilindiği üzere geçerli standartlarla tanımlanmış mühimmat, mesafe ve atış sayıları ile belirlenmektedir. Bu çalışmada, yumuşak balistik koruyucular

olarak bilinen malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri kısaca karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. NIJ01.01.06 standardı çerçevesinde tanımlı hız ve mühimmatlar kullanılarak Kevlar® 29 malzemesine atış yapılarak dinamik teste tabi tutulmuştur. Farklı lif sayılarında ve buna karşılık gelen kalınlıklarda sayısal çalışma tekrarlanarak deformasyon ve malzemenin koruyuculuğu analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırmalı olarak tablo ve grafiklerle sunulmuştur.

2. YUMUŞAK BALİSTİK MALZEMELER

Yumuşak zırhlara ait ilk örnekler ipekten yapılmış zırhlar olarak 19. Yüzyılın sonlarına doğru, ordularda kullanılmaya başlamıştır. Bu tür yeni geliştirilen zırhlar düşük hızdaki mühimmatlara karşı koruma sağlamıştır. 20. yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren ise koruma seviyesi yüksek yumuşak zırhlar geliştirilmeye başlamıştır. Zırhların gelişimi ile birlikte Amerikan NIJ (National Institute of Justice) tarafından araştırmalar başlatılmıştır. Geliştirilen Kevlar® esaslı kurşungeçirmez yelek olarak tanımlanan malzeme, balistik korumada büyük ilerleme sağlamıştır. Araştırmaların özünde; geliştirilen yumuşak balistik kumaşların mermiyi tutup tutmayacağı veya hangi mermileri tutacağı ön plana çıkarılmış; etkisi yüksek mermiler için katman sayısının asgari ne kadar olası gerektiği üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Balistik korumanın anlamı, bir mermiden transfer edilen enerjinin oluşturduğu etkilerin azaltılması prensibidir. Bu nedenle yumuşak vücut zırhı araştırmalarının temel amacı; maliyeti düşük, hafif, mukavemeti yüksek malzemeler kullanabilmektir. Poliamid lifler, Aramid (Kevlar®) ve yüksek yoğunluklu polietilen (Spectra®) balistik korumada kullanılan malzemelerdir. Bunun yanı sıra Vectran® lifleri, PBO lifleri, karbon nano tüpler, örümcek ipeği lifleri, karbon, cam ve seramik lifleri, polyester ve polipropilen lifleri kompozit panellerin bileşenleri olarak günümüzde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin balistik korumada, liflerin çarpma enerjisini yayma hızları ve balistik koruma kapasitesi aşağıdaki eşitliklerle verilmektedir.

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \tag{1}$$

$$W = \frac{\sigma.\varepsilon}{2} \tag{2}$$

Balistik Koruma Kapasitesi (BKK);

$$BKK = \sqrt{(W * Vson)} \tag{3}$$

Burada [V] hız (m/s), [ρ] birim uzunluktaki yoğunluk(g/m), [E] elastisite modülü, [μ] yoğunluk(kg/m^3), [F] darbe kuvvetini (N), [σ] kopma mukavemetini (N) ve [ε] kopma uzaması (%) değerlerini göstermektedir.

Tablo 1. Balistik koruma amaçlı bazı lif gruplarının özellikleri. [7]

Kumaş	**Mukavemet(□)**	**Elastisite** Modülü(E)	**Kopma Uzaması(□)** %
Aramid	2.8 - 3.2	60 – 115	1.5 – 4.5
UHMWPE	2.8 – 4	90 – 140	2.9 – 3.8
LCP	2.8	65	3.3
PBO	5.5	280	2.5
M5	4	330	1.2
Cam Lifi	4.65	87	5.4

2.1. Aramid Lifler

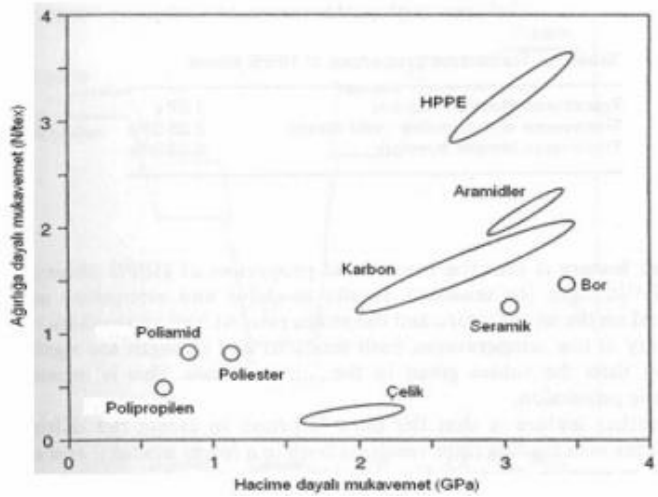
Aramid lifler yüksek sıcaklıklarda etkili olan savunma ve havacılıkta yoğun olarak kullanılan sentetik liflerdendir. Bu malzemenin isminin "aromatik " ve "poliamid " kelimelerinin birleşimden oluştuğu bilinmektedir. Aromatik poliamidler ilk olarak 1960'ların başında ticari uygulamalarda DuPont tarafından HT1 olarak ve daha sonra Nomex® ticari adı altında üretilen bir meta-aramid lifi olarak tanıtılmıştır. Tekstil ürünlerine benzer şekilde işlenen bu lifler, normal şartlarda ısıya karşı yüksek direnci (600 –800°C) ile karakterize edilmektedir. Bu liflerin kimyasal yapıları rijit çubuk görünümünde olup; camlaşma sıcaklıkları çok yüksek, çözünürlükleri ve sıkıştırma mukavemetleri ise düşüktür. Çekme yükü altında güçlü kovalent bağları etkinken, basınç altında zayıf hidrojen ve Van Der Waals bağları devrededir[8]. Basınç kuvvetlerinin bulunduğu durumlarda aramidler tavsiye edilmez. Bunun yanı sıra yorulma dayanımları ve titreşim sönümleme özellikleri oldukça iyidir[9]. Para-aramid lif çeşitlerinden Kevlar® ise, yüksek mukavemet değerlerine sahip olmakla birlikte, yüksek sıcaklığa dayanabilen sert bir elyaf olarak sınıflandırılmaktadır[10].

Tablo 2. Para-aramid Kevlar® 29 lifinin fiziksel özellikleri

Para-aramid Kevlar® 29	**Değer**
Yoğunluk	1.45 (g/cm^3)
Young Modülü	130 (GPa)
Çekme Modülü	1100(g/denye)
Çekme Dayanımı	3.6(GPa)
Elektriksel Dayanıklılık	1015 (mohm-m)
Isıl İletkenlik	0.04-0.08 (W/mK)
Erime Noktası	460 °C
Basınç Dayanımı	393 MPa

2.2. Yüksek Moleküler Ağırlıklı Polietilenler

HMWPE(Ultra High Moleculer Weight Polythene) olarak da adlandırılan bu lifler, piyasada Spectra® ve Dyneema® isimleriyle bilinir. Yüksek moleküler ağırlıklı polietilenler 1 g/cm³ 'den daha küçük (ortalama 0,97 g/cm³) yoğunluklarıyla zırh sanayinde kullanılan en hafif malzemelerdir. Molekül ağırlığına oranla çelikte 15 kat, Kevlar®dan ise %40 daha güçlüdür. Aşınma dayanımı ise, yüksek karbonlu çelikten daha yüksektir [11].



Grafik 1. Ağırlığa ve hacime dayalı mukavemet

2.3. PBO (Polybenzobisoxazole) Lifler

PBO (Polybenzobisoxazole), değişik halkalı aromatik yapılar içeren polybenzazoles türlerinden biridir. 1980'li yıllarda Amerika Hava Kuvvetlerinin aramid liflerden daha dayanıklı malzeme üretme çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. PBO liflerinin genel özellikleri; yüksek bozulma sıcaklığı, yüksek aşınma direnci, düşük nem direnci, yüksek sürtünme direnci ve düşük ultraviyole

direnci olarak sıralanabilir. UV ışınlarına maruz kalan PBO liflerinin çekme direnci değerlerinde önemli düşüşler görülmektedir. Tablo 3.'de özellikleri verilen lifler Toyobo firmasınca üretilen PBO liflerindendir.

Tablo 3. PBO liflerinin özellikleri

Malzeme	Dayanım, GPa	Modül, GPa	Kopma Uzaması, %	Yoğunluk, g/m^3	Hidroskopik Nem, %	Sıcaklık Dayanımı, °C
Zylon AS	5,8	180	3,5	1,54	2	650
Zylon HM	5,8	270	2,5	1,56	0,6	650

2.4. PPID (Polypyridobisimidazole) Lifler

Akzo Nobel tarafından geliştirilen ve M5 olarak bilinen PPID (Polypyridobisimidazole) lif grubu, yüksek balistik performansa sahiptir. PPID lifleri, PBO lifleri gibi son zamanlarda yaygın olarak kullanılan yüksek çekme gerilmesi, yüksek elastisite modülü ve yüksek elektriksel iletkenliğe sahip lif grubudur. PPID lifleri üzerine son zamanlarda yapılan çalışma sayısında artışlar görülmektedir. Özellikle 2000'li yıllardan sonra yapılan çalışmaların sonucunda kumaş, kâğıt ve yangın geciktirici özellikleri ile ilgili alınmış birçok patent çalışması mevcuttur.

2.5. LCP Lifler

Likit kristal polimerler olarak bilinen bu lifler; uygun sıcaklık, basınç ve konsantrasyonda sıvı kristal mezofaz olarak bulunabilen polimerik malzemedir. Bu lifler, yüksek solvent direnci, yüksek mekanik dayanımı ve alev geciktirici özelliklerine sahiptir.

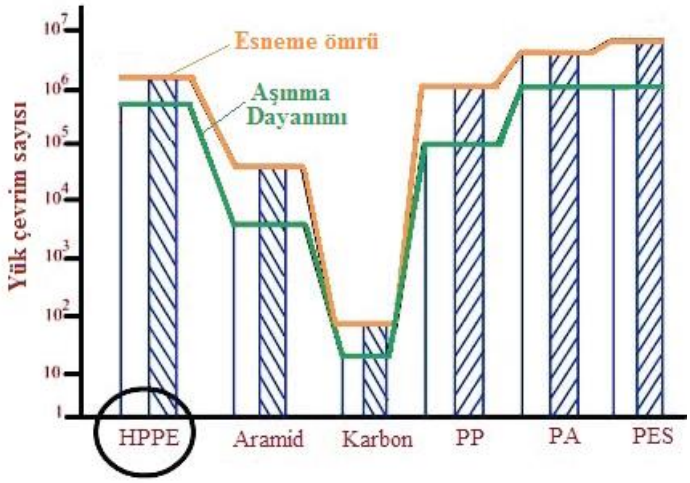
2.6. Cam Lifleri

Cam liflerinin en büyük özelliği, yüksek ağırlık ve yüksek alev dayanımına sahip olmasıdır. Bu nedenle sıcaklık dayanımı gerektiren endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar.

3. BALİSTİK MALZEMELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

3.1. Yorulma Dayanımı

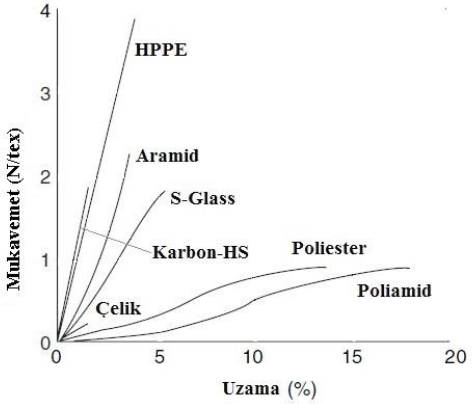
Yüksek performanslı lifler için yorulma dayanımı oldukça önem taşıyan bir özelliktir. Yüksek statik mukavemete sahip oldukları gibi, yüksek çekme ve eğilme yorulmalarına da sahiptirler. Yüksek performanslı polietilen (HPPE) lifleri; yüksek elastisite modülüne sahip olmalarına rağmen aynı zamanda esnektir. Ve uzun bir esneklik ömrüne sahiptir[12,13].



Şekil 1. Çeşitli liflerin aşınma dayanımları ve esneme ömürleri [12]

3.2. Mukavemet Özellikleri

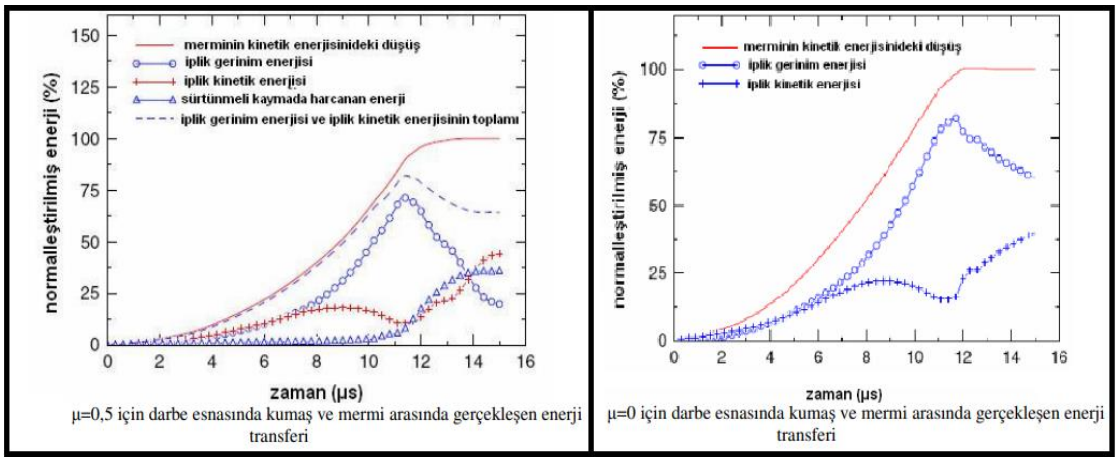
Yüksek performanslı polietilen liflerinin yoğunluğu 0,97-0,98 g/cm3 civarındadır[14]. Yüksek performanslı polietilen liflerinin, yüksek mukavemet ve yüksek elastisite modülü gibi özellikleri vardır. Mukavemet ve elastisite modül değerleri çok yüksek olan bu liflerin yoğunluğunun 1g/cm^3'den düşük olması, özgül mukavemetini ve özgül modülünün yüksek olmasını sağlamaktadır. Mukavemetleri çelikten 10-15 kat fazla olabilen bu malzemenin, kopma mukavemet değerleri de 2.7–4 GPa aralığındadır [15]. Kopma anındaki uzaması diğer yüksek performanslı lifler ile karşılaştırıldığında düşük olsa da, kopma anında uygulanması gereken enerji ve mukavemet oldukça yüksektir[16]. Düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet kombinasyonu, yüksek performanslı polietilen liflerinin üstün özelliklere sahip olmasını sağlamıştır [17].



Grafik 2. Yüksek performanslı polietilen (HPPE), Aramid, S-Glass, Karbon-HS (Yüksek mukavemet), Poliester, Poliamid liflerinin ve çeliğin Mukavemet-Uzama eğrileri

3.3. Sürtünme Özellikleri

Koruyucu liflerde, darbe esnasındaki sürtünme, malzeme direncini etkiler ve enerji sönümlemesinde etkilidir. Sönümlemede hem mühimmatın kumaşla olan sürtünmesi hem de liflerin birbirleri arasındaki sürtünmeleri, enerji sönümlenmesinde önemlidir. Hatta liflerin reçine ile birlikte kullanımında balistik performansın artırılabileceği üzerine çalışmalar yapılmıştır[18,19]. Brisco, Bazhenov ve Duan, yüzeyde etkili aktif madde katkısı, su içerisinde balistik testler ve sürtünme katsayısı tanımlı çalışmalar gerçekleştirilerek; malzemelerin sürtünme katsayıları ve malzemeler üzerinde sürtünme etkisi sağlayan bileşenler üzerine çalışmıştır. Şekil 3.'de enerji geçişlerine ait bir çalışmanın sonuçları gösterilmektedir [20-21]. Sürtünme katsayısının artması ile bütün enerji seviyelerinde bir azalmanın beklenildiği görülmektedir [22].



µ=0,5 için darbe esnasında kumaş ve mermi arasında gerçekleşen enerji transferi

µ=0 için darbe esnasında kumaş ve mermi arasında gerçekleşen enerji transferi

Şekil 2. Darbe esnasında kumaş ve mermi arasında gerçekleşen enerji transferi

4. BALİSTİK KORUMAYA AİT TEORİK MODELLER

Bütüncül zırhların koruyucu olarak kullanımlarında bilindiği üzere belirli standartlar (TS EN, NIJ, STANAG) ve seviyeler için tanımlamalar bulunmaktadır ve birbirinden farklı 6 adet model kullanılmaktadır. Bu modellerden ilki; enerji ve momentum yöntemlerine bağlı olarak balistik koruma sağlanacak koruyucu zırh malzemesinin kalınlığının belirlenmesi ve merminin bağıl hızının bulunmasını amaçlamaktadır [23]. Bir diğer model ise hasar şekillerinin sınıflandırılması şeklindedir. Bahsi geçen iki alanda da, ilk çalışmaları Woodward yapmıştır ve diğer araştırmacılar için yol gösterici olmuştur. Bu nedenle literatürdeki hemen hemen her çalışma Woodward'ın modelini ve çalışmalarını temel almaktadır. Birçok araştırmacı bu temel nitelikteki model üzerinde çalışmalar yapmış ve balistik koruma sınırlarını etkileyen farklı etmenleri de göz önünde bulundurarak yeni modeller ortaya çıkarmışlardır. Sonradan ortaya çıkarılan yeni modeller içerisinde yer alan Thompson modeli, deneysel sonuçlarla en iyi uyuma sahip modeldir. Diğer modeller ise Lambert Modeli, Madhu Modeli, Gupta Modeli, Ubeyli ve Demir Modeli şeklinde sıralanabilir[24]. Kullanılan matematiksel modeller aşağıda yer almaktadır:

Woodward:

$$\frac{1}{2} m V_0^2 = \pi D^2 \sigma_0 h/2 \tag{4}$$

Thompson:

$$V_r^2 = V_0^2 - \frac{4\pi r_p^2 h_0}{m_p}\left[\frac{\sigma_y}{2} + \frac{V_0^2}{3}\right] \tag{5}$$

$$E_c = \pi r_p^2 h_0 \left(0{,}5\sigma_y + A\rho\left(\frac{V_0 r_p}{L_n}\right)^2\right) \tag{6}$$

Lambert:

$$V_r = 0, \qquad 0 \le V_0 \le V_{BL} \tag{7}$$

$$V_r = \alpha\left(V_i^p - V_{BL}^p\right)^{1/p}, \qquad V_i > V_{BL} \tag{8}$$

$$\alpha = \frac{m_p}{m_p + M'/3}; \quad p = 2 + \frac{z}{3}; \quad z = \frac{t}{D}\sec^{0,75}\theta \tag{9}$$

Madhu:

$$V_r = V_0 - Kt^2 \tag{10}$$

Ubeyli ve Demir:

$$T = \frac{\left(\frac{1}{2} m_p V_0^2\right)/36}{\pi\, r_p^2 \left(0{,}5\sigma_ç + A\rho\left(\frac{V_0 r_p}{L_n}\right)^2\right)} \tag{11}$$

5. SAYISAL ÇALIŞMA ve SONUÇLAR

Sayısal çalışmada, yumuşak zırhlarda yaygın olarak kullanılan Kevlar® 29 malzemesinin farklı kalınlıklarda NIJ (National Institute of Justice) standartlarından olan NIJ0101.06 (Ballistic Resistance of Body Armor) Vücut Zırhının Balistik Direnci tanımlamaları kullanılarak analizler yapılmıştır. Tablo 2.'de gösterilen Para-Aramid liflerden olan Kevlar® 29 malzemesinin, teknik özellikleri kullanılmıştır. Çalışmada, standart kapsamda tanımlanmış olan Zırh Tipi-IIA, II ve IIIA için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlere ilişkin hız ve mühimmat bilgileri Tablo 4'de gösterilmiştir.

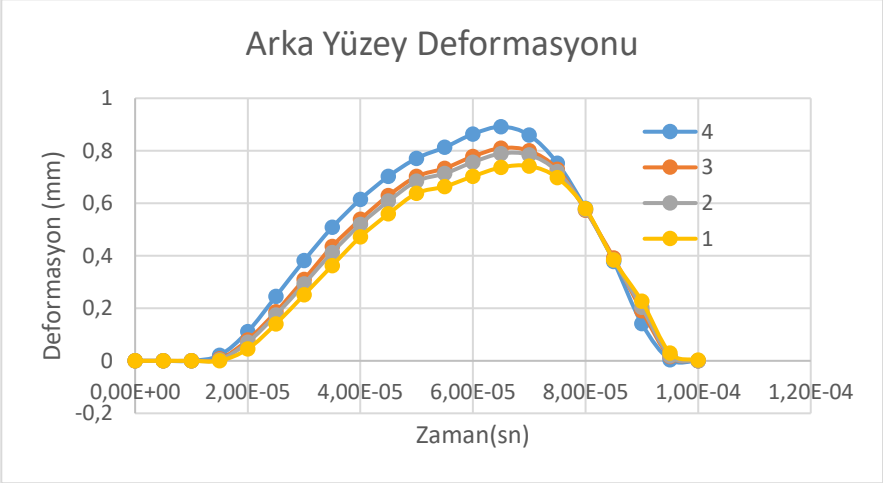
Tablo 4. Analizde tanımlanan mühimmat ve hız değerleri.

Zırh Tipi	Test Mühimmatı (mm)	Nominal Mermi Kütlesi	Maksimum BFS Derinliği, mm	Test Hızı, m/s
IIA	9 mm	8,0	44	373
II	9 mm	8,0	44	398
II	0.357 Magnum	10,2	44	408
IIIA	0,357 SIG	8,1	44	448

Daha önce deneysel çalışması gerçekleştirilmiş kaynak dikkate alınarak; aynı şartlarda sayısal analiz yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Kevlar® liflerinde 25 kat reçine emdirilmiş ve kalınlığı 11,8 mm olan numune üzerinde çalışılmıştır [25].

Tablo 5. Sayısal ve deneysel çalışma sonuçları

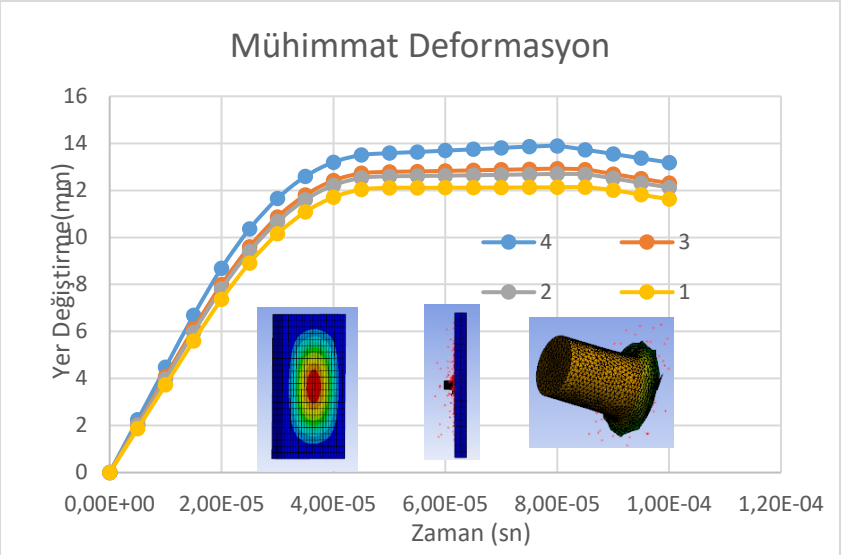
Sıra No	Hız*, m/s	Çöküntü, mm		Sonuç
		Dış	Mermi	
1	373	0,7366	12,130	Başarılı
2	398	0,7896	12,697	Başarılı
3	408	0,81013	12,923	Başarılı
4	448	0,89137	13,885	Başarılı
* Bu hızlar NIJ0101.06 Zırh Tipi IIA ve II için belirlenen				



Şekil 3. Kevlar® 29 için 9x19mm mühimmat kullanımında Arka Destek Malzemesi Deformasyon değerleri(1=373, 2=398, 3=408 ve 4=448 m/s).

Bu çalışmada, zırh malzemesini temsilen düşünülen parçanın arka yüzeyinde standartlar gereği bulunması gereken destek malzemesinin (roma kili vb.) azami deformasyon değerlerine (44mm) ulaşıp ulaşmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Yüksek mukavemete sahip Kevlar® 29 malzemesi, standart kompozit malzemelerle kıyaslandığında, (örneğin SiC vb.) deformasyon değerlerinin düşük çıkması beklenen bir durumdur. Farklı hızlar için yapılan sayısal analiz değeri Şekil 3.'de verilmiştir. Şekil 3.'deki hız değerleri NIJ0101.06 standardı zırh türlerine göre belirlenen hızlardır. Atış

simülasyonlarında 9x19 mm mühimmatın çekirdeği temsilen kullanılmıştır. Zırh malzemesindeki deformasyon yanında çekirdek üzerinde de deformasyon oluşmuştur. Bu deformasyon değerlerinin malzeme yüzeyindeki deformasyon değerlerinden yüksek çıkması, çekirdek malzemesi ve zırh malzemesinin mekanik özellik farklarından kaynaklanmaktadır.

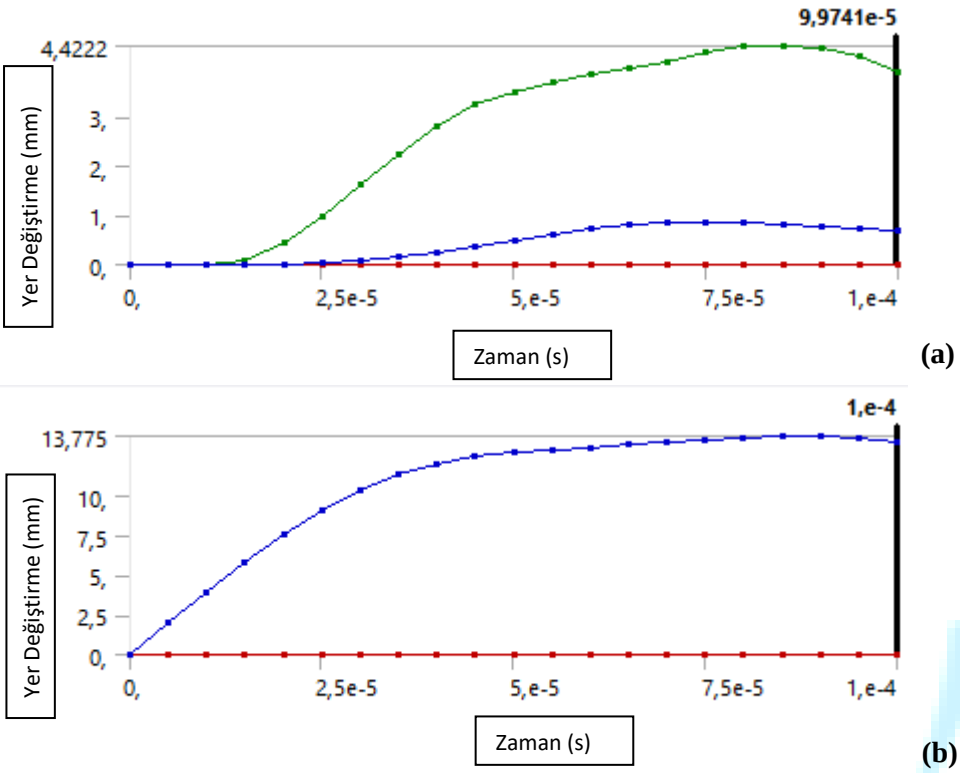


Şekil 4. Kevlar® 29 için 9x19 mm mühimmat kullanımında Mühimmatın Deformasyon değerleri (1=373, 2=398, 3=408 ve 4=448 m/s).

Tablo 6. Parça Kalınlığı 6 mm ve 4 mm için Sayısal Sonuçlar

Sıra No	Parça Kalınlığı	Hız*, m/s	Çöküntü, mm		Sonuç
			Dış Yüzey	Mermi	
1	6 mm	373	1,7732	10,518	Başarılı
2		398	1,8767	10,913	Başarılı
3		408	1,9559	11,230	Başarılı
4		448	2,194	12,018	Başarılı
5	4 mm	373	3,2683	12,04	Başarılı
6		398	3,5728	12,504	Başarılı
7		408	3,7542	12,776	Başarılı
8		448	4,422	13,775	Başarılı
* Bu hızlar NIJ0101.06 Zırh Tipi IIA ve II için belirlenen hızlardır.					

Analizde, aynı zırh malzemesi, Kevlar® 29 için kalınlık değerleri değiştirilerek aynı hızlarda tekrarlanmıştır. Kalınlıklar 4 mm ve 6 mm için yapılmış olup zırh malzemesi ve çekirdek üzerindeki çöküntü değerleri Tablo 6.'da verilmiştir. Malzeme kalınlıkları düşürüldüğünde, beklenildiği şekilde deformasyon değerlerinde artma görülmüştür. Ancak bu kalınlıklarda da malzeme deformasyon değerlerinin, sınır değer olan 44 mm'nin altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu durum zırh malzemesinin kopma uzaması veya çekme uzaması değerleriyle ilgilidir. Şekil 5.'de 4 mm kalınlık durumundaki toplam deformasyon değeri ve bu değerlerin zamanla değişimleri verilmiştir.



Şekil 5. (a) Kevlar® 29 4mm kalınlıkta 448 m/s hız için parçanın çöküntü değerleri, (b) Kevlar® 29 4mm kalınlıkta 448 m/s hız için çekirdek çöküntü değerleri.

Çalışmada arka destek malzemesine temas eden yüzeylerdeki deformasyon değerleri ile 9x19mm mühimmatın çekirdek deformasyonları farklı hız değerlerinde analiz edilmiştir. Analizlerde zırh malzemesi olarak kullanılan malzeme, yanal yüzeylerden sabitlenmiş ve atış bu sınırlamalara göre yapılmıştır. Kullanılan zırh malzemesinin mukavemet değerinin yüksek (3600 MPa) ve kopma uzamasının birçok malzemeye göre düşük (%3,6) olması nedeniyle, deformasyon değerleri düşük çıkmıştır.

6. KAYNAKÇA

[1] Ceyhun V. , Turan M., 2003; Tabakalı kompozit malzemlerin darbe davranışı, Mühendis ve Makine, 516,1-11.

[2] Bertan SARIKAN, İşlevsel Derecelendirilmiş Bor Karbür Takviyeli AA7075 Esaslı Kompozitlerin 7.62 mm'lik Zırh Delici Mermiler Karşısındaki Balistik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2013.

[3] Temiz, S., (2005), Balistik Kumaú ve Test Yöntemleri Üzerine Bir Araştırrma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir

[4] Backman M.E. Goldsmith W., 1978; The mechanics of penetration of projectiles into targets, Internatıonal Journal of Engineering Science, 16,1-99.

[5] Wang B., Chou S., 1997; The behaviour of laminated composite plates as armor, Journal of Metarials Proccessing Technology, 68,279-287

[6] Taşdemirci A., Tunusoğlu G., Güden M., 2012 ; The effect of interlayer on the ballistic performance of ceramics/composite armors: Eperimental and numerical study, Internatıonal Journal of Impact Engineering 44,1-9.

[7] Jacobs, M. J., N.,Van Dingenen,J., L., J. 2001. Balistic Protection Mechanism in personal armour, DSM High Performance Fibers, Eisterweg 3, 6422 PN Heerlen, The Netherlands]

[8] Aramid/ Vikipedi (https://tr.m.wikipedia.org)

[9] A.B. Çelikkanat, Teknik Tekstiller, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Aralık 2002.

[10] Hongu,T. and Phillips,G.O.1993. New Fibers, Ellis Horwood , UK

[11] Aramid Lifleri/ Tekniktekstiller.com

[12] Hearle J.W. (2001). High-Performance Fibres, CRC Press, Cambridge.

[13] Scott R.A. (2005). Textiles for Protection, CRC Press, Cambridge.

[14] Bunsell A.R. (2009). Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres, Woodhead Publishing Limted, Cambridge

[15] Houcks M.M. (2009). Identification of Textile Fibers, Woodhead Publishing Limited, Oxford.

[16] Alagirusamy R., Das A. (2010). Technical Textile Yarns, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

[17] Wagner, N. J., Wetzel E.,D., Lee Y.S. 2003. The Ballistic impact characteristic of Kevlar® woven fabrics impregnated with a collaidal sehar thickening fluid. Journel of Materials science, p:285-283

[18] Wetzel, E. D., Lee Y.,S, Eges, R.G.,Kirkwood, K.M., Kirkwood, J.D., Wagner, N. J. The effect of Rheological Paramaters on the Ballistic Properties Shear Thickening Fluid – Kevlar® Composites. Numiform, Columbus. OH

[19] Briscoe, BJ, Motamedi, F. The ballistic impact characteristics of aramid fabrics: the influence of interface friction. Wear 1992; 158(1): 229–247.

[20] B. Parga-Landa, F.H.Olivares.1995. An Analytical model to predict impact behavior of soft armours. Int.J.Impact Engng, v:16, No:3, p:455-466

[21] Duan, Y, Keefe, M, Bogetti, TA. Modeling the role of friction during ballistic impact of a high-strength plain-weave fabric. Compos Struct 2005; 68(3): 331–337.

[22] Young S. Lee, Wetzel E.D. & Wagner N.J, The ballistic impact characteristics of Kevlar® woven fabrics impregnated with a colloidal shear thickening fluid, Journal of Material Science, 38, 2825-2833, 2003

[23] Çerkez İ., Kolloidal Silika Dispersyonunun Polietilen Kumaşların Balistik Performansına Etkisi, Uludağ Unv., Fen Bilileri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 2007

[24] T.Demir Metal Ve Katmanlı Zırh Malzemelerin 7,62mm'lik Zırh Delici Mermiler Karşısında Balistik Başarımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, 2008

[25] Selçuk Ulus, Balistik Koruyucu Kompozit Plakalarda Bazalt Fiber Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, 2018

Presentation ID / Sunum No= 33

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0003-4942-7729

Sıcaklık Stresine Dirençli Sığır Irkı Islah Etme Stratejileri İçin HSP90AA1 Geninin Ayrıntılı Değerlendirmesi

Öğr. Gör. Dr. Sertaç ATALAY[1]

[1]*Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı (NABİLTEM), TR-59000 Tekirdağ, TÜRKİYE*
satalay@nku.edu.tr

Özet

Sıcaklık stresi çiftlik hayvanlarının sağlığını ve verimini olumsuz yönde etkileyerek önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Özellikle yüksek verimli hayvanları olumsuz yönde etkileyen iklim değişikliği, dünya genelinde endişe yaratmaktadır. Tüm memelilerde, hücresel stresin tolere edilmesinde ısı şok proteinleri (HSP) önemli rol oynar. HSP90AA1 geninin kodladığı HSP90α proteini memelilerde en çok çalışılan HSP'lerden biridir. HSP90α, hedef proteinlerin olgunlaşmasını ve uygun 3 boyutlu yapıya ulaşmasını sağlayan moleküler şaperondur. HSP90AA1 geninin ekspresyonu veya proteinin fonksiyonunu etkiyecek polimorfizmler sıcaklık stresine duyarlılığa sebep olabilir. Bu çalışmada, sığır HSP90AA1 geni üzerinde bulunan ve sıcaklık stresi ile ilişkili olduğu rapor edilen polimorfizmler derlenmiştir. HSP90AA1 geni ve HSP90α proteini ayrıntılı olarak incelenmiştir. Artan çevre sıcaklıklarına dirençli sığır ırkı ıslah etme stratejileri için sıcaklık stresi ile ilişkili moleküler markerların belirlenmesi çok önemlidir. Moleküler marker destekli ıslah çalışmaları, adapte oldukları sıcaklıktan daha yüksek çevresel sıcaklıklarda gelişirken kalıtsal potansiyellerinin ifadesi koruyan sürüler yetiştirmek için hızlı gelişmeler sağlanmasına yardımcı olabilir.

Anahtar Kelimeler: HSP90AA1, HSP90α, HSP, Sığır, Sıcaklık Stresi

Detailed Evaluation of the HSP90AA1 Gene for Heat Stress Resistant Cattle Breeding Strategies

Abstract

Heat stress negatively affects the health and productivity of farm animals and causes significant economic losses. Climate change, which adversely affects especially high yielding animals, is a worldwide concern. Heat shock proteins (HSP) play an important role in coping with cellular stress in all mammals. The HSP90α protein encoded by the HSP90AA1 gene is one of the most studied HSPs in mammals. The HSP90α is a molecular chaperone that helps client proteins to mature and reach the appropriate 3D structure. Polymorphisms that affect the expression of the HSP90AA1 gene or the function of the protein may cause susceptibility to heat stress. In this study, polymorphisms on the bovine HSP90AA1 gene that were reported to be associated with heat stress were reviewed. The HSP90AA1 gene and HSP90α protein have been investigated in detail. Determination of molecular markers associated with heat stress is very important for breeding strategies of cattle resistant to elevated environmental temperatures. Molecular marker-assisted breeding can help make rapid progress on cattle

breeding that maintain expression of their hereditary potential while environmental temperatures higher than those to which they are adapted.

Keywords: HSP90AA1, HSP90α, HSP, Cattle, Heat Stress

1. GİRİŞ

Çiftlik hayvanları, termonötral bölge olarak adlandırılan optimum çevre sıcaklıklarında, minumum enerji harcayarak maksimum üretkenlik elde eder (Kadzere, Murphy, Silanikove, ve Maltz, 2002). Artan çevre sıcaklığı nedeniyle, vücut ısısının artması ve vücuttan atılan ısınının yetersiz kalması ile sıcaklık stresi meydana gelir (Bernabucci vd., 2010). Hayvansal ürünlerin kalitesini, verimini ve hayvan sağlığını olumsuz yönde etkileyen sıcaklık stresi, hayvancılık endüstrisinde ağır ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Daramola, Abioja, ve Onagbesan, 2012; Putri, Susilorini, Widodo, Kuswati, ve Suyadi, 2022; Sejian, Bhatta, Gaughan, Dunshea, ve Lacetera, 2018). Küresel ısınmanın etkisiyle her geçen yıl daha fazla hissedilir olan sıcaklık stresi, dünya genelinde endişe yaratmaktadır (Gujar, Mashering, Sodhi, Vivek, ve Mukesh, 2022; Zheng vd., 2022).

Tüm memelilerde, sıcaklık da dahil olmak üzere çeşitli stres faktörlerinin tolere edilmesinde, ısı şok proteinleri (HSP) önemli rol oynar (Archana vd., 2017). Stres durumunda ekspresyonu artan HSP'ler, yanlış katlanmış proteinlerin restore edilmesine ya da parçalanma yolağına yönlendirilmesine yardımcı olan moleküler şaperonlardır. Hücresel stres koşullarına adaptasyon sağlamada anahtar rol oynadıkları için, HSP'ler ile ilişkili çalışmalar hayvancılık endüstrisi için önemlidir (Habib, Saleh, Gheni, ve Karomy, 2021). Sıcaklık stresinin neden olduğu ekonomik kayıpların önüne geçecek stratejilerin geliştirilmesi için HSP'lerin dahil olduğu moleküler mekanizmaların tam olarak aydınlatılması hayati önem taşımaktadır.

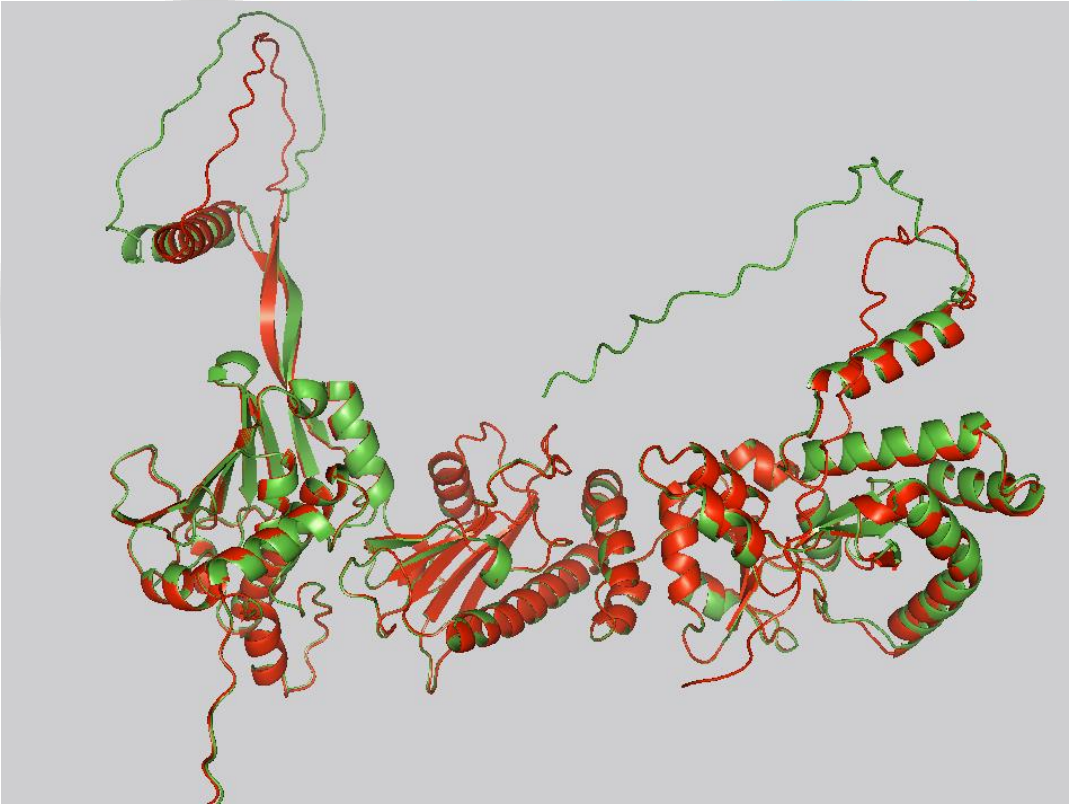
HSP ailelerinden bir olan, HSP90 gen ailesi 5 üyeden (HSP90AA1, HSP90AA2, HSP90AB1, HSP90B1, Trap1) oluşmaktadır. HSP90AA2 psödogen olduğu için asıl olarak 4 üyeye sahiptir. Bu dört üyeden ikisi sitozolde (HSP90AA1, HSP90AB1), biri mitokondride (Trap1) ve biri endoplazmik retikulumda (HSP90AA2) bulunur (Kampinga vd., 2009). Memelilerde en çok çalışılan HSP90 üyeleri HSP90AA1 (HSP90α) ve HSP90AB1 (HSP90β)'dir. Bu genlerin sığırlarda sıcaklık stresi ve verim özellikleri ile ilişkilerini araştıran birçok çalışma yapılmıştır (AL-Luhaibe ve Al-Azzawi, 2020; Badri vd., 2018; Kumar, Gupta, Verma, Verma, ve Vineeth, 2015; Shergojry, Ramesha, Mir, ve Aarif, 2014).

Sığır HSP90α ve HSP90β proteinlerinin amino asit sekansları yüksek oranda (%86.9) benzerdir (Şekil 1). Yaklaşık 500 milyon yıl önce gen duplikasyonu ile oluşmuşlardır (Gupta, 1995). Yapısal hizalama sonuçları, 3 boyutlu yapılarının da çok benzer olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Ancak, HSP90α proteininin ekspresyonu sıcaklık stresi durumunda artarken, HSP90β normal fizyolojik koşullar altında yapısal olarak eksprese edilmektedir ve farklı işlevlere sahiptirler. Özellikle 5' UTR ve 3' UTR nükleotid dizilerindeki farklılıklar transkripsiyonel ve posttranskripsiyonel regülasyonlarında farklılık yaratmaktadır (Sreedhar, Kalmár, Csermely, ve Shen, 2004). Yüksek sekans benzerliğine rağmen iki proteinin benzersiz işlevleri olmasının sebebi, amino asit dizilerindeki küçük farklılıklar ve posttranslasyonel modifikasyonlarındaki farklılıklardır (Zuehlke, Beebe, Neckers, ve Prince, 2015).

HSP90 ailesideki proteinler, N-terminal bölge, orta bölge ve C-terminal bölge olmak üzere 3 korunmuş bölgeye sahiptir. Temel olarak, N-terminal bölge ATP bağlanma bölgesi, orta bölge hedef proteinin bağlandığı bölge ve C-terminal bölge ise HSP90'ın homolog dimerizasyonunda rol oynayan bölgedir. Üç bölgeye de farklı yardımcı şaperonlar bağlanarak, proteinin işlevine yardımcı olurlar (Backe, Sager, Woodford, Makedon, ve Mollapour, 2020; Haase ve Fitze, 2016; Putri vd., 2022; Sreedhar vd., 2004).

```
                    10        20        30        40        50        60        70        80        90       100
            ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
HSP90AA1    MPEETQAQDQPMEEEEVETFAFQAEIAQLMSLIINTFYSNKEIFLRELISNSSDALDKIRYESLTDPSKLDSGKELHINLIPNKQDRTLTIVDTGIGMTK
HSP90AB1    MPEEVHHG-----EEEVETFAFQAEIAQLMSLIINTFYSNKEIFLRELISNASDALDKIRYESLTDPSKLDSGKELKIDIIPNPQERTLTLVDTGIGMTK

                   110       120       130       140       150       160       170       180       190       200
            ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
HSP90AA1    ADLINNLGTIAKSGTKAFMEALQAGADISMIGQFGVGFYSAYLVAEKVTVITKHNDDEQYAWESSAGGSFTVRTDTGEPMGRGTKVILHLKEDQTEYLEE
HSP90AB1    ADLVNNLGTIAKSGTKAFMEALQAGADISMIGQFGVGFYSAYLVAEKVVVITKHNDDEQYAWESSAGGSFTVRADHGEPIGRGTKVILHLKEDQTEYLEE

                   210       220       230       240       250       260       270       280       290       300
            ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
HSP90AA1    RRIKEIVKKHSQFIGYPITLFVEKERDKEVSDDEAEEKEDKEEEKEKEEKESDDKPEIEDVGSDEEEEEKKDGDKKKKKKIKEKYIDQEELNKTKPIWTR
HSP90AB1    RRVKEVVKKHSQFIGYPITLYLEKEREKEISDDEAEEEKG---EKEEEDKDDEEKPKIEDVGSDEEDDSGKD-KKKKTKKIKEKYIDQEELNKTKPIWTR

                   310       320       330       340       350       360       370       380       390       400
            ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
HSP90AA1    NPDDITNEEYGEFYKSLTNDWEDHLAVKHFSVEGQLEFRALLFVPRRAPFDLFENRKKKNNIKLYVRRVFIMDNCEELIPEYLNFIRGVVDSEDLPLNIS
HSP90AB1    NPDDITQEEYGEFYKSLTNDWEDHLAVKHFSVEGQLEFRALLFIPRRAPFDLFENKKKKNNIKLYVRRVFIMDSCDELIPEYLNFIRGVVDSEDLPLNIS

                   410       420       430       440       450       460       470       480       490       500
            ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
HSP90AA1    REMLQQSKILKVIRKNLVKKCLELFTELAEDKENYKKFYEQFSKNIKLGIHEDSQNRKKLSELLRYYTSASGDEMVSLKDYCTRMKENQKHIYYITGETK
HSP90AB1    REMLQQSKILKVIRKNIVKKCLELFSELAEDKENYKKFYEAFSKNLKLGIHEDSTNRRRLSELLRYHTSQSGDEMTSLSEYVSRMKETQKSIYYITGESK

                   510       520       530       540       550       560       570       580       590       600
            ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
HSP90AA1    DQVANSAFVERLRKHGLEVIYMIEPIDEYCVQQLKEFEGKTLVSVTKEGLELPEDEEEKKKQEEKKTKFENLCKIMKDILEKKVEKVVVSNRLVTSPCCI
HSP90AB1    EQVANSAFVERVRKRGFEVVYMTEPIDEYCVQQLKEFDGKSLVSVTKEGLELPEDEEEKKKMEESKAKFENLCKLMKEILDKKVEKVTISNRLVSSPCCI

                   610       620       630       640       650       660       670       680       690       700
            ....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|....|
HSP90AA1    VTSTYGWTANMERIMKAQALRDNSTMGYMAAKKHLEINPDHSIIETLRQKAEADKNDKSVKDLVILLYETALLSSGFSLEDPQTHANRIYRMIKLGLGID
HSP90AB1    VTSTYGWTANMERIMKAQALRDNSTMGYMMAKKHLEINPDHPIVETLRQKAEADKNDKAVKDLVVLLFETALLSSGFSLEDPQTHSNRIYRMIKLGLGID

                   710       720       730
            ....|....|....|....|....|....|...
HSP90AA1    EDDPTADDSSAAVTEEMPPLEGDDDTSRMEEVD
HSP90AB1    EDEVTAEEPSAAVPDEIPPLEGDEDASRMEEVD
```

Şekil 132. Sığır HSP90α ve HSP90β proteinlerinin amino asit dizilerinin hizalanması. Hizalama Bioedit v7.0.5.3 (Hall, Biosciences, ve Carlsbad, 2011) programı ile yapılmıştır.

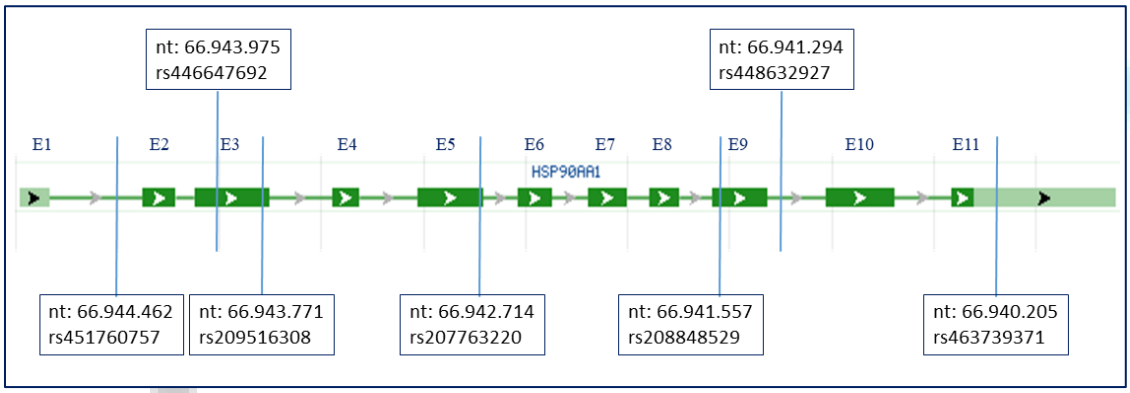


Şekil 2. Alphafold veri tabanından (Jumper vd., 2021) alınan HSP90α ve HSP90β proteinlerinin 3 boyutlu yapılarının PyMol programı (The PyMOL Molecular Graphics System, Version 2.0 Schrödinger, LLC) ile hizalamış görüntüsü. HSP90α kırmızı, HSP90β yeşil ile renklendirilmiştir.

2. HSP90AA1 Geni

Sığır HSP90AA1 geni (Gen ID: 281832), 21. kromozom üzerinde bulur. 5.368 nükleotid uzunluğundaki gen, birincisi kodlanmayan on bir eksondan oluşmaktadır (Şekil 3) (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/281832). HSP90AA1 geni, 733 amino asit uzunluğunda olan HSP90α proteinini kodlar. Ensembl varyasyon veri bankasına göre HSP90AA1 geni üzerinde 650 SNP bulunmaktadır. Bunlarda 14 tanesi 5' UTR, 163 tanesi 3' UTR, 254 tanesi intron ve 219 tanesi ekson bölgesinde bulunmaktadır. Eksonik SNP'lerin 172 tanesi yanlış anlamlı, 47 tanesi ise eş anlamlıdır.

Günümüze kadar yapılan araştırmalarda sığır HSPAA1 genindeki 650 SNP'lerden 7 tanesi (Şekil 3), sıcaklık stresine direnç ve süt verim özellikleri ile ilişkili bulunmuştur (AL-Luhaibe ve Al-Azzawi, 2020; Badri vd., 2018; Kumar vd., 2015; Shergojry vd., 2014). Genin promotör bölgesinde bulunan rs451760757 ve 3' UTR bölgesindeki rs463739371'in transkripsiyonel ve posttranskripsiyonel regülasyonda fonksiyonel olduğu rapor edilmiştir (Badri vd., 2018). rs446647692 T>C, rs209516308 A>G, rs207763220 T>G, rs208848529 G>A SNP'leri kodlanan bölge üzerinde ve eş anlamlıdırlar (Tablo 1). rs448632927 G>T SNP'si ise introniktir (AL-Luhaibe ve Al-Azzawi, 2020; Badri vd., 2018; Kumar vd., 2015; Shergojry vd., 2014).



Şekil 3. Sığır HSP90AA1 gen grafiği ve fenotipik özellikler ile ilişkili bulunan SNP'lerin gen üzerindeki konumları. Genin grafik görüntüsü NCBI internet sayfasından alınmıştır (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/281832).

Tablo 1. HSP90AA1 geni ekson bölgesinde sıcaklık stresi ile ilişkili bulunan eş anlamlı SNP'lerin konumları

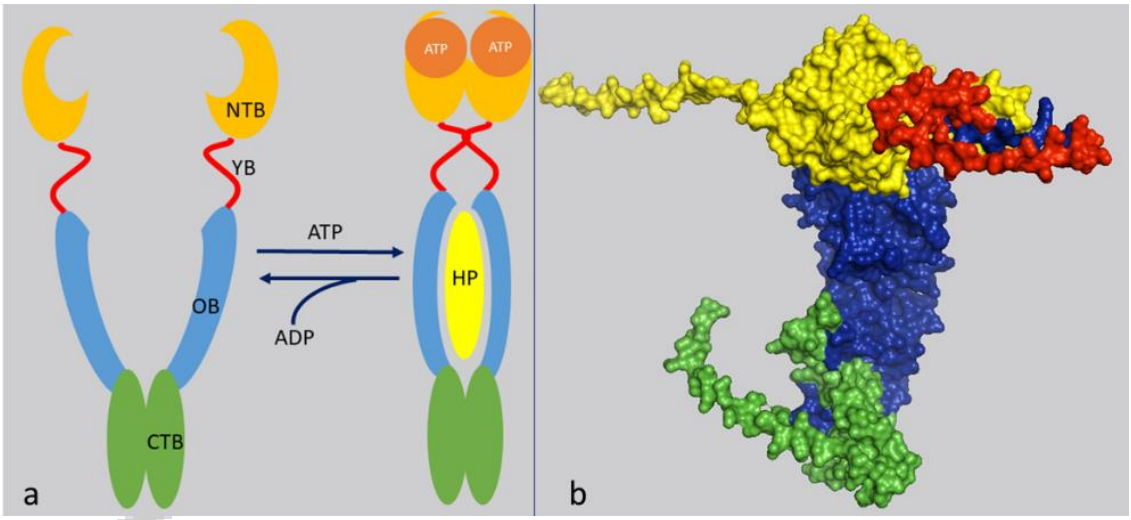
SNP Kodu	Polimorfizm	Kodon konumu	Amino asit
rs446647692	ATT>ATC	104	İzolösin
rs209516308	GTA>GTG	172	Valin
rs207763220	GCT>GCG	326	Alanin
rs208848529	TCG>TCA	506	Serin

3. HSP90α Proteini

HSP90α ekspresyonu sıcaklık stresi ile uyarılır. Stres olmadığı durumlarda sitoplazmada %1-2 oranında bulunurken, hücre stres altındayken bu oran %4-6 arasındadır (Picard, 2002; Sreedhar vd., 2004; Taipale, Jarosz, ve Lindquist, 2010). Posttranslasyonel modifikasyonlar HSP90α proteininin fonksiyonunun düzenlenmesinde hayati rol oynar (Backe vd., 2020). Translasyon sonrası modifikasyon

bölgeleri, HSP90α proteininin farklı görevleri olan tüm domainlerinde bulunmaktadır (Zuehlke vd., 2015).

HSP90α, hedef proteinlerin olgunlaşmasını ve uygun 3 boyutlu yapıya ulaşmasını sağlayan moleküler şaperondur. Aktiviteleri ATP'ye bağımlıdır ve dimerler şeklinde çalışırlar. İki HSP90α proteinin C-terminal domainleri arasındaki dimerizasyon, açık konformasyon olarak tanımlanan bir homodimer oluşturur. N-terminal bölgeye ATP bağlanması ile aktif ve kapalı bir konformasyona dönüşür. Aktif formda hedef proteinin uygun şekilde katlanmasına ve stabilizasyonuna yardımcı olduktan sonra ATP, ADP'ye hidrolize edilerek proteinden ayrılır. ADP'nin ayrılması ile HSP90α tekrar inaktif konformasyonuna döner (Backe vd., 2020; Haase ve Fitze, 2016; Prodromou vd., 2000; Zuehlke vd., 2015) (Şekil 4a). Sığır HSP90α proteinin 3 boyutlu yüzey yapısı domainlere göre renklendirilerek Şekil 4b'de gösterilmiştir.



Şekil 4. a. HSP90α şaperon döngüsü. CTB; Karboksi terminal bölge, OB; Orta bölge, YB; Yüklenmiş bağlayıcı bölge, NTB; Amino terminal bölge, HP; Hedef protein, ATP; Adenozin trifosfat. Backe (2020), Zuehlke (2015) ve Haase (2016) makalelerinden yararlanılarak çizilmiştir. b. Sığır HSP90α proteinin üç boyutlu yüzey yapısı. NTB; sarı, YB; kırmızı, OB; mavi, CTB; yeşil ile renklendirilmiştir. Üç boyutlu yüzey yapısı PyMol programı ile oluşturulmuştur.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

İklim, tarımsal verimliliği etkileyen en önemli faktördür. Tarımın önemli bir bileşeni olan hayvancılık, iklim değişikliği sonucu artan sıcaklıklar ile olumsuz yönde etkilenmektedir (Archana vd., 2017). Yüksek çevre sıcaklıkları, çiftlik hayvanlarının verimini düşürerek ve hastalıklara duyarlılığı arttırarak ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle sıcaklık stresine dirençli, verim özelliklerini koruyabilen bir sığır ırkının geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir (Das, Sailo, Verma, Bharti, ve Saikia, 2016; Scharf vd., 2010).

Hayvanların sıcaklık stresine karşı duyarlılıkları, türe, ırka, hangi yaşam evresinde olduklarına, genetik potansiyellerine, verim özelliklerine ve beslenme durumlarına göre değişir (Das vd., 2016; Sejian vd., 2018). Artan çevre sıcaklıklarına adapte olma yeteneğine sahip sığır yetiştirme stratejileri için yüksek genetik değere sahip hayvanların moleküler markerler yardımıyla tanımlanması çok önemlidir (Archana vd., 2017; Sejian vd., 2018). Sıcaklık toleransına sahip hayvanlar, adapte oldukları sıcaklıktan daha yüksek çevresel sıcaklıklarda gelişirken kalıtsal potansiyellerinin ifadesi korurlar (Belhadj Slimen, Najar, Ghram, & Abdrrabba, 2016). Sıcaklık toleransı gibi çoklu genlerin etkisi altındaki karmaşık özelliklerin aydınlatılması zordur. Ancak, altta yatan hücresel ve moleküler süreçlerin araştırılması, yüksek üretim potansiyeline sahip sıcaklık stresine dayanıklı hayvanları seçmenin yollarını sağlayabilir (Belhadj Slimen, Najar, Ghram, ve Abdrrabba, 2016).

Stres altındaki hücrelerde, DNA sentezi, transkripsiyon, translasyon ve hücre döngüsü inhibe olur. Proteinlerin, denatürasyonu, agregasyonu ve degradasyonu artar. Memeli hücrelerinde sıcaklık stresinin başlamasından birkaç dakika sonra ekspresyonu artan HSP'ler birkaç saat sonra maksimum seviyeye ulaşır (Saxena ve Krishnaswamy, 2012). HSP'ler proteinlerin doğru şekilde katlanmasına,

agregasyonun engellenmesine, restore edilemeyen proteinlerin parçalanmasına, oksidatif stresin regülasyonuna, apoptozun engellenmesine yardımcı olurlar. Böylece hücrenin strese direnç göstermesinde anahtar rol oynarlar (Belhadj Slimen vd., 2016; Deb vd., 2014; Lallier vd., 2021; Zulkifli vd., 2010).

Sığırlarda sıcaklık stresi ile ilişki birçok HSP olmasına rağmen HSP70 ve HSP90 protein aileleri birinci önceliğe sahiptir (Puteri vd., 2018). Yapılan çalışmalar artan sıcaklıların HSP90AA1 gen ekspresyonunun tetiklediği tespit edilmiştir (Pires, Stafuzza, Lima, Negrão, ve Paz, 2019). Günümüze kadar yapılan araştırmalarda, HSPAA1 geni üzerinde sıcaklık ve süt verimi ile ilişkili 7 SNP (rs446647692, rs209516308, rs207763220 rs448632927, rs451760757, rs463739371, rs208848529) rapor edilmiştir (AL-Luhaibe ve Al-Azzawi, 2020; Badri vd., 2018; Kumar vd., 2015; Shergojry vd., 2014). Geninin promotör bölgesinde bulunan SNP'lerin, genin ekspresyon seviyeleri üzerine etkili olduğu sığırlarda ve koyunlarda gösterilmiştir (Badri vd., 2018; Salces-Ortiz vd., 2013). 3' UTR bölgesinde bulunan SNP'lerin posttranskripsiyonel regülasyonda rol oynadığı rapor edilmiştir (Badri vd., 2018). Amino asit değişikliğine neden olmayan eş anlamlı mutasyonlar ise translasyon oranlarını ve mRNA yarılanma süresini etkileyerek genin etkinliğini değiştirebilir (Robert ve Pelletier, 2018). İntronik SNP'ler, splicing mekanizmasında değişikliğe neden olarak fonksiyonel protein oluşumunu engelleyebilir (Cooper, 2010). Ensemble varyasyon veri bankasına göre HSP90AA1 geni üzerinde 650 SNP bulunmaktadır. Bu SNP'lerin gen ifadesi üzerine etkilerinin incelenmesi ve amino asit değişikliklerinin diğer proteinler ile etkileşimleri değiştirme potansiyellerinin değerlendirilmesi, sıcak stresine toleransı sığırların ıslah edilmesi için önemli adımlar olacaktır.

5. KAYNAKLAR

AL-Luhaibe, K. A. A. A., & Al-Azzawi, S. H. J. (2020). Genetic polymorphism in HSP90AA1 gene and associated with the heat tolerance coefficient in Holstein cows at south of Iraq. *Plant Archives, 20*(1), 169-175.

Archana, P., Aleena, J., Pragna, P., Vidya, M., Niyas, A., Bagath, M., . . . Kurien, E. (2017). Role of heat shock proteins in livestock adaptation to heat stress. *J Dairy Vet Anim Res, 5*(1), 00127.

Backe, S. J., Sager, R. A., Woodford, M. R., Makedon, A. M., & Mollapour, M. (2020). Post-translational modifications of Hsp90 and translating the chaperone code. *Journal of Biological Chemistry, 295*(32), 11099-11117.

Badri, T., Chen, K., Alsiddig, M., Li, L., Cai, Y., & Wang, G. (2018). Genetic polymorphism in Hsp90AA1 gene is associated with the thermotolerance in Chinese Holstein cows. *Cell Stress and Chaperones, 23*(4), 639-651.

Belhadj Slimen, I., Najar, T., Ghram, A., & Abdrrabba, M. (2016). Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of animal physiology and animal nutrition, 100*(3), 401-412.

Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal, 4*(7), 1167-1183.

Cooper, D. N. (2010). Functional intronic polymorphisms: Buried treasure awaiting discovery within our genes. In (Vol. 4, pp. 1-5): BioMed Central.

Daramola, J. O., Abioja, M. O., & Onagbesan, O. M. (2012). Heat stress impact on livestock production. In *Environmental stress and amelioration in livestock production* (pp. 53-73): Springer.

Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., & Saikia, J. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary world, 9*(3), 260.

Deb, R., Sajjanar, B., Singh, U., Kumar, S., Singh, R., Sengar, G., & Sharma, A. (2014). Effect of heat stress on the expression profile of Hsp90 among Sahiwal (Bos indicus) and Frieswal (Bos indicus× Bos taurus) breed of cattle: a comparative study. *Gene, 536*(2), 435-440.

Gujar, G., Mashering, N., Sodhi, M., Vivek, P., & Mukesh, M. (2022). Understanding heat stress response in dairy animals: an overview. *Advances in Animal Experimentation and Modeling*, 393-404.

Gupta, R. S. (1995). Phylogenetic analysis of the 90 kD heat shock family of protein sequences and an examination of the relationship among animals, plants, and fungi species. *Molecular biology and evolution, 12*(6), 1063-1073.

Haase, M., & Fitze, G. (2016). HSP90AB1: Helping the good and the bad. *Gene, 575*(2), 171-186.

Habib, H. N., Saleh, W. M. M., Gheni, Q. J., & Karomy, A. S. (2021). The effect of Hsp90 gene polymorphism on the beef cattle production: a review paper. *Multidisciplinary Reviews, 4*, e2021020-e2021020.

Hall, T., Biosciences, I., & Carlsbad, C. (2011). BioEdit: an important software for molecular biology. *GERF Bull Biosci, 2*(1), 60-61.

Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., . . . Potapenko, A. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature, 596*(7873), 583-589.

Kadzere, C. T., Murphy, M., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock production science, 77*(1), 59-91.

Kumar, R., Gupta, I., Verma, A., Verma, N., & Vineeth, M. (2015). Genetic polymorphisms within exon 3 of heat shock protein 90AA1 gene and its association with heat tolerance traits in Sahiwal cows. *Veterinary world, 8*(7), 932.

Lallier, M., Marchandet, L., Moukengue, B., Charrier, C., Baud'huin, M., Verrecchia, F., . . . Lamoureux, F. (2021). Molecular Chaperones in Osteosarcoma: Diagnosis and Therapeutic Issues. *Cells, 10*(4), 754. doi:10.3390/cells10040754

Picard, D. (2002). Heat-shock protein 90, a chaperone for folding and regulation. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS, 59*(10), 1640-1648.

Pires, B., Stafuzza, N., Lima, S., Negrão, J., & Paz, C. (2019). Differential expression of heat shock protein genes associated with heat stress in Nelore and Caracu beef cattle. *Livestock Science, 230*, 103839.

Prodromou, C., Panaretou, B., Chohan, S., Siligardi, G., O'Brien, R., Ladbury, J. E., . . . Pearl, L. H. (2000). The ATPase cycle of Hsp90 drives a molecular 'clamp'via transient dimerization of the N-terminal domains. *The EMBO journal, 19*(16), 4383-4392.

Putri, R. F., Susilorini, T. E., Widodo, N., Kuswati, K., & Suyadi, S. (2022). *Heat shock protein (HSP) release mechanism under heat stress pressure in Goats: a review*. Paper presented at the E3S Web of Conferences.

Robert, F., & Pelletier, J. (2018). Exploring the impact of single-nucleotide polymorphisms on translation. *Frontiers in genetics*, 507.

Salces-Ortiz, J., González, C., Moreno-Sánchez, N., Calvo, J. H., Pérez-Guzmán, M. D., & Serrano, M. M. (2013). Ovine HSP90AA1 expression rate is affected by several SNPs at the promoter under both basal and heat stress conditions. *PLoS One, 8*(6), e66641.

Saxena, V. K., & Krishnaswamy, N. (2012). Molecular mechanisms of livestock adaptation. In *Environmental stress and Amelioration in livestock production* (pp. 299-315): Springer.

Scharf, B., Carroll, J., Riley, D., Chase Jr, C., Coleman, S., Keisler, D., . . . Spiers, D. (2010). Evaluation of physiological and blood serum differences in heat-tolerant (Romosinuano) and heat-susceptible (Angus) Bos taurus cattle during controlled heat challenge. *Journal of Animal Science, 88*(7), 2321-2336. doi:10.2527/jas.2009-2551

Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J., Dunshea, F., & Lacetera, N. (2018). Adaptation of animals to heat stress. *Animal, 12*(s2), s431-s444.

Shergojry, S. A., Ramesha, K., Mir, N. A., & Aarif, O. (2014). Nucleotide sequence polymorphism within Exon 8 of Heat Shock Protein (HSP) 90AA1 gene and its association with milk production traits in Deoni cows. *Indian Journal of Animal Research, 48*(5), 408-412.

Sreedhar, A. S., Kalmár, É., Csermely, P., & Shen, Y.-F. (2004). Hsp90 isoforms: functions, expression and clinical importance. *FEBS letters, 562*(1-3), 11-15.

Taipale, M., Jarosz, D. F., & Lindquist, S. (2010). HSP90 at the hub of protein homeostasis: emerging mechanistic insights. *Nature reviews Molecular cell biology, 11*(7), 515-528.

Zheng, Y., Xie, T., Li, S., Wang, W., Wang, Y., Cao, Z., & Yang, H. (2022). Effects of Selenium as a Dietary Source on Performance, Inflammation, Cell Damage, and Reproduction of Livestock Induced by Heat Stress: A Review. *Frontiers in immunology, 12*, 820853.

Zuehlke, A. D., Beebe, K., Neckers, L., & Prince, T. (2015). Regulation and function of the human HSP90AA1 gene. *Gene, 570*(1), 8-16.

Zulkifli, I., Norbaiyah, B., Cheah, Y., Soleimani, A., Sazili, A., Goh, Y., & Rajion, M. (2010). A note on heat shock protein 70 expression in goats subjected to road transportation under hot, humid tropical conditions. *Animal: an international journal of animal bioscience, 4*(6), 973. doi:10.1017/S1751731110000285

Presentation ID / Sunum No= 19

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: 0000-0002-1074-5589

On Roman Domination and It's Variants

Elgin KILIC[1]

[1]*Ege University Faculty of Science, Department of Mathematics, Bornova-İzmir-Türkiye*
elgin.kilic@ege.edu.tr

Abstract

Roman domination is one of most important and widely studied domination types. A variation of Roman dominating function based on vertexedge dominating set is introduced by E.N. Satheeh. A Vertex - edge Roman dominating function is a function f : V (G) → {0, 1, 2} such that each edge e = uv is either incident with a vertex having function value at least one or there exists a vertex w such that either wu ∈ E or wv ∈ E and f(w) = 2. As in the case of Roman domination function, we say that f partitions V into three vertex subsets, V0, V1 and V2. Weight of a veRDF f is, w(f) =Σ f(v) where v∈V. A veRDF f is minimal if there is no other veRDF g such that g < f. In other words if f is minimal, we cannot obtain another veRDF g, reducing the function values of f. The vertex -edge Roman domination number of a graph G (veRDN), which is denoted by γveR(G), equals the minimum weight of all veRDF on G. In this work, veRDF on middle graphs of Path and Cycle are examined and results are given.

1 Domination

Domination is one of the most studied parameter in graph theory which has many applications is real life especially in design of communication networks. Since any network can be modelled by graphs, it is useful to work on graph parameters. Let G = (V,E) be a simple graph. The set N(v) = {u ∈ V |uv ∈ E} is open neighborhood and N[v] = N(v) ∪ v is closed neigboorhood of v ∈V . For any edge e ∈ E, the open edge neighborhood N(e) of e is the set of edges adjacent to e. Based on vertex and edge neighbourhood concepts vertex domination and edge domination are defined as follows.

Definition 1. For S ⊆ V of vertices in a graph G = (V,E) is called a dominating set if every vertex v ∈ V is either an element of S or adjacent to an element of S. The minimum cardinality of a dominating set of G is called the domination number and is denoted by γ(G) [3].

Definition 2 (Edge Domination). A subset X of E is called an edge dominating set of G if every edge not in X is adjacent to some edge in X. The edge domination number γ (G) of G is the minimum cardinality taken over all edge dominating sets of G [1].

There are several types of domination defined in subject area. The vertex-edge domination [2], edge-vertex domination number [6], the double vertex-edge domination number [9], the double edge-vertex

domination number [10], the Roman domination number [4], edge Roman domination number [11], Vertex -edge Roman domination number [14] are some of these.

Definition 3. A vertex v of G = (V,E) is said to be vertex-edge dominate every edge incident to v, as well as every edge adjacent to these incident edges. A set S ⊆ V is a vertex-edge dominating set, if every edge of E is vertex-edge dominated by at least one vertex of S. The minimum cardinality of a vertex-edge dominating set of G is the vertex-edge domination number and is denoted by γve(G) [2].

Definition 4. An edge e = uv of graph G = (V,E) is said to be edge-vertex dominate vertices u and v, as well as all vertices adjacent to u and v. A set S ⊆ E is an edge-vertex dominating set, if every vertex of V is edge-vertex dominated by at least an edge of S. The minimum cardinality of an edge-vertex dominating set of G is the edge-vertex domination number and is denoted by γev(G) [6].

2 Roman Domination

The study of Roman domination was motivated by the defense strategies used to defend the Roman Empire. The concept of Roman domination was introduced by Cockayne et al. in [4]. There are many variations of Roman Domination. It is one of the most widely studied domination type in graph theory which also has many applications in design of secure systems or networks. Many researchers

also have an interest in finding these numbers by algorithms for any given graph structure.

Definition 5. A Roman dominating function of a graph G, introduced by Cockayne et al. [4] is a function f : V (G) → {0, 1, 2} such that for every v ∈ V (G) with f(v) = 0, it is adjacent to a vertex w with f(w) = 2. The Roman domination number γR(G) is the minimum weight, i.e. Σ f(G) (where v∈V (G)) of a Roman dominating function on G.

Definition 6. An edge Roman dominating function of graph G is a function f : E(G) → {0, 1, 2} such that every edge e ewith f(e) = 0 is adjacent to some edge e with f(e) = 2.The weight of an edge Roman dominating function f, denoted by w(f), is the value Σ f(e) where e ∈ E(G).The edge Roman domination number of G, denoted by γR(G), is the minumum weight of an edge Roman dominating function of G [11].

Definition 7. Vertex - edge Roman dominating function is introduced by Satheesh [12] and defined as follows; a vertex - edge Roman dominating function (veRDF) is a function f : V (G) → {0, 1, 2} such that each edge e = uv is either incident with a vertex having function value at least one or there exists a vertex w such that either wu ∈ E or wv ∈ E and f(w) = 2. As in the case of Roman domination function, we say that f partitions V into three vertex subsets, V0, V1 and V2. Weight of a veRDF f is, w(f) = Σ f(v) where v∈V. A veRDF f is minimal if there is no other veRDF g such that g < f. In other words if f is minimal, we cannot obtain another veRDF g, reducing the function values of f. The vertex - edge Roman domination number of a graph G (veRDN), which is denoted by γveR(G), equals the minimum weight of all veRDF on G.

Definition 8. A function f : E(G) → {0, 1, 2} is an ev - Roman dominating function if every vertex v ∈ V is either incident with an edge having function value 1 or incident with an edge which is adjacent to an edge having function value 2. An ev - Roman dominating function is a minimal ev - Roman dominating function if we cannot obtain another ev - Roman dominating function, reducing the function value at any of the vertices.The edge-vertex Roman domination number of a graph G (evRDN), which is denoted by γevR(G), equals the minimum weight of all evRDF on G edge-vertex Roman dominating function introduced by Satheesh [12].

3 Vertex-edge Roman Domination Number of Middle of Pn and Cn

Definition 9 (Middle graph of a graph). The middle graph M(G) of a graph G is the graph whose vertex set is V (G) U E(G) and two vertices x, y in the vertex set of M(G) are adjacent in M(G) in case one the following holds

(1) x, y ∈ E(G) and x, y are adjacent in G;

(2) x ∈ V (G), y ∈ E(G), and x, y are incident in G.

Vertex-edge Roman Domination number of Middle of Pn

Theorem 1. For Pn , n > 3 vertex-edge Roman domination number is $\gamma veR(M(Pn)) = 2 * \gamma veR(Pn)$.

Proof. From definition VERDF, every edge can be assigned by value of 1. But the weight of VERDF is maximal in this case. Depending on neighbourhood concept if we start assigning first edge u1v1 by 1 and skipping the next adjacent edge and continue on assigning by 1, we have (n/2) edges assigned by 1. There left no vertices adjacent null or zero weighted edge. From the structure of middle graph of a graph, for each $uv \in E(G)$ is joined with a new vertex. There remain new vertices which are not end of edges assigned by 1. So at least one edge adjacent each new vertex w = uv should be assigned by 1. There is no common vertex or adjacency between skipped edge in Pn and new added vertices M(Pn). Then we obtain (n/2) more edge assigned by 1.

As a result $\gamma veR(M(Pn)) = 2 * \gamma veR(Pn)$ is satisfied.

Vertex-edge Roman Domination number of Middle of Cn

Theorem 2. For Cn , n > 3 vertex-edge Roman domination number is $\gamma veR(M(Cn)) \leq 2 * \gamma veR(Cn) + 1$

Proof. From definition VERDF, every edge of cycle can be assigned by value of 1. In this case the weight of VERDF will be maximum. By using neighbourhood concept, we can start by assigning first edge u1v1 by 1 and skipping the next neighbour edge and continue on assigning by 1. There might left vertices at the end which are not adjacent to an edge assigned by 1. So we have at most (n/2)+1 edges assigned by 1. From the structure of middle graph of a graph, for each $uv \in E(Cn)$ is joined with a new vertex. There remains new vertices which are not end of edges assigned by 1. So at least one edge adjacent each new vertex w = uv should be assigned by 1. There is no common vertex or adjaceny between skipped edges and vertices not adjacent to any edge assigned by 1 in Cn and new added vertices M(Cn). Then we obtain (n/2)+ 1 more edge assigned by 1.

As a result $\gamma veR(M(Cn)) \leq 2 * \gamma veR(Cn)$ is obtained.

4 CONCLUSION

In this study, variations of Roman domination are examined and some results on Vertex-Edge Roman Domination number of middle graphs of path and cycle are found. For future study generalization of this number on middle of any connected graph G will be searched.

References

[1] S. Mitchell, S.T. Hedetniemi, Edge Domination in Trees, Congr. Numer., 19, (1977), 489-509.

[2] J.W. Peters, Theoretical and Algorithmic Results on Domination and Connectivity, Ph.D.Thesis, Clemson University, (1986).

[3] T.W. Haynes, S.T. Hedetniemi, P.J. Slater, Fundamentals of Domination in Graphs, Marcel Dekker Inc., New York, (1998).

[4] E.J. Cockayne, P.M. Dreyer Jr., S.M. Hedetniemi, S.T. Hedetniemi, Roman domination in graphs, Discrete Math., 278, (2004) 11–22.

[5] K. Ebadi, E. Khodadadi, L. Pushpalatha, On the roman edge domination number of a graph, International J.Math. Combin., 4, (2010), 38–45.

[6] J.R. Lewis, Vertex-Edge and Edge-Vertex Domination in Graphs, Ph.D. Thesis, Clemson University, (2007).

[7] P. Roushini Leely Pushpam, T.N.M. Nalini Mai, Edge Roman domination in graphs, J. Combin. Math. Combin. Comput., 69, (2009), 175–182.

[8] E.N. Satheesh, Some variations of domination and applications, Ph.D. Thesis, Mahatma Gandhi University, (2014).

[9] B. Krishnakumari, M. Chellali, Y.B. Venkatakrishnan, Double Vertex-Edge Domination, Discrete Mathematics, Algorithms and Applications, 09(04), (2017), Article ID 1750045, doi:10.1142/S1793830917500458.

[10] E. Kılıç, B. Aylı, Double Edge-Vertex Domination Number of Graphs, Advanced Mathematical Models and Applications, 5(1), (2020), 19-37.

[11] P. Roushini Leely Pushpam, T.N.M. Nalini Mai, Edge Roman domination in graphs, J. Combin. Math. Combin. Comput., 69, (2009), 175–182.

[12] E.N. Satheesh, Some variations of domination and applications, Ph.D. Thesis, Mahatma Gandhi University, (2014).

[13] H.N. Kumar, Y. B. Venkatakrishnan, Vertex-edge Roman domination, Kragujevac Journal of Mathematics,45(5), (2021), 685–698.

[14] M. Kumar, P.V.S. Reddy, Vertex-edge Roman domination in graphs: Complexity and algorithms, Communications in Combinatorics and Optimization, (2021), 1–15 doi:10.22049/CCO.2021.27163.1206.

[15] T. Hamada and I. Yoshimura, Traversability and connectivity of the Middle Graphs of a Graph, Discrete Mathematics, 14 (1976), 247-255

[16] I. Stewart, Defend the Roman empire!, Sci. Amer. 281 (1999) 136–139.5