

# DOĞA VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİNDE GÜNCEL TARTIŞMALAR

# 6

HİKMET Y. ÇOĞUN  
HASAN ÜZMUŞ  
İŞHAK PARLAR



Bütün Yayın Hakları Saklıdır

Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

ISBN: 978-625-7799-70-6

1.Baskı

25 Aralık 2022

Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar 6

Türkçe ve İngilizce yayın hakları Bilgin Kültür Sanat Yayın Dağıtım Pazarlama Ltd. Şti.'e aittir. Fikir ve sanat eserleri yasası gereğince yazılı izin alınmadan kısmen ya da tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

#### **Editörler**

Hikmet Y. ÇOĞUN

Hasan ÜZMUŞ

İshak PARLAR

#### **Yayınlayan**

Engin DEVREZ

Bilgin Kültür Sanat Yayınları

Sertifika No: 20193

Selânik Cd. No: 68/10 06640 Kızılay / Ankara

Telefon: 0 (312) 419 85 67 – Fax: 0 (312) 419 85 68

<https://www.bilginyayinevi.com>



## Contents

Bitki Etken Maddeleri ve Yaşlanma .....	7
Serhat BOZKURT <sup>6</sup> .....	7
Cemilenur ATAŞ <sup>6</sup> .....	7
Meltem BARAN <sup>6</sup> .....	7
Ahmet Yılmaz ÇOBAN <sup>5,6</sup> .....	7
Otoklav Cihazı Atık Isısından Organik Rankine Çevrimi ile Enerji Üretimi .....	20
Mehmet Erhan ŞAHİN .....	20
Ahmet ELBİR .....	20
Açık Dikey Tip Soğutucu Teşhir Dolabı Yeni Raf Tasarımı .....	27
Ayşe Burcu ÇELİK .....	27
Ebubekir BEYAZOĞLU .....	27
Salih COŞKUN .....	27
Optik Karakter Tanıma Teknolojileri ile Fatura Veri Kümesi Oluşturma ve Etiketleme .....	36
İlker YILDIZ .....	36
Ayberk Emin KOTAN .....	36
Ayşe Berna ALTINEL GİRGIN .....	36
Gıdalarda Bulunan Biyoaktif Bileşenler ve Sağlık İlişkisi .....	45
Ecem AYDIN .....	45
Olca BOYACIOĞLU .....	45
Aslıhan CEBECİ .....	56
Naci Arda TANIŞ .....	56
Recep ÇALIN .....	56
Odun Peleti Üretiminin Dünya'daki ve Türkiye'deki Mevcut Durumu .....	63
Okan İlhan .....	63
Semra Çolak .....	63
Abdullah Uğur Birinci .....	63
Kimyasal Bir Tesiste İnsan Hatalarının HAZOP ile Tespiti ve HEART ile Analiz Edilmesi .....	77
Kübra OLGUN .....	77
Metin GÜRÜ .....	77
Abdurrahman AKMAN .....	77
Analys of Impact Performance of Repaired Radome after Birdstrike Structure .....	91
Güray ERTEĞİ .....	91
Faruk ELALDI .....	91
Sabit Kanatlı Hibrit İnsansız Hava – Sualtı Aracı Konsept Tasarım Kısıtlarının Belirlenmesi ve Konfigürasyon Seçimi .....	112
Melek MENDİ .....	112

---

Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Koagülasyon- Flokülasyon ile Ön Arıtımı ve Fotoreaktör İle İleri Arıtımının İncelenmesi .....	126
Tayyar TORUN .....	126
Meltem SARIOĞLU CEBECİ .....	126
Gayrimenkul Sektöründe Müşteri Tercihlerini Belirlemek İçin Bir Sınıflandırma Yaklaşımı.....	138
Kamil Çayırılı.....	138
Umar İgan .....	138
Zafer Sever.....	138
Erim Ertürk.....	138
Okan Örsan Özener .....	138
Türkiye'nin Renk Değiştiren Süstaşı Diaspor $[Al(OH)O]$ Kristallerinin Doğal Gün Işığındaki Hakim Renkleri ve Bunlara Sebep Olan Kromofomlar .....	143
Murat HATİPOĞLU.....	143
Evrin ÇOBAN.....	143
Genişbantlı ve Çok Kanallı Telsiz Haberleşme Sistemleri İçin Ön Bilgiye Dayanmadan Sinyal Bulma ve Parametre Kestirimi.....	154
Hüseyin Kemal ERTUĞRUL.....	154
Ali GÖRÇİN .....	154
Deniz Müsilajındaki Bakteri Türlerinin DNA Parmakizi Yöntemi ile Belirlenmesi.....	159
İpek ADA ALVER.....	159
Farklı Soğutma Hızlarında Katılaşan Al-Zn ve Al-Cu Alaşımlarının Mikroyapı ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi .....	163
Sinan YILMAZ.....	163
Engin KOCAMAN .....	163
Nazım KUNDURACI .....	163
Süleyman Can KURNAZ .....	163
Hidrodinamik Yağlamalı Kaymalı Yatak Uygulanmasının Vals Topu Dişleme – Taşlama Makinesi Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi.....	171
Sefa YEĞİN .....	171
Murat DİLMEÇ .....	171
Mehmet BAĞCI.....	171
Kırsal Peyzajların Korunmasında Köy Tasarım Rehberlerinin Rolü.....	196
Betül TÜLEK .....	196
Selin ERDOĞAN.....	196
Ham ve Temperlenmiş DIN 41Cr4 ve 30MnB4 Çeliklerinin Morfolojilerinin Karşılaştırılması .....	213
Murat ESKİL .....	213
Sefer GÜLEKEN .....	213

---

Farklı Soğutma Hızlarında Katılaştan Al-Zn ve Al-Cu Alaşımlarının Mikroyapı ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi .....	230
Sinan YILMAZ.....	230
Engin KOCAMAN .....	230
Nazım KUNDURACI .....	230
Süleyman Can KURNAZ .....	230
Eğitim Binalarında Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi için Öncelik Sıralaması Oluşturulması .....	238
Ahmet Hakan Mutlu .....	238
Tüberküloz Tedavisinde Mikobakteriyofajlar .....	250
Kübra YILDIRIM.....	250
Kübra YILDIRIM <sup>1,2</sup> .....	254
Esra TANYEL AKÇİT <sup>2,3</sup> .....	254
Force Localization with the Use of Single-Input–Multi-Output (Simo) Algorithm .....	259
Hakan UÇAR.....	259
Design and Implementation of High-Speed Fpga-Based Complex $e^x$ Calculation Unit.....	269
Günay TEMÜR .....	269
Green Energy Production and Sustainable Carbon Reduction Potential of Poultry Waste in Turkey	282
Zuhal AKYÜREK .....	282
Destek Vektör Regresyonu İle Hava Kalitesi Tahmini.....	297
Arzu ALTIN YAVUZ .....	297
Et Gevrekliğini Artırmaya Yönelik Yenilikçi Teknolojiler .....	306
Cemalettin SARIÇOBAN .....	306
Ziyare GÜN .....	306
Atkılı Örme Tekniği İle Elde Edilen Tekstiller ve Kullanım Alanları .....	329
Devrim DEMİRAY SOYASLAN .....	329
Kentsel Alanda Yaşanan Kamulaştırma Sorunları :Gaziantep Örneği.....	338
Fazıl Nacar .....	338
Geleneksel Tip Isı Eşanjörlerinde Debi Değişiminin Akış Davranışına Etkisi.....	358
Mehmet Akif KARTAL .....	358
Eğitimde Bulut Bilişim Kullanımı.....	366
Muammer AKÇAY .....	366
Spt ve Kayma Dalgası Hızı İle Sıvılaşma Analizi; Yalova İli Örneği.....	370
Erdoğan KESKİN .....	370
Ayşe GÜNDAY .....	370
Kanat Burak BOZDOĞAN .....	370
Gemilerde Sevk Sistemlerinde Yenilenebilir Enerji Kullanımı .....	390
Aleyna ULUCUTSOY .....	390

---

Erhan AKSU.....	390
Betül SARAÇ.....	390
Temiz ve Portatif Güç Üretim Sistemleri: Termoelektrik Jeneratörler.....	405
Ahmet ÇAĞLAR.....	405
Sertaç GÖRGÜLÜ .....	405
Fare 6-Fosfolukonat Dehidrogenaz Enzimi İçin cDNA Primerlerinin Dizayn Edilmesi .....	412
Mehmet ÇİFTÇİ .....	412
Fine Kinnay Metodu İle Tekstil Sektöründe Risk Değerlendirmesi: Konya İlinde Bir Uygulama .....	421
Hediye KIRLI AKIN .....	421
Ortopedik Uygulamalarda Kullanılan Matkap Uçlarının Farklı Kaplamalar Altında Delme, Sıcaklık ve Aşınma Performansının Araştırılması .....	432
Lokman YÜNLÜ.....	432
Ekrem OLÇAY.....	432
Geosentetik Yapı Malzemeleri ve Özellikleri .....	444
Başak MESCİ OKTAY .....	444
Kahramanmaraş Koşullarında Yetiştirilen Bertiz Kabarcık Üzümünün Tane Kabuk Rengi, Organik Asit, Şeker ve Toplam Antosiyenin Kapsamının Belirlenmesi.....	452
Nazan BALBABA.....	452

## Bitki Etken Maddeleri ve Yaşlanma

Serhat BOZKURT<sup>1,6</sup>  
Cemilenur ATAŞ<sup>2,6</sup>  
Meltem BARAN<sup>3,6</sup>  
Ahmet Yılmaz ÇOBAN<sup>4,5,6</sup>

### Yaşlanma

Hücreesel yaşlanma, yaşamı tehdit eden birçok hastalığın ana risk faktörüdür. Hücre yaşlanması, tüm dokuların ve organların, sonuç olarak tüm bedenin yaşlanmasına neden olur. Canlılar, doğumdan sonraki her gün bir gün daha yaşlanır. Yaşlanma, fizyolojik organizasyonun giderek azalması ve organların çalışmalarındaki aksamalarla başlayan ve somatik ölüme dek giden bir süreçtir. Yaşlanmayla birlikte çok sayıda hastalık tablosunun oluşmasına yol açan risk faktörleri yoğunlaşır; sonuçta kanserler, diyabet, kalp ve damar hastalıkları gibi ölüme neden olabilen patolojiler belirir. Literatürde yaşlanmanın neden meydana geldiğine dair birçok teori bulunmaktadır. Çoğu bilim insanı aynı fikirde olmamasına ve tartışmaların halen devam etmesine rağmen, mevcut teoriler yaşlanmaya neden olan tek bir süreci tanımlamaktadır (Tower, 2015:90).

### Biyolojik Yaşlanma Teorileri

Medvedev, 300'ü aşan sayısız yaşlanma teorisini rasyonel olarak sınıflandırmaya çalışmıştır (Medvedev, 1990: 375-398). Yaşlanma, moleküler çapraz bağlanma (Bjorksten, 1968:420), serbest radikallerin neden olduğu hasarlar (Harman, 1993:60), immünolojik fonksiyonlardaki değişiklikler (Effros, 2005:2), telomer kısalması (Kruk vd., 1995: 258) ve DNA'da yaşlanma genlerinin varlığına bağlanmıştır (Warner vd., 1987:324). Buna karşın daha yakın zamanlarda, genleri, genetik bakım ve onarım sistemlerinin performansını, ortamı ve şansını kapsayan birleşik bir teori, yaşlanma sürecinin sistematik ve bütünleştirici analizine duyulan ihtiyacı vurgulayarak giderek daha fazla kabul görmüştür (Rattan, 2006:1230).

Yaşlanma ve yaşlanma süreçleriyle ilgili yapılan çok sayıda araştırma, ileri sürülen yaşlanma teorilerine tam bir genel bakış sunmayı neredeyse imkansız hale getirmektedir. Bunların hepsi

---

<sup>1</sup> Master of Science, Akdeniz University, Institute of Health Sciences, Department of Gerontology, Orcid: 0000-0002-4953-5087

<sup>2</sup> Master of Science Student, Akdeniz University, Institute of Health Sciences, Department of Medical Biotechnology, Orcid: 0000-0003-3661-1017

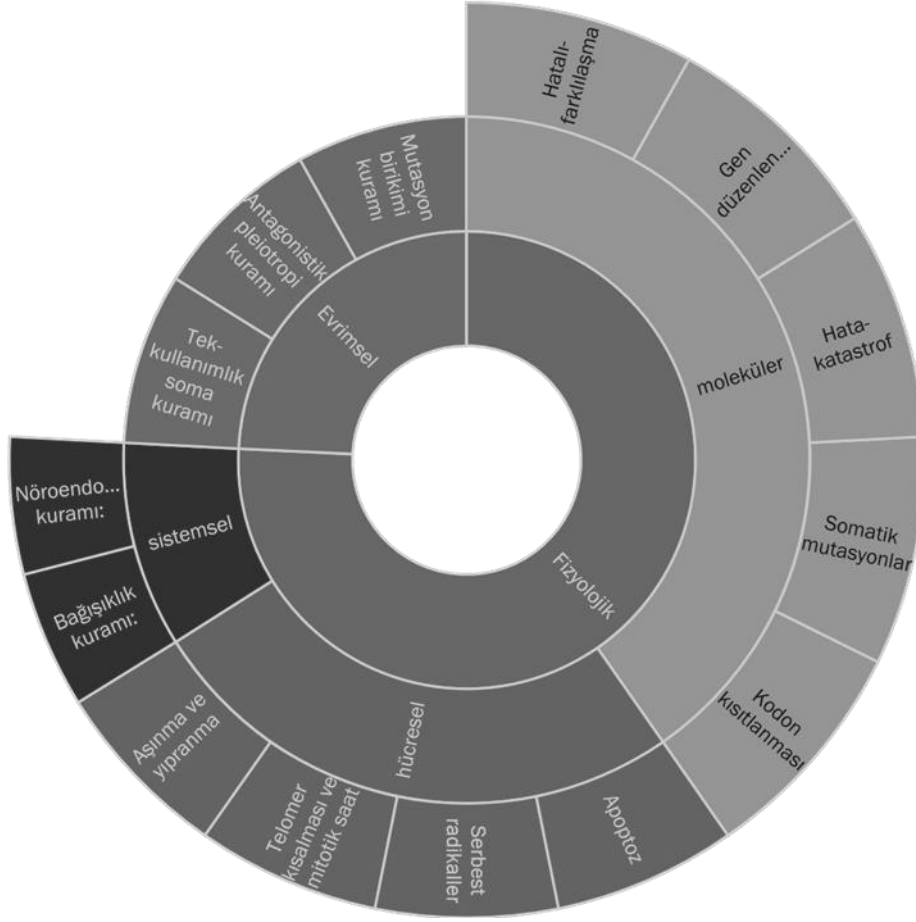
<sup>3</sup> Master of Science Student, Akdeniz University, Institute of Health Sciences, Department of Medical Biotechnology, Orcid: 0000-0002-6675-4732

<sup>4</sup> Professor, Akdeniz University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, Orcid: 0000-0002-8815-6063

<sup>5</sup> Professor, Akdeniz University, Institute of Health Sciences, Department of Medical Biotechnology, Orcid: 0000-0002-8815-6063

<sup>6</sup> Tuberculosis Research Center Akdeniz University, Antalya, Turkey

olmasa da bir kısmı, Şekil.1'deki gibi iki kategoride sınıflandırılabilir: Evrimsel yaşlanma teorileri ve fizyolojik yaşlanma teorileri.



Şekil 1. Evrimsel ve fizyolojik yaşlanma teorilerinin sınıflandırılması

Bununla birlikte, teori ne olursa olsun, hepsi tek bir soruyu yanıtlamayı amaçlamaktadır: Yaşlanmanın nedeni nedir? Çalışan hipotez ne olursa olsun, yaşlanmanın tek bir nedeni olduğuna dair temel varsayımın doğru olmayabileceği düşünülmelidir. Ayrıca bilim insanları, tüm canlı organizmalar için geçerli olan evrensel bir yaşlanma nedeni olmayabileceği ihtimaliyle yüzleşmek zorunda kalabilirler (da Costa vd., 2016:90-112).

### Reaktif Oksijen Türleri ve Yaşlanmanın Serbest Radikal Teorisi

Yaşlanmanın serbest radikal teorisi, en popüler yaşlanma teorilerinden biridir ve birçok yaşlanma karşıtı ürün ve stratejinin temelini oluşturur. Serbest radikaller, organik moleküllerle yıkıcı bir şekilde reaksiyona giren oldukça reaktif moleküllerdir. İnsanlarda en bol bulunan serbest radikaller olan reaktif oksijen türleri, hem normal metabolizmanın bir yan ürünü olarak hem de çevresel faktörlerden kaynaklanır.

İlk olarak 1950'lerde Harman tarafından önerilen yaşlanmanın serbest radikal teorisi, yaşlanmanın serbest radikaller tarafından lipitlere, DNA'ya, proteinlere ve dokuya verilen oksidatif hasarın birikmesinden kaynaklandığını varsaymaktadır. 1970'lerin başında, bilim adamları serbest radikallerin çoğunu mitokondrilerin ürettiğini ve elektron taşıma zinciri enzimleri üzerinde serbest radikal hasarının fizyolojik düşüşe neden olduğunu öne sürmüşlerdir (Harman, 2003:557-561). Mitokondri, DNA onarım enzimlerinden yoksundur, bu da mitokondriyal DNA'yı hasara karşı daha duyarlı hale getirir. Hasarlı mitokondri, artan hücresele hasara ve yaşlanmaya yol açan kısır bir



mutasyon ve serbest radikal oluşumu döngüsü yaratan serbest radikaller üretmeye daha yatkındır (Sanz ve Stefanatos, 2008:10-15). Bununla birlikte, mitokondriyal teoriye karşı çıkarlar, reaktif oksijen türlerinin hücreler arası metabolizmanın normal bir ürünü olduğuna ve kötü şöhretlerine rağmen hücresel sağlıkta önemli bir rol oynadığına dikkat çekmektedirler. Framingham Koroner Kalp Hastalığı Uzun Ömür Çalışması sonuçlarına göre uzun ömürlülük babadan çok annenin yaşı ile güçlü bir ilişkiye sahip olup, mitokondriyal DNA'nın uzun ömür ile bağlantılı olduğunu düşündürmektedir (Tosato vd., 2007:401).

Süperoksit dismutaz gibi enzimler, reaktif oksijen türlerini su ve oksijene dönüştüren reaksiyonları katalize ederek serbest radikalleri nötralize edebilir. A ve C vitaminleri gibi enzimatik olmayan antioksidanlar, flavonoidler ve karotenoidler gibi fitokimyasallar gıdalarda doğal olarak bulunan serbest radikalleri de nötralize eder. Serbest radikallerin yaşlanmayı teşvik ettiği fikri, oluşumlarını sınırlamaya yönelik müdahalelerin yaşlanmayı yavaşlatabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, oksidatif hasarın biriktiğine dair kanıtlar olsa da sürecin tüm organizmalarda yaşlanmaya katkıda bulunduğu açık değildir. Şaşırtıcı bir şekilde, bazı hayvanlarda süperoksit dismutazı olumsuz etkileyen genetik mutasyonlar aslında ömrü uzatır. Şu anda, geleneksel olarak kabul edilen tek antioksidan tedavi, makula dejenerasyonudur. Sigara içmek serbest radikaller ürettiğinden, araştırmacılar tütünün serbest radikal hasarı ile akciğer kanserini indüklediğini öne sürdümüşlerdir ve antioksidan olan beta-karotenin sigara içenlerde kanser riskini azaltıp azaltmadığını test etmek için bir deneme geliştirmişlerdir. Ancak araştırmacılar, beta-karoten alan grup, kontrol grubundan önemli ölçüde daha fazla kanser geliştirdiği için randomize çalışmayı sonuçlanmadan durdurmuştur. Dolayısıyla yaşlanma örüntüsünü değiştirmek için orantısız bir antioksidan seviyesi yerine ideal bir oksidan, antioksidan ve biyomolekül dengesi gerektiriyor olabilir (Lipsky ve King, 2015:460-466).

## Oksijenin Önemi

Solunum sistemi, oksijene bağımlı yaşamı gerçekleştiren temel sistemdir. Atmosferden kana aktarılan oksijen, enerji üretmek için besin öğelerini (örneğin karbonhidratlar, yağlar ve proteinler) metabolize etmek için kullanılır. Hücresel aerobik metabolik solunumda, glikoz tipik olarak hücrenin mitokondrileri içinde enerji açısından zengin ATP molekülleri üretmek için kullanılan moleküldür ve homeostazı sürdürür. Biyolojik sistemler atmosferik oksijene bağımlıyken, çok az veya çok fazla oksijen hücrelere ve dokulara zarar verebilir (Lephart, 2016:40-49; Martini, 2009). Bu bağlamda oksijen, biyolojik sistemlerde hem yararlı hem de potansiyel olarak zararlı yan etkileri olan bir Janus gaz olarak adlandırılır (Burton ve Jauniaux, 2011:287-295). Oksijen, oksidatif metabolizma yoluyla bol miktarda temel ATP molekülünün oluşumunu destekleyen yüksek enerjili elektron transferlerine katılır. Ancak, biyolojik sistemlerde ve hücrelerdeki sayısız kimyasal reaksiyon sırasında, serbest radikaller gibi oksijenle ilişkili çok zararlı moleküllerin veya parçacıkların oluşumuyla sonuçlanan hatalar meydana gelebilir (Lephart, 2016:36-54; Martini, 2009).

## Hücresel Yaşlanma ve Patogenezi

Hücresel yaşlanma, çeşitli streslerden kaynaklanan ve geri dönüşü olmayan büyüme durması durumuna yol açan bir süreçtir. Yaşlanan hücreler, yaşlanma sırasında birikir ve yaşa bağlı çeşitli hastalıkları teşvik etmede rol oynar. Hücresel yaşlanma, tümör baskılanmasında, yara iyileşmesinde ve doku fibrozuna karşı korumada önemli bir rol oynayabilir; bununla birlikte, yaşlanan hücrelerin in vivo zararlı etkileri olabileceğine ve dokuların yeniden şekillenmesine, organizmanın yaşlanmasına ve yaşla ilgili birçok hastalığa neden olabileceğine dair giderek artan kanıtlar da mevcuttur. Hücresel yaşlanma, çeşitli içsel ve dışsal faktörler tarafından indüklenebilir. Yaşlanan hücreler çok sayıda biyolojik olarak aktif faktör salgılar; yaşlanan hücrenin spesifik salgılama fenotipi, organizmalarda fizyolojik ve patolojik sonuçlara katkıda bulunur (Regulski, 2017:168-174).

Yaşa bağlı tüm kronik hastalıklara kısmen kronik steril (patojenle ilişkili olmayan) inflamasyon, makromoleküler hasar, progenitör hücre disfonksiyonu ve hücrel yaşlanma dahil yaşa bağlı doku disfonksiyonunun altında yatan temel yakınsak yaşlanma mekanizmaları neden olabilir (Hernandez-Segura vd., 2018). Son on yılda, hücrel yaşlanma, genel doku disfonksiyonunun ve yaşlanma fenotiplerinin olası bir nedeni olarak ortaya çıkmıştır (Kirkland ve Tchkonja, 2015:19-25; Muñoz-Espín ve Serrano, 2014:482-496). Hücrel yaşlanma, telomer erozyonu, DNA hasarı, oksidatif stres ve onkojenik aktivasyon gibi çeşitli hücrel stresörlere yanıt olarak ortaya çıkan, esasen geri dönüşü olmayan bir büyüme durması olup bir antitümör mekanizması olduğu düşünülmektedir (Campisi ve Fagagna, 2007:729-740).

Hücrel yaşlanma, yaşlanmanın dejeneratif ve hiperplastik patolojilerini ilişkilendiren bir stres tepkisidir. Bu dejenerasyon veya kademeli fonksiyon kaybı moleküler, hücrel, doku ve organizma seviyelerinde meydana gelir. Yaşa bağlı fonksiyon kaybı, tek hücreli organizmalardan büyük, karmaşık hayvanlara kadar neredeyse tüm yaşlanan organizmaların bir özelliğidir. Memelilerde, yaşa bağlı dejenerasyon sarkopeni, ateroskleroz, kalp yetmezliği, osteoporoz, makula dejenerasyonu, akciğer yetmezliği, böbrek yetmezliği, nöral dejenerasyon gibi iyi bilinen patolojilere ve Alzheimer ve Parkinson hastalıkları gibi yaşa bağlı patolojilerin önde gelen nörodejeneratif hastalıklarına yol açar. Türlerin belirli yaşa bağlı patolojilere karşı duyarlılıkları farklılık gösterse de bu hastalıklar genellikle türe özgü yaşam süresinin yaklaşık orta noktasından başlayarak (örneğin, insanlar için 50-60 yıl) üstel kinetiklerle yükselir. Hücrel yaşlanma, 1960'larda Hayflick (Hayflick, 1965:614-636; Hayflick ve Moorhead, 1961:585-621) tarafından resmen tanımlanmıştır. Belli sayıda bölünme geçirdikten sonra, normal insan diploid fibroblastlarının geri dönüşü olmayan, bölünmeyen duruma veya replikatif yaşlanmaya girdiğini göstermiştir. Araştırmalar, normal insan diploid fibroblastlarının 50 ila 60 kez bölünebildiğini, ancak daha sonra geri dönüşümsüz olarak bölünmeyi durdurduklarını göstermiştir (Narita vd., 2011:966-970; Young vd., 2011:1387-1388). Bu nedenle, ömürlerinin sonuna ulaşmadan önce tamamlanan bölünme sayısı Hayflick Limiti olarak adlandırılmıştır.

### **Reaktif Oksijenlerin Oluşumu**

Bir antioksidan, serbest radikallerin ve/veya ROS'un diğer atomlardan elektron almasını engelleyebilen herhangi bir moleküldür (Krishnamurthy ve Wadhvani, 2012:48109; Martini, 2009). Başka bir deyişle, bir antioksidan, serbest radikallerin veya ROS tarafından teşvik edilen reaksiyonların neden olduğu oksijen (oksidasyon) hasarını engelleyen herhangi bir maddedir. Antioksidanlar hücre içi ve hücre dışı konumlarda etki gösterir (Ames vd., 1981: 6858-6862; Becker, 1993:615-631; Krishnamurthy ve Wadhvani, 2012:48109; Martini, 2009). Örneğin glutatyon ve ürik asit, vücudun sentezleyebildiği ve endojen antioksidan kaynakları olan iki moleküldür (Krishnamurthy ve Wadhvani, 2012:48109). Hem glutatyon hem de ürik asit, insan derisinde bulunan önemli antioksidanlardır (Shindo vd., 1994:122-124).

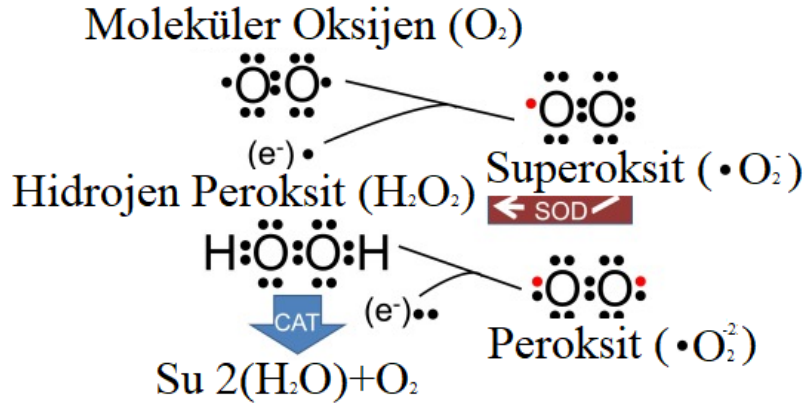
Birçok farklı antioksidan, besin veya diğer eksojen kaynaklardan elde edilir. En yaygın olarak bilinen antioksidanlar arasında A, C ve E vitaminleri bulunur. (Krishnamurthy ve Wadhvani, 2012: 48109; Martini, 2009). Bununla birlikte, antioksidanların besin kaynakları, birçok bitkide bol miktarda bulunan karotenoidler, lipoik asit ve fenolik bileşiklerdir (Krishnamurthy ve Wadhvani, 2012:48109; Shindo vd., 1994:122-124). Bu antioksidanların çoğu, insan derisinin epidermal ve dermal katmanlarına dahil edilir (Shindo vd., 1994:122-124).

Son olarak, solar UV radyasyonuna, ağır metallere veya diğer toksik ajanlara maruz kalmanın, mitokondriyal fonksiyonla bağlantılı normal metabolik oksidasyon yoluyla kaçınılmaz ROS üretimiyle birlikte serbest radikal veya ROS oluşumunu arttırdığı bilinmektedir. Bu nedenle ROS ve antioksidanlar hastalıklardan arınmış sağlıklı bir yaşam için bir denge meselesi haline gelir; biyolojik sistemler, vücudun maruz kaldığı veya ürettiği çeşitli serbest radikalleri veya ROS'ları "nötralize etmeye" hazır yeterli miktarda antioksidana sahip olmalıdır. Antioksidanlar ve ROS

arasında bir dengesizlik meydana gelirse, oksidatif stres ortaya çıkacak ve homeostazi sağlanamayacaktır (Tulah ve Birch-Machin, 2013:444-453).

### Yaşlanma Karşıtı Savunma

Vücutun iki ana savunma sistemi, serbest radikal detoksifiye edici enzimler ve antioksidan moleküllerdir (Krishnamurthy ve Wadhvani, 2012:48109; Martini, 2009). Katalaz ve glutatyon peroksidazlar, süperoksit dismutaz (SOD) 'ın yapısındaki süperoksit katyonunun 1 hidrojen elektronu alarak, moleküler oksijene (O<sub>2</sub>) veya hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) bağlanmasını katalize eden antioksidan enzimlerdir (Şekil 2.5.) (Krishnamurthy ve Wadhvani, 2012: 48109).



Şekil 2. Reaktif oksijenlerin oluşumu

### Bitki Etken Maddeleri

İnsanlar varoldukları günden bu zamana kadar; beslenme, barınma, ısınma, yaralarını iyileştirmek ve hastalıklarını tedavi etmek gibi bir çok konuda bitkilerden faydalanmışlardır. Yapılan araştırmalar M.Ö. 5000' li yıllarda insanların, yaklaşık 250 kadar bitkiyi hastalıklarının tedavisinde kullandıklarını göstermektedir. Hititler, Mısırlılar, Sümerler, Asurlar ve Mezopotamyalılar gibi birçok medeniyet yıllarca bitkilerle tedavi yolunu kullanmışlardır. Zamanla ilaçların üretime girmesi tıbbi aromatik bitki kullanımında azalmaya neden olmuştur. 1900' lü yıllardan sonra, insanların sentetik ilaçların yan etkilerini keşfetmesiyle ve yiyecek ve içeceklerde bulunan sentetik maddelerin insan sağlığına verdiği zararların bilincine varmasıyla doğal ürünlere olan talep artış göstermiştir (Göktaş ve Gıdık,2019:145-151).

Bitkilerin çeşitli kısımlarından elde edilen maddelerin dahili veya harici olarak hastalık tedavisinde kullanılmasına yarayan bitkilere tıbbi bitki denmektedir. Bu bitkiler günümüzde hastalık tedavileri dışında fitoterapi, eczacılık, gıda, baharat, kozmetik, boya, ziraat gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Tıbbi aromatik bitkilerle elde edilen bitkisel ilaçların üç çeşidi mevcuttur, işlenmemiş, işlenmiş ve herbal (şifalı ot) ürünleri. Kullanım alanları oldukça geniş olan bu bitkileri, familyalarına, kullanılan organlarına, içeriğinde bulunan etken maddelerine, tüketimine, kullanımına ve farmakolojik etkilerine göre gruplandırabiliriz (Göktaş ve Gıdık,2019:145-151).

Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre bitkilerin tedavi amaçlı kullanımı değişiklik göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde insanların %80' i bitkisel ürünlerle tedavi olmaktadır. Orta Doğu, Asya ve Afrika'daki bazı ülkelerde bu oran %95' e kadar çıkmaktadır; gelişmiş ülkelerde ise bu oran daha da az olmaktadır. Örneğin Almanya'da bu oran %40-50 dolaylarında, ABD'de %42, Avustralya'da %48 ve Fransa'da ise %49'dur. Türkiye zengin bir floraya sahip olması nedeniyle oldukça fazla bitki türünü bünyesinde barındırmaktadır. Yaklaşık olarak 11000 civarında bitki taksonu vardır ve bunlardan 500 kadarı alternatif tıp için kullanılmaktadır. Yaş haliyle kullanılabilen bu bitkiler kurutulmuş da kullanılmaktadır. Bitkinin gövdesi, yaprağı, çiçeği, tohumu,

yumrusu, kabuğu bütün organları farklı amaçlarla ve farklı yöntemlerle kullanılmaktadır. Ülkemizde tıbbi aromatik bitkiler en çok; Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Marmara ve Doğu Karadeniz bölgelerinde toplanmaktadır (Göktaş ve Gıdık,2019:145-151).

### Gıda Kaynaklı Biyoaktif Bileşikler

Günümüzde gıdanın rolü, beslenmeye bağlı hastalıkların önlenmesi ve sağlığın iyileştirilmesi üzerine odaklanmıştır (Dordevic vd., 2015: 452). Bu nedenle doğal kaynaklarda bulunan biyoaktif bileşikler, ilaç ve gıda endüstrilerinin ilgisini çekmektedir. Bu bileşiklerin birçoğu meyveler, sebzeler, tohumlar, bitkiler, otlar, baklagiller, tahıllar ve etler gibi doğal kaynaklardan çıkarılır. Antibakteriyel, antimikrobiyal, antiviral, antifungal, antiinflamatuvar, anti-obezite, antikolinesteraz ve antioksidan aktivite gibi biyolojik aktivitelere sahiptirler (da Silva, RochaSantos ve Duarte 2016: 40–51).

Kozmetik endüstrisi, formülasyonlarında bileşen olarak kullanmak için antioksidan potansiyeli olan doğal bileşikler ve ekstraktlar aramakta ve yaşlanma belirtilerini geciktirebilecek yeni ürünler geliştirmektedir. Bu biyoaktif bileşikler, iltihaplanma, hiperpigmentasyon ve hücre dışı matris bozulmasıyla ilgili hücre sinyal iletimini engelleyerek hareket edebilir (Taofiq vd., 2019: 469–477).

Tüm gıda türleri arasında, antioksidan ve antiinflamatuvar aktiviteler sergileyen ikincil metabolitlerin varlığı nedeniyle çok çeşitli hastalıkları önlemek için meyve ve sebzeler çok önemlidir (Rodriguez-Casado 2016: 1097–1107). Meyve ve sebzelerde bulunan en yaygın biyoaktif bileşikler fenolik bileşikler, karotenoidler, glukosinolatlar, C vitamini ve tokoferollerdir (Barba vd., 2017: 195–206). Fenolik bileşikler, bu tür gıdalarda en alakalı ikincil metabolitlerdir, yapılarında basit moleküllerden karmaşık polimerlere kadar değişen bir veya daha fazla hidroksil grubu ile aromatik bir halkaya sahiptirler. Ayrıca elektron vererek ve hücreleri ROS'a karşı koruyarak indirgeyici görevi gören antioksidan aktivite sergilerler (Sun vd., 2018: 148–155).

Polifenoller, ciltte antiaging ve fotokoruyucu potansiyelleri açısından incelenen çok çeşitli gıdalarda bulunur. Doğal fenolik bileşikler fenolik asitler, flavonoidler, stilbenler, kumarinler, lignanlar ve tanenler olarak sınıflandırılır (Shahidi ve Ambigaipalan 2015: 868). Antosiyaninler, kimyasal ve renk özelliklerinden dolayı büyük öneme sahip bir flavonoid türüdür. Çiçeklerde, sebzelerde ve meyvelerde kırmızı, mavi, mor ve mor renklerden sorumludurlar. Ayrıca fotosentez sırasında serbest radikallerin neden olduğu hasarı önleyen foto koruyucu görevi görürler. Daha da önemlisi, antosiyaninler, NF-kB sinyal yolunu modüle ederek ve TNF-a, IL-6 ve IL-10 gibi enflamatuar sitokinlerin ekspresyonunu ve iNOS ve COX-2'nin ekspresyonunu inhibe ederek anti-enflamatuar özelliklere sahiptir (Sui vd., 2018:1-8). Böğürtlen, acai meyvesi (*Euterpe oleracea Mart.*), kırmızı ahududu (*Rubus idaeus L.*), üzüm (*Vitis labrusca cv. Baile*) ve siyah frenk üzümü (*Ribes nigrum L.*) meyveleri, yüksek antosiyanin içeriğine işaret eden mevcut koyu ve kırmızı renkleri ile karakterize edilir. Ekstraktları, keratinositlerde ve fibroblastlarda UV-B ile indüklenen ERK1/2, JNK ve p38 kinazların fosforilasyonunu inhibe ederek AP-1 transkripsiyon faktörü ekspresyonunu ve MMP-1 aktivitesini azaltarak MAPK sinyal yolunu aşağı doğru düzenler. Ayrıca, ERK ve p38 protein kinazları NFjB aktivasyonunu modüle ederek, COX-2 inhibisyonu dahil inflamatuvar yanıtı hafiflettiği gösterilmiştir (Divya vd., 2015:92-99).

Nrf2/ARE yolunun aktivasyonu ayrıca dermal hücrelerde ve in vivo fare modellerinde HO-1 aktivitesinin ekspresyonunu yukarı doğru düzenleyerek gözlenir; bu antioksidan enzim, rolü hücre içi ROS'u azaltmak olan bilirubin olarak bilinen endojen güçlü bir antioksidan üretir (Kim vd., 2019:1600-1602). Kırmızı ahududu özü, cyanidin, pelargonidin-3-sophoroside, cyanidin-3-rutinoside, malvidin-petunidin-glucoside-epicatechin, cyanidin-3-O-(6-O-p-coumaryl) monoglucoside, ve ellagic asit polifenol gibi antosiyaninler içerir. Bu bileşikler serbest radikalleri, özellikle süperoksit anyonlarını temizler ve sonuç olarak cilt hücrelerinde oksidatif stresi azaltır (Teng vd., 2017:153-165). Güney Amerika'dan yerli bir meyve olan acai meyvesinin metanol/su

ekstraktında tanımlanmıştır. Bu flavonoidlerden siyanidin ve malvidin, güçlü antioksidan aktivite gösterir, en aktif olanı malvidindir (Petruk vd., 2017: 42–51). Bu antosiyanin, siyah pirinç ve kırmızı şarapta da yüksek konsantrasyonda bulunur. Siyah pirinç (*Oryza sativa L.*), siyanidin-3-O-glikozid, ferulic asit antosiyaninlerin de dahil olmak üzere bol miktarda flavonoid ve polifenoller içermesi nedeniyle Çin'de yetiştirilen ve bağışıklık sistemine faydaları nedeniyle tüketilen bir tahıl ürünüdür (Pengkumsri vd., 2015: 331–338). İnsan dermal fibroblastları üzerinde 100 mg mL<sup>-1</sup>'de siyah pirinç etanolik özü kullanan tedavi, TGF- $\beta$  yolunun ekspresyonunu %282,8 artırdı ve Smad2/3 proteinlerinin fosforilasyonunu %198,5 artırarak prokollajen tip 1 sentezine yol açtı (Han vd., 2018: 3073–3080). Bu tahıl, yeni kozmetiklerin geliştirilmesi için potansiyel bir fenolik biyoaktif bileşik kaynağı olarak kullanılabilir.

Kozmetik ve ilaç endüstrisinin ilgi duyduğu bir diğer bitkisel besin, üretiminin %80'ini şarapçılık endüstrilerine tahsis eden bir meyve olan üzümdür. Üzüm çekirdeği, kabuğu, sapları ve yaprakları gibi şarap yapımından üretilen yan ürünler, ilgili biyoaktif bileşikler elde etmek için kullanılabilir (Nunes, Rodrigues ve Oliveira 2017: 267–292). Üzüm kabuğu, antioksidan, antikanser, anti inflammatuar ve kardiyoprotektif etkiler sergileyen bir stilben olan resveratrol (3,40.5-trihidroksilben) için iyi bir kaynaktır ve ağızdan alındığında etkili bir şekilde emilir (Jayan vd., 2019: 417–424). Kim vd. (2019: 1600–1608), farelerde üzüm kabuğu ekstraktının (kg vücut ağırlığı başına 2 mg) oral olarak uygulanmasının, fare derisinin UVB kaynaklı epidermal kalınlaşmasını %63 oranında azalttığını bildirdi. Ayrıca ekstrakt, UVB kaynaklı hasarı azaltmak için Nrf2/HO-1 sinyal yolunun aktivasyonunu indükledi. Biyoaktif bileşik kaynağı olarak kullanılacak bir başka yan ürün de kestane kabuklarıdır. Kestane soyma işlemi, yakıt olarak kullanılmak üzere yakılan yılda tonlarca kabuk üretir. İç ve dış kestane kabukları, cilt bakımı sektörü için potansiyel bileşenler olarak biyoaktif bileşikler sunar. Ceviz kabuğu ekstraktında bulunan fenolik bileşikler, membranlardan gliserol ve su taşınmasında ve epidermin hidrasyonunun korunmasında yer alan bir kanal proteini olan aquaporin-3'ün (AQP-3) gen ekspresyonunu düzenler (Squillaci vd., 2018: 228–236). Ciltteki suyun korunması yaşlanma etkilerini azaltmak için önemlidir. UV-B radyasyonu, AQP-3'ün gen ekspresyonunu azaltır ve fenolik bileşikler üzerine yapılan birkaç çalışma, bu proteinin sentezini modüle etmedeki aktivitelerini gösterir (Squillaci vd., 2018: 228–236).

Kozmetik endüstrisi de formülasyonları için deniz kaynaklarından yararlanmayı hedeflemektedir. Deniz ekosistemleri, bitkilerden, mikroorganizmalardan ve hayvanlardan elde edilen çeşitli yağ asitleri, polisakkaritler, antioksidanlar, enzimler ve biyoaktif peptidler içerir (Kim 2014: 56–67). Kolajen peptidler, kollajenin enzimatik hidroliz ile salınan, 3-20 amino asit kalıntısı içeren hidrolize edilmiş halidir ve aktiviteleri amino asit bileşimlerine ve sekanslarına bağlıdır. Balık derisinden, pullarından ve kemiklerinden elde edilirler ve çeşitli biyoaktiviteler sergilerler, bazıları bağışıklık sistemini iyileştirmek, eklem sağlığı ve saç, tırnak ve cilt için kollajen üretimi ile ilgilidir (Kumar vd., 2019: 450–456).

Pasifik morina balığı ve tilapia derisi jelatini ve kollajen hidrolizatları, hap şeklinde nutrizmetik olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Bu hidrolizatlar, MAPK sinyal yolunun inhibisyonu ve CAT ve SOD gibi endojen antioksidan enzimlerin aktivitesini ve prokollajen tip 1 sentezini artırarak cildin yaşlanma etkilerini azaltır.

Kakao çekirdeği, özellikle flavonoidler olmak üzere polifenol içeriği nedeniyle şekerleme, ilaç ve kozmetik endüstrisinde kullanılan önemli bir üründür (Wickramasuriya ve Dunwell 2018: 4–17). Ayrıca, çeşitli araştırmalar, kutanöz dokulara kan akışında bir artış, hidrasyon ve kırışıklık oluşumunu azaltmak da dahil olmak üzere cilt sağlığını iyileştirmek için kakao çekirdeği tüketiminin faydalarını göstermiştir (Kim vd., 2016: 1012–1021).

Gıda ve kozmetik sektöründe son dönemde önem kazanan diğer tohum ve ürünler ise kinoa, soya fasulyesi ve kahve çekirdeğidir. Bu gıdalar, polifenoller, esansiyel yağ asitleri ve proteinler gibi yüksek konsantrasyonlarda biyoaktif bileşikler, nutrizmetik gelişim için kullanılan bileşikler içerir.

Soya fasulyesi, cilt yaşlanma problemlerini düzenlemek için kullanılan bileşikler olan genistein ve daidzein gibi izoflavonlar içerir. Öte yandan, kahve çekirdekleri (*Coffea arabica*), klorojenik asit gibi birçok sağlık yararı olan önemli besin maddeleri ve fitokimyasallar içerir. Bu bileşik, ciltte önemli MMP'lerin ekspresyonunu azaltır ve dermal hücrelerde ROS üretimini inhibe ederek, onu kozmesötik formülasyonlar için potansiyel bir bileşen haline getirir (Graf vd., 2015: 212–221; Kwon vd., 2015: 705–715; Cho vd., 2017: 323–332)

### Bitkisel Kaynaklı Biyoaktif Bileşikler

Bazı bitkiler, çiçekler, kökler ve şifalı bitkiler genellikle çeşitli türde rahatsızlıkların tedavisinde kullanılır ve doğu ve geleneksel tıpta yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bitki özleri formundaki bitkiler, cildi sakinleştirebilir, onarabilir, iyileştirebilir, pürüzsüzleştirebilir ve koruyabilir, bu da onları kozmetik ürünler için mükemmel kaynaklar haline getirir. Küresel olarak bitkiler, cilt aydınlatma, cilt nemlendirme, depigmentasyon, antimikrobiyal aktivite, parfümlenme, yaşlanma karşıtı, UV koruması ve güneş yanığı lekelerini gidermek gibi çeşitli kozmetik amaçlar için kullanılmaktadır (Mwinga vd., 2019: 4–10). Gıda bilimi ve gastronomi alanlarında, gıda hazırlıkları için sürekli bir içerik araştırması vardır. Gıda ürünlerini tatlandırmak için doğal otlar ve baharatlar kullanılır. Ancak bu bileşenler, önemli biyoaktif bileşik içerikleri nedeniyle sağlık açısından faydalar sağlayabilir (Krigas vd., 2015: 112–118). Rosmarinik asit, *Borago officinalis* L. ve *Thymus sephyllum* L. gibi *Boraginaceae* türlerinde ve *Lamiaceae* familyasının *Nepetoideae* alt familyasında yaygın olarak bulunan 39 bitki familyasında dağıtılan bir fenolik bileşiktir. anti-oksidan ve anti-mikrobiyal özellikler. Bu özelliklerinden dolayı, diyet takviyeleri ve farmasötik ürünlerde kullanım için ilgi çekici bir bileşiktir. Kozmetik potansiyele sahip olmasının yanı sıra (Kim vd., 2015: 2083–2092).

*Borago officinalis* L., içecek ve salatalarda tıbbi ve mutfak uygulamalarında kullanılan rosmarinik asit açısından zengin yıllık bir bitkidir. Bitki, anti-enflamatuar özelliklerinin yanı sıra, MMP-1, MMP-3 ve IL-6 ekspresyonunu azaltarak, insan dermal fibroblastlarında Nrf2 sinyal yolunu düzenleyerek ve fare derisinde kırışıklık oluşumunu ve pürüzlülüğü azaltarak cilt fotohasarına karşı koruyucu etkiler göstermiştir. (Seo vd., 2018: 178–186). Çeşitli kanser türlerini önlemek ve tedavi etmek için doğal bir takviye olarak son birkaç yılda önem kazanan bir başka bitki de *Moringa oleifera*'dır (Al-Asmari vd., 2015). *Moringa oleifera*, luteolin, rutin ve quercetin gibi flavonoidler açısından zengindir; bu bileşiklerin UVB kaynaklı cilt hasarına karşı koruyucu etkiler gösterdiği bildirilmektedir (Zhou vd., 2018: 44–53). Asya, Amerika, Afrika ve Doğu ülkelerinde yemek pişirmede yaygın olarak kullanılan bir baharat, sıcak içeceklerde ve çeşitli baharatlı yemeklerde kullanılan karanfildir (*Syzygium aromaticum* L.). Karanfilden ekstrakte edilen esansiyel yağ, toplam ağırlığın %70-90'ı arasında değişen yüksek konsantrasyonlarda öjenol içerir, bu fenolik bileşik kozmetik endüstrisinde parfümler için bir bileşen olarak kullanılır ve gelişim için fotokoruyucu bir bileşen olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. kozmesötiklerin (Hwang vd., 2018: 4936–4947). Hwang ve ark. (2018: 4936–4947), oksidatif stresi azaltarak, cilt bariyeri fonksiyonunu onararak, MAPK yolunu inhibe ederek ve TGF-β1/Smad yolunu yukarı doğru düzenleyerek UV-B radyasyonundan sonra normal insan fibroblastlarında ve tüsüz farelerde karanfilden fotokoruyucu özelliklerini göstermiştir. Polifenol içeren çeşitli bitki ve baharat türleri kozmesötik ve nutricosmetik bileşenler olarak kullanılabilirken, yenilikçi ürünlerin geliştirilmesi için en uygun konsantrasyonu sağlamak üzere bu bileşiklerin topikal dağılımı ve mevcudiyeti klinik deneylerde değerlendirilmelidir.

## KAYNAKÇA

- Al-Asmari, A. K., S. M. Albalawi, M. T. Athar, A. Q. Khan, H. Al- Shahrani, and M. Islam. 2015. *Moringa oleifera* as an anti-cancer agent against breast and colorectal cancer cell lines. *Plos ONE* 10 (8):e0135814. doi: 10.1371/journal.pone.0135814.
- Ames BN, Cathcart R, Schwiers E, Hochstein P. 1981. Uric acid provides an antioxidant defense in humans against oxidant- and radical-caused aging and cancer: A hypothesis. *Proc Natl Acad Sci USA*. 78(11 II), 6858–6862. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.78.11.6858>
- Barba, F. J., L. R. B. Mariutti, N. Bragagnolo, A. Z. Mercadante, G. V. Barbosa-Canovas, and V. Orlien. 2017. Bioaccessibility of Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables after Thermal and Nonthermal Processing. *Trends in Food Science & Technology* 67: 195–206. doi: 10.1016/j.tifs.2017.07.006.
- Becker BF. 1993. Towards the physiological function of uric acid, *Free Radical Biology and Medicine*. 14(6), 615–631. doi: 10.1016/0891-5849(93)90143-i
- Bjorksten J. 1968. The crosslinkage theory of aging. *Journal of the American Geriatrics Society*. 16(4), 408–427. doi: 10.1111/j.1532-5415.1968.tb02821.x
- Burton GJ, Jauniaux E. 2011. Oxidative stress. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*. Jun;25(3):287-99. doi: 10.1016/j.bpobgyn.2010.10.016. Epub 2010 Dec 3.
- Campisi, J, D'Adda Di Fagagna, F. 2007. Cellular senescence: When bad things happen to good cells. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. Sep;8(9):729-40. doi: 10.1038/nrm2233.
- Cho, Y.-H., A. Bahuguna, H.-H. Kim, D.-I. Kim, H.-J. Kim, J.-M. Yu, H.-G. Jung, J.-Y. Jang, J.-H. Kwak, G.-H. Park, et al. 2017. Potential effect of compounds isolated from *Coffea arabica* against UV-B induced skin damage by protecting fibroblast cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B, Biology* 174:323–32. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2017.08.015.
- da Costa JP, Vitorino R, Silva GM, Vogel C, Duarte AC, Rocha-Santos T. 2016. A synopsis on aging—Theories, mechanisms and future prospects. *Ageing Res Rev*. Aug;29:90-112. doi: 10.1016/j.arr.2016.06.005. Epub 2016 Jun 25.
- da Silva, R. P. F. F., T. A. P. Rocha-Santos, and A. C. Duarte. 2016. Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 76:40–51. doi: 10.1016/j.trac.2015.11.013.
- Divya, S. P., X. Wang, P. Pratheeshkumar, Y.-O. Son, R. V. Roy, D. Kim, J. Dai, J. A. Hitron, L. Wang, P. Asha, et al. 2015. Blackberry extract inhibits UVB-induced oxidative damage and inflammation through MAP kinases and NF-KB signaling pathways in SKH-1 mice skin. *Toxicology and Applied Pharmacology* 284 (1):92–9. doi: 10.1016/j.taap.2015.02.003.
- Dordevic, V., B. Balanc, A. Belscak-Cvitanovic, S. Levic, K. Trifkovic, A. Kalusevic, I. Kostic, D. Komes, B. Bugarski, and V. Nedovic. 2015. Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews* 7 (4):452–90. doi: 10.1007/s12393-014-9106-7.
- Effros RB. 2005. Roy Walford and the immunologic theory of aging. *Immun Ageing*; 2: 7. Published online 2005 Apr 25. doi: 10.1186/1742-4933-2-7
- Göktaş Ö, Gıdık B. 2019. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kullanım Alanları. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 2,1; 145-151. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bufbd/issue/46478/515490>

Graf, B. L., D. M. Cheng, D. Esposito, T. Shertel, A. Poulev, N. Plundrich, D. Itenberg, N. Dayan, M. A. Lila, and I. Raskin. 2015. Compounds leached from quinoa seeds inhibit matrix metalloproteinase activity and intracellular reactive oxygen species. *International Journal of Cosmetic Science* 37 (2):212–221. doi: 10.1111/ics.12185.

Han, M., J. S. Bae, J. J. Ban, H. S. Shi, D. H. Lee, and J. H. Chung. 2018. Black rice (*Oryza sativa* L.) extract modulates ultraviolet-induced expression of matrix metalloproteinases and procollagen in a skin cell model. *International Journal of Molecular Medicine* 41 (5):3073–3080. doi: 10.3892/ijmm.2018.3508.

Harman D. 1956. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. *Journal of gerontology*. Jul;11(3):298-300. doi: 10.1093/geronj/11.3.298.

Harman D. 1993. Free radical involvement in aging. Pathophysiology and therapeutic implications. *Drugs Aging*. Jan-Feb;3(1):60-80. doi: 10.2165/00002512-199303010-00006.

Harman D. 2003. The Free Radical Theory of Aging. *Antioxid Redox Signal*. Oct;5(5):557-61. doi: 10.1089/152308603770310202.

Hayflick L, Moorhead PS. 1961. The serial cultivation of human diploid cell strains. *Experimental Cell Research*. Dec;25:585-621. doi: 10.1016/0014-4827(61)90192-6.

Hayflick L. 1965. The limited in vitro lifetime of human diploid cell strains. *Experimental Cell Research*. Mar;37:614-36. doi: 10.1016/0014-4827(65)90211-9.

Hernandez-Segura A, Nehme J, Demaria M. 2018. Hallmarks of Cellular Senescence. *Trends in Cell Biology*. Jun;28(6):436-453. doi: 10.1016/j.tcb.2018.02.001.

Hwang, E., P. Lin, H. T. T. Ngo, and T. H. Yi. 2018. Clove attenuates UVB-induced photodamage and repairs skin barrier function in hairless mice. *Food & Function* 9 (9):4936–4947. doi: 10.1039/c8fo00843d.

Jayan, H., M. Maria Leena, S. K. Sivakama Sundari, J. A. Moses, and C. Anandharamakrishnan. 2019. Improvement of bioavailability for resveratrol through encapsulation in zein using electrospraying technique. *Journal of Functional Foods* 57:417–424. doi: 10.1016/j.jff.2019.04.007.

Kim, G. D., Y. S. Park, Y. H. Jin, and C. S. Park. 2015. Production and applications of rosmarinic acid and structurally related compounds. *Applied Microbiology and Biotechnology* 99 (5):2083–2092. doi: 10.1007/s00253-015-6395-6.

Kim, J., J. Oh, J. N. Averilla, H. J. Kim, J.-S. Kim, and J.-S. Kim. 2019. Grape peel extract and resveratrol inhibit wrinkle formation in mice model through activation of Nrf2/HO-1 signaling pathway. *Journal of Food Science* 84 (6):1600–1608. doi: 10.1111/1750-3841.14643.

Kim, J.-E., D. Song, J. Kim, J. Choi, J. R. Kim, H.-S. Yoon, J.-S. Bae, M. Han, S. Lee, J. S. Hong, et al. 2016. Oral supplementation with cocoa extract reduces UVB-induced wrinkles in hairless mouse skin. *The Journal of Investigative Dermatology* 136 (5):1012–1021. doi: 10.1016/j.jid.2015.11.032.

Kim, S.-K. 2014. Marine cosmeceuticals. *Journal of Cosmetic Dermatology* 13 (1):56–67. doi: 10.1111/jocd.12057.

Kirkland JL, Tchkonian T. 2015. Clinical strategies and animal models for developing senolytic agents. *Experimental gerontology*. Aug;68:19-25. doi: 10.1016/j.exger.2014.10.012. Epub 2014 Oct 28.

Krigas, N., D. Lazari, E. Maloupa, and M. Stikoudi. 2015. Introducing dittany of crete (*Origanum dictamnus* L.) to gastronomy: A new culinary concept for a traditionally used medicinal



plant. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 2 (2):112–118. doi: 10.1016/j.ijgfs.2015.02.001.

Krishnamurthy P, Wadhvani A. *Antioxidant Enzymes and Human Health*. 2012. Antioxidant Enzyme. 48109. doi: 10.5772/48109

Kruk PA, Rampino NJ, Bohr VA. 1995. DNA damage and repair in telomeres: relation to aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*. Jan 3; 92(1): 258–262. doi: 10.1073/pnas.92.1.258

Kumar, A., K. Elavarasan, M. D. Hanjabam, P. K. Binsi, C. O. Mohan, A. A. Zynudheen, and A. Kumar K. 2019. Marine collagen peptide as a fortificant for biscuit: Effects on biscuit attributes. *Lwt* 109: 450–456. doi: 10.1016/j.lwt.2019.04.052.

Kwon, O. W., R. Venkatesan, M. H. Do, E. Ji, D. W. Cho, K. W. Lee, and S. Y. Kim. 2015. Dietary supplementation with a fermented barley and soybean mixture attenuates UVB-induced skin aging and dehydration in hairless mouse skin. *Food Science and Biotechnology* 24 (2):705–715. doi: 10.1007/s10068-015-0092-1.

Lephart ED. 2016. Skin aging and oxidative stress: Equol's anti-aging effects via biochemical and molecular mechanisms. *Ageing Research Reviews*. Elsevier. Nov;31:36-54. doi: 10.1016/j.arr.2016.08.001. Epub 2016 Aug 9.

Lephart ED. 2016. Skin aging and oxidative stress: Equol's anti-aging effects via biochemical and molecular mechanisms. *Ageing Research Reviews*. Elsevier. Nov;31:36-54. doi: 10.1016/j.arr.2016.08.001. Epub 2016 Aug 9.

Lipsky MS, King M. 2015. Biological theories of aging. *Disease-a-Month*. Nov;61(11):460-6. doi: 10.1016/j.disamonth.2015.09.005.

Martini F. *Fundamentals of anatomy & physiology*. 8th ed. San Francisco: Pearson/Benjamin Cummings. 2009. ISBN-10: 0321505891

Medvedev ZA. 1990. An attempt at a rational classification of theories of ageing. *Biol Rev Camb Philos Soc*. Aug;65(3):375-98. doi: 10.1111/j.1469-185x.1990.tb01428.x.

Muñoz-Espín D, Serrano M. 2014. Cellular senescence: from physiology to pathology. *Nature reviews Molecular cell biology*. Jul;15(7):482-96. doi: 10.1038/nrm3823.

Mwinga, J. L., N. S. Makhaga, A. O. Aremu, and W. Otang-Mbeng. 2019. Botanicals used for cosmetic purposes by Xhosa Women in the Eastern Cape, South Africa. *South African Journal of Botany* 126:4–10. doi: 10.1016/j.sajb.2019.03.038.

Narita M, Young AR, Arakawa S, Samarajiwa SA., Nakashima T, Yoshida S, Hong S, Berry LS, Reichelt S, Ferreira M, Tavaré S, Inoki K, Shimizu S, Narita M. 2011. Spatial Coupling of mTOR and Autophagy Augments Secretory Phenotypes. *Science* 332(6032): 966-70. doi: 10.1126/science.1205407

Nunes, M. A., F., Rodrigues, and and M. B. P. P. Oliveira. 2017. Grape processing by-products as active ingredients for cosmetic proposes. In *Handbook of grape processing by-products: sustainable solutions*, 267–92. Greece: Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-809870-7.00011-9.

Pengkumsri, N., C. Chaiyasut, C. Saenjum, S. Sirilun, S. Peerajan, P. Suwannalert, S. Sirisattha, and B. S. Sivamaruthi. 2015. Physicochemical and antioxidative properties of black, brown and red rice varieties of Northern Thailand. *Food Science and Technology (Campinas)* 35 (2):331–338. doi: 10.1590/1678-457X.6573.

Petruk, G., A. Illiano, R. Del Giudice, A. Raiola, A. Amoresano, M. M. Rigano, R. Piccoli, and D. M. Monti. 2017. Malvidin and cyanidin derivatives from ac, ai fruit (*Euterpe oleracea* Mart.)

counteract UVA- induced oxidative stress in immortalized fibroblasts. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B, Biology* 172:42–51. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2017.05.013.

Rattan SIS. 2006. Theories of biological aging: genes, proteins, and free radicals. *Free Radic Res. Dec*;40(12):1230-8. doi: 10.1080/10715760600911303.

Regulski Matthew J. 2017. Cellular Senescence: What, Why, and How. *Wounds. Jun*;29(6):168-174. PMID: 28682291

Rodriguez-Casado, A. 2016. The Health potential of fruits and vegetables phytochemicals: notable examples. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56 (7):1097–1107. doi: 10.1080/10408398.2012.755149.

Sanz A, Sefanatos RKA. 2008. The Mitochondrial Free Radical Theory of Aging: A Critical View. *Current Aging Sciencee. Mar*;1(1):10-21. doi: 10.2174/1874609810801010010.

Seo, S. A., B. Park, E. Hwang, S. Y. Park, and T. H. Yi. 2018. *Borago officinalis* L. attenuates UVB-induced skin photodamage via regulation of AP-1 and Nrf2/ARE pathway in normal human dermal fibroblasts and promotion of collagen synthesis in hairless mice. *Experimental Gerontology* 107:178–186. doi: 10.1016/j.exger.2018.02.017.

Shahidi, F., and P. Ambigaipalan. 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects- A review. *Journal of Functional Foods* 18:820–897. doi: 10.1016/j.jff. 2015.06.018.

Shindo Y, Witt E, Han D, Epstein W, Packer L. 1994. Enzymic and Non-Enzymic Antioxidants in Epidermis and Dermis of Human Skin. *Journal of Investigative Dermatology.*;102(1): 122–124. doi 10.1111/1523-1747.ep12371744

Squillaci, G., F. Apone, L. M. Sena, A. Carola, A. Tito, M. Bimonte, A. D. Lucia, G. Colucci, F. L. Cara, and A. Morana. 2018. Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) industrial wastes as a valued bioresource for the production of active ingredients. *Process Biochemistry* 64: 228–236. doi: 10.1016/j.procbio.2017.09.017.

Squillaci, G., F. Apone, L. M. Sena, A. Carola, A. Tito, M. Bimonte, A. D. Lucia, G. Colucci, F. L. Cara, and A. Morana. 2018. Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) industrial wastes as a valued bioresource for the production of active ingredients. *Process Biochemistry* 64: 228–236. doi: 10.1016/j.procbio.2017.09.017.

Sui, X., Y. Zhang, L. Jiang, and W. Zhou. 2018. Anthocyanins in food. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 1–8. United States: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-814026-0.21669-7.

Sun, L., W. He, G. Xin, P. Cai, Y. Zhang, Z. Zhang, Y. Wei, B. Sun, and X. Wen. 2018. Volatile components, total phenolic compounds, and antioxidant capacities of worm-infected *Gomphidius rutilus*. *Food Science and Human Wellness* 7 (2):148–155. doi: 10.1016/j.fshw.2018.05.004.

Taofiq, O., S. A. Heleno, R. C. Calhelha, I. P. Fernandes, M. J. Alves, L. Barros, A. M. Gonzalez-Paramas, I. C. F. R. Ferreira, and M. F. Barreiro. 2019. Phenolic acids, cinnamic acid, and ergosterol as cosmeceutical ingredients: Stabilization by microencapsulation to ensure sustained bioactivity. *Microchemical Journal* 147:469–477. doi: 10.1016/j.microc.2019.03.059.

Teng, H., T. Fang, Q. Lin, H. Song, B. Liu, and L. Chen. 2017. Red raspberry and its anthocyanins: bioactivity beyond antioxidant capacity. *Trends in Food Science & Technology* 66:153–165. doi: 10.1016/j.tifs.2017.05.015.

Tosato M, Zamboni V, Ferrini A, Cesari M. 2007. The aging process and potential interventions to extend life expectancy. *Clinical Interventions in Aging*;2(3): 401. PMID: 18044191

Tower J. 2015. Programmed cell death in aging. *Ageing Res Rev. Sep;23(Pt A):90-100.* doi: 10.1016/j.arr.2015.04.002.

Tulah AS, Birch-Machin MA. 2013. Stressed out mitochondria: The role of mitochondria in ageing and cancer focussing on strategies and opportunities in human skin. *Mitochondrion.;13(5): 444–453.* doi: 10.1016/j.mito.2012.11.007

Warner HR, Butler RN, Sprott RL, Schneider EL. 1987. Modern biological theories of aging. *American Journal of Physical Anthropology.* New York: Raven Press;324. ISBN-10: 0881673102

Wickramasuriya, A. M., and J. M. Dunwell. 2018. Cacao biotechnology: Current status and future prospects. *Plant Biotechnology Journal* 16 (1):4–17. doi: 10.1111/pbi.12848.

Young AR, Narita M, Narita M. 2011. Spatio-temporal association between mTOR and autophagy during cellular senescence. *Autophagy;7(11): 1387–1388.* doi: 10.4161/auto.7.11.17348

Zhou, Y., W. Yang, Z. Li, D. Luo, W. Li, Y. Zhang, X. Wang, M. Fang, Q. Chen, and X. Jin. 2018. *Moringa oleifera* stem extract protect skin keratinocytes against oxidative stress injury by enhancement of antioxidant defense systems and activation of PPARα. *Biomedicine & Pharmacotherapy Biomedecine & Pharmacotherapie* 107:44–53. doi: 10.1016/j.biopha.2018.07.152.

## Otoklav Cihazı Atık Isısından Organik Rankine Çevrimi ile Enerji Üretimi

Mehmet Erhan ŞAHİN<sup>1</sup>  
Ahmet ELBİR<sup>2</sup>

### 1.Giriş

Fosil enerji kaynaklarının tükenmesi yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yöneliminimiz gün geçtikçe artmaktadır. Organik Rankine Çevrimi (ORC) ile düşük ısı kaynaklarından enerji eldilmesi alternatif enerji üretiminin başında gelmektedir. ORC ile kombine ısı ve güç sistemlerini çalıştırmak için biyokütle, yanma ısı enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal ve atık ısı geri kazanımı uygulanabilir. ORC'nin verimliliğini etkileyen en önemli kriterlerden biri ORC'deki çalışma sıvısının doğru belirlenmesi enerji verimini büyük ölçüde etkilemektedir (Qui G., 2012). Toujani ve ark. Farklı soğutucu akışkanlar ile Rankine-Buhar sıkıştırma çevrim analizlerini yapmışlardır. ORC'li çevrimde amonyak, buhar sıkıştırma çevrimde izobütan akışkanı ile en ideal sonuçları elde etmişler (Toujani, N. ve ark., 2020).

Sterilizasyon ortamda bulunan tüm mikroorganizmaların ortadan kaldırılması işlemidir (Albert, H. ve ark., 1998). Tekrar tekrar kullanılabilir tıbbi malzemeler enfeksiyona neden olabilmektedir. Bu noktada sterilizasyon prosedürleri devreye girmektedir. Biyomedikal ve tıbbi ürünlerin üretiminden sonra veya kullanım esnasında belirli standartlarda sterilizasyon yapılmaktadır (Panta, G. ve ark., 2019). Hastane enfeksiyonlarının neden olduğu ölüm ve maliyet artışının kontrol edilmesi için sterilizasyon önemli bir basamaktır. (Castillo, R. B., 2017). Sterilizasyon yöntemi steril edilecek malzemeye göre değişmektedir. Kuru sıcak hava, ışın, kimyasal ve basınçlı buhar ile sterilizasyon yapılabilmektedir. Su buharı insan sağlığına zarar vermediğinden en sık kullanılan buharla sterilizasyon yöntemi olan otoklav cihazlarıdır. Otoklav cihazları; tıp, diş hekimliği, veterinerlik, gıda, gibi alanlarda sterilizasyon için kullanılmaktadır (Kanyılmaz, N., 2021).

Otoklavlar basınç buharlı sterilizasyon yöntemini kullanılarak çalışan cihazlardır. Burada temel prensip doymuş ve basınç altındaki su buharında 100°C'nin üzerinde sterilizasyondur. Bu yöntemde; basınçlı su buharının taşıdığı yüksek enerji mikroorganizmaların proteinlerini hidroliz yoluyla bozarak kısa sürede etki oluşturmaktadır. Otoklav ile sterilizasyonda ısı derecesi, basınç, uygulama süresi, nem değerlerine bağlı olarak değişmektedir (Autoclave, (08.09.2009). Dünya standartlarına göre basınçlı buhar sterilizasyonunda sterilizasyonu sağlamaya yeterli olan sıcaklık, basınç ve uygulama süreleri; 1 kg/cm<sup>2</sup> manometre basıncında 121°C'de 15-20 dakika, 0.5 kg/cm<sup>2</sup> manometre basıncında 115°C'de 30 dakikadır. Temel ilke steril edilecek malzemenin her noktasının belli bir ısıya sahip doymuş su buharı ile yeterli süre temas etmesini sağlamaktır. Bu nedenle paketler otoklava çok sık yerleştirilmemelidir (Karadağ, A., 2005).

Bu çalışmada bir sterilizasyon ünitesinde bulunan otoklav cihazının atık buhar ısısından ORC çevrimi yardımıyla enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği sterilizasyon ünitesi Şekil 1' de görülmektedir.

---

<sup>1</sup> Mehmet Erhan Şahin, Dr. Öğr. Üyesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu

<sup>2</sup> Ahmet Elbir, Öğr. Gör. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, YEKARUM

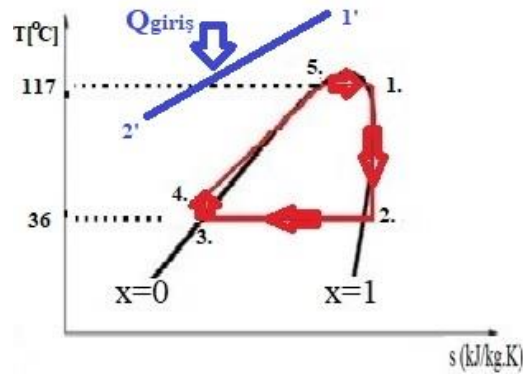


Şekil 1. Sterilizasyon ünitesi görüntüsü

## 2. Materyal ve Metot

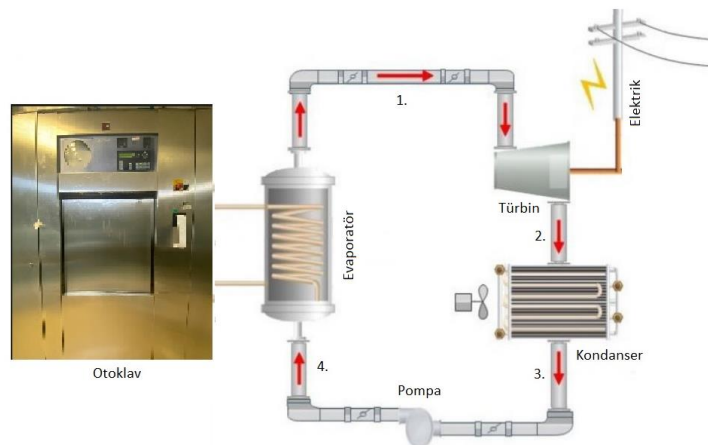
### 2.1. ORC sistemi

Şekil 2' de basit bir ORC sisteminin T-s diyagramında gösterildiği gibi çalışma durum noktaları belirtilmiştir.



Şekil 2. ORC T-s diyagramı

Şekil 2' de gösterilen ORC sistemine aktarılan ısı 1. Noktasında (x=1) doymuş buhar olarak çıkar ve türbine girer. 2. durumunda türbinden çıkar ve yoğunlaşarak 3. Noktasında (x=0) doymuş sıvı olarak çıkar. Doymuş sıvı durumundaki akışkan sıkıştırılarak 4. durumda pompadan çıkar. Pompadan çıkan basıncı yükseltilmiş akışkan tekrar otoklav atık ısısından ısı (1' ve 2') alarak çevrimi tamamlar.



Şekil 3. Tasarlanan ORC sistemi

Şekil 3’de otoklav cihazının atık ısısının bir ORC sistemine aktarılması ile enerji üretiminin gerçekleştirilmesi için hazırlanan sistem tasarımı görülmektedir.

## 2.2. Kabuller ve sabit parametreler

- Tüm ısı değiştiricilerin (kondanser, evaporatör) ısının tamamını ısı kaynaklarından kayıpsız aktarılmıştır.
- Sistemdeki tüm bileşenlerde basınç hattı üzerindeki oluşabilecek basınç kayıpları ihmal edilmiştir.
- Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilmiştir.
- Türbin izentropik verimi  $\eta_{iz}=0,90$  ve pompanın izentropik verimi  $\eta_{iz}=0,80$  alınarak hesaplamalar yapılmıştır.
- Sistem bileşenlerindeki ve boru hattı üzerindeki basınç düşüşleri ve ısı transferi süreci de ihmal edilmiştir.
- Sistem performansı sabit ve düzenli olarak kabul edilmiştir.
- Evaporatör ısı kaynağı hesabı  $117\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1’) ve  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2’) su buharının atık ısısından  $0,0168\text{kg/s}$  atık biri debi ile atılan ısı kaynağından yararlanılmıştır.
- ORC sisteminde Evaporatör sıcaklığı  $117\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kondanser sıcaklığı  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$  sabit tutulmuştur.
- kondanser çıkışında  $x=0$  (Doymuş sıvı), evaporatör çıkışından  $x=1$  (Doymuş buhar) olarak belirlenmiştir.

## 2.2. Termodinamik hesaplamalar

Kararlı hal durumunda, kütle dengesi denklemi aşağıdaki gibi verilebilir (Dincer, I., 2012) :

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

burada  $\dot{m}$  kütle akış hızıdır, g ve ç indisleri sırasıyla giriş ve çıkış koşullarıdır. Enerji dengesi aşağıdaki denklemde verilir.

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \sum_ç \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (2)$$

Burada  $\dot{Q}$  ısı aktarım hızı,  $\dot{W}$  güç, h özgül entalpi, v hız, z yükseklik ve g yerçekimi ivmesidir.

H<sub>2</sub>O-R717 çevrim verimi,

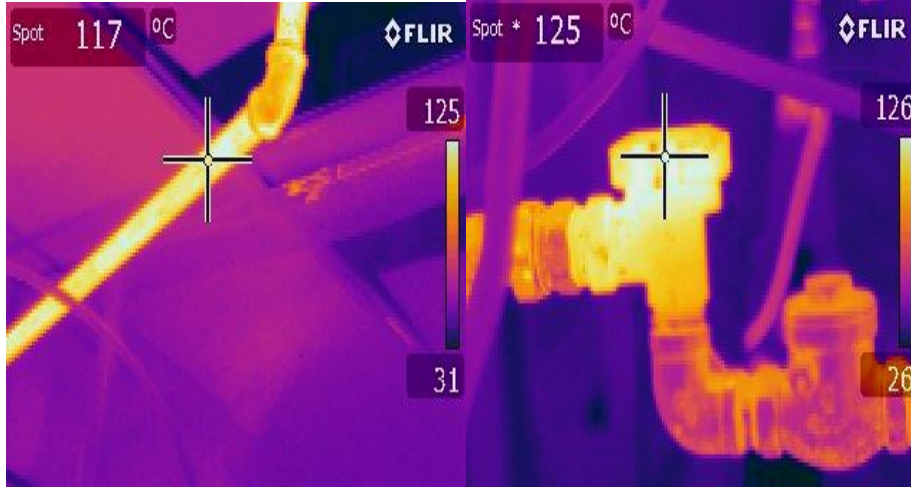
$$\eta_{H_2O-R717} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_g} = 1 - \frac{\dot{Q}_ç}{\dot{Q}_g} = \frac{(\dot{W}_{türb.R717} - \dot{W}_{pomp.R717})}{\dot{Q}_{giren}} \quad (3)$$

H<sub>2</sub>O-R600a çevrim verimi;

$$\eta_{HgH_2O-R600a} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_g} = 1 - \frac{\dot{Q}_ç}{\dot{Q}_g} = \frac{(\dot{W}_{türb.R600a} - \dot{W}_{pomp.R600a})}{\dot{Q}_{giren}} \quad (4)$$

### 3. Bulgular

Otoklav cihazının atık ısısından alınan sıcaklık değerleri Şekil 1 deki termal kamara ile çekilen fotoğraflarla karar verilmiştir.



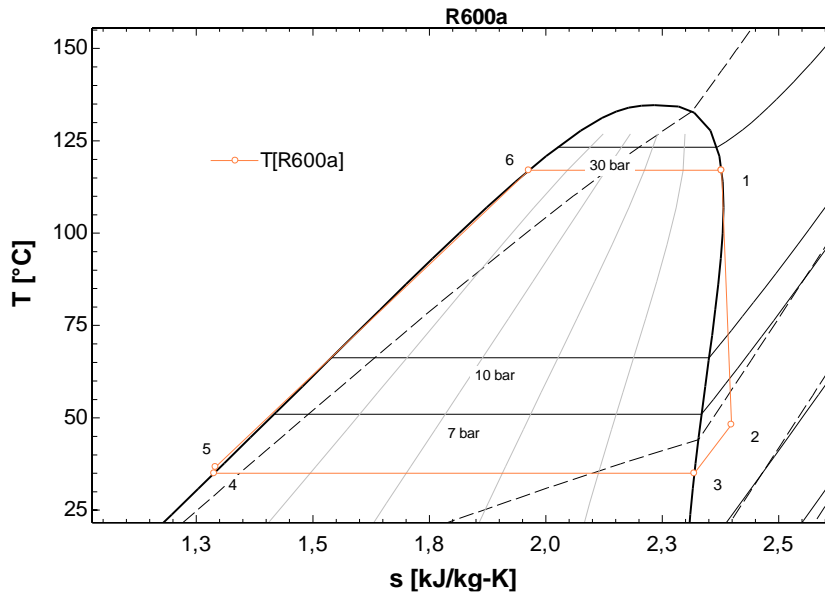
Şekil 4. Atık ısı tesisatı termal kamera görüntüsü

Tablo 1' de Şekil 4' deki evaporatör sıcaklığını belirlediğimiz 117 °C için termodinamik değerler görülmektedir, ayrıca evaporatör çıkış sıcaklığının 42 °C olduğunda oluşan H<sub>2</sub>O için termodinamik değerleri verilmektedir.

Tablo 1. Değerlendirilecek atık ısının giriş ve çıkış sıcaklığının termodinamik değerleri

Konum	T(°C)	P (bar)	s (kJ/kg.K)	h (kJ/kg)	m (kg/s)	Akışkan
1'.giriş	117	2,2	1,495	491,1	0,0168	H <sub>2</sub> O
2'.çıkış	42	2,2	0,5989	176,1	0,0168	H <sub>2</sub> O

ORC sistemine evaporatöre ile atılan 5.3 kW' lık ısı Şekil 4 ve Şekil 5' de ayrı ayrı T-s diyagramı olarak verilmiştir.



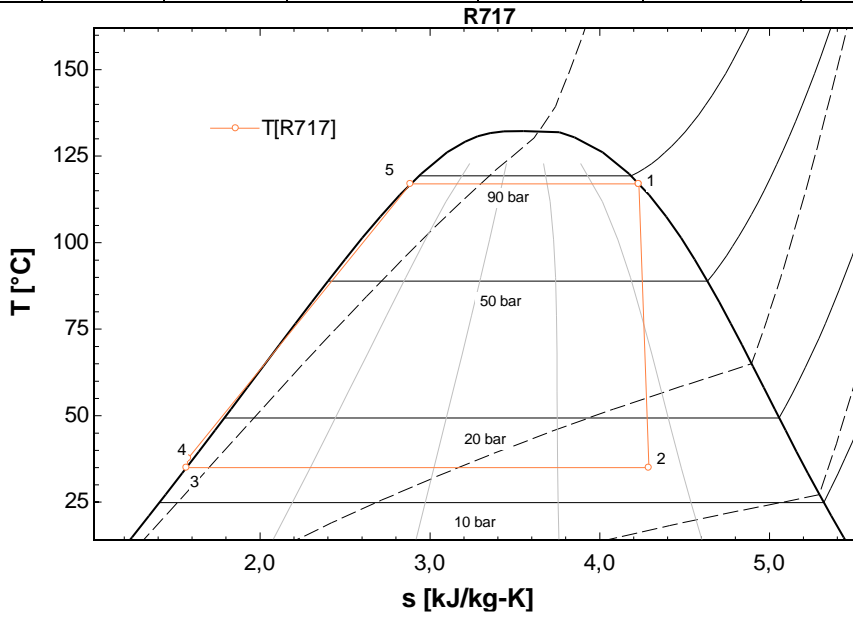
Şekil 5. R600a için T-s diyagramı

Şekil 5’ de ORC sisteminde kullanılan R600a soğutucu akışkanının sıcaklık (T), entropi (s) değişimi gösterilmektedir.

Tablo 2’ de Şekil 5’deki T-s diyagramının termodinamik hesaplamaları her bir nokta için sıcaklık, basınç, entropi, entalpi, ve kütleli debisi değerleri ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 2. R600a için hazırlanan diyagramdaki noktaların termodinamik değerleri

Konum	T(°C)	P (bar)	s (kJ/kg.K)	h (kJ/kg)	m (kg/s)	Akışkan
1	117	26.94	2.378	687	0.0133	R600a
2	48.16	4.645	2.398	626.9	0.0133	R600a
3	35	4.645	2.319	601.8	0.0133	R600a
4	35	4.645	1.288	284.3	0.0133	R600a
5	36.68	26.94	1.292	289.5	0.0133	R600a
6	117	26.94	1.964	525.5	0.0133	R600a



Şekil 6. R600a için T-s diyagramı

Şekil 6’ de ORC sisteminde kullanılan R717 soğutucu akışkanının sıcaklık (T), entropi (s) değişimi gösterilmektedir.

Tablo 3 de Şekil 6’ daki T-s diyagramının termodinamik hesaplamaları her bir nokta için sıcaklık, basınç, entropi, entalpi, ve kütleli debisi değerleri ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 3. R717 için hazırlanan diyagramdaki noktaların termodinamik değerleri

Konum	T(°C)	P (bar)	s (kJ/kg.K)	h (kJ/kg)	m (kg/s)	Akışkan
1	117	86.33	4.231	1368	0.00537	R717
2	35	13.51	4.29	1205	0.00537	R717
3	35	13.51	1.566	366	0.00537	R717
4	37.73	86.33	1.576	381.4	0.00537	R717
5	117	86.33	2.887	843.8	0.00537	R717

Amonyak ve İzobütan için termodinamik değerler enerji denge denklemlerine uygulandığında Tablo 4’deki sonuçlar hesaplanmıştır.



Tablo 4. Amonyak ve İzobütan için termodinamik değerlerin karşılaştırılması

	Amonyak (R717)	İzobütan (R600a)
$\dot{Q}$ evaporatör	5.3 kW	5.3 kW
$\dot{Q}$ kondanser	4.507 kW	4.568 kW
$\dot{W}$ Türbin	0.876 kW	0.801 kW
$\dot{W}$ Pompa	0.0829 kW	0.0689 kW
$\dot{W}$ Net	0.7931 kW	0.7321 kW
$\eta$ verim	0.1679	0.1531
evaporatör	36 °C	36 °C
kondanser	117 °C	117 °C
Türbin izentropik verim	0.90	0.90
Pompa izentropik verim	0.80	0.80
$\dot{m}$ soğutucu akışkan debisi	0.00537 kg/sn	0.01333 kg/sn

Tablo 4 de bakıldığında amonyaklı çevrimin izobütanlı çevrimden: enerji verimde %9.67 , net üretilen güçte %8.33 , türbinde üretilen elektrik enerjisinde %9.36 , pompadaki elektrik tüketimi % 20.3 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca kütleli debininin %60 , kondanserden atılan ısıdan %1.3 az olduğu hesaplanmıştır. Amonyagin, kütleli debisininin daha az olması ısı iletimin yüksek olduğu anlamına gelirken, pompada daha yüksek güç harcaması alçak basınç ve yüksek basınç farkının fazla olmasıdır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma sonucunda, Amonyaklı çevrimin izobütanlı çevrimle karşılaştırması yapılmıştır. Amonyaklı çevrimin enerji verimde %9.67 , net üretilen güçte %8.33 , türbinde üretilen elektrik gücünün %9.36 , pompada % 20.3 izobütanlı çevrimden daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca bu karşılaştırmada da kütleli debininin %60 , kondanserden atılan ısıda %1.3 az olduğuda sonuçlardan çıkmıştır. Amonyagin, kütleli debisininin daha az olması ısı iletimin yüksek olduğu sonucuna vardırıırken, pompada daha yüksek güç harcaması ise alçak basınçın ve yüksek basınçdan farkından kaynaklanmaktadır.

Düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan ORC sitemlerde kullanılan soğutucu akışlar doğal ve çevre dostu olmasının yanında ekonomik ve yüksek verimli sistemlerdir. Düşük sıcaklık uygulamalarının enerji üretimde birincil çevrim olarak uzun yıllar bize enerji sağlayacak sistemlerdir.

## Kaynaklar

Albert, H., Davies, D. J. G., Woodson, L. P., Soper, C. J. (1998). Biological indicators for steam sterilization: characterization of a rapid biological indicator utilizing *Bacillus stearothermophilus* spore-associated alpha-glucosidase enzyme. *Journal of applied microbiology*, 85(5), 865-874.

Autoclave, (08.09.2009), <https://en.wikipedia.org/wiki/Autoclave>

Castillo, R. B. (2017). Establishment of penetration time on medical device product families based on ISO 17665-3 during performance qualification of steam sterilization. *Infection, Disease & Health*, 22, S8.

Dincer, I., Rosen, M. A. (2012). *Exergy: energy, environment and sustainable development*. Newnes.

Kanyılmaz, N. (2021). Tıbbi sterilizasyonun kontrolünde kullanılan biyoindikatör sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karadağ, A. (2005). Otoklav ile sterilizasyon. 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi.

Klein SA. *Engineering Equation Solver (EES)*, (2020), F-Chart Software, Version 10.835-3D.

Panta, G., Richardson, A. K., Shaw, I. C., Chambers, S., Coope, P. A. (2019). Effectiveness of steam sterilization of reusable medical devices in primary and secondary care public hospitals in Nepal and factors associated with ineffective sterilization: A nation-wide cross-sectional study. *Plos one*, 14(11), e0225595.

Qui G. (2012). Selection of working fluids for micro-CHP systems with ORC. *Renewable Energy*, 48, 565-570.

Toujani, N., Bouaziz, N., Chrigui, M., Kairouani, L. (2020). The Impact of Operating Parameters on the Performance of a New ORC–VCC Combination for Cogeneration. *Thermal Engineering*, 67(9), 660-672.

## Açık Dikey Tip Soğutucu Teşhir Dolabı Yeni Raf Tasarımı

Ayşe Burcu ÇELİK<sup>1</sup>  
Ebubekir BEYAZOĞLU<sup>2</sup>  
Salih COŞKUN<sup>3</sup>

### GİRİŞ

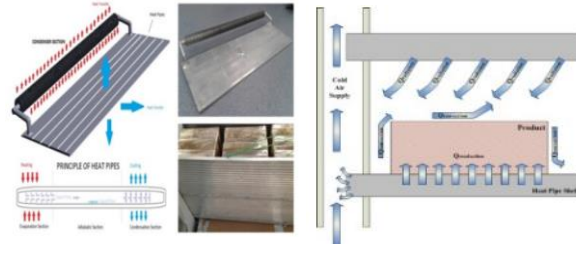
Günümüzde enerji kaynaklarının verimli kullanılması amacıyla birçok çalışmalar yapılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yapılan araştırmalara göre, sera gazı emisyonlarına bağlı küresel enerji talebi 2030 yılında 2007 yılına göre % 40 kadar artacaktır, yine bu araştırmalara göre süpermarket dolapları, tüm soğutma sisteminin enerji tüketiminin % 50-70 kadarını oluşturmaktadır, Alzuwaid (2016, 76). Artan nüfus ile birlikte ihtiyaçların da artması, gıdaların sağlıklı bir şekilde uzun süre muhafaza edilmesini ve kolay erişilebilir olmasını gerektirmektedir. Bu ihtiyacı karşılamak için hizmet veren marketler gıdaların mümkün olan en ekonomik ve güvenli bir şekilde muhafaza edilmesini sağlarken, enerji maliyetlerini de düşürmek isterler. Belirli standartlara göre saklanması gereken gıdaların muhafaza koşullarını sağlamak amacıyla süpermarketlerin enerji tüketimi, büyük bir oranda soğutma yüküne bağlıdır. Bu çalışmada, süpermarketlerde kullanılan açık dikey tip soğutucu teşhir dolabının (ADSTD) enerji verimliliğini arttırmak üzere raflardan sıcaklık kontrolü sağlamak amacıyla rafların altına yerleştirilmiş koza delikleri olan ve içinden havanın geçebileceği borulardan oluşan yeni raf tasarımı gerçekleştirilmiştir. Literatürde raf altından sıcaklık kontrolünün yapıldığı uygulamalar mevcuttur. Tsamos ve vd. (2018, 296), yaptıkları çalışmada raf sonlarına hava tutucular ve ani kesit daralması ile hızın artmasını sağlayan geometric tasarım ile balpetekleri yerleştirerek kabin önü akışı düzenlemişler ve sızma (infiltrasyon) kayıplarını azalttıklarını belirtmişler. Daha düşük evaporatör giriş sıcaklığı elde ederek COP katsayısını iyileştirmişler. Yaptıkları tasarımı Ansys-Fluent kullanarak modellemişler ve sonuçları değerlendirmişler. Jouhara ve vd. (2017, 275), yaptıkları çalışmada raf altlarına ısı boruları yerleştirmişlerdir. Bu çalışmada yer alan bilgilere göre ısı boruları, küçük sıcaklık gradyanları arasında yüksek ısı transferi hızları nedeniyle termal olarak süper iletkenler kabul edilir. Isı borularının ana yapısı, kısmen içinde bulunan bir soğutucu akışkan ile doldurulmuş hem sıvı hem de buhar fazında bulunan bir tahliye borusudur. Isı borusunun evaporatör bölümüne yüksek bir sıcaklık uygulandığında, sıvı fazda bulunan soğutucu akışkan buharlaşır ve borunun soğutucu ucu olan kondensere doğru yüksek hızda akar. Buhar kondenser bölümüne ulaşır ulaşmaz yoğunlaşır ve ısını bırakır. Sonra sıvı akışkan, yerçekimi etkisiyle borunun evaporatör kısmına geri döner. Bir dizi tek bir yapıda birleştirilen borular, bir ısı geri kazanım cihazı olarak düşünülebilir. Gıda ürünlerinin yerleştirildiği yüzey ile ısı boruları alüminyum, çalışma sıvısı olarak amonyak (NH<sub>3</sub>) kullanılmıştır. Isı borularının çalışma prensibi ve rafın tasarımı şekil 1'deki gibidir;

---

<sup>1</sup> Doktora Öğr., Bursa U.Ü., Fen Bilimleri Ens., 0000-0002-6948-8281:

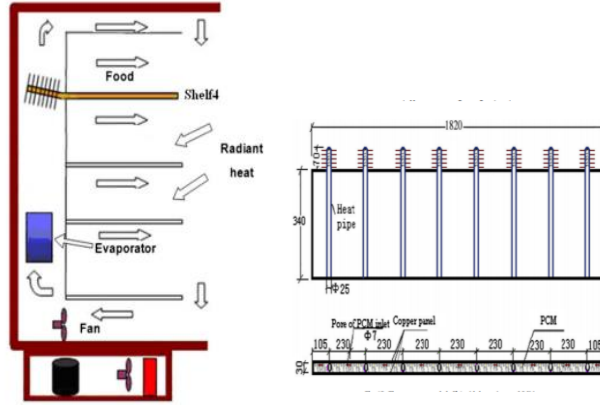
<sup>2</sup> Dr., Bursa U.Ü., Makine Müh., 0000-0002-7327-8471:

<sup>3</sup> Prof.Dr., Bursa U.Ü., Makine Müh., 0000-0001-6278-84445:



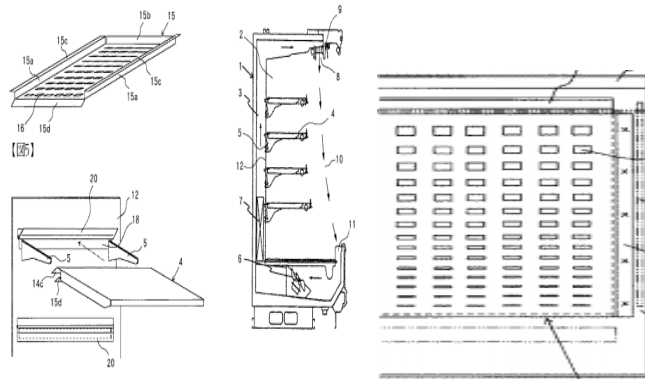
Şekil 1. Isı borulu raf soğutmalı uygulama ve raf-ürün ısı transferi mekanizması, Jouhara ve vd. (2017)

Bir diğer çalışmada Lu ve vd. (2008, 87-88), yaptıkları çalışmada ADSTD' ı raf altına faz değiştiren malzeme koyup, ısı borularını dizmişlerdir. Bu uygulama ile raf ürün sıcaklık dağılımlarını daha homojenleştirmişler ve defrost süresince gıda içi sıcaklık dalgalanmalarını azaltmayı sağladıklarını uyguladıkları testler ile göstermişler. Ayrıca soğutma tesir katsayısında % 14 lük bir iyileştirme gerçekleştirdiklerini belirtmişler.



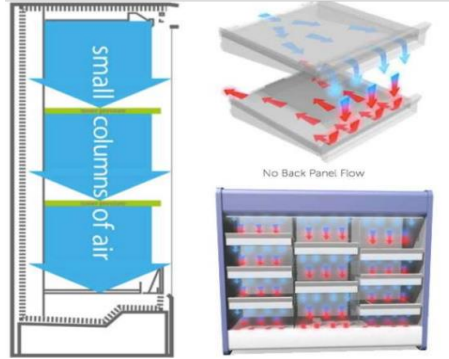
Şekil 2. Raf altı ısı borusu içeren uygulama, Lu ve vd., (2008)

Fuji electric retail refrigerating systems (2005, 1), yaptıkları bir çalışmaya göre dolaşan soğuk havanın bir kısmı üst ürün rafının alt yüzeyindeki soğuk hava çıkış deliklerinden alt ürün rafına doğru olacak şekilde alttan üflenir. Bu tasarıma göre, her bir ürün rafının soğuk hava çıkış deliklerinin açılma alanı ürün rafının arka tarafından ön tarafına doğru küçültülerek ürün rafının ön tarafındaki (ön uç tarafı) soğuk hava çıkış basıncı artırılır. Böylece gerekli olan soğuk hava çıkış hızı sağlanmış olur. Sonuç olarak dış havanın girmesi ile iç sıcaklığın artması azaltılarak, daha etkili bir şekilde soğutma sağlanmış olur.



Şekil 3. Raf altı soğuk hava delikleri içeren tasarım uygulaması, Fuji (2005)

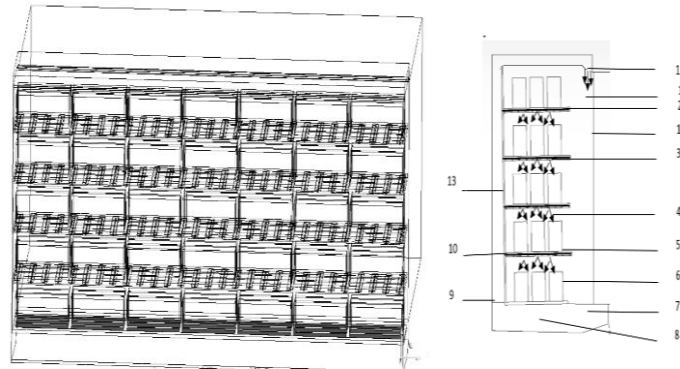
Margues (2017, 7), yaptığı çalışmada kısa perdeli bir ADSTD tasarlamış. Bu dolabın tasarımına göre kısa hava perdeli dolap ile raf üzerindeki ürünler daha kolay soğutulurken giriş ve dönüş sıcaklıkları arasındaki farkın azaldığını, elektrik enerjisinde % 30' luk bir iyileşme gerçekleştiğini test ve nümerik analizler ile göstermiş.



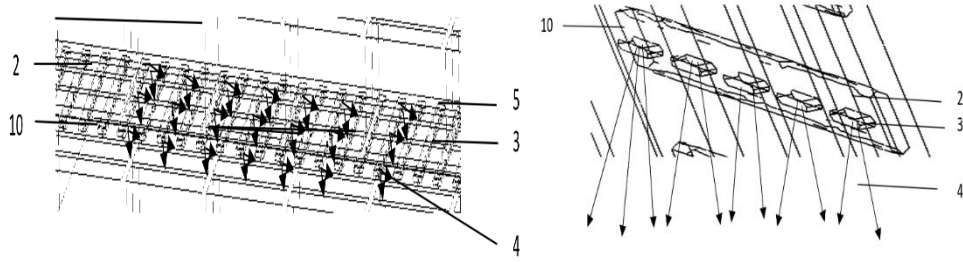
Şekil 4. Kısa hava perdesi uygulamalı ADTSD, Marques (2017)

## YÖNTEM

Geleneksel soğutucu teşhir buzdolaplarında, evaporatörden çıkan soğuk havanın bir kısmı dolabın arka panelindeki havalandırma deliklerinden dolabın içine dağılır ve raflardaki ürünleri soğutur. Kalan diğer kısmı arka panel bitimindeki hava jetinde (balpeteği) hızlanarak çıkan hava bir soğuk hava perdesi oluşturur. Hava jetinin oluşturduğu hava perdesi kabin içindeki soğuk havanın çevreye dağılmasını azaltır. Hava jetinden çıkan hava fanlar yardımıyla tekrar kompresöre yönlendirilerek bir soğutma çevrimi oluşturulur. Tasarlanan yeni raflar ile modellenen ADSTD şekil 5' te gösterilmiştir. Burada, kabin içine hava(1) fanlar(7) yardımıyla soğutma gurubuna (8) girer ve mekanik soğutma çevrimine katılır. Soğutulmuş hava teşhir dolabının arka panelindeki(9) söz konusu buluş raflarının esnek yer değiştirmesini sağlayacak şekilde açılan deliklerden(13) dolap içi kabini soğutmak üzere dağılır. Arka panel yüzeyindeki delikler(13) soğuk havayı raf aralarına üfler ve yeni tasarım raf(5) üzerindeki ürünleri(6) soğutur. Rafların altına yerleştirilen hava üfleme boruları(2) (konik ve/veya damla geometrideki) hava giriş deliklerinden(10) hızlanarak borulara girer ve (damla ve/veya konik geometrisindeki) üfleme deliklerinden(3) tekrar hızlanarak çıkan üflenmiş hava(4) raf arasında iletim ve taşınım ile ürünlerin(6) istenilen sıcaklık aralığında kalmasını sağlayarak soğutur. Hava jeti (11) arka panelden gelen soğuk havayı hızlandırarak soğuk havadan bir perde oluşturur, böylece havanın dış ortam havası ile karışmasını azaltır. Oluşan hava perdesi(12), tekrar kabin içerisine fanlar(7) yardımıyla girerek çevrim tamamlanmış olur. Söz konusu buluş ile standartlara göre belirlenen ürün(6) raf sıcaklık aralığı daha az kompresör gücü(8) kullanılarak elde edilmiş olur. Böylece soğutucu teşhir dolabının enerji verimliliği artırılmış olur.

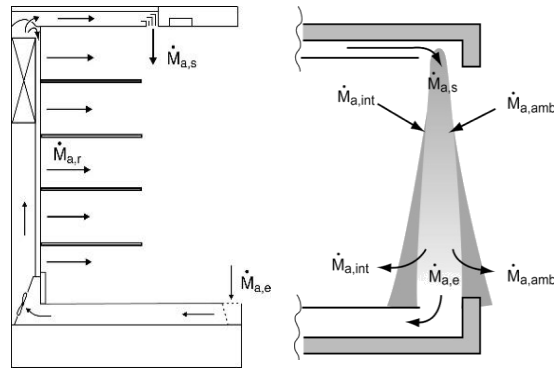


Şekil 5. Soğutucu teşhir dolap önden ve yandan görünüm



Şekil 6. Soğutucu teşhir dolap raf alttan görünüm ve raf altından geçen hava üfleme boruları

İnfiltrasyon nedeniyle oluşan ısı değişimi, hava perdesi boyunca bir enerji dengesine dayanır. Kabin içi arka panelden gelen hava, kabin önünde yoğunluk farkından dolayı sıcak hava ile soğuk hava karışımına ve bunun sonucunda hava perdesinin kabine, iç ve dıştan giren farklı oranlarda havanın karışımı olarak girmesine sebep olur, Sahaf (2011, 152).



Şekil 7. Kabin hava akışı dağılımı

Hava perdesinden gelen ve iç arka panelden çıkan havanın aynı özgül entalpiye sahip olduğu varsayılır. İnfiltrasyon derecesi denklem 1' e göre hesaplanabilir;

$$X_{inf} = \frac{M_{a,amb}}{M_{a,e}} = \frac{h_{a,e} - h_{cab}}{h_{a,amb} - h_{cab}} \quad (1)$$

Burada  $X_{inf}$  infiltrasyon derecesini,  $M_{a,amb}$  çevre havadan giren kütleli hava debisini,  $M_{a,e}$  kabine giren kütleli hava debisini, psikometrik diagramdan elde edilen  $h_{a,e}$  kabine giren hava entalpisini,  $h_{cab}$  kabin içerisindeki hava entalpisini,  $h_{a,amb}$  çevreden kabine sızan hava entalpisini belirtir. İnfiltrasyonun neden olduğu ısı değişimi,  $Q_{inf}$  daha sonra şu şekilde denklem 2' ye göre hesaplanabilir;

$$Q_{inf} = X_{inf} M_{a,e} (h_{a,amb} - h_{a,e}) \quad (2)$$

Kabinin iç arka plakasından geçen kütleli hava akış dengesi ve kabin içi kütleli debi,  $m_{cab}$  denklem 4 ve 5' e göre ifade edilebilir, Sahaf (2011, 159);

$$M_{cab} + M_{a,amb} = M_{a,e} \quad (3)$$

$$\frac{M_{inf}}{M_{cab}} = \frac{L_{air-on-amb}}{L_{cab-amb}} \quad (4)$$

Burada  $m_{cab}$ , kabinden gelen,  $M_{a,amb}$  çevre havadan gelen kütleli debiyi,  $M_{a,e}$  kabin hava giriş ızgarasına giren kütleli hava debisini,  $M_{inf}$ , infiltrasyon ile sürüklenen havanın kütleli debisini belirtir.  $L_{air-on-amb}$ ,  $L_{cab-amb}$  psikometrik diagram kullanılarak elde edilen orandır.

Evaporatör toplam soğutma yükü denklem 6'ya göre hesaplanır, Sahaf (2011, 159);

$$Q_{tot} = \dot{m} (h_{air-on} - h_{air-off}) \quad (5)$$

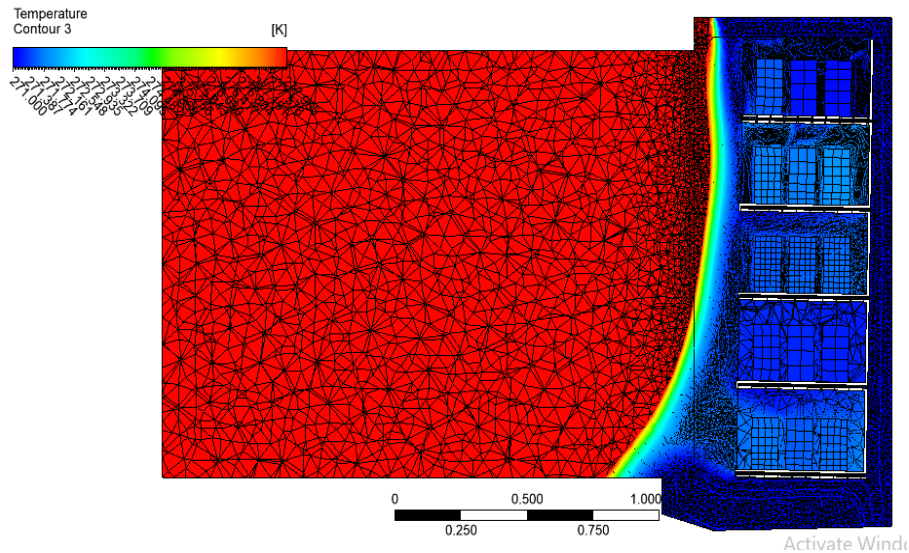
Evaporatör üzerinden geçen hava kütle akış hızı,  $\dot{m}$  (kg/s); hava jeti dolap kabini giriş ızgarası hava entalpisi,  $h_{air-on}$  (kJ/kg); evaporatör çıkışı hava entalpisi,  $h_{air-off}$  (kJ/kg) dir. Duyulur soğutma yükü,  $Q_{sen}$  duyulur ısı enerji dengesi kullanılarak denklem 7'ye göre belirlenebilir, Sahaf (2011, 159);

$$Q_{sen} = c_p \dot{m} (t_{air-on} - t_{air-off}) \quad (6)$$

Burada  $c_p$ , nemli havanın özgül ısıdır,  $t_{air-on}$  ve  $t_{air-off}$ , sırasıyla  $h_{air-on}$  (kJ/kg) ve  $h_{air-off}$  (kJ/kg) hava entalpilerinin sıcaklık değerleridir. Gizli soğutma yükü  $Q_{lat}$  denklem 8'e göre hesaplanabilir, Sahaf (2011, 159);

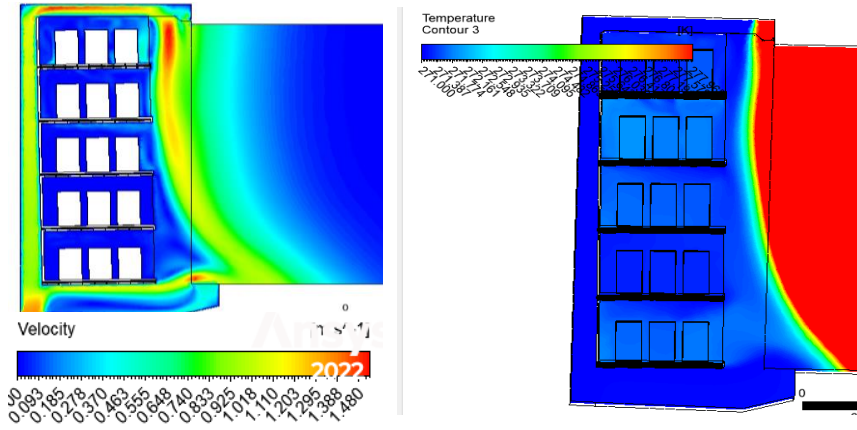
$$Q_{lat} = Q_{tot} - Q_{sen} \quad (7)$$

Açık dikey tip soğutucu teşhir dolap için tasarlanan kısa borular ile rafların altından sağlanan hava akışı ile kabin içi ve önü hava akışını, paket sıcaklıklarını simüle etmek ve sonuçları geleneksel açık dikey tip soğutucu teşhir dolap hava akışı ve sıcaklık simülasyon sonuçları ile karşılaştırmak için ANSYS 2022 WORKBENCH kullanılmıştır. Simülasyon için 3B HAD (CFX) modeli oluşturulmuştur. Ön işleme (pre-processing) aşamasında sırasıyla, geometri tanımı, ağ oluşturma (mesh), akışkan ve malzeme özellikleri tanımlama, belirli kritik alanlarda uygun sınır koşulları belirleme adımları gerçekleştirilmiştir. Geçici ortalama değerlere dayanan k-ε türbülans modeli, en yaygın kullanılan türbülans modellerinden biri olup bu çalışmada kullanılmıştır. Kabin içi hava sıcaklıkları kullanılarak psikometrik diagram ile hava entalpileri bulunmuştur. Şekil 8'de kabin 3B HAD modelin ağ yapısı görünümü gösterilmiştir.



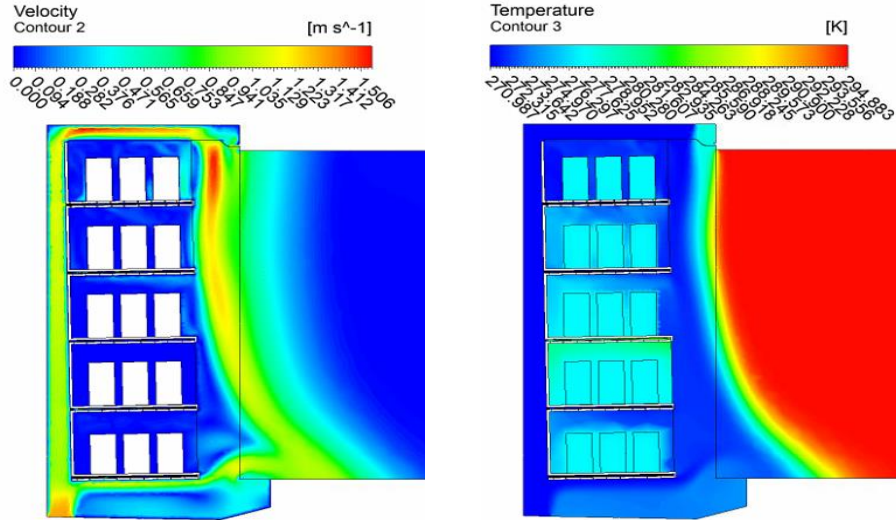
Şekil 8. Kabin 3B ağ yapısı görünümü

Şekil 9'da kısa borulu kabin 0. dakikadaki hava hız ve sıcaklıkları gösterilmiştir. Hava kabinden 1,5 m/s' de çıkmakta, kabine 1 m/s ile girmekte ve evaporatörden 1,3 m/s hız ile çıkmaktadır.



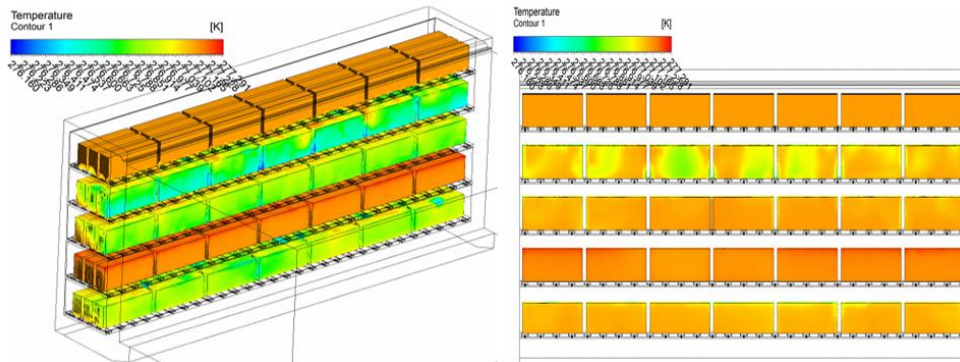
Şekil 9. Kısa borulu kabin 0. min a) Hız ve b) Sıcaklık 3B HAD model görünümü

Şekil 10’ da 5. dakikadaki raf altına kısa borular tasarlanan kabinin HAD modeli gösterilmiştir. Hava kabinde 1, m/s ile çıkmakta, kabine 1 m/s ile girmektedir. Evaporatörden çıkış hızı 1.3 m/s’ dir. Geleneksel ve kısa borulu kabin içi kritik sıcaklıklar Tablo 1’ de belirtilmiştir.



Şekil 10. Kısa borulu kabin 5. min a) Hız ve b) Sıcaklık 3B HAD model görünümü

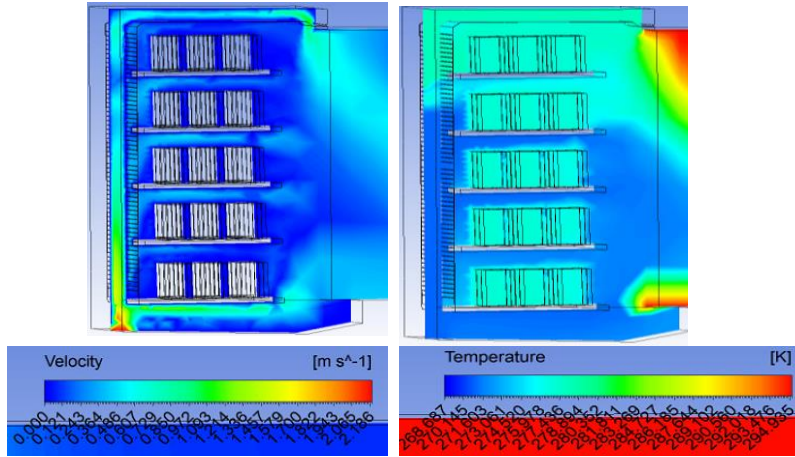
M-Paket sıcaklıkları şekil 11’ de gösterilmiştir. Maksimum sıcaklık alttan 2. rafta ve en üst 5. Raftaki paketlerde okunmuştur.



Şekil 11. Kısa borulu kabin 5. min M-paket sıcaklık 3B HAD model görünümü

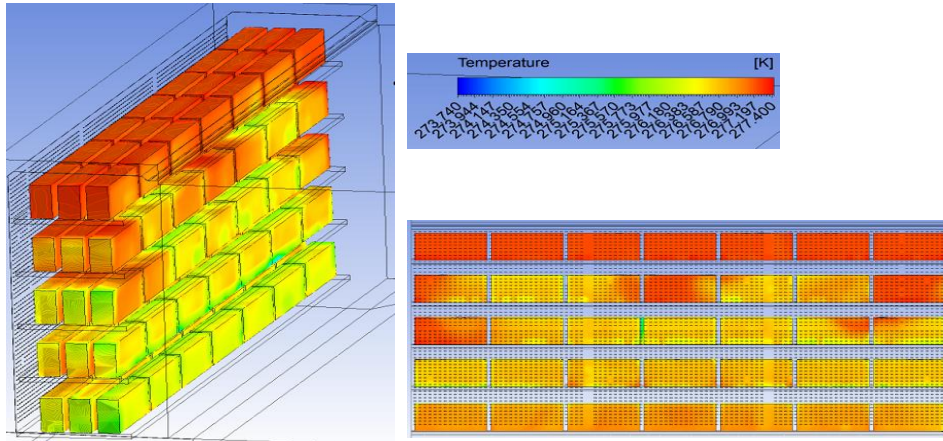


Şekil 12’ de 5. dakikadaki kısa borulu kabin hava hız ve sıcaklıkları gösterilmiştir. Hava kabinden 1,1 m/s’ de çıkmakta, kabine 0,85 m/s ile girmekte ve evaporatörden 2 m/s hız ile çıkmaktadır.



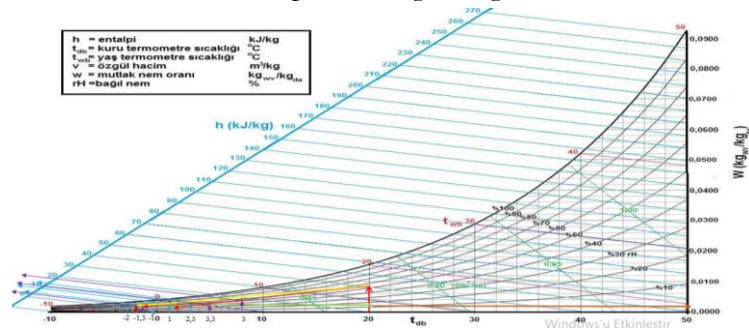
Şekil 12. Geleneksel kabin 5. Min a) Hız ve b) Sıcaklık 3B HAD model görünümü

Şekil 13’ te geleneksel dolap M-paket sıcaklıkları gösterilmiştir. Maksimum sıcaklık en üst 5. rafta okunmuştur.



Şekil 13. Geleneksel kabin 5. Min M-paket 3B HAD model görünümü

Tablo 1’ deki değerler şekil 14’te gösterildiği gibi psikometrik diagram ve HAD modelinden elde edilen veriler kullanılarak entalpi ve kütleli akış debileri elde edilmiştir. Bu veriler ile belirtilen denklemler kullanılarak soğutma yükleri hesaplanmıştır, Sahaf (2011, 156-159). Şekil 14’ te HAD modelden elde edilen veriler kullanılarak psikometrik diagramdan elde edilen veriler ve bu veriler ile yukarıda belirtilen denklemler ile hesaplanan değerler gösterilmiştir.



Şekil 14. Geleneksel kabin ve kısa borulu kabin psikometrik diagram

$t_{a,amb,EN 441}$ ,  $\phi_{a,amb, EN441}$ ,  $t_{d ,a,amb,EN 441}$ ,  $x_{a,amb,EN 441}$ ,  $h_{a,amb,EN 441}$  çevre havası ile ilgili terofiziksel özelliklerdir ve tablo 1' de belirtildiği gibidir.  $t_{a,s}$ ,  $h_{a,s}$  hava jeti kabin balpeteğinden çıkış sıcaklığı ve hızıdır.  $t_{a,cab}$ ,  $h_{a,cab}$  dolap kabini içinden hava jeti dönüş ızgarasına karışan hava sıcaklığı ve hızıdır.  $t_{a,e(AİR-On)}$ ,  $t_{a,o(AİR-Off)}$ ,  $h_{a,e}$ ,  $h_{a,o}$ , hava kabine giriş ızgarasından girerken ve evaporatörden çıkarkenki sıcaklık ve entalpi değerleri olarak psikoetrik diagramdan kullanılmıştır.  $M_{a,e}$ ,  $M_{a,cab}$ ,  $M_{a,inf}$ ,  $M_{a,amb}$  sırasıyla kabine giriş, cabin havası, sızan hava ve çevren kabine karışan hava olarak denklemlerden elde edilir.  $tM_{,max}$ ,  $tM_{,min}$ ,  $tM_{,ort}$  kabin içi HAD modelden okunan M-paket sıcaklıklarıdır.

Kurulu soğutma kapasitesinin kullanılan soğutma gücüne oranlanarak elde edilen soğutma tesir katsayısı (COP) kısa borulu rafta 2, 11, geleneksel dolapta 1, 23 olarak hesaplanmıştır. Kabin soğutma ükleri ise kısa borulu raf % 20 daha az soğutma yükü kullanmaktadır.

Tablo1. ADSTD kısa boru ve geleneksel model verileri karşılaştırma

Özellikler	Unit	KısaBoru	Geleneksel
$t_{a,amb,EN 441}$	°C	20	20
$\phi_{a,amb,EN441}$	(%)	51	51
$t_{d ,a,amb,EN 441}$	°C	9,49	9,49
$x_{a,amb,EN 441}$	water/dry air (g/kg)	7,5	7,5
$h_{a,amb,EN 441}$	kJ/kg	39	39
$t_{a,s}$	°C	4	4,30
$h_{a,s}$	kJ/kg	14	15
$t_{a,cab}$	°C	1	3,50
$h_{a,cab}$	kJ/kg	7,5	10
$t_{a,e(AİR-On)}$	°C	2,5	5
$t_{a,o(AİR-Off)}$	°C	-1,15	-1,45
$h_{a,e}$	kJ /kg	12	16
$h_{a,o}$	kJ /kg	4	4
$M_{a,e}$	kg/s	0,54	0,54
$M_{a,s}$	kg/s		
$M_{a,r}$	kg/s		
$M_{a,cab}$	kg/s	0,50	0,43
$M_{a,inf}$	kg/s	0,040	0,043
$M_{a,amb}$	kg/s	0,08	0, 11
$tM_{,max}; tM_{,min},$	°C	2 - 5	2 - 4,25
$tM_{,ort}$	°C	3,5	3,5
$x_{inf}$		0,14	0,20
$Q_{cab}$	kW	4,32	6,48
$Q_{inf}$	kW	2,04	2,5
$Q_{sen}$	kW	1,9	3,5
$Q_{lat}$	kW	1,8	2,98
COP		1,85	1,23

## KAYNAKÇA

Al-Sahhaf A.A.. (2011). Investigation of entrainment and infiltration rates through air curtains of open low-front refrigerated display cabinets. School of Engineering and Design, Brunel University.

Alzuwaid F.A., Ge, Y.T., Tassou, S.A., Sun, J.. (2016). The novel use of phase change materials in an open type refrigerated display cabinet: A theoretical investigation. Applied Energy 2016; 180: 76–85.

Fuji electric retail refrigerating systems. (2005). Open showcase. JP.2005312586.A' nolu patent raporu.

Jouhara H., Nonnou T., Ghazal H., Kayyalı R., Tassou S.A., Lester S.. (2017). Temperature and energy performance of open refrigerated display cabinets using heat pipe shelves. Energy procedia 2017;123: 273-280.

Lu Y.L., Zhang W.H., Yuan P., Xue M.D., Qu Z.G., Tao W.Q.. (2008). Experimental study of heat transfer intensification by using a novel combined shelf in food refrigerated display cabinets (Experimental study of a novel cabinets). Appl Therm Eng 2010; 30:85–91. doi:10.1016/j.applthermaleng.2008.10.003.

Marques C., Rees R., Cooper R., Pitchers S.. 2011. Short air curtains in retail display cabinets. 14.06.2017. [www.Sirach.org.uk](http://www.Sirach.org.uk).

Tsamos, K.M.; Mroue, H.; Sun, J.; Tassou, S.A.; Nicholls, N.; Smith, G.2019. Energy savings potential in using cold-shelves innovation for multi-deck open front refrigerated cabinets. Energy Procedia.161, 292–299.

## Optik Karakter Tanıma Teknolojileri ile Fatura Veri Kümesi Oluşturma ve Etiketleme

İlker YILDIZ<sup>1</sup>  
Ayberk Emin KOTAN<sup>2</sup>  
Ayşe Berna ALTİNEL GİRGIN<sup>3</sup>

### 1.GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi, ticari faaliyetlerini sürdüren işletmelerin iş süreçlerini güvenli ve daha hızlı şekilde yürütülmesine olanak sağlamaktadır. Şirketlerin muhasebe süreci ve kayıtları günümüzde bilgisayar ortamları kullanılarak yürütülmektedir. Elektronik fatura (E-fatura) kullanımı da bu teknolojik gelişmenin sonuçlarından biridir. Tüm dünya genelinde e-fatura standartları oluşturulmakta ve kullanımı teşvik edilmektedir. Fatura yapılan iş veya hizmet karşılığında zorunlu olarak düzenlenen ve ödenmesi gereken tutarı gösteren belgedir. Fatura satıcı tarafından belirli standartlara göre düzenlenir ve müşteriye teslim edilmektedir. Fatura türleri işlem yapılan kuruma ya da yapılacak olan işleme göre değişmektedir. Fatura türleri gönderim yöntemi, vergilendirme ve işlem amacına göre değişiklik göstermektedir.

Firmaların finansal akışlarını analiz etmeleri ve muhasebe işlemlerini kolaylaştırmaları amacıyla fiziksel faturaların dijital hale getirilmesi ve saklanması gerekmektedir. Bu nedenle büyük firmaların fiziki faturaların dijitalleştirilmesi için çok yoğun bir iş gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu iş süresince insan gücünün kullanılması beraberinde sorunları da getirmektedir. Fatura bilgilerinin sisteme yanlış girilmesi hem süreci uzatmakta hem de ekstra iş yükü oluşturmaktadır. Kağıt faturaların dijital ortama uyarlanması zaman, işgücü, nakit akışı, maliyet ve fatura düzenleme esnasında yapılan hataların düzeltilmesi açısından etkili olmaktadır (Utku vd., 2014).

Fiziksel faturaların dijitalleştirilmesi konusunda birçok yapay zeka ve doğal dil işleme çalışması gerçekleştirilmektedir. Fakat faturalarda makine ve derin öğrenme gerçekleştirilebilmesi için yeterli büyüklükte, yüksek doğruluk oranına sahip, etiketlenmiş ve eğitime hazır veri kümesi bulunmamaktadır (Baviskar vd., 2021). Bu nedenle Türkçe faturaların dijitalleştirilmesi sürecinde doğal dil işleme ve derin öğrenme algoritmalarının eğitimi gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle bir fatura görüntü veri kümesi oluşturulması ve etiketlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı Türkçe faturalar üzerinde eğitime hazır, yüksek doğruluk oranına sahip etiketlenmiş veri kümesinin oluşturulmasıdır. Bu kapsamda 145.000 adet fatura görüntüsü toplanmıştır. Fatura görüntüleri Optik Karakter Tanıma (OKT) (*Optical Character Recognition(OCR)*) araçları kullanılarak metin formatına dönüştürülmesi sağlanmıştır. OKT araçları incelenerek veri kümesi üzerinde en yüksek doğruluğa sahip araç kullanılacaktır. Bu işlem gerçekleştirilirken veri kümesi üzerinde olabilecek görüntü sorunların giderilmesi amacıyla çeşitli görüntü işleme yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanan bu işlemler sayesinde OKT sonuçlarındaki doğruluk oranının artırılması sağlanmıştır. OKT sonuçlarında olabilecek hataları karşı düzeltme işlemleri uygulanarak

---

<sup>1</sup> Yapay Zeka Müh., NetBT Danışmanlık Hizmetleri A.Ş., Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9167-2774

<sup>2</sup> Yapay Zeka Müh., NetBT Danışmanlık Hizmetleri A.Ş., Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5085-2031

<sup>3</sup> Dr. Öğrt. Üyesi, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5544-0925

veri kalitesi artırılmıştır. Oluşturulan veri kümesi 40 farklı birim etiket kullanılarak etiketlenmiş ve yapay zeka modelleri için eğitime hazır hale getirilmiştir.

## 2.LİTERATÜR TARAMASI

Bu kısımda fatura görüntüleri ile ilgili veri kümesi oluşturma, veri etiketleme, görüntü ön işleme ve Optik Karakter Tanıma hakkında daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmektedir.

Kamisetty vd.(2022) yaptığı çalışmada OKT teknolojisini kullanarak fatura görüntülerinden veri çıkarmaya yoğunlaşmaktadır. Yapmış oldukları kurulum fatura görüntülerinden verileri çıkarıp JSON ve CSV formatlarına dönüştürmektedir. Görüntü kalitesini artırmak için siyah beyaza çevirme, gürültü giderme, yazıları kalınlaştırma, gri tonlama gibi görüntü ön işleme teknikleri uygulanmıştır. Bu işlemler sonrasında Keras OCR, Easy OCR ve Tesseract OCR olmak üzere üç farklı OKT teknolojisi kullanılmıştır. En kesin sonuçların Tesseract OCR ile alındığı belirtilmiştir. Son aşamada elde edilen metinden istenmeyen karakterler ayıklanıp JSON ve CSV formatlarında kullanıcıya ulaştırılmaktadır.

Bagherinezhad vd.(2018) yaptığı çalışmada etiketlerin çeşitli özelliklerinin etkilerini incelemekte ve 'Etiket Rafinerisi' olarak adlandırdıkları yöntemi tanıtmaktadır. Etiket Rafinerisi, tüm veri kümesini inceledikten sonra temel doğru etiketlerini güncelleyen yinelemeli bir prosedür şeklinde tanımlanmıştır. Çalışmada denetimli öğrenme etiketlerinde yaygın olarak bulunan eksiklikler ele alınmaktadır. Modellerin genelleştirme ve doğruluğunu geliştirmek amacıyla eğitim esnasında etiketleri iyileştirmeye yönelik bir çözüm sunulmuştur. Deney aşamasında ImageNet veri kümesi kullanılmıştır. Geniş bir model yelpazesinde rafine etiketler kullanarak kayda değer kazançlar elde edilmiştir. Etiket Rafinerisi kullanılan modellerin doğruluk yüzdesindeki artışlar şu şekildedir: AlexNet 59,3'ten 67,2'ye, MobileNet1 70,6'dan 73,39'a, VGG19 72,7'den 75,46'ya, Darknet19 72,9'dan 74,47'ye.

Baviskar vd.(2021) hazırladığı çalışmayla fatura dokümanlarına yönelik bir veri kümesi sunmaktadır. Hali hazırda var olan veri kümelerindeki düşük görüntü kalitesi, gizlilik sorunları, doğrulama tekniklerinin eksikliği ve etiketlenmiş verilerin yetersiz olması gibi sorunlara detaylı bir şekilde yer verilmiştir. Veri toplama aşamasında faturaların çok sayıda ve çeşitli olmasına dikkat edilmiştir. Sekiz ayrı sağlayıcıdan farklı sayı ve yerleşim planına sahip fatura görüntüleri toplanmıştır. Taratılmış PDF formatında toplam 1646 adet fatura elde edilmiştir. Veri etiketleme aşamasında ise UBAI veri etiketleme aracı kullanılmıştır. Satıcı ismi, alıcı ismi, fatura numarası ve fatura tarihi gibi 11 ayrı verinin etiketleme yapılmıştır.

Tarawneh vd.(2019) yaptıkları çalışmada her birinin optik karakter tanıma sistemlerine (OKT) uygun hale getirilmesinde kendine özgü özel bir işleme ihtiyacı olması sebebiyle el yazısı, makine baskısı ve makbuz olmak üzere üç farklı fatura türünü sınıflandırmak için otomatik bir yaklaşım öne sürmektedir. Öne sürülen yöntem, derin evrişimli sinir ağı AlexNet kullanılarak özelliklerin çıkarılmasına dayanmaktadır. Özellikler, Rastgele Ormanlar, K-en yakın komşular (KNN) ve Naive Bayes dahil olmak üzere çeşitli makine öğrenme algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Önerilen yaklaşımın etkinliğinden emin olmak amacıyla deneylerde farklı çapraz doğrulama yaklaşımları uygulanmaktadır. En iyi sınıflandırma sonucu 98,4% (toplam doğruluk) ile KNN algoritması tarafından elde edilmiştir. Bu performansın, önerilen yöntemin pratikte OKT sistemleri için bir ön işlem olarak veya bağımsız bir uygulama olarak kullanılmasına izin vereceği öngörülmektedir.

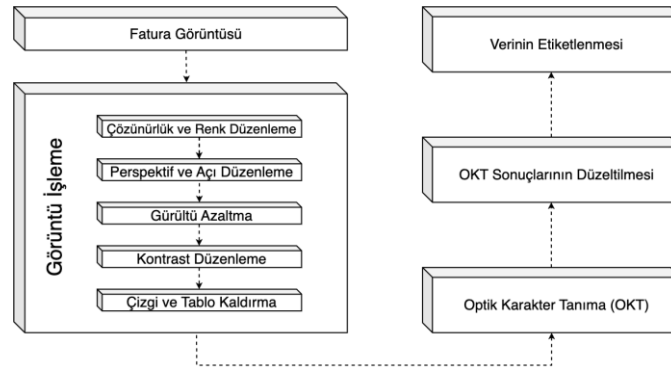
Sporici vd.(2020) yaptığı çalışmanın amacı belirli çekirdekler kullanan evrişim tabanlı ön işleme uygulayarak Tesseract 4.0 OCR motorunun doğruluğunun ileri düzeyde geliştirilebileceğini kanıtlamaktır. Kaliteli görüntüler üzerinde karakter tanımlama işlemleri başarıyla yapılabilirken düşük kaliteli görüntüler üzerinde sorunlar yaşanabildiği vurgulanmıştır. Bir pekiştirmeli öğrenme modeli tarafından yönlendirilen uyarlanabilir bir görüntü ön işleme adımı önermektedirler. Model,

tanımlanan metin ile temel doğru arasındaki düzenleme mesafesini en aza indirmeye çalışmaktadır. Bu yöntem sayesinde kullandıkları veri kümesi üzerinde Tesseract 4.0'ın karakter düzeyinde doğruluğunu 0,134'ten 0,616'ya, F1 puanını ise 0,163'ten 0,729'a yükseltmeyi başarmışlardır.

### 3.YÖNTEM

Fatura veri kümesinin oluşturulması amacıyla birden fazla kaynaktan veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı kaynaklardan veri toplanması veri çeşitliliğini arttırmaktadır. Veri kümesinde veri çeşitliliği çok önemli olmasının yanı sıra birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların incelenmesi ve çözümlenmesi için çeşitli görüntü işleme teknikleri uygulanmalıdır. Görüntü üzerinde bulunan ana sorunlar çözüldükten sonra çeşitli OKT araçları kullanılarak fatura görüntülerinden metin elde edilmesi gerekir. OKT araçları fiziksel ortamdan alınan dijital görüntüleri metin formatına dönüştürerek erişim ve düzenleme imkanı sağlamaktadır. Fakat bu işlem uygulanırken çeşitli harf ve kelime kayıpları yaşanabilmektedir. Bu nedenle OKT sonucu üzerinde bulunan hataların test edilmesi ve düzeltilmesi gerekebilmektedir. Gerek duyulan konularda OKT sonuçlarının düzeltilmesi ile birlikte veri etiketlemek için hazır hale gelmektedir. Hazırlanan veri çeşitli veri etiketleme platformlarında, veri etiketleme uzmanları tarafından etiketlenerek anlamlı hale getirilir. Bu çalışmada kullanılacak olan ana yöntemler Şema 1.'deki akış diyagramında gösterilmektedir.

Şema 1. Çalışma Kapsamında Uygulanan Akış Diyagramı



Veri kümesinde birden fazla fatura türü ve şablonu bulunmaktadır. Girdi görüntüleri, dikkatli bir şekilde alındıktan sonra bile gürültü ve eşit olmayan aydınlatma gibi bazı kusurları içerebilir. OKT algoritması uygulanmadan önce bu kusurların giderilmesi gerekir (Ranjan vd., 2021). Bu nedenle fatura görüntülerinin çeşitli kriterler altında kümelenebilmesi ve bu kümelere uygun ön işleme adımlarının uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada kümeleme işleminin gerçekleştirilmesi için ana veri kümesi içerisinde rastgele olarak 41.226 adet fatura görüntüsü seçilmiştir. Bu örnek veri seti içerisinde bulunan her bir fatura görüntüsü 8 eşit parçaya bölünerek görüntü yoğunlukları değerlendirilmiştir. Oluşturulan bu değerlere göre 8 farklı alt örnek kümesi elde edilmiştir. Uygulanacak olan görüntü işleme teknikleri, bu kümelerin çeşitli analiz sonuçlarına göre uygulanmıştır. Ayrıca fatura görüntüleri üzerinde gerçekleştirilecek ön işleme aşamalarının değerlendirilmesi amacıyla iki yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki Tesseract ve Google Vision araçlarından elde edilen metinlerin karakter sayısının incelenmesidir. Diğer yöntem ise Google Vision ve Tesseract araçlarından elde edilen metinlerin bulanık (fuzzy) benzerlik skorlamasıdır.

#### A.Boyut, Çözünürlük ve Renk Düzenleme

Fatura görüntüleri üzerinde boyut, çözünürlük ve renk düzenleme işlemleri uygulanmıştır. Fatura görüntüleri toplanan kaynağın farklı olması nedeniyle farklı boyut, çözünürlük ve renk çeşitli paletleri kullanılarak oluşturulabilmektedir. Bu nedenle fatura görüntülerine yeniden

boyutlandırma, çözünürlük ve renk düzenleme işlemleri uygulanmaktadır. Boyutlandırma işlemi, görüntünün ölçeğinin değiştirilmesinin yanı sıra görüntüdeki piksel sayısının azaltılmasını da sağlar. Böylece görüntünün, işlenmesi ve modellerde kullanılması kolaylaşır. Çözünürlük, bir görüntünün ayrıntı düzeyini tanımlamaktadır. Yüksek çözünürlüklü görüntülerde daha fazla ayrıntı yakalamak mümkündür. Fatura görüntülerinde çözünürlük piksel sayısı üzerinden ölçülmektedir. Fatura görüntülerinde renk düzenleme işlemi için gri dönüşüm işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda her türlü renk bilgisi ortadan kaldırılmakta ve yalnızca grinin farklı tonları kullanılmaktadır.

## B.Perspektif Düzenleme

Bir belgeyi taramak için kamera kullanıldığında ortaya çıkan birkaç sorun vardır. Bunlardan biri, taranan belgenin eğimli olmasıdır. Bu sorun, görüntü dik bir açıyla çekilmediğinde ortaya çıkar (Wiraatmaja vd., 2017). Ön işleme yöntemlerinden ilki fatura görüntülerindeki eğimin azaltılması ve açı düzeltme işlemidir. Bu işlem için Imagemagick-Wand ve OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır. Tesseract ve resim üzerinde bulunan çizgiler fatura görüntülerinde açı tespiti için kullanılmıştır. Imagemagick-Wand içerisinde bulunan deskew metodu kullanılarak resim olmayan dosyalar için görüntüdeki eğimin düzeltilmesi sağlanmıştır. Diğer dosya türleri için Tesseract OCR ve resim üzerinde bulunan çizgiler kullanılmıştır. Tesseract OCR resmin hangi yönde döndürülmüş olduğunu hesaplar, resim üzerindeki çizgiler kullanılarak döndürme açısı elde edilmiş ve fatura görüntüleri düzeltilmiştir.

## C.Gürültü Azaltma

Fatura görüntülerinin genellikle taratılması sebebiyle oluşan görüntüdeki yoğun gürültü, görüntü işlemeyi ve içerisindeki metni bulmayı zor hale getirmektedir. Bu nedenle görüntü üzerinde bulunan gürültülerin azaltılması amacıyla OpenCV kütüphanesinde bulunan fonksiyonlar ve morfolojik operasyonlar kullanılmıştır (Kumar vd., 2020). Fatura görüntüleri üzerinde siyah ve beyaz gürültü kaldırma işlemi uygulandıktan sonra sırasıyla bulanıklaştırma ve açma işlemi uygulanmıştır.

## D.Kontrast Düzenleme

Fatura görüntülerine uygulanan bir diğer ön işleme yöntemi ise kontrast değerlerinin düzenlenmesidir. Kümeleme için hesaplanan piksel yoğunluk değerleri kullanılarak her bir fatura görüntüsü için 'koyuluk değeri' adında yeni bir parametre oluşturulmuştur. Bu parametre piksel yoğunluk değerlerinin ağırlıklandırılması ile elde edilmiştir. Oluşturulan yeni parametre ile her fatura kümesi için ortalama değer hesaplanmıştır. Ortalama kontrast değerinin altında kalan görüntülerde kontrast değerini arttırmak için ise sırasıyla Kontrast Sınırlı Uyarlanabilir Histogram Eşitleme (KSUHE) (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*), kontrast keskinleştirme ve adaptif keskinleştirme uygulanmıştır. KSUHE algoritması, görüntüleri ayrı bölgelere ayırmakta ve her birine histogram dengeleme uygulamaktadır. Bu işlem, gri değerlerin dağılımını eşitlemekte ve böylece görüntünün gizli özelliklerini daha görünür hale getirmektedir (Tsimpiris vd., 2022).

## E.Çizgi ve Tablo Kaldırma

Uygulanan başka bir ön işleme yöntemi ise fatura görüntülerinde bulunan çizgilerin kaldırılmasıdır. Bu işlem için OpenCV kütüphanesinde bulunan bitsel dönüşüm (*bitwise*), uyarlanabilir eşik dönüşümü (*adaptive threshold*), erozyon, genişleme ve `getStructuringElement` fonksiyonu kullanılmıştır. Bu işlemler sonucunda yatay ve dikey çizgilerin görüntüleri elde edilmiş ve tek bir görüntüde birleştirilmiştir (Kurhekar vd., 2021). Elde edilen bu görüntü, orijinal fatura görselinden çıkartılarak çizgilerin fatura görüntüsünden kaldırılması sağlanmıştır. Ancak bu işlem, çizgilerin ve yazıların kesiştiği bazı noktalarda harflerin silinmesine neden olmaktadır. Bu nedenle kaldırılan çizgilerin piksel konumlarının ters yönünde siyah piksel ile karşılaştırılması durumunda

pikseller tekrar doldurulmuştur. Bu sayede fatura görüntüsü üzerinde çizgiler kaldırılırken harf kayıpları engellenmiştir.

## F.Optik Karakter Tanıma (OKT)

Optik karakter tanıma, çeşitli türdeki belgeleri veya görüntüleri analiz edilebilir, düzenlenebilir ve aranabilir verilere çevirmeyi sağlayan bir bilimdir (Memon vd.,2020). OKT yöntemi kullanılarak fatura görüntülerinin metin formatına dönüştürülmesi sağlanmıştır. OKT araçları metin tanıma ve metin algılama işlemlerini gerçekleştirmektedir. Geliştirilen bazı araçlar sadece metin tanıma ya da sadece metin algılama işlemi gerçekleştirmektedir. Bu çalışma kapsamında metin algılama işlemleri için CRAFT (Character Region Awareness for Text Detection), EAST (Efficient and Accurate Scene Text Detector) araçları, metin tanıma araçları için ise Calamari OCR kullanılmıştır. Ayrıca metin tanıma ve algılama özelliklerinin ikisinde bulunan Tesseract ve Google Vision araçları da kullanılmıştır.

## G.OKT Sonuçlarının Düzeltmesi

Fatura görüntülerinden OKT ile elde edilen metinlerin hatalı sonuçları üzerinde düzeltme işlemi uygulanması gerekmektedir. Bu kapsamda fatura üzerindeki alıcı ve satıcı firmaların ünvanları, bağlı buldukları vergi dairesi, fatura tarihi, faturada bulunan tutar bilgileri, blok ve kelime sıralaması için düzeltme işlemleri uygulanmaktadır. Alıcı ve satıcı firma ünvan bilgileri için oluşturulan firma listesi ile bulanık (*фuzzy*) benzerliği ölçülmüştür. En yüksek benzerliğe sahip firma ünvanı kullanılarak düzeltme sağlanmıştır.

Vergi dairesi için metin üzerinden elde edilen vergi dairesi ismi Türkiye’de bulunan vergi dairesi isimleri arasında bulanık benzerliği ölçülerek en yüksek benzerliğe sahip isim ile düzeltme sağlanmıştır. Türkçe ve yabancı dildeki faturalar arasında tarih formatlarında farklılıklar görülmektedir. Bu nedenle kullanılan tarih formatında standartlaştırmaya gidilmesi için de bulanık benzerliği kullanılmıştır.

Fatura üzerinde toplam tutar bilgilerinin yer aldığı alandaki sayısal değerlerin birbirleriyle tutarlı olması gerekmektedir. Bu nedenle tutar bilgisindeki düzeltme işlemi için Koşul Tatmin Problemleri (KTP) (*Constraint Satisfaction Problems (CSP)*) ile kural setleri çalıştırılarak toplam tutar bilgilerinin düzeltilmesi sağlanmıştır.

## H.Verinin Etiketlenmesi

Veri etiketleme, verinin anlamlı parçalarının ihtiyaç duyulan kategorilere göre işaretlenmesidir. Yapay zeka tabanlı modellerde modelin doğruluk oranı, verinin kalitesi ile doğrudan orantılıdır. Bu çalışmada fatura verileri üzerinde alıcı ve satıcı firma bilgilerinin, fatura tutar bilgisi, fatura tarihi vb. 40 farklı etiket kullanılarak bir veri kümesi oluşturulmuştur. Verilerin etiket doğruluğu, modelin etkinliğini doğru bir şekilde değerlendirmek için kritik öneme sahiptir (Wu vd., 2021). Fatura görüntülerinin etiketlenmesinde NetBT - New Smart Labeling (NLS) Paneli kullanılmıştır.

## IV.DENEY ORTAMI VE DENEY SONUÇLARI

### A.Deney Ortamı

Bu çalışma HP Z4-G4 iş istasyonu üzerinde gerçekleştirilmiştir. İş istasyonunda NVIDIA Quadro RTX 6000 ekran kartı , Intel(R) Xeon(R) W-2155 CPU işlemcisi, 32 GB DDR4 2933 Mhz RAM , 4 TB SSD depolama alanı bulunmaktadır. Çalışma ortamı olarak Ubuntu 20.04 kullanılmıştır. Programlama dili olarak Python programlama dili, Sklearn, Keras, Tensorflow, OpenCV ve Fuzzy Search kütüphaneleri kullanılmıştır.



## B.Deney Sonuçları

Veri kümesinde birden fazla fatura türü ve buna bağlı olarak şablon bulunmaktadır. Bu nedenle fatura görüntülerinin kümelenmesi ve bu kümelere göre görüntü işleme uygulamalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Veri kümesinden 41.226 adet fatura görüntüsü ile bir örneklem veri kümesi oluşturulmuştur. Örnek veri kümesi içerisine bulunan fatura görüntülerinin farklı kaynaklardan toplanması nedeniyle ilk olarak boyut, renk ve çözünürlük düzeltme işlemleri uygulanmıştır. Sonrasında küme içerisinde yer alan her fatura görüntüsü sekiz eşit parçaya bölünerek görüntü yoğunlukları değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirmeye göre sekiz farklı küme oluşturulmuştur. Örnek veri kümesinde görüntü işleme yöntemlerinin değerlendirilmesi amacıyla iki farklı yöntem belirlenmiştir. Bu yöntemler Google Vision ve Tesseract araçlarından elde edilen metinlerin karakter sayısı ve metinlerin fuzzy benzerlik skorlarının değerlendirilmesidir. Tablo 1’de oluşturulan kümelerin örnek sayısı, karakter oranı ve bulanık benzerlik oranı gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Örnek Veri Kümesi Bilgileri

Küme No	Örnek Sayısı	Karakter Oranı (Tesseract/Google Vision)	Bulanık Benzerlik Oranı %
1	18.844	0,99	69,4%
2	992	0,845	64,9%
3	425	0,997	64,7%
4	176	0,631	53,4%
5	2.633	0,954	75,26%
6	1.147	0,907	64,3%
7	2.294	1,003	74,7%
8	14.715	0,927	68,6%

Uygulanan kümeleme işlemi sonucunda en düşük bulanık benzerlik oranı 53.4% ile dördüncü kümeye aittir. En yüksek benzerlik oranı ise 75,2% ile beşinci kümeye aittir. En yüksek benzerlik oranlarına sahip olan beşinci ve yedinci kümedeki fatura görüntüleri incelenmiştir. Görüntü kümeleri incelendiğinde görüntülerde eğimin ve açının olmadığı, kontrast değerinin yüksek, gürültü düzeyinin düşük ve genellikle dijital faturalardan oluştuğu görülmüştür. Bu sebeple yapılacak olan ön işleme çalışmalarında ana amaç; eğimi azaltmak veya düzeltmek, gürültü düzeyini azaltmak ve kontrast değerini arttırmak olarak belirlenmiştir. Eğim ve açı düzeltme işlemi için Tesseract, Deskew, çizgi algılama araçları denenmiştir. Görüntü kümesi içerisinde seçilen rastgele 1000 adet görüntü ile deney gerçekleştirilmiştir. En başarılı sonuç 90,3% ile Tesseract ile elde edilmiştir ve Tablo 2.’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Eğim ve Açı Düzeltme Başarı Skorları

Kullanılan Araç	Başarılı	Hatalı	Başarı Oranı (%)	Süre(sn)
Orijinal Görüntü	682	318	68,2	-
Tesseract	903	97	90,3	1043
Deskew	762	238	76,2	617
Çizgi Algılama	359	641	35,9	278
Tesseract ve Çizgi Algılama	897	103	90,1	1762

Fatura görüntülerinde bulunan çizgi, tablo ve gürültüler OKT araçlarının doğruluk oranını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle fatura görüntüdeki çizgi ve tabloları kaldırma, gürültü azaltma işlemleri uygulanmıştır. Gürültü azaltma ve çizgi kaldırma işlemi sonrasında OKT araçlarının doğruluk oranları ve doküman başına düşen karakter ortalamasında belirgin artışlar görülmüştür. Yapılan 1000 fatura görüntüsü için elde edilen test sonuçları Tablo 3’de gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Gürültü Temizleme ve Çizgi Kaldırma Uygulaması Sonuçları

	Gürültü Temizleme		Çizgi Kaldırma	
	Orijinal Görüntü	İşlenmiş Görüntü	Orijinal Görüntü	İşlenmiş Görüntü
Doğruluk Oranı	47,3%	52,7%	26%	74%
Elde Edilen Fazla Karakter Sayısı	31.990	21.130	17.780	53.470
Toplam Bulunan Karakter Sayısı	1.715.780	1.703.920	1.715.780	1.751.470
Dokümanlardaki Ortalama Karakter Sayısı	1.715	1.703	1.715	1.751

Fatura görüntüleri üzerinde kontrast değerlerini düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kümeleme için kullanılan piksel yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Her bir fatura görseli için koyuluk adına yeni bir parametre oluşturulmuştur. Bu parametre piksel yoğunluk değerlerinin ağırlıklandırılması ile elde edilmiştir. Üretilen değişken için siyah ve tonlarında daha yüksek ağırlığa sahip iken histogram üzerinde açık tonlara gittikçe bu ağırlık azalmaktadır. Son olarak ağırlıklandırılmış yoğunluk değerlerinin toplanması ile her bir veri kümesi için genel bir 'koyuluk' değeri belirlenmiştir. Kümelere ait olan koyuluk değeri Tablo 4.'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Kümelerin Koyuluk Değerleri

Küme No.	Ortalama Değer	Küme No.	Ortalama Değer
1	3,571	5	2,401
2	3,255	6	2,033
3	1,011	7	2,549
4	48,778	8	3,253

Veri kümeleme işlemine göre ortalama koyuluk değerleri incelendiği zaman dijital görüntülerden oluşan 4. küme hariç diğer gruplarda genel olarak yakın değerler görülmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak tekrar inceleme yapıldığı zaman 7. kümenin verdiği 2,549 koyuluk değeri Google Vision ve Tesseract tarafından en kolay okunan kontrast değerine karşılık gelmektedir. Benzer şekilde 1. grup içerisinde yapılan incelemeler sonucunda da 2,75 değerinin ideal kontrast değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Her bir küme için belirlenen eşik değerinin altında kalan görüntüler için yöntem kısmında belirtilen düzenlemeler uygulanmıştır. Kontrast düzenleme işlemi 5000 adet yeni fatura görüntüsü üzerinde test edilmiştir. Orijinal görüntülerden elde edilen başarı oranı ortalaması Google Vision için 69,4% ve Tesseract için 64,2%'dir. İşlem sonrasında elde edilen sonuçlar Google Vision için 76,3% Tesseract için 70,8%'dir. Kontrast değerlerinin düzeltilmesi ile Google Vision 6,9% ve Tesseract için 6,6% başarı oranında artış gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Kontrast Düzenleme İşlemi Sonuçları

OCR	İşlem Öncesi Başarı Oranı (%)	İşlem Sonrası Başarı Oranı (%)
Google Vision	69,4	76,3
Tesseract	64,2	70,8

Fatura görüntüleri üzerinde görüntü işleme adımları uygulayarak OKT sonuçlarının artırılması için çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir önceki görüntü işleme adımında yapılan tüm görüntü işleme yöntemleri birleştirilerek test kümesine uygulanmıştır. OKT araçları incelenirken metin

tanıma ve algılama özelliklerine göre kullanılmıştır. Metin algılama için CRAFT ve EAST algoritmaları kullanılmıştır. Metin algılama algoritmalarının ürettiği sonuçlardan metin dönüşümü yapabilmek için ise Calamari OCR kullanılmıştır. EAST algoritmasının da hazırlanan veri kümesi ile eğitilerek sonuçlarında iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Metin tanıma ve algılama özellikleri bulunan Google Vision ve Tesseract araçlarda kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda CRAFT ve Calamari OCR için 72,61%, EAST ve Calamari OCR için 78,33%, eğitimi yapılan EAST ve Calamari OCR için 82,71%, Google Vision için 99,36%, Tesseract için 93,74% sonuçlarına ulaşılmıştır. En yüksek doğruluk oranı 99,36% Google Vision aracı ile ulaşılmıştır.

**Tablo 5.** OKT Doğruluk Sonuçları (%)

	CRAFT + Calamari OCR	EAST + Calamari OCR	Eğitilen EAST + Calamari OCR	Google Vision	Tesseract
Başarı Oranı	72,61	78,33	82,71	99,36	93,74

## V.SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkçe fatura veri kümesinin oluşturulması amacıyla 4 farklı OKT aracı kullanılmış, sonuçlarında iyileştirme ve veri etiketleme çalışması yapılmıştır. Fatura görüntülerinde bulunan şablon ve görüntü farklılıkları nedeniyle ilk olarak kümeleme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen kümeler incelenmiş ve fatura görüntülerinin ait olduğu kümelere göre ön işleme yöntemleri uygulanmıştır. Kullanılan ön işleme yöntemleri renk, çözünürlük, boyut, eğim ve açı düzeltme, gürültü azaltma, kontrast düzenleme ve çizgi kaldırma işlemleridir. Bu işlemler sonucunda OKT doğruluk oranlarında belirgin artışlar görülmüştür. OKT için CRAFT Metin Algılama-Calamari OCR, East Metin Algılama-Calamari OCR, Tesseract ve Google Vision araçları kullanılmıştır. Uygulanan yöntemlerin değerlendirilmesi amacıyla OKT sonuçlarında elde edilen metinlerin karakter sayısı ve metinlerin bulanık benzerlik skorları karşılaştırılmıştır. En yüksek doğruluk oranı Google Vision (99,3%) kullanılarak elde edilmiştir. Veri kümesinde doğruluk oranının artırılması amacıyla OKT sonuçlarında oluşan hatalar için düzeltme işlemi uygulanmıştır. Firma ünvanlarının ve vergi dairesi isimlerinin düzeltilmesi, fatura tutar bilgilerinin sayısal olarak kontrolü gerçekleştirilmiştir. Fatura görüntülerinden elde edilen metin içerikleri NetBT - New Smart Labelling (NSL) panelinde 40 farklı etiket birimi kullanılarak etiketlenmiştir. 112.672 adet dijital ve 32.328 adet kağıt fatura olmak üzere toplamda 145.000 fatura görüntüsü etiketleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda, bu çalışmada sunulan veri kümesi kullanılarak Türkçe fatura sınıflandırma sisteminin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca Adlandırılmış Varlık Tespiti (AVT) (*Named Entity Recognition (NER)*) kullanılarak model eğitilmesi de yine gelecek için düşünülen çalışmalardan biridir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma kısmen 3190354 numaralı araştırma projesi aracılığıyla Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir. Bu belgedeki görüşler yazarlara aittir ve TÜBİTAK'ın resmi pozisyonunu veya politikalarını temsil etmeyebilir.

## KAYNAKLAR

- Bagherinezhad, H., Horton, M., Rastegari, M., & Farhadi, A. (2018). Label refinery: Improving imagenet classification through label progression. *arXiv preprint arXiv:1805.02641*.
- Baviskar, D., Ahirrao, S., & Kotecha, K. (2021). Multi-layout Unstructured Invoice Documents Dataset: A dataset for Template-free Invoice Processing and its Evaluation using AI Approaches. *IEEE Access, 9*, 101494-101512.
- Kamisetty, V. N. S. R., Chidvilas, B. S., Revathy, S., Jeyanthi, P., Anu, V. M., & Gladence, L. M. (2022, March). Digitization of Data from Invoice using OCR. In *2022 6th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)* (pp. 1-10). IEEE.
- Kumar, V., Kaware, P., Singh, P., Sonkusare, R., & Kumar, S. (2020, September). Extraction of information from bill receipts using optical character recognition. In *2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)* (pp. 72-77). IEEE.
- Kurhekar, P., Nigam, S., & Pillai, S. (2021). Automated Text and Tabular Data Extraction from Scanned Document Images. In *Data Management, Analytics and Innovation* (pp. 169-182). Springer, Singapore.
- Memon, J., Sami, M., Khan, R. A., & Uddin, M. (2020). Handwritten optical character recognition (OCR): A comprehensive systematic literature review (SLR). *IEEE Access, 8*, 142642-142668.
- Ranjan, A., Behera, V. N. J., & Reza, M. (2021). OCR Using Computer Vision and Machine Learning. In *Machine Learning Algorithms for Industrial Applications* (pp. 83-105). Springer, Cham.
- Sporici, D., Cuşnir, E., & Boiangiu, C. A. (2020). Improving the accuracy of tesseract 4.0 OCR engine using convolution-based preprocessing. *Symmetry, 12*(5), 715.
- Tarawneh, A. S., Hassanat, A. B., Chetverikov, D., Lendak, I., & Verma, C. (2019, April). Invoice classification using deep features and machine learning techniques. In *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)* (pp. 855-859). IEEE.
- Tsimpiris, A., Varsamis, D., & Pavlidis, G. (2022). Tesseract OCR Evaluation on Greek Food Menus Datasets. *International Journal of Computing and Optimization, 9*(1).
- Utku, B. D., Dağlı, M. F., & Doğan, A. (2014). Türkiye’de E-Faturanın Gelişimi ve Avrupa Birliği Müktesebatına Uyum Kapsamında E-Fatura Uygulamasında Özel Entegrasyon Yöntemi. *Leges Sosyal Bilimler Dergisi, 5*(1), 21-38.
- Wiraatmaja, C., Gunadi, K., & Sandjaja, I. N. (2017, September). The application of deep convolutional denoising autoencoder for optical character recognition preprocessing. In *2017 International Conference on Soft Computing, Intelligent System and Information Technology (ICSITT)* (pp. 72-77). IEEE.
- Wu, X., Zheng, W., Xia, X., & Lo, D. (2021). Data quality matters: A case study on data label correctness for security bug report prediction. *IEEE Transactions on Software Engineering*.

## Gıdalarda Bulunan Biyoaktif Bileşenler ve Sağlık İlişkisi

Ecem AYDIN<sup>1</sup>  
Olcay BOYACIOĞLU<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Biyoaktif bileşiklerin büyük çoğunluğunun otçul ve mikrobiyal enfeksiyona karşı koruyucu olarak, tozlayıcılar ve polen dağıtıcı hayvanlar için cezbedici olarak ve bitki türleri arasındaki rekabeti etkileyen alelokimyasallar olarak görev almaları gibi önemli ekolojik işlevleri de bulunmaktadır (Croteau vd., 2000: 1250-1319). Gıda aktif bileşiklerinin %80'den fazlası ile ilaçların %30'dan fazlası doğal biyoaktif bileşik kaynaklı olarak üretilmektedir (Qilong vd., 2013: 937-952).

Doğal ürünlere olan ilginin sebebi tamamen akademik sebepli olmayıp, boyalar, polimerler, lifler, yapıştırıcı, yağlar, mumlar, tatlandırıcılar, parfümler ve ilaçlar gibi oldukça çeşitli kullanımlarından kaynaklanmaktadır. Bu bileşiklerin büyük çoğunluğunun otçul ve mikrobiyal enfeksiyona karşı koruyucu olarak, tozlayıcılar ve polen dağıtıcı hayvanlar için cezbedici olarak ve bitki türleri arasındaki rekabeti etkileyen alelokimyasallar olarak görev almaları gibi önemli ekolojik işlevleri bulunmaktadır (Croteau vd., 2000: 1250-1319).

Biyoaktif bileşikler genellikle besin olmayan maddeler olarak kabul edilmelerine rağmen insan beslenmesi için oldukça önemli bileşiklerdir ve özellikle meyve ve sebzeler bakımından zengin olan bitki temelli diyetlerin kansere karşı koruduğuna dair bilimsel kanıtlar bildirilmiştir (Montoro vd.,2005: 349-355).

Tüketicilerin enerji artırıcı, yaşlanmayı geciktirici, sağlık özelliklerine sahip ve rahatlatıcı ürünlere olan yoğun ilgisi sebebi ile gıda ürünlerinin biyoaktif bileşiklerce desteklenmesi, fazladan biyolojik özelliklere sahip ürün elde edilmesi yönü ile tüketici tarafından tercih edilirdirlikte artışı sağlamaktadır.

Yeni geliştirilen biyoaktif bileşiklerin patent koruması ile ürün ayrıcalığı sağlaması ve endüstriyel kalıntıların azaltılmasına veya yeniden kullanımına katkı sağlaması avantajları ile gıda şirketleri tarafından da tercih edilir olmaktadır (Bonilla vd., 2015: 1-7).

### YÖNTEM

#### 1.Biyoaktif Bileşenler Nedir

Biyolojik sistemlerin sahip olduğu tüm bileşikler iki ana gruba ayrılmakta olup, bunlardan ilki karbonhidratlar, amino asitler, proteinler ve lipitler gibi büyümeyi ve gelişmeyi amaçlı üretilen kimyasal maddeler olan birincil metabolitlerdir. Diğeri, bitkilerin çevreleriyle etkileşiminde adapte olma ve hayatta kalma yeteneklerini artırmaya yardımcı olduğu düşünölen bileşikler grubu olan ikincil metabolitlerdir. Bu bileşikler, büyümede işlevi olmayan ve genellikle büyümeyi takip eden

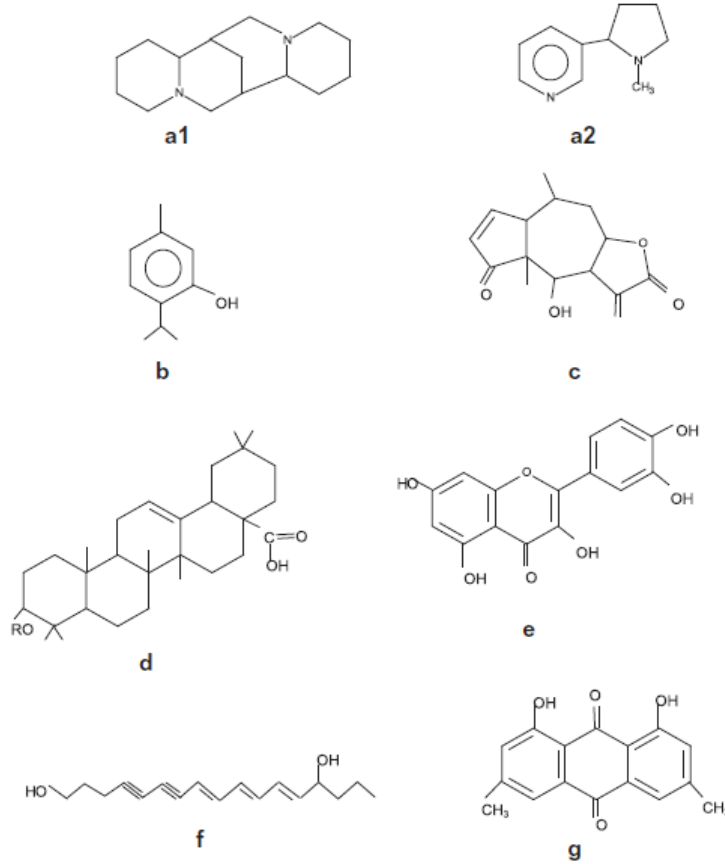
---

<sup>1</sup> Phd candidate, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-4040-3667

<sup>2</sup> Assoc. Prof. Dr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, Orcid: 0000-0003-0436-3020

süreçte, bazı sınırlı mikroorganizmaların taksonomik grupları tarafından üretilen ve değişik kimyasal yapılara sahip metabolitlerdir (Azmir vd., 2013: 426-436). Bir diğer deyişle, bitkilerdeki biyoaktif bileşikler, insan ve hayvanlarda farmakolojik ve toksikolojik etkiler gösteren ikincil bitki metabolitleridir (Bernhoft, 2010: 11-17).

Bitkilerdeki biyoaktif bileşenlerin ayrıldığı kategorilere göre fenolik bileşiklerin yaklaşık 8000 tipi, alkaloidlerin yaklaşık 12000 tipi, terpenler ve terpenoidlerin yaklaşık 25000 tipi bulunmaktadır. Bu bileşik kategorilerinin genel yapıları Şekil 1.1’ de gösterilmektedir (Croteau vd., 2000: 1250-1319).

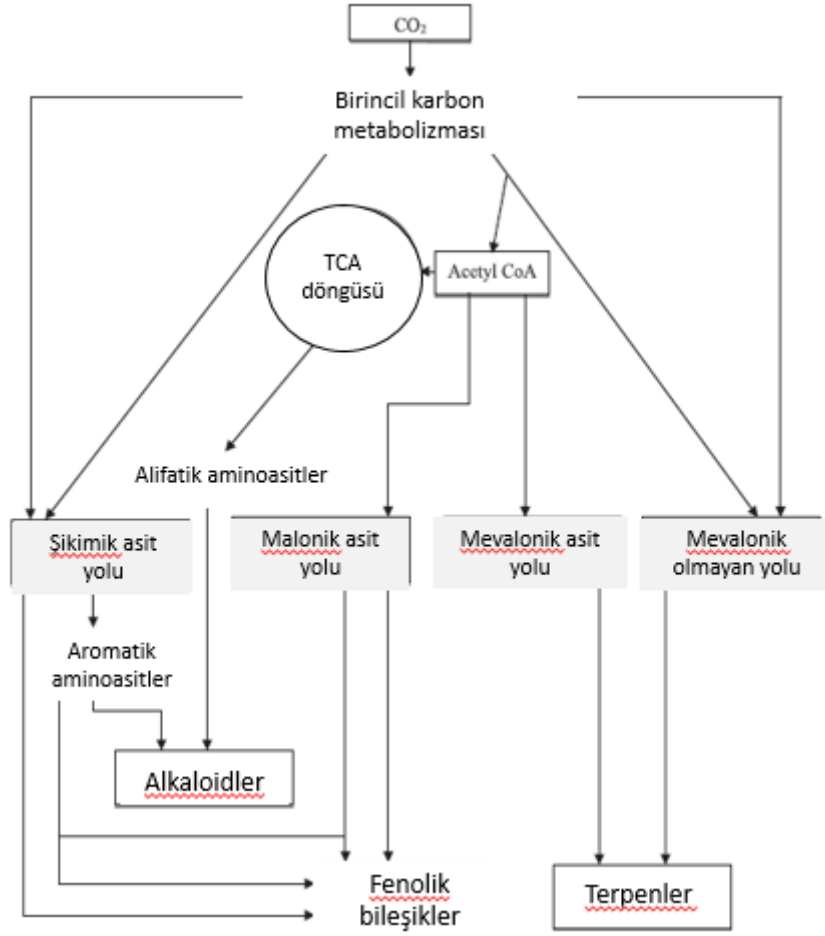


Alkaloidler(a1 ve a2), monoterpenler(b), seskiterpenler(c), triterpenler, saponinler, steroid(d), flavonoidler(e), poliasetenler(f), polisitetil(g).

Şekil 1.1 Biyoaktif Bileşiklerin Genel Yapıları

Biyoaktif bileşiklerin meydana gelmesi için 4 ana biyosentez yolu bulunmakta olup, alkaloidler şikimik asit yolundan, fenolik bileşikler şikimik asit ve malonik asit yolundan, terpenler mevalonik asit yolu ve mevalonat olmayan yolundan üretilmektedir. Üç ana grup biyoaktif bileşiğin basitleştirilmiş biyosentez yolları Şekil 1.2’ de gösterilmektedir.

Biyoaktif bileşiklerin çoğu her birinin belirli yapısal özellikleri bu biyosentez yollarından kaynaklanan birkaç aileden birine ait olmakta ve onların özelliklerini taşımaktadır (Tiaz ve Zeiger, 2006: 283–308).



Şekil 1.2 Biyoaktif Bileşiklerin Basitleştirilmiş Biosentez Yolları

### 1.1. Terpenoidler

Terpenoidlerin, yapısal olarak en çok çeşitlilik gösteren bitkisel doğal ürün sınıfı olduğu düşünülmektedir. Tüm terpenoidler, izopentan iskelete dayalı dallı beş karbonlu birimlerin tekrarlayan birleşimlerinden türemekte olup, bu monomerler genellikle izopren birimler olarak adlandırılmaktadır. Bundan dolayı, terpenoidler genellikle izoprenoidler olarak da anılmaktadır (Croteau vd., 2000: 1250-1319).

En küçük terpenler olan hemiterpenler (yarım-terpenler) tek bir izopren birimi içermektedir. En iyi bilinen hemiterpen, fotosentetik olarak aktif dokulardan salınan uçucu bir ürün olan izoprendir ve izopren sentaz enzimi, çok sayıda bitki türünün yaprak plastidlerinde bulunmaktadır. Monoterpenler, 10C'lu terpenoidler olup, iki izopren birimden oluşmaktadır. Monoterpenler, çiçeklerin uçucu özlerinin ve kuru ağırlığının% 5'ini oluşturdukları bitki ve baharat uçucu yağların bileşenleri olarak bilinmektedir ve distilasyon veya ekstraksiyon yoluyla izole edilerek aroma veya parfümeri amaçlı endüstriyel olarak kullanılmaktadır (Barton ve Meth-Cohn, 1999). Seskiterpenler (bir ve bir yarım terpenler), 15C içermekte olup, üç izopren birimden oluşmaktadır. Monoterpenlere benzer şekilde birçok uçucu yağda bulunmaktadır. Ayrıca çok sayıda seskiterpenoid, bitkiler tarafından üretilen antibiyotik bileşik gibi davranarak mikrobiyal tehditlere karşı işlev görmektedir. Triterpenler, 30C içermekte olup, baştan uca birleştirilmiş ve iki adet 15C'lu zincir içeren üç izopren birimden oluşmaktadır. Büyük bir molekül sınıfı olan triterpenler, brassinosteroidleri, fitosterol membran bileşenlerini, bazı yüzey vakslarını, çeşitli toksinleri ve yem caydırıcıları içermektedir (Croteau vd., 2000: 1250-1319).

## 1.2. Alkaloidler

Alkaloidlerin araştırılması, 1806 yılında morfinin izolasyonu sebebi ile olmuştur. Alkaloidler farmakolojik olarak aktif olan ve azot içeren temel bitki bileşenleri olup sadece bitkilere özgü olmadığı ve çok sayıda hayvan kaynaklarından da izole edildiği bilinmektedir. Fakat keşfedilen alkaloidlerin çoğu, memelilerde farmakolojik olarak aktif değildir ve yapıdaki bir nitrojen atomunun varlığına rağmen nötr karakterdedir (Funayama ve Cordell, 2014).

Piperidin alkaloid olan koniün, sentezlenecek ilk alkaloid olup, homeopatide küçük dozlarda kullanılmakla birlikte oldukça toksiktir ve motor sinir uçlarında felce neden olmaktadır. Ayrıca "Sokrates'in Ölümü" olarak resmedilen eserde, filozof Sokrates'in MÖ 399'da koniün içeren zehirli baldıran otu özü tüketerek idam edilişi tasvir edilmektedir. Alkaloid içeren bitkilerin, insanlığın orijinal tıbbi malzemeleri olduğu düşünülmektedir ve bunların çoğu günümüzde reçeteli ilaçlar olarak kullanıma devam etmektedir. Bunlardan en iyi bilinen reçeteli alkaloidlerden biri ise haşhaştan elde edilen öksürük önleyici ve analjezik kodeindir. Ayrıca bitki alkaloidleri, göz muayeneleri sırasında göz bebeğini genişletmek için tropan alkaloid atropin kullanımı gibi modern ilaçların yapımı için de bir model görevi görmüş olup, modern tıpta kullanılan fizyolojik olarak aktif alkaloidler Çizelge 1'de gösterilmiştir (Croteau vd., 2000: 1250-1319).

Çizelge 1 Modern Tıpta Kullanılan Alkaloidler

Alkaloid	Bitkisel Kaynağı	Kullanımı
Ajmaline	Rauwolfia serpentina	Kalp dokusu mitokondrileri tarafından glikoz alımını inhibe ederek işlev gören antiaritmik
Atropine	Hyoscyamus niger	Antikolinergik, sinir gazı zehirlenmesine karşı panzehir
Caffeine	Coffea arabica	Yaygın olarak kullanılan merkezi sinir sistemi uyarıcısı
Camptothecin	Camptotheca acuminata	Güçlü antikanser ajanı
Cocaine	Erythroxylon coca	Topikal anestezi, güçlü merkezi sinir sistemi uyarıcısı ve adrenerjik bloke edici ajan; uyuşturucu madde
Codeine	Papaver somniferum	Nispeten bağımlılık yapmayan analjezik ve öksürük önleyici
Coniine	Conium maculatum	Son derece toksik, homeopatide küçük dozlarda kullanılan motor sinir uçlarında felce neden olur
Morphine	P. somniferum	Güçlü narkotik analjezik, bağımlılık yaratan kötüye kullanım ilacı
Nicotine	Nicotiana tabacum	Oldukça toksik, solunum felcine, bahçecilikte böcek ilacı, uyuşturucu madde
Quinine	Cinchona officinalis	Diğer antimalaryallere dirençli olan Plasmodium falciparum suşlarının tedavisinde geleneksel antimalaryal
Sanguinarine	Eschscholzia californica	Dış macunlarında ve ağız gargalarında kullanılan antiplak aktivite gösteren antibakteriyel
Scopolamine	H.niger	Güçlü narkotik, hareket hastalığı için yatıştırıcı olarak kullanılır
Strychnine	Strychnos nuxvomica	Şiddetli tetanik zehir, sıçan zehiri, homeopatide kullanılır
(+)Tubocurarine	Chondrodendron tomentosum	Anesteziye yardımcı olarak kullanılan felç üreten nondepolarizan kas gevşetici

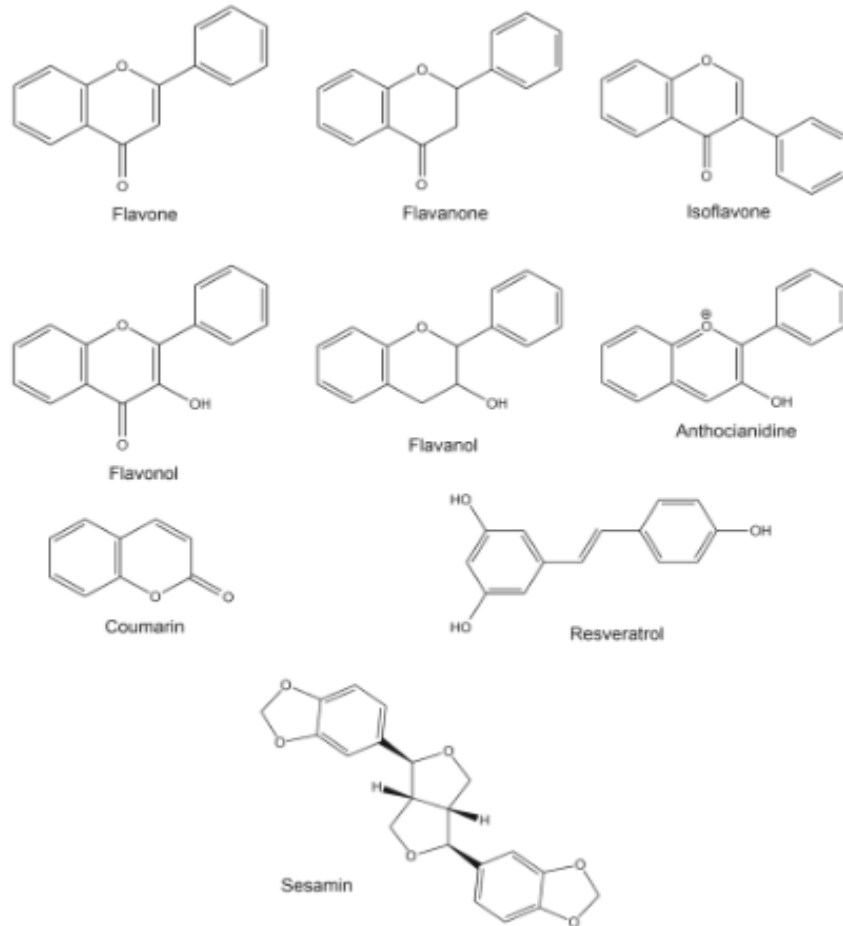
## 1.3. Fenolik Bileşikler

Gıda bileşeni olarak düşünüldüğünde fenolik bileşikler; sağlık açısından etkileri, tat ve koku oluşumunda işlevleri, renk oluşumu ve değişiminde rol oynamaları, antimikrobiyal ve antioksidan etkileri, enzim inhibisyonu sağlamaları ve farklı gıdalarda saflık kontrol kriteri olmaları gibi pek çok bakımdan önemlidir. Bitkilerde bulunan fenolik bileşiklerden fenolik asitler ve flavonoidler önem taşımaktadır. Fenolik asitlerin büyük bir çoğunluğu bitkilerde organik asitlerle veya şekerlerle esterleşmiş halde bulunmakta olup, fenol halkalarına bağlı çok aktif hidroksil grupları ile şekerlerle



birleşip glikozitleri oluşturmaktadır. Bitkilerin genellikle kabuktaki hücre duvarları gibi dış yüzeylerinde bulunan fenolik asitler, bitkiyi dış koşullara karşı korumaktadır. Fenolik bileşikler içinde en önemli grubu oluşturan flavonoidler, gıdalarda en yaygın bulunan polifenollerdir ve temel olarak üç halkadan oluşmaktadır. Yapısal olarak 6 gruba ayrılan flavonoidler, antosiyanidinler(kırmızı ve mavi renkli pigmentler), flavonoller(açık sarı renkli pigmentler), flavonlar(açık sarı renkli pigmentler), flavanonlar(bitter lezzetli bileşikler), flavanoller(buruk lezzetli bileşikler), izoflavonoidler(fitoöstrojen bileşikler) gibi C halkasındaki yapısal değişimlere bağlı olarak gruplara ayrılmakta olup, Şekil 1.3' te genel yapıları gösterilmiştir (Saldamlı, 2007).

Şimdiye kadar bilinen 5000'in üstünde farklı temsilcisi ile flavonoidler, çoğu bitki dokusunda vakuollerde bulunmakta ve içerdiği çeşitli bileşiklerle çok kapsamlı işlevleri yerine getirmektedir. Bitkilerde koruma ve renk amaçlı çeşitli spesifik işlevlerinin yanısıra flavonoidlerin memeli enzim sistemlerindeki aktivitesi de sağlık ve farmakolojik fayda açısından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Kanseri önlemede izoflavonoidlerin kullanımına ciddi bir ilgi bulunmaktadır ve soya fasulyesinde bulunan izoflavonoid daidzein ve genisteinin diyetle tüketiminin insanlarda meme ve prostat kanseri insidansını önemli ölçüde azalttığı düşünülmektedir (Croteau vd., 2000: 1250-1319).



Şekil 1.3 Flavonoid Gruplarının Genel Yapıları

## 2. Biyoaktif Bileşenler ve Sağlık İlişkisi

Yiyecek ve içecek sektöründeki genel yaklaşım, atık gıda kaynaklarından ekstraksiyon yoluyla biyoaktif bileşiklerin üretilmesidir. Beyaz şarap üretiminde oluşan küspe ve kabuklardaki polifenolce zengin bileşiklerin ve kahve üretiminde oluşan kabukta bulunan antioksidan ve antibakteriyel özelliklere sahip kalıntıların elde edilmesi buna örnektir (Bonilla vd., 2015: 1-7).

Biyoaktif bileşikler genellikle çözücü ekstraksiyon tekniği ile geri kazanılmaktadır ve çözücü tipi, ekstraksiyon süresi ve sıcaklık bu işlemdeki önemli parametreleri oluşturmaktadır. (Bonilla vd., 2015: 1-7).

### 2.1. 2.1. Biyoaktif Bileşenler ile İlgili Çalışmalar

Yiyecek ve içecek sektöründeki genel yaklaşım, atık gıda kaynaklarından ekstraksiyon yoluyla biyoaktif bileşiklerin üretilmesidir. Beyaz şarap üretiminde oluşan küspe ve kabuklardaki polifenolce zengin bileşiklerin ve kahve üretiminde oluşan kabukta bulunan antioksidan ve antibakteriyel özelliklere sahip kalıntıların elde edilmesi buna örnektir (Bonilla vd., 2015: 1-7).

Biyoaktif bileşikler genellikle çözücü ekstraksiyon tekniği ile geri kazanılmaktadır ve çözücü tipi, ekstraksiyon süresi ve sıcaklık bu işlemdeki önemli parametreleri oluşturmaktadır. (Bonilla vd., 2015: 1-7).

### 3.1. 3.1. Biyoaktif Bileşenlerle İlgili Çalışmalar

Fenolik asitler, insan diyetinin önemli bir bölümünü temsil eden neredeyse tüm bitki kaynaklı gıdalarda bulunmakta ve diyet alışkanlıklarına ve tercihlerine bağlı olarak fenolik asit alımının 200 mg/gün olduğu bildirilmektedir. Bu bileşikler, in vivo koşullarda, organizmada glukuronlanmış, sülfatlanmış ve metillenmiş metabolitler olarak dolaştığı ve metabolize edildiği için farklı biyoaktiviteler sergilediğinden, metabolitlerin biyoaktivitesi son derece önemli olmaktadır. Polifenoller, emilim sırasında, önce ince bağırsakta ve ardından metilasyon, sülfasyon ve glukuronidasyon gibi başlıca birleşme reaksiyonlarının gerçekleştiği karaciğerde yer almaktadır. Bu durum, toksik etkilerden arındırılmalarının yanısıra safra ve idrar yoluyla elimine edilmelerini sağlamak için hidrofilitelerinin de artırılması yönüyle oldukça önemli bir prosestir. Dolaşımdaki polifenoller, albümine büyük ölçüde bağlanan konjuge türevlerdir ve genellikle bağırsağın bakteriyel enzimlerin etkisine maruz kalacakları uzak bölümlerinde safra yolu ile duodenuma salgılanmaktadır. Bu aşamadan sonra, vücutta polifenollerin daha uzun süre bulunmasını sağlayabilecek şekilde yeniden emilebilmektedirler. En sık karşılaşılan ve üzerinde çalışılan fenolik asitler kafeik ve ferulik asitler olup, antioksidan aktivitelerden elde edilen sonuçlar, bu fenolik asitlerin absorpsiyondan sonra büyük ölçüde metabolize edilmelerine rağmen, glukuronatlı metabolitlerinin güçlü antioksidan aktivitesini koruyabildiğini ve hala in vivo olarak önemli bir antioksidan etki gösterebileceğini göstermiştir. Bu iki fenolik asit insan diyetindeki en tipik temsilcilerdir ve emildikten sonra metabolize olarak konjuge formlarda insan plazmasında dolaşmaları sebebiyle bu metabolitlerin bazılarının sergilediği güçlü antioksidan aktivite, mantar gibi fenolik asit bakımından zengin gıdaların alınmasından sonra ölçülen plazma antioksidan aktivitelerinin artışına katkıda bulunabilmektedir (Helena vd., 2015: 501-513).

Çeşitli medikal bitkilerden elde edilmiş farklı türevlerde flavonoidlerin anti-inflamatuar etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada (Montoro vd., 2005: 349-355), flavonoidlerin antioksidan özelliği, özellikle kardiyovasküler hastalıklara karşı koruyucu etkileri açısından incelenen ilk etki mekanizması olmakla birlikte, birden fazla hastalıkta yer alan singlet oksijen ve çeşitli serbest radikallerin de dahil olduğu çoğu oksitleyici molekül türünde oldukça etkili mekanizma gösterdiği görülmüştür. Geleneksel tıpta kullanılan bitkilerden elde edilen flavonoidler üzerindeki sonuçlar, bu bileşiklerin lipid peroksidasyonuna karşı koruma kabiliyetine sahip olduğunu ve süperoksit radikalleri üzerinde süpürücü aktivitesinin bulunduğunu göstermiştir. Bu durum anti-inflamatuar süreç için önemlidir ve antioksidan aktiviteleri ile açıklanabileceği öne sürülmektedir. Flavonoidler açısından zengin bitkilerin tüketiminin, organizmada genel antioksidan kapasitesini artırmaya ve onu oksidatif stresin neden olduğu lipid peroksidasyonuna karşı korumaya yardımcı olacak iyi bir kaynak olabileceği bildirilmiştir.

Günümüzde diyetle alınan fenolik bileşiklere olan ilgi, bu bileşiklerin antioksidan, antiinflamatuvar ve antikarsinojenik aktivitelere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Kırmızı şarap, kahve, çay ve meyve suları da polifenol yönünden zengin kaynaklardır. Bitki polifenollerini, antioksidatif aktiviteyi ile bilinmekte olup, serbest radikalleri temizlemeleri sayesinde lipid peroksidasyonunun serbest radikal zincir reaksiyonunu kırmaktadır. Fakat birçok diyet polifenolünün biyoyararlanımı oldukça düşüktür ve bu sebeple in vitro koşullarda doku konsantrasyonlarında gözlenen etkileri yeterli şekilde gösterecek kadar yüksek olmayabilmektedir. Bundan dolayı polifenollerin biyoyararlanımı, biyolojik aktiviteyi için önemli bir belirleyici olmaktadır. Biyoaktif bileşenlerin dokudaki seviyeleri ve biyoyararlanımı, hücre hatları ve hayvan modelleri çalışmalarının sonuçlarının insanlardaki tahminini belirlemede önemli bir kısıtlayıcı neden olmaktadır. Bu sebeple hücre hatlarındaki bir polifenolün etkili konsantrasyonunun, insan dokularından elde edilebilen seviyelerle karşılaştırılması büyük önem taşımaktadır. Biyoyararlanımı etkileyen faktörler ise polifenollerin kimyasal özellikleri, bağırsaklarda dekonjugasyon/rekonjugasyon, bağırsak emilimi ve metabolizma için mevcut enzimlerdir.

Fenolik asitler ve türevleri, çay ve kateşinler, izoflavonlar ve soya preparatları gibi bir dizi flavonoidin, çeşitli hayvan modellerinde karsinogenezi baskıladığı bildirilmiştir. Teorik olarak, faz II enzimlerinin indüksiyonu, belirli kanserojenlerin veya bunların reaktif ara maddelerinin eliminasyonunu kolaylaştırabilmektedir. Polifenoller, faz II enzimlerini indükledikleri, karsinogeneze önemli roller oynayan reaktif oksijen ve nitrojen türlerinin oluşumunu önleyebildiği, in vivo ve in vitro olarak kanserojen aktivasyonunu inhibe ettikleri için kanser kemopreventif maddeler olarak kabul edilmektedir. Fakat bu mekanizmaların daha iyi anlaşılması ve insan dokularında faaliyetlerinin doğrulanması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Yang vd., 2001: 381-406).

Hem çevresel faktörler hem de tarımsal yönetim uygulamaları, gıda yapısının fitokimyasal bileşimini belirlemede etkili olmaktadır. Yapılan son araştırmalara göre, organik bir yetiştirme sisteminin daha yüksek seviyelerde ikincil metabolitlere, daha yüksek C vitamini içeriğine ve daha yüksek kuru madde içeriğine sahip gıda bitkileri üretme olasılığına sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalarda en çarpıcı ve tutarlı özellik, organik yöntemde gıda bitkilerinin genellikle % 10-50 daha yüksek ikincil metabolit içeriğine sahip olması olmuştur.

Domates, C vitamini,  $\beta$ -karoten, likopen, flavonoidler, antioksidan özellikler gibi sağlığı koruyucu etkilere sahip olması sebebi ile önemli bir besin ve ikincil metabolit kaynağı bir gıdadır. Yapılan çalışmada, organik ve geleneksel yöntemlerle yetiştirilen domatesler karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, organik domateslerin önemli ölçüde daha yüksek flavonoid, quercetin, naringenin ve kaempferol içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. Flavonoid seviyelerinin her iki yetiştirme sisteminde de zamanla arttığı tespit edilmiş olsa da organik sistemdeki artış oranının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca organik örneklerin antioksidan seviyelerinin geleneksel yöntemle kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Holmboe-Ottesen, 2010: 236-25).

Seskiterpenlerin anjiyogenezi inhibe ettiği ve böylece kanser hücresi ölümüne sebep olabileceği bildirilmiş olup, seskiterpenlerden zerumbonun farklı tümörlerde tümör anjiyogenezini inhibe ettiği bulunmuştur. Yapılan başka çalışmalar da zerumbonun pankreas ve mide kanserlerinde anjiyogenez inhibisyonundaki rolünü göstermiştir (Shamoto vd., 2014: 396-404, Tsuboi vd., 2014: 57-64).

Guava ve kekik gibi tıbbi bitkilerin uçucu yağlarından izole edilen bir seskiterpen olan  $\beta$ -karyofilen oksitin de antianjiyojenik aktiviteyi bildirilmiş olup, PI3K yolunu hedefleyerek anjiyogenezin inhibisyonu yoluyla apoptozu indüklediği belirlenmiştir (Park vd., 2011: 178-188).

Bir seskiterpen olan  $\beta$ -Karyofilen, tıbbi bitkilerin uçucu yağlarından izole edilmekte ve farklı tümör türleri üzerindeki proapoptotik potansiyeli ile bilinmektedir (Amiel vd., 2012).

PI3K/AKT yolu, kanserde en sık mutasyona uğrayan yollardan biri olup, kanser tedavisinde de en önemli hedeflerden biridir (Engelman, 2009) ve  $\beta$  Karyofilen oksidin, PI3K oluşum yolunun inhibisyonu ile apoptozu indüklediği belirlenmiştir (Park vd., 2011: 178-188).

Uçucu yağlardan izole edilen bir seskiterpen olan  $\gamma$ -Humulen, kolorektal karsinomaya karşı pro-apoptotik aktiviteleri ile bilinmekte olup, kolorektal kanserde iç ve dış apoptoz yollarını aktive ettiği bildirilmiştir (Lan vd., 2012).

Seskiterpenlerden zerumbonun, kanserde güçlü bir apoptotik indükleyici olarak rolünün belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada pankreas ve rahim ağzı kanserlerinde apoptozu indükler özelliklerinin bildirilmesi ile çeşitli kanserlere karşı umut vadeden bir antikanser olarak düşünölmektedir (Zhang vd., 2012). Ayrıca zerumbonun in vivo şartlarda kolon ve akciğer tümörlerinde apoptozu indüklediği de çalışmalarca belirlenmiştir (Kim vd., 2009: 264-271).

## KAYNAKÇA

- Almagro, L., Fernández-Pérez, F., & Pedreño, M. A. (2015). Indole alkaloids from *Catharanthus roseus*: bioproduction and their effect on human health. *Molecules*, 20: 2973-3000.
- Amiel, E., Ofir, R., Dudai, N., Soloway, E., Rabinsky, T., & Rachmilevitch, S. (2012).  $\beta$ -Caryophyllene, a compound isolated from the biblical balm of gilead (*Commiphora gileadensis*), is a selective apoptosis inducer for tumor cell lines. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2012.
- Armutcu, F., Akyol, S., Hasgöl, R., & Yiğitoğlu, M. R. (2011). Zeytin yaprağının biyolojik etkileri ve tıpta kullanımı. *Spatula DD*, 1: 159-165.
- Arola-Arnal, A., Cruz-Carión, Á., Torres-Fuentes, C., Ávila-Román, J., Aragonès, G., Mulero, M., ... & Suárez, M. (2019). Chrononutrition and polyphenols: Roles and diseases. *Nutrients*, 11, 2602.
- Aslam, J., Khan, S. H., Siddiqui, Z. H., Fatima, Z., Maqsood, M., Bhat, M. A., ... & Sharma, M. P. (2010). *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. An important drug: it's applications and production. *Pharmacie globale (IJCP)*, 4: 1-16.
- Aslan, R. (2020). Biyolojik ritimler ve biyoaktif besinler. *Ayrıntı dergisi*, 8(92).
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., ... & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of food engineering*, 117: 426-436.
- Barton, D., & Meth-Cohn, O. (1999). *Comprehensive natural products chemistry*. Elsevier.
- Bernhoft, A. (2010). A brief review on bioactive compounds in plants. *Bioactive compounds in plants-benefits and risks for man and animals*, 50, 11-17.
- Bonilla, J., Gomes, T., & Lourenã, G. (2015). Recent patents on the application of bioactive compounds in food: a short review. *Current opinion in food science*, 5: 1-7.
- Bortlik K, Saucy F, Duruz E, Richelle M, Lambelet P, Baur M, Pfeifer A (2014). Primary composition comprising a lipophilic bioactive compound, *Current opinion in food science*, 5: 1-7.
- Briones-Martin-Del-Campo, M., Orta-Zavalza, E., Juarez-Cepeda, J., Gutierrez-Escobedo, G., Cañas-Villamar, I., Castaño, I., & De Las Peñas, A. (2014). The oxidative stress response of the opportunistic fungal pathogen *Candida glabrata*. *Revista iberoamericana de micología*, 31: 67-71.
- Çalışkan, O., & Polat, A. A. (2012). Morphological diversity among fig (*Ficus carica* L.) accessions sampled from the Eastern Mediterranean Region of Turkey. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 36: 179-193.
- Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). *Biochemistry and molecular biology of plants*, 24: 1250-1319.
- De Sousa, D. P. (2015). *Bioactive essential oils and cancer*. Brazil: Springer.
- Del Río, J. A., Báidez, A. G., Botía, J. M., & Ortuno, A. (2003). Enhancement of phenolic compounds in olive plants (*Olea europaea* L.) and their influence on resistance against *Phytophthora* sp. *Food chemistry*, 83: 75-78.
- Demirci, M., (2010). Gıda kimyası. *Gıda teknolojisi derneği*, 40.
- Engelman, J. A. (2009). Targeting PI3K signalling in cancer: opportunities, challenges and limitations. *Nature Reviews Cancer*, 9: 550-562.
- Funayama, S., & Cordell, G. A. (2014). *Alkaloids: a treasury of poisons and medicines*. Elsevier.

- Geron, M., & De Chadarevian, S. (2013). U.S. Patent Application No. 13/865,749.
- Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J. R., & Ferreira, I. C. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food chemistry*, 173: 501-513.
- Hettiarachchy, N. S. (2013). U.S. Patent No. 8,575,310. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Holmboe-Ottesen, G. (2010). Increased levels of bioactive compounds in organically grown food plants. Possible health effects. *Bioactive compounds in plants-benefits for man and animals*, 236-252.
- Kelebek, H., Diblan, S., Kadiroğlu, P., Osman, K. O. L. A., & Selli, S. (2018). Kurutma işlemlerinin incirlerin (*Ficus carica* L.) fenolik bileşikler, antioksidan kapasite ve diğer önemli bazı kalite kriterleri üzerine etkileri. *Çukurova tarım ve gıda bilimleri dergisi*, 33: 127-136.
- Kim, M., Miyamoto, S., Yasui, Y., Oyama, T., Murakami, A., & Tanaka, T. (2009). Zerumbone, a tropical ginger sesquiterpene, inhibits colon and lung carcinogenesis in mice. *International journal of cancer*, 124: 264-271.
- Konuşkan, D. B., & Altan, A. (2008). Zeytin ve zeytinyağında doğal olarak bulunan biyoaktif bileşikler ve fizyolojik etkileri. *Gıda*, 33: 297-302.
- Koul, M., Lakra, N. S., Chandra, R., & Chandra, S. (2013). *Catharanthus roseus* and prospects of its endophytes: a new avenue for production of bioactive metabolites. *International journal of pharmaceutical sciences and research*, 4: 2705-2716.
- Kutney, J., Mayer, L., & Schmidt, B. (2000). Anhydrovinblastine for the treatment of cervical and lung cancer. EP0969839 A1.
- Lan, Y. H., Chiang, J. H., Huang, W. W., Lu, C. C., Chung, J. G., Wu, T. S., ... & Yang, J. S. (2012). Activations of both extrinsic and intrinsic pathways in HCT 116 human colorectal cancer cells contribute to apoptosis through p53-mediated ATM/Fas signaling by Emilia sonchifolia extract, a folklore medicinal plant. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2012.
- Lima, T. C., Mota, M. M., Barbosa-Filho, J. M., Dos Santos, M. R. V., & De Sousa, D. P. (2012). Structural relationships and vasorelaxant activity of monoterpenes. *DARU Journal of pharmaceutical sciences*, 20: 1-4.
- Manigandan, V., Gurudeeban, S., Satyavani, K., & Ramanathan, T. (2014). Molecular docking studies of *Rhizophora mucronata* alkaloids against neuroinflammatory marker cyclooxygenase 2. *International journal of biological chemistry* 8(2): 91-99.
- Montoro, P., Braca, A., Pizza, C., & De Tommasi, N. (2005). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids isolated from different plant species. *Food Chemistry*, 92: 349-355.
- Naczki, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of chromatography A*, 1054: 95-111.
- Nayak, B. S., & Pereira, L. M. P. (2006). *Catharanthus roseus* flower extract has wound-healing activity in Sprague Dawley rats. *BMC Complementary and alternative medicine*, 6: 41.
- Park, K. R., Nam, D., Yun, H. M., Lee, S. G., Jang, H. J., Sethi, G., ... & Ahn, K. S. (2011).  $\beta$ -Caryophyllene oxide inhibits growth and induces apoptosis through the suppression of PI3K/AKT/mTOR/S6K1 pathways and ROS-mediated MAPKs activation. *Cancer letters*, 312: 178-188.
- Qilong, R., Huabin, X., Zongbi, B. A. O., Baogen, S. U., Qiwei, Y. A. N. G., Yiwen, Y. A. N. G., & ZHANG, Z. (2013). Recent advances in separation of bioactive natural products. *Chinese journal of chemical engineering*, 21: 937-952.

Rai, V., Tandon, P. K., & Khatoon, S. (2014). Effect of chromium on antioxidant potential of *Catharanthus roseus* varieties and production of their anticancer alkaloids: vincristine and vinblastine. *Biomed research international*, 2014.

Saldamlı, İ. (2017). *Gıda kimyası*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.

Shamoto, T., Matsuo, Y., Shibata, T., Tsuboi, K., Nagasaki, T., Takahashi, H., ... & Takeyama, H. (2014). Zerumbone inhibits angiogenesis by blocking NF- $\kappa$ B activity in pancreatic cancer. *Pancreas*, 43: 396-404.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Secondary metabolites and plant defense. *Plant physiology*, 4, 315-344.

Tiong, S. H., Looi, C. Y., Hazni, H., Arya, A., Paydar, M., Wong, W. F., ... & Awang, K. (2013). Antidiabetic and antioxidant properties of alkaloids from *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. *Molecules*, 18: 9770-9784.

Tsuboi, K., Matsuo, Y., Shamoto, T., Shibata, T., Koide, S., Morimoto, M., ... & Takeyama, H. (2014). Zerumbone inhibits tumor angiogenesis via NF- $\kappa$ B in gastric cancer. *Oncology reports*, 31: 57-64.

Tuck, K. L., & Hayball, P. J. (2002). Major phenolic compounds in olive oil: metabolism and health effects. *The Journal of nutritional biochemistry*, 13: 636-644.

Wang, L., He, H. P., Di, Y. T., Zhang, Y., & Hao, X. J. (2012). Catharoseumine, a new monoterpenoid indole alkaloid possessing a peroxy bridge from *Catharanthus roseus*. *Tetrahedron letters*, 53: 1576-1578.

Vallejo, F., Marín, J. G., & Tomás-Barberán, F. A. (2012). Phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.). *Food chemistry*, 130: 485-492.

Veberic, R., Colaric, M., & Stampar, F. (2008). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. *Food chemistry*, 106: 153-157.

Yang, C. S., Landau, J. M., Huang, M. T., & Newmark, H. L. (2001). Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds. *Annual review of nutrition*, 21(1), 381-406.

Zhang, S., Liu, Q., Liu, Y., Qiao, H., & Liu, Y. (2012). Zerumbone, a Southeast Asian ginger sesquiterpene, induced apoptosis of pancreatic carcinoma cells through p53 signaling pathway. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2012.

## Öğütülmüş ve Öğütülmemiş RHA Takviyeli AA7075 Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi İle Üretimi

Aslıhan CEBECİ<sup>1</sup>  
Naci Arda TANIŞ<sup>2</sup>  
Recep ÇALIN<sup>3</sup>

### GİRİŞ

Kompozit malzemeler, iki yada daha fazla malzemenin istenilen özelliklerde ve tek bir malzeme oluşturmak için makro boyutta bir araya gelerek yeni özellikler kazandırılan malzemedir. Yeni özellik kazandırılırken malzemelerin homojen olarak dağılması gerekmektedir. (1)

Kompozit malzemeler iki bileşenden oluşur. Bu bileşenler matris ve takviye malzemedir. Matris malzeme polimer, metal veya metal alaşımlı, seramik esaslı malzemeler olarak tanımlanır. Cinsine göre ise Plastik (Polimer) Matrisli, Metalik Matrisli ve Seramik Matrisli olarak sınıflandırılır. Takviye malzemeler ise çelik, karbür, aramid, naylon gibidir. Matris malzemeler yapı bileşeninin biçimine göre Parçacık Takviyeli Kompozit, Fiber Takviyeli Kompozit, Tabaka Yapılı Kompozit ve Dolgu Yapılı Kompozit olarak sınıflandırılır. (1) Metal matrisli kompozitler ana malzemeleri çeşitli metal ve metal alaşımı olan kompozitlerdir. Bu kompozitlerde metal esaslı yapı içine gömülen takviye farklı geometride olabilir. MMK'larda atmosfere karşı korozyon dayanımının da oldukça yüksek olması diğer bir karakteristik özelliktir. Genellikle metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde alüminyum (Al), magnezyum (Mg), çinko (Zn), bakır (Cu), titanyum (Ti) ve nikel (Ni) gibi metaller ve bu metallerin alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Seramik esaslı kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan olduklarından çok düşük süneklik ve tokluğa sahiptirler ayrıca termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Plastik (Polimer) Matrisli Kompozitler Çoğunlukla petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en yaygın kullanım alanı olan malzemelerdir. (2) Polimerik kompozitler korozyona dirençli, uzun süreli kullanıma uygun, işlenmesi kolay, şekillendirilebilen, birim kütle başına yük kapasitesi yüksek malzemelemdir. Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır. Termoplastikler, ısıtılınca yumuşak bir hal alır ve şekillendirme işlemi yapıldıktan sonra soğutulduğunda tekrar sertleşir. Örnek olarak; naylon, polietilen ve karbonflorür verilebilir. Termosetler ise ısıtılıp şekillendirilir fakat soğuduğunda tekrar eski yapısına dönemez. Örnek olarak; epoksiler, polyesterler ve aminler verilebilir. Partikül esaslı kompozitler, matris bir malzemenin içerisine başka bir malzemenin parçacıklar şeklinde yer alması ile elde edilirler. (2) Bu kompozit malzemeler dayanımı iyileştirmekten bir yana alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler

---

<sup>1</sup> Aslıhan CEBECİ, Yüksek Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi, Orcid: 0000-0003-2762-9565

<sup>2</sup> Naci Arda TANIŞ, Araştırma Görevlisi, Kırıkkale Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-5547-9790

<sup>3</sup> Recep ÇALIN, Profesör Doktor, Kırıkkale Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0003-1810-8696



oluşturmak için tasarlanmaktadır. Bu kompozit malzemeler; polimer seramik ve metallerin birleşiminden meydana gelebilirler. Parçacık takviyeli kompozitler, esas olarak kompozitin sertliğinde artışa neden olmakla beraber aynı zamanda mukavemet ve toklukta da artışlara neden olur.Çeşitli yönlerden farklılıklar gösteren tabakaların bir araya getirilmesi ile üretilmektedir. Tabakalı kompozit yapı geniş bir kullanım alanına sahip olan eski bir yöntemdir. (3) Farklı özelliklere sahip metal tabakalarının birleştirilmesi ile değişik uygulamalar için önem kazanan özelliklerin kazanılması mümkündür. (2) Toz Metalurjisi çok küçük parçacıkların birbirine bağlanarak parça hâline gelme işlemidir.Toz metalürjisinde üretim yöntemleri, metal tozlarının üretilmesi ve üretilmiş olan bu toz parçalarının istenilen parçanın şekline dönüştürülmesi işlemidir. Toz metalurjisi ile üretimin tercih sebepleri şu şekildedir; Yüksek üretim hızları,düşük maliyet,düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi,karmaşık şekilli parça üretimi,yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin üretimi,yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi,metal matrisli kompozit ve metal alaşımlarının üretimidir.Toz metalurjisi ile üretimin faydaları olduğu gibi zararları da vardır ve şu şekildedir; metal tozlarının aşındırıcı etkiye sahip olması,metal tozlarının üretim zorluğu,üretilen malzemelerin darbe dayanımındaki düşüklük gibi. (4)

Toz metalurjisinin kullanım alanları çok geniştir. Bu alan içinde diş dolguları, güç aktarma dişlileri, mermiler ve şarj edilebilir piller vardır. (5) Toz metalurjisi ile üretim yöntemlerinde haddelenmiş homojen zırh çeliği (RHa) kullanılabilir. Kimyasal bileşimler temel alınarak döküm yöntemiyle ingotlar haline getirilen zırh çelikleri, dökümden sonra sıcak haddeleme yapılarak yani iri tanelerin ince tanelere dönüştürülmesi ve mekanik özelliklerinin artması durumunda istenilen kalınlıkta plakalar şeklinde üretilir. Bu üretim şeklinden dolayı zırh malzemeleri, homojen haddelenmiş zırh (RHa) olarak bilinir. RHa'nın en önemli özelliği düşük karbon içermesidir. (4)

Bu çalışmanın amacı öğütülmüş ve öğütülmemiş Rha takviyesi içeren kompozitlerin arasındaki farkın az ve fazla olduğu durumlarda numunenin sertlik oranı ölçümlenmesidir.

## YÖNTEM

Bu çalışmada, öğütülmüş ve öğütülmemiş %0, %1, %2, %4 oranlarında Rha takviyesi içeren malzeme toz metalurjisi üretim yöntemiyle numune haline getirilecektir. Numune haline getirildiği cihaz ve yapım aşaması aşağıdaki görsellerde belirtilmiştir.

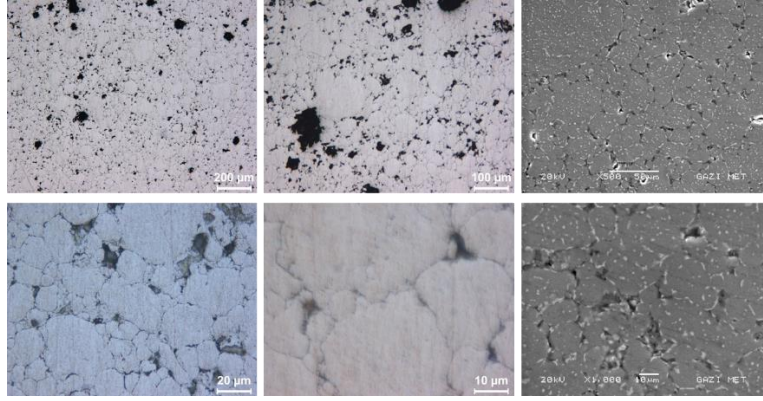
Hazırlanmış olan numuneler 575° sıcaklıkta ve argon atmosfer ortamında 1 saat boyunca sinterlenecektir. Sinterleme işlemlerinden sonra numunelerden bakalite alınıp mikroyapı incelemeleri için SEM analizi yapılacaktır. Sertlik dayanımları için ise Vickers sertlik analizi gerçekleştirilecektir.



## BULGULAR

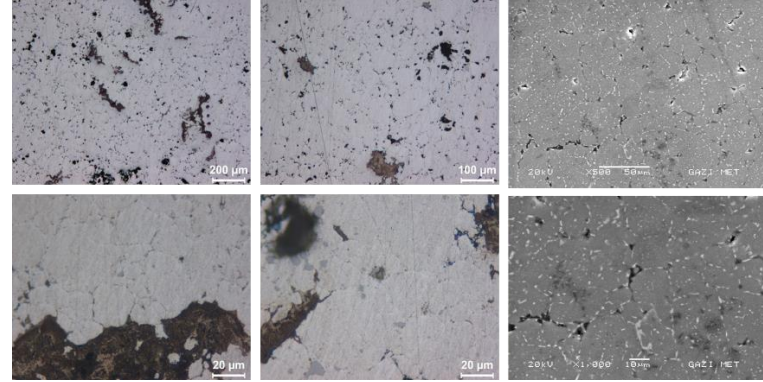
Belirtilen yöntemler uygulandıktan sonra ortaya çıkan numunelerde gözeneklilik ve sertlik ölçümlenmiştir. Kullanılan malzemelerimiz sırasıyla Saf AA7075 (numune 1), Öğütülmüş %1 (numune 13), Öğütülmemiş %1 (numune 4), Öğütülmüş %2 (numune 16), Öğütülmemiş %2 (numune 7), Öğütülmüş %4 (numune 19) ve Öğütülmemiş %4 (numune 10) şeklindedir. Hazırlanmış olan bu numunelerde genel optik mikroskobu ile bakılarak Rha'nın homojen dağılıp dağılmadığı gözlemlenmiştir. Bu gözlem sonucunda dağılan Rha'lar siyah leke tipi görünüm oluşturup bu görünüm ise gözenekliliği açıklamaktadır. Genel optik mikroskobu incelemesinden sonra Vickers sertlik analizi yapılmıştır. Yapılan bu sertlik analizinde eklenen Rha'ların tipine göre hangi numunenin daha sert olup olmadığı belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda ise sertlik deneyinde alınan değerler belirlenmiş olup ortalamaları alınmıştır.

### Saf AA7075 Genel Optik Mikroskop ve SEM Görüntüsü



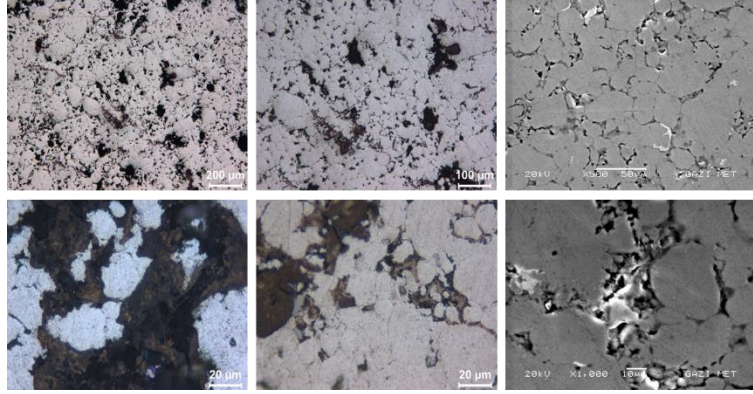
Saf AA7075 olan numunenin genel optik mikroskop görüntüsü ele alındığında gözenekliliğin homojen olduğu gözlemlenmiştir.

### %1 Öğütülmemiş RHA takviyeli AA7075 Genel Optik Mikroskop ve SEM Görüntüsü



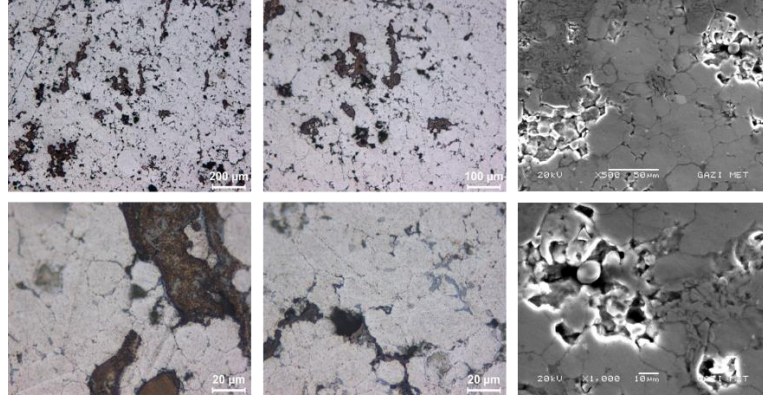
%1 öğütülmemiş RHA içeren numunenin genel optik mikroskop resmine bakıldığında öğütülmemiş RHA'nın homojen olarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde sinterlemenin olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda mikro düzeyde gözenekler açığa çıkmıştır.

### %2 Öğütülmemiş RHA takviyeli AA7075 Genel Optik Mikroskop ve SEM Görüntüsü



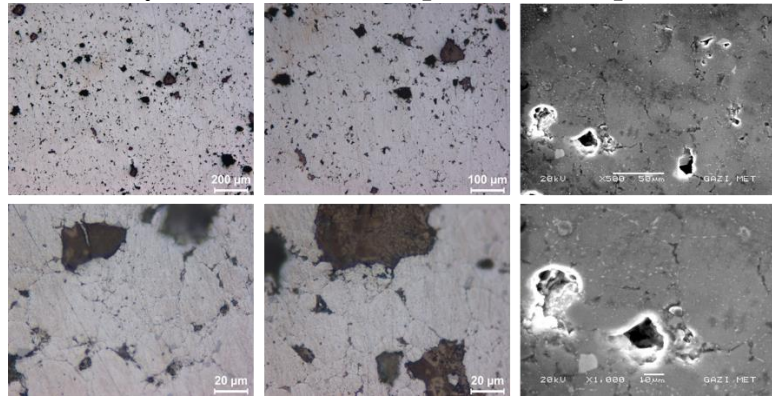
%2 öğütülmemiş RHA içeren numunenin genel optik mikroskop görüntüsüne bakıldığında RHA'ların homojen olarak dağıldığı fakat kısmi yerlerde topaklanma oluştuğu gözlemlenmiştir.

#### **%4 Öğütülmemiş RHA takviyeli AA7075 Genel Optik Mikroskop ve SEM Görüntüsü**



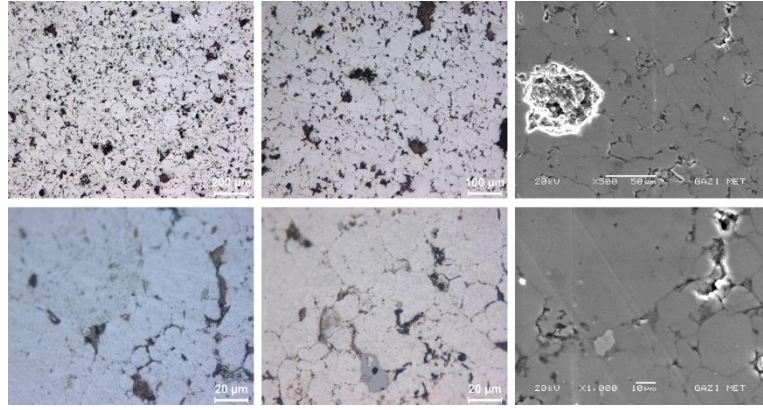
%4 öğütülmemiş RHA içeren numunenin genel optik mikroskop görüntüsü alındığında %1 öğütülmemiş RHA ve %2 öğütülmemiş RHA tanelerinin matrisle daha çok olduğu görülmüştür. Bu durum ise artan RHA ile alüminyum kompozitlerin üretilbildiğini göstermektedir.

#### **%1 Öğütülmüş RHA takviyeli AA7075 Genel Optik Mikroskop ve SEM Görüntüsü**



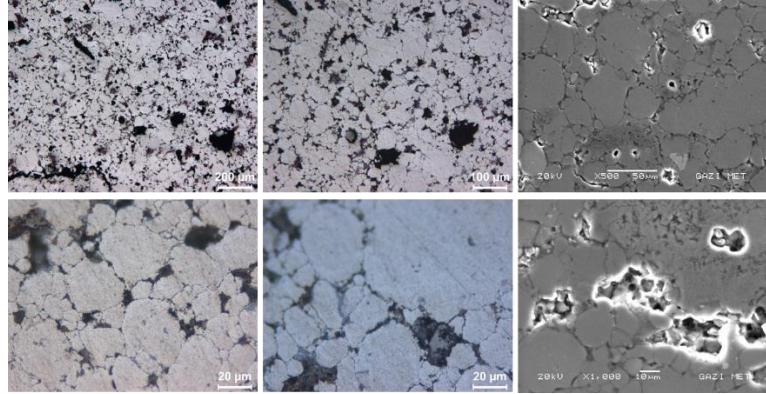
%1 öğütülmüş RHA takviyesi içeren numunenin genel optik mikroskop görüntüsü alındığında öğütülen RHA takviye tanelerinin homojen dağıldığı görülmektedir.

#### **%2 Öğütülmüş RHA takviyeli AA7075 Genel Optik Mikroskop ve SEM Görüntüsü**



%2 öğütülmüş RHA içeren numunenin genel optik mikroskop görüntüsü alındığında tanelerin takviye parçacıklarının homojen dağıldığı görülmüştür. Fakat gözenekliliğin ise artan RHA takviyesi ile daha da arttığı gözlemlenmiştir.

#### %4 Öğütülmüş RHA takviyeli AA7075 Genel Optik Mikroskop ve SEM Görüntüsü



%4 öğütülmüş RHA içeren numunenin genel optik mikroskop görüntüsü alındığında topaklanmanın diğer oranlardaki numunelere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden de gözenekliliğin büyüdüğü ve buna bağlı olarak oranın arttığı saptanmıştır.

**Tablo 1**

	Numune Durumu 1	Numune Durumu 2	Numune Durumu 3	Ortalama	Yüzde
Numune 1	42,5	42,4	43,2	42,7	Saf AA7075
Numune 4	36,5	42,5	40,7	39,9	Öğütülmemiş%1
Numune 7	31,4	40,1	58,6	43,36666667	Öğütülmemiş %2
Numune10	36,9	36,7	36,9	36,83333333	Öğütülmemiş %4
Numune13	52,9	56,6	58,5	56	Öğütülmüş%1
Numune16	54,7	49,6	51,1	51,8	Öğütülmüş%2
Numune19	36,9	43,2	44,5	41,53333333	Öğütülmüş%4

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Bulgular kısmında bulunan değerlerde ortalama kısımlarını ele aldığımızda öğütülmüş ve öğütülmemiş arasındaki farkın artıp azaldığını gözlemleriz. Bu gözlemlere dayanarak aradaki fark

arttıkça numunenin sertlik oranı aynı anda fazlalaşır. Buna göre en sert malzeme %1 Rha takviyeli numunedir. En az sertliğe sahip olan numune ise Saf AA7075 dışında, %4 Rha içeren numunedir.

## KAYNAKÇA

M. Balasubramanian, Composite Materials and Processing, CRC Press, 2013.

A. Brent Strong, Fundamentals of Composites Manufacturing: Materials, Methods and Applications, SME, 2008.

F.L. Matthews, R.D. Rawlings, Composite Materials: Engineering and Science, CRC Woodhead Publishing, 1999.

M. Randall, German, Powder Metallurgy Science & Particulate Materials Processing

Banhart, J., 2001. Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, Progress in Materials Science 46 559–632.

## Odun Peleti Üretiminin Dünya'daki ve Türkiye'deki Mevcut Durumu

Okan İlhan<sup>1</sup>  
Semra Çolak<sup>2</sup>  
Abdullah Uğur Birinci<sup>3</sup>

### 1.GİRİŞ

Dünyada 2000-2019 yılları arasında, iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan 11.000'den fazla doğa olayının sonucunda 475.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir (Eckstein vd., 2021: 7). İklim değişikliklerinin en önemli etmenlerinden biri olan küresel ısınmanın asıl nedeninin antropojenik (insan kaynaklı) etmenler olduğu Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) son değerlendirme raporunda verilmiştir (Demirbaş ve Aydın, 2020: 2). İnsanlar, doğal kaynakları kirleterek bilinçsizce kullanmakta ve çevresel boyutlarından ziyade ekonomik boyutlarını daha çok önemsemektedir. Küresel ısınmaya sebep olan faktörlerden en önemlisi de enerji üretiminde ve tüketiminde kullanılan hammaddelerdir. Günümüzde küresel enerji talebi, özellikle uzun vadede doğa ve iklim değişikliği üzerinde olumsuz çevresel etkiler üretmektedir (Mele vd., 2021: 1). Küresel nüfusun hızlı büyümesi ile enerji talebinde doğrusal bir artış gözlenmiştir (Olabi ve Abdelkareem, 2022: 1). Enerji talebindeki artışa bağlı olarak ülkeler, ekonomiyi enerji ithalatına fazla bağımlı hale getirmemek için yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi için çalışmalar sürdürmektedir (Tutak ve Brodny, 2022: 2). Bu yüzden dünya devletleri, makul ücretlerde güvenilir enerji kaynaklarının eksikliği ve fosil yakıtlar gibi kirletici enerji kaynaklarının tetiklediği çevresel sorunlar ile enerji sektöründe zorluklarla mücadele etmektedir (Kebede vd., 2022: 1). Fosil yakıtlardan kaynaklanan iklim değişiklikleri ve sağlık sorunları insanoğlunu tehdit etmektedir (He vd., 2021: 2; Gustavsson, 2021: 1). Fosil yakıtlar sürdürülebilir olmamasının yanı sıra, ciddi çevre ve sağlık sorunlarına sebep olmasına rağmen yine de enerji sektöründe en büyük katkıyı sağlamaktadır (Yang, vd., 2021: 1; Curtin, vd., 2019: 2). Fosil yakıtların 2050 yılına kadar dünyanın enerji talebinin çoğunu karşılamaya devam edeceği ve sürdürülebilirlik açısından fosil kaynakların kıt olacağı tahmin edilmektedir (Kanwal vd., 2022: 2). 9 Ağustos 2021'de yayınlanan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Altıncı Değerlendirme Raporu'nun ilk serisi olan "İklim Değişikliğinin Fiziksel Temelleri" (IPCC, 2021) konulu raporuna göre atmosferdeki karbondioksit (CO<sub>2</sub>) konsantrasyonu son 2 milyon yılın en üst seviyesine yükselmiştir (Birpınar, 2022: 5). Bu nedenle artan enerji talebi, güvenli, yeşil, verimli ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak için birincil neden haline gelmiştir (Mohsin vd., 2021 :1). Avrupa ülkelerinde, iklim değişikliğini hafifletmek için çözümün bir parçası olarak biyokütleden enerji üretimi ve kullanımı mutabakatına varılmıştır (Quinteiro vd., 2020 :1).

Biyokütle, mevcut bitki ve hayvanlardan elde edilen, biyolojik kökeni fosil olmayan ve yenilenebilir özellik taşıyan her türlü doğal/organik madde kütlesi olarak tanımlanmaktadır (Deniz vd., 2019: 6). Biyokütle; ısı üretimi, elektrik enerjisi ve ulaşım için kullanılan ve fosil yakıtları önemli ölçüde geride bırakma potansiyeline sahip sürdürülebilir bir alternatif enerji kaynağıdır (Buczny,

---

<sup>1</sup> Doktora Öğrencisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği

<sup>2</sup> Semra Çolak, Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği

<sup>3</sup> Abdullah Uğur Birinci, Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği

2002: 1; Siwale vd., 2022: 1). Yenilenebilir enerji geliştirme çabaları devam etmesi durumunda, 2050 yılına kadar dünyanın talep edilen enerjisinin yaklaşık %30'unu sağlayacağı tahmin edilmektedir (Guo vd., 2015: 13). Biyokütle hammaddelerinden birisi olan odun peletlerinin, sürdürülebilir olması, petrolden daha yüksek enerji içeriğine sahip olması ve fosil yakıtlardan daha ucuz olması nedeniyle gerekli enerji ihtiyacını karşılayacağına yönelik çalışmalar günden güne artmaktadır (Thomson ve Liddell, 2015: 2). Ayrıca, odun peletlerinin enerji sektöründe kullanımı ile yanma sonucu açığa çıkan emisyonları azaltabileceği ve hem çevresel hem de ekonomik açıdan üreticilere ve tüketicilere büyük yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, odun peleti üretimin dünyada ve ülkemizdeki durumları incelenmiş, konuyla alakalı literatür araştırılarak sonuç ve önerilerde bulunulmuştur.

## 2.LİTERATÜR

Literatür çalışması incelendiğinde her türlü tarımsal ve ormansal atıklar hammadde kaynağı olarak değerlendirilmiş ve pelet üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada pelet literatür araştırması yapılmış, üretilen peletlerin ısı ve emisyon değerleri araştırılmış, Tablo 1'de derlenmiştir.

**Tablo 1.** Farklı tarımsal ve ormansal atıklardan üretilen peletlerin derleme çalışması

Pelet Cinsi	Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Pelet yığın yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Rutubet (%)	Isıl Değer (MJ/kg)	CO Emisyonu (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> %	Kül oranı (%)	Kaynakça
Odun	6	DIN	670	8,5	17,65	90,75	8,3	0,4	Jach-Nocoń vd., 2021: 7
Ayçiçeği kabuğu	8	DIN	580	8,5	16,55	1098,1	8,2	3,4	Jach-Nocoń vd., 2021: 7
Mısır bitkisi	6	DIN	570	13,7	14,44	233,9	7,2	10,7	Jach-Nocoń vd., 2021: 7
Miscanthus saman	6	DIN	610	8,5	16,27	45,2	7,3	1,6	Jach-Nocoń vd., 2021: 7
Yalancı akasya Orman atığı	EN Plus 6	EN Plus	628	7,6 6,29	17,7 18,94	270 234,67 (ppm)	8,3 2,47	2,36 1,73	Giungato vd., 2018: 6 Zengin vd., 2020: 3
Çam talaşı	6,2	21,1	617	7,5	18,00			0,3	García vd., 2021: 6
Karakavak	6			6,02	18,91	1279 (ppm)	5,06	2,59	Zengin, 2020: 5
Kenevir sapı	6,17	20,49		8,07	19,21	297,7 (ppm)	4,23	3,76	Dok vd., 2021: 6-7
Kolza tohumu samanı	EN Plus	EN Plus	520	9,3	16,0			4,4	Horvat vd., 2021: 4
Kızılcam orman hasatı	EN Plus	EN Plus	671	7,8	22,17			4,91	Türkoğlu ve Gökoğlu, 2017: 4-5
Fındık zurufu	6,05	35,05	730,5	6,17	17,38	2781 (ppm)	4,8	7,03	Aydemir 2017: 59,60,72
Çeltik kavuzu	6,05	32,52	623,2	4,45	15,95	643 (ppm)	4,4	16,15	Aydemir 2017: 59,60,72
Fındık Zurufu (%50) + Kenevir sapı (%50)	6,06	31,82	698,6	6,94	18,47	732,7 (ppm)	4,9	3,99	Aydemir 2017: 59,60,72
Çay atığı	6,01	23,5	601	8,4					Bilgin vd., 2016: 9-10

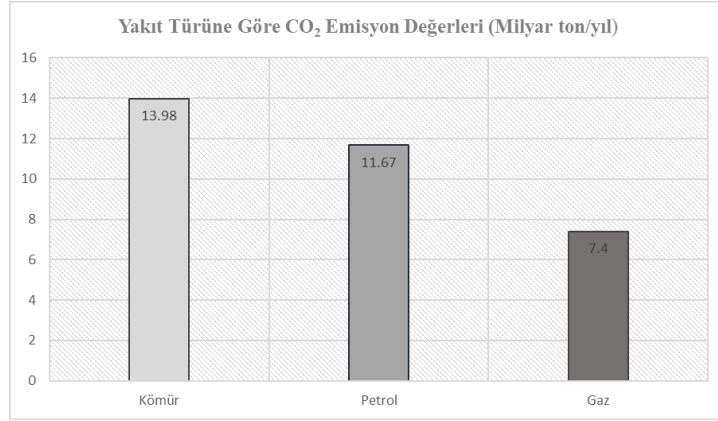


Dünyada ilk ekonomik faaliyet olan tarım, kullanım alanları itibari ile birçok ihtiyacı giderme özelliğine sahiptir. Ancak artan nüfus ve enerji ihtiyacının dikkat çekmesiyle, günümüzde enerji üretiminde kullanılan tarımsal atıklar büyük önem arz etmektedir (Kaya ve Budak, 2022: 2). Literatürde birçok tarımsal atıklardan üretilen peletlerin ısı ve emisyon değerleri araştırılmış, sonuç ve öneriler derlenmiştir. Yapılan bir çalışmada; ayçiçeği kabuğu ve mısır bitkisinden pelet üretimi gerçekleştirilmiş, ayçiçeği kabuğundan üretilen peletlerin standart gereksinimleri karşılamadığı, mısır bitkisinden üretilen peletlerin ise sadece karbonmonoksit emisyon değerlerini karşıladığını belirlemişlerdir (Jach Nocoń vd., 2021). Başka bir çalışmada ise kolza tohumu samanından üretilen peletlerin yoğunluğu ve mekanik direnç özelliklerinin standartları karşılamadığını ve bu durumun peletin taşınmasında ve brülörde tıkanmalara sebep olacağını belirlemişler ve kül oranının da yüksel olduğunu tespit etmişlerdir (Horvat vd., 2021: 4). Bir başka çalışmada ise fındık zurufu ve çeltik bitkisinin atıklarının yanı sıra fındık zurufu (%50) + kenevir sapı (%50) tarımsal atıklardan elde edilen peletlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. Elde edilen peletlerin pelet sobasında yakılması sonucu açığa çıkan baca gazı emisyon değerlerine bakılmıştır. Çalışma sonucu emisyon değerleri, Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde (IKHKKY) belirtilen emisyon değerlerinin altında kalmıştır. Böylece yakma amaçlı olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır. Ayrıca fındık zurufu atığının pelet formunda katı biyoyakıt olarak kullanılmasının hem çevresel faktörler hem de yakıt özellikleri bakımından oldukça uygun olduğunu tespit etmişlerdir (Aydemir, 2017: 59, 60, 72). Çay atıklarının değerlendirilmesi üzerine birçok çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmaların geneli organik gübre veya kafein üretimi üzerine yoğunlaşmıştır ve sadece Karadeniz Bölgesinde her yıl yaklaşık olarak kuru bazda 30 bin ton çay atığı çıkmaktadır (Bilgin vd., 2016: 2). Çay atıklarından üretilen peletlerin fiziksel özellikleri incelemiş; özgül ağırlığının yüksek, mekanik dayanımının düşük ve rutubetli ortamda peletlerin rutubet aldığı sonucunu elde etmişlerdir (Bilgin vd., 2016: 9-10).

Orman ve odunsu atıklardan birçok pelet üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bir çalışmada; kızılçam orman atıklarından üretilen odun peletinin ısı değerinin yüksek oldu, ancak kül oranının ise %4.91 olduğu tespit edilmiştir (Türkoğlu ve Gököğlu, 2017: 4-5). Bir başka çalışmada ise kavak odunundan üretilen odun peletinin kalite değerleri açısından uygun olduğu sonucuna varılmış, biyoyakıt sektörünün sürdürülebilir ve güvenli hammadde tedariki açısından hızlı büyüyen türlerden yararlanması gerektiği belirtilmiştir (Zengin, 2020: 7). Çam talaşından üretilen odun peletlerinin kalite değerlerinin belirlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada, istenilen kalite standartlarında olduğu tespit edilmiştir (García vd., 2021: 6).

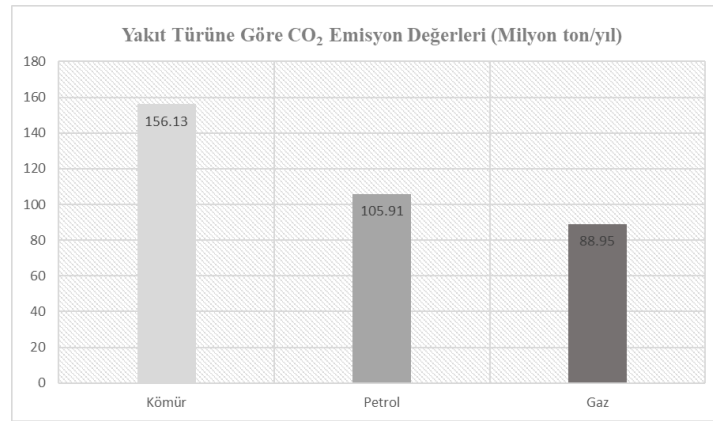
## 2.1.Dünyada ve Türkiye'de Karbon Emisyonu

Emisyonlar, kendilerini üreten tesisi terk edip atmosfere karışan kirleticiler olarak tanımlanmaktadır. (URL 1, 2022: 23). Dünya ülkeleri, son yıllarda küresel ekonominin, kalkınmanın ve nüfusun artması ile enerji üretimi için gezegenin sınırlı fosil yakıtlarının tüketimine önemli ölçüde bağımlı olmuştur (Hassan vd., 2018: 1; Kumar vd., 2020: 3). Ancak fosil yakıtların yanmasında büyük miktarda CO<sub>2</sub> salınması nedeniyle, CO<sub>2</sub> emisyonları küresel ısınmanın arkasındaki ana güçlerden birisi olarak yerini almıştır (Dilara ve Altıntaş, 2021: 5). Karbondioksit emisyonları ilk olarak sanayi devrimi sırasında yükselmeye başladı ve iklim etkilerine katkıda bulunarak büyük bir rol oynamaya halen devam etmektedir (URL 2, 2022). Dünya genelinde, yakıtlardan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyon değerleri 2020 yılı verileri Şekil 1'de verilmiştir (Ritchie ve Roser, 2020: 2, Küresel Karbon Projesi, 2021: 1).



Şekil 1. 2020 yılı yakıt türüne göre küresel CO<sub>2</sub> emisyon değerleri

Şekil 1'e göre, küresel düzeyde, dünya genelinde katı yakıt (kömür) kullanımının yaygın olduğu görülmektedir. Dünya genelinde fosil kaynaklardan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarına en büyük katkıyı sağlayan ülke Çin'dir (Gilfillan ve Marland, 2021: 10). Aşağıdaki Şekil 2'de ise Türkiye'deki yakıt türüne göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri 2020 yılı verileri gösterilmiştir (Küresel Karbon Projesi, 2021: 1).



Şekil 2- 2020 yılı Türkiye yakıt türüne göre CO<sub>2</sub> emisyon değerleri

Şekil 2'ye göre, 2020 yılında Türkiye'de kömürden kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyon miktarı 156,13 milyon tondur. Kömür kullanımı azaltılmalı ve enerji üretimine alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalıdır. Bu sayede Türkiye, Yeşil Mutabakat Eylem Planını hazırlayarak 2021'de Paris Anlaşmasını TBMM'den geçirerek onayladı ve 2053 yılı için net-sıfır emisyonla ulaşma hedefini ilan etti (YMEP, 2021: 37). Net-sıfıra ulaşma hedeflerimizi gerçekleştirebilmek için yakıt kaynaklı üretimlerde kömüre alternatif sürdürülebilir olan odun peleti kullanımının emisyonları azaltma açısından önemli olacağı düşünülmektedir.

## 2.2.Pelet

Literatürde pelet, odunun (kabuksuz) ya da odun atıklarının (dal odunu, orman atıkları, kereste atıkları vs.) ince yonga haline getirilmesi ve %8-10 rutubete kadar kurutulup, yüksek sıcaklık (110- 130 °C) ve basınç altında (45.000 PSI) preslenmesiyle, 6-10 mm çapında oluşan silindirik formdaki ürünler olarak adlandırılmaktadır (Jones vd., 2012). Standartlara göre peletlerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup odun peletinin rutubeti %4-8, kül oranı ise %1-3 arasında kabul edilmektedir (Ferreira vd., 2022). Rashedi'ye göre pelet üretimi; ince yongalar, pelet makinesi değirmeni ve silindirin monte edildiği hazneye beslenir. Daha sonra silindirler yüksek

basınç ile yongaları öğütür ve sıkıştırır. Sıkıştırılan parçalar kalıp deliklerinden kesilerek düşer ve pelet oluşur (Rashedi vd., 2022: 4). Şekil 3'de odun pelet çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3 - Odun pelet çeşitleri (URL 3, 2022)

Dünyada pelet için geliştirilen birçok standartlar mevcuttur. Tablo 1'de pelet standart sınır değerleri, Tablo 2'de ise pazar özellikleri, politikalar/düzenleyici çevre ve piyasa eğilimi gösterilmiştir.

Tablo 2. Odun peleti standartları (Gürdil vd., 2015; CANplus, 2016; Sungur vd., 2018,)

Parametre	Birim	DIN 51731	DINplus	ÖNORM 7135	ISO 17225-2			CANplus
					ENplus A1	ENplusA2	ENplusB	A2
Çap	mm	4-12	-	4-10		6±1 ya da 8±1		6±1 ya da 8±1
Uzunluk	mm	<50	<5xD	<5xD		3,15<L≤40 <sup>1</sup>		3,15<L≤40
Pelet yoğunluğu	g/cm <sup>3</sup>	1-1,4	>1,12	>1,12		-		
Yığın yoğunluğu	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-		BD600≥600		600≤BD≤750
Nem içeriği	%	<12	<10	<10		≤10		≤10
Kül içeriği	%	<1,5	<0,5	<0,5	≤0,7	≤1,2	≤2	≤1,2
Mekanik dayanıklılık	%	-	-	-	≥97,5	≥97,5	≥96,5	≥97,5
Üst ısıl değer	Mj/kg	17,5-19,5	>18	>18		≥16,56		≥16,5

Türkiye'de odun peleti için geliştirilmiş bir standart bulunmamaktadır. Bunun aksine Türkiye'de katı biyoyakıtlar, yakıt özellikleri ve sınıfları TS EN ISO 17225-1 standartlarına göre değerlendirilmektedir (Sözen vd., 2017: 3).

**Tablo 3.** Dünyada odun peleti piyasa özellikleri, politikalar ve piyasa eğilimleri (Goh vd., 2013: 2-7).

Ülke	Pazar özellikleri	Politikalar/Düzenleyici çevre	Piyasa eğilimi
Danimarka	İthalata dayalı Hammadde – Pazar eksikliği	1. Vergi muafiyeti 2. Kamu hizmetleri, Hükümet kararnamesiyle biyokütle kullanılması zorunluluğu	1. Ahşap pelet kullanan büyük CHP Avedøre Ünite 2- İthalat 2010'dan beri artmaktadır 2. Hem santrallerde hem kamu binalarında hem de konut sektöründe artan tüketim
Polonya	1. Kömür bazlı enerji piyasası (elektrik santralleri, bölgesel ısıtma sistemleri ve bireysel ısıtma sistemleri) 2. Artan fosil yakıt fiyatları ve dengesiz teslimat riski	1. Yeşil ve Kırmızı sertifikalar 2. Yasal düzenlemeler ile tarımsal biyokütle kullanımını teşviki 3. Yeşil enerjinin zorunlu üretimine ilişkin yasal yükümlülükler	1. CHP tesisleri, biyokütleyi kömür ile yakmaya başladı 2. Son yıllarda pelet üretimine yönelik kapsamlı yatırımlar 3. Biyokütle kullanan enerji santrallerinde tarımsal biyokütle yüzdesini artırmak 4. Biyokütle kullanımına hem bölgesel ısıtma şirketlerinin hem de CHP tesislerinin artan ilgisi
İsveç	Yüksek petrol fiyatları, artan elektrik maliyetleri ve fosil yakıtlara yönelik ağır vergilendirmeler	1. Elektrik sertifikası sistemi, yenilenebilir yükümlülükler ve CO <sub>2</sub> vergilerinden muafiyeti 2. Fosil yakıtlara yönelik yüksek vergiler	1. Özel evlerde odun peletlerinin kullanımı 13 yıllık bir dönemde 20 kat artmıştır
Avusturya	Isıtma sistemleri için ahşap kullanma geleneği ve bu yakıt türüne aşinalığın olması	1. Bir ahşap pelet sistemi kurmak için mali destek 'Holzwärme' olarak adlandırılmaktadır	1. Konut ısıtması için odun peletlerinin artan kullanımı
Almanya	Enerji santrallerinde yenilenebilir enerjiye ve biyokütleyle olan güven	1. Piyasa teşvik programı (MAP)- yatırım sübvansiyonu 2. Yenilenebilir Enerjiler Isı Yasası (EEWärmeG) – bina yönetmeliği	1. Konut ısıtması için odun peletlerinin artan kullanımı 2. Elektrik üretimi için üretilen odun peletleri tamamen ihraç edilmektedir
Fransa	<b>Fırsatlar:</b> 1. Hammaddenin potansiyel durumunun yüksek oluşu 2. Fransa'nın kuzeydoğu kesiminde uzun soğuk kışlar ve güçlü bir odun enerjisi kullanma geleneği <b>Engeller:</b> 1. Gaz ve elektrik gibi diğer enerji kaynaklarının daha ucuz oluşu 2. Nükleer enerjiye yönelik elektrik üretimi	1. Yüksek verimli sobalar ve kazanlar için bazı vergi indirimleri 2. Odun peletine yönelik bazı bölgesel destekler 3. Dolaylı Etki: Nükleer enerjinin teşviki	1. Ulusal düzeyde destek önlemlerinin olmaması ve yavaş büyüyen odun pelet pazarının olması 2. Fransa'nın kuzeydoğu bölgesinde daha hızlı Pazar gelişimi
İtalya	1. Doğal gaz şebekesi tarafından hizmet verilmeyen kırsal alanda halen kullanılan LPG ve kalorifer yakıtı gibi diğer yakıtlara karşı odun peletinin ekonomik rekabet gücü	1. Enerji verimliliği sertifikaları (beyaz sertifikalar) 2. Binalarda enerji tasarrufu için vergi indirimi 3. Yeni binalar için zorunlu YEK kotası	1. Isıtma sektöründe biyokütle ünitelerinin canlandırılması 2. Üretim %70'inden fazlası kuzey bölgesinde yer almaktadır

	2. Kuzey bölgesinde nispeten daha yüksek hammadde bolluğu ve daha gelişmiş bir ahşap endüstrisi	4. Belediye düzeyinde: Kredi garanti fonu, enerji verimliliği için teşvikler	
Finlandiya	1. Kereste üretim hacim büyüklüğü 2. Büyük miktarda yan ürün		1. Küçük kamu ve endüstriyel binaların ısıtılmasında odun pelleti kullanımı
İsveç	Nüfusa oranla daha geniş odun kaynakları	İsveç ile ortak yeşil sertifika pazarı	1. Kömür santrali olmadığından alternatif pelet kullanımı 2. Konut ısıtılmasında küçük pelet pazarı
Hollanda	Odun peletleri için ana hammaddenin sınırlı mevcudiyeti (ahşap işleme endüstrisinden gelen talaş kullanımı)	1. Biyokütle üzerinden üretilen elektrik için finansal destek (MEP, SDE ve SDE+ destek programları)	1. Enerji santrallerinde odun peletlerinin kullanımının artırılması
İngiltere	Biyokütle enerji kullanımının şeffaf izlenmesi ve Ofgem tarafından sürdürülebilirlik sertifikasyonu	1. Yenilenebilir yükümlülük 2. Elektrik piyasası reformu	1. Büyük ölçüde enerji santrallerinde odun peletlerinin kullanımının artması
Rusya	1. Çok miktarda ucuz hammadde 2. Orman varlığı ve atık kereste miktarının yüksekliği	1. Yuvarlak odun için ihracat vergi sistemi 2. Rus odun peletleri (RWP) planı	1. Vyborg Selüloz projesi 2. Odun pelet üretimi için yuvarlak odun haşatının artması
Kanada	1. Dağ çam böceği istilası ve büyük oranda ölü odun bulunması		1. Kanadalı tedarikçilerin yerel pelet pazarını geliştirme fırsatını ciddi şekilde ele alması
ABD	1. Fosil enerji maliyetindeki artışlar 2. Avrupa'dan talep ve yatırım 3. Kereste fabrika atıklarının bolluğu	1. Federal Düzey: Yenilenebilir Enerji Üretimi Teşviki (REPI) 2. Devlet biyokütle ekonomik etkenleri	1. Biyokütle peletleri için artan bir pazar

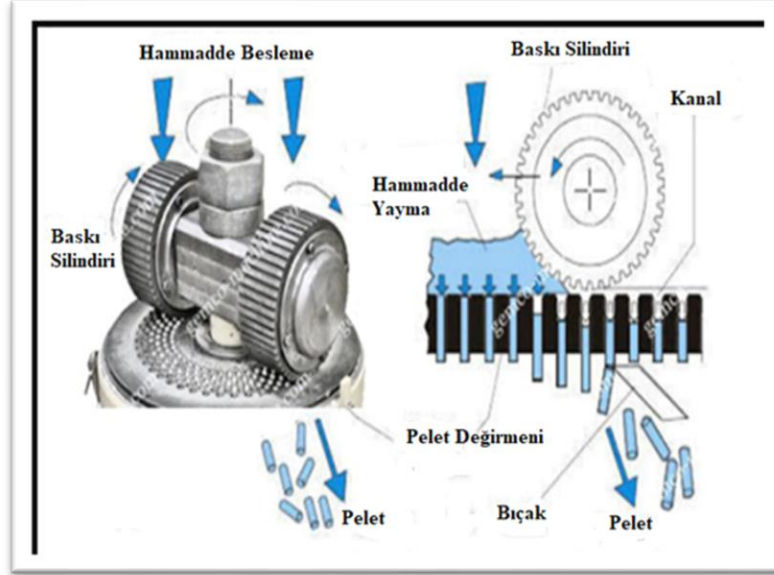
### 2.2.1. Pelet Üretim İş Akışı

Geleneksel pelet üretim teknolojisi aşamaları; odunun kaba yongalanması - ince yongalanması - hammaddenin depolanması - hammaddenin kurutulması - presleme ve pelet üretim işlemi - peletin soğutulması - paketlenmesi ve nakliyesi şeklindedir. Şekil 4'te odun peleti üretim iş akışı gösterilmiştir.



Şekil 4. Pelet üretim iş akışı (URL 4, 2022).

Modern peletleme teknolojileri olarak düz ve çember biçimli basınçlı peletleme teknolojisi kullanılmaktadır. Düz biçimli basınçlı peletleme teknolojisinde disk üzerinde arka arkaya birden çok sıkıştırma silindiri bulunmakta ve bu silindirlere 2 m/sn ile 3 m/sn dönme hızına sahiptir. Şekil 5'te geleneksel düz kalıplı peletleme makinesi gösterilmiştir.



Şekil 5. Pelet makinesi (Rashedi vd., 2022: 4)

### 2.2.2. Peletin Enerji Üretimindeki Yeri ve Önemi

Odun peletlerinde; tutuşma, patlama, çevreyi ve toprağı kirletme, atmosfere yoğun oranda CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ve NO<sub>x</sub>'ler salınımı doğalgaz, kömür ve fueloil'e kıyasla çok daha düşük ya da yok denecek kadar azdır (Ersoy ve Daşdemir, 2010: 147). Enerji üretiminde pelet, fueloil, doğalgaz ve elektrikle ısıtma sonucu atmosfere salınan CO<sub>2</sub> emisyonları belirlenmiş olup; pelet 68 kg/MWh, doğalgaz 228 kg/MWh, fueloil, 342 kg/MWh ve elektrik 681 kg/MWh'tir. Yani 1 MWh enerji üretimi için pelete kıyasla doğalgaz 3 katı, fueloil 5 katı ve elektrik 10 katı daha fazla atmosfere CO<sub>2</sub> salmaktadır (Ersoy ve Daşdemir, 2010: 148). Bilimsel çalışmalarla desteklenen bu farkındalık neticesinde Avrupa ülkelerinde pelet üretim ve tüketim miktarları artmıştır (FAO, 2020). Ülkemizde ise pelet üretimi kısıtlı kalmış ve elektrik enerjisi üretiminde biyokütle kullanımı diğer kaynaklara göre son sırada yer almıştır.

2020 yılı sonu itibari ile Türkiye toplam kurulu gücü 95.891 MW olup, bu gücün üretimi için kaynak dağılımı Tablo 4'de gösterilmiştir (TEİAŞ, 2021: 21).

**Tablo 4.** 2020 yılı itibari ile Türkiye enerji üretimi için toplam kurulu güç değeri  
**2020 YILI TÜRKİYE TOPLAM KURULU GÜÇ (MW)**

Barajlı	22.902
Akarsu	8.082
Doğal Gaz	25.675
Yerli Kömür	11.336
İthal Kömür	8.987
Jeotermal	1.613
Biyokütle	1.116
Rüzgâr	8.832
Güneş	6.668

Tablo 4.'den de görüleceği üzere; Türkiye'de biyokütleden elektrik enerjisi üretiminde son sırada yer almaktadır. Kömürden elektrik enerjisi üretiminde ise üçüncü sıradadır. Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kömürden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin arttığı sonucuna varılabilir.

### **.2.2.3. Pelet Üretiminin Dünya'da ve Türkiye'deki Durumu**

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre, 2020 yılında dünyada toplam 43,6 milyon ton odun peleti üretilmiştir (FAO, 2020). Bu üretimin %55'ini Avrupa, %28'ini ise Amerika oluşturmaktadır. Tablo 5'te Türkiye'nin de aralarında olduğu 30 ülkenin, 2020 yılı odun pelet üretim verileri gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Dünyada, 2020 Yılı Odun Peleti Üretim Değerleri (FAO, 2020).

Ülke	Üretim (Ton)	Ülke	Üretim (Ton)
ABD	8.412.359	İspanya	578.000
Kanada	3.830.000	Belarus	557.000
Vietnam	3.200.000	Romanya	550.000
Almanya	3.100.000	Ukrayna	519.000
Rusya	2.800.000	Brezilya	506.000
Letonya	2.264.000	Çek Cumhuriyeti	475.000
İsveç	1.900.000	Sırbistan	445.000
Fransa	1.700.000	İtalya	400.000
Estonya	1.630.000	Finlandiya	322.090
Avusturya	1.540.000	Hırvatistan	316.336
Polonya	1.380.000	İngiltere	301.252
Çin	873.000	Hollanda	300.000
Portekiz	859.000	İsviçre	270.000
Belçika	740.000	Bulgaristan	252.425
Litvanya	652.000	<b>Türkiye</b>	20.000

Tablo 5'den görüleceği üzere; 2020 yılı içerisinde dünyada en çok pelet üretimini gerçekleştiren ülke Amerika Birleşik Devletleridir. Avrupa Ülkelerinden ise ilk sırada Almanya yer almaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan 30 ülke içerisinde Türkiye ise odun peleti üretiminde son sırada yer almaktadır. Bugün küresel savaşlar ve küresel ısınmalar dikkate alındığında birçok ülke temiz enerji üretimi ve enerjide dışa bağımlılığını azaltma hedefindedir. Rusya'nın Avrupa doğalgaz

hattını kesmesi üzerine Avrupa ülkeleri enerjide sıkıntı çekmeye başlamıştır. Bunun sonucunda odun peleti üretiminin ve kullanımının Avrupa ülkelerinde artacağı düşünülmektedir. Tablo 5 incelendiğinde Avrupa ülkelerinin odun peleti üretiminin yüksek olduğu da anlaşılmaktadır. Türkiye'nin de bu tür sorunlar yaşamaması için enerjide dışa bağımlılığını azaltabilmek adına odun peleti üretimini artırmayı hedeflemelidir. Ülkemizde pelet üretiminde alternatif kaynaklar zeytin posası ve çekirdeği, fındık zurufu, çay, kaplama atıkları, orman atıkları, mobilya atıkları, kereste atıkları, talaşlar, hızlı yetişen ağaç türleri (kavak vb.), tek yıllık bitkiler (tatlı sorgum, mısır, buğday sapı vb.) ve hayvansal atıklar olarak değerlendirilebilir.

### 3.SONUÇ ve ÖNERİLER

Literatür incelendiğinde; tüm enerji kaynakları arasında kömürün en yüksek emisyon yoğunluğuna sahip olduğu ve küresel karbondioksit emisyon değerini her yıl artırdığı ifade edilmektedir. Elektrik üretimi için kömür kullanımı, birim başına doğal gazın iki katından daha fazla miktarda sera gazı salmaktadır. Çelik üretiminde de kömür kullanılmakta ve üretim için gerekli enerjinin dörtte üçü kömürden sağlanmaktadır. Demir-çelik üretiminden kaynaklanan emisyonlar, enerji kaynaklı küresel toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %7'sini temsil etmektedir (URL 5, 2022).

Odun peletinin, enerji üretiminde kömüre alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi bilimsel çalışmalar ile desteklenmiştir. Ayrıca odun peleti üretimi ile sürdürülebilir ormancılık faaliyetlerinin artacağı, çevresel atık (orman, kereste, tarım vb.) miktarlarının ve karbondioksit emisyon değerlerinin azalacağı kanıtlanmıştır. Birçok ülke enerjide dışa bağımlılığını azaltma hedeflerinin yanı sıra karbon nötr hedefi ile kendi standartlarını oluşturmuş, odun peleti üretimi için teşvikler ve destekler vermiştir. Bu teşvikler ve yasal düzenlemeler neticesinde FAO verilerine bakıldığında; odun peleti üretiminde dünyada en çok üretimin ABD'de olduğu, Avrupa'da ise Almanya'nın ilk sırada yer aldığı ve birçok Avrupa Ülkesinde de pelet üretim hacminin yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye ise odun peleti üretiminde çok düşük değerlere sahiptir. Oysaki Türkiye'de orman varlığı her yıl artmakta ve bu orman atıkları da düzenli olarak paralellik göstermektedir. Nitekim ülkemizdeki odun esaslı atıklar; 2020 yılı içerisinde iğne yapraklı kereste miktarı 6 975 000 m<sup>3</sup> olup buna paralel talaş ve parçacık miktarı 120 000 m<sup>3</sup> ve ahşap atık miktarı 830 000 m<sup>3</sup>tür (FAO, 2020). Bütün bu atık miktarlar ülkemizde genellikle yakılarak ısınma amaçlı kullanılmaktadır.

Ülkemizde odun peleti üretiminin artırılması ve CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması için:

- Ülkemizde genellikle yakılarak ısınma amacı ile kullanılan büyük miktarlardaki odun esaslı atıkların odun peleti üretiminde planlı bir şekilde değerlendirilmesi,
- Pelet üretiminin için yerel ve merkezi yönetimler tarafından sağlanan teşvik ve desteklerin artırılması,
- CO<sub>2</sub> salınımı için yasal düzenlemelerin geliştirilmesi ve kapsamı artırılarak sorumlu kurum ve kişilerin bilinçlendirilmesi,
- Odun peleti üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için atıkların yanı sıra plantasyon ormanlarının kurulması,
- Hayvansal yem olarak değerlendirilmeyen tarımsal atıkların (fındık zurufu, buğday sapı, zeytin posası ve çekirdeği vb.) pelet üretiminde değerlendirilmesi
- Enerjide de dışa bağımlılığı azaltmak için özellikle kamu binalarında ısınmada doğal gaz ve kömür yerine odun peletinin teşvik edilmesi,
- önerilebilir.



## KAYNAKÇA

- Aybüke, K. A. Y. A., & BUDAK, D. B. Hatay ilinde üreticilerin biyoyakıt, tarımsal atık ve çevre hakkındaki düşüncelerinin değerlendirilmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(3), 413-423. doi: 10.37908/mkutbd.1109445
- Bartoszewicz-Burczy, H. (2002). Ekonomika wykorzystania energii źródeł odnawialnych do produkcji energii elektrycznej. *Energetyka*, (7), 458-463.
- Bilgin, S., Koçer, A., Yılmaz, H., Mustafa, A. C. A. R., & Mahmut, D. O. K. (2016). Çay fabrikası atıklarınının peletlenmesi ve pelet fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(Ek Sayı), 70-80.
- Demirbaş, M., & Aydın, R. (2020). 21. Yüzyılın en büyük tehdidi: küresel iklim değişikliği. *Ecological Life Sciences*, 15(4), 163-179. doi: 10.12739/NWSA.2020.15.4.5A0143
- Deniz, M. B., Bursal, M., & Göçer, Ş. (2019). Türkiye'nin Enerji Sorunu ve Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyokütle Enerjisi: Bir Nedensellik Analizi. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(9), 52-65.
- DIN EN 14918, (2014): Katı biyoyakıtlar-kalorifik değerin belirlenmesi. <https://webstore.ansi.org/Standards/DIN/dinen149182014>. Erişim Tarihi: 14 Temmuz 2022.
- Dilara, A. Y. L. A., & ALTINTAŞ, D. (2021). Kyoto Protokolü Kapsamında CO2 Emisyonu ve Türkiye Üzerine Bir Olasılık Tahmini. *Kabramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(1), 478-496. doi: <https://doi.org/10.33437/ksusbd.648395>
- Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). Global climate risk index 2021. Who Suffers Most from Extreme Weather Events, 2000-2019.
- Ersoy, İ., & Daşdemir, İ. (2010). Türkiye'de Kültürel Odunsu Biyokütle ile Enerji Üretimi ve Ekonomisi. IV. Ulusal Ormancılık Kongresi, 140.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Faostat. Forestry Production and Trade. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. 09 Eylül 2022.
- Ferreira, G., Brito, T. M., da Silva, J. G. M., Minini, D., Dias Júnior, A. F., Arantes, M. D. C., & Batista, D. C. (2022). Wood Waste Pellets as an Alternative for Energy Generation in the Amazon Region. *BioEnergy Research*, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10446-w>
- García, R., Gil, M. V., Fanjul, A., González, A., Majada, J., Rubiera, F., & Pevida, C. (2021). Residual pyrolysis biochar as additive to enhance wood pellets quality. *Renewable Energy*, 180, 850-859. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.113>
- Gilfillan, D., & Marland, G. (2021). CDIAC-FF: global and national CO 2 emissions from fossil fuel combustion and cement manufacture: 1751–2017. *Earth System Science Data*, 13(4), 1667-1680. doi: <https://doi.org/10.5194/essd-13-1667-2021>
- Goh, C. S., Junginger, M., Cocchi, M., Marchal, D., Thrän, D., Hennig, C., ... & Deutmeyer, M. (2013). Wood pellet market and trade: a global perspective. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(1), 24-42. doi: <https://doi.org/10.1002/bbb.1366>
- Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and sustainable energy reviews*, 42, 712-725. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013>

Gustavsson, L., Nguyen, T., Sathre, R., & Tettey, U. Y. A. (2021). Climate effects of forestry and substitution of concrete buildings and fossil energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110435. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110435>

Gürdil, G. A. K., Baz, Y. Ö., Dok, M., Acar, M., & Demirel, Ç. (2016). Fındık Zurufundan Üretilen Yakıt Peletinin Isısal Parametreleri. 2. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu, 27-30.

Gürdil, G.A.K., Baz Y.Ö., Demirel Ç., Demirel B. 2015. Yakıt peleti ve briketi için güncellenmiş avrupa birliği standartları ve ilgili parametreler. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2): 147-156.

Hassan, S. S., Williams, G. A., & Jaiswal, A. K. (2018). Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 262, 310-318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.099>

He, X., Wang, F., Wallington, T. J., Shen, W., Melaina, M. W., Kim, H. C., ... & Wu, Y. (2021). Well-to-wheels emissions, costs, and feedstock potentials for light-duty hydrogen fuel cell vehicles in China in 2017 and 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110477. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110477>

Horvat, I., Dović, D., & Filipović, P. (2021). Numerical and experimental methods in development of the novel biomass combustion system concept for wood and agro pellets. *Energy*, 231, 120929. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120929>

IPCC, (2021): AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis, IPCC. Erişim tarihi: 03.02.2022. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

ISO EN 17225–2: 2021. Katı biyoyakıtlar—yakıt özellikleri ve sınıfları—bölüm 2: derecelendirilmiş odun peletleri. <https://www.iso.org/standard/76088.html>. Erişim tarihi: 14 Temmuz 2022.

ISO EN 17829: 2015. Katı biyoyakıtlar - peletlerin uzunluk ve çapının belirlenmesi. <https://www.iso.org/standard/60693.html>. Erişim tarihi: 14 Temmuz 2022.

ISO EN 17829: 2015. Katı biyoyakıtlar-kül içeriğinin belirlenmesi. <https://www.iso.org/standard/61515.html>. Erişim tarihi: 14 Temmuz 2022.

ISO EN 18134 – 1: 2015. Katı biyoyakıtlar- nem içeriğinin belirlenmesi- fırında kurutma yöntemi- bölüm 1: toplam nem. <https://www.iso.org/standard/61538.html>. Erişim tarihi: 14 Temmuz 2022.

Jach-Nocoń, M., Pelka, G., Luboń, W., Mirowski, T., Nocoń, A., & Pachytel, P. (2021). An assessment of the efficiency and emissions of a pellet boiler combusting multiple pellet types. *Energies*, 14(15), 4465. doi: <https://doi.org/10.3390/en14154465>

Jones, D., Harper, D., & Taylor, A. (2012). Wood Pellets, an Introduction to Their Production and Use. Forest Product Center, Mississippi State University. Mississippi.

Kanwal, S., Mehran, M. T., Hassan, M., Anwar, M., Naqvi, S. R., & Khoja, A. H. (2022). An integrated future approach for the energy security of Pakistan: Replacement of fossil fuels with syngas for better environment and socio-economic development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111978. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111978>

Kebede, A. A., Kalogiannis, T., Van Mierlo, J., & Berecibar, M. (2022). A comprehensive review of stationary energy storage devices for large scale renewable energy sources grid integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112213>

Korkmaz, A. A., & Deniz, M. B. Sürdürülebilir Temiz Enerji Biyokütle: Enerji Üretimindeki Payı ve Ekonomiye Katkıları. II. Uluslararası Battalgazi Multidisipliner Çalışmalar Kongresi 15-16-17 Mart 2019, 141.

Kumar, R., Ghosh, A. K., & Pal, P. (2020). Synergy of biofuel production with waste remediation along with value-added co-products recovery through microalgae cultivation: a review of membrane-integrated green approach. *Science of the Total Environment*, 698, 134169. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134169>

Küresel Karbon Projesi. (2021). Küresel Karbon Projesi 2021 (1.0) [Veri seti] ek verileri. Küresel Karbon Projesi. <https://doi.org/10.18160/gcp-2021>

Mahmut, D. O. K., Mustafa, A. C. A. R., & GİZLENCİ, Ş. (2021). Kenevir (*Cannabis sativa* L.) Sapının Katı Yakıt Pelet Özelliklerinin Belirlenmesi. *ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 31(2), 161-169. doi: <https://doi.org/10.18615/anadolu.1029901>

Mele, M., Gurrieri, A. R., Morelli, G., & Magazzino, C. (2021). Nature and climate change effects on economic growth: an LSTM experiment on renewable energy resources. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(30), 41127-41134. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13337-3>

Micheal, M. (2019). A global carbon market. *Front. Eng. Manag*, 6, 5-18.

Mohsin, M., Taghizadeh-Hesary, F., Panthamit, N., Anwar, S., Abbas, Q., & Vo, X. V. (2021). Developing low carbon finance index: evidence from developed and developing economies. *Finance Research Letters*, 43, 101520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101520>

Quinteiro, P., Greco, F., da Cruz Tarelho, L. A., Righi, S., Arroja, L., & Dias, A. C. (2020). A comparative life cycle assessment of centralised and decentralised wood pellets production for residential heating. *Science of The Total Environment*, 730, 139162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139162>

Rashedi, A., Muhammadi, I. U., Hadi, R., Nadeem, S. G., Khan, N., Ibrahim, F., ... & Hussain, M. (2022). Characterization and life cycle exergo-environmental analysis of wood pellet biofuel produced in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sustainability*, 14(4), 2082. doi: <https://doi.org/10.3390/su14042082>

Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. Our world in data.

Siwale, W., Frodeson, S., Berghel, J., Henriksson, G., Finell, M., Arshadi, M., & Jonsson, C. (2022). Influence on off-gassing during storage of Scots pine wood pellets produced from sawdust with different extractive contents. *Biomass and Bioenergy*, 156, 106325. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106325>

Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D., & Güngör, E. (2017). Evaluation of biomass use in terms of energy, environment, health and economy. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 148-160. doi: 10.24011/barofd.306215

Sungur, B., Topaloğlu B., Özbey, M. 2018. Pelet yakıtlı yakma sistemlerinin ısı performans ve emisyon açısından incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(693), 64-84.

T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021. Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021.

Thomson, H., & Liddell, C. (2015). The suitability of wood pellet heating for domestic households: A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1362-1369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.009>

Tutak, M., & Brodny, J. (2022). Renewable energy consumption in economic sectors in the EU-27. The impact on economics, environment and conventional energy sources. A 20-year perspective. *Journal of Cleaner Production*, 345, 131076. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131076>

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) Genel Müdürlüğü 2021. Üretim kapasite projeksiyonu 2021-2025. Mayıs 202, 21.

Türkoğlu, T., & Gökoğlu, C. (2017). Kızılçam ormanları hasat artıklarından yapılan odun peletinin yakıt özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 58-63. doi: 10.19113/sdufbed.64858

URL 1, 2022: [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/81428/mod\\_resource/content/0/3.%20Hava%20kirliligi.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/81428/mod_resource/content/0/3.%20Hava%20kirliligi.pdf) (Erişim tarihi: 02.10.2022)

URL 2, 2022: <https://www.ucsusa.org/resources/each-countrys-share-co2-emissions> (Erişim tarihi: 02.10.2022)

URL 3, 2022: <https://www.biopelletmachine.com/biopellet-making-guidance/wood-pellet-making-guide.html> (Erişim tarihi: 02.10.2022)

URL 4, 2022: [https://www.alibaba.com/product-detail/Complete-Wood-Pellet-Production-Line-Used\\_1983640167.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Complete-Wood-Pellet-Production-Line-Used_1983640167.html) (Erişim tarihi: 02.10.2022)

URL 5, 2022: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> (Erişim Tarihi 12.20.2022).

Wood Pellet Association of Canada, CANplus handbook – quality control certification for wood pellet. <https://www.pellet.org/CANplus/downloadcp.html>, 2016.

Zengin, Y. (2020). Kavak odun atıklarından elde edilen peletlerin bazı yakıt özelliklerinin belirlenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(1), 29-36. doi: 10.17474/artvinofd.556122

Zengin, Y., Çelik, A., Mahmut, D. O. K., Çolak, S., Kargıdan, A. İ., Çakır, A., & Semercioğlu, A. (2020). Orman atıklarının pelet olarak değerlendirilme imkânlarının araştırılması. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 7(2), 113-119. doi: <https://doi.org/10.17568/ogmoad.645297>

## Kimyasal Bir Tesiste İnsan Hatalarının HAZOP ile Tespiti ve HEART ile Analiz Edilmesi

Kübra OLGUN<sup>1</sup>  
Metin GÜRÜ<sup>2</sup>  
Abdurrahman AKMAN<sup>3</sup>

### Giriş

Sanayi devrimiyle birlikte dünya büyük bir değişim içerisine girmiştir. Teknolojik ilerlemeler ve makineleşmenin artması ile ekonomi gelişmiş ve iş alanları genişlemiştir. Artan talepleri karşılayabilmek için kimyasal madde üreten tesis sayısı da artmış ve bu tesislerde üretim kaygısı ortaya çıkmıştır. Bütün bu gelişmeler sonucunda, tesislerde insana ve çevreye zarar verici boyutları tahmin edilenin üzerinde olan ve sonuçları tesis sınırlarını dahi aşabilen iş kazaları meydana gelebilmektedir.

İş kazaları genellikle, insan faktörünün işyeri ortamı ve üretim araçları ile ilişkisinden kaynaklanmakta olup çeşitli kurum ve kuruluşlar iş kazalarının nedenlerini açığa çıkarıp bunları önlemek için araştırmalar yapmaktadırlar. Bu konuda devletler, ulusal mevzuatlarında düzenlemeler gerçekleştirmekte ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) gibi uluslararası örgütler de küresel çapta konuyla alakalı çalışmalar yürütmektedirler (Durdu, 2014: 68).

Çalışanların bilinçsiz, disiplinsiz, kontrolsüz ve dikkatsiz davranışları, ortamda bulunan güvensiz çalışma metotları, makine ve aletlerin uygun kullanılmaması ve düzensizlik iş kazalarını meydana getirebilmektedir. Bunlara ek olarak; tehlikelerin önemsenmemesi, psikolojik sorunlar, eğitimsizlik, yorgunluk, yetki ve sorumlulukların net olmaması, işin yetkili çalışana yaptırılmaması ve yetersiz sağlık hizmetleri gibi etmenler de iş kazalarına neden olabilir (Tarım, 2017: 53).

İş kazalarının nedenlerini belirlemek için farklı tarihlerde farklı kişiler tarafından bazı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin; Haksöz yaptığı çalışmada, kazaların %95'inin kişisel koruyucu kullanılmamaktan ve güvensiz davranışlardan, %5'inin ise teknik nedenlerden kaynaklandığını belirtmiştir. Metal Sanayicileri Sendikası (MESS) üyelerinde ise iş kazası nedenleri incelendiğinde, iş kazalarının %87 güvensiz hareketlerden, %13 güvensiz şartlardan meydana geldiği tespit edilmiştir (Karakurt vd., 2012: 229).

Sonuç olarak iş kazalarının meydana gelme ağırlıkları üzerine çeşitli araştırmalara dayanan farklı görüşler mevcut olmakla birlikte, iş kazalarının %80'inin insan hatasından, %18'inin fiziki ve mekanik çevre şartlarından ve %2'sinin ise beklenmedik olaylardan ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Bu genellemeler neticesinde, iş kazalarının yaklaşık olarak %98'i üzerinde kazaları önleyici tedbirlerin alınabileceği ihtimali bulunmaktadır (Camkurt, 2013: 71). Bu nedenle çalışmada, kimyasal bir tesiste meydana gelebilecek iş kazaları içerisindeki olası insan hatalarının tespit edilerek önlenmesi veya etkilerinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla Tehlike ve İşletilebilirlik Analiz metodu olan HAZOP yöntemi tercih edilmiştir. HAZOP, tesislerin tasarım amaçlarından sapmalarına sebep olan olayları araştırırken, çalışma esnasında tespit edilen problemlere yönelik çözümler de sunar (Çetinkaya Uzun ve Utlu, 2015: 280). Kalitatif olarak belirlenen insan hatalarını

---

<sup>1</sup> Kübra OLGUN, Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0003-4250-7072

<sup>2</sup> Metin GÜRÜ, Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-7335-7583

<sup>3</sup> Abdurrahman AKMAN, Dr., Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Orcid: 0000-0002-1619-1046

sayısallaştırılarak insan hata olasılığının hesaplanabilmesi için de kantitatif yöntemlerden biri olan İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (HEART) kullanılmıştır.

## Yöntem

Çalışma, ülkemizde savunma sanayi sektöründe hizmet veren ve kimyasal madde üreten bir tesiste gerçekleştirilmiştir. Tesis gizliliği ve güvenliği nedeniyle ayrıntılı bilgi verilmemiştir. Çalışmada ilk olarak; tesiste iş kazalarına sebep olabilecek olası riskler belirlenmiş ve tehlike tanımlamaları yapılmıştır.

Risk değerlendirmesi; işyerinde mevcut olan veya dışarıdan gelme ihtimali bulunan tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine neden olan etmenler ile tehlikelerden ortaya çıkan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve önleyici tedbirlerin kararlaştırılması için yapılması gereken çalışmaları ifade eder (Altınten, 2020: 3).

Tehlike ise, işyerinde mevcut olan veya dışarıdan gelebilecek, çalışana ya da işyerini etkileme ihtimali bulunan zarar ya da hasar verme potansiyelidir (Altınten, 2020: 4).

Bir tesiste var olan riskin anlaşılması; riske sebep olan tehlikenin ne kadar olası olduğu, riskin hangi istenmeyen olayın sonucunda meydana gelebileceği ve riskin etkilerinin neler olabileceği sorularına verilecek yanıtın anlaşılmasına bağlıdır. Risk analizinin esası ise, sezgi, bilgi, geçmişte yaşanan tecrübeler ve analitik yöntemlerle ortaya konur. Risk değerlendirme yöntemleri kimyasal madde üreten tesislerde; sistem tasarımının değerlendirilmesine yardımcı olurken, tehlike tanımlama yöntemi olarak da kullanılabilir birçok yöntem bulunmaktadır (Akman, 2015: 62).

Tehlike tanımlama yöntemleri; Kontrol Listeleri (Check-List), Olursa Ne Olur? (What-If), Hata Türleri Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA), Ön Tehlike Analizi (PHA), Beyin Fırtınası ve Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) yöntemlerini içerir. Bu çalışmada Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi olan HAZOP tercih edilmiştir.

## 1. Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP)

Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi, tehlike tanımlaması için en çok kullanılan yöntemlerden birisidir ve tasarım aşamasında olduğu kadar işletme aşamasında da proses tehlikelerini analiz etmek için tercih edilir. Genellikle kimyasal ve petrokimya tesislerinde risk değerlendirmesi amacıyla kullanılır. Ancak, önemli ölçüde insan ve ekonomik kaynak gerektirir ve gerçekten zaman alıcıdır.

Proses mühendisi, güvenlik sorumlusu, bakım uzmanı gibi disiplinli bir ekibin bir araya gelmesi ile beyin fırtınası oturumları gerçekleştirilir. Tasarımdan sapmaların nedenlerinin ve sonuçlarının belirlenebilmesi için proses parametreleri ile kılavuz kelimeler birlikte kullanılarak endüstriyel sistemlerin bölümleri analiz edilir. Ekip liderinin tecrübesi, analiz süresini etkileyen önemli bir faktör olup alakasız tartışmaları azaltabilir, zaman ve oturum organizasyonlarını iyileştirebilir (Arena vd., 2018: 940).

HAZOP analizi için kılavuz kelimeler **Tablo 1**'de, proses parametreleri **Tablo 2**'de ve HAZOP sapma matrisi **Tablo 3**'te verilmiştir:

**Tablo 1.** HAZOP çalışması için kılavuz kelimeler ve anlamları (Doğan 2015: 89)

Kılavuz Kelimeler	Anlamı
Yok	Mevcut değil
Az	Nicel ve nitel azalış
Fazla	Nicel ve nitel artış
Ters	Öngörülen yönün tersi şeklinde gerçekleşmiştir.
Yok	Mevcut değil
...den başka	Tamamıyla amaç dışında durumlar meydana gelmiştir.

**Tablo 2.** HAZOP çalışması için proses parametreleri (Doğan 2015: 88)

Akış	Zaman
Viskozite	Basınç
Sıcaklık	Frekans
Seviye	Hız
Karıştırma	Reaksiyon

**Tablo 3.** HAZOP sapma matrisi (Doğan 2015: 90)

Kılavuz Kelimeler	Proses Parametreleri	Tasarımdan sapma
Yüksek	Akış	Yüksek akış
Yok	Seviye	Seviye yok
Düşük	Basınç	Düşük basınç
Yüksek	Reaksiyon	Yüksek reaksiyon
Ters	Akış	Ters akış

Yöntem, Borulama ve Enstrümantasyon Diyagramlarını (P&ID) izleyerek ekipmanı, enstrümanları, yardımcı programları, insan faktörlerini ve süreci etkileyebilecek harici olayları gözden geçirir. HAZOP teknikleri, tasarımı belirli sınırlarla yönetilebilir bölümlere ayırır, kaza senaryolarını titiz ve yoğun bir şekilde inceler ve kazayı önleyebilecek önlemleri belirler (Dunjo vd., 2018: 214).

HAZOP, hem kullanılmış ekipman ve operatörler için olası risklerin göz önünde bulundurulduğu güvenlik değerlendirmesine hem de ürünün gerekli kalitesinin keskinleştirilmesi için işletilebilirliğe odaklanır. HAZOP uygulanmasının ardından edinilen deneyimlerden; hammaddelerin bozunma olasılığına ve insan faktörlerinin başarısız olma olasılığına dikkat edilmesi gerektiği anlaşılır.

HAZOP analizinin avantajı;

- Tehlikeli maddelerin belirlenmesi amacıyla değerlendirilen ekipmanın sistematik ve kapsamlı incelenmesi,
- Personel hatasının sonuçlarının değerlendirilmesi,
- İşletme ekipmanlarının verimliliğinin artırılması,
- Sürecin daha iyi anlaşılmasına yol açmasıdır (Kotek ve Tabas, 2012: 810).

HAZOP analizinin dezavantajı;

- Analizin uygulanabilmesi için uzun süre gereklidir ve bu süre teknoloji boyutuna göre değişebilir.
- Çalışmanın başında hedeflerin net bir tanımının yapılması gerekmektedir.
- İyi bir HAZOP ekibi ve lideri olmadan iyi bir çalışma yapılamaz. Çünkü HAZOP çalışması, katılımcılardan yüksek bilgi ve becerileri talebinde bulunur (Kotek ve Tabas, 2012: 811).

İnsan faktörü için uygulanan HAZOP yöntemi, temel HAZOP prosedürüne benzer ancak anahtar kelimeler daha farklı yorumlanır. Örneğin; operatör bir görevi gerçekleştirmeyi unutabilir, görevi yanlış yapabilir, hiç yapılmaması gereken bir görevi yerine getirebilir, görevi sırası dışında gerçekleştirebilir ya da görevi gereğinden önce veya sonra gerçekleştirebilir (Kotek ve Tabas, 2012: 812).

İnsan güvenilirlik değerlendirmesi, kalitatif ve kantitatif adım olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. Kalitatif adımın amacı, genellikle kazalara yol açan insan hatasına olası katkıları belirlemektir (Bowo vd., 2020: 40). Kalitatif analiz ile insan hataları Tehlike ve İşletilebilirlik Analiz metodu olan HAZOP ile belirlenmiştir. Kantitatif adım ise, başarısızlık olasılığını tahmin etmek, azaltma stratejilerine önem vermek ve iyileştirmeleri ölçmek amacıyla tercih edilir (Bowo vd., 2020: 40).

İnsan hatası olasılığını hesaplamak için çok sayıda kantitatif yöntem vardır. THERP (İnsan Hata Oranı Tahmini Tekniği), SLIM (Başarı Olabilirlik İndeksi Metodolojisi), HEART (İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği), ATHEANA (İnsan Hata Analizi İçin Bir Teknik), SPAR-H (Standartlaştırılmış Tesis Analizi Risk-İnsan Güvenilirliği) ve CREAM (Bilişsel Güvenilirlik ve Hata Analizi) yöntemleri başlıca yöntemlerdir (Akyüz, 2015: 147). Bu çalışmada ise HEART yöntemi tercih edilmiştir.

## 2. İnsan Hatası Değerlendirme ve Azaltma Tekniği (HEART)

HEART, doğrudan insan faktörlerinin sebep olduğu hataların belirli modlarını analiz etmek ve insan hatası olasılığını hesaplamak için uygulanan yöntemlerden biridir. 1986 yılında Williams tarafından nükleer santral kazalarını analiz etmek amacıyla ortaya çıkarılmış bir insan güvenilirlik değerlendirmesi yöntemidir. Zaman ilerledikçe demiryolu eylem güvenilirliği de dahil birçok endüstri sektörüne uyarlanmış ve uygulama için geliştirilmiştir (Bowo vd., 2020: 40).

HEART yöntemi beş aşamadan oluşur:

1. Genel Görev türü belirlenir.
2. Genel görev türüne Nominal İnsan Hatası Potansiyeli değeri atanır.
3. Olayın kazaya dönüşmesine neden olabilecek faktörleri tanımlayan en uygun EPC (Hata Oluşturma Koşulları) seçilir.
4. Seçilen tüm EPC'ler için Etki Değerlendirme Oranı belirlenir.
5. İnsan hatası olasılığı (HEP) hesaplanır (Bowo vd., 2020: 40).

HEART yönteminin esnekliği çeşitli endüstrilerde uygulanmasına olanak sağlar. Yöntemde kullanılan EPC'ler kazaların makine, ortam, insan ve yönetime dayalı nedensel faktörlerinin incelenmesine fayda sağlar (Bowo vd., 2020: 41).

William tarafından da belirtildiği üzere dokuz tane Genel Görev türü vardır. Bu genel görev türleri, kaza meydana geldiği andaki tipik çalışma durumunu göstermektedir. Her genel görev türünün ise olayların karmaşıklığı ve olasılığına göre farklılık gösteren, farklı bir nominal insan hatası potansiyeli mevcuttur. Çalışma koşulu ve operatör buna aşına değilse bu durumda oluşabilecek hata olasılığı, operatörün işe ve duruma aşına olduğu duruma göre daha yüksektir. Ayrıca iş rutin ise, operatör işi yaparken yeterince dikkat ettiği sürece hata yapma olasılığı daha az olacaktır (Bowo vd., 2020: 41).

İnsan hata olasılığı (HEP) sonuç değerini büyük oranda etkileyebileceğinden, uygun genel görev türünün belirlenmesi oldukça önemlidir (Bowo vd., 2020: 41). Genel görev türleri ve nominal insan hatası potansiyeli değerleri **Tablo 4**'te verilmiştir.



**Tablo 4.** Genel Görev Türü ve Nominal İnsan Hatası Potansiyeli değeri (Bowo vd., 2020: 42)

Görev Türü	Nominal İnsan Hatası Potansiyeli Değeri	
A	Tamamen yabancı, muhtemel sonuçları hakkında herhangi bir fikir sahibi olunmayan hızda meydana gelen	0,55
B	Tek bir girişimde, denetim ya da prosedürler olmadan, sistemi orijinal veya yeni bir sisteme kaydırmak ya da eski haline döndürmek	0,26
C	Anlama, beceri ve yüksek seviyede bilgi gerektiren karmaşık görev	0,16
D	Çok az dikkat gösterilen basit görevin hızlıca gerçekleştirilmesi	0,09
E	Düşük beceri seviyesi gerektiren, rutin, son derece pratik ve hızlı görev	0,02
F	Bazı kontrollerle, prosedürleri takip ederek sistemi orijinal ya da yeni duruma getirmek ya da değiştirmek	0,003
G	Tamamen tanıdık, iyi tasarlanmış, saatte birkaç kez gerçekleşen, yüksek eğitilmiş ve yüksek motivasyona sahip deneyimli bir kişi tarafından mümkün olan en yüksek standartlarda gerçekleştirilen, başarısızlığın muhtemel sonuçlarının tamamen farkında olunan, rutin görev	0,0004
H	Sistem aşamasının doğru şekilde yorumlanmasına olanak sağlayan otomatikleştirilmiş bir denetleme sistemi olduğunda bile sistem komutlarına doğru yanıt vermek	0,00002
M	Açıklaması bulunmayan çeşitli görevler	0,03

HEART yönteminde 38 EPC vardır ve her birinin bir çarpanı vardır. Şimdi ise, EPC literatürü 80'lerde olduğundan çok daha büyük ve çok daha erişilebilirdir. Ancak yapılan araştırmalara göre, bilgi ve niceliksel sonuçlara sahip araştırmaların olduğu alanlarda hala önemli boşlukların mevcudiyeti söz konusudur. Araştırmalar sonucunda elde edilen bulgular üç temel alana ayrılmıştır (Williams ve Bell, 2015b: 28).

1. Yeni kanıtlarla doğrulandığına veya saklanması gerektiğine inanılan EPC'ler
2. Çarpanlarının değiştirilip, revize edilmesi gereken EPC'ler
3. Yeni bilgilerin varlığı ile HEART veritabanına eklenebilen EPC'ler (Williams ve Bell, 2015b: 28).

Elde edilen yeni kanıtlarla doğrulanan ve saklanması gerektiğine inanılan EPC'ler **Tablo 5**'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Doğrulan Hata Oluşturma Koşulları (EPC) (Williams ve Bell, 2015a: 8).

Hata Oluşturma Koşulları (EPC)	Maksimum Nominal Tahmin Edilen Etki Faktörü	
1	Potansiyel olarak önemli olan ancak nadiren meydana gelen ya da yeni olan bir duruma aşına olamama	x 17
2	Hata tespiti ve düzeltmesi için zaman sıkıntısı	x 11
3	Düşük bir sinyal-gürültü oranı	x 10
4	Çok kolay erişilebilen bilgi veya özellikleri bastırmanın veya geçersiz kılmanın bir yolu	x 9
5	Operatörlere kolayca anlayacakları bilgiyi aktarmanın yolunun olmaması	x 8
6	Bir operatörün dünya modeli ile tasarımcınının arasında uyumsuzluk olması, Model uyumsuzluğu	x 8
7	İstenmeyen bir eylemi tersine çevirmenin bariz bir yolunun olmaması, Geri Dönülemezlik	x 8
8	Özellikle yedekli olmayan bilgilerin eşzamanlı sunumundan kaynaklanan aşırı kapasite yüklenmesi	x 6
9	Bir tekniği öğrenme ve karşıt bir felsefe gerektiren başka bir tekniği uygulama ihtiyacı, Teknik öğrenme	x 6
10	Belirli bilgileri görevden göreve aktarma ihtiyacı, Bilgi aktarımı	x 5,5
11	Gerekli performans standartlarında belirsizlik	x 5
12	Gerçek risk ve algılanan risk arasındaki uyumsuzluk	x 4
13	Zayıf, belirsiz veya uyumsuz sistem geri bildirim	x 4
14	Amaçlanan bir eylemin doğrudan ve zamanında net bir şekilde onaylanmaması	x 4
15	Operatör deneyimsizliği	x 3

**Olgun, Kübra & Gürü, Metin & Akman, Abdurrahman; Kimyasal Bir Tesiste İnsan Hatalarının HAZOP ile Tespiti ve HEART ile Analiz Edilmesi**

16	Prosedürler ve kişi/kişi etkileşimi ile iletilen bilgi kalitesinin düşmesi	x 3
17	Çıktının bağımsız kontrolünün çok az yapılması ya da hiç yapılmaması, Çıktı testi	x 3
18	Acil ve uzun vadeli hedefler arasında bir anlaşmazlık	x 2,5
19	Doğruluk kontrolleri için bilgi çeşitliliğinin bulunmaması	x 2,5
20	Bireyim eğitimsel başarı seviyesi ile görevin gereklilikleri arasında uyumsuzluk	x 2
21	Daha tehlikeli diğer prosedürlerin kullanılmasına yönelik teşvikin bulunması	x 2
22	Bir işin acil sınırları dışında zihin ve beden egzersizi için çok az fırsatın bulunması	x 1,8
23	Güvenilmez enstrümantasyon	x 1,6
24	Bir operatörün deneyiminin ve yeteneklerinin ötesinde mutlak yargılara duyulan ihtiyaç	x 1,6
25	Görev ve sorumluluğun belirsiz dağılması	x 1,6
26	Bir aktivite sırasında ilerlemeyi takip etmenin açık bir yolunun olmaması	x 1,4
27	Sınırlı fiziksel yeteneklerin aşılması tehlikesi	x 1,4
28	Görevin asıl anlamının çok az olması ya da hiç olmaması	x 1,4
29	Yüksek düzeyde duygusal stres	x 1,3
30	Operatörler arasında sağlık sorunlarının bulunması	x 1,2
31	Düşük işgücü morali	x 1,2
32	Göstergelerin ve prosedürlerin anlam tutarsızlığı	x 1,2
33	Ortamın kötü olması	x 1,15
34	Düşük zihinsel iş yükü görevlerinin tekrarlı döngüsü ya da uzun süreli hareketsizlik	x 1 (ilk yarım saat için) x 1,05 (bundan sonraki her saat için)
35	Normal çalışma-uyku döngülerinin bozulması	x 1,1
36	Başkalarının müdahalesinin neden olduğu görev hızı	x 1,06
37	Görevi memnun edici şekilde yerine getirmek için gerekli olanların dışında ek ekip üyelerine ihtiyaç duyulması	x 1,03 (ilave çalışan başına)
38	Tespit, geri çağırma ve tanıma görevlerini yerine getiren personelin yaşı	x 1,02

Çarpanları değiştirilen ya da revize edilen EPC'ler **Tablo 6**'da verilmiştir.

**Tablo 6.** Revize EPC'ler (Williams ve Bell, 2015b: 48).

Hata Oluşturma Koşulları (EPC)	Durum	Maksimum Nominal Tahmin Edilen Etki Faktörü
29	Yüksek düzeyde duygusal stres	Revize x 2
32	Göstergelerin ve prosedürlerin anlam tutarsızlığı	Revize x 3
33	Ortamın kötü olması	Revize x 2
35	Normal çalışma-uyku döngülerinin bozulması	Revize x 1,2 (Her 24 saatte uyku kaybı başına)
37	Görevi memnun edici şekilde yerine getirmek için gerekli olanların dışında ek ekip üyelerine ihtiyaç duyulması	Revize x 1,2 (ilave çalışan başına)
38	Tespit, geri çağırma ve tanıma görevlerini yerine getiren personelin yaşı	Revize x 1,16 (25 ila 85 yaş arası her 10 yıl için)

Son olarak yeni bilgilerin varlığı ile HEART veritabanına eklenen yeni EPC'ler **Tablo 7**'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Yeni EPC'ler (Williams ve Bell, 2015b: 53).

Hata Oluşturma Koşulları (EPC)	Durum	Maksimum Nominal Tahmin Edilen Etki Faktörü
39	Dikkat dağıtma / Görev kesintisi	Yeni x 4
40	Günün saati	Yeni x 2,4

## Bulgular

Kimyasal madde üreten bir tesiste olası insan hatalarını Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) ile belirleyebilmek için; işçi, formen, iş güvenliği uzmanı ve o tesisten sorumlu mühendis ile bir HAZOP ekibi oluşturulmuştur. HAZOP ekibi, o tesis içerisindeki prosesi borulama ve enstrümantasyon diyagramlarından (P&ID) yararlanarak daha kolay inceleyebileceği belirli bölümlere ayırmıştır. Daha sonra her bir bölüm içerisinde nedeni ekipman ya da insan olan olası tehlikeler tanımlanmıştır. Tehlike tanımı yapılırken kılavuz kelimeler ve proses parametrelerinden yararlanılmış ve tasarım amacından sapmalar belirlenmiştir. HAZOP yöntemi ile belirlenen risk faktörleri **Tablo 8**'de verilmiştir.

Daha sonra belirlenen risk faktörleri arasından, kök nedeni insan hatası olan hatalar tespit edilmiş ve **Tablo 9**'da verilmiştir.

**Tablo 8.** HAZOP yöntemi ile belirlenen risk faktörleri

No	Kılavuz Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sebepler	Sonuç	Mevcut Önlemler	Önerilen Tedbirler
1	Fazla	Etil asetat akışı	Fazla miktarda etil asetatın reaktöre beslenmesi	Reaktör seviye sensörünün ve etil asetat akış ölçerinin arızalı olması	Fazla etil asetat akışı nedeniyle statik elektrik yükselmesine bağlı olarak ve reaktörün taşması sebebiyle yangın ve patlamanın olma ihtimali.	Reaktör seviye sensörü, etil asetat akış ölçeri	Reaktör seviye sensörü ve etil asetat akış ölçeri düzenli bakım programına alınmalıdır. Etil asetatın akış hızı sınırı 7 m/s'yi aşmaması sağlanmalıdır.
2	Az	Etil asetat akışı	Az miktarda etil asetatın reaktöre beslenmesi.	Etil asetat akış ölçerinin arızalı olması	Kalite kaybı, hamurlaşma olmaması.	Etil asetat akış ölçeri	Etil asetat akış ölçeri düzenli bakım programına alınmalıdır.
3	...den başka	Etil asetat akışı	Besleme yapılacak reaktör yerine başka bir reaktöre etil asetat beslemesinin yapılması. Vana, flanş vb. bağlantı yerlerinden etil asetat sızıntısının olması	Operatörün yanlış reaktöre besleme yapması. Seviye sensörünün arızalı olması ve korozyon sebebiyle kaçak olması.	Yanlış reaktöre besleme yapılması nedeniyle taşma, yangın ve patlama olma ihtimali. Etil asetat sızıntısı nedeniyle yangın ve patlama olma ihtimali.	Saha operatörünün transfer işlemine nezaret etmesi. Reaktör seviye sensörü ve etil asetat dedektörü	Etil asetatın yanlış reaktöre beslenmesini önleyecek interlock sistemi kurulmalı ve operatörlere ilave eğitim verilmelidir.
4	...den başka	Aktif madde akışı	Reaktör girişinden başka yere aktif madde akışı	Operatörün bağlantı yollarını yanlış ayarlaması sebebiyle hatalı reaktöre aktif madde alınması. Hammadde yükleme, boşaltma yerleri, bağlantı noktaları ve pompalardan kaçak olması.	KontROLSÜZ şekilde yanlış reaktöre aktif madde alınması sonrası yangın ve patlama olma ihtimali. Tehlikeli hammaddelerin sürtünmeye maruz yerlerde birikmesi sonucu yangın ve patlama olma ihtimali.	Saha operatörünün aktif madde transfer işlemine nezaret etmesi	Yanlış reaktöre aktif madde alımını önleyecek interlock sistemi kurulmalı ve operatörlere ilave eğitim verilmelidir. Elektrik motorları, zemin ve sıcak yüzeyler periyodik olarak temizlenmeli ve her iş başında kontrol edilmelidir. Sürtünmeye maruz yerlerde hammadde birikimine izin verilmemelidir.

**Olgun, Kübra & Gürü, Metin & Akman, Abdurrahman; Kimyasal Bir Tesiste İnsan Hatalarının HAZOP ile Tespiti ve HEART ile Analiz Edilmesi**

**Tablo 8.** HAZOP yöntemi ile belirlenen risk faktörleri

No	Kılavuz Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sebepler	Sonuç	Mevcut Önlemler	Önerilen Tedbirler
5	Fazla	Arap sakızı akışı	Fazla miktarda arap sakızının reaktöre beslenmesi	Operatör hatası	Gereğinden fazla miktarda hammadde kullanımında kaynaklanan ekonomik kayıp	Saha operatörünün arap sakızı transfer işlemine nezaret etmesi	Operatörlere ilave eğitim verilmelidir.
6	Az	Arap sakızı akışı	Az miktarda arap sakızının reaktöre beslenmesi	Operatör hatası	Tanelendirme olmaması nedeniyle kalite kaybının meydana gelmesi	Saha operatörünün arap sakızı transfer işlemine nezaret etmesi	Operatörlere ilave eğitim verilmelidir.
7	Fazla	Sodyum sülfat akışı	Fazla miktarda sodyum sülfatın reaktöre beslenmesi	Operatör hatası	Gereğinden fazla miktarda hammadde kullanımında kaynaklanan ekonomik kayıp	Saha operatörünün sodyum sülfat transfer işlemine nezaret etmesi	Operatörlere ilave eğitim verilmelidir.
8	Az	Sodyum sülfat akışı	Az miktarda sodyum sülfatın reaktöre beslenmesi	Operatör hatası	Ürün yoğunluğunun azalması nedeniyle kalite kaybının oluşması	Saha operatörünün sodyum sülfat transfer işlemine nezaret etmesi	Operatörlere ilave eğitim verilmelidir.
9	Fazla	Reaktör basıncı	Basıncın tanelendirme reaktöründe yükselmesi	Kızgın buhar besleme sistemi arızası, PLC arızası, sıcaklık sensör arızası, yüksek sıcaklık alarmına yönelik operatör müdahalesi hatası	Reaktörde basınç yükselmesi nedeniyle bütünlük kaybı, patlama ve yangın olma olasılığı	PRV	Yüksek basınç alarm sistemi kurulabilir, PRV düzenli bakım programına alınabilir ve PRV çıkışı güvenli bir alana yönlendirilebilir.
10	Fazla	Reaktör sıcaklığı	Destilasyon aşamasında sıcaklığın hızlı yükselmesi	Sıcaklık sensör arızası, kızgın buhar besleme sistemi arızası, PLC arızası, reaktördeki sıcaklık artış gradiyentinin operatör tarafından hatalı girilmesi	Reaktörde yüksek basınç ve sıcaklık oluşumu. Reaktörde köpük oluşumu ve operatörün zamanında müdahale edememesi sonucunda taşma, yangın ve patlama olma olasılığı	Reaktörde köpük alarmı, köpük kesici besleme sistemi, destilasyon yüksek sıcaklık alarmı,	Köpük kesici besleme sistemi otomatik yapılabilir. Destilasyon aşamasındaki sıcaklık artış gradiyentinin önemine yönelik operatörlere ilave eğitim verilebilir.
11	Az	Reaktör sıcaklığı	Tanelendirme reaktöründe sıcaklık düşmesi	Soğutma suyu besleme sistemi arızası	Tanelendirme olmaması nedeniyle kalite kaybının meydana gelmesi	Saha sıcaklık göstergesi, düşük sıcaklık alarmı	

**Tablo 8.** HAZOP yöntemi ile belirlenen risk faktörleri

No	Kılavuz Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sebepler	Sonuç	Mevcut Önlemler	Önerilen Tedbirler
12	Fazla	Reaktör sıcaklığı	Tanelendirme reaktöründe sıcaklık artışı	Sıcaklık sensör arızası, kızgın buhar besleme sistemi arızası, PLC arızası, yüksek sıcaklık alarmına yönelik operatör müdahalesi hatası	Reaktörde basınç yükselmesi nedeniyle bütünlük kaybı, patlama ve yangın olma olasılığı	Saha sıcaklık göstergesi, yüksek sıcaklık alarmı	Kontrol sistemi operatörlerine ilave eğitim verilebilir. Sıcaklık kontrol döngüsü bileşenleri düzenli bakım programına alınabilir. Alarm yönetim sistemi kurulabilir.
13	Yok	Soğutma suyu akışı	Soğutma suyu akışının kesilmesi	Soğutma sistemi, elektrik sistemi ve pompa arızası	Destilasyon kolonunda basınç yükselmesi nedeniyle bütünlük kaybı, yangın ve patlama olma olasılığı	Yedek soğutma sistemi (şebeke suyu) bağlantısı	Soğutma ve yedek soğutma sistemi bakımının periyodik olarak yapılması
14	Yok	Boğaz keçesi soğutma suyu	Tanelendirme reaktörü karıştırıcısının boğaz keçesi soğutma suyunun kesilmesi	Azot tank basıncının düşmesi, soğutma hattı sisteminde tıkanıklık olması ve soğutma sıvısı eksikliği	Tanelendirme reaktörü karıştırıcısının boğaz keçesindeki sıcaklık yükselmesi nedeniyle yangın ve patlama olma olasılığı	Boğaz keçesi soğutma sistemi	Azot tanklarına basınç düşmesi ihtimaline karşı alarm sistemi kurulabilir. Boğaz keçesi yüksek sıcaklık alarm sistemi kurulabilir. Operatörlere azot tank basıncının periyodik takibinin yapılmasına dair eğitim verilebilir.
15	Fazla	Destilasyon kolon basıncı	Destilasyon kolonunda basınç artışı	Soğutma suyu arızası, Reaktördeki sıcaklık artış gradiyentinin operatör tarafından yanlış girilmesi, sıcaklık sensörü arızası, PLC arızası, yüksek sıcaklık alarmına ilişkin operatör müdahalesi hatası	Destilasyon kolonunda basınç yükselmesi nedeniyle bütünlük kaybı, yangın ve patlama olma olasılığı	Destilasyon yüksek sıcaklık alarmı, Destilasyon aşamasındaki sıcaklık artış gradiyentinin destilasyonda sıcaklık ve basıncın yükselmeyecek şekilde ayarlanması	Soğutma ve yedek soğutma sisteminin periyodik olarak bakımının yapılması, destilasyon aşamasındaki sıcaklık artış gradiyentinin önemine ilişkin operatörlere ilave eğitim verilmesi, sıcaklık kontrol döngüsü bileşenlerinin düzenli kontrol edilmesi, alarm yönetim sistemi kurulması ve kontrol sistemi operatörlerine ilave eğitim verilmesi

**Tablo 8.** HAZOP yöntemi ile belirlenen risk faktörleri

No	Kılavuz Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sebepler	Sonuç	Mevcut Önlemler	Önerilen Tedbirler
16	Fazla	Destilasyon kolon sıcaklığı	Destilasyon kolonunda sıcaklık artışı	Reaktördeki sıcaklık artış gradiyentinin operatör tarafından yanlış girilmesi, soğutma suyu arızası, sıcaklık sensörü arızası, PLC arızası, yüksek sıcaklık alarmına ilişkin operatör müdahalesi hatası	Destilasyon kolonunda basınç yükselmesi nedeniyle bütünlük kaybı, yangın ve patlama olma olasılığı	Destilasyon yüksek sıcaklık alarmı, Destilasyon aşamasındaki sıcaklık artış gradiyentinin destilasyonda sıcaklık ve basıncın yükselmeyecek şekilde ayarlanması	Soğutma ve yedek soğutma sisteminin periyodik olarak bakımının yapılması, destilasyon aşamasındaki sıcaklık artış gradiyentinin önemine ilişkin operatörlere ilave eğitim verilmesi, sıcaklık kontrol döngüsü bileşenlerinin düzenli kontrol edilmesi, alarm yönetim sistemi kurulması ve kontrol sistemi operatörlerine ilave eğitim verilmesi
17	Yok	Karıştırma	Karıştırıcı devir göstergesi arızası, karıştırıcının çalışmaması	Operatörün karıştırıcıyı başlatmaması ya da karıştırıcı arızası	Destilasyon aşamasına kadar olan süreçte kalite kaybı meydana gelir. Reaktörde köpük oluşması ve operatörün müdahale edememesine bağlı taşma, yangın ve patlama meydana gelebilir.	Karıştırıcı devir sayısı göstergesi	Karıştırıcı çalıştırılmadan reaktörün destilasyona alınmasını önleyici interlock sistemi kurulabilir.
18	...den farklı	Karıştırma hızı	Karıştırma hızının normalden farklı olması		Hammadde ve ürün karakteristiğine göre değişir.		
19	Fazla	Pompa sıcaklığı	Ürün transfer pompalarında sıcaklık yükselmesi	Transfer boru hatlarında tıkanıklık olması, sıcaklık alarmına yönelik operatör müdahalesi hatası, rulman arızası	Yangın ve patlama	Pompalarda sıcaklık alarmı ve sıcaklık sensörü	Pompa sıcaklık alarmı bileşenleri düzenli olarak bakım programına alınmalıdır. Alarm yönetim sistemi kurulmalıdır ve kontrol sistemi operatörlerine ilave eğitim verilmelidir.
20	Yok	Elektrik	Elektrik kesilmesi	Elektrik dağıtım şebekelerinde arızanın olması	Proses kontrol sistemi çalışmamasına bağlı olarak yangın ve patlama olabilir.	Kesintisiz güç kaynağı (UPS) ve jeneratör	Jeneratör ve UPS düzenli bakım programına alınabilir.

**Tablo 8.** HAZOP yöntemi ile belirlenen risk faktörleri

No	Kılavuz Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sebepler	Sonuç	Mevcut Önlemler	Önerilen Tedbirler
21	Fazla	Statik elektrik	Statik elektrik birikmesi	Metal aksamların eş potansiyele getirilmemesi, statik elektrik riskine yönelik çalışanlara uygun kıyafet verilmemesi	Yangın ve patlama		Metal aksamların hepsi eş potansiyele getirilebilir. Topraklama hatları düzenli olarak kontrol edilebilir. Statik elektrik riskine yönelik çalışanlara uygun kıyafet verilebilir.
22	...den başka	Ham kitle ve nitroselüloz beslemesi	Ham kitle ve nitroselüloz beslemesi esnasında kazan kapaklarının menteşeleri, mil yatakları gibi sürtünmeye maruz kalan yerler ile elektrik motorları üzerinde önemli miktarda ham kitle ve nitroselüloz birikimi	Hammadde yükleme ve boşaltma yerleri ile bağlantı noktalarında ve pompalarda kaçak olması, iş yoğunluğu ve stresi, eğitim ve denetim eksikliği	Yangın ve patlama		Kazan kapaklarının menteşeleri ile mil yatakları gibi sürtünmeye maruz yerler ve elektrik motorlarının üzerinde ham kitle ve nitroselüloz birikimine izin verilmemelidir. Elektrik motorları, zemin ve sıcak yüzeyler periyodik olarak temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
23	Geç	Dekantasyon	Dekantörden kanala ve atık su hattına etil asetat kaçması	Dekantör boşaltma vanasının olması gerekenden fazla açık kalması	Atık su hattı ya da kanalda etil asetat birikimine bağlı yangın ve patlamanın olması	Patlayıcı ortam oluşumunu önlemeye yönelik çatı havalandırma sistemi	Etil asetat-su faz ayrımı gerçekleştirildikten sonra dekantasyon süresine ilişkin prosedür oluşturulabilir. Dekantasyon süresince çatı havalandırma sistemi aktif tutulabilir ve bu süre içerisinde sıcak iş yapılması önlenebilir.
24	Erken	Dekantasyon	Dekantörden kanala ve atık su hattına etil asetat kaçması	Dekantörde etil asetat-su faz ayrımı yeterince yapılmadan operatörün kanala boşaltma yapması	Atık su hattı ya da kanalda etil asetat birikimine bağlı yangın ve patlamanın olması		Etil asetat-su faz ayrımı süresinin net şekilde belirlendiği prosedürler oluşturulabilir. Dekantasyon süresince çatı havalandırma sistemi aktif tutulabilir ve bu süre içerisinde sıcak iş yapılması önlenebilir.

**Tablo 9.** HAZOP yöntemi ile tespit edilen insan hataları

Hata Sırası	İnsan Hataları
1	Etil asetatın besleme yapılacak reaktör yerine başka bir reaktöre operatör tarafından beslenmesi
2	Operatör tarafından karıştırıcının çalıştırılmaması hatası
3	Statik elektrik birikimini önlemeye yönelik operatörün alınan tedbirlere uymaması
4	Operatör tarafından aktif maddenin yanlış reaktöre transfer edilmesi
5	Azot tank basıncının operatör tarafından düzenli takip edilmemesinden dolayı tanelendirme reaktörü karıştırıcısının boğaz keçesi soğutma suyunun kesilmesi
6	Ürün transfer pompalarında sıcaklık yükselmesine karşı operatör müdahalesi hatası
7	Destilasyon kolonunda sıcaklık artışına karşı operatör müdahalesi hatası
8	Tanelendirme reaktöründe sıcaklık artışına karşı operatör müdahalesi hatası
9	Dekantörde yeterli oranda etil asetat-su faz ayrımının yapılmasını beklemeksizin operatörün kanala boşaltma yapması
10	Destilasyon aşaması sırasında operatörün reaktör artış hızını kontrol sistemine hatalı şekilde girmesi

Kalitatif bir yöntem olan HAZOP yöntemi ile belirlenen insan hatalarının sayısallaştırılması için kantitatif yöntemlerden HEART yöntemi tercih edilmiştir. HEART yöntemi ile amaç, insan hatası olasılığını hesaplamaktır.

HEART yöntemi ile yapılan analizde ilk olarak seçilen görevin, dokuz genel görev türünden hangisine uygun olduğu belirlenmiştir. Daha sonra bu genel görev türü için Nominal İnsan Hata Potansiyeli değeri atanmıştır. Uygun Hata Oluşturma Koşulları (EPC) seçilerek Etki Değer Oranı, analizi yapan kişi tarafından belirlenmiş ve insan hata olasılığı (HEP) değeri hesaplanmıştır.

Örnek insan hatası olarak, “Destilasyon aşaması sırasında operatörün reaktör artış hızını kontrol sistemine hatalı şekilde girmesi” seçilmiştir. İnsan hatası için uygun olan genel görev türü; “E: Nispeten düşük düzeyde beceri içeren, rutin, çokça uygulanan, hızlı görev” belirlenmiştir.

İnsan hatası olasılığı hesabı **Tablo 10**'da verilmiş olup tüm insan hatalarına ait hesaplanan insan hata olasılığı değerleri **Tablo 11**'de verilmiştir.

**Tablo 10.** HEART analizi ile insan hata olasılığı değeri hesabı

Görev	Genel Görev Güvenilmezliği	Hata Oluşturma Koşulları (EPC)	Maksimum Etki	Etki Değerlendirme Oranı (APOA)	Değerlendirilen Faktör	İnsan Hata Olasılığı
Destilasyon aşaması sırasında operatörün reaktör artış hızını kontrol sistemine hatalı şekilde girmesi	0,025	EPC 15 Operatör deneyimsizliği	x3	<b>0,40</b>	1,80	0,09
		EPC 17 Çıktının bağımsız kontrolünün çok az yapılması ya da hiç yapılmaması, Çıktı testi	x3	<b>0,60</b>	2,20	

**Tablo 11.** HEART yöntemi ile insan hata olasılığı (HEP) değeri ve hata önem sırası

Hata Sırası	İnsan Hataları	İnsan Hata Olasılığı (HEP)
1	Ürün transfer pompalarında sıcaklık yükselmesine karşı operatör müdahalesi hatası	0,01
2	Destilasyon kolonunda sıcaklık artışına karşı operatör müdahalesi hatası	0,01
3	Tanelendirme reaktöründe sıcaklık artışına karşı operatör müdahalesi hatası	0,01
4	Destilasyon aşaması sırasında operatörün reaktör artış hızını kontrol sistemine hatalı şekilde girmesi	0,09
5	Operatör tarafından aktif maddenin yanlış reaktöre transfer edilmesi	0,10
6	Etil asetatın besleme yapılacak reaktör yerine başka bir reaktöre operatör tarafından beslenmesi	0,11
7	Dekantörde yeterli oranda etil asetat-su faz ayrımının yapılmasını beklemeksizin operatörün kanala boşaltma yapması	0,14
8	Operatör tarafından karıştırıcının çalıştırılmaması hatası	0,18
9	Statik elektrik birikimini önlemeye yönelik operatörün alınan tedbirlere uymaması	0,20
10	Azot tank basıncının operatör tarafından düzenli takip edilmemesinden dolayı tanelendirme reaktörü karıştırıcısının boğaz keçesi soğutma suyunun kesilmesi	0,32



Analiz sonucuna göre, insan hatalarından kaynaklı kazaların meydana gelme olasılığı hesaplanmış ve hataların önem sırası belirlenmiştir.

## Sonuç ve Tartışma

Son zamanlarda endüstriyel kazalar, çalışan sağlığı ve genel olarak da ekonomi üzerinde büyük bir etki yarattığı için tehlikeli bir olay haline gelmiştir. Bu kazaların kaynağı çevresel, yönetsel ve insan kaynaklı olabilir. İnsan kaynaklı hatalar, insan davranışının doğal bir sonucudur ve zaman eksikliği, stres ve çalışma koşulları insan hatası olasılığını artırabilir.

Felaketlerden kaçınmak, insan performansını artırmak ve sistem tasarımını yapmak için insan hata analizinin yapılması önemlidir. Çünkü bu analizler ile insanların kaza olasılığı içerisindeki rolü incelenirken kazaya yol açan diğer faktörler de ele alınır.

İnsan hataları çeşitli nedenlerle ortaya çıkar ve farklı türdeki hataları önlemek için de farklı türde eylemlere ihtiyaç vardır. Kazaların tekrar olmasını önlemek ya da etkilerinin azaltılması için en etkili yol, öncelikle kazaya neden olan olası tehlikeleri belirlemektir. Tehlikelerin belirlenip sınıflandırılması alınacak önlemler konusunda fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada tehlikelerin tanımlanması amacıyla HAZOP yöntemi kullanılmıştır. Çünkü HAZOP üzerinde çalışılan prosesin her bir kısmını detaylı olarak inceleme fırsatı sunmaktadır. Oluşturulan ekip sayesinde beyin fırtınası şeklinde oturumlar gerçekleştirilmektedir. Ayrıca HAZOP'un en büyük avantajı kolay uygulanabilir olması ve uzmanlık gerektirmemesidir.

Tehlikeler tanımlanıp insan hataları belirlense de insan hatalarının sayısallaştırılması, hata olasılığının hesaplanması, hatalar arasında önem sırası oluşturmakta fayda sağlayacaktır. Bu nedenle kantitatif yöntemler arasında HEART yöntemi tercih edilmiştir. HEART yönteminin seçilmesinin en önemli nedenleri; her prosese uygulanabilir olması, hata oluşturma koşullarının (EPC) farklı durumlar için farklı seçilebilmesi, hızlı analize izin vermesidir. Yapılan çalışmada; azot tank basıncının düşmesine karşı operatör tarafından yapılması gereken müdahale hatası, en yüksek insan hatası olarak belirlenmiştir.

## Kaynaklar

- Akman A. (2015). Kimya sektöründe Tehlike ve İşletilebilirlik (HAZOP) analizi. *Çalışma Dünyası Dergisi*, 3 (2), 59-74.
- Akyüz E., Çelik M. (2015). A methodological extension to human reliability analysis for cargo tank cleaning operation on board chemical tanker ships. *Safety Science*, 75, 146-155.
- Altınten B. (2020). *İş güvenliği uzmanlarında güvenlik kültürü ve iş kazaları deneyimleri arasındaki ilişkinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arena D., Criscione F., Trapani N. (2018). Risk assessment in a chemical plant with a CPN-HAZOP tool. *IFAC (International Federation of Automatic Control) Papers Online*, 51 (11), 939-944. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.487
- Bowo L. P., Furusho M., Mutmainnah W. (2020). A new HEART – 4M method for human error assessment in maritime collision accidents. *Transactions of Navigation*, 5 (2), 39-46.
- Camkurt M. Z. (2013, Mayıs, Ağustos, Kasım). Çalışanların kişisel özelliklerinin iş kazalarının meydana gelmesi üzerindeki etkisi. *TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, 24 (6), 25 (1-2), 70-101.
- Çetinkaya Uzun R., Utlu Z. (2015, Aralık). Elektrometal kaplama işlemlerinde Hazop risk değerlendirmesi: Örnek uygulama. *Celal Bayar University Journal of Science*. 11 (2), 279-286. doi: 10.18466/cbujos.78601
- Doğan B. (2015). *Büyük endüstriyel tesislerde kaza risklerinin ve kök nedenlerinin tespiti: Atmosferik distilasyon kolonu örneği* (Uzmanlık Tezi). Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.
- Dunjo, J., Fthenakis, V. M., Darbra, R. M., Vilchez, J. A. (2011). Conducting HAZOPs in continuous chemical processes: Part I. criteria, tolls and guidelines for selecting nodes. *Process Safety and Environmental Protection*, 89, 214-223.
- Durdu, H. İ. (2014, Haziran). İş kazalarının ekonomik analizi ve bazı sektörler bazında değerlendirilmesi. *Sosyal Güvenlik Dergisi*, 0 (5), 68-91.
- Karakurt Ü., Satar S., Bilen A., Açıkalın A., Gülen M. (2012, Şubat). Occupational accidents and emergency medicine. *The Journal of Academic Emergency Medicine*, 11, 227-237. doi:10.5152/jaem.2012.037
- Kotek L., Tabas M. (2012). HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions. *Procedia Engineering*, 42, 808-815.
- Tarım, M. (2017, Aralık). Kimya sektöründe iş kazaları ve meslek hastalıkları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (32), 49-64.
- Williams J.C. (2015a). Heart – A proposed method for achieving high reliability in process operation by means of human factors engineering technology. *Safety and Reliability*, 35 (3), 5-25. doi: 10.1080/09617353.2015.11691046
- Williams J. C., Bell J. L. (2015b). Consolidation of the error producing conditions used in the human error assessment and reduction technique (HEART). *Safety and Reliability*, 35 (3), 26-76. doi: 10.1080/09617353.2015.11691047

## Analisys of Impact Performance of Repaired Radome after Birdstrike Structure

Güray ERTEĞİ<sup>1</sup>  
Faruk ELALDI<sup>2</sup>

### Giriş

Kompozit malzemeler, ağırlık-mukavemet oranı açısından avantajlı olduğu için otomotiv, deniz araçları, askeri araçlar, spor gereçleri ve özellikle havacılık gibi birçok endüstri alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Havacılık alanında, uçak ve helikopterlerin özellikle kanat, burun, kuyruk gibi ana yapısal parçalarında kompozit malzemelerden yoğun olarak faydalandığı görülmektedir. Çekme ve basma mukavemetlerinin daha iyi olmaları nedeniyle ana taşıyıcı elemanlarda daha ziyade karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler tercih edilirken, cam elyaf takviyeli kompozitler de ucuz olmaları ve hava araçlarının burulma, eğilme ve çarpışma gereksinimlerini karşılamaları nedeniyle ikincil yapılarda yaygın olarak tercih edilen malzemelerdir. İlave olarak elektromanyetik alandan çok fazla etkilenmemeleri nedeniyle cam elyaf takviyeli kompozitlerin özellikle radom gibi önemli komponentlerde kullanılması zorunludur.

Kuş çarpması (bird strike) "uçan bir kuşun, hareket halindeki bir uçağa çarpması olayı" olarak tanımlanmaktadır. Bu olay uçuş güvenliği açısından ciddi bir risktir. Uçaklardaki kuş çarpmaları vakaları çok yüksek hızda (yaklaşık 150 m/s) olduğundan, ciddi kazalara, can ve/veya mal kayıplarına yol açmaktadır [1]. Şekil 1 ve Şekil 2'de maddi hasarlı örnekler verilmiştir.



Şekil 1 Kuş Çarpması A320-200

---

<sup>1</sup> Başkent Üniversitesi, Savunma Teknolojileri ve Sistemleri, Bölüm

<sup>2</sup> Prof. Dr., Başkent Üniversitesi, Savunma Teknolojileri ve Sistemleri

Kuş çarpması olgusu, havacılık tarihinde ilk defa Amerika Birleşik Devletleri'nin Ohio eyaletinde, 1905 yılında raporlanmıştır [2]. Günümüzde bu tür hasar olayları artan bir şekilde raporlanmaya devam etmektedir. Bugüne kadar en ölümcül kuş çarpması kaynaklı kaza ise Amerika Birleşik Devletleri'nde 1960 yılında meydana gelen Lockheed L-188 Electra kazasıdır. 72 yolcunun ölümüyle sonuçlanan bu kaza sonucu FAA, uçak motorları için yeni bir yönetmelik oluşturulmasını sağlamıştır [3]. Hasarlı kuş çarpması olayları Şekil 1'de verilen örneklerde görülmektedir.



Şekil 2 a. Egypt Air Boeing 737-800 b. Atlantic Southeast Airlines CRJ-200 c. THY Boeing 737-800

Hava yolları için büyük bir problem olan kuş çarpması özellikle uçakların burun kısmında yer alan radom bölgesinde maddi hasara yol açmaktadır (Şekil 2).

Hava araçlarında aracı oluşturan komponentler yaşam döngüleri boyunca çeşitli kompleks yüklere maruz kalmaktadırlar. Bunlar statik ve dinamik yüklerin yanında darbe/hasar yüklerini de içermektedir. Bu darbe/ hasar yüklerini uçaklar için detaylandırmak gerekirse; en sık yaşanan darbe sonucu oluşan hasarlar burun bölgesi ve motor bölümünde yer almaktadır [4].

FAA tarafından yayınlanan, 2008-2015 arası verilere göre; kuş çarpması raporlamaları bir önceki döneme göre %45 artmıştır. Hasarlar ve hasarlar sonucu meydana gelen problemler (gecikmeler, tazminatlar, AOG) hava yollarına maddi açıdan büyük yük getirmektedir. Bu kazalar maliyet açısından bakıldığında hava yollarına; 154 Milyon \$'ı onarım için olmak üzere, gecikmeler ve diğer hizmetlerin aksamıyla beraber yıllık 1,2 Milyar \$'a mal olmaktadır. İstatistiklere göre kuş çarpmasının maliyeti uçak başına 160.000 \$'a kadar çıkmaktadır [5].

Hava araçlarında burun bölgesini oluşturan kubbe (dome) biçimindeki bölüm (Radar Dome), kısaca RADOM olarak tanımlanmaktadır. Radom'un içerisinde farklı amaçlarda kullanılmak üzere bir radar bulunmaktadır. Radar hem alıcı hem de verici antenlere sahip elektronik bir ekipmandır. Bu antenlerin kayıp olmadan elektromanyetik gönderme ve alma yapabilmesi için, radomun geçirgen bir yapıda olması ve aerodinamik yapıyı bozmadan korunması gerekir. Metalik ya da karbon elyaf takviyeli malzemeler sinyali zayıflatıp bloke ettiği için genellikle radom yapılarında

tercih edilmezler. Bu bağlamda bu yapılarda en çok tercih edilen malzeme cam elyaf takviyeli plastik malzemelerdir.

Katmanlı olarak tasarlanarak imal edilen radom yapısal olarak iki temel yüke maruz kalır. Birinci yük kuş çarpmasıdır. Diğer yük ise aerodinamik yüklerdir. Uçuş emniyeti açısından kritik olduğu için kuş çarpması sivil havacılık regülasyonlarına tabidir. Kuş çarpması sertifikasyon kuralları dâhilinde dünyada farklı havacılık otoriteleri tarafından denetlenmektedir. Bu konuda Türkiye'deki otorite ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'dür [6].

Bu çalışmada temel olarak EASA CS-29 taşıma kategorisi döner kanat hava araçları temel alınmıştır. Bu standardın ayrıntısı aşağıda belirtildiği gibidir [7].

§ 29.631: Döner kanat 8000 feet ve daha az irtifada, VNE ve VH (hangisi daha düşük) hızlarında (Kuşa bağlı olarak döner kanadın uçuş yoluna göre) 1 kg'lık (2,2 lb) kuş çarpmasının güvenli uçuş ve iniş kapasitesine (Kategori A için) ya da güvenli iniş kapasitesine (Kategori B için) uygun olacak şekilde tasarlanmalıdır. Uyum test veya analiz veya yeterince temsil edilmiş gerçeğe yakın yapısal bir tasarım üzerinden doğrulanmalıdır.

Bu çalışmada öncelikli amaç numune üzerinde kuş çarpması darbesi benzetimi yapmaktır. Böylece hem malzemenin davranışı gözlemlenecek hem de tamir sonrası durumu test edilecektir.

Tamir; hem hava aracının tekrar uçuşa verilmesi için hem de uçuş güvenliği için önem teşkil etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı tamir edilmiş yapının performansını hasar almamış yapı ile kıyaslayıp tamir yöntemini doğrulamaktır.

Ceyla Akın et al. [8] tarafından yapılan çalışmalarında, düşey ağırlık test cihazı kullanarak yapmıştır. Test için E-Cam malzeme kullanarak, [0/90] 2s , [-30/30] 2s , [-45/45] 2s olmak üzere üç farklı şekilde dizilim kullanmış ve sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Enerji seviyeleri [29,43], [22,02], [14,17] olarak hesaplanmıştır. Deney sonucunda fiber oryantasyonun darbe deneyine az bir etkisi olduğu sonucunu varmıştır. Bunun yanında parçanın dört tarafından parçanın bağlanması iki yanından bağlanmasına göre daha dengeli bir yapı olduğunu göstermiştir.

E. Archer al. [9] çalışmasında, kompozit uçak yapılarının hasar senaryolarını ve bu hasarlara ait onarım süreçlerini incelemiştir. Bu çalışmada hem tasarım kriterleri hem de onarım kriterleri sertifikasyon açısından ele alınmıştır.

Onarım tipleri olarak dört farklı çeşit olarak sınıflandırmıştır: reçine enjeksiyonu, kırılmış elyaf, yapıştırma peç ve bal peteği tamir yer almaktadır. Reçine enjeksiyonu genel olarak yapısal olarak kritik olmayan kompozit tamirlerinde kullanılmaktadır. Kırılmış elyaf tamiri delik hatalarında tamir amacıyla deliğin kırılmış elyaf ile doldurularak daha sonra reçine ile birleştirilmesine tipi tamirdir. Yapıştırma peç tamiri yapısal bütünlüğü koruması için en yaygın kullanılan tamir biçimidir. Bu tip tamirde peç ana yapıyla aynı malzemeden seçilir. Peç duruma maliyet ve hasarın o anki önceliğine göre yumuşak (kür işlemi olmamış) veyahut (kür işlemi tamamlanmış) seçilmektedir. Aerodinamik yüzeylerde ise yüzeye uyumu için peçin işlenmesi gerekebilir. Bal peteği tamirinde ise hasarlı kısım ve özellikle varsa nemden etkilenmiş kısım tamamen çıkarıldıktan sonra tamir işlemi yapılmaz. Tamir işleminde iç kabuktan sonra köpük reçine bal peteği yerine kullanılır daha sonra ise dış kabuk tamir edilir.

Peç tipi yama yöntemi kullanılmasında yapısal bütünlüğü korunması için kертme (scarf) yapılması önem taşımaktadır. Ayrıca 2.5 mm kalın yüksek yük taşıyan parçalarda ve daha sonra tak- çıkar yapılacak durumlarda MIL-HDBK-17.3 standardına göre yapıştırma yerine perçin ile bağlantı yapılması gerekmektedir.

## Deneysel Yöntem

### Numune Seçimi

Bu çalışmada, numune seçimi için iki önemli kriter belirlenmiştir: Birincisi numunenin gerçek hava aracında bulunması ve ikincisi radom bölgesini örnekleyebilmesi olarak tayin edilmiştir. Bu kapsamda envanterde bulunan bir döner kanat platformundan alınan bir parça numune seçiminde kullanılmıştır.

Radomda kullanılan bu malzeme olarak Park Aerospace şirketinin ürettiği E-Glass E-746 7781 malzemesidir. Malzeme özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir. Muadil malzeme ise Hexcel firmasına ait E-glass F161 7781’dir [10]. Bu iki malzeme birbirine alternatifli olarak hem tasarım hem de üretimde kullanılmaktadır. Bu malzeme radom yapılarında düşük dielektrik sabiti yüzünden kullanılmaktadır. Düşük dielektrik sabiti elektromanyetik geçirgenliği temsil etmektedir, düşük değerler radar sinyalinin daha düşük kayıpla yayınlanmasını sağlamaktadır.

Tablo 1 Malzeme Özellik Tablosu

Malzeme	7781 E-Glass
Dokunmuş Alan Ağırlığı (gsm)	300
Prepreg Reçine Oranı (%)	34- 40
Reçine Akışı (162°C, 3.45 Bar) (%)	7 – 21
Boşluk (162°C) (% maks.)	2.0
Jel Zamanı (dk)	1 – 3
Tabaka Tg – std kür (°C)	180
Tabaka Tg – post kür (°C)	230
Dielektrik sabiti (Dk) @ 9.375GHz	4.2
Kayıp tanjantı (Df) @ 9.375GHz	0.016

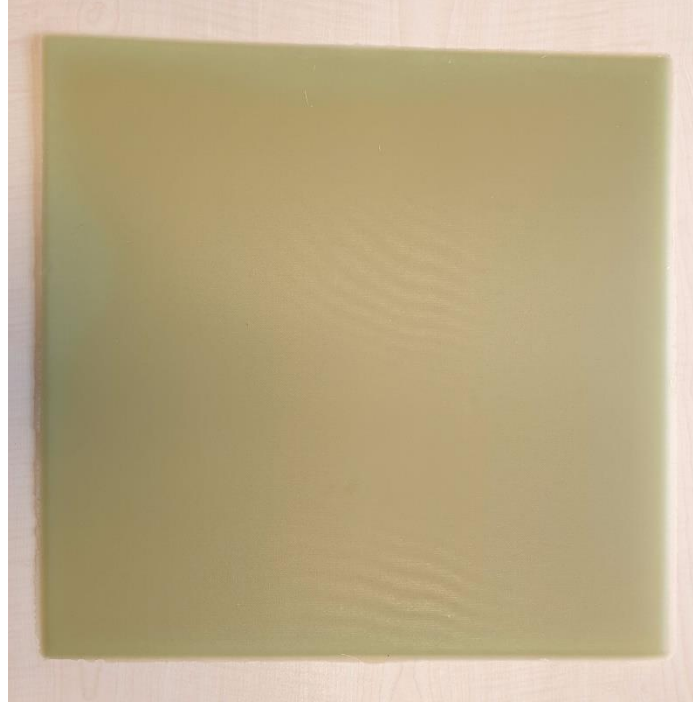
Test parçasının orta düzleme göre simetrik değildir fakat simetrik yapıya çok yakındır. Bu nedenle parçada kür işlemi sonucunda herhangi bir çarpılmaya rastlanmamıştır. Numune serim yönleri açısından, Tablo 2’te görüldüğü üzere, eksi yönünde katman içermediğinden dengeli yapıda (balanced) değildir.

Tablo 2 Serim Yönleri Tablosu

KATMAN NO	YÖN	MALZEME
Katman001	0°	CAM ELYAF
Katman002	45°	CAM ELYAF
Katman003	0°	CAM ELYAF
Katman004	45°	CAM ELYAF
Katman 005	0°	CAM ELYAF
Katman006	45°	CAM ELYAF
Katman007	0°	CAM ELYAF
Katman008	45°	CAM ELYAF
Katman009	0°	CAM ELYAF
Katman010	45°	CAM ELYAF

## Üretim Süreci

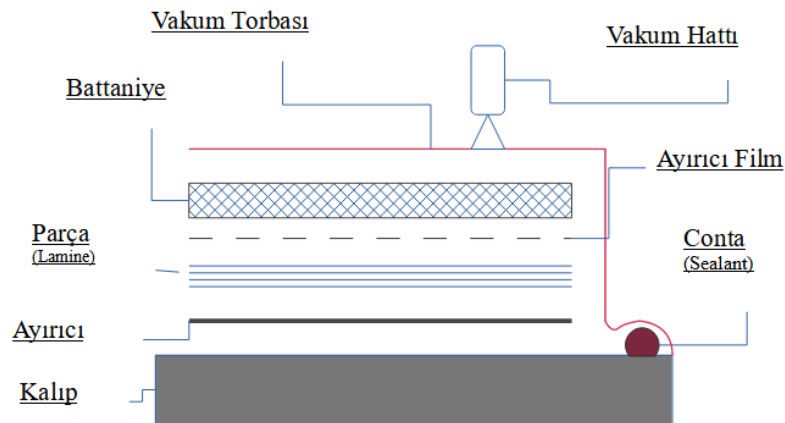
Seçilen numunenin serimi, temsil ettiği ana yapıya uygun şekilde, bire bir aynı dizilimde toplam 10 kat olarak gerçekleştirildi. Üretim el-yatırma tekniği ile düz bir kalıp kullanılarak gerçekleştirildi. Kalıp malzemesi olarak 6061 serisi alüminyum kullanılmıştır.



Şekil 3 Tam boy Kesilmemiş Numune #1

Numuneler iki set halinde 300mm X 300mm (Şekil 3) olacak şekilde iki plaka olarak serilmiştir.

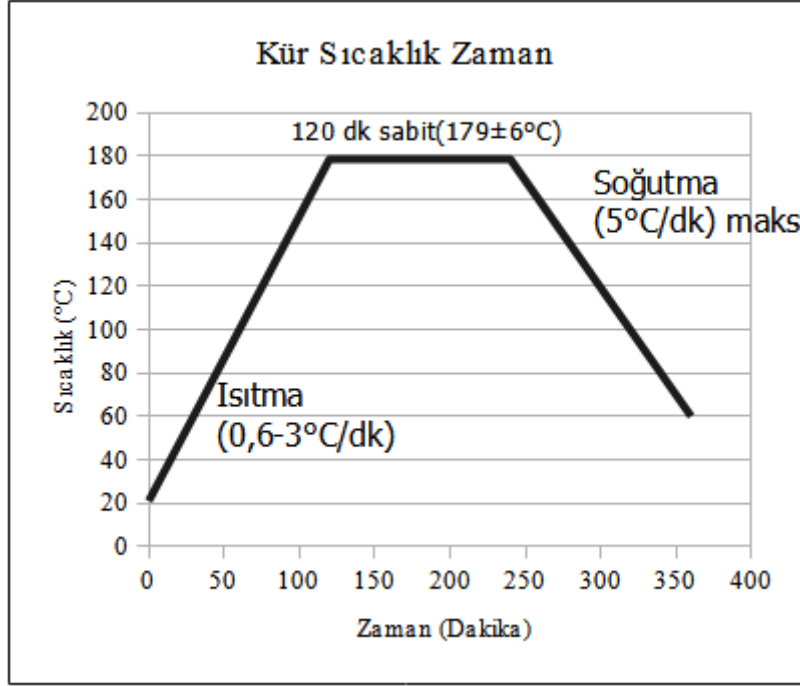
Serim otoklav için yapılmış olup serim biçimi malzeme üreticisinin tarifine uygun birebir uygulanmıştır. Serimin üzerine yapılacak kalıp olarak toleranslar dâhilinde üretilmiş düz alüminyum plaka kullanılmıştır. Prosese kalıbın en üst yüzeyine ayırıcı sürülerek başlanmıştır. Buradaki amaç kalıbın, otoklavdaki üretimden sonra parçadan kolay ayrılmasını sağlamaktır. Daha sonra kompozit malzeme dizilim sırasına uygun şekilde üst üste 10 kat istiflenerek olarak serim gerçekleştirilir ve parçanın otoklavda kürlenmeye hazır hale gelebilmesi için şematik gösterimi Şekil 4'te paylaşılan diğer bileşenler ile örtülerek tamamlanır.



Şekil 4 Serim Yöntemi

Kompozit parçanın kürleme boyunca kontrollü olarak Şekil 2.6'daki sıcaklık eğrisiyle ısıtılır. Belirlenmiş sıcaklığa gelince sıcaklık sabitlenir. Bu sıcaklıkta, belirlenmiş süre bekledikten sonra aynı şekilde kontrollü bir biçimde soğutulur. Tüm bu süreçte, basınç da aynı şekilde kontrollü bir biçimde artırılır. Buna ek olarak süreç boyunca kompozit parça serim kalıbı üzerinde vakum altında tutularak katmanlar arası delaminasyon ve boşluklar giderilmiş olur

Numuneler için malzeme üreticisinin önerdiği şekilde kür döngüsü (cure cycle) kullanarak kürleme işlemi tamamlanır. Parça tam vakum altında torbalanır. Basınç değeri 310 kPA olarak tanımlanmıştır. Kür grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5 Otoklav Sıcaklık-Zaman grafiği [14]

Tüm testler için tek bir boyut belirlenmiştir. Boyut olarak mevcut test ekipmanının uyumlu olması adına 100mm genişlik ve 100mm boy seçilmiştir. Kalınlık ise 2,65 mm ( $\pm 0,10$ ) olarak ölçülmüştür.

Numune onarım süreci adımları aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

İlk adım olarak her bir numunenin hasar alan kısmının tamamı kesilerek çıkarılmıştır.

İkinci adım olarak hasar bölgesinden Şekil 2.9 kenarlara doğru 1/11 eğim verilerek kesilerek çıkarılmıştır.

YAMA (PEÇ) için 4 farklı şekilde üretilebilmektedir.

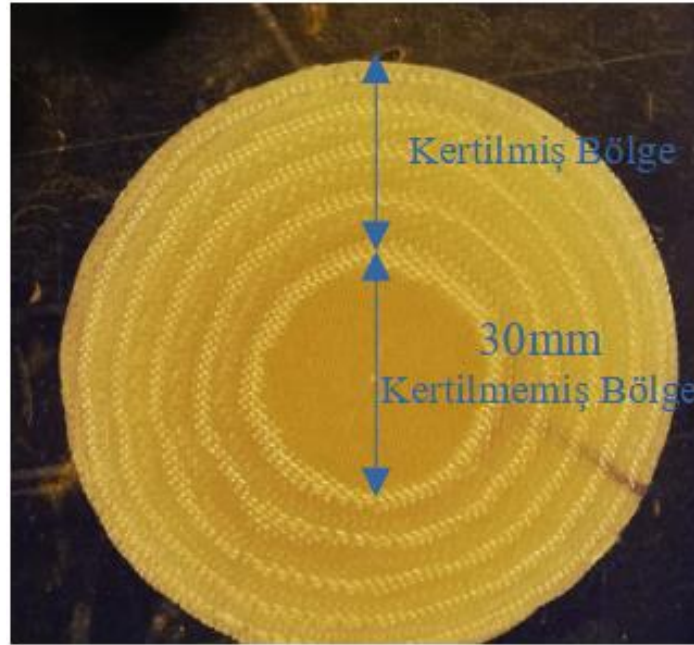
- Yumuşak yama
- Sert işlenmiş yama
- Sert kalıplanmış yama
- Yarı-sert yama

Bu onarım yönteminde sert kalıplanmış yama kullanılmıştır.



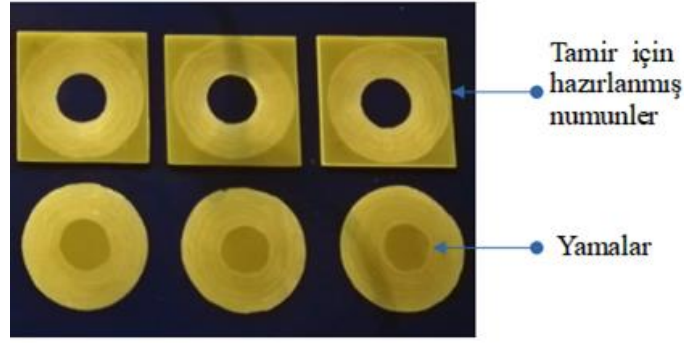


Şekil 6 Tamir için hazırlanan numune örneği



Şekil 7 Tamir peçi (yama) örneği

Üçüncü adım olarak hiç hasar almamış tamir numunesinden hasar almış bölgeye karşılık gelecek ve yönleri birebir aynı kalacak şekilde tamir yaması çıkartılmıştır. Şekil 6'da tamir peçi kertme bölgesiyle beraber gösterilmiştir. Tüm numuneler Şekil 8'de gösterilmiştir.

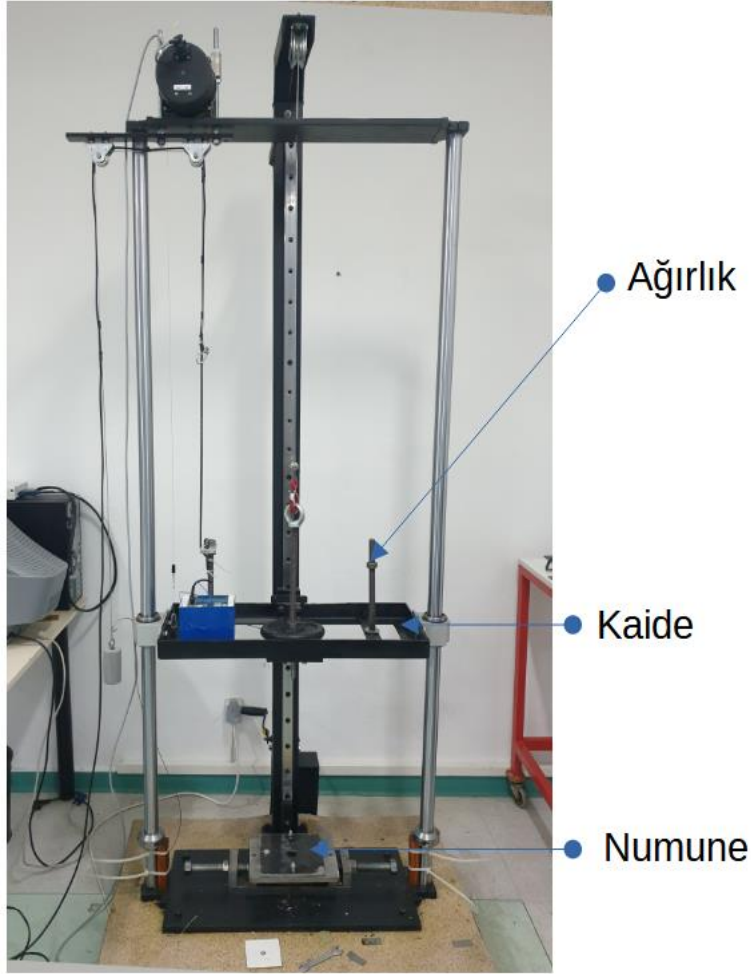


Şekil 8 Numuneler ve yamalar

Son aşama olarak Loctite Ea 956 Aero serisi yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmıştır. Yapıştırma sürecinde numune ve peç serim yönleri birebir aynı olacak şekilde hizalanarak tamir işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yapıştırıcı tamir işlemleri için kullanılan oda sıcaklığı kür olan bir yapıştırıcı tipidir. Oda sıcaklığında (25 °C) 7 saatte kür işlemi gerçekleştirilmiştir [11,12].

### Deneysel Süreç

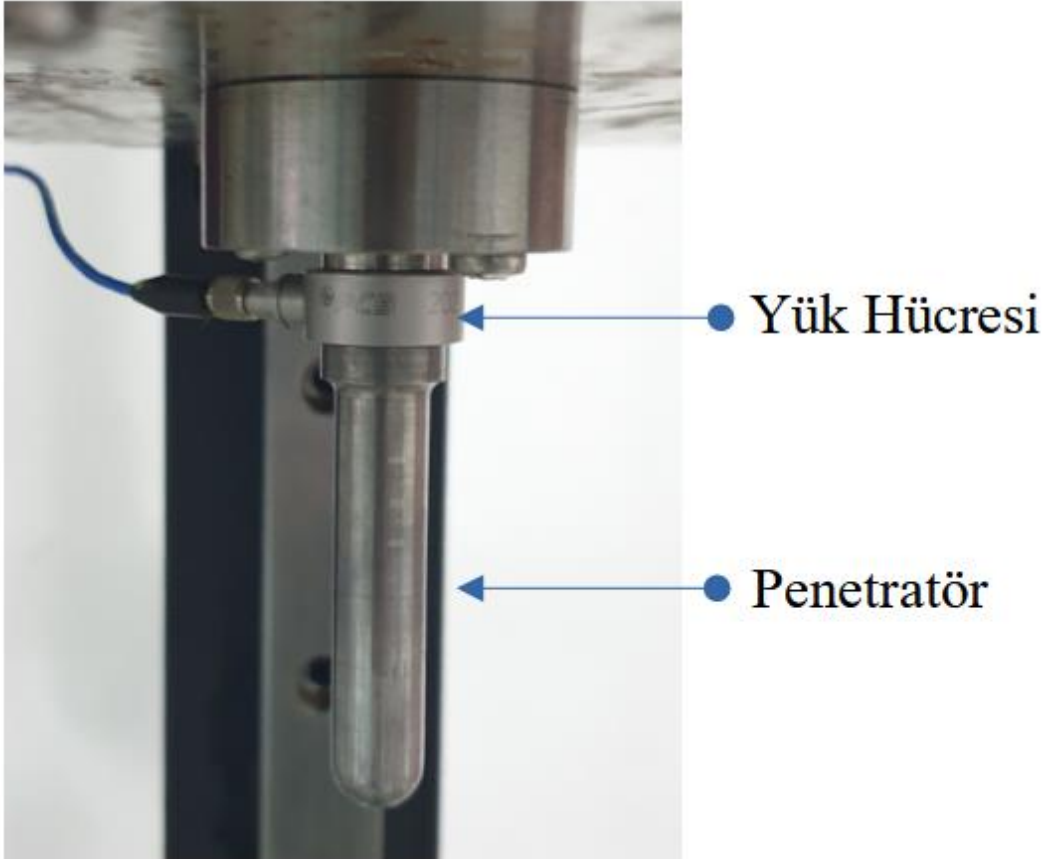
Başkent Üniversitesinde bulunan düşük hızlı darbe test düzeneği (Şekil 9) kullanılmıştır. Bu deney düzeneği dikey düşüş prensibiyle çalışmaktadır.



Şekil 9 Başkent Üniversitesi Düşük Hızlı darbe düzeneği

Deney düzeneğinde seçilen ağırlık yer çekimi ivmesi ile hızlandırılarak belirlenen numuneye çarpıtılmıştır. Deney düzeneği raylar üzerinde serbestçe hareket eden bir kaide üzerinde çalışmaktadır. Çarpma enerjisi kaidenin üzerine koyulan değişebilir ağırlık ve yükseklik ayarlanarak sağlanmaktadır. Kaidenin uç kısmına monte edilmiş bir uç geometrisi küresel yapıda olan silindirik bir penetratör bulunmaktadır. Çapı ise 12,7 mm'dir.

Numene iki plaka arasında alınarak (fix boundary) sınırlandırılmıştır. Bu sınırlama çarpma bölgesini kapsamamaktadır. Penetratör (Şekil 10) çarpma bölgesine serbestçe girebilmektedir.



Şekil 10 Penetratör

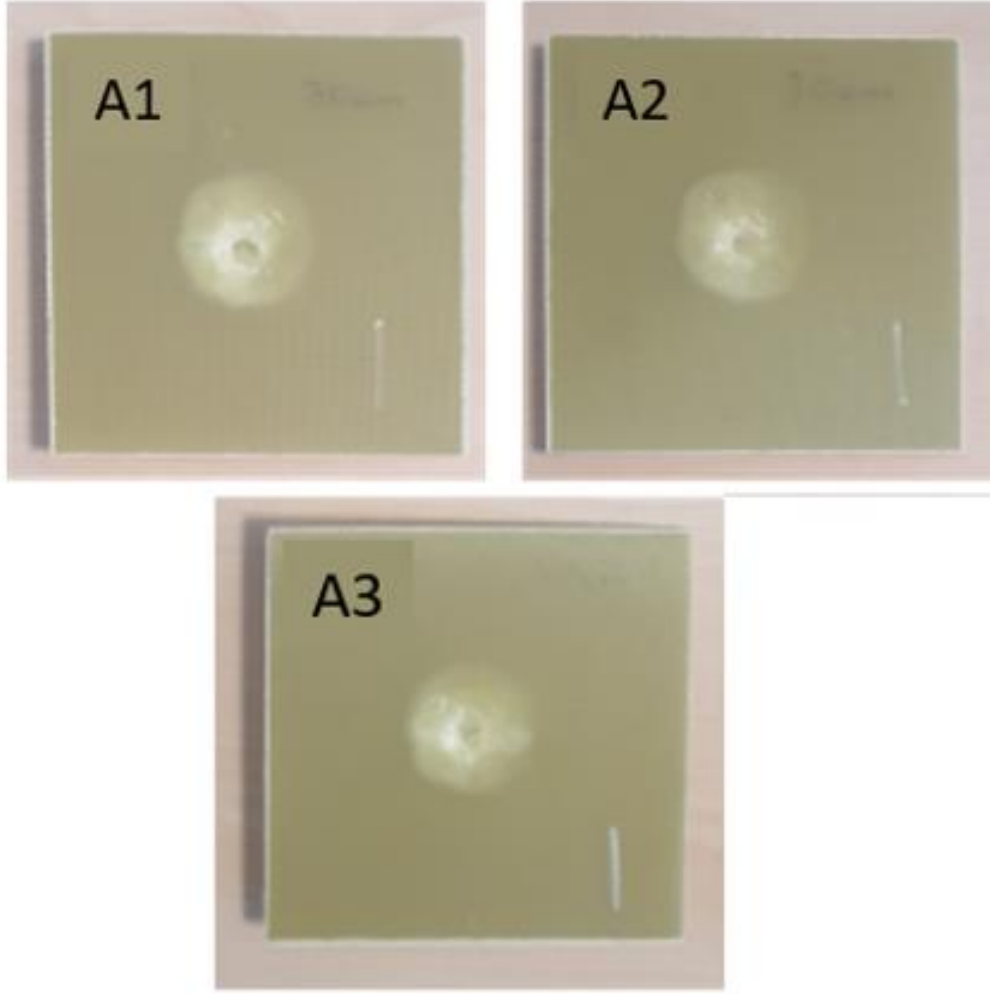
#### Baz numune Testi

Daha önce hiç tamir görmemiş üretim hattından çıktıkları haliyle bulunan numuneye baz numune ismi verilmiştir. Toplam 3 adet numune A1,A2 ve A3 olarak isimlendirilmiştir. Numuneler birbiriyle tamamıyla aynıdır. İsimlendirme test sırasında alınacak verilerin karışmaması için yapılmıştır. Birkaç numune denemelerde hasar aldığı için yedek olarak ayrılan numunelerden biri kullanılmıştır.

Kuş çarpması sırasında kuşun yüzeye taşıdığı enerjiyi hız ve kütle parametreleri üzerinden değerlendirerek laboratuvar ortamında hızın fazlaca artırılamaması nedeniyle kütle artışı sağlanmak suretiyle enerji dengesi sağlanmıştır. Bu nedenle ağırlık olarak 19 kg seçilmiştir. Seçilen ağırlık numunede perforasyona sebep olmayan en düşük ağırlık olarak seçilmiştir. Daha yüksek ağırlık seçiminde numune perfore olmakta ve deney tekrarlarına bilirliliğini kaybetmektedir. Çarpma anında enerji hesaplamak için aşağıdaki eşitlik (1) kullanılmıştır.

$$Ev = 1/2 mV^2 \quad (1)$$

Darbeden ardından test numunelerinin hasar durumuna ait görselleri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11 A1, A2 ve A3 numuneleri

Her bir numune için 3 grafik verilmiştir.

Hız Zaman

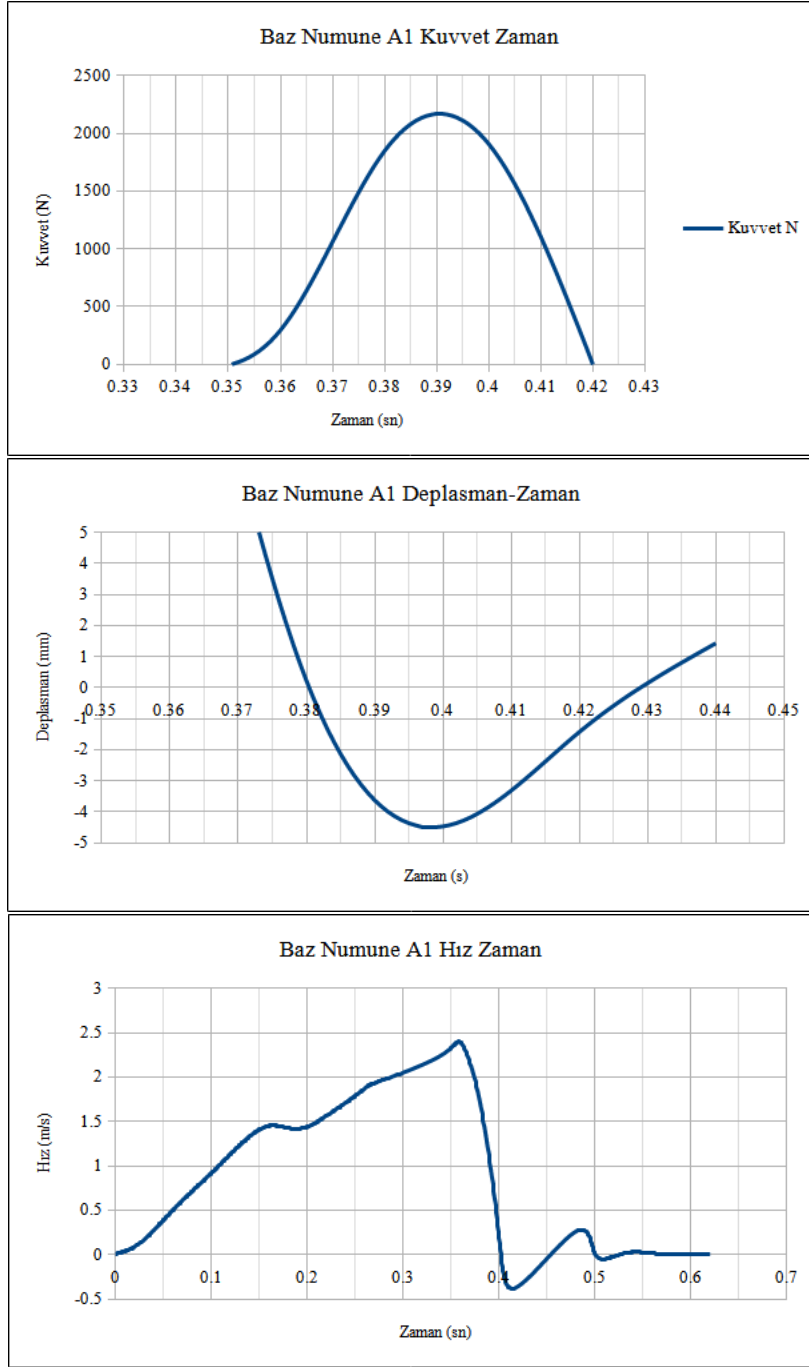
Deplasman Zaman

Kuvvet Zaman (Her deneyde veri elde edilememiştir.)

Grafiklerde ham verilerde zaman kısmı veri kaydedicisi ile deneyin gerçek zamanı arasındaki boş kalan zaman çıkartılmıştır. Bu yüzden t0 tam sıfırdan başlamamaktadır.

Tüm grafiklerde maksimum hız ve enerji çarpma anı referans alınarak verilmiştir

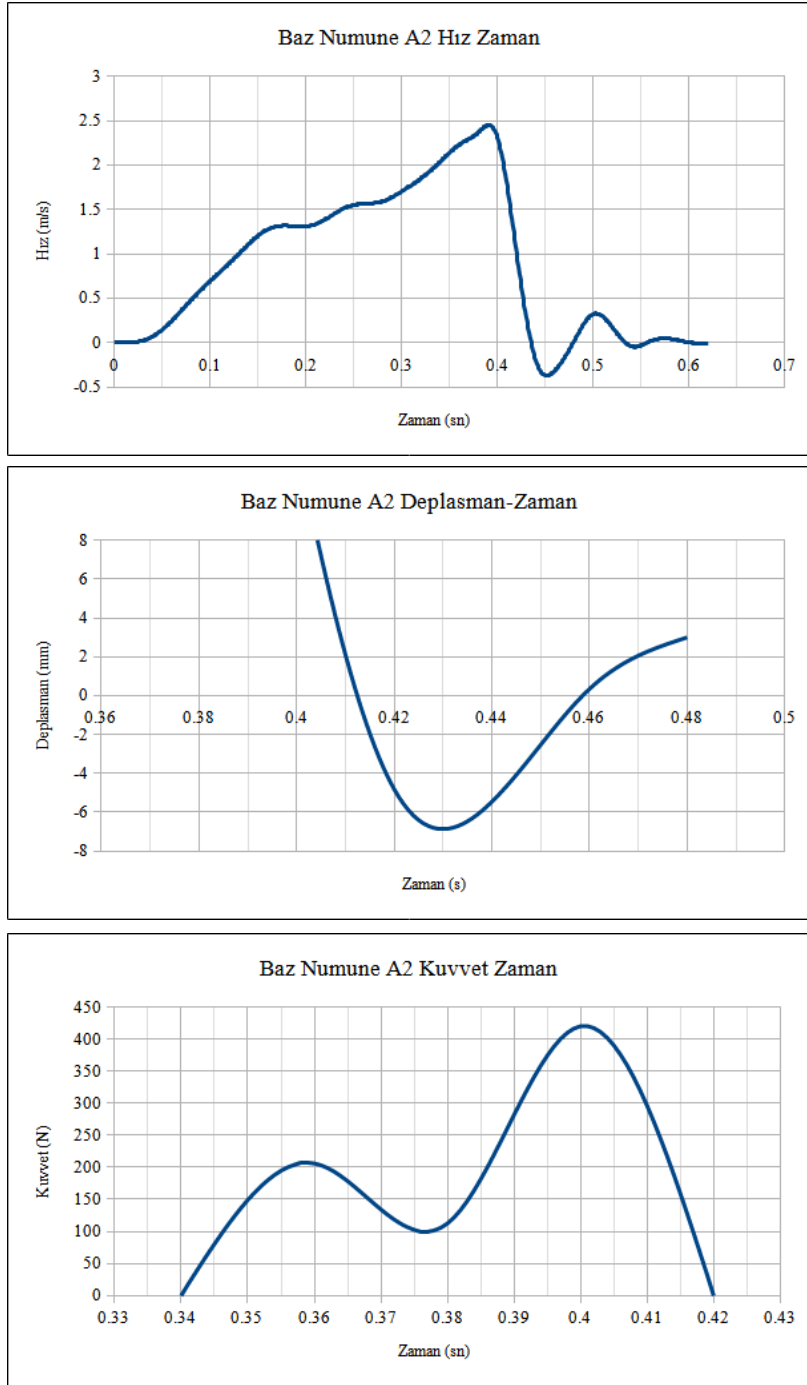
A1 Numune:



Şekil 12 Baz Numune A1 (a) Hız Zaman grafiği (b) Deplasman Zaman grafiği c) Kuvvet Zaman grafiği

Baz A1 numunesine ait maksimum deplasmanı, hızı ve kuvveti içeren grafikler Şekil 12’de çizdirilmiştir. Kuvvet değeri maksimum değer değil çarpma anı referans alınmıştır.

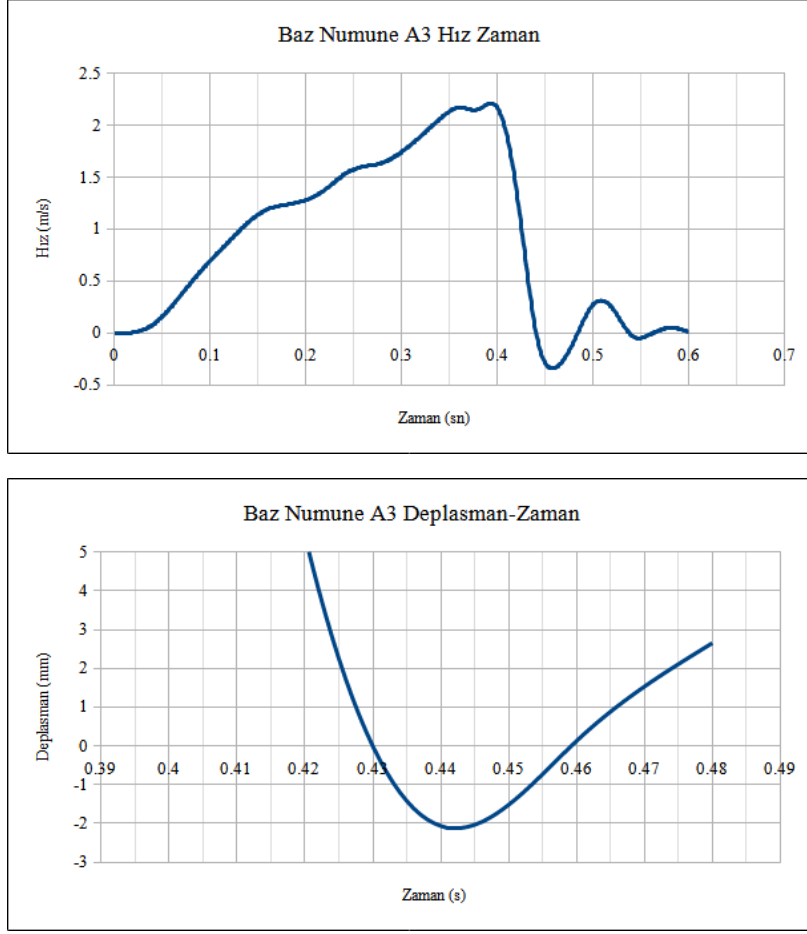
A2 Numune:



Şekil 3 Baz Numune A2 (a) Hız Zaman grafiği (b) Deplasman Zaman grafiği c) Kuvvet Zaman grafiği

Baz A2 numunesine ait maksimum deplasmanı, hızı ve kuvveti içeren grafikler Şekil 4'te çizdirilmiştir Kuvvet değeri maksimum değer değil çarpma anı referans alınarak alınmıştır.

A3 Numune:

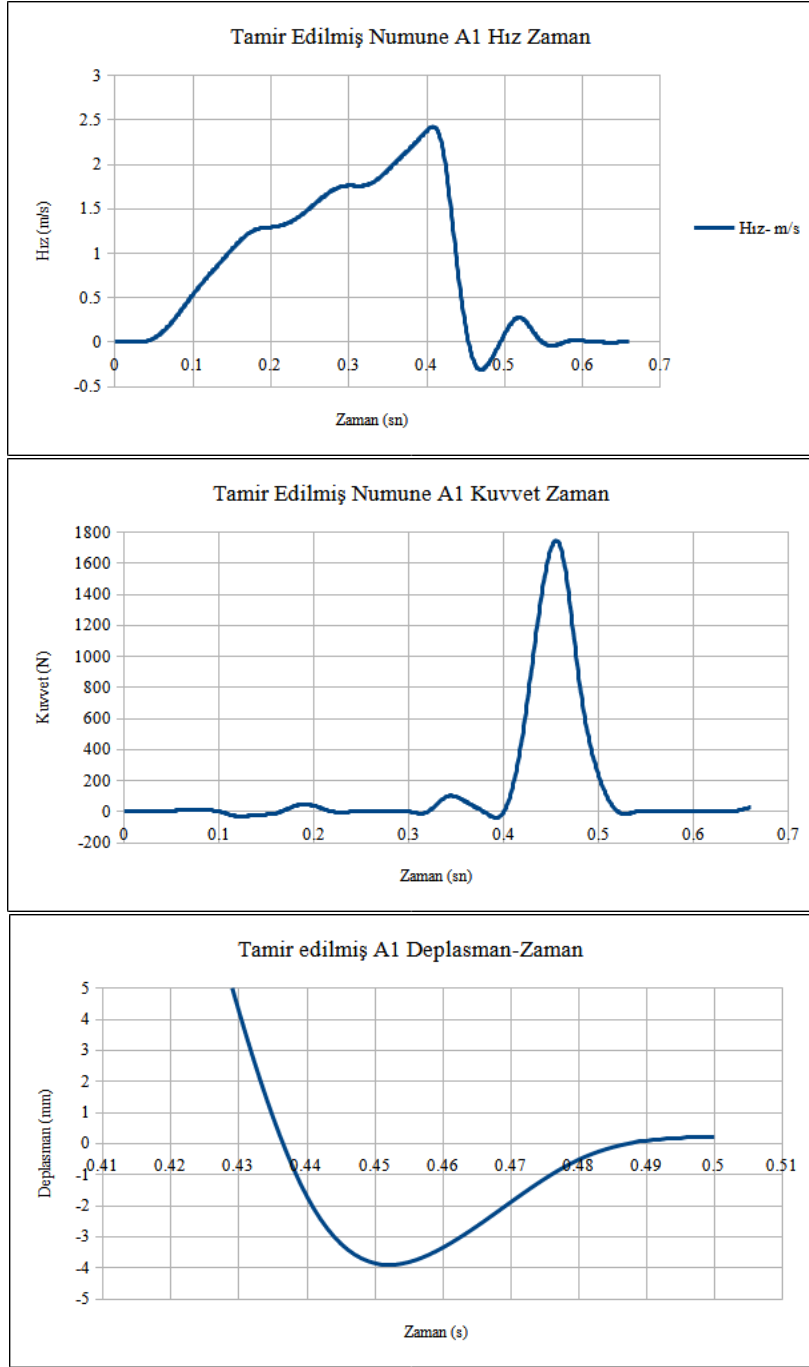


Şekil 5 Baz Numune A3 (a) Hız Zaman grafiği (b) Deplasman Zaman grafiği

Baz A3 numunesine ait maksimum deplasmanı ve hızı içeren grafikler Şekil 6'te çizdirilmiştir  
Tamir Edilmiş Numune Testi

İlk testlerin sonunda numunelerin hasara uğramalarından ardından hasara uğramış bölümler kesip çıkartılmış ve aynı malzemedен onarılarak her bir numune birebir aynı teste tabi tutulması bu başlık altında incelenmiştir.

Baz numunelerde kullanılan yapılan testler aynı yükseklik ve ağırlık ile tekrar edilmiştir.  
Tamir edilmiş Numune A1:

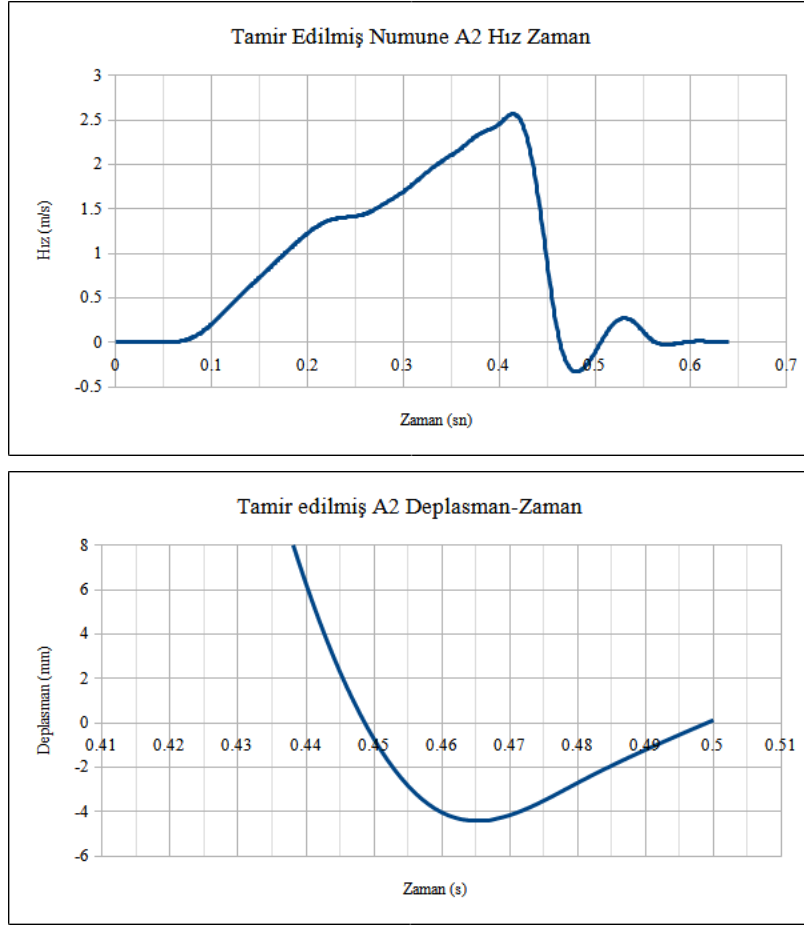


Şekil 15 Tamir Edilmiş Numune A1 (a) Hız Zaman grafiği (b) Deplasman Zaman grafiği c) Kuvvet Zaman grafiği

Tamir edilmiş A1 numunesine ait maksimum deplasmanı, hızı ve kuvveti içeren grafikler Şekil 15'te çizdirilmiştir.



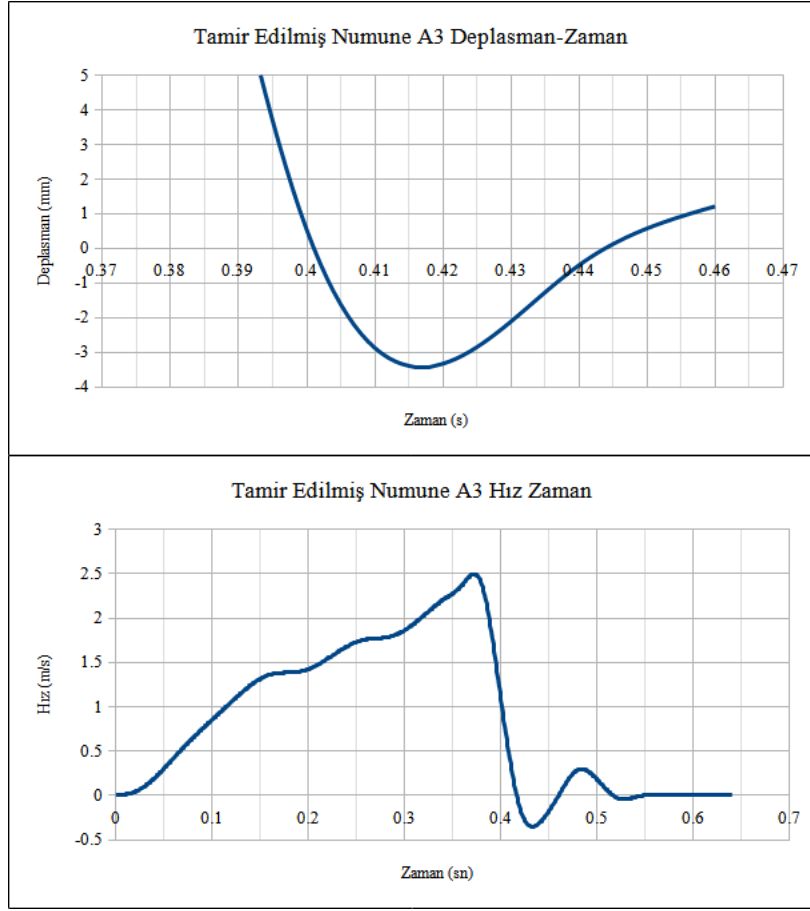
Tamir edilmiş Numune A2:



Şekil 7 Tamir Edilmiş Numune A2 (a) Hız Zaman grafiği (b) Deplasman Zaman grafiği

Tamir edilmiş A2 numunesine ait maksimum deplasmanı ve hızı içeren grafikler Şekil 8'da çizdirilmiştir. Kuvvet zaman grafiği bu deneyden anlamlı veri üretilmediğinden türetilmemiştir.

Tamir edilmiş Numune A3:



Şekil 9 Tamir Edilmiş Numune A3 (a) Hız Zaman grafiği (b) Deplasman Zaman grafiği

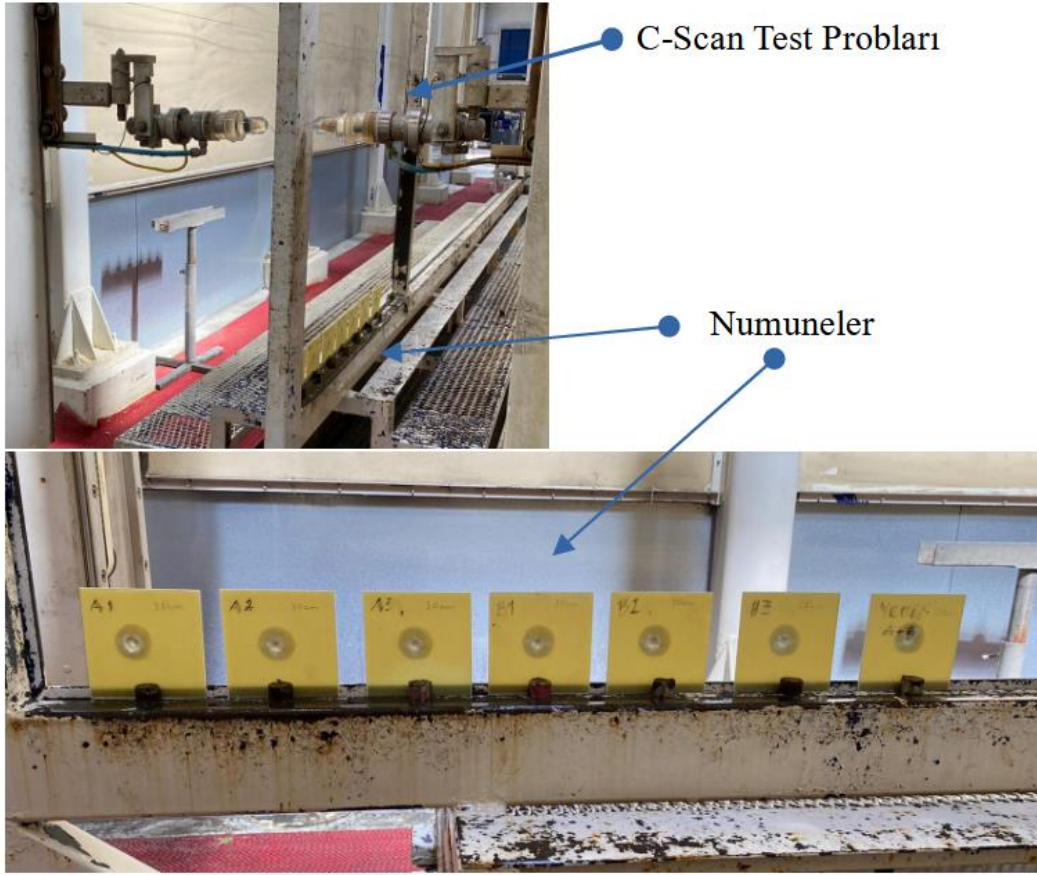
Tamir edilmiş A3 numunesine ait maksimum deplasmanı ve hızı içeren grafikler Şekil 10'de çizdirilmiştir. Kuvvet değeri maksimum değer değil çarpma anı referans alınarak alınmıştır.

## Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

### Hasar Bölgesi İncelemesi

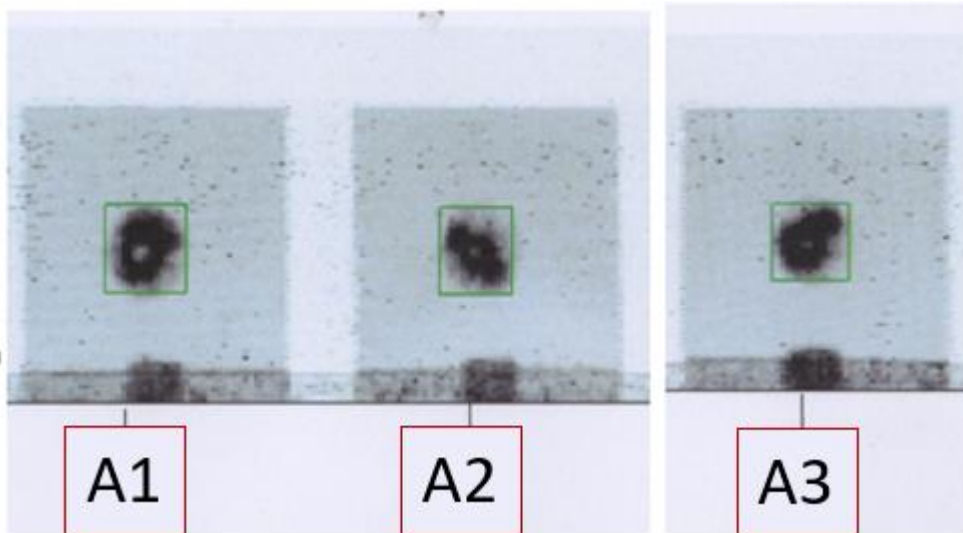
Numuneler testin ardından, C-Scan yöntemi kullanılarak hasarı tespit edebilmek için tarama yapılmıştır. C-Scan yöntemi endüstride yoğun olarak kullanılan hasarsız muayene yöntemlerinden biridir. Kompozit parçaların hem üretim hatalarını hem de hava aracı üzerine takıldıktan sonraki muayene aşamalarında kullanılan bu yöntem ultrasonik ses dalgalarının yansımalarını temel almaktadır [11].

Tüm numuneler ilk ve ikinci hasardan sonra Şekil 18'te C-Scan testine sulu ortamda muayene edilmiştir.



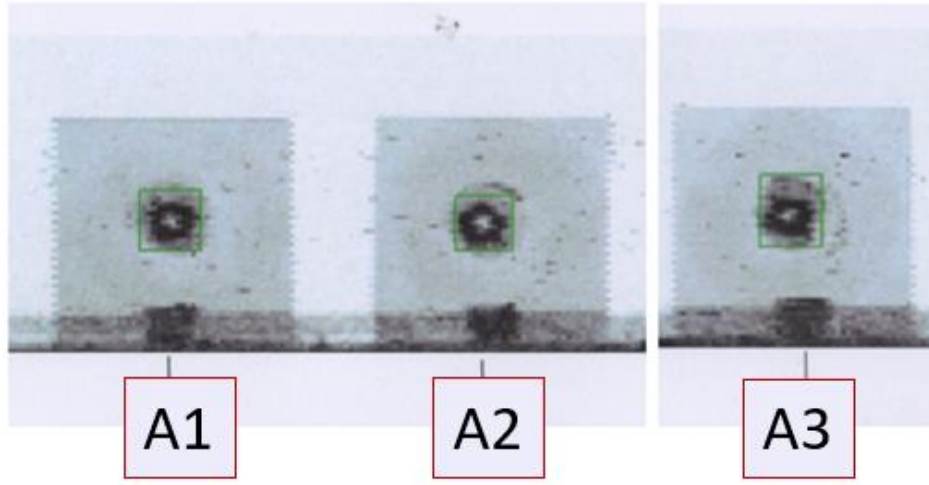
Şekil 11 Numunelerin C-Scan ile ölçümü

Hasarlı numunelerin ilk darbe testine ardından yapılan C-Scan sonuçlarının görselleri Şekil 19'da paylaşılmıştır. Hasarlı bölgeler siyah olarak görselleştirilmiştir.



Şekil 12 İlk Darbeden sonra A1, A2, A3 C-Scan Sonuçları

Tamir ardından yapılan ikinci darbe testinde hasarlanan numunelerin yapılan C-Scan sonuçlarının görselleri Şekil 20'de paylaşılmıştır. Hasarlı bölgeler siyah olarak görselleştirilmiştir.



Şekil 20 Tamirden sonra A1, A2, A3 C-Scan Sonuçları

## Sonuç

Yapılan çalışmada 3 adet numune, tamirden önce ve tamirden sonra olmak üzere ikişer kere teste tabi tutulmuş olup toplam 6 deney sonucu alınmıştır. İlk grup testler hiç darbe almamış ve tamir edilmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İkinci grup testler ise ilk darbe sonucu hasar oluşan kısımları tamir edilmiş numuneler üzerinde (ilk grup testlerle aynı test koşullarında) yapılmıştır.

Test sonuçları incelendiğinde 300 mm ve 19 kg ağırlığında penetratörün yarattığı deplasman baz numunelerde ortalama 4 mm gerçekleşmiştir. Tamir edilmiş numunelerde penetratör deplasmanı ise ortalama 3,57 mm gerçekleşmiştir. Tamir sonucu numune yapısal olarak aynı teste maruz kaldığında benzer performansı sergilemiştir.

Tablo 3 Tüm numuneler için Kuvvet, Deplasman, Hız tablosu

	Kuvvet (N)	Deplasman (mm)	Hız (m/s)
A1 Baz	1906.47	4.47	2.38
A1 Tamir	1695.27	3.35	2.38
A2 Baz	420.17	5.47	2.36
A2 Tamir	*	4.04	2.53
A3 Baz	*	2.07	2.17
A3 Tamir	*	3.33	2.38

\*Kuvvet değerleri yapılan deneylerde anlamlı veri üretilmediğinden tabloya yansıtılamamıştır.

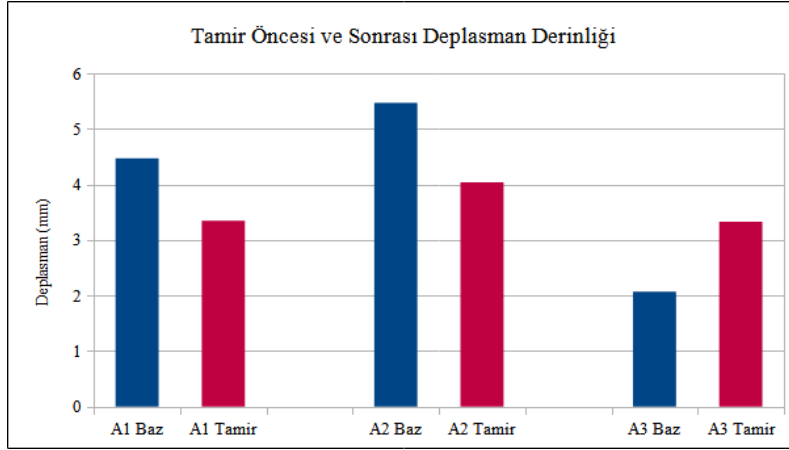
Deplasman ve hız verisi tüm testlerde anlamlı olarak türetilmiştir.

Tablo 3 Hasar alanları tablosu

Numune	Baz (mm <sup>2</sup> )	Tamir Sonrası (mm <sup>2</sup> )
A1	897.61	651.68
A2	801.54	551.34
A3	793.32	767.53

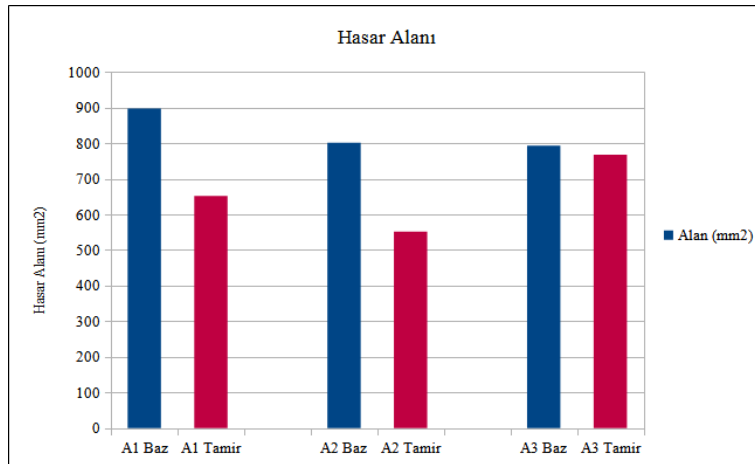
Hasar alanları Tablo 3’de özet olarak verilmiştir. Tüm hasar alanları verisi C-Scan ile elde edilmiştir.

Yapıştırıcının yapısal değerleri deney numunelerinin yapıldığı E-Glass E-746 7781 malzemesine göre daha yüksek seviyededir [10,11]. Bunun sonucu olarak tamir numuneleri hasar alanı baz alındığında ilk durumlarına göre daha iyi performans verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 21 Hasar Deplasman maksimum derinliği

Deplasman ve hız grafikleri beraber incelendiğinde maksimum deplasman hızın minimum olduğu anda gerçekleşmiş olduğu görülmektedir. Şekil 21’de görüldüğü üzere aynı numunenin birinci ve ikinci test deplasmanı incelendiğinde tamir edilmiş numune performansı baz numuneye benzer veya daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 22 Hasar Alanları

Deplasman değerlendirmesine paralel olarak Şekil 22'da paylaşılan hasar alanlarında da benzer olgu gözlemlenmektedir.

## SONUÇLAR

Yapılmış olan testler ile kuş çarpması hasarının etkileri ve bu hasara yönelik tamir yönteminin ikincil bir darbeye karşı etkinliği incelenmiştir. İlk çarpma ve tamir sonrası alınan ölçümler incelendiğinde, tamir etkinliğinin ana unsurları olan hasar derinliği ve hasar alanı parametrelerinin iki durum için de genel olarak benzer olduğu gözlemlenmiştir. Bu husus tamir yönteminin etkinliğini ve tamir işleminin bu tür hasarlarda etkin ve geçerli olduğunu göstermektedir.

Deney verilerine detaylı olarak bakıldığında, bütün veri setlerinde, maksimum hasar derinliği impektör enerjisinin en düşük olduğu (hızın sıfıra düştüğü) anda gözlemlenmiştir. Bu durum, tüm enerjinin sönmüldüğünü, dolayısıyla numunenin tek parça halinde kaldığını ve yapısal bütünlüğünü koruduğunu doğrulamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada önerilen tek taraflı kertme (single scarf technique) onarım yönteminin sertifikasyon kurallarının zorunlu kıldığı ikinci çarpmalara karşı yeterli performansı sağladığı görülmüştür. Tanımlanan uçuş zarfı boyunca meydana gelen benzer hasarların önerilen yöntem ile onarılabileceği gösterilmiştir.

Çarpma testleri sonrası hasar alanları, hem C-Scan testi hem de elle ölçüm sonucunda %10'luk bir sapma ile ortalama 660 mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. İlk ve ikinci çarpma sonrası hasar alanlarının büyük oranda benzeştiği görülmüştür. Bütün olarak ele alındığında ölçülen değerler tutarlı olmakla birlikte bazı numunelerde yapılan ölçümlerde sapmalar yer almaktadır. Benzer araştırmalar incelendiğinde kıymetlendirmeye esas alınan parametrenin parça üzerinde ölçülen yüklerdeki tutarsızlıklar sebebiyle kuvvet değil hasar alanı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda yukarıda detayları verildiği üzere testlerde ölçülen hasar alanının yüksek oranda tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

Deneylerde yapılan kuvvet ölçümlerinde, beklenenin çok üstünde tutarsızlıklar gözlenmiştir. Söz konusu tutarsızlığın büyük ölçüde deney düzeneğindeki veri toplama hatalarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bunun yanında büyük ölçüde benzer olan hasar alanları ölçümlerindeki minör farklılıkların numunenin sabitlendiği noktanın belirlediği sınır koşullarından kaynaklandığı kıymetlendirilmektedir.

## Öneriler:

İlerideki çalışmalarda farklı açı, dizilim ve oran (45° prepreg/0° prepreg) kombinasyonlarındaki yama yapılarının denenerak performanslarının ölçülmesi bu çalışmada önerilen onarım yönteminin geçerliliğinin doğrulanması yönünde olumlu katkı sağlayacaktır. Ayrıca düşük hızlı darbe testlerinin yanı sıra onarılmış numunelere standartlara uygun eğilme, basma ve çekme testlerinin de yapılması uygun olacaktır.

Bu çalışmaya paralel olarak yapılan deneylerin sonlu eleman analiz yazılımları aracılığıyla modellenerek farklı hız ve sınır koşullarında etkileri görülebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Gülcan, O. “Kuş çarpmaları ve uçaklara etkileri üzerine bir gözden geçirme çalışması”, Mühendis ve Makina, Cilt 60, no:696, pp.192-220. 2019
- [2] Metz, I. C., Ellerbroek, J., Mühlhausen, T., Kügler, D., & Hoekstra, J. M., “The bird strike challenge”. Aerospace, vol. 7, no: 3, pp. 26, 2020
- [3] Thorpe, J. “Fatalities and destroyed civil aircraft due to bird strikes”, 1912-2002. In International Bird Strike Committee, 26th Meeting. Warsaw, Poland, pp. 28. May, 2003
- [4] Dennis, N., Lyle, D., Budgey, R., Kirrane, P. and Whitehead, A.M., “Bird strike damage & windshield bird strike. European Aviation Safety Agency. Final Report”, Surrey, UK. 2009
- [5] Allan, John R., "The costs of bird strikes and bird strike prevention, Human Conflicts with Wildlife: Economic Considerations.", Proceedings of the Third National Wildlife Research Centre Special Symposium, Aug., 2000.
- [6] Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi 2/7/2018-KHK-703/89 md Madde 437 “Sivil havacılık genel müdürlüğü iş tanımı”, Temmuz 2018
- [7] Certification Specification for Large Rotorcraft CS-29, Amendment 3, European Safety Agency (EASA), Cologne, 2012
- [8] Ceyla, A., & Şenel, M. “An experimental study of low velocity impact response for composite laminated plates”. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, vol: 021, pp. 77-90, 2010
- [9] Archer, E., and A. McIlhagger. "Repair of damaged aerospace composite structures." In Polymer composites in the aerospace industry, Woodhead Publishing, 2020, pp. 441-459
- [10] E-746 Epoxy Prepregs, properties [https://parkaerospace.com/wp-content/uploads/2017/05/E-746-M\\_a4.pdf](https://parkaerospace.com/wp-content/uploads/2017/05/E-746-M_a4.pdf), (Accessed: Feb. 05, 2021).
- [11] Sinclair, J. W. “Effects of cure temperature on epoxy resin properties”, The Journal of Adhesion, vol 38 (3-4), pp. 219-234, 1992.
- [12] LOCTITE EA 956 AERO, epoxy paste adhesive, properties [https://www.henkeladhesives.com/vn/en/product/industrialadhesives/loctite\\_ea\\_956\\_aero.html](https://www.henkeladhesives.com/vn/en/product/industrialadhesives/loctite_ea_956_aero.html) (Accessed: Jul 15, 2022).

## Sabit Kanatlı Hibrit İnsansız Hava – Sualtı Aracı Konsept Tasarım Kısıtlarının Belirlenmesi ve Konfigürasyon Seçimi

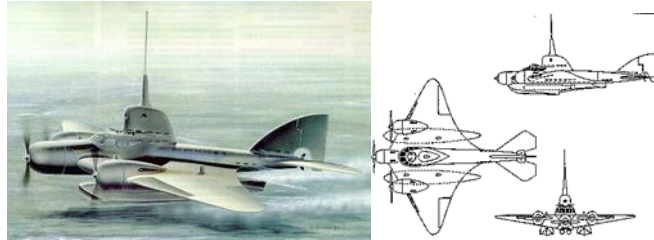
Melek MENDİ<sup>1</sup>

### 1. Giriş

Bilindiği üzere günümüzde gelişmiş havacılık ve denizcilik teknolojilerinde uzaktan kumandalı ya da otonom olarak görevleri yerine getiren insansız araçların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle askeri amaçlar için kullanılan bu sistemler, gözetleme, keşif, arama kurtarmanın yanı sıra, taşımacılık, bilimsel araştırmalar ve çeşitli ticari uygulamalarda sahip olduğu avantajlar sayesinde tercih sebebi olmuş ve bu sayede insansız araçlara olan ilgi giderek artmıştır. Bununla birlikte bir hava aracını bir sualtı aracı ile birleştirerek her iki ortamda kullanılabilen tek bir hibrit araç tasarımı, ortamlar arası geçiş yaparak operasyon alanını genişletebilir, böylece ortamlar arası haberleşme, keşif, gözetleme, radar ya da sonardan kaçarak gizlenebilme yeteneği sayesinde sadece bir hava ya da sadece bir sualtı aracına karşı önemli bir avantaj sağlayabilir. Ancak bir insansız hava – sualtı aracı tasarımında karşılaşılan en belirgin sorun birbirinden farklı ortamların ihtiyaçlarını tek bir sistemde toplamaktır. İnsansız bir hava aracının taşıma üretimi talebi büyüktür çünkü aracın ağırlığına denk olması gereklidir. Sualtında ise istenen derinliğe ulaşabilmesi için kaldırma kuvvetini aşması gerekir. Kısaca bir hava aracının ağır olması dezavantaj iken sualtı derinliği hedefi için ise ağır olması avantajdır. Hibrit bir araç tasarımında tarihsel süreç incelenerek, karşılaşılan sorunlar ve çözümler incelenmiştir.

#### 1.1. Tarihsel Süreç

Hibrit bir hava – sualtı konsept tasarımı ilk kez 1934 yılında Sovyet mühendis Boris Ushakov tarafından havada düşman gemilerini gözetleyip tespit etme, sualtına dalarak pusu kurma ve torpido ile bombalama fikriyle ortaya çıkmıştır (Petrov, 2013). Ancak Şekil 1.1’de görülen 15 tonluk aracın görevleri gerçekleştiremeyecek kadar ağır olduğu düşünülerek hayata geçmemiştir.



Şekil 1.1. Boris Petrovich tarafından tasarlanan Uçan Bot (Petrov, 2013)

---

<sup>1</sup> Adı Soyadı, Unvan, Üniversite, Bölüm

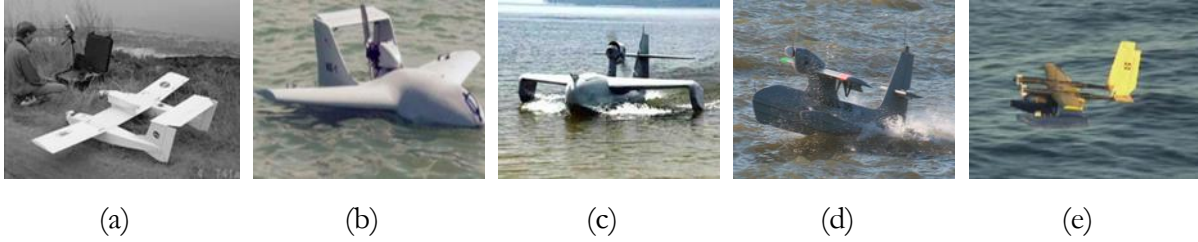


1962’de North American Aviation mühendislerinden Donald Reid, Şekil 1.2’de yer alan uçan denizaltı (RFS-1) tasarlamıştır (Renga Alan, 2014). Araç birkaç metre derinliğe dalmış ancak ağırlığı sebebiyle yeniden uçuşa geçememiştir.



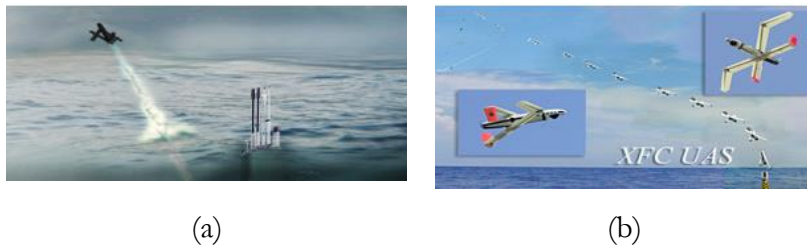
Şekil 1.2. RFS 1 (Luber, 2019)

Hava – sualtı aracı hayali soğuk savaş döneminde son bulmuş gibi görünse de 2000’lerde otonom araç teknolojisi ile su üzerinde hareket edebilen insansız hava aracı konseptine yönelim yeniden başlamıştır. NASA tarafından ACAT (Autonomous Cargo Amphibious Transport) adında karada ve suda iniş kalkış yapabilen ve kargo taşıyabilen insansız hava aracı tasarlanmıştır (Pisanich ve Morris, 2002). DRS Technologies suya iniş kalkış yapabilen Neptune RQ-15 A’yı üretmiş ve Amerikan donanmasında kullanılmıştır (DSR RQ-15 Neptune, 2011). 2006’da Oregon Iron Works tarafından üretilen İnsansız Deniz Uçağı (Oregon Iron Works, 2006) ve 2007’de Warrior tarafından üretilen Gull serisi araçlar su üzerinde iniş kalkış yapabilmıştır (Warrior, 2006: 1-5). Michigan Üniversitesinden Eubank, R vd. (2009) su üzerinde iniş kalkış yapabilen ve keşif için sualtına şamandıra daldırarak veri toplayan Flying Fish adında okyanus gözetleme aracı tasarlamıştır. Araçlar Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



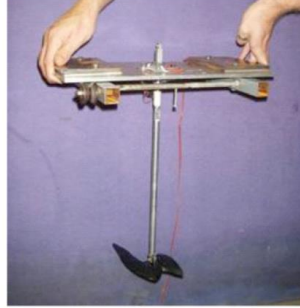
Şekil 1.3. a) ACAT (Pisanich ve Morris, 2002); b) RQ-15 (DSR RQ-15 Neptune, 2011); c) Oregon(Oregon Iron Works, 2006); d) Gull 24 UXV (Warrior, 2006); e) Flying Fish (Eubank vd., 2009)

Black Wing AeroVironment tarafından Amerikan Donanmasının denizaltı ile haberleşmesi ve hedef belirlemesi gibi amaçlarla tasarlanmıştır (US Navy to Deploy, 2016). The eXperimental Fuel Cell Unmanned Aerial System (XFC UAS) ise U.S. Naval Research Laboratory (NRL) tarafından yine Amerikan Donanmasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Parry, 2013). Ancak Şekil 1.4’de görüldüğü gibi bu araçlar su geçirmez bir muhafaza kutuyla denizaltılardan fırlatılır ve genelde tek kullanımlıdır. Sonuç olarak bu araçların hiçbiri ortamlar arasında geçiş yapma yeteneğine sahip değildir.



Şekil 1.4. a) Blackwing (US Navy to Deploy, 2016); b) XFC UAS (Parry, 2013)

Buradan sonraki çalışmalarda ise araştırmacılar, hibrit bir insansız araç geliştirilmesinde biyolojiden ilham almıştır. Bristol Üniversitesinden Lock vd., (2010) sümsük kuşu ve diğer kazsuların sualtında nasıl hareket ettiğini anlamak için Şekil 1.5’de görüldüğü gibi bir kanat profili modelleyerek her iki ortamda da kanat çırpma hareketlerini kinematik olarak incelemiştir.



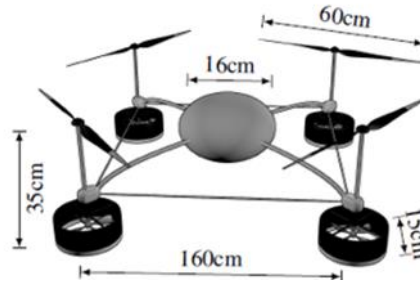
**Şekil 1.5.** Kanatları suya batıran platformdan sarkıtılarak takılan akuatik kanat modeli (Lock vd., 2010)

Massachusetts Teknoloji Enstitüsünden Gao ve Techet (2011) tarafından Şekil 1.6’da yer alan sualtında yüzebilen ve havada uçabilen robotik bir uçan balık modellenmiştir. Bu çalışmada kanat çırpmanın sualtı hareketini sağlasa da geleneksel elektromanyetik aktüatörlerin sudan çıkış için gerekli gücü karşılayamadığı görülmüştür.



**Şekil 1.6** Robotik Flying Fish (Gao & Techet, 2011)

Rio Grande Federal Üniversitesinden Drews vd., (2014) Şekil 1.7’de görülen, hava ve sualtı arası geçiş yapabilen ilk insansız hava aracını modelleyerek simüle etmiştir ancak bir prototip oluşturmamıştır.



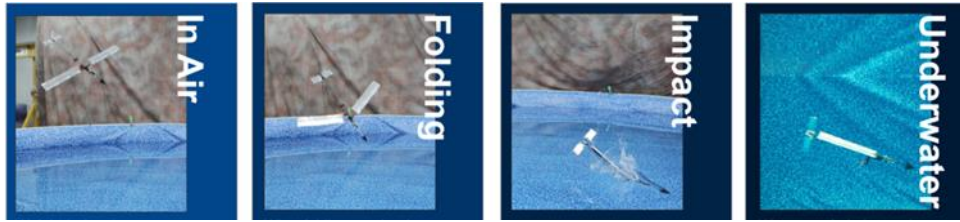
**Şekil 1.7** Hibrit İnsansız Hava Sualtı İçin Öneri Tasarımı Araç (Drews vd., 2014)

Rutgers Üniversitesinden Maia vd., (2015) havada ve sualtında hareket eden çift pervaneli bir oktocopter tasarlamıştır. Şekil 1.8’de yer alan araç bir ortamdan diğerine geçebilen ilk araçtır.



**Şekil 1.8** Sualtından havaya geçiş yapabilen ilk prototip oktokopter (Maia vd., 2015)

MIT Lincoln Laboratuvarı SCOPE ekibi gannet kuşlarından esinlenmiş, Şekil 1.'da yer alan kanatlarını katlayarak su altına dalabilen ve burada gezinebilen uzaktan kumandalı prototip tasarlamış ancak proje devam etmemiştir (Fabian, Feng, Swartz, & Thurmer, 2018).



**Şekil 1.9** MIT Katlanabilir Kanat Prototipi (Fabian vd., 2018)

2016'da Imperial College'dan Armanin ve ark. Sümsük Kuşugillerin dalış stratejisinden esinlenerek su numunesi toplamak veya su altı yapısal denetimler için katlanabilir kanatlı Akuatik Mikro Hava Aracı (AquaMAV) tasarlamıştır. Şekil 1.10'da görüldüğü gibi, araç sudan çıkarken yeterli itmeyi su jetinden sağlamaktadır (Siddall vd., 2017; Armanini vd., 2019).



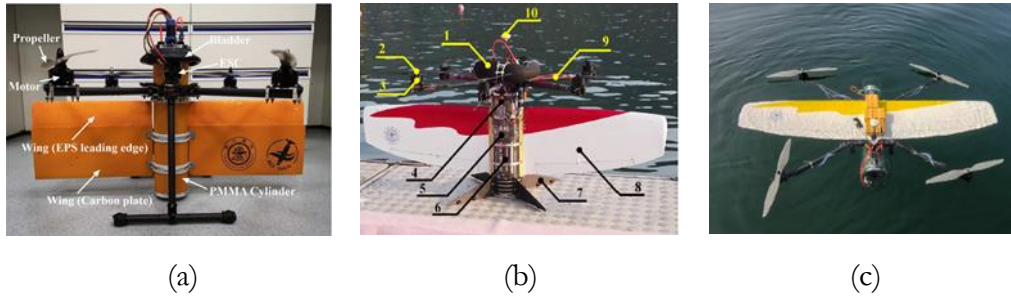
**Şekil 1.10.** AquaMAV prototipinin jet tahrikli fırlatma anı (Siddall vd., 2017)

Tüm bu çalışmalar ilham verici olsa da bu araçların hiçbiri havadan suya geçişi ve tam tersini gerçekleştirememişlerdir. Ancak Stewart vd., (2018) yine doğadan esinlenerek hava ve su altı alanları arasında geçiş yapabilen üç tasarım konsepti belirlenmiştir. 3 konseptin de belirlenen görevleri başarıyla tamamladığı görülmüş ve içlerinden en iyi performansa sahip konsept prototip haline getirilmiştir (Şekil 1.11). Böylece havadan sualtına ve tersine geçişi tamamlayan ilk sabit kanatlı hibrit insansız hava sualtı aracını üretmiştir (Weisler vd., 2018).



Şekil 1.11. Üretilen ilk sabit kanatlı insansız hava – sualtı aracı prototip testi (Weisler vd., 2018)

Son olarak okyanus araştırmalarında kullanmak için döner kanatlı başka bir konsept tasarım Lu vd. (2019) tarafından geliştirilmiştir. NEZHA adı verilen söz konusu konseptte su altı süzülüşü için pnömotik bir yüzdürme sistemi kullanılmıştır. Ancak araç havada ve sualtında beklenen performansı verememiştir. NEZHA III adlı yeni bir prototip, mevcut uçağın eksikliklerini gidererek 50 metre derinliğe dalabilmiştir. Sualtı kabiliyeti artırılrsa da aracın havadaki performansı yeterli seviyede olmadığı belirtilmiştir ve 2022 yılında hem döner kanatlı hem de sabit kanatlı yeni bir kombinasyon oluşturulmuştur (Lu vd., 2021); (Lyu vd., 2022) Yeni prototipin sualtında 25,5 m derinliğe kadar dalabildiğini, CFD çalışmalarında da gereken taşımayı sağladığını belirterek ilk piston tahrikli hibrit insansız sualtı aracını geliştirdiklerini duyurmuşlardır. Prototipler Şekil 1.12’de verilmiştir.



Şekil 1.12. a) NEZHA prototipi (Lu vd., 2019), b) NEZHA III prototipi (Lu vd., 2021), c) Geliştirilen NEZHA III prototipi (Lu vd., 2022)

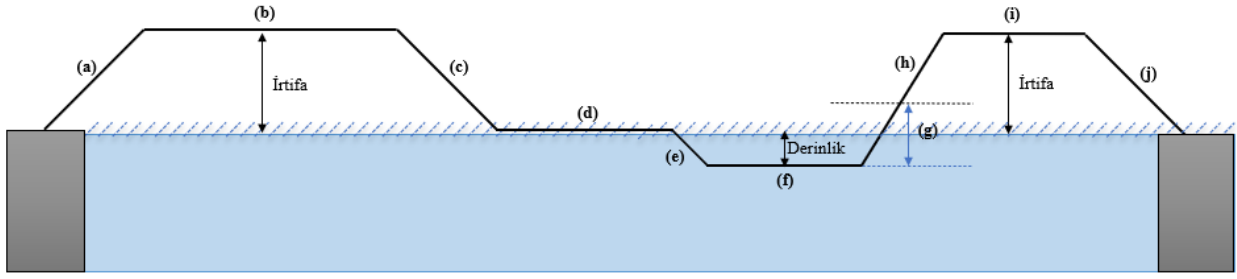
Hibrit bir hava – sualtı aracı konsepti uçan denizaltı fikriyle başlamış, sümsük kuşları ve karabatak gibi karada yaşayan ve sualtına dalabilen kuşların hem dalış hem de uçabilme yetenekleri gözlemlenerek biyo – ilhamlı yaklaşımlar geliştirildiği, özellikle otonom insansız araçların kullanımı ile ortamlar arası geçiş yeteneğine sahip hibrit bir araç tasarımının mümkün olduğu görülmüştür.

Bu çalışma literatür öğretilerinden yola çıkarak belirli bir görev rotasına sahip hibrit bir insansız hava – sualtı aracı konsept tasarımı için ihtiyaç duyulan tasarım kısıtları ile performans parametrelerinin belirlenmesini ve bu kısıtlardan yola çıkarak görevi en iyi şekilde icra edebilecek konfigürasyonların seçimini içerir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Tasarım Kısıtlarının Belirlenmesi

Sabit kanatlı hibrit bir hava – sualtı aracı konsept tasarımında öncelikle aracın ihtiyaç duyacağı isterleri anlamak önemlidir. Tasarım kısıtları ise aracın amacını icra edeceği belirli bir görev rotası süresince en iyi performansı vereceği konfigürasyonların seçim kriterlerini belirleyecektir. Bu nedenle öncelikle aracın görev rotası belirlenmiştir ve görevler 3 aşamaya ayrılmıştır. Aracın görev rotası Şekil 2.1’de gösterildiği gibi sırasıyla şöyledir.



Şekil 2.1. Görev Rotası

- a) Kalkış koşusunu yaparak tavan irtifaya tırmanmak,
- b) 1. seyir rotasını tamamlamak,
- c) Su üzerine iniş gerçekleştirmek,
- d) Su yüzeyinde seyir rotasını tamamlamak,
- e) Araç içine su alarak belirli bir derinliğe dalmak,
- f) Sualtı seyir rotasını tamamlamak,
- g) Sualtından havaya geçiş yapmak,
- h) Tavan irtifaya ulaşana kadar yeniden tırmanmak
- i) 2. Seyir rotasını tamamlamak
- j) İniş yaparak görev rotasını tamamlamak.

### 2.1.1. Aşama 1: Kalkış ve Hava Operasyonu.

İlk aşamada araç hava operasyonunu gerçekleştirecektir ve bu nedenle tipik bir hava aracı isterlerini karşılaması beklenmektedir. Hava aracına etkileyen 4 temel kuvvet taşıma, sürüklenme, ağırlık ve itkidir. Uçağın havadaki konumunu koruması taşımanın ağırlığa, sürüklemenin de itkiye denk olduğu andır (Raymer, 1992: 41-81). Kuvvet birimleri Newton olup  $L$  taşıma kuvveti,  $W$  aracın ağırlığı,  $T$  itki kuvveti,  $D$  ise sürüklenme kuvvetidir.

$$L = W$$

(1)

$$\left(\frac{T}{W}\right)_{Seyir} = \left(\frac{1}{L/D}\right)_{Seyir}$$

(2)

Hava akımı dolayısıyla uçağın maruz kaldığı bozuntu sonrası uçağın eski konumuna dönme ve konumunu koruma eğilimi ise kararlılık halidir. Kararlılık elemanları yunuslama, yuvarlanma ve sapma momentleri üreterek dengeyi korumakta ya da istenilen seviyede bozarak manevrayı sağlamaktadır. Karadan kalkış yaparak seyir istenen irtifaya tırmanabilmesi için yeterli itkiyi ve taşımayı üretmesi, ayrıca tırmanma boyunca kararlılığını koruması gereklidir. Seyir rotası boyunca ise yine gerekli taşımayı sağlamalı ve bozuntuya maruz kaldığında eski konumuna dönme eğilimine yani kararlılığını korumaya devam etmelidir.

### 2.1.2. Aşama 2: Su Yüzeyine İniş ve Sualtı Operasyonu.

İkinci aşama havadan suya geçiştir ve bu aşama kendi içinde yine 2'ye ayrılmaktadır. Havadan suya geçişin birinci kısmında, araç su üzerine iniş gerçekleştirecek ve su yüzeyinde seyir rotasını tamamlayacaktır. Suya inişte aracın kontrol yüzeylerinin iniş için ihtiyaç duyulan manevrayı sağlaması ve hızını azaltması gerekir. Su yüzeyine inerken dayanıklılığını korumalıdır. Ayrıca su üzerinde kalabilmesi ve su yüzeyinde seyrini tamamlayabilmesi için aracın sızdırmazlığının sağlanması böylece ağırlık dengesini koruması gerekir. Kaldırma kuvvetinin aracın ağırlığına eşit

olma hali, sualtında askıda kalma halidir (Serway, R.ve Beichner J., 2004: 428). Su üzerinde kalabilmek için aracın ağırlığından daha fazla kaldırma kuvveti gereklidir. B, suyun kaldırma kuvvetidir ve birimi Newton'dur.

$$B = W$$

(3)

Havadan suya geçişin ikinci kısmında ise araç sualtına dalış gerçekleştirerek sualtı seyrini tamamlayacak ve sudan havaya geçiş yapacaktır. Sualtı dalışında aracın batma ihtiyacını karşılayacak kadar su alması ve dalış manevrasını yapması gereklidir. Sualtı seyri boyunca ise kaldırma kuvvetine denk ağırlıkta olmalı ve konumunu korumalıdır. Ayrıca aviyonik sistemin sızdırmazlığının sağlanması gereklidir.

Araç içine su almak için aracın mevcut hacmi içinde ek bir bölüm oluşturulması gereklidir. Gövde, aviyonik sistem ve faydalı yük ekipmanları için kullanılacağından boş hacmi kısıtlıdır. Ancak aracın kanatları, kanat içi destek elemanları dışında tamamen boş olacağından su almak için kanat uçları açık bırakılacak, böylece kanat içleri su basabilir ve su boşaltabilir halde olacaktır.

### 2.1.3. Aşama 3: Tekrar Hava Ortamına Geçiş ve İniş.

Son olarak sudan havaya geçişte aracın çıkış konumuna gelmesi ve sudan çıkacak yeterli itkiyi üretmesi gerekmektedir. Suyu boşaltmak için ise kanat kontrol yüzeyleri kullanılarak su tahliye edilecektir. Yeniden tırmanışa geçerken de su boşaltması ve kararlılığını koruması önemlidir. Seyir rotası boyunca gerekli taşımayı sağlaması ve kararlılığına devam etmesi, inişte ise kontrol yüzeylerinin manevra olarak iniş haline geçmesi, iniş için gereken hıza düşmesi ve iniş zeminine temasa dayanacak mukavemette olması gerekmektedir.

Verilen görev rotası ile bir hava aracının tipik isterlerinin bir su altı aracı ile harmanlanması gerektiği görülmüş ve her bir aşamanın getirdiği tasarım kısıtı Tablo 1'de aktarılmıştır.

**Tablo 1 – Tasarım Kısıtları**

Görev Adı	Getirdiği Tasarım Kısıtı
Kalkış (a)	İtki – Taşıma – Kararlılık
Tırmanma (b)	
Havada Seyir (c)	Taşıma – Kararlılık
Suya Süzülüş (d)	Manevra – Hız
Su Üzerinde Seyir (e)	Dayanıklılık – Sızdırmazlık – Kaldırma Kuvveti
Sualtına Dalış (f)	Su Alma – Manevra
Sualtı Seyri (g)	Sızdırmazlık – Kaldırma Kuvveti – İtki
Sudan Havaya Geçiş (h)	Manevra – İtki – Su Boşaltma – Kararlılık
Havada seyir irtifasına tırmanış (i)	
Havada Seyir (j)	Taşıma – Kararlılık
İniş (k)	Manevra – Hız – Dayanıklılık

Literatürden elde edilen benzer uçak verilerinden yola çıkarak hava – sualtı aracının başlangıç performans parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Araç 4 kg ağırlıkta olup, 50 m seyir irtifasına ulaşarak 20 m/s seyir hızında 100 m menzil ve 3 metre derinlikte yaklaşık 30 metre menzile sahip olması kararlaştırılmıştır.

Tablo 2 – Performans Parametreleri

Hava Ortamı	
Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)	4
İrtifa (m)	50
Hava Stall Hızı (m/s)	15
Hava Seyir Hızı (m/s)	20
Hava Maksimum Hızı (m/s)	25
Tırmanma Hızı (m/s)	10
Kalkış Mesafesi (m)	10
Havada Kalma Süresi (Dk)	10
Su Ortamı	
Su Yüzeyi Menzili (m)	50
Su Yüzeyi Seyir Hızı (m/s)	1
Sualtı Derinliği (m)	3
Sualtı Seyir Hızı (m/s)	0.5
Sualtında Kalma Süresi (Dk)	3

### 3. KONFIGÜRASYON SEÇİMİ

Konsept tasarıma ait konfigürasyon seçimi değerlendirilirken öncelikle aracın ana komponentleri belirlenir. Araç Kanat, Kuyruk, Gövde ve İtici olmak üzere 4 ana komponentten oluşacaktır. Su üzerine iniş yapacağı için İniş Takımı kullanılmayacaktır. Daha sonra her bir komponent için literatürde yer alan konfigürasyon tipleri arasından konfigürasyon seçim matrisi ile belirlenecektir. Seçim işlemi tasarım kısıtlarını karşılamalıdır. Her bir komponentin konfigürasyon kararında en ideal performansı verebileceği tasarım kısıtları, görev aracın ağırlığı, hacim kapasitesi, sürüklenme üretimi, manevra edilebilirliği ve kolay üretilebilirliğidir.

Ağırlık, taşıma ve kaldırma kuvveti dengesine etkisi dolayısıyla oldukça önemlidir. İtici performansı sürüklemeye bağlıdır ve aracın ortamlar arası geçiş yapabilmesi için yine önemli bir parametredir. Aracın her ortamda ve ortamlar arası geçişte bozuntu halini düzeltebilmesi için kararlı olması gereklidir. Dolayısıyla bu 3 kısıt en çok öneme sahip kısıtlardır.

Pozisyon değiştirebilmesi için de manevra edilebilir olması gerekir ancak kararlılık ve sürüklemeye göre önem şiddeti düşüktür. Son olarak aracın sızdırmazlık, su alma – su boşaltma ve dayanıklılık yine önem derecesi düşük kısıtlardır.

Puanlama sistemi Tablo 3’de verildiği gibi havacılık tasarımı kitapları referans alınarak oluşturmuş ancak puanlama toplamı 10 puan olacak şekilde atanmıştır (Sadraey, 2012: 29). Avantaj sağlayan konfigürasyon Tablo 4’de verildiği gibi 3 puan, dezavantaj sağlayan konfigürasyon ise 1 puan almıştır. Belirlenen puanlama bir konfigürasyona uygulanarak avantaj sağlayan konfigürasyonlar seçilmiştir.

**Tablo 3 – Tasarım Kısıtı Puanlama Tablosu**

Tasarım Kısıtı	Önem Değeri
Ağırlık	2
Sürüklenme	2
Kararlılık	2
Manevra	1
Sızdırmazlık	1
Su Alma – Su Boşaltma	1
Dayanıklılık	1
<b>TOPLAM</b>	<b>10</b>

**Tablo 4 – Konfigürasyon Puanlaması**

Kötü	İyi	Çok İyi
1	2	3

### 3.1. Kanat Konfigürasyonu.

Kanat konfigürasyonu için Tablo 5’de yer alan üstten kanat, ortadan kanat ve alttan kanat konfigürasyonları belirlenmiş, aralarından avantaj ve dezavantajları önem faktörüne göre puanlanarak üstten kanat konfigürasyonu kararlaştırılmıştır. Üstten kanat seçiminin avantajları, diğer konfigürasyonlara göre daha fazla taşıma üretmesi, sürüklenme etkisinin daha az olması, daha fazla basınç farkı oluşturduğu için buradaki kontrol yüzeylerinin de daha fazla moment üretmesi böylece manevra edilebilirliğinin daha iyi olmasıdır. Karaya ve suya inişte zeminden en uzak konum konfigürasyon olacağı için de dayanımı daha iyidir. Su alma ve su boşaltma sırasında, konumu gereği sudan en uzakta yer alması dezavantaj gibi görünse de dalga etkisine en az maruz kalan yer olması, dolayısıyla su üzeri seyrinde ağırlık dengesini kaybetme ihtimali en düşük konumdur.

**Tablo 5 – Kanat Konfigürasyon Seçimi (Raymer D., 1992: 60 – 61 – 62)**

	Önem Değeri	Üstten Kanat	Ortadan Kanat	Altta Kanat
Ağırlık	2	3	1	2
Sürüklenme	2	3	1	2
Kararlılık	2	1	2	3
Manevra	1	3	2	1
Sızdırmazlık	1	3	1	2
Su Alma – Su Boşaltma	1	3	2	1
Dayanıklılık	1	3	2	1
<b>TOPLAM</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>19</b>



### 3.2. Kuyruk Konfigürasyonu.

Literatürde yer alan kuyruk konfigürasyonları içinden seçilen Konvansiyonel ve Y Kuyruk Tablo 6’da görüldüğü gibi kıyaslanmıştır. Kuyruk grubu uçağın kararlılık elemanları olduğundan bozuntu halinde aracı eski konumuna getirebilecek yeterli momenti sağlayabilmesi önemlidir. Havada ve sualtında manevra hareketi Y kuyruğun daha iyi olsa da ağırlığı daha düşük, bozuntu halinde kararlılığı yüksek ve konumu gereği iniş ve kalkışta en yeterli dayanımda olan konvansiyonel kuyruk seçilmiştir.

**Tablo 6** – Kuyruk Konfigürasyon Seçimi (Raymer D.; 1992: 68)



	Önem Değeri	Konvansiyonel Kuyruk	Y Kuyruk
Ağırlık	2	1	1
Sürüklenme	2	1	1
Kararlılık	2	2	1
Manevra	1	1	2
Sızdırmazlık	1	1	1
Su Alma – Su Boşaltma	1	1	2
Dayanıklılık	1	2	1
<b>TOPLAM</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>12</b>

### 3.3. Gövde onfigürasyonu.

Hava aracı gövdesi ihtiyaç duyulacak tüm aviyonik bileşeni içine alabilecek kadar geniş olması önemlidir. Ayrıca motor, kanat ve kuyruk bağlantı elemanı gövdeye monta edileceği için yeterli dayanımda ve üretilebilir olmalıdır. Tablo 7’de verilen gövde tipleri arasında kafes gövdenin monokok gövdeye göre hacim etkisi daha yüksektir. Bu da ağırlığa katkı sağlayacaktır. Ancak monokok gövde geometrik şekli dolayısıyla aerodinamik olarak verimlidir ve sürüklenmesi azdır. Böylece sürüklenmesi daha düşük ve moment katkısı daha yüksektir. Köşesi olmadığından, sızdırmazlık kontrolü daha iyidir. Yine geometrik yapısı nedeniyle su ve karaya inişte zemine temas eden yüzeyi daha az böylece deformasyon alanı daha küçük olacaktır. Kısıtları karşıladığı için monokok gövde seçilmiştir.

**Tablo 7** – Gövde Konfigürasyon Seçimi (Abbott, 2019: 235)



	Önem Değeri	Kafes Gövde	Monokok Gövde
Ağırlık	2	2	1
Sürüklenme	2	1	2
Kararlılık	2	1	2
Manevra	1	1	2
Sızdırmazlık	1	1	2
Su Alma – Su Boşaltma	1	1	1
Dayanıklılık	1	1	2
<b>TOPLAM</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>17</b>

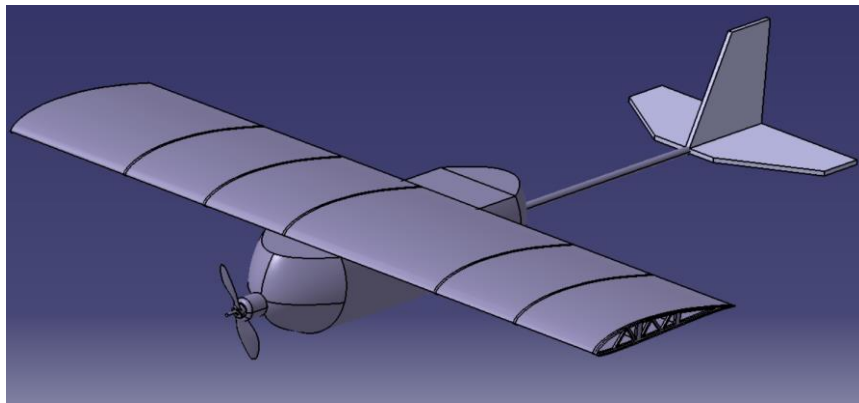
### 3.4. İtici Konumu Konfigürasyonu.

Tablo 8’de yer alan motor konfigürasyonlarından çekici motorun gövde ve kanattan gelen bozulmuş hava akışı ve girdaplardan etkilenmediği için pervane akış kalitesi yüksektir. Ağırlık merkezi önde olduğu için kuvvet kolu artan yatay ve dikey kontrol yüzeyinin daha küçük tasarlanmasını, dolayısıyla ağırlığı azaltır. Ayrıca kuyruğa olan uzaklığı dolayısıyla buradan gelen bozulmuş havanın kuyruk etkisi daha düşük dolayısıyla daha kararlı olacaktır. Su boşaltma sırasında kanatlardan tahliye edilen su arka konumdaki motor pervane verimini olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle çekici konumda itki konfigürasyonu seçilmiştir.

**Tablo 8 – İtici Konumu Konfigürasyon Seçimi (Daniel P. Raymer, 1992)**

	Önem Değeri	Çekici	İtici
Ağırlık	2	2	1
Sürüklenme	2	1	2
Kararlılık	2	2	1
Manevra	1	2	1
Sızdırmazlık	1	1	1
Su Alma – Su Boşaltma	1	2	1
Dayanıklılık	1	1	1
<b>TOPLAM</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>12</b>

Seçim sonuçları göstermektedir ki tasarım kısıtlarını karşılayabilecek konfigürasyonlar, üstten kanatlı, konvansiyonel kuyruk yapısına sahip, önden çekişli ve monokok gövde tipidir. Konfigürasyon seçiminin tamamlanmasının ardından sabit kanatlı hibrit insansız sualtı – hava aracına ait boyutsuz konsept tasarımı CATIA 3 boyutlu tasarım programı kullanılarak Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Konfigürasyon Tasarımı

## 4. SONUÇ

Hibrit bir insansız hava sualtı aracının tasarım denemelerinde karşılaşılan problemler ve öğrenilenler tarihsel gelişim süreci baz alınarak derlenmiştir. Elde edilen verilere göre tasarım mümkündür ancak hava ve sualtı ortamlarının kendine has zorlukları ve isterlerini tek bir araçta

birleştirmek için optimum tasarım gereksinimlerinin iyi belirlenmesi gereklidir. Çünkü belirlenen bu gereksinimler uçağın tasarımının şekillenmesinde ve kendinden sonra gelecek adımların kararlaştırılmasında öncü rol oynayacaktır. Konfigürasyon seçimi ise uçağın hedeflenen aerodinamik ve hidrodinamik performans becerilerine ulaşmalarını sağlayacağından bu seçimlerin de yine doğru değerlendirilmesi önemlidir. Aracın verimliliği ve faydalı yük kapasitesini artırmak için olabilecek en düşük boş ağırlığa sahip olmaktır. Böylece ihtiyaç duyulacak taşıma da azalacaktır. Ancak sualtı dalışı için ise kaldırma kuvveti ağırlığına denk olmalıdır. Aerodinamik ve hidrodinamik performans verimi için düşük sürüklenme önemlidir. Ayrıca hava, sualtı kontrolünde ve ortamlar arası geçişte aracın kararlılığı ve manevra yeteneği önemlidir. Aracın boylamsal ve yanal kararlılığını korurken, manevra edilebilirliği için kontrol yüzeylerinin yeterince etkin olması gerekir. Son olarak aracın suya teması boyunca sızdırmazlığı ağlaması hem su üzerine hem de karaya başarılı iniş gerçekleştirecek dayanıma sahip olması gereklidir.

Sonuç olarak hibrit bir insansız sualtı hava aracının tasarımı için 50 metre tavan irtifasında, 20 m/s seyir hızında, 10 dakika hava uçuşu ve 3 metre sualtı derinliğinde 5 dakikalık sualtı seyir görevi ve sonrasında tekrar havalanarak iniş gerçekleştirilebilecek tasarım gereksinimlerini karşılayacak konfigürasyonlar, üstten kanatlı, konvansiyonel kuyruk yapısına sahip, önden çekişli ve monokok gövde tipidir.

## KAYNAKÇA

- Abbott, R. (2019). Analysis and Design of Composite and Metallic Flight Vehicle Structures (3th bs.). Abbott Aerospace SEZC Ltd.
- Armanini, S. F., Siddall, R., & Kovac, M. (2019). Modelling and simulation of a bioinspired aquatic micro aerial vehicle. AIAA Aviation 2019 Forum. <https://doi.org/10.2514/6.2019-3115>
- Drews, P. L. J., Neto, A. A., & Campos, M. F. M. (2014). Hybrid Unmanned Aerial Underwater Vehicle: Modeling and simulation. 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 4637-4642. <https://doi.org/10.1109/IROS.2014.6943220>
- DSR RQ-15 Neptune. (2011). DRS RQ-15 Neptune RQ-15A. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, <https://www.unols.org/sites/default/files/Neptune%20UAV.pdf>
- Eubank, R., Atkins, E., & Macy, D. (2009). Autonomous Guidance and Control of the Flying Fish Ocean Surveillance Platform. İçinde Infotech@Aerospace Conferences. AIAA Infotech@Aerospace Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/doi:10.2514/6.2009-2021>
- Fabian, A., Feng, Y., Swartz, E., & Thurmer, D. (2018, Mart 26). Hybrid Aerial Underwater Vehicle (MIT Lincoln Lab) | Olin College Library Repository. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, <https://phoenixfiles.olin.edu/do/23bf82e5-0d2c-471c-a8d2-62a51d619b16>
- Gao, A., & Techet, A. H. (2011). Design considerations for a robotic flying fish. OCEANS'11 MTS/IEEE KONA, 1-8. <https://doi.org/10.23919/OCEANS.2011.6107039>
- Lock, R. J., Vaidyanathan, R., Burgess, S. C., & Loveless, J. (2010). Development of a biologically inspired multi-modal wing model for aerial-aquatic robotic vehicles through empirical and numerical modelling of the common guillemot, *Uria aalge*. *Bioinspiration & Biomimetics*, 5(4), 46001. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/5/4/046001>
- Lu, D., Xiong, C., Zeng, Z., & Lian, L. (2019). A Multimodal Aerial Underwater Vehicle with Extended Endurance and Capabilities. 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 4674-4680. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8793985>
- Lu, D., Xiong, C., Zhou, H., Lyu, C., Hu, R., Yu, C., ... Lian, L. (2021). Design, fabrication, and characterization of a multimodal hybrid aerial underwater vehicle. *Ocean Engineering*, 219, 108324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108324>
- Luber, F. (2019, Kasım 10). RFS Commander – The Flying Submarine | FLIGHT REVIEW. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, <https://www.flugrevue.de/klassiker/tauchfaehiges-flugzeug-rfs-1-commander-das-fliegende-u-boot/>
- Lyu, C., Lu, D., Xiong, C., Hu, R., Jin, Y., Wang, J., ... Lian, L. (2022). Toward a gliding hybrid aerial underwater vehicle: Design, fabrication, and experiments. *Journal of Field Robotics*, 39(5), 543-556. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rob.22063>
- Maia, M. M., Soni, P., & Diez-Garias, F. J. (2015). Demonstration of an Aerial and Submersible Vehicle Capable of Flight and Underwater Navigation with Seamless Air-Water Transition. ArXiv, abs/1507.01932.
- Oregon Iron Works, Inc. (2006, Mayıs 31). Sea Scout UAV Completes Its First Auto-Landing Test | Aero-News Network. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, <http://www.aero-news.net/index.cfm?do=main.textpost&id=55aa9f03-1dc8-48f0-b68e-3f37f7e9dd30>
- Parry, D. (2013, Aralık 5). Navy Launches UAV from Submerged Submarine > U.S. Naval Research Laboratory > NRL News. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022,

<https://www.nrl.navy.mil/Media/News/Article/2561866/navy-launches-uav-from-submerged-submarine/>

Petrov, G. (2013, Aralık 17). Flying submarine. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, [http://www.airforce.ru/aircraft/miscellaneous/flying\\_submarine/index.htm](http://www.airforce.ru/aircraft/miscellaneous/flying_submarine/index.htm)

Pisanich, G., & Morris, S. (2002). Fielding an amphibious UAV: development, results, and lessons learned. Proceedings. The 21st Digital Avionics Systems Conference, 2, 8C4-8C4. IEEE.

Raymer, Daniel P. (1992). Aircraft Design: A Conceptual Approach (Przemieniecki J. S., Ed.). Ohio: AIAA Education Series.

Renga Alan. (2014, Kasım 14). Submersible Seaplane Special Collection. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, The Descriptive Finding Guide for the Submersible Seaplane Special Collection website: [https://oac.cdlib.org/findaid/ark:/13030/c86976b3/entire\\_text/](https://oac.cdlib.org/findaid/ark:/13030/c86976b3/entire_text/)

Sadraey, M. H. (2012). Aircraft design: A systems engineering approach. John Wiley & Sons.

Serway, R. A., & Beichner Robert J. (2004). Physics For Scientists and Engineers with Modern Physics (6th bs, C. 1). Thomson Books/Cole.

Siddall, R., Ortega Ancel, A., & Kovač, M. (2017). Wind and water tunnel testing of a morphing aquatic micro air vehicle. Interface Focus, 7(1), 20160085. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2016.0085>

Stewart, W., Weisler, W., Macleod, M., Powers, T., Defreitas, A., Gritter, R., Bryant, M. (2018). Design and demonstration of a seabird-inspired fixed-wing hybrid UAV-UUV system. Bioinspiration and Biomimetics, 13(5). <https://doi.org/10.1088/1748-3190/AAD48B>

US Navy to Deploy. (2016, Mayıs 17). US Navy to Deploy Sub-Launched Spy Drones | Military.com. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, <https://www.military.com/defensetech/2016/05/17/us-navy-to-deploy-sub-launched-spy-drones>

Warrior. (2006, Mayıs 27). Warrior (Aero-Marine) Ltd - Introduction. Erişim tarihi: 27 Kasım 2022, <https://www.warrioraero.com/gull-uav/introduction.html>

Weisler, W., Stewart, W., Anderson, M. B., Peters, K. J., Gopalarathnam, A., & Bryant, M. (2018). Testing and Characterization of a Fixed Wing Cross-Domain Unmanned Vehicle Operating in Aerial and Underwater Environments. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 43(4), 969-982. <https://doi.org/10.1109/JOE.2017.2742798>

## Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atık Suyunun Koagülasyon- Flokülasyon ile Ön Arıtımı ve Fotoreaktör İle İleri Arıtımının İncelenmesi

Tayyar TORUN<sup>1</sup>  
Meltem SARIOĞLU CEBECİ<sup>2</sup>

### 1. GİRİŞ

Teknolojinin ve dolaylı olarak sanayi endüstrisinin gelişmesi ile birlikte su kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır ve bu tesislerde su kullanımı olmaktadır. Dünyadaki mevcut içilebilir su miktarı göz önünde bulundurulursa elimizdeki su kaynaklarına sahip çıkmamız gerekmektedir. Endüstride kullanılan sular atık suya dönüşmesinin akabinde kirleticilerinden arındırılarak deşarj standartları sağlandıktan sonra deşarj edilmelidir. Aksi takdirde sınırlı olan su kaynakları kirlenip çevre ve su problemlerine neden olabilir. Özellikle tekstil endüstrisinde su kullanımı ve atık su oluşumu oldukça fazladır. Tekstil atık suları bünyesinde yüksek miktarda renk, KOİ, AKM gibi istenmeyen parametreler barındırabilir. Bu sebepten ötürü tekstil atık suları arıtılmadan deşarj edilmemelidir.

Renk barındıran atık suların direkt alıcı ortama verilirken çok az konsantrasyonlarda bile olsa önemli çevresel faktörler oluşturur (Balcı B. ; Nigam ve diğ., 2000). Renkten dolayı ışık suda alt katmanlara geçişi sağlayamaz ve alıcı ortamı olumsuz etkilenir (McKay, 1979). Tekstil sanayisi atık sularında büyük sorunlardan biri de renk içermesidir (KAMAG, 2013).

Kimyasal çöktürme işlemi, tekstil atık sularının renk gideriminde yaygın kullanılan proseslerdendir. Tekstil endüstrisi atık suları  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ve  $\text{CaCl}_2$  gibi kimyasal maddeler kullanılarak hızlı karıştırma, yumaklaştırma, çökeltme havuzlarından oluşan kimyasal çöktürme düzeneği ile arıtılabilmektedir. Kullanılan katalizörlerin verimi, pH değerine göre değişir ve uygun pH değerini elde etmek için asitler ve bazlar kullanılmaktadır. Kimyasal çöktürme prosesi ile çoğu rengin giderimi sağlanmaktadır (Üner H. 2002).

Fotokatalizörler, UV etkisi aracılığıyla yüzeyinde oksitleyici ortamı oluşan yarı iletkenler şeklinde tanımlanabilir. Fotokatalizörler ışık yardımıyla aktif hale gelirler ve enerjiyi katalizöre aktararak tepkimeyi başlatır (Sayılkan, 2007). Birçok metal oksit yarı iletkenidir ama arasında fotokatalik prosese en uygunu  $\text{TiO}_2$ 'dir. (Yiğit, 2008). Ayrıca  $\text{TiO}_2$  hesaplı ve kolay bulunabilir olmasıyla oldukça avantajlıdır. (Sakthivel vd., 2003).

### 2. MATERYALLER

#### 2.1. Deneysel Çalışma

Çalışmada gerçek tekstil atık suyu kullanılarak koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtım yapılmıştır ve ardından fotokatalik proseste ileri arıtım yapılmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon ile

---

<sup>1</sup> Student, Sivas Cumhuriyet University, Environmental Engineering Department, Orcid: 0000-0003-0268-4218

<sup>2</sup> Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet University, Environmental Engineering Department, Orcid: 0000-0002-3636-0388

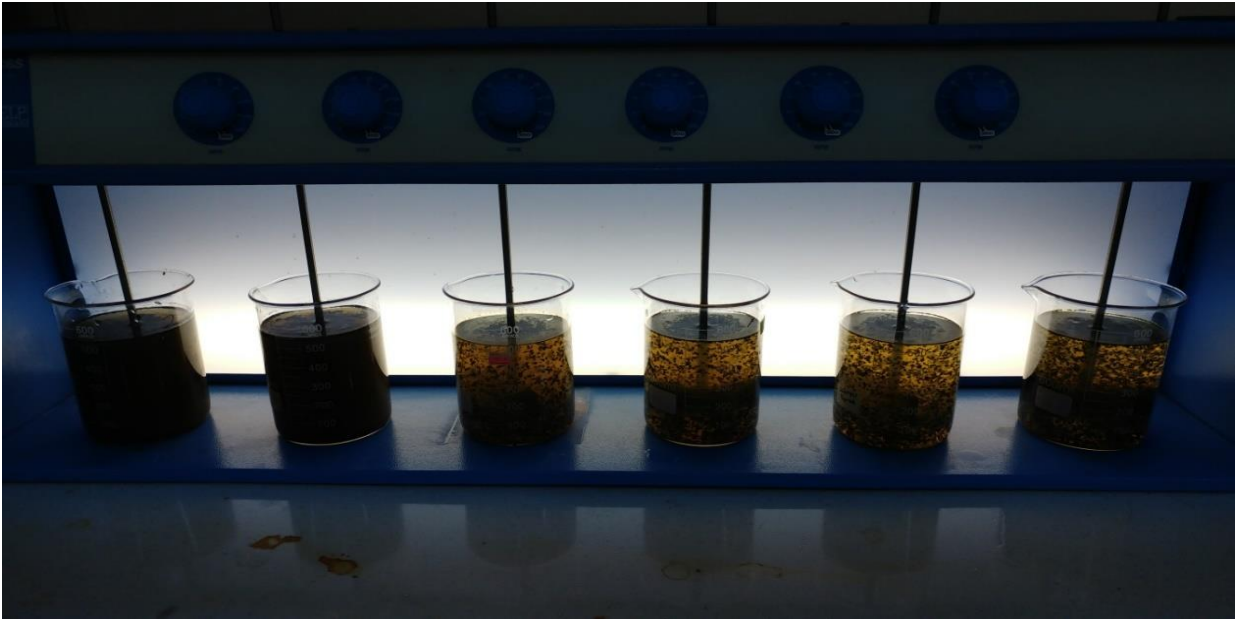
ön arıtmada önce; optimum ph, sonrasında uygun koagülant dozu ve uygun çökeltme zamanı bulunarak ardından ön arıtım yapılarak; renk, AKM, KOİ parametrelerine bakılmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıtmadan çıkan arıtılmış su fotokatalik proses ile farklı katalizörlerle ( $TiO_2$  ve  $ZnO$ ) ve farklı dozlarda ileri arıtmaya tabi tutularak; renk, AKM, KOİ değerleri analiz edilmiştir

## 2.2. Deneyleerde Kullanılan Materyaller

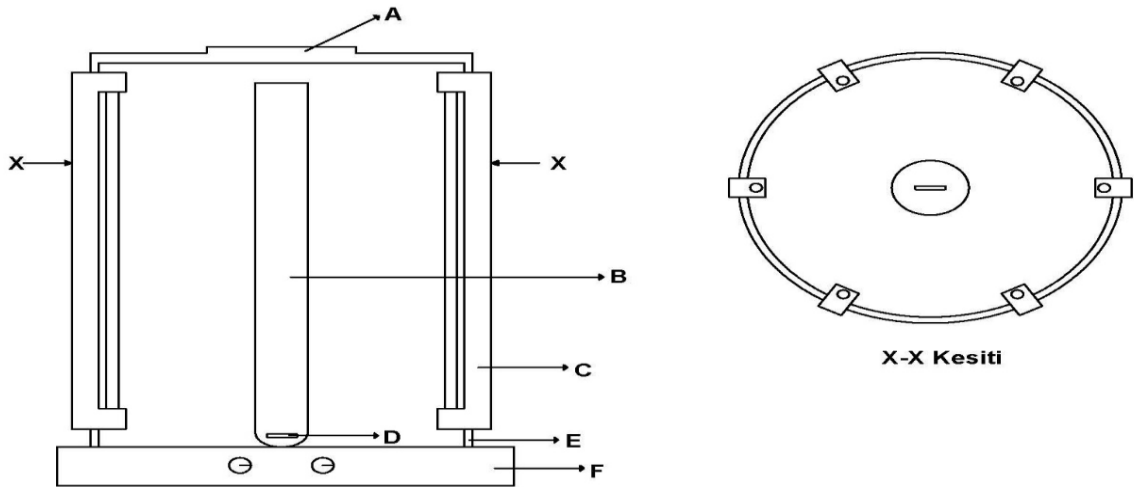
Çalışmada; koagülasyon-flokülasyon deney düzeneği ve  $FeCl_3$  kimyasalı (koagülantı), fotokatalik reaktör prosesi ve  $TiO_2$  ve  $ZnO$  katalizörleri ile deneyleerde gerekli olan cam malzemeler, ölçümler için gerekli cihazlar ve gerekli kimyasallar kullanılmıştır.

## 2.3. Deney Düzeneği

Koagülasyon ve flokülasyon ile arıtım deney düzeneği ve fotokatalik proses çalışma prensibi aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Koagülasyon-flokülasyon deney düzeneği



Şekil 2.2 Fotokatalitik reaktörün şematik gösterimi. A: Kapak, B: Quartz tüp, C: UV-C lamba ve duyu, D: Manyetik balık, E: Silindir reaktör, F: Manyetik karıştırıcı. (Selçuk, 2017)

## 2.4. Deneylerde Kullanılan Koagülant ve Katalizörler

### 2.4.1. Demir 3 Klorür (FeCl<sub>3</sub>)

Demir tuzları, pH 3-13 arasında çözünemeyen demir bileşikleri oluştururlar. Kuvvetli asit anyonları içeren koagülantlar hidrolizleri sonucunda asit gibi davranışlarından dolayı koagülasyondan sonra pH'ı artırmak için ortam kireç ilavesi gerekebilir. Bu durum atık suyun değerlerine bağlıdır. (<https://www.yesilaski.com/jar-testi-deneyi.html>)

### 2.4.2. Titanyum Dioksit (TiO<sub>2</sub>)

TiO<sub>2</sub> doğada 4 farklı kristal yapıdadır ve bunlar Amorf, Rutil Brookit ve Anataz şeklindedir. Amorf yapıdaki TiO<sub>2</sub> XRD analizinde pik vermez, bu sebepten dolayı fotokatalitik sistemde etkinliği yoktur. Bu çalışmada Anataz yapıdaki TiO<sub>2</sub> kullanılmıştır ve aşağıdaki tabloda bazı bilgileri verilmiştir. (Selçuk, 2017)

**Tablo 2.1** TiO<sub>2</sub>'in tanecik boyutu ve yüzey alanıyla ilgili bilgiler (Selçuk, 2017).

Ölçülen Tanecik Sayısı	50
En Büyük Tanecik Boyutu	395,52 nm
En Küçük Tanecik Boyutu	63,10 nm
Ortalama Tanecik Boyutu	197.90 nm
BET Yüzey Alanı Ölçümü	15,81 m <sup>2</sup> /g
Gözenek Hacmi	0,07616 cc/g
Molekül Ağırlığı	81,37 g/mol

### 2.4.3 Çinko Oksit (ZnO)

ZnO, bir yarı iletkenidir ve bu nedenle kullanımı oldukça yaygındır. ZnO “wurtzite” kristal yapıdadır. Aşağıda bazı bilgileri verilmiştir. (Selçuk, 2017)

**Tablo 2.2** ZnO'ın tanecik boyutu ve yüzey alanıyla ilgili bilgiler (Selçuk, 2017).

Ölçülen Tanecik Sayısı	50
En Büyük Tanecik Boyutu	395,52 nm
En Küçük Tanecik Boyutu	63,10 nm
Ortalama Tanecik Boyutu	197.90 nm
BET Yüzey Alanı Ölçümü	15,81 m <sup>2</sup> /g
Gözenek Hacmi	0,07616 cc/g
Molekül Ağırlığı	81,37 g/mol

## 2.5. Deneylerde Kullanılan Diğer Ekipmanlar

Deneylerde aşağıdaki ekipmanlar da kullanılmıştır;

- Spektrofotometre (Hach Lange DR 3900),
- Manyetik karıştırıcı (İka),
- Termoreaktör.
- AKM filtre ve pompa sistemi,
- PH ve iletkenlik ölçer (Adwa),



- Türbidimetre (WTW 355IR),
- Hassas terazi (Shimatzu).

## 2.6. Deneysel Yöntem

Koagülasyon-flokülasyon ile ön arıtmada; deney sisteminde karıştırıcılar, 500 mL'lik beherlerin içerisine daldırılır ve 100 dev/dak. hızında karıştırılır. Koagülant madde bu adımda sisteme eklenir ve hız 30 dev/dak.'ya düşürülerek yavaş karıştırma adımına geçilir. Otuz dakika geçtikten ve floklar oluştuğundan sonra sistem kapatılarak çökeltme adımına geçilir. Çökeltme olduktan sonra pipet yardımı ile berrak su floklar dağıtılmadan alınır.

Fotokatalitik reaktör ile arıtım 400 ml atık su ile yapılmıştır. Hazırlanan çözeltiye katalizörü ekledikten sonra UV lambalar açılmadan 1 dk boyunca karanlıkta çözelti karıştırılarak numune alınmıştır. Sonrasında lambalar çalıştırılarak 30 dk'da bir numune alınmıştır. Alınan numuneler ivedilikle 0,45 mikron'luk filtrelerden AKM filtresinden pompa yardımı ile geçirerek katalizörden ayrılmış numunenin analizleri yapılmıştır.

## 2.7. Analiz Yöntemi

Gerçek tekstil atık suyuna spektrofotometre yardımı ile absorbans dalga boyu taraması yapılarak maksimum dalga boyları belirlenmiştir. Renk konsantrasyonu bilinen sulu çözeltilerin maksimum dalga boyları absorbans değerleri ölçülerek renkler için kalibrasyon grafikleri elde edilmiştir. Böylece fotometre ile ölçülüp renk konsantrasyonları analiz edilmiştir. Analiz edilen değerlere göre renk giderim verimleri Denklem 2.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Verim} = \left( \frac{C_0 - C}{C_0} \right) * 100 \quad [2.1]$$

Denklem 2.1'de verim; renk giderim verimini,  $C_0$ ; başlangıç renk konsantrasyonunu,  $C$ ; numunenin renk konsantrasyonunu belirtmektedir.

KOI deneyleri APHA standart metotlarına uygun şekilde kapalı reflux titrimetrik yöntemiyle analiz edilmiştir (APHA, 1995).

## 3. BULGULAR

Deneylerde kullanılan gerçek tekstil atık suyunun özellikleri aşağıdaki gibidir

**Tablo 3.1** Çalışmada kullanılan tekstil atık suyunun özellikleri

<b>BULANIKLIK</b>	260.4 NTU
<b>KOI</b>	2150 mg/L
<b>AKM</b>	715 mg/L
<b>RENKLER</b>	<b>Yeşil</b> : 4752 (Pt-Co) <b>Turuncu</b> : 4398 (Pt-Co) <b>Menekşe</b> : 4042 (Pt-Co) <b>Sarı</b> : 4592 (Pt-Co)

### 3.1. Ön Arıtımda Optimum pH'ın Belirlenmesi

Optimum pH'ı bulmak için pH 3-10 arasında diğer değişkenler sabit tutularak deneyler yapılmıştır ve bunun sonucunda en uygun pH aralığının 5 olduğu belirlenmiştir(Tablo 3.2).

**Tablo 3.2** Optimum pH'ı bulmak için yapılan deneyler

PH	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
3	252	3928	2741	2456	1918
4	198	3225	2087	1838	1376
5	153	2796	1634	1413	988
6	237	4229	2510	2201	1375
7	344	5197	5205	4685	3208
8	318	5176	5221	4432	2998
9	318	5175	5293	4376	2946
10	316	5127	5180	4897	2905

### 3.2. Ön Arıtımda Optimum Dozun Belirlenmesi

Optimum dozu bulmak için önce 0,25 g/L Fe, 0,50 g/L Fe, 0,75 g/L Fe, 1 g/L Fe, 1,25 g/L Fe, 1,50 g/L Fe, 1,75 g/L Fe ve 2 g/L Fe dozunda deneyler yapılmıştır ve uygun dozun 0,25 g/L Fe olduğu belirlenmiştir. Ardından ilaveten 0,05 g/L Fe ve 0,1 g/L Fe dozunda ilave deneyler yapılarak uygun koagülant dozunun 0,1 g/L Fe olduğu anlaşılmıştır (Tablo 3.3).

**Tablo 3.3** Optimum dozu bulmak için yapılan deneyler

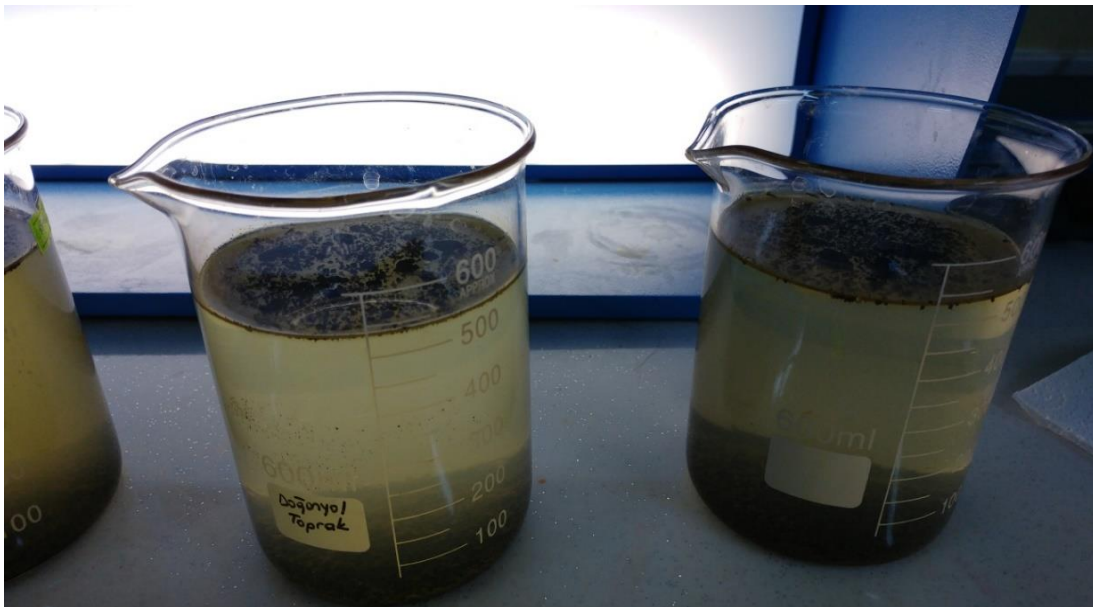
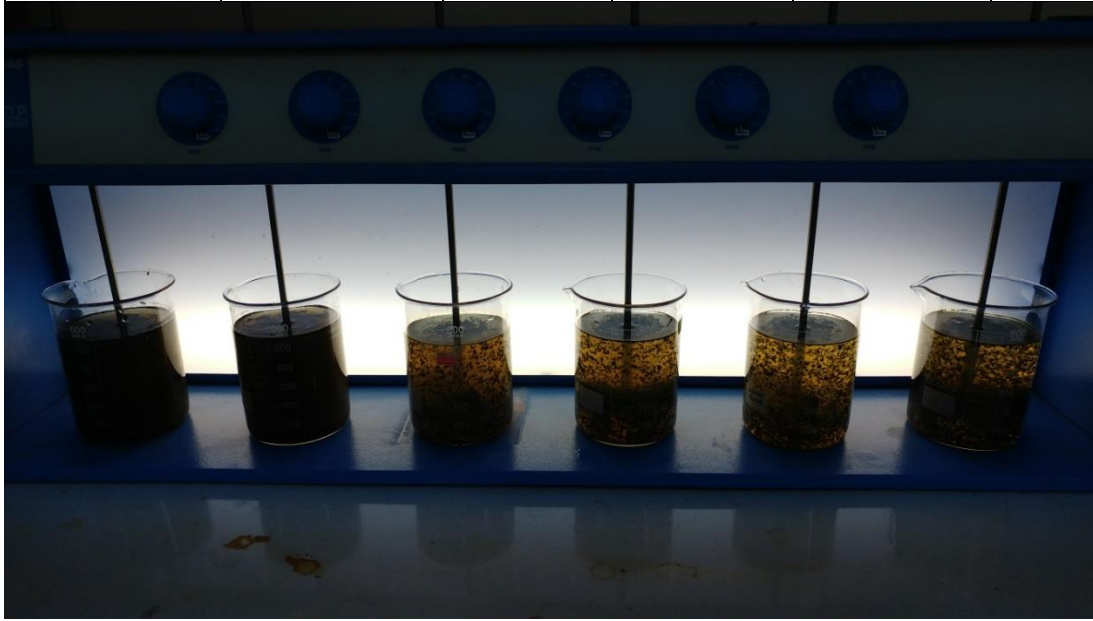
Doz FeCl3 g/L Fe	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0,05	99	1223	936	828	705
0,1	101	1178	893	799	602
0,25	216	2891	2100	1876	1348
0,5	279	3890	2770	2473	1786
0,75	215	3272	2238	1981	1481
1	228	3657	2418	2130	1573
1,25	224	3914	2459	2148	1563
1,5	218	4081	2452	2125	1536
1,75	222	4356	2541	2192	1565
2	225	4499	2615	2234	1571

### 3.3. Ön Arıtımda Optimum Çökeltme Zamanının Belirlenmesi

Koagülasyon-flokülasyon deneylerinde deney sonlandıktan sonra çökeltim aşamasında uygun bekleme sürelerine bakılmıştır. Buna göre en uygun bekleme zamanının 0,5 saat olduğu açığa çıkmıştır ve 0,5 saatten sonraki sürelerde flokların tekrar dağıldığı gözlemlenmiştir (Tablo 3.4)

**Tablo 3.4** Optimum çökeltme zamanını bulmak için yapılan deneyler

Zaman (saat)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0,5	101	1178	893	799	602
1	106	1255	961	863	654



**Şekil 3.1** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtımda yapılan çalışmanın görseli

Şekil 3.1 de kimyasal çöktürme deneyinde kullanılan jar testi deneyi ve çalışmada elde edilen sonucun beherdeki görüntüsü verilmektedir. Tablo 3.5 de alumün koagülant olarak kullanıldığı ve optimum koagülant dozunun 0,1 g/L olarak belirlendiği ve buna göre AKM (mg/L), KOİ (mg/L) ve bulanıklığın (NTU) sırasıyla 85, 650 ve 101 olduğu bulunduğu verilmiştir. Tablo 3.6 da da optimum koagülant dozunda deney sonucunda bulunan renk değerleri yer almaktadır.

**Tablo 3.5** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtım sonuçları

Koagülant	AKM mg/L	KOİ (mg/L)	Bulanıklık (NTU)
FeCl <sub>3</sub> 0,1 g/L Fe	85	650	101

**Tablo 3.6** Koagülasyon-flokülasyon ile arıtım sonuçları

Koagülant	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu (Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
FeCl <sub>3</sub> 0,1 g/L Fe	1178	893	799	602

Sonuç olarak, gerçek tekstil atık suyu koagülasyon-flokülasyon ve kimyasal çöktürme ile ön arıtımı sonucu giriş atık su içerisinde ölçülen parametrelerin giderildiği ancak bu tekstil atık suyunu proses suyu olarak ya da farklı amaçlarla yeniden kullanmak üzere değerlendirildiğinde çalışmanın 2. Aşamasında fotokatalitik reaktör ile ileri arıtım yapılmıştır.

### 3.3. Fotokatalitik Proses İle Yapılan Deneyler

Tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyonla ön arıtım yapılarak stok ön arıtılmış atık su elde edilmiştir. Stok atık suyun özellikleri tablo 3.5 ve 3.6'daki değerlerdir. Bu atık su aynı zamanda fotoreaktörün giriş atık suyudur. Fotokatalitik reaktörde koagülasyon ve flokülasyonla ön arıtmadan çıkan atık su önce katalizör ilavesiz arıtıma tabi tutulmuştur ve verim alınamamıştır. Daha sonra Koagülasyon-Flokülasyonla ön arıtılmış atıksu daha sonra TiO<sub>2</sub> ve ZnO katalizörleri ile 0,1 g/L Ti, 0,2 g/L Ti, 0,3 g/L Ti ve 0,1 g/L Zn, 0,2 g/L Zn, 0,3 g/L Zn farklı dozlarında katalizörün katıldığı başlangıç anından başlayarak her 30 dakikada bir örnek alınarak sonuçlara bakılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

**Tablo 3.7** Koagülasyon-flokülasyonda FeCl<sub>3</sub> koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	Katalizör ilavesiz				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	101	1178	893	799	602
30	103	1150	890	801	598
60	102	1160	882	802	590
90	104	1155	885	793	595
120	101	1166	879	796	599

150	102	1173	881	790	591
180	103	1175	884	794	595
210	102	1172	887	798	600

**Tablo 3.8** Koagülasyon-flokülasyonda FeCl<sub>3</sub> koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun TiO<sub>2</sub> katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

TiO <sub>2</sub> katalizörlü (0,1 g/L Ti)					
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	90	1100	801	698	513
30	50	560	457	387	284
60	45	380	308	291	202
90	40	270	265	240	150
120	41	268	260	230	148
150	40	269	261	235	147

**Tablo 3.9** Koagülasyon-flokülasyonda FeCl<sub>3</sub> koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun TiO<sub>2</sub> katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

TiO <sub>2</sub> katalizörlü (0,2 g/L Ti)					
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	70	901	650	496	305
30	15	300	220	170	100
60	5	175	105	80	51
90	4	85	54	48	27
120	3	60	42	36	15
150	2	61	40	36	15
180	3	59	41	36	14

**Tablo 3.10** Koagülasyon-flokülasyonda FeCl<sub>3</sub> koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun TiO<sub>2</sub> katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	TiO <sub>2</sub> katalizörlü (0,3 g/L Ti)				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	55	740	490	330	142
30	20	350	284	150	77
60	22	200	176	104	55
90	18	107	110	99	49
120	20	88	105	88	40
150	17	80	100	90	39
180	19	80	103	89	41

**Tablo 3.11** Koagülasyon-flokülasyonda FeCl<sub>3</sub> koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun ZnO katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	ZnO katalizörlü (0,1 g/L Zn)				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	94	1050	800	705	500
30	95	1055	810	706	515
60	3	175	123	115	99
90	2	111	108	105	82
120	1	100	84	80	66
150	2	101	84	76	61
180	1	102	85	77	64

**Tablo 3.12** Koagülasyon-flokülasyonda FeCl<sub>3</sub> koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun ZnO katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

	ZnO katalizörlü (0,2 g/L Zn)				
Zaman (dk)	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	88	970	754	650	400
30	1	100	81	60	50

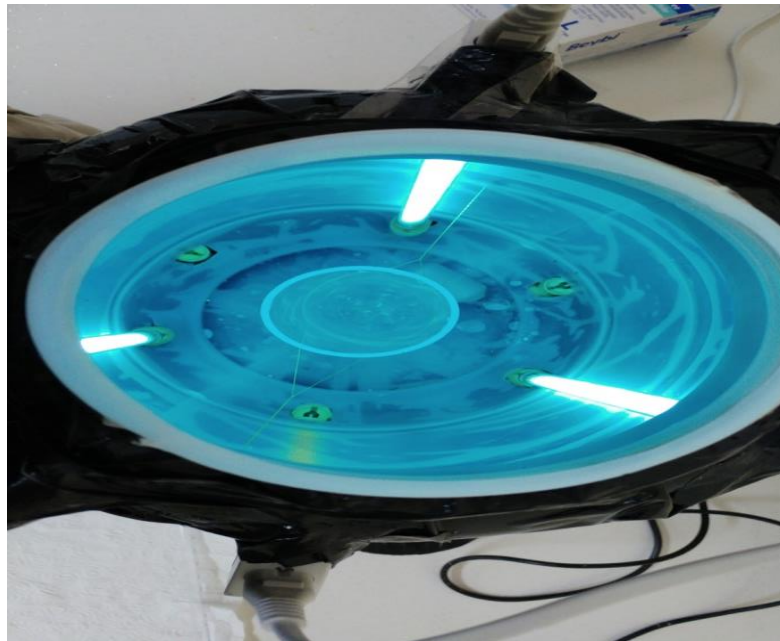
60	0,5	50	44	35	25
90	0,4	51	43	34	23
120	0,3	49	43	33	21

**Tablo 3.13** Koagülasyon-flokülasyonda FeCl<sub>3</sub> koagülantı kullanılarak arıtılmış stok atık suyun ZnO katalizörlü fotoreaktör ile arıtılması çıkış değerleri

Zaman (dk)	ZnO katalizörlü (0,3 g/L Zn)				
	BULANIKLIK (NTU)	Yeşil (Pt-Co)	Sarı (Pt-Co)	Turuncu(Pt-Co)	Menekşe (Pt-Co)
0	70	900	688	597	344
30	15	94	72	65	59
60	10	80	56	51	44
90	11	80	55	50	46
120	9	81	53	49	45

**Tablo 3.14** Arıtılmış atık suyun fotokatalitik reaktörden çıkış değerleri

Fotokatalitik reaktördeki atıksu cinsi	Katalizör	KOİ (mg/L)
FeCl <sub>3</sub> koagülantlı arıtılmış stok atık suyu	ZnO (0,2 g/L Zn)	200
FeCl <sub>3</sub> koagülantlı arıtılmış stok atık suyu	TiO <sub>2</sub> (0,2 g/L Ti)	187



**Şekil 3.2** Deneylerde kullanılan fotoreaktörün üstten görünümü

## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 4.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyonla arıtımının; yapılan deney sonuçlarına bakılacak olursa renk giderimi %75,2 ile %85,1 arasında bulunmuştur. Ayrıca %88,1 AKM , %61,2 bulanıklık ve %69,7 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Bu çalışmada, tekstil atık suyunun koagülasyon ve flokülasyon ile ön arıttımdan sonra fotokatalitik reaktör ile ileri arıtım sonuçlarını değerlendirdiğimizde; ZnO katalizörü ilavesi ile yapılan deneylerde sistem toplamda; %98,9-99,4 arasında renk giderim verimi, %100 AKM giderim verimi, %99,9 bulanıklık giderimi ve %90,6 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. TiO<sub>2</sub> katalizörü ilavesi ile yapılan deneylerde sistem toplamda; %98,7-99,6 arasında renk giderim verimi, %100 AKM giderim verimi, %99,9 bulanıklık giderimi ve %91,3 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

Koagülasyon-flokülasyonla ön arıttımdan sonra fotokatalitik reaktörle yapılan çalışmalarda giderim verimlerine bakıldığında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sonucunda fotokatalitik reaktörden sonra arıtılmış su; tarımsal alanda, endüstriyel alanda, yeraltı suyunun beslenmesinde, park ve bahçelerin sulanmasında, yangın suyu olarak, tuvaletlerde ve benzeri alanlarda tekrar kullanılabilir hale gelmiştir. Özellikle tekstil endüstrilerinde proseye oldukça fazla su kullanılmakta olup, bu endüstri için su ihtiyacı ülkemizde yaygın olan tekstil endüstrilerinde arıtılmış olan sular da endüstride tekrar proses suyu hazırlamak için kullanılabilir.

### 4.2. ÖNERİLER

- Bu çalışmanın benzeri farklı tekstil atık suları ile çalışılabilir.
- Koagülasyon ve flokülasyon ile arıttımda farklı koagülantlar kullanılabilir.
- Bu çalışmanın sonuçları gerçek ölçekli olarak uygulanabilir.
- Fotokatalitik reaktörde farklı katalizörler denenebilir.
- Fotokatalitik reaktörde kullanılan katalizör dozları daha hassas oranlara denenebilir.



## KAYNAKLAR

**APHA (American Public Health Association)** (1995). Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water, 19th ed. APHA-AWWA-WEF, Washington, DC. USA.

**Balcı B.** Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Sürekli ve Kesikli Sistemlerde Ağaç Kabuğu Kullanılarak Adsorpsiyon ile Giderilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana

**KAMAG,** (Kamu Araştırmaları Destek Grubu) (2013). 109G083 Nolu Tübitak Kamag Projesi El Kitabı

**MCKAY G., 1979.** Waste Colour Removal From Textile Effluents. Am. Dyes. Rep. 68: 29-36.

**Nıgam P., Armour G., Banat I.M., Singh D., Marchant R., 2000.** Physical Removal Of Textile Dyes And Solid State Fermentation Of Dyeadsorbed Agricultural Residues. Bioresour. Technol. 72: 219-226.

**Sakthivel, S., Geissen, S.U., Bahnemann, D.W., Murugesan, V., Vogelpohl, A. (2002).** Enhancement of photocatalytic activity by semiconductor heterojunctions:  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub> and

**Sayılkan, F. (2007).** Nano-TiO<sub>2</sub> Sentezi Fotokatalizör Sentezi ve Fotokatalitik Aktivitesinin Belirlenmesi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Malatya.

**Sefa Furkan Selçuk,** Tekstil Boyasının Sulu Çözeltilerden Fotokatalitik reaktörle giderimi ve farklı katalizörlerin veriminin incelenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 2017

**Üner H. (2002).** Bir Tekstil Endüstrisi Boya Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

**Yiğit, Z. (2008).** Fotokatalitik Arıtmanın Doğal Organik Madde Karakterizasyonu ve Dezenfeksiyon Yan Ürünlerine Etkisi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

<https://docplayer.biz.tr/203725476-Ileri-aritim-prosesleri-prof-dr-yuksel-ardali.html>  
01.10.2022 15.55

<https://www.yesilaski.com/jar-testi-deneyi.html> 01.10.2022 13.45

## Gayrimenkul Sektöründe Müşteri Tercihlerini Belirlemek İçin Bir Sınıflandırma Yaklaşımı

Kamil Çayırılı  
Umar İgan  
Zafer Sever  
Erim Ertürk  
Okan Örsan Özener

### 1.GİRİŞ

Gayrimenkul/inşaat sektörü gayri safi yurtiçi hasıladan aldığı paya bağlı olarak (2021 yılı il çeyreği itibari ile %5,8, pandemi öncesinde %8'lere varan bir oran) ülkemizde önemli sektörler arasında yer almaktadır. Bunun nedenleri arasında diğer gelişmiş ülkelere kıyasla daha genç/yüksek nüfus, kentleşme oranında artış, ortalama hane halkı büyüklüğünde azalma gibi faktörler sayılabilir. Buna ek olarak gayrimenkul yatırımının ülkemizde tercih edilen bir yatırım şekli olması da sektörün büyümesini etkileyen önemli bir faktör olmaktadır. Eski dönemlerde genellikle yerel bazda olan gayrimenkul yatırım tercihleri günümüzde yaygın e-platformlar sayesinde daha geniş bir coğrafik yelpazede olası müşterilere seçenekler sunmaktadır. Değişen hayat ve ekonomik koşullarla beraber çok dinamik değişen arz ve talep durumları yaşanmaktadır. Örneğin yeni hizmete alınan bir otoyol ilgili turizm bölgesinin popülaritesini artırabilmekte, pandemi koşulları farklı konut tipleri için (müstakil, bahçeli) tercihleri yönlendirebilmekte, makro ekonomik koşullar (artan hammadde, işçilik fiyatları) maliyetleri ve dolayısı ile satış fiyatlarını çok hızlı şekilde değiştirebilmektedir. Bütün bu dinamik sektör koşulları altında müşteri talebinin hızlı bir şekilde doğru yönlendirilmesi çok büyük önem taşımaktadır.

Gayrimenkul, yüksek kazanç oranına sahip bir ticaret alanı olduğundan ticaret firmaları sürekli olarak satış yapmayı ve yeni müşteriler kazanmayı istemekte, potansiyel müşterilerin alım fikrinden vazgeçmelerini ise asla istememektedir. Ancak her ticaretin doğasında olduğu gibi gayrimenkul ticaretinde de vazgeçmeler elbette ki olmaktadır. Müşteri davranışındaki bu değişikliği çok farklı sebepleri olabilir. Bu sebeplerden bazıları geri döndürülemez sebepler olabilirken (müşterinin ekonomik durumda değişiklik, sektörde yüksek fiyat artışları vs), diğerleri ise engellenebilir sebepler olmaktadır (müşteriye uygun emlak bulunamaması, müşterinin rakip firmaya kaybedilmesi vs). Burada firmalar, zaman zaman müşterilerin alımdan vazgeçmelerine engel olamasalar da, durumdan en az oranda zarar görebilmek için müşterilerin alımdan vazgeçme sebeplerini doğru bir şekilde belirleyebilmeli, sonraki hamlelerini bu verilere göre yapabilmeli, bu sayede alıcıları doğru bir şekilde yönetebilmek adına iyileştirme çalışmaları gerçekleştirebilmelidir.

Bu çalışmanın ana konusu potansiyel gayrimenkul alıcılarının ilgi duyduklarını, beğendiklerini, almayı düşündüklerini vb belirttikleri gayrimenkulleri almaktan bir süre sonra vazgeçme sebeplerinin doğru olarak sınıflandırılması ve kaydedilebilmesidir. Bu sayede hem alıcı hem satıcı hem de aracı firmalar için doğru eşleştirmelerin yapılma olasılığı artacak ve sektöre dahil olan herkes için avantajlı bir durum oluşması sağlanacaktır. Bu bağlamda hali hazırda firma çağrı merkezi operatörleri tarafından manuel şekilde yürütülen süreç, güncel yapay zeka ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak tekrar tasarlanmış, olası müşteri kayıplarının sebepleri doğru şekilde

belirlenecek ve bu sebepler müşteri profilleri ile beraber incelenerek doğru iş içgörülerini çıkartılmıştır. Ana olarak müşteri talebi tarafından şekillenen gayrimenkul sektörü için bu şekildeki özgün bir yaklaşım çok değişken sektör dinamikleri altına firmaya hızlı ve doğru aksiyon alma konusunda önemli yetkinlikler kazandırma potansiyeline sahiptir.

Müşteri kaybının önüne geçmek konusunda literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Verhoef, 2003; Ahmad ve Buttle, 2001; Ahmad ve Buttle, 2002). Fakat bu çalışmaların ana odağı müşteri talepleri açısından devamlılık içeren sektörlerdir ve genel anlamda literatürde ve sektörde kabul edilmiş olan “yeni müşteriler edinmektense eski müşterileri korumaya çalışmak çok daha ucuza malolur” ana varsayımı altında uzun dönemli müşteri sadakatını sağlayacak çözümler önermektedir. Öte yandan gayrimenkul sektörü genel olarak bu şekilde uzun dönemli müşteri talebi yapısına sahip olan bir sektör değildir. Müşteri taleplerinin karşılanması uzun süreler alabilse de talepler genellikle tek seferlik ve sınırlı sayıda olmaktadır. O nedenle tekrarlanan talebe sahip sektörler için geliştirilmiş olan yöntemler bu sektör için yetersiz kalmaktadır. Genel anlamda bir başka farklılık da talebin diğer sektörlerle göre çok boyutlu olmasıdır. Her ne kadar diğer sektörlerde müşteri taleplerinde fiyat, kalite, hızlilik/rahatlık gibi farklı boyutlar olsa da gayrimenkul sektöründe çok daha fazla olabilmektedir. Buna ek olarak müşteri durumu, beklentileri, sektör dinamikleri uzun süren talep karşılama sürecinde değişebilmekte ve bu da müşteri koruma (retention) stratejisi geliştirmeyi daha zor kılmaktadır. Son olarak makine öğrenmesi ve yapay zeka uygulamaları ile müşteri koruma konusunda çalışmalar yakın zamanda literatürde yer almaktadır (Sabbeh, 2018; Schaeffer ve Sanchez, 2020; Kumar vd, 2012) fakat gayrimenkul sektörü özelinde bu gibi bir çözüm bulunmamaktadır.

## 2.PROBLEM TANIMI

Potansiyel alıcıların ilgi gösterdiği gayrimenkul ile ilgili alım işleminden vazgeçmesinin birçok sebebi olabilir. Bunlar

- Kriterlere uygun bir gayrimenkul bulunamaması,
- Kriterlere daha uygun bir gayrimenkulün bulunması alternatif kanallarla bulunması,
- Başka bir sebeple nakit ihtiyacı oluşması veya başka bir alım/yatırım (otomobil, altın vs) yapılmaya karar vermesi,
- Gayrimenkul alma sebeplerinin (evlilik, iş başvurusu, taşınma hali vb) ortadan kalkması,
- Banka kredisi kullanılması planlanan durumlar için kredi almasına engel bir durum oluşması,
- Kişinin ekonomik durumdaki ani değişim (işten çıkarılma, ödeme alamama vs),
- Gayrimenkul piyasasındaki ani değişim (fiyatların aşırı artması vs)
- Gayrimenkulün iskan durumu ile ilgili edinilen ek bilgi (iskan, tapu, tadilat konusundaki olası sorunlar)

vb sebepler olabilir. Firmanın ilgili alım satım sürecinde müşteri ile temasta olan müşteri temsilcileri bulunmaktadır. Bu süreçte alıcının alım işleminden vazgeçtiği durumlarda, alıcıların vazgeçme nedenleri operasyon ekibi tarafından (müşterinin bilgi vermesi halinde) sisteme işlenmektedir. Bu süreçte müşteri temsilcileri müşterilere çeşitli sorular yöneltmekte ve aldığı bilgilere bağlı olarak müşterinin vazgeçme sebebini belirlemeye çalışmaktadır. Manuel olarak yapılan bu işlemlerde doğal olarak bireysel hatalar söz konusu olabilmektedir. Müşteri temsilcileri yoğunluk durumları, subjektif önyargıları, müşterinin kapsamlı bilgisine çağrı süresince anlık olarak

ulaşamamış olma ihtimalleri gibi sebepler süreçteki hataların ana sebepleridir. Doğal olarak hatalı bir sebep belirlenmesi sonrası alınacak olası aksiyonlar müşteri kaybını engellemeyeceği gibi firma açısından zaman ve para kaybına yol açmaktadır.

Çalışma kapsamında manuel olarak yürütülen sürecin otomatize edilmesi, kişisel hatların/önyargıların önüne geçilmesi, güncel yapay zeka ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak müşteri kaybının sebeplerinin doğru şekilde belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu bağlamda geçmiş dönemlerle ilgili operasyon ekibimin müşterilerle yaptığı tüm görüşmeler kaydedilmiş, operatörlerin aldığı notlar veri tabanlarına eklenmiştir. Buna bağlı olarak operatörlerin bu görüşmelere bağlı olarak seçtikleri sebepler de veri tabanında bulunmaktadır. Bu noktada hedef operatörlerin yaptığı bu seçimleri daha hızlı ve daha doğru yapmayı başaran bir makine öğrenmesi modeli ortaya koymaktır.

### 3.ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Çalışma kapsamında öncelikle müşterinin kişisel bilgileri, firmadaki işlem geçmişi, gayrimenkul alımı konusundaki genel tercihleri ve son olarak müşteri alımının olumlu ve olumsuz sonuçları durumundaki operasyon ekibi ile yaptığı konuşmalar incelenmiştir. Bu verilerden bazıları işlenmesi görece kolay veriler iken (örneğin müşterinin statik verisi, bulunduğu il, yaş vs) diğer veriler bir miktar zorluklar içermektedir. Örneğin müşteri gayrimenkul alımı konusundaki genel tercihleri müşteri ile yapılacak bir ön anket ile bulunabilecekken (ne çeşit bir gayrimenkul arandığı, fiyat skalasının ne olduğu vs.) çoğunlukla bu veriyi kolay bir şekilde yorumlamak ve kullanmak mümkün olmayabilir. Genel anlamda sektör dinamikleri düşünüldüğünde müşterilerin taleplerin zaman içerisinde değiştiği sıklıkla görülmektedir.

Müşterilerin gayrimenkul alımından vazgeçme sebeplerine belirlemek için çalışmada ele alınan problem çok kategorili bir sınıflandırma problemidir. Bu problemde müşteriler çok fazla farklı sebep nedeniyle bu kararı vermiş olabilecekleri için ilgili sınıflandırma modülünün bütün bu ihtimalleri değerlendirmesi gerekmektedir. Literatürde hali hazırda kullanılan etkin ve koşma zamanı açısından verimli çok sayıda sınıflandırma yöntemleri bulunmaktadır (lojistik regresyondan, yapay sinir ağları modellerine kadar). Bu çalışmada sınıflandırma metodu olarak XGBoost kullanılmıştır.

XGBoost, sınıflandırma için makine öğreniminde yaygın olarak uygulanan, ölçeklenebilir bir ağaç güçlendirme sistemidir. XGBoost, esas olarak tek amaçlı tahminler için geliştirilmiştir. Çok etiketli problemler için hedefler bağımsız olarak kabul edilir. Bir XGBoost modelinden gelen tahminler, uygulanan hiper parametrelere bağlıdır. Bu nedenle, daha iyi tahminlere ulaşmak için hiper parametre optimizasyonu çok önemlidir. Izgara arama, belirtilen parametre değerleri üzerinde tüm olası kombinasyonları deneyerek optimal hiper parametre değerlerini bulmak için popüler yöntemlerden biridir. Bununla birlikte, optimal değerleri bulmak ampirik olarak zaman açısından verimli olmayabilir. Hiper parametre uzayından önerilen rastgele seçilmiş denemeler, özellikle daha büyük veri setleri ve hiper-parametre değer setleri için grid aramasından daha verimli olmaktadır.

Çözülen sınıflandırma problemi genel anlamda oransal çok dengesiz çıktılar içeren bir sınıflandırma problemidir. Temel anlamda literatürde ilgili durumlarda yapay veri yaratmak (oversampling) veya örneklem almak (undersampling) gibi metotlar kullanılsa da, çoklu (multi-nominal) bir sınıflandırma problemi olması ve verinin boyutunun az olması nedeniyle ilgili yöntemler bu aşamada tercih edilmemiştir.

### 4.SAYISAL SONUÇLAR

Çalışma kapsamında toplam 15,716 satır girdi toplanmış ve bunlara bağlı olarak güdümlü bir öğrenme süreci iletmiştir. Kullanılan model hiper parametre kalibrasyonları yapılarak en

yüksek performansı verecek şekilde kurgulanmıştır. Operatör seçimleri ile modelin verdiği sonuçların doğruluk karşılaştırması Figür 1’de verilmiştir.

	Agents	Classifier
SOLD	0.980332	0.972529
KISISEL_NEDENLER	0.969525	0.858611
NOT_ANSWERING	0.964007	0.848230
BIDDING_FINISHED	0.863309	0.796163
FIYAT	0.798010	0.879602
KREDI_CIKMADI	0.666667	0.476190
ISGALCI_SIKINTILI	0.636111	0.501389
INVALID_APPLICATION	0.598470	0.500956
SWAP	0.500000	1.000000
REAL_ESTATE_PROPERTY	0.432977	0.437722
BROKER	0.413043	0.065217
SERVICE_FEE	0.348485	0.621212
POTENTIAL_CUSTOMER	0.030303	0.000000
PAYMENT_METHOD	0.000000	0.000000

Figür 1: Sınıflandırma Sonuçları Karşılaştırması

Bu sonuçlara bağlı olarak geliştirilen modelin bazı kategorilerde operatörlerden daha iyi performans gösterdiği bazı kategoriler de ise geride kaldığı görülmüştür. Buradaki ana sebep modelin şu anda kullandığı öznitelik havuzunun kısıtlı olmasıdır. Bunun için ileriki çalışmalarda daha çok veri tarafından beslenen bir model yapısı kurgulanması ve makine öğrenmesi metodunun performansının artırılması hedeflenmektedir.

## SONUÇ

Bu çalışma sonunda gayrimenkul sektöründe müşteri tercihlerinin sebeplerini bulmayı amaçlayan bir sınıflandırma modeli geliştirilmiş ve bu model gerçek veri üzerinde operatörlerin yaptığı sınıflandırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak geliştirilen modelin sonuçlarının hali hazırda kullanılan yöntemle kıyasla bazı gruplarda daha iyi bazı gruplarda ise daha kötü olduğu görülmüştür. Buna ek olarak modelin çalışma hızının çok yüksek olması modelin gerçek zamanda kolayca kullanılabileceğini gösteren bir gösterge olmuştur.

## REFERANSLAR

Verhoef PC. Understanding the Effect of Customer Relationship Management Efforts on Customer Retention and Customer Share Development. *Journal of Marketing*. 2003;67(4):30-45. doi:10.1509/jmkg.67.4.30.18685

Ahmad, R., & Buttle, F. (2002). Customer retention management: A reflection of theory and practice. *Marketing intelligence & planning*.

Ahmad, R., & Buttle, F. (2001). Customer retention: a potentially potent marketing management strategy. *Journal of strategic marketing*, 9(1), 29-45.

Sabbeh, S. F. (2018). Machine-learning techniques for customer retention: A comparative study. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(2).

Schaeffer, S. E., & Sanchez, S. V. R. (2020). Forecasting client retention—A machine-learning approach. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 52, 101918.

Kumar, M. R., Venkatesh, J., & Rahman, A. M. J. (2021). Data mining and machine learning in retail business: developing efficiencies for better customer retention. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-13.

## Türkiye'nin Renk Değiştiren Süstaşı Diaspor [Al(OH)O] Kristallerinin Doğal Gün Işığındaki Hakim Renkleri ve Bunlara Sebep Olan Kromoforlar

Murat HATİPOĞLU<sup>1</sup>  
Evrim ÇOBAN<sup>2</sup>

### GİRİŞ

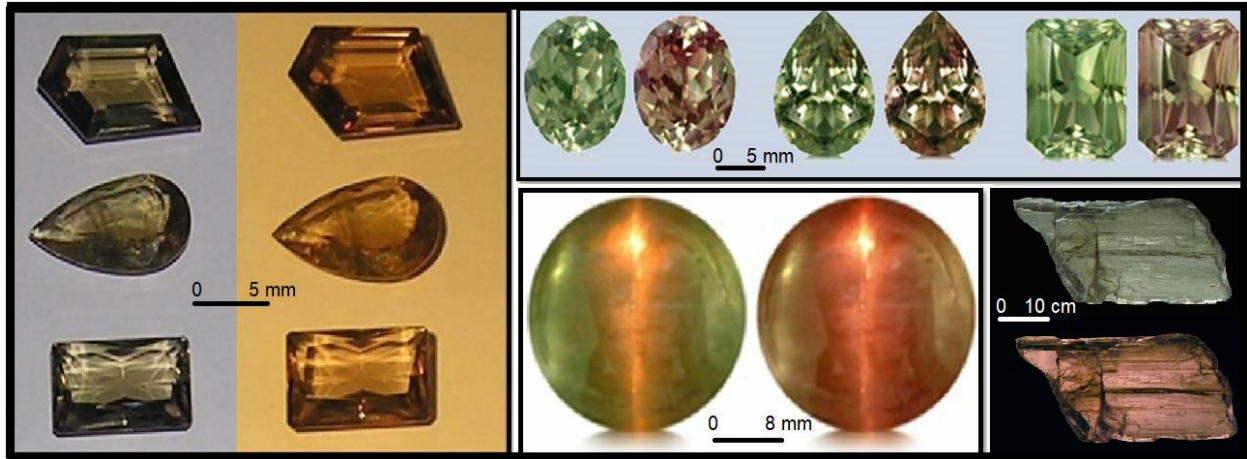
Süstaşı özelliğine sahip minerallerin en çarpıcı özellikleri, renk bakımından çekici olmaları ve dünya üzerinde olabildiğince ender bulunmalarıdır. Ayrıca bunların özel tekniklerle kesilip cilalanabilmeleri için uygun yapıya, boyutlara ve sertlik derecelerine de sahip olmaları beklenmektedir. Genelde süstaşı kalitesindeki mineraller ve alt türleri kullanıcıların ilgisini karakteristik renkleri ile çekmektedirler (örğ. Yakutun kırmızı, zümrütün yeşili, turkuvazın mavisi, ametistin moru vb.). Bunun yanında dünya süstaşı ticaretinde kullanıcıların yaygınca beğeni gösterdiği minerallerinin başında doğal oluşumlu olup birden fazla renk gösterenler (örğ. Ametrin, turmalin, mistik topaz vb) ile doğal oluşumlu ışık kaynağına göre renk değiştirenler (örğ. Aleksandrit, diaspor vb) gelmektedir (Shortell ve Irwin, 2017; Altıngöz vd., 2019: 1030-1039; Zhou vd., 2019: 925-931).

Özgün oluşumlu bir krizoberil mineral türü olan gem Rus aleksandrit kristalleri [BeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>] ile gem Türk diaspor kristalleri [Al(OH)O] dünyadaki mineraller arasında en iyi ışık kaynağına göre renk değiştirebilen süstaşı kalitesindeki materyaller olarak bilinmektedirler (Şekil 1).



<sup>1</sup> Prof.Dr., Dokuz Eylül University-İzmir/Türkiye, İMYO Department of Handicrafts, Gemmology, Jewellery, and Design Program, Orcid: 0000-0002-4345-9052

<sup>2</sup> Lect. Dr. Evrim ÇOBAN, Muğla Sıtkı Koçman University-Muğla/Türkiye, MMYO Department of Handicrafts, Gemmology, Jewellery, and Design Program, Orcid: 0000-0002-0867-6801



Şekil 1. Işık kaynağına göre (gün ışığı veya kuvvetli floresan ışığı ile zayıf akkor ışık) renk değiştirebilen süstaşı kalitesindeki mineraller arasında en makbul olanlar; Krizoberil mineral türü olan gem Rus aleksandrit kristalleri [BeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>] (üstteki grup) ile gem Türk diaspor kristalleri [Al(OH)O](alttaki grup).

Bu çalışmanın amacı, özgün diaspor kristallerinin, gösterebildikleri renk çeşitleri ve bu renk çeşitliliğine sebep olabilecek periyodik cetveldeki “B grubu” elementlerden olan kromoforların (renklenmeden sorumlu bir molekülün parçaları olan elementler) neler olabileceğidir.

Optik fiziksel açıdan gözümüz tarafından görülen renk, Snell Kanunu çerçevesinde görünür ışığın belirli bir dalga boyu spektrumu içinde (400-700 nm aralığında) süstaşı tarafından yutulan ışık ışınları olmayıp, geçirilen (saydam taşlarda)/yansıtılan (opak taşlarda) ışık ışınları tarafından oluşturulur. Fiziko-kimyasal bir renklenme terimi olan kromofor, aslında, molekülde iki ayrı moleküllerin orbitalleri arasındaki enerji farkının görünür spektrum aralığında olduğu bir bölgedir. Bu yüzden Periyodik cetvelde “B grubu” metalik elementler ile bazı nadir toprak elementleri, saydam veya opak tüm renkli mineraller için, tek başlarına veya gruplar halinde birer kromofordurlar (Nesse, 2012: 8-78).

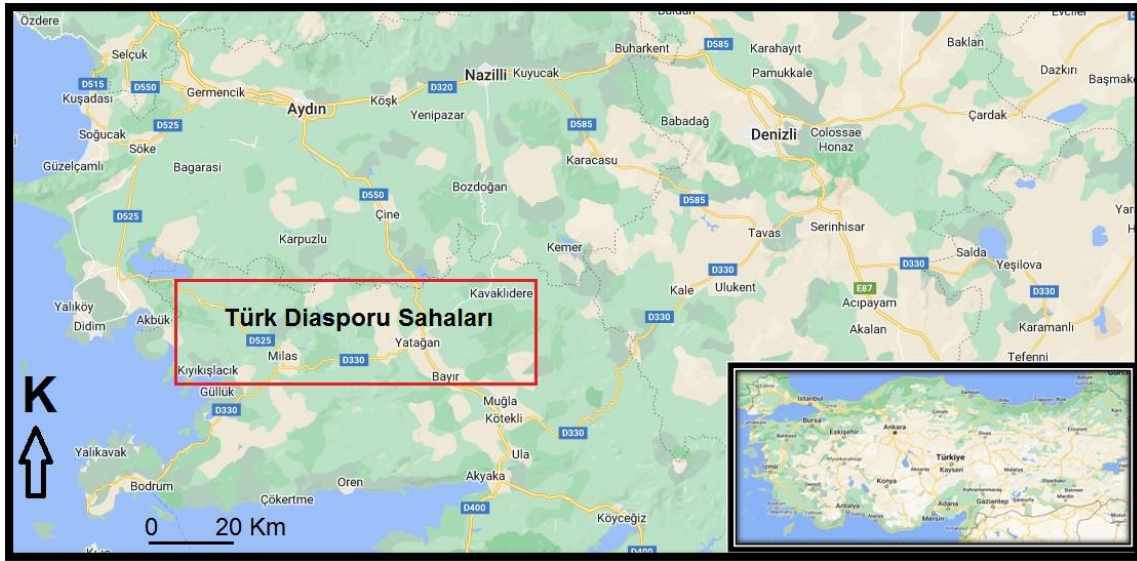
Aslında diaspor taşı, mineral olarak ilk kez 1801 yılında Mramorsk Zavod, Sverdlovskaya Oblast, Orta Urallar (Rusya) 'da tanımlanmıştır. René Just Haüy tarafından verilen diaspor ismi, Yunancada, ısıtıldığında parçalanmasına atıfta bulunarak “ kolay dağılabilen malzeme” anlamına gelir (Back ve Mandarino, 2008: 88). Başka bir deyişle diaspor kristalleri mükemmel dilinim yüzeyine sahip oldukları için hem ısıtıldığında hem de işlenmek için kesildiğinde, maalesef çok kolay dağılma göstermektedirler. Bu durum, diaspor taşının gemolojik açıdan çok olumsuz bir özelliğidir. Diaspor kristallerinin mineralojik sertliği Moh's eşelinde 6.5-7 dir. Özgül ağırlığı ise 3.37 (~3.4) dür (Anisimova ve Ivanova, 2020:408). Diaspor minerali, daha düşük oluşum sıcaklığına ve sertlik değerlerine sahip jibsit ve böhmit ile birlikte, alüminyum cevher boksitlerinin ana bileşenleridir (Önay, 1949; Hatipoğlu vd., 2010a, 2010b ve 2010c). Diaspor kristalleri, pürüzlü bir durumda olsalar bile mükemmel camsı parlaklık gösterirler. Bu parlaklık, bu kristallere orijinal bir görünüm vermektedir. Anadolu diaspor kristalleri, uzun (366 nm) veya kısa (254 nm) dalga ultraviyole ışığa maruz kaldıklarında herhangi bir flüoresan renk vermezler. Kristallerin yüksek Fe içeriklerinin ultraviyole ışımayı önlemede önemli bir rol oynadığı (Shoval vd., 2003:702) iyi bilinmektedir.

Klasik bilinen mikroskopik şekil, grimsi-beyazımsı ve sarımsı renkleri ve opak yapılı olanlarından farklı olarak, makroskopik şekil ve saydam yapılı süstaşı kalitesindeki diaspor [Al(OH)O] minerali oluşumu, ticari boyutta dünyada sadece Muğla (Türkiye) bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 2). Olağanüstü şeffaflıklarına ve renk değişimlerine ek olarak, bu gem Türk diaspor kristallerin bir diğer önemli özelliği de V-şeklinde ikizlenme göstermeleridir (Şekil 3). Bu



fenomenin arkasındaki neden, aslında günümüzde tam olarak bilinmemektedir. Ana nedenler olarak, büyüme koşullarının dinamikleri ve karmaşıklığı sayılabilir. İkiz çekirdekler oluşur oluşmaz, kristal ikiz oryantasyonda büyümeye devam eder. Daha sonraki büyüme aşamalarında, tetikleyici öge artık mevcut olmayabilir ve yine de kristaller ikiz yönelimde büyümeye devam ederler.

Bu kristaller aynı zamanda başlıca kloritoid, donbassit, götit, ilmenit, spekülarit-hematit, muskovit-margarit ve kalsit parajenezi olarak, meta-boksitlerin çatlak zonlarında bulunurlar. Bu kristallerin bulunduğu bölge dünyada tek olduğu için, bunların mineralojik mirasa atfen Türk diasporu kristalleri olarak adlandırılmaları uygun olabilecektir (Hatipoğlu ve Helvacı, 2009:109-110, Hatipoğlu, 2010:1-13, Hatipoğlu, 2011:45). Zultanit, Ksarit, Ottomanit, Türkizit süstaşı-kalitesindeki diaspor kristallerine verilen bilinen ticari isimlerdir. Hatta dünya çapında birçok firma veya kişiler, diasporları bu isimlerle alıp satarlar.



Şekil 2. Makroskopik şekil ve saydam yapılı süstaşı kalitesindeki diaspor [Al(OH)O] minerali oluşumu, ticari boyutta dünyada sadece Muğla (Türkiye) ilinde ve **Milas**, **Yatağan** ve **Kavaklıdere** ilçeleri sınırları içerisinde kalan devrik (nap yapılı) mermer yataklarının metamorfizma öncesi orijinal kireçtaşlarının karstik boşluklarını dolduran boksit cevherinin çatlak zonlarında bulunmaktadır (Google map'den uyarlanmıştır).



Şekil 3. Kırılmamış olmaları halinde tüm gem Türk diaspor kristalleri V-şeklinde ikizlidirler (Murat Hatipoğlu ve Emin Baykurt koleksiyonu).

## YÖNTEM

Gem Türk diaspor örnekleri, içerdiği major oksitler ve iz elementler için XRF (X-ışınları floresans tekniği) ile, ALS Laboratory Group-İzmir firması tarafından yapılmıştır (Tablo 1 ve 2). Kimyasal analiz işleminin analitiksel prosedürü şu şekildedir;

ALS Kodu	Yöntemin Tanımlaması	Kullanılan Cihaz-Metot
ME-ICP06	Tüm Kayaç Paketi – ICP-AES	ICP-AES
OA-GRA05	100°C deki Kızdırma Kaybı	WST-SEQ
ME-MS81	İz Element Paketi - Lityum Borat Fiyonu ICP-MS	ICP-MS

Bu prosedürde, asit çözünmesi ve ICP-MS analizinden önce bir lityum borat füzyonu, çok çeşitli iz elementlerin tespiti için en kantitatif analitik yaklaşımı sağlamaktadır. Aynı füzyonda bir ICP\_AES analizinden tüm kaya elementlerini veya ayrı bir dört asit sindiriminden baz metalleri eklemek için seçenekler mevcuttur.

Tablo 1. Gem Türk diaspor kristallerinden 6 farklı örneğin genelleştirilmiş ana bileşenlerin kimyasal analiz değerleri.

Ana Oksitler (%)	Gem Türk Diasporu
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	86.31
SiO <sub>2</sub>	1.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.39
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0057
TiO <sub>2</sub>	0.21
CaO	0.084
MgO	0.036
K <sub>2</sub> O	0.23
MnO	0.01
SO <sub>3</sub>	0.05
Na <sub>2</sub> O	----
<b>L.O.I.</b>	<b>10.0</b>

Tablo 2. Gem Türk diaspor kristallerinden 6 farklı örneğin genelleştirilmiş iz element kimyasal analiz değerleri.

Gem Türk Diasporu			
Element	(%)	Element	(ppm)
Na	<0.0005	Co	52.5
Mg	<0.017	Ni	4.5
Al	57.22	Cu	<1.3
Si	0.50	Zn	6.2
P	<0.00059	Ga	8.3
S	<0.00011	Ge	<2.7
Cl	0.00627	As	1.6
K	0.055	Sc	<1.1
Ca	0.01702	Br	1.3
<b>Ti</b>	<b>0.05151</b>	Rb	<0.3
<b>V</b>	<b>0.0033</b>	Sr	2.4
<b>Cr</b>	<b>0.0022</b>	Y	3.3
<b>Mn</b>	<b>0.0596</b>	Zr	<2.7
<b>Fe</b>	<b>0.3805</b>	Nb	<2.2
		Mo	3.8
		Ag	<1.0
		Cd	1.2
		In	<1.0
		Sn	1.3
		Sb	2.4
		Te	<1.3

I	<2.3
Cs	7.1
Ba	6.4
La	<8.4
Ce	<1.2
Hf	<2.2
Ta	<3.9
W	912
Au	12.1
Hg	<4.2
Tl	<2.4
Pb	2.3
Bi	1.4
Th	<0.7
U	5.8
Özet (%) = 58.88	

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Gem Türk diaspor kristaller doğal gün ışığında veya güçlü yapay floresan ışıkta baskın olarak dört farklı renk gösterirler;

\*Zeytinyağı yeşili (Şekil 4)

\*Kızıl kırmızı (Şekil 5)

\*Patlıcan moru (Şekil 6)

\*Kahverengimsi (Şekil 7)

İlaveten bazılarında da çift renkli olarak;

\*Kristallerin bir ucu patlıcan moru diğer ucu sarımsı-yeşilimsi (Şekil 8)

\*Kristalin her iki ucu kızılımsı-pembemsi orta kısımları ise yeşilimsi-sarımsı (Şekil 9) dir.

En yaygın olarak renk değişimi; gün ışığı veya güçlü lamba ışığı altında zeytinyağı yeşili diaspor kristallerinin, zayıf lamba ışığı altında nar çiçeği kırmızı rengine dönüşmeleridir.



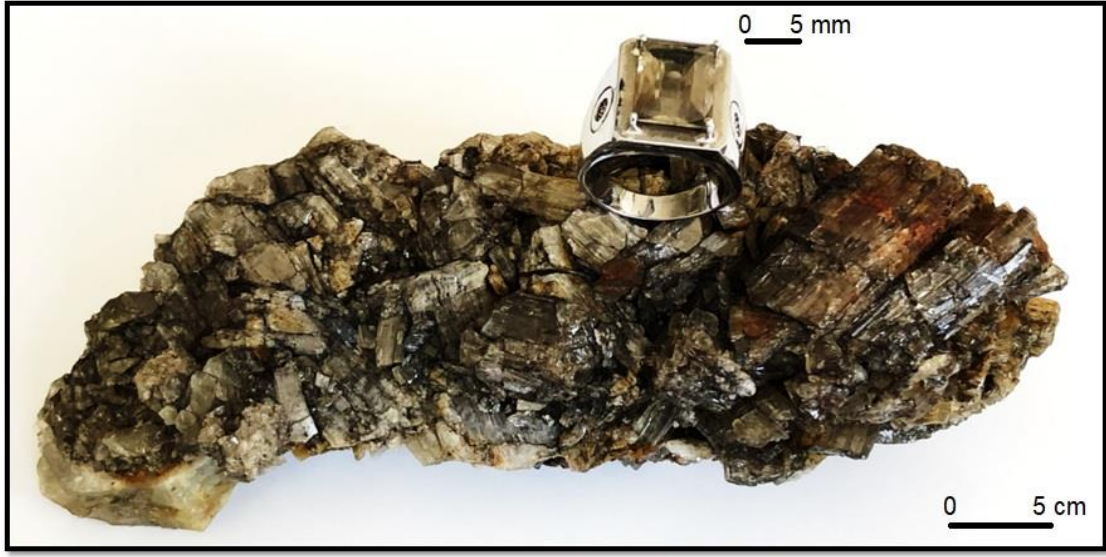
Şekil 4. Gün ışığında veya güçlü floresan ışığında zeytinyağı yeşili rengini gösteren gem Türk diasporu ham ve faset işlenmiş örnekleri (Murat Hatipoğlu koleksiyonu).



şekil 5. Gün işığında veya gcl floresan işığında kıızılımsı kırmızı rengini gösteren gem Türk diasporu ham rnekleri (Serkan Kodaloğlu koleksiyonu).



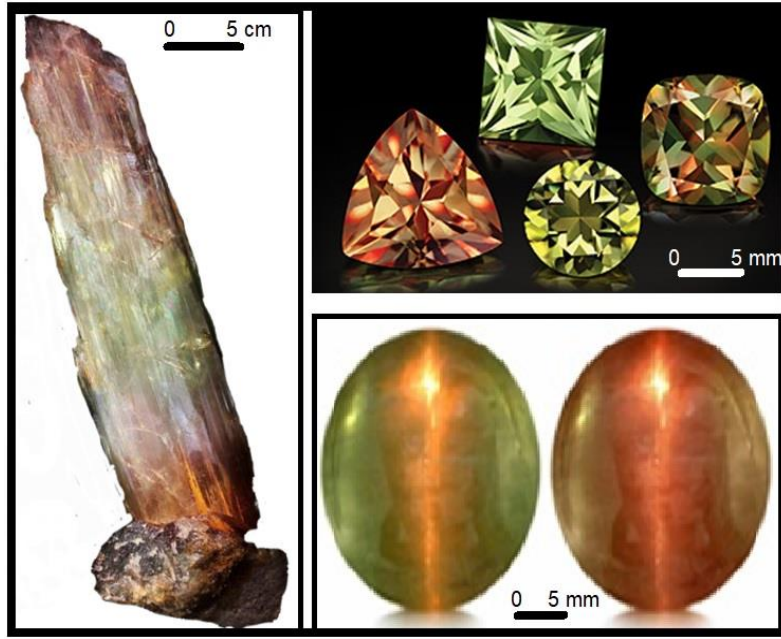
şekil 6. Gün işığında veya gcl floresan işığında patlıcan moru rengini gösteren gem Türk diasporu ham ve faset işlenmiş rnekleri (Emin Baykurt koleksiyonu).



şekil 7. Gün işığında veya güçlü floresan işığında kahverengimsi rengini gösteren gem Türk diasporu ham ve faset işlenmiş rnekleri (Murat Hatipoğlu koleksiyonu).



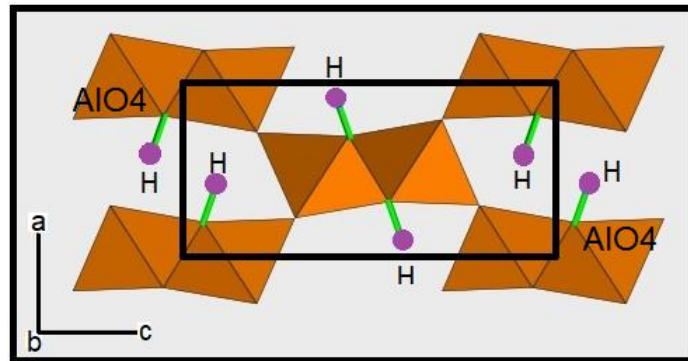
şekil 8. Gün işığında veya güçlü floresan işığında çift rengi aynı anda gösteren gem Türk diasporu ham rnekleri. Kristalin bir ucu koyu veya açık patlıcan moru diğer ucu sarı veya sarımsı-yeşilimsi renklerdedir (Emin Baykurt koleksiyonu).



Şekil 9. Gün ışığında veya güçlü floresan ışığında çift rengi aynı anda gösteren gem Türk diasporu ham, faset ve kabaşon işlenmiş örnekleri. Kristalin her iki ucu kızılımsı-pembemsi orta kısımları ise yeşilimsi-sarımsı renklerdedir (Anonim koleksiyon).

Renk değiştirme etkisini fiziko-kimyasal olarak izah edebilmek için diaspor mineralinin kristalografik yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Diaspor ortorombik (veya rombusal) kristal sisteminde,  $2/m\ 2/m\ 2/m$  uzay grubuna sahiptir ve  $AlO_4(OH)_2$  oktahedra kristal yapısı gösterir (Hill, 1979) (Şekil 10).

$Al^{+3}$  katyonları, homovalent kromoforlarla (periyodik cetvelde “B grubu” elementlerle) yer değiştirdiklerinde, diaspor kristal kafeslerindeki yerel elektrik alanlarındaki önemli değişikliklere sebep olduklarından, genel anlamda Türk diasporunun 4 farklı ana renginin oluşmasından da birinci derece sorumludurlar. Bunlar;  $(Fe^{+2}-Ti^{+3})$ , mangan-demir ( $Mn^{+2}-Fe^{+3}$ ) çiftleşmesi ile krom ( $Cr^{+3}$ ), vanadyum ( $V^{+3}$ ) ve mangan ( $Mn^{+2}$ ) tekil elementlerdir. Aynı zamanda,  $AlO_4(OH)_2$  oktahedra kristal kafesi içerisinde yapısal hasarlara da neden olan bu tür safsızlıklar ve nokta kusurlar, ultraviolet veya diğer iyonlaştırıcı radyasyonlara maruz kalmaları halinde, diaspor mineralinin uyarma ve uyarılma süreçleriyle de doğrudan ilişkilidirler (Garcia-Guinea vd., 2001: 653-658).



Şekil 10. Gem Türk diaspor mineralinde bulunan  $AlO_4(OH)_2$  oktahedrasındaki  $H^{-1}$  atomlarının yerleşimini gösteren kristal yapı (Hill, 1979'dan değiştirilerek alıntı). Kristalografik oryantasyon sol üst köşede gösterilir. “a eksen” boyunca uzanan kenar paylaşımlı oktahedral çift zincirler bu eksen boyunca köşe bağlantılı oktahedral katmanlara bağlanırlar.

Optiksel özelliklerinin incelenmesi konusunda yapılan çalışmalarda malzemenin optiksel soğurma ve lüminesans özellikleri önemlidir. Bir örneğin üzerine düşen ışığı hangi dalga boylarında soğurduğu optiksel soğurma ölçümleriyle belirlenebilir. Bu ölçümler ile hem malzemenin optiksel özellikleri kısmen belirlenmiş hem de teknolojiye kullanılabilirlikleri incelenmiş olur (Fox, 2010: 22). Gem Türk diaspor mineralinin optiksel soğurma (OA) ölçümlerinde 370, 385 ve 400 nm de soğurma pikleri, 445 nm'de geniş bir soğurma bandı gözlenmektedir (Hatipoğlu vd, 2010c: 365).

Lüminesans ise, materyalin ultraviyole, X-ışını, elektron demeti veya kimyasal reaksiyonlar gibi bir kaynaktan enerji soğurmasının ardından oluşan emisyonudur. Lüminesansın esas mekanizması malzemedeki atomların uyarılma enerjisini soğurması ile birlikte taban halden uyarılmış hale geçmesi ve tekrar taban hale dönerken ışımaya yapmasıdır (Fox, 2010: 35). Gem Türk diaspor mineralinin termo lüminesans (TL) sonuçlarında diasporun ışımaya pikleri, 140 ve 235 °C' de gözlenmektedir. Bu piklerin kaynağının "Fe", "Cr" ve "V" safsızlık elementleri olduğu öne sürülebilir. Gem Türk diaspor mineralinden elde edilen radyo lüminesans (RL) spektrumunda 530 nm' de geniş bir band ve 700 nm'de, Cr elementinden kaynaklanan keskin bir pik gözlenmektedir (Canimoğlu vd., 2014: 292-300).

## SONUÇLAR

Bu çalışma, dünyada tek maden kaynağına sahip (Türkiye), olağanüstü güzel renk değiştirme özelliği gösteren bir süstaşı mineralinin optiksel renk çeşitliliğinin son bulgularını sunmayı içermektedir.

Renk değiştiren diaspor veya gem Türk diasporu (en yaygın iki ticari adı zultanit/ksarit olan) ve ilişkili mineral örnekleri, meta-boksit yayılımını farklı şekillerde kesen kırılma bölgelerinde (damarlar ve çatlak yapılar) meydana gelirler. Karstik boşluk ceplerine taşınarak sızan Alüminyum, Demir, Silisyum, Titanyum, Krom, Mangan ve Vanadyum bakımından zengin çözeltilerin kaynağı, muhtemelen havzayı çevreleyen şist ve gnays türü metamorfik kayaların hidrotermal alterasyonu sonucu açığa çıkan çözeltilerdir.

Gem Türk diasporu kristallerindeki renk değiştirme özelliği, görünür ışığın mor (400 nm) ve sarı (560-580 nm) bölgelerinde yutulmayı, buna karşılık yeşil (530 nm) ve turuncu-kırmızı (560-580) bölgelerinde gözlemlenen nispeten yüksek geçirgenliğe yol açan demir-titanyum çiftleşmesi ( $Fe^{+2} - Ti^{+3}$ ), mangan-demir ( $Mn^{+2} - Fe^{+3}$ ) çiftleşmesi ile krom ( $Cr^{+3}$ ) ve vanadyum ( $V^{+3}$ ) tekil elementlerinin oluşturduğu  $AlO_4(OH)_2$  oktahedra kafesindeki safsızlıklarının orantılı olarak farklılaşmasından kaynaklandığı savı, en makul hipotezdir.

Bununla beraber, bu harikulade materyalin dünya çapındaki ticari pazarlamasının, Muğla bölgesinin kültürel (gem safari olarak) turizminin pazarlanması için istenen düzeyde yapılamadığı da maalesef bir gerçektir.

## KAYNAKÇA

- Altingöz, M., Smith, N.M., Sebnem, D., Syvrud, P.F., Ali, S.H., (2019). Color and local heritage in gemstone branding: A comparative study of blue zoisite (tanzanite) and color-change diaspore (zultanite/csarite). *The Extractive Industries and Society*, 6(4), 1030-1039. doi:10.1016/j.exis.2019.05.013
- Back, M., Mandarino, J., (2008). Fleischer's Glossary of Mineral Species. 10<sup>th</sup> Ed., *The Mineral Record Inc.*, Tucson-USA, 187s.
- Canimoğlu, A., Garcia-Guinea, J., Correcher, V., Yarabulut, Y., Tuncer, Y., Can N., (2014). Luminescent, structural, and thermal properties of the unusual "Anatolian" diaspore (zultanite) from Turkey. *Spectroscopy Letters*, 47 (4), 292-300.
- Fox, M., (2010). *Optical Properties of Solids*. 2<sup>nd</sup> Ed., Oxford University Press, 367s. ISBN: 978-0199573370
- Garcia-Guinea, J., Rubio, J., Correcher, V., Valle-Fuentes, F.J., (2001). Luminescence of alpha-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and alpha-AlOOH natural mixtures. *Radiation Measurements*, 33, 653–658. doi:
- Hatipoğlu, M., Helvacı, C., (2009). Zultanite (gem diaspore) crystals as a mineralogical heritage of Turkey. 4<sup>th</sup> International Congress "Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage of the Mediterranean Basin" (6-8 December), Cairo, Egypt, 109-110.
- Hatipoğlu, M., (2010). Gem quality diaspore crystals as an important element of the geoheritage of Turkey. *Geoheritage*, 2(1-2), 1-13. doi:10.1007/s12371-009-0008-7
- Hatipoğlu, M., Helvacı, C., Chamberlain, S.C., Babalık, H., (2010a). Mineralogical characteristics of unusual "Anatolian" diaspore (zultanite) crystals from the İlbirdağı diasporite deposit, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 57(5), 525-541. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2010.01.002
- Hatipoğlu, M., Türk, N., Chamberlain, S.C., Akgün, A.M., (2010b). Gem-quality transparent diaspore (zultanite) in bauxite deposits of the İlbir Mountains, Menderes Massif, SW Turkey. *Mineralium Deposita*, 45(2), 201-205. doi: 10.1007/s00126-009-0262-2
- Hatipoğlu, M., Türk, N., Chamberlain, S.C., Akgün, A.M., (2010c). Metabauxite horizons containing remobilized-origin gem diaspore and related mineralization, Milas-Mugla province, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39(5), 359-370. doi: 10.1016/J.jseas.2010.04.016
- Hatipoğlu, M., (2011). Unique gemstones of Turkey. International Gemological Symposium-2011 Advancing the Science and Business of Gems (29-31 May), Carlsbad, California, USA, 45.
- Hill R.J. (1979) Crystal structure refinement and electron density distribution in diaspore. *Physics and Chemistry of Minerals*, 5(2), 179–200. doi: 10.1007/BF00307552
- Nesse, W., (2012). *Introduction to Optical Mineralogy*. 4<sup>th</sup> Ed., Oxford Universty Press, London (England), 384p. ISBN:9780199846276
- Önay, T.Y., (1949). Über die smirgelgesteine SW-Anatoliens. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 29, 357–492. Available at. <https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=smp-001:1949:29#384>.
- Shen, C., Lu, R., (2018). The color origin of gem diaspore: correlation to corundum. *Gems and Gemology*, IIV, 394-403.
- Shortell, P., Irwin, E., (2017). Governing the Gemstone Sector: Lessons from Global Experience. Retrieved from. Natural Resource Governance Institute.



<https://resourcegovernance.org/analysis-tools/publications/governing-gemstone-sector-lessons-global-experience>.

Shoval S, Gaft M, Panczer G (2003) Luminescence of Cr<sup>3+</sup> in natural and calcined diaspor. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71: 699-706. doi: 10.1023/A:1023349420326

Zhou, D., Lu, T., Sun, R., Shi, G., Chen, H., Ke, J., (2019). Explanation of the alexandrite effect of zultanite: From the view of colorimetry and chemical analysis. *Color Research & Application*, 44(6), 925-931.

## Genişbantlı ve Çok Kanallı Telsiz Haberleşme Sistemleri İçin Ön Bilgiye Dayanmadan Sinyal Bulma ve Parametre Kestirimi

Hüseyin Kemal ERTUĞRUL<sup>1</sup>  
Ali GÖRÇİN<sup>2</sup>

### Giriş

İnsanların ilk çağlardan itibaren önemli ihtiyaçlarından biri olan haberleşme ihtiyacı günümüzde olduğu gibi gelecekte de devam edecektir. Teknolojinin durmaksızın gelişmesi, haberleşme için kullanılan araçların gelişmesini sağlayarak sunduğu imkanlarla kişi başı veri ihtiyacını gün geçtikçe artırmakta ve nüfus artışı ile birlikte veri talepleri katlanarak artmaktadır. Günden güne artan haberleşme talebi ile birlikte son kullanıcı tarafından birçok faydası nedeniyle kablosuz olarak tercih edilmesinin sonucu olarak kablosuz haberleşmenin temelini oluşturan doğal, değerli ve sınırlı olan frekans kaynağının daha verimli kullanılması gerekmektedir. Frekans kaynağı kullanımında verimi etkileyen en önemli faktörler; teknoloji (kablosuz haberleşme standardı, modülasyon türü, kodlama tekniği, uzamsal çoğullama vb.), servislerin (kara mobil, sabit, uydu, yayın vb.) planlanması ve tahsis özellikleridir (alansal, noktasal, teknik parametreler (merkez frekansı, bant genişliği, koordinatı, etkin yayın gücü, anten paterni, dubleks türü (FDD, TDD) veya SDL vb.), öncelikli, önceliksiz vb.).

Amerika Birleşik Devletleri'nin telekomünikasyon idaresi Federal Communications Commission (FCC) tarafından yayınlanan "FCC Report of the Spectrum Efficiency Working Group" başlıklı raporda lisanslı bantların %10 oranından daha düşük kullanıldığını belirtilmektedir. Aslında bazı lisanslı frekans bantların çok yüksek oranlarda kullanımı mevcuttur ancak bu lisanslı bantların diğerlerine oranı son derece düşüktür. Bu kapsamda spektrum paylaşım mekanizmaları (örneğin; LBT, DAA) ile herkesin kullanabildiği, fakat lisanslı frekanslara oranla düşük sayıda olan, lisanssız frekansların yüksek kullanım imkanı sunduğu gibi lisanslı frekanslarda da birincil (öncelikli lisans sahibi) kullanıcıların korunması sağlanarak ikincil (daha az öncelikli) kullanıcılar birincil kullanıcıların frekanslarını kullanmadığı lokasyonlarda veya zamanlarda birincil kullanıcının frekanslarını kullanabilmesi, dinamik frekans erişimi, frekans kullanımı açısından verimliliği artıracaktır.

Sonuç olarak ikincil kullanıcıların birincil kullanıcılara hiçbir zararlı etki oluşturmadan frekansları kullanmadan önce ve kullanım sırasında ölçümlerini en hızlı ve hassas şekilde yapmaları gerekmektedir. Bu minvalde hızlı, güvenilir ve yaygın ölçümlerin yapılması son derece önemlidir. Bu bildiri de önerilen metotta; hızlı, güvenli sonuçlar veren ve kolay ölçümlenebilir olan enerji dedektörü tabanlı yaklaşım kullanılarak genişbantlı ve çok kanallı telsiz haberleşme sistemleri için ön bilgiye dayanmadan sırasıyla filtre, histogram ve karar algoritması çalıştırılarak gürültü seviyesi tespiti yapılarak sonrasında boş ve dolu bantların tespiti yapılarak bu bantların teknik özellikleri belirlenebilmektedir.

---

<sup>1</sup> M.Sc. Student, Yıldız Technical University, Electronics and Communication Engineering Department, Orcid: 0000-0002-0603-8312

<sup>2</sup> Assistant Professor, Yıldız Technical University, Electronics and Communication Engineering Department, Orcid: 0000-0003-4981-0488

## Yöntem

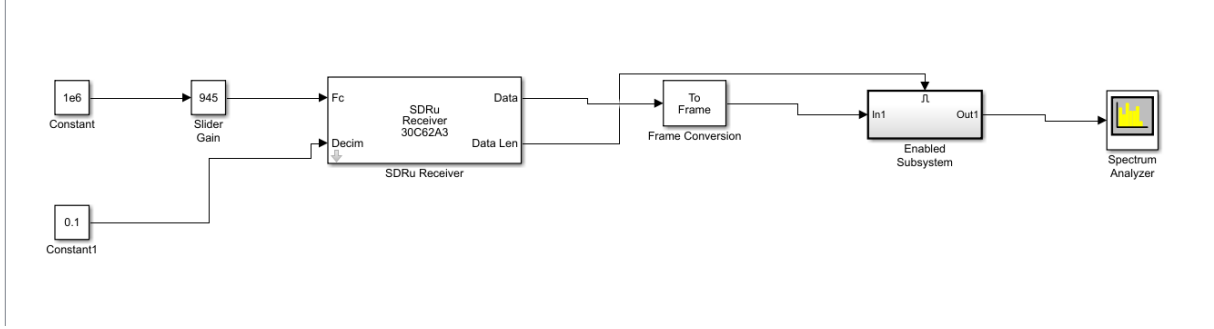
Dinamik spektrum yönetimi yaklaşımıyla, birincil kullanıcılara zararlı elektromanyetik girişim oluşturmadan ikincil kullanıcıların birincil kullanıcılara tahsisli frekansları kullanabilmeleri için birincil kullanıcıların kullanım durumunun (canlı olarak kullanılıp kullanılmadığı) ve teknik bilgilerinin (merkez frekansı, bant genişliği, koordinatı, etkin yayın gücü, anten paterni vb.) anlık takibini yapılabiliyor olması (örneğin; bütün birincil kullanıcıların verilerinin olduğu ortak veri tabanı) yada anlık olarak ikincil kullanıcının kapsama alanı ile birincil kullanıcının kapsama alanının kesişmemesi için ölçümlerin gerçekleştirilmesi ile ikincil kullanıcılar arasında koordinasyonu sağlaması gerekmektedir. Bu kapsamda eğer birincil kullanıcılar tarafından sağlanan verilerin anlık takibinin yapılabildiği bir sistem yoksa anlık olarak ölçümü yapılabilmeli ve işlenebilmeli hızlı bir şekilde birincil kullanıcının kapsama alanında olma hakkında veri sağlayabilmelidir. Bahse konu ihtiyaçlar kapsamında bu bildiride önerilen metotta; hızlı, güvenli sonuçlar veren ve kolay ölçümlenebilir olan enerji dedektörü tabanlı yaklaşım kullanılmıştır. Bu sayede enerji dedektörü tabanlı yaklaşım, diğer kullanılması mümkün algoritma yaklaşımlarına (eşleşen filtreleme, spektral korelasyon, dalga formu tabanlı, radyo tanımlama tabanlı) kıyasla daha az karmaşıklıkta olması sayesinde ölçüm ve sinyal işleme işlemleri için gerekli donanım maliyeti ile enerji kullanımı sağlamaktadır [2]. Sinyal bulma sistemleri için bulunması gereken alıcı ve sistem sayıları arttıkça avantajların etkileri katlanarak artacaktır. Ayrıca enerji dedektörü tabanlı yaklaşımın en önemli özelliklerinden birisi de önbilgiye dayanmadan olmasıdır. Çünkü birincil kullanıcılara ait bilgiler edinilemeyebilir veya değişkenlik gösterebilir. Böyle durumlarda da mağduriyet yaşatılmaması için ön bilgisayar olarak sinyal bulma işleminin yapılması önem kazanmaktadır. Genişbantlı ve çok kanallı telsiz haberleşme sistemleri için güç spektral yoğunluğu (güç yoğunluğu / frekans) grafiği elde edilerek bu grafik verileri üzerinden ön bilgiye dayanmadan sırasıyla filtre, histogram ve karar algoritması çalıştırılarak gürültü seviyesi bulunarak boş ve dolu bantların belirlenmesi ile bu bantların teknik özelliklerinin (bant genişliği, sinyal gürültü oranı, merkez frekansı) tespiti yapılabilmektedir.

## Önerilen Model

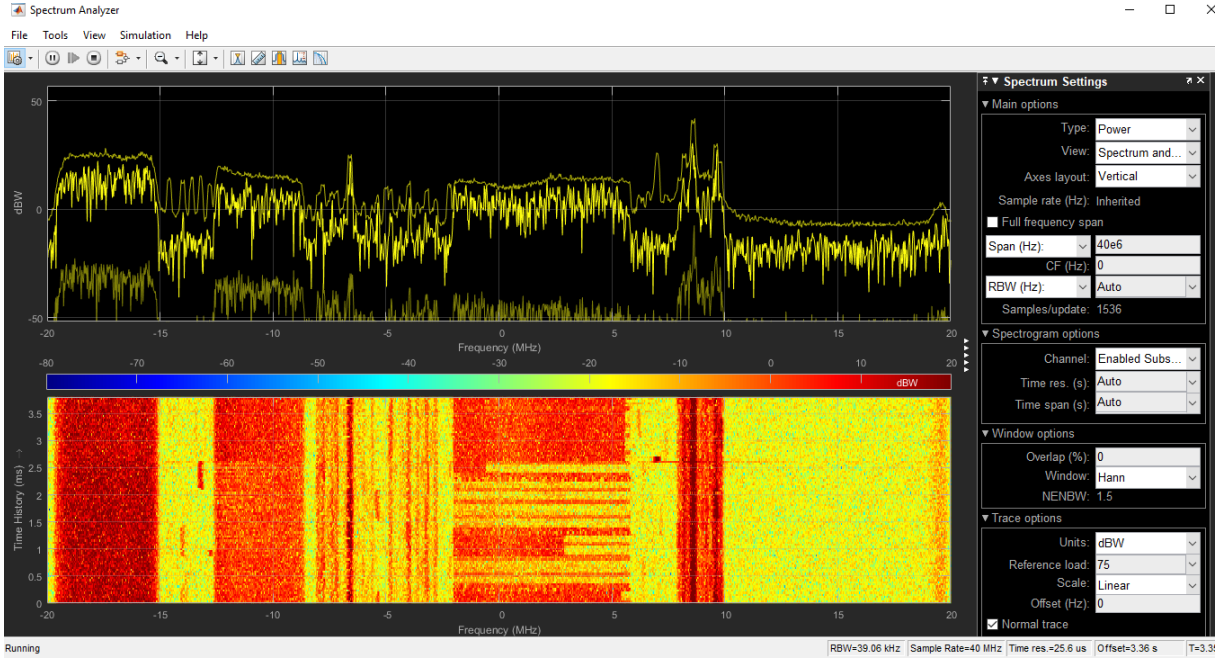
Önerilen model kısaca ön bilgi olmadan enerji dedektörü tabanlı yaklaşım kapsamında öncelikle vericilere ait herhangi bir veri olmadan ölçümler yapılarak ve sonrasında ölçümlenen işaretler üzerinde sinyaller bulunarak parametrelerin kestirilmesi olarak tanımlanabilir.

## Ölçüm.

Ölçümler USRP (B210) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle USRP cihazı ile bilgisayar arasında USB kablo aracılığı ile bağlantı sağlanmıştır. Sonrasında MATLAB programında Şekil 2.'deki devre tasarlanarak çalıştırılmış ve Şekil 3.'te görüldüğü üzere farklı özellik (sinyalin tipi (güç, güç yoğunluğu(1/Hz), RMS( $V_{rms}$ )), gücünün birimi (dBm, dBw, W), referans yükü (1, 50, 75, 300 ohm), gösterim şekli(spektrum, spektrogram), pencereleme fonksiyonu (Hann, Hamming, Kaiser, Flat Top, Rectangular, Chebyshev), çizimi (normal, maksimum değerler, minimum değerler), bozulma ölçümü (harmonik, intermodülasyon), imleç ölçümü (ACPR, bant doluluğu) vb.) seçimleri yapılabilen spektrum analizör sonucu elde edilmiştir.



Şekil 2. MATLAB Simulink Devresi



Şekil 3. MATLAB Spektrum Analizör Görüntüsü

### Önerilen Modelin Algoritma Akışı.

USRP donanımı ve MATLAB programı ile elde edilen güç spektral yoğunluğu grafiği ile frekanslardaki güç değerlerine ulaşıldı. Sinyal bulma ve parametre kestirimi işlemleri sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılabilmektedir.

#### *Filtreleme.*

Filtreleme, güç spektral yoğunluğu grafiği ile ulaşılan frekanslardaki güç değerleri filtrelenerek sinyal üzerindeki gürültü değerlerinin etkisini en aza indirilmesini sağlayarak diğer adımlarda yapılan işlemler için daha kullanılabilir veriler sağlar.

#### *Histogram Grafiğinin Oluşturulması.*

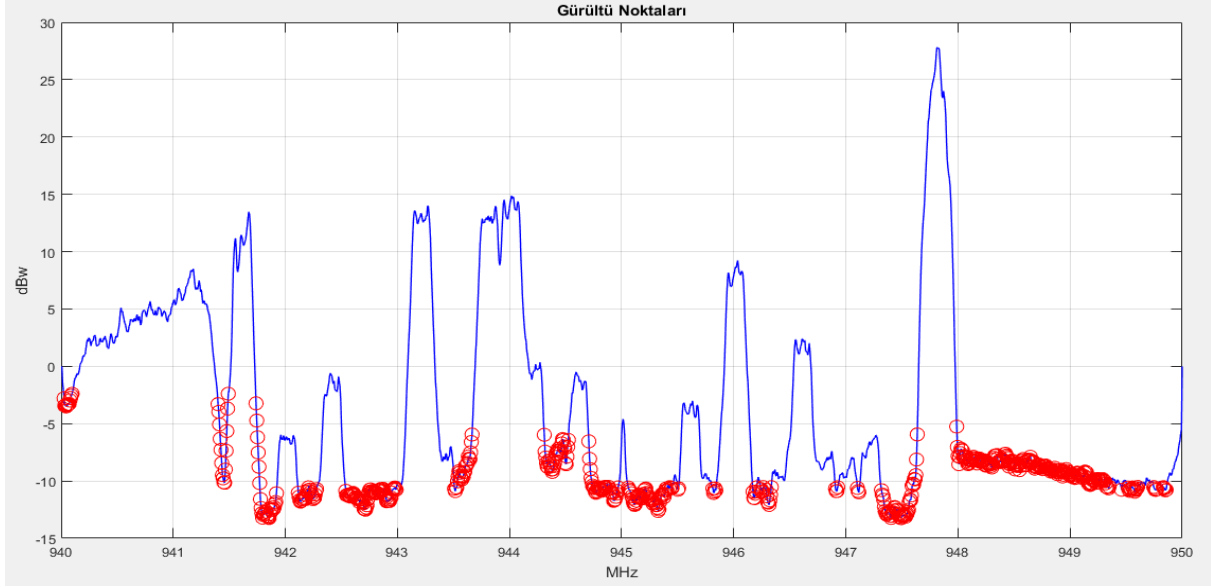
Histogram grafiğinin sütun sayısı, frekansların güç değerlerinin açıklık ve standart sapma verileri dikkate alınarak belirlenir.

#### *Gürültü Eşik Seviyesinin Belirlenmesi.*

Histogram grafiğindeki ardışık verilerin değişimleri göz önüne bulundurularak gürültü eşil seviyesi belirlenir.

### *Parametre Kestirimi.*

Tespit edilen gürültü seviyesinin altındaki frekanslar boş ve üstündeki frekanslar dolu olarak etiketlenebilir. Bu sayede dolu bantların teknik özelliklerinin (bant genişliği, sinyal gürültü oranı, merkez frekansı) tespiti yapılabilir. Ayrıca bant genişliğinin yüksek çıktığı durumlarda komşu iki yayını tek yayın olarak algılamaması için işlemler tekrarlanır.



Şekil 4. Merkez Frekans: 945 MHz, Bant Genişliği: 10 MHz

### **Sonuç**

Bu çalışmada, genişbantlı ve çok kanallı telsiz haberleşme sistemleri için ön bilgiye dayanmadan sinyal bulma ve parametre kestirimi enerji dedektörü tabanlı yaklaşım kapsamında diğer araştırmalarda kullanılacak önemli bir model önerilmiş ve önerilen modelin uygulaması adım adım gösterilmiştir.

Giderek artan haberleşme talebinin yüksek oranda kablosuz olarak tercih edilmesinin sonucu olarak kablosuz haberleşmenin temelini oluşturan doğal, değerli ve sınırlı olan frekans kaynağının daha verimli kullanılması için birincil kullanıcılara zararlı elektromanyetik girişim oluşturmadan ikincil kullanıcıların kullanması durumu en kritik beklentidir. Bu durumda birincil kullanıcıları mağdur etmeden ikincil kullanıcıların kullanımlarını yönetimi için gerekli kapsamlı ölçümlerin yapılmasında önerilen modeldeki gibi maliyet etkin (enerji, donanım), hızlı ve güvenilir olarak yapılması servis sağlayıcı ve müşteri açısından daha uygun olacaktır.

Sonraki çalışmalarda ölçümler yön kestirimi ile birlikte yapılarak daha verimli ve eğer birincil kullanıcının yeri biliniyorsa daha güvenli sonuçların alınması sağlanabilir. Ayrıca bu çalışmada farklı bant genişliğini kullanan sinyallerin sınıflandırılabilmesine karşın aynı bant genişliğini kullanan farklı sinyallere ilişkin spektrogram görüntüleri kullanılarak yapay zeka ile sınıflandırma konusu gelecek çalışmalara konu olabilir.

### Kaynakça

[1] FCC, Federal Communications Commission Spectrum Policy Task Force, Report of the Spectrum Efficiency Working Group, USA, 2002, 15.

[2] T. Yücek and H. Arslan, “A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 1, First Quarter 2009, 117.

## Deniz Müsilajındaki Bakteri Türlerinin DNA Parmakizi Yöntemi ile Belirlenmesi

İpek ADA ALVER<sup>1</sup>

### Giriş

Organik maddece zengin bir doğal oluşum olan müsilaj diğer adıyla deniz salyası, açık denizlerde ve okyanuslarda görülürken, su yüzeyinin ısınması ve su sütunlarındaki katmanlaşma ile küçük boyutlu toprakların bir araya gelmesi ile, kilometrelerce yayılabilen, deniz yüzeyini kaplayan tabakalar, suyun alt tabakasına doğru uzanan ipliksi ve ağsı yapılar, yumaklar ve zamanla dibe çökerek deniz dibinde yaşayan canlıların üzerini kaplayabilen kalın tabakalar oluşturan oluşumlar olarak tanımlanmaktadır (Danovaro vd., 2009). Deniz ekosisteminde, sıcaklık, pH, tuzluluk, atıkların suya karışması, su kirliliği ve indikatör mikroorganizmalar gibi çevresel koşulların değişmesi ile birlikte aşırı çoğalma gösteren mikroalg ve patojen bakteriler üreyebilmektedir. Su ekosisteminin değişmesi ile meydana gelen müsilaj, hem besin olarak tüketilen deniz canlılarının neslini tehlikeye sokmakta, hem de deniz canlılarını tüketen ve denize giren insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Müsilaj, stresli koşullar altında üretilen fotosentetik olarak türetilen karbonhidratların fitoplankton tarafından salınması ve hücre duvarı kalıntılarının ölümü ve ayrışması dahil olmak üzere deniz organizmaları tarafından farklı işlemlerle salınan yüksek oranda kolloidal özelliklere sahip ekzopolimerik bileşiklerden yapılmaktadır. Bu süreçler, prokaryotların ve fitoplanktonlar ile viral enfeksiyonların suda çözünmüş organik maddenin salınmasına ve birikmesine katkıda bulunan hücre lizisi ile ilişkilendirilmektedir. Deniz sularının doğal florasında bulunan fitoplanktonlar, besin zincirinde önemli bir yere sahip olan ve deniz suyu temizliğinde indikatör olarak da görev yapan canlılar olsa da, çevresel faktörlerdeki değişim, kalabalık, çöplerin ve atıkların suya karışması ve endüstriyel gelişimle birlikte atık girdilerinin artması, meteorolojik faktörler gibi birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörün birleşimi ile aşırı çoğalmı göstermektedirler. Daha çok karbonhidratlardan oluşan müsilaj, bunun yanı sıra humik, fulvin, humin gibi diğer organikler, proteinler, azot ve fosfor bileşenleri, alüminyum, silikon gibi inorganikler ve kalsiyum demir gibi iyonlardan oluşmaktadır. Müsilaj oluşumunda ana görev alan fitoplanktonlar, deniz suyuna saldı yapılarla birlikte önce küçük kümeler oluştururlar daha sonra ise bertaraf yöntemlerine dayanıklı biyofilm tabakası meydana getirerek patojen mikroorganizmaların meydana gelmesi için uygun ortam oluşturmaktadırlar (Shibata vd., 2007; Danovaro vd., 2005). Müsilaj oluşum süreci, öncelikle stres koşullarında fotosentezle fitoplanktonlar tarafından üretilen karbonhidratların deniz ortamına salınması ile başlayıp, hücre lizisi ve hücre duvarı artıklarından kaynaklanan yapısal polisakkaritlerin ve yüksek miktarda çözünmüş organik madde (DOM) ve polisakkarit içeren hücre içeriğinin deniz suyuna karışması, bakteriyel hidroliz ve biyobozunumun kısıtlı olması nedeniyle polisakkaritlerin deniz suyunda birikmeye başlaması ve son olarak patojen virüslerin varlığında prokaryotların ve fitoplanktonların viral enfeksiyonu sonucunda hücrelerin lizis olması ve hücre içeriğinin deniz suyuna karışması ve birikmesi ile meydana gelmektedir (Danovaro vd., 2009). Müsilajın varlığı, üretilen kötü koku ve müsilajın deniz canlılarının derisine yapışması nedeniyle deniz suyu kalitesini

---

<sup>1</sup> İpek ADA ALVER, Dr. Öğr. Üyesi, Altınbaş Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Ameliyathane Hizmetleri Programı

bozar, öncelikle su üzerinde yüzen deniz müsilajı, yüzeyde 2-3 aya kadar kalabilir ve deniz tabanına yerleştikten sonra büyük agregat tortuları oluşur ve kilometrelerce uzayarak hipoksik ve/veya anoksik koşullara neden olur. Bu durumda da deniz habitatında önemli yere sahip olan pek çok balık ve omurgasız canlının (mercanlar, deniz şakayıkları, süngerler, midyeler, yengeçler vb.) vücutlarını sararak solunum, beslenme ve boşaltım gibi metabolik faaliyetlerinin devamı için kullandıkları solungaç ve delik gibi yapılarının tıkanmasına yol açarak deniz canlılarının yok olmasına neden olmaktadır (Precali vd., 2005). Müsilajdan korunmada izlenecek politikalar arasında, endüstriyel atıkların arıtılarak deniz sularına karışmasını engellemek, denizlerde organik kirleticilerin miktarını en aza indirmek, insan popülasyonunun yoğun olduğu kıyıların düzenli olarak temizlenmesi, gemilerden denizlere atılan atıkların engellenmesi için denetimlerin yapılması, insan eliyle oluşabilen ve deniz kirliliğine yol açan cam, plastik, kağıt, ambalaj yapıların denizlere atılmasının engellenmesi, sanayi alanına kıyısı olan denizlerin koruma altına alınarak denetimlerinin yapılması ve olası müsilaj oluşuma karşı deniz sularından örnekler alınarak mikrobiyolojik ve moleküler analizlerin yapılmasıdır.

Doğrudan veya dolaylı antropojenik etkiler, iklim değişimi kaynaklı deniz suyu sıcaklık anomalileri ve tabakalaşma, su hareketliliğinin kısıtlı olduğu durgun su kütlelerinde üst su tabakasının sıcaklığının artması ve termal tabakalaşma, kıyı şeritlerinde artan kentleşme ve sanayileşme sonucu kara kökenli kirleticilerin deniz ortamına verilmesi, ötrofikasyon, aşırı balıkçılık faaliyetleri vb., deniz ekosistemindeki doğal dengeleri olumsuz yönde etkileyen pek çok unsurun ve bunların sinerjistik etkilerinin müsilaj vakalarının görülmesinde ve bunların sıklığının giderek artmasında rol oynadığı değerlendirilmektedir (Danovaro vd., 2009; Tüfekci vd., 2010; Genitsaris vd., 2019; Tas vd., 2020). Müsilaj doğrudan bir kirlilik olmayıp, birçok farklı alanda zincirleme olarak olumsuzlukların tetiklenmesine neden olmaktadır. Bu olumsuzluklar arasında deniz canlılarının yok olması, balıkçılığın olumsuz etkilenmesi, deniz ve kıyı turizminin zarar görmesi, gemi ve deniz araçlarının zarar görmesi, atmosfere zararlı gazların salınması sayılabilir. Müsilaj oluştuktan sonra, çeşitli deniz vasıtaları ve sistemleri ile sınırlı şekilde denizden toplanmasından başka çözüm olmadığından, müsilajın oluşumuna neden olan faktörleri yok etmek en uygun çözüm olacaktır.

Dünya çapında oldukça üretken ve sığ Adriyatik Denizi (Akdeniz havzasındaki özellikle kuzey kısmı), yoğun deniz müsilajının patlak vermesinden en ciddi şekilde etkilenen alandır. Müsilaj ilk kez 1729'da burada rapor edilmiş ve balık ağlarının tıkanmasına neden olduğu için başlangıçta "kirli deniz salgıları" olarak tanımlanmıştır. O zamandan beri müsilajın varlığı sporadik olarak rapor edilmiş, ancak son otuz yılda müsilaj oluşum sıklığı önemli ölçüde artmıştır (Precali vd., 2005). Son yıllarda özellikle Marmara Denizi'nde meydana gelen müsilaj sorunu gündemde iken müsilaja neden olan patojenlerin tespiti ve bertarafı konusunda çalışmaların sayısı artmaya başlamıştır. Deniz müsilajının oluşumunu tetikleyen sebepler ne olursa olsun, bu durum sosyoekonomik sonuçları nedeniyle kıyı bölgelerinde artan bir endişe yaratmaktadır. Çünkü Marmara Denizi, Karadeniz ve Ege Denizi'nden gelen su girişleri farklı özellikler taşıdığından dinamik bir yapıdır ve balıkların göç yolu olduğundan önem taşımaktadır. Müsilaj örneklerindeki mikroorganizmalar önceleri mikroskopi ve kültür yöntemi ile tayini yapılmakta olsa da izolasyonda güçlüklerle karşılaşmaktadır. Kültür yöntemi ile farklı çevresel koşulların etkisi ile mikroorganizmalar VBNC (viable but not culturable, canlı fakat kültüre edilemeyen) fazına geçtiklerinden daha az sayıda mikroorganizma izolasyonuna neden olduğundan mikroorganizmaların tespitinde kültür yönteminin yanında moleküler yöntemlerin de kullanılması gerektiği önerilmektedir.

Deniz ekosistemindeki bakteri topluluk yapısının karakterizasyonunun yapısını belirlemede en güvenilir yol olarak DNA parmak izi yöntemleri kullanılmaktadır. Parmak izi yöntemleri, farklı bileşenleri tanımlama yeteneği ile tüm mikrobiyal topluluğun bir kerede anlık görüntüsünü vermektedir. Aynı zamanda DNA tiplendirmesi olarak da adlandırılan DNA parmak izi yöntemi, DNA dizilerini izole etme ve görüntüleme tekniğidir. DNA parmak izi yöntemi için öncelikle DNA içeren hücre örnekleri elde edilerek DNA izolasyonu ve saflaştırılması gerçekleştirilir. Daha sonra



DNA örnekleri, restriksiyon enzimleri ile belirlenen özel noktalardan kesilerek farklı uzunluklarda DNA fragmentleri elde edilir. Elde edilen farklı uzunluklardaki DNA fragmentleri elektroforezde uzunluklarına göre ayrılarak gözlemlenebilirler. DNA fragmentleri alkali uygulamasıyla tek zincirli hale getirilir ve blotlama yöntemi ile naylon tabakaya transfer edilir. Daha sonra radyoaktif problemlerle hibridize edilerek problemler fragmentlere bağlandığı noktalarda koyu izler meydana gelir. Eğer DNA parmak izi yöntemi için DNA örneği az ise öncelikle polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) uygulanarak binlerce kopya elde edilir. DNA parmak izi yöntemi ve DNA sekans analizi ile genetik hastalıklara yol açan gen segmentlerinin yerinin tam olarak belirlenmesi, insan genomunun haritalanması, kuraklığa dayanıklı bitkilerin mühendisliği ve genetik olarak modifiye edilmiş bakterilerin tespiti ve biyolojik ilaçları üretilmesi yapılabilmektedir. DNA parmak izi ilk olarak genetik hastalıkların varlığını araştırmada, cinayet araştırmalarında ve adli tıpta kullanılmıştır.

Bir tür parmak izi analizi olan denatüre gradyan jel elektroforezidir (DGGE), PCR ürünlerini sekanslardaki küçük farklılıklar ile ayıran bir yöntemdir ve baskın mikroorganizmalar, böyle bir analizde farklı bantlarla temsil edilmektedir. Birçok numunenin bileşimini analiz etmek ve karşılaştırmak istenirse, klonlama yöntemlerine tercih edilen parmak izi yöntemleri seçilebilir, çünkü DNA parmak izi yöntemi, kültüre edilmesi ya da izole edilmesi güç mikroorganizmaları bile düşük maliyetle tespit eder ve istatistiksel karşılaştırmaya oldukça uygundur (Celussi vd, 2010; Weinbauer vd, 2010; Riemann vd, 2008).

Danovaro ve diğerlerinin 2014 yılında Akdeniz'deki sularda yaptıkları çalışmada, bakteri türlerini (*Escherichia coli* and *Vibrio harveyi*) de içeren prokaryotların hem müsilaj agregatları içerisinde hem de yüzey sularında bulunduğunu moleküler yöntemlerden olan DNA parmak izi ile belirlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, bentik organizmaların ölmesinin turizm ve balıkçılığa ciddi ekonomik zarar verdiği, deniz müsilajı, patojenik formlar da dahil olmak üzere mikrobiyal kolonizasyon için geçici olsa da yeni bir substrat oluşumunu temsil ettiği, Akdeniz'de müsilaj salgınlarının artan sıklığı son iklim değişikliğiyle bağlantılı olduğu ve artan deniz müsilaj oluşumunun deniz suyu kaynaklı enfeksiyonların yayılmasını arttırdığını bildirmişlerdir. Müsilaj, küçük fitoplanktondan büyük zooplanktona kadar çok çeşitli organizmaları yüksek miktarlarda tutabilir ve deniz suyundaki patojen prokaryotlar ve virüsler için sağladığı organik moleküllerle önemli bir depo görevi görmektedir (Flander-Putrl ve Malej, 2008; Del Negro vd., 2005). Yapılan çalışmalarda DNA parmak izi yönteminin kullanılması, deniz müsilajının patojen bakteri çeşitliliği açısından önemli bir kaynak olduğunu göstermiş ve müsilajdaki ribotiplerin sayısının, çevredeki deniz suyundan ortalama olarak yaklaşık %65 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Müsilaj deniz suyunda aylarca askıda kalabildiğinden, müsilajın akıntılarla dağılması sırasında patojen mikroorganizma türlerinin kaynaklarından uzak bölgelere dağıldığını ve kıtalararasında deniz suyundan kaynaklı enfeksiyonların yayıldığı belirlenmiştir (Danovaro vd., 2009).

## KAYNAKÇA

Celussi, M., Bussani, A., Cataletto, B., Del Negro, P. (2010). Assemblages' structure and activity of bacterioplankton in northern Adriatic Sea surface waters: a 3-year case study. *FEMS microbiology ecology*, 75:77-78.

Danovaro, R., Armeni, M., Luna, G.M., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., et al. (2005). Exo-enzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea, *Science of the total environment*, 353: 189–203.

Danovaro, R., Pusceddu, A., Fonda-Umani, S. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea. *Plos one*, 4,9, e7006. DOI: 10.1371/journal.pone.0007006.

Danovaro, R., Snelgrove, V.R.P., Tyler, P. (2014). Challenging the paradigms of deep-sea ecology. *Trends in ecology & evolution*, 29,8, 465-475.

Del Negro, P., Crevatin, E., Larato, C., Ferrari, C.R., Totti, C., et al. (2005). Mucilage microcosms. *Science of the total environment*, 353: 258–269.

Flander-Putrlle, V., Malej, A. (2008). The evolution and phytoplankton composition of mucilaginous aggregates in the northern Adriatic Sea. *Harmful algae*, 7:752–761.

Genitsaris, S., Stefanidou, N., Sommer, U., Moustaka-Gouni, M. (2019). Phytoplankton blooms, red tides and mucilaginous aggregates in the urban thessaloniki bay. *Eastern mediterranean diversity*, 11, 136. doi:10.3390/d11080136.

Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C.R., et al. (2005). Mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic in the period 1999–2002: typology and distribution, *Science of the total environment*, 353: 10–23.

Riemann, L., Leitet, C., Pommier, T., Simu, K., Holmfeldt, K., Larsson, U., Hagstrom, A. (2008). The native bacterioplankton community in the central Baltic Sea is influenced by freshwater bacterial species, *Applied and environmental microbiology*, 74, 2, 503-515.

Shibata, A., Kogure, K., Koike, I., Ohwada, K. (2007). Formation of submicron colloidal particles from marine bacteria by viral infection. *Marine ecology Progress Series* 155: 303–307.

Tas, S., Kus, D., Yilmaz, I. N. (2020). Temporal variations in phytoplankton composition in the northeastern Sea of Marmara: potentially toxic species and mucilage event, *Mediterranean marine science*, 21(3): 668-683. <https://doi.org/10.12681/mms.22562>.

Tüfekçi, V., Balkis, N., Polat Beken, Ç., Ediger, D., Mantikçi, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara, *Turkish journal of biology*, 34, 199–210. <http://dx.doi.org/10.3906/biy-0812-1>.

Weinbauer, M.G., Kerros, M.E., Motegi, C., Wilhartitz, I.C., Rassoulzadegan, F., Torreton, J.P., Mari, X. (2010). Bacterial community composition and potential controlling mechanism along a trophic gradient in a barrier reef system, *Aquatic microbial ecology*, 60, 15-28.

## Farklı Soğutma Hızlarında Katılaşılan Al-Zn ve Al-Cu Alaşımlarının Mikroyapı ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

*Sinan YILMAZ<sup>1</sup>*

*Engin KOCAMAN<sup>2</sup>*

*Nazım KUNDURACI<sup>3</sup>*

*Süleyman Can KURNAZ<sup>4</sup>*

### GİRİŞ

Yaygın olarak kullanımı 1900'lü yılların başlarına dayanan alüminyumun sağladığı üstün özellikleri sayesinde kullanım alanı her geçen gün artmaktadır. Özgül ağırlığının düşük, elektrik iletkenliğinin yüksek, gümüş beyazı rengini açık havada uzun süre koruyabilmesi, tokluğunun nispeten yüksek olması gibi nedenler alüminyum ve alaşımlarının başlıca avantajları olarak sıralanabilir. Ayrıca alaşım elementi ilavesi ile özelliklerinin olumlu yönde geliştirilebilmekte bu durum dolaylı olarak kullanım alanında bir genişlemeye neden olmaktadır. Uzay, uçak, otomobil, makine, bilgisayar endüstrisi, elektrik iletimi ve sağlık sektörü gibi alanlarda kendisine kullanım alanı bulan alüminyum alaşımları, artık günümüz teknolojisinin vazgeçilmez malzemelerinden birisi haline gelmiştir [1] [2] [3] .

Alüminyum alaşımları; silisyum, bakır, magnezyum, çinko ve mangan ana alaşım elementlerinden birini ya da bir kaçını içerirler. Demir, krom ve titanyum gibi elementler ise düşük miktarda bulunabilirler. Özel alaşımlarda, bunları yanı sıra nikel, kobalt, kalay, kurşun ya da vanadyum bulunabilir. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinden Si, Cu, Mg, Zn, Mn, Fe, Pb, Bi gibi elementler sayesinde alaşımın mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir [4]. Ayrıca alaşım elementi ilavesi sayesinde alüminyum ısıl işlem yapılabilir hale gelmektedir. Öte yandan alüminyum alaşımları içerisinde ilave edilen alaşım elementi sonucu alaşımın korozyon özelliklerinde bir azalma meydana gelmektedir. Bu durum alaşım elementi ilavesi sonucu mikroyapıda oluşan fazların matris ile etkileşime girerek veya alüminyumun yüzeyinde yer alan kararlı  $Al_2O_3$  tabakasının alaşım elementi ilavesi sonucu meydana gelen bütünlüğün bozulması sonucu meydana geldiği düşünülmektedir [5]. Öte yandan alüminyum alaşımlarının üretim prosesi de alaşımın özellikleri üzerinde etkilidir. Özellikle yaygın bir yöntem olan döküm prosesi ile üretilen alüminyum alaşımlarının üretim sırasında oluşan soğuma hızları farklılıkları segregasyon, mikroyapısal farklılıklar, tane boyutu değişimi gibi etkiler doğurabilmekte ve korozyon özelliklerinde bölgesel değişikliklere neden olabilmektedir.

---

<sup>1</sup> Master Öğrencisi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-4496-6881

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Üniversite, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-5617-3064

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-0687-3860

<sup>4</sup> Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-0172-4196

Özellikle ikili alaşımların soğuma hızının ele alındığı çalışmaların literatürde kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada %99.7 saflıktaki alüminyum içerisine farklı oranlarda çinko veya bakır elementi ilave edilmiş ve kama şekilli kokil kalıp içerisine dökülmüştür. Kalıbın farklı kesit kalınlığına sahip yani farklı soğuma hızına sahip kesitlerinden alınan numuneler mikroyapısal incelemeleri gerçekleştirilmiş sertlik ve korozyon dayanımları ölçülmüştür.

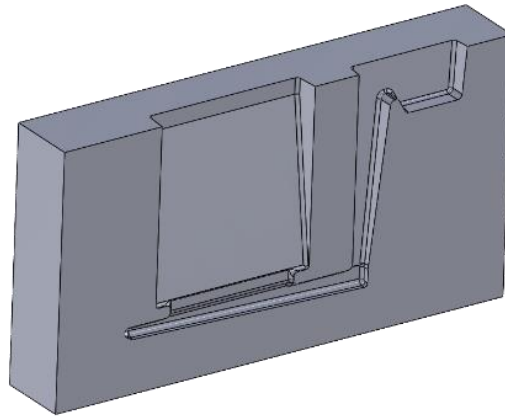
## YÖNTEM

Bu çalışmada Aşaş Alüminyum firmasından temin edilen ve Tablo 1’de kimyasal kompozisyonu verilen %99.7 saflıktaki alüminyum kullanılmıştır. Kamara tipi fırın içerisinde 800 °C’de ergitilen alüminyum içerisine ağırlıkça %2.5, %5 ve %7.5 oranında %99.9 saflıkta çinko ve bakır ilavesi yapılmıştır. Homojen bir alaşımın elde edilmesi için alaşım her 15 dakika da bir 5 dakika süre ile karıştırılmış ve azot gazı ile ergiyik alaşıma gaz giderme işlemi uygulanmıştır.

Tablo 1-Numune kodları ve spektral analiz sonuçları

Numune Kodu	Mn	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al
Referans	≤0.03	≤0.15	≤0.16	≤0.01	≤0.01	≤0.04	≤0.02	Kal.
Döküm 1	0.048	0.56	0.13	0.004	0.001	2.17	0.007	96.9
Döküm 2	0.046	0.83	0.09	0.002	0.001	4.19	0.001	94.8
Döküm 3	0.042	0.403	0.10	0.002	0.001	7.67	0.001	91.7
Döküm 4	0.046	0.95	0.11	2.44	0.001	0.017	0.001	96.3
Döküm 5	0.046	0.64	0.12	4.95	0.001	0.005	0.001	94.1
Döküm 6	0.046	0.86	0.11	7.45	0.001	0.005	0.001	91.6

Ergitilen alaşımlar Şekil 1’de şematik görünümü verilen ve 250 °C ön ısıtılan kokil kalıp içerisine 730 °C (±5) sıcaklıkta dökülmüştür. Dökülen numuneler dikine kesit boyunca tam ortan kesilmiş ve kama şekilli parçanın 15 mm ve 25 mm kesite tekabül edilen kalınlıklarından numune çıkarılmıştır.



Şekil 13-Döküm kalıbının şematik görünümü

Çıkarılan numuneler Baker’s dağlayıcısı kullanılarak elektro dağlama yöntemi ile dağlanmıştır. Optik mikroskop görüntüleri Leica M1750 metal mikroskobu ile polarize prizması kullanılarak alınmıştır. Numunelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Jeol JSM 6060 (SRM/EDS) marka cihaz ve bu cihaza bağlı enerji dispersif spektroskopi EDS ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri Shimadzu hmv marka cihaz kullanılarak Vickers sertlik ölçme yöntemine göre 10 gr yük altında 40x büyültmede 10sn yük uygulanarak ölçülmüştür. Korozyon

testleri Gamry 1010 E marka ve model cihaz ile 0.5 M NaCl çözeltisi içerisinde 1 mV/sn tarama hızında ve -0.5, +1.5 V potansiyel aralığında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen polarizasyon eğrileri Gamry Echem yazılımında işlenerek  $E_{kor}$  (korozyon potansiyeli)  $I_{kor}$  (korozyon akımı) ve Kh (korozyon hızı) ölçülmüştür.

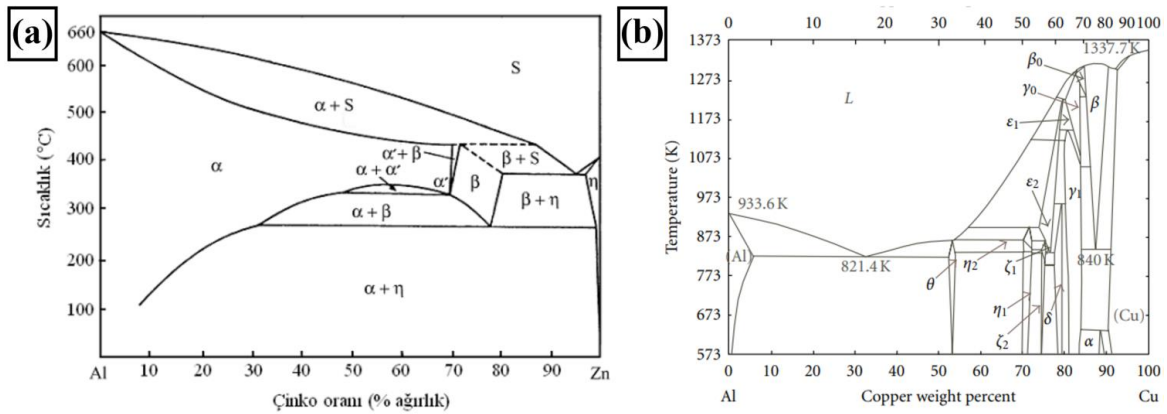
### Mikroyapı

Şekil 2’de kama şekilli kalıba dökülen numunelerin kesit tarama görüntüleri verilmiştir. Görüntüde numunelerin kalın kesitlerinin yani üst bölgelerinin daha kaba taneli bir yapıya sahip olduğu ince kesitli alt bölgelere inilmesi ile tane boyutunda bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca sıvı metalin kalıbın içine doldurulması numunenin dış kısmından iç kısmına doğru sütunsal bir büyümenin gerçekleştiği söylenebilir.



Şekil 14-Döküm numunelerin kesit görüntüleri

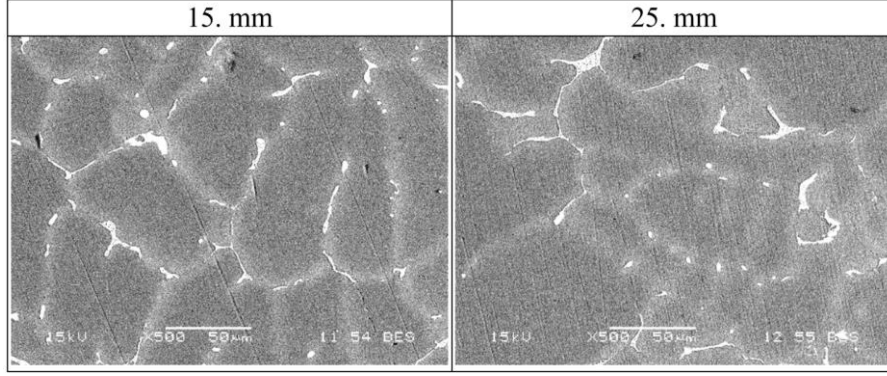
Şekil 3-a ve Şekil 3-b’de sırasıyla Al-Zn ve Al-Cu faz diyagramları verilmiştir. Çalışmada üretilen numunelerin maksimum alaşım elementi miktarı ağırlıkça %7.5 olduğu için her iki alaşımda faz diyagramının sol tarafında yer alan alüminyumca zengin bölgede katılaşmasını gerçekleştirecektir.



Şekil 15-A) Al-Zn faz diyagramı [6] B) Al-Cu faz diyagramı [7]

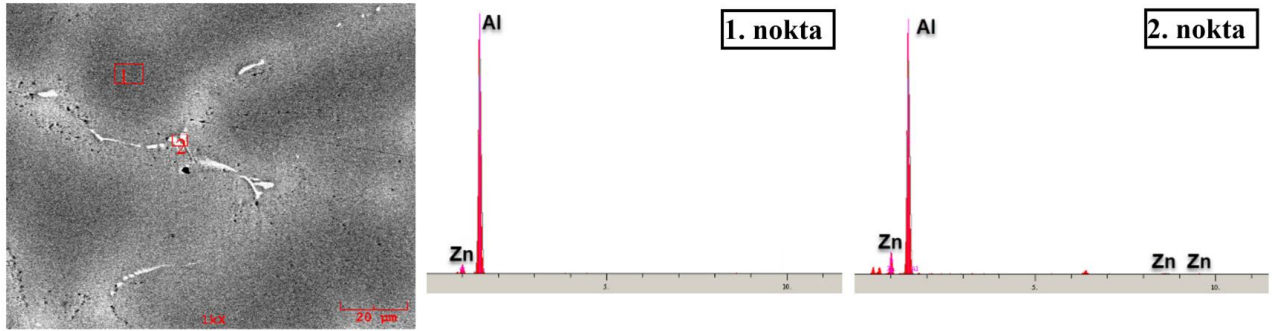
Şekil 4’te Döküm 3 kodlu numunenin kalıbın 15 mm ve 25 mm kesitlerinden çıkarılan numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Çinkonun oda sıcaklığında alüminyum içerisindeki çözünürlüğü ağırlıkça %2’nin altındadır [8]. Bu sebeple bileşimin Al-Zn faz diyagramının  $\alpha$ -Al kenar katı ergiyiği bölgesinin sağ tarafında katılaşmasını gerçekleştirecektir. Yani alaşımın eser miktarda

$\eta$  fazı içermesi beklenmektedir. Bu sebeple görüntülerde koyu gri renkli matris faz  $\alpha$ -Al içerisinde açık renkli olan ve çinko içeren  $\eta$  fazı olduğu söylenebilir. Bu durum Şekil 5'te verilen kalıbın 15 mm kesitinden çıkarılan numunenin EDS analizinde açıkça görülmektedir. EDS analizinde 1 numaralı matris bölgesinden alınan kimyasal analiz sonucu matriste eser miktarda çinkonun çözündüğü görülmektedir. Beyaz adacıkların üzerinden alınan EDS analizinde ise daha yoğun bir çinko sinyali vermekte ve bu fazların matrise göre daha fazla çinko içerdiği anlaşılmaktadır.



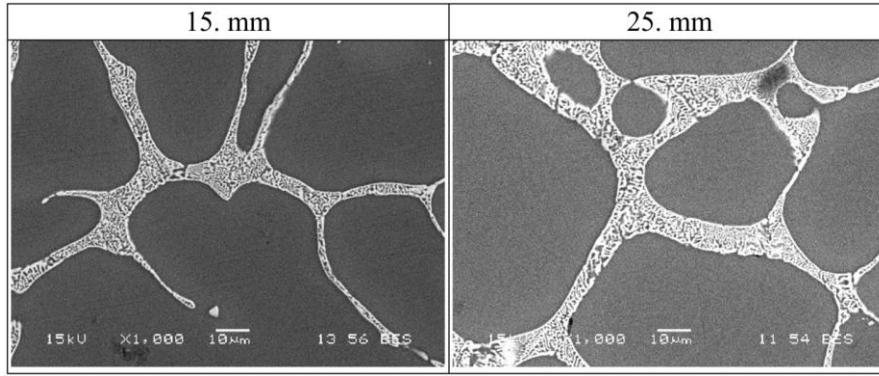
Şekil 16-Döküm 3 kodlu numunenin 15.mm ve 25.mm kesitinden çıkarılan numunelerin SEM görüntüleri

Öte yandan aynı bileşimin kalıbın 25 mm kesitinden çıkarılan numunenin SEM görüntüsünde benzer şekilde  $\eta$  fazının varlığı görülmektedir. Bu görüntüde kalıbın ince kesitinden çıkarılan numuneden farklı olarak mikroyapı içerisinde  $\eta$  fazının biraz daha büyük bir hacimsel orana olduğu söylenebilir. Bu durum kalıbın ince kesitinde meydana gelen hızlı soğuma ile oda sıcaklığında bulunması beklenen fazların alaşımın ergiyik halden katılaşması sırasında oluşması için yeterli zamana bulamaması şeklinde açıklanabilir. Kalıbın kalın kesitinde ise katılaşmanın biraz daha uzun sürmesi sebebiyle oda sıcaklığında bulunması beklenen denge fazlarının oluşmasına olanak tanımaktadır. Alaşımın daha dengeli katılaşması beklenmektedir.



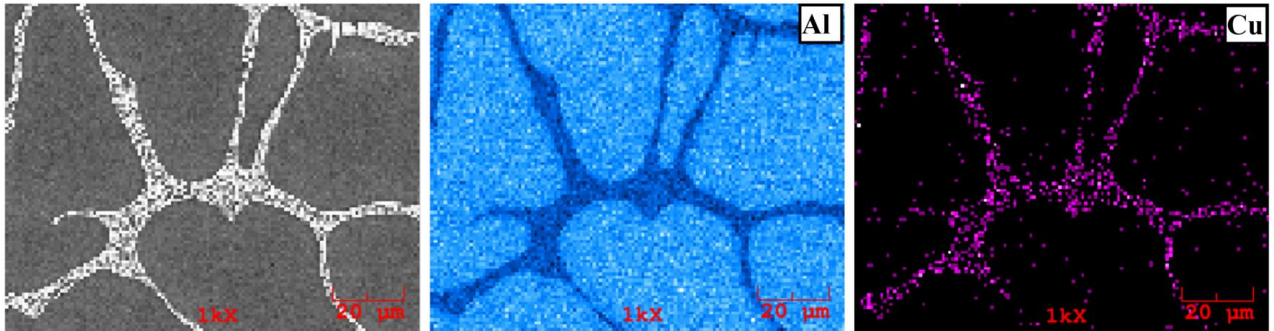
Şekil 17-Döküm 3 kodlu numunenin 15.mm kesitine uygulanan EDS analizi

Öte yandan alaşımın Şekil 6'da verilen SEM görüntülerinde Döküm 6 kodlu numunenin sırasıyla 15 mm ve 25 mm kalıp kesit görüntüsü verilmiştir. Bu görüntülerde Şekil 6'da verilen Al-Cu faz diyagramında görüleceği üzere alaşımın bir  $\theta$  olarak isimlendirilen  $\text{CuAl}_2$  intermetalik yapısını içermesi beklenmektedir. Şekil 7'de verilen Döküm 6 kodlu alaşımının 15 mm kesitinden çıkarılan numunenin MAP analizinde ötektik olarak katılaşan bölgelerde yoğun miktarda bakır bulunduğu görülmektedir. Bu sebeple bu bölgelerin  $\text{CuAl}_2$  intermetalik yapısını içeren  $\alpha$ -Al+  $\text{CuAl}_2$  ötektik yapısı olduğu söylenebilir.



Şekil 18-Döküm 6 kodlu numunenin 15 mm ve 25 mm kesitinden çıkarılan numunelerin SEM görüntüleri

Soğuma hızının Döküm 6 kodlu alaşımın üzerindeki etkisi ise Döküm 3 kodlu alaşıma benzer şekilde olacağı beklenmektedir. Ağırlıkça %7.5 oranında Cu içeren Döküm 6 kodlu alaşımın katılaşması sırasında sıvı fazdan oluşacak ilk katı  $\alpha$ -Al olacaktır. Soğuma hızının artması ilk oluşacak  $\alpha$ -Al yapısında hızlı bir soğuma ile neredeyse bu yapıyı oda sıcaklığına taşınmasını ve oda sıcaklığında oluşması beklenen dengeli fazların yeterli zaman bulamaması anlamına gelmektedir. Fakat bu çalışmada kalıp kesitleri arasındaki farkın az olması sebebiyle mikroyapıda oluşması beklenen fark eser miktarda görülmektedir. Bununla birlikte kalıbın hem ince kesitinde hem de kalın kesitinde denge fazlarının oluşması için yeterli zaman elde edilmiştir. Nihai mikroyapıda ise  $\alpha$ -Al -  $\alpha$ -Al+CuAl<sub>2</sub> ötektik yapılarının olması beklenmektedir.



Şekil 19-Döküm 6 kodlu numunenin 25 mm kesitine uygulanan MAP analizi görüntüsü

## Sertlik

Tablo 2'de döküm numunelere ait sertlik değerleri verilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında üretilen numunelerin içerisinde sertliği en düşük olan numunenin referans döküm yani %99.7 saflıktaki alüminyumda ölçülmüştür. Bu numunenin içerisine alaşım elementi ilavesi ile elde edilen diğer döküm numunelerin sertlik değerinde bir artış olduğu ve artan alaşım elementi miktarına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bu durumun alaşım elementi ilavesi ile oluşan yeni fazların sertliğinin yüksek olmasından ve katı eriyik sertleşmesi sonucu alaşımın sertleşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Hekimoğlu ve Turan [6] saf alüminyum içerisinde farklı oranlarda ilave ettikleri çinko miktarının artması ile sertlik değerinin arttığını bildirmiştir. Benzer şekilde Rawajfeh ve Qawabah [9] ağırlıkça %99.8 saflıktaki alüminyum içerisine ilave ettikleri bakır ile sertliğin arttığını rapor etmişlerdir. Bu bakımdan ölçülen sertlik değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Kama şekilli döküm numunenin üst noktasından alt noktasına doğru ölçülen Vickers sertlik değerlerinde üst bölgeden alt bölgeye doğru sertlik değerinin arttığı anlaşılmaktadır. Uludağ ve arkadaşları [10] farklı soğuma hızlarında katılaştırdıkları Etial 221 alaşımında artan

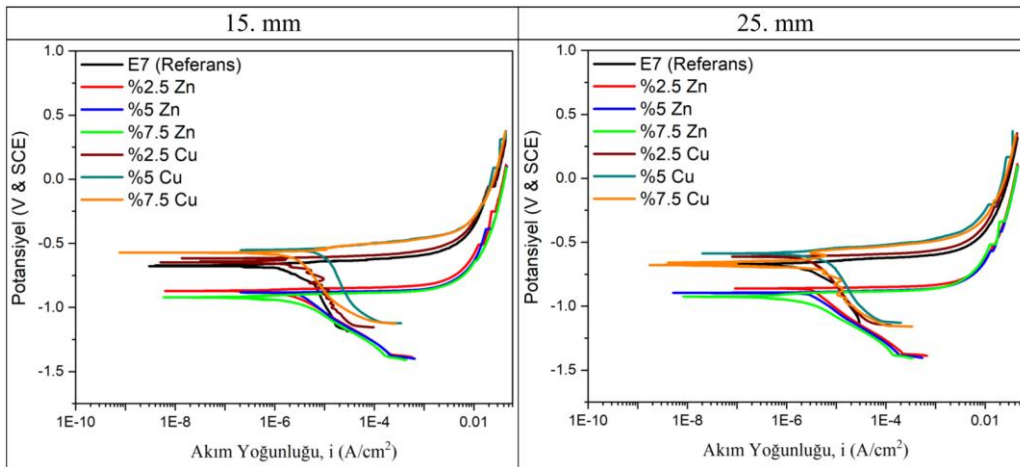
soğuma hızı ile sertliği arttığı rapor etmişlerdir. Bu çalışma için artan soğuma hızı ile birlikte yani kalıbın ince kesitli bölgesinden çıkarılan numunelerin daha ince taneli olduğu bu sebeple tane sınırlarının dislokasyon hareketini engelleyecek şekilde hareket ettiği ve sertliğin artmasına neden olduğu söylenebilir. Öte yandan artan soğuma hızı ile matris fazda çözünen alaşım elementi miktarı artmakta ve sertliğini artmasına katkıda bulunmaktadır. Fakat bu çalışmada soğuma hızının aşırı doymuş bir katı ergiyik oluşturacak kadar yüksek olmadığı mikroyapı görüntülerinde anlaşılmaktadır.

Tablo 2-Etial A7 alaşımının spektral analiz sonucu

Referans	Döküm 1	Döküm 2	Döküm 3	Döküm 4	Döküm 5	Döküm 6
24.2	27.8	27.2	39	41.6	50.6	63.3
23.1	23.3	28.6	33.1	42.2	52	64.6
25.1	25.1	29.3	39.9	43	56	92.9
23.2	25.3	29	39.7	44.5	55.3	69.6
23.7	27.4	29.7	43.8	44.6	55.9	61.7
24.8	27.6	28.7	44.6	47.9	58.8	70
25.6	26.9	30	42.5	48.6	57.3	79
25	27.4	29.5	46.5	49.6	61.7	82
26.3	28	30.1	52.3	50	65.8	93.6
26.1	27.9	31.6	51	57.1	68	89.7

## Korozyon

Şekil 8'de kama şekilli kalıba dökülen ve farklı oranlarda çinko ve bakır içeren döküm numunelerin korozyon testi sonrası potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen Tafel eğrileri verilmiştir. Tafel eğrilerinde %99.7 saflıktaki alüminyum içerisine ilave edilen çinko veya bakır oranının artması ile korozyon potansiyellerinde doğrusal bir değişim olmadığı görülmektedir. Öte yandan Tablo 3'te Tafel korozyon parametreleri verilmiştir. Tabloya göre en düşük korozyon potansiyeli değerleri ağırlıkça % 5 Cu içeren alaşımda elde edilmiştir. Fakat korozyon açısından oldukça önemli bir parametre olan korozyon akımına bakıldığında ağırlıkça % 5 oranında bakır içeren alaşımın korozyon akımı değerleri oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu durum alaşımın korozyon hızını da artırmaktadır.



Şekil 20-Farklı kesitlerden çıkarılan numunelerin Tafel eğrileri



Yine numuneler arasında en düşük korozyon hızına sahip alaşım ağırlıkça % 7.5 bakır içeren Döküm 6 kodlu alaşımdır. Literatürde alüminyum içerisine ilave edilen alaşım elementlerinin alaşımın korozyon direncini azalttığı belirtilmektedir [11]. Fakat bu çalışmada genel literatürden farklı olarak %7.5 gibi nispeten yüksek bir oranda alaşım elementi ilavesi yapılmıştır. Bu durum bakır ilavesi sonucu oluşan  $CuAl_2$  intermetaliklerinin matrise göre daha soy olmasından kaynaklanabilir [12] [13]. Alaşıma çinko ilavesi ise alüminyum ve çinko arasında bölgesel veya mikro anlamda galvanik bir oluşum sonucu korozyonu hızlandırıcı bir etki yapabileceği için alaşımın korozyon direncini azaltabileceği söylenebilir.

Tablo 3-Tafel eğrilerinden elde edilen Tafel test parametreleri

Numune	$E_{kor}$ (mV)	$I_{kor}$ ( $\mu A$ )	Kh (mpy)
Ref-15mm	-674.715	1.231	0.675
Ref-25mm	-674.548	1.706	0.936
Döküm 1-15mm	-870.364	1.52	0.857
Döküm 1-25mm	-859.728	2.414	1.361
Döküm 2-15mm	-883.632	2.353	1.353
Döküm 2-25mm	-891.059	2.101	1.208
Döküm 3-15mm	-921.783	1.943	1.16
Döküm 3-25mm	-924.148	1.514	0.904
Döküm 4-15mm	-642	0.895	0.504
Döküm 4-25mm	-613.749	2.383	1.344
Döküm 5-15mm	-551.952	5.041	2.896
Döküm 5-25mm	-585.573	2.347	1.348
Döküm 6-15mm	-571.773	1.075	0.641
Döküm 6-25mm	-666.418	0.853	0.509

## SONUÇ

Bu çalışma %99.7 oranındaki saflıkta ETİAL A7 alüminyum içerisine farklı oranlarda çinko ve bakır ilave edilmiş ve kama şekilli kalıp içerisine dökülmüştür. Dökülen parçalar kesilerek mikroyapısal incelemeleri gerçekleştirilmiş, sertlik testi ve korozyon dayanımları incelenmiştir. Elde edilen bulgular göstermektedir ki;

- Ticari saflıktaki alüminyum içerisine ilave edilen çinko ve bakır ile mikroyapıda çeşitli değişikliklere neden olmuştur. Çinko ilavesi sonucu mikroyapıda  $\eta$  fazı görülürken bakır ilavesi ile  $CuAl_2$  intermetalik yapısı meydana gelmiştir. Oluşan bu mikroyapıların kalıbın farklı soğuma hızlarına bağlı kesitlerinden çıkarılan numunelerinde soğuma hızı yüksek bölgelerde alaşım elementi sonucu oluşan fazların daha ince olduğu fakat kalın kesitli bölgelerde daha büyük boyuta sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Vickers sertlik testi sonuçlarına göre ticari saflıktaki alaşıma ilave edilen çinko ve bakır ile sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca soğuma hızının sertlik üzerinde etkili olduğu ve artan soğuma hızı ile sertlik değerinin arttığı anlaşılmaktadır.
- Korozyon test sonuçlarına göre döküm numuneler arasında en yüksek korozyon direnci ağırlıkça %7.5 bakır içeren alaşımda elde edilmiştir. Öte yandan soğuma hızının veya alaşım elementi ilavesinin alaşımın korozyon direnci üzerinde doğrusal bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] P. Dwivedi, A. Siddiquee and S. Maheshwari, "Issues and Requirements for Aluminum Alloys Used in Aircraft Components: State of the Art.," *Russ. J. Non-Ferrous Met.*, pp. 62,212-225, 2021.
- [2] B. Stojanovic, M. Bukvic and I. Epler, "Application of Aluminum and Aluminum Alloys in Engineering.," *Appl. Eng. Lett.*, pp. 52-62, Mart 2018.
- [3] J. Davis, "Aluminum and Aluminum Alloys.," *Light Met. Alloy*, p. 66, 2001.
- [4] R. Rana, R. Purohit and D. S, "Reviews on the Influences of Alloying Elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites.," *Int. J. Sci. Res. Publ.* , pp. 1-7, Şubat 2012.
- [5] K. Ralston and N. Birbilis, "Effect of Grain Size on Corrosion: A Review.," *Corrosion*, p. 66, 2010.
- [6] A. HEKİMOĞLU and Y. TURAN, "Çinko Oranının Al-(5-50)Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.* , pp. 9,16-25, 2019.
- [7] E. Huerta, A. Oliva, F. Avilés, J. González-Hernández and J. Corona, "Elastic Modulus Determination of Al-Cu Film Alloys Prepared by Thermal Diffusion.," *J. Nanomater.*, 2012.
- [8] K. Dehghani, A. Nekahi and M. Mirzaie, "Using Response Surface Methodology to Optimize the Strain Aging Response of AA5052.," *Mater. Sci. Eng. A*, pp. 7442-7451, 2012.
- [9] A. Al-Rawajfeh and S. Qawabah, "Al Investigation of Copper Addition on the Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Commercially Pure Aluminum.," *Emirates J. Eng. Res.*, pp. 47-52, 2009.
- [10] M. ULUDAĞ, L. GEMİ and D. DİSPİNAR, "ETİAL 221 Alaşımında Katılma Hızı ve Su Verme Ortamlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İstatistiksel Analizi.," *Uludağ Univ. J. Fac.Eng.* , pp. 169-189, 2020.
- [11] K. Sugimoto, Y. Sawada and S. Morioka, "Effects of Alloying Elements on the Pitting Corrosion of Aluminum.," *Trans Jap Inst Met*, pp. 345-351, 1972.
- [12] C. Vargel, "Chapter C.13 - Galvanic Corrosion. In; Vargel, C.B.T.-C. of A.," *Second E., Ed.;Elsevier: Amsterdam, 2020; pp. 295–315 ISBN 978-0-08-099925-8.*, pp. 295-315, 2020.
- [13] C. Castella, "Self Hardening Aluminum Alloys for Automotive Applications," *student Politecnico Di Torino Porto Institutional Repository [Doctoral Thesis]*, 28 Temmuz 2016.

## Hidrokinamik Yağlamalı Kaymalı Yatak Uygulanmasının Vals Topu Dişleme – Taşlama Makinesi Verimliliğine Etkisinin İncelenmesi

Sefa YEĞİN  
Murat DİLMEÇ  
Mehmet BAĞCI

### 1.GİRİŞ

Milin yüzeyinde kayarak döndüren elemanlara hidrokinamik kaymalı yatak denir. Kaymalı yatağın amacı, mil ile yatak arasında yeter derecede basınca sahip olacak şekilde yağ filmi oluşturup metalin metale temasını engellemek, böylece sürtünmeyi düşürmek ve aşınmayı yok etmektir. Mil ile yatak arasında üç tür kayma olabilir:

Yağın olmadığı, metalin metal üzerinde kaydığı kuru sürtünme diye adlandırılır. Kuru sürtünmeli çalışma, yağın istenmediği yerlerde (örneğin gıda sanayinde) yerde tercih edilirler.

Yağın olduğu fakat parçaları birbirinden tamamen ayıracak bir basıncın oluşmadığı, kısmen temasların olduğu sürtünmeye sınır sürtünmesi adı verilir. Bakım gerektirmeyen yataklarda sınır yağlamayı sağlayabilecek kadar yağ filmi oluşturabilen yataklar kullanılır. Ayrıca sınır sürtünmeli yatakların, kuru sürtünme şartlarında da ortalama bir performans göstermesi beklenir.

İki metalin bir yağ filmi ile birbirlerinden tamamen ayrıldığı durumlara sıvı sürtünme denir. Bu durum en tercih edilen çalışma biçimidir. Bunu sağlamanın iki farklı yolu vardır. Basıncın kendiliğinden oluştuğu hidrokinamik yağlama veya dışarıdan bir pompa yardımıyla basıncın oluşturulduğu hidrostatik yağlamadır.

### 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bekir ve ark. (2009) yapmış oldukları araştırmalarında yatak malzemesinde yaygın olarak kullanılan pirinç ve bakır esaslı alaşımlarda bronz kullanımını incelemişlerdir. Çalışmalarında saf bakır malzemeler düşük mekanik ve sertlik özelliklerinden dolayı muylu yatak malzemesi olarak kullanılmayacağını belirtmişlerdir. Kabul edilebilir tribolojik ve mekanik performansına sahip bu malzemeler, muylu yataklarda tatmin edici sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada bakır esaslı CuSn10 bronz ve CuZn30 pirinçten üretilen kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca Cu, Sn ve Zn alaşım elementlerinin kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanmışlardır. Aşınma deneyleri, radyal kaymalı yatak aşınma test düzeneği kullanılarak, 20N yüklerde, 1500 dev/dk hızlarda 2.5 saat süreyle gerçekleştirilmiştir (Bekir ve ark.,2009).

Karadere (2008) araştırmasında grafit ve bronz katkı teflondan imal edilmiş bir kaymalı yatak burcunun çelik bir muyluya karşı sürtünme katsayısını bir deney düzeneğinde tayin hız ve sıcaklık artışıyla değişimleri incelemiştir. Çalışmaları sonucunda sürtünme katsayısının nispeten küçük hız ve basınçlar altında neredeyse sabit kaldığı ve sürtünme katsayısı üzerinde sıcaklık artışının hız artışına göre daha etkili olduğunu bulmuştur. Ayrıca sabit bir PV değeri için belirli bir sıcaklığa

kadar "küçük hız + büyük basınç" kombinasyonunun daha düşük sürtünme katsayıları sağladığını bulmuştur (Gültekin Karadere, 2008).

Prashant ve ark. (2018) çalışmasında, kısmi yağlama kanalları yoluyla konik şekilli hidrokinamik muylu yatağının performans özelliklerini araştırmak için sayısal ve deneysel analiz yapıp incelemiştir. Sayısal analiz yaparken COMSOL multiphysics 5.0 programını kullanarak ince film akış fiziği gerçekleştirmişlerdir. Kısmi yağlama kanalları, fotokimyasal işlem kullanılarak geliştirilmiştir.  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  ve  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$  kısmi dokulamanın yatak performans parametreleri sıvı film basıncı, yük taşıma kapasitesi ve sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi sayısal olarak incelemiştir.  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$  bölge boyunca kısmi dokulu yatak yüzeyi, maksimum sıvı film basıncında %42 artış sağlarken, sürtünme katsayısında maksimum %52 azalma ile konik şekilli hidrokinamik kaymalı 3 yatağın pürüzsüz yüzey özelliklerine kıyasla yük taşıma kapasitesinde % 42 artış sağladığını görmüşlerdir (Prashant ve ark., 2018).

Hamdullah ve ark. (2004) araştırmalarında, Zn–Al–Cu–Si alaşımlarından üretilen ince duvarlı kaymalı yatakların sürtünme davranışını kaymalı yatak test teçhizatı kullanılarak incelemiştir. Bu alaşımların nihai çekme mukavemeti, uzama, sertlik ve mikroyapı gibi mekanik özellikleri belirleyip bu alaşımlardan üretilen rulmanların sürtünme özellikleri de incelemiştir. Bu araştırmada, kaymalı yatakların sürtünme özellikleri üzerindeki yüzey pürüzlülüğü ve yatak basıncının etkileri dikkate alınarak, özellikle karışık ve tam film yağlama bölgelerinde artan yatak basıncı ile sürtünme faktörünün azaldığını göstermişlerdir. Yüksek yüzey pürüzlülüğünün yüksek sürtünme faktörüne yol açtığı bulmuşlardır. ZnAl<sub>27</sub>Cu<sub>2</sub>Si<sub>1</sub> ve ZnAl<sub>40</sub>Cu<sub>2</sub>Si<sub>1</sub> yatakları tam Stribeck eğrisi eğilimi gösterirken, ZnAl<sub>27</sub>Cu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> yatağı 0,7 ve 1,1 MPa basınçta tam film yağlama bölgesine sahip olmayan tipik diyagramı sergilemediğini görmüşlerdir (Hamdullah ve ark., 2004).

Bekir ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmalarında, pratikte demir esaslı malzemeler mil malzemesine benzer özellikler gösterdikleri ve kaymalı yataklarda yapışkan aşınmaya neden olduğunu bildikleri için kullanmamışlardır. Ayrıca borlama işlemi ile yataklardaki aşınmayı önemli ölçüde azaltılabileceğini ön görmüşlerdir. Bu çalışmada, bazı demir esaslı (SAE 1020, TS-DDK 40) kaymalı yataklara borlama uygulanmıştır. SAE 1050 çelik mil üzerinde karşı aşındırıcı olarak 100 N yükte ve 1500 dev/dk'da radyal kaymalı yatak test cihazı kullanılarak 5 saat boyunca aşınma deneyleri yapmışlardır ve borlama işlemi SAE 1020, TS-DDK 40'ın aşınma direncini sırasıyla yaklaşık 10–25 kat ve 5–7 kat artırmışlardır (Bekir ve ark., 2008).

Gengyuan ve ark. (2014) araştırmalarında, su ile yağlanan kaymalı yatakların tasarımı için referanslar sağlamayı amaçlamışlardır. Suyun ve yağın fiziksel özellikleri arasındaki farkları göz önünde bulundurarak, eksantriklik oranının su filminin basınç dağılımı üzerindeki etkilerini akışkanlar dinamiği ile analiz edilmişlerdir. Daha sonra farklı dönme hızlarında farklı boyutlardaki kaymalı yatakların sayısal analizini yapmışlardır. Yaptıkları analize göre, verilen yük ve dönme hızı altında su yağlamalı kaymalı yatak tasarlamak için kullanılan başlangıç çap boyutunun seçilmesi için referans belirleyip ve referansı deneysel bir durumla doğrularlar (Gengyuan ve ark., 2014).

Tushar ve ark., (2021), ISO 46 Viskozite yağda yağlayıcı katkı maddesi olarak TiO<sub>2</sub>, CuO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano partikülleri eklenerek hazırlanan nano lubrikantların çalıştığı kaymalı yatak rulmanlarının performansını analiz etmişlerdir. Nano partiküller eklenerek, yağlayıcı yağın viskozitesi iyileştirip ve aslında, kaymalı yatağın performans özelliği iyileştirmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada rulmanın performansı 250 dev/dk, 500 dev/dk hızlarda ve 300 N ve 450 N yüklerde ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, nano partikül katkı maddeleri içermeyen baz yağla kıyasla, yağlayıcı katkı maddesi olarak TiO<sub>2</sub>, CuO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parçacıklarının eklenmesiyle kaymalı yatağın maksimum basınç ve yük taşıma kapasitesinde bir artış olduğunu görmüşlerdir (Tushar ve ark., 2021).

Aysun ve ark., (2016), polimer esaslı yatak malzemelerinin tribolojik özelliklerini araştırmışlardır. Seçilen polimer yatak malzemelerinin (Kestamit, Kestamit/HS, Kestoil, Kestlub, Ulpolen 1000 (UHMWPE)) 3 farklı hız (50, 75 ve 100 dev/dk) ve 4 farklı yük (15, 25, 35 N) altında

ve 5, 10 ve 15 dakika sürelerinde inceleyerek sürtünme kuvvetleri, sürtünme katsayıları ve yüzey pürüzlülük özellikleri değerlendirmişlerdir. Yatak malzemeleri kendinden yağlamalı olduğu için yaptıkları deneylerde yağlama işlemi yapmamışlardır. Tüm deney şartlarında diğer yatak malzemelerine göre Kestoil yatak malzemesinin sürtünme katsayısı daha düşük olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Deney parametreleri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Aysun ve ark., 2016).

Kadir ve ark., (2009), bronz kalay, kompozit yapı, bronz malzemenin gözeneklerine emdirilerek elde edilmişlerdir. Sürtünme ile aşınmanın özelliklerine bakılmıştır. Zıt aşındırıcıda ise AISI 4140 çelik mil kullanılmıştır. Olabildiğince az hızlarda ve yüklerde yapılanlarda çalışma yüzeylerinde, iz olan aşınmanın küçük ve yüzeysel olduğu, yüksek yük ile hızda ise daha belli aşınma ve çizikler tespit edilmişlerdir. (Kadir ve ark., 2009).

Hakan ve ark., (2012) araştırmalarında, statik yük altındaki bir radyal kaymalı yatakta sürtünme katsayısı değişimini deneysel ile teorik araştırmışlardır. Çalışmada; yatak yükünün, vizkozite ile yatak boşluğunun sürtünme katsayısına değiştirildiğindeki etkisine bakılmıştır. Teorik ve deneysel olarak belirlenen sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. Yük sabitken, azalan yatak boşluğuna bağlı olarak sürtünme katsayısı, sıvı sürtünmesi azalmıştır. (Hakan ve ark., 2012).

Güler ve ark., (2021), hidrodinamik yağlamalı kaymalı yataklarda basınç dağılımı, sürtünme katsayısı, yağ film kalınlığı, yağ debisi, vb. gibi değerler yatak tasarımı ve optimum enerji verimliliği açısından büyük öneme sahip olduğunu düşünerek çalışmalarında basınç dağılımını ifade eden Reynolds Yağlama Diferansiyel eşitliği sonlu farklar metodu ile çözümlenerek her bir basınç noktası için interaktif çözüm yapılmıştır. Çalışmada kurgulanan algoritma ile muylu hızının değişimi ile basınç değeri, yağlayıcı katman kalınlığı, sürtünme katsayısı ve yatak kapasitesini belirlemişlerdir. Ve sonuçlarında mil hız değeri küçüldükçe basınç değerinin küçüldüğü, açıklık değeri büyüdükçe basınç değerinin küçüldüğü, eksantriksidede oranları arttıkça basıncın arttığı, viskozite değerleri arttıkça basıncın arttığı görmüşlerdir (Güler ve ark., 2021).

Erol ve ark., (2007), farklı polimer kaymalı yatakların çalışma süresi boyunca tribolojik davranışları incelemişlerdir. Rulmanların sürtünme ve aşınma davranışları hız, yük, sıcaklık ve çalışma süresinden etkilenmediğini düşünerek tüm malzemeler için temas yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayıları belirlemişlerdir. Test sonuçlarına göre Devateks ve Ertalyte malzemenin aşınma ve sürtünme davranışları Ertacetal ve Ertalon 6PLA (döküm polyamid)'den üstün olduğunu görmüşlerdir. Ertalyte en yüksek aşınma direncine sahiptir ve en düşük sürtünme değerleri Devateks için elde edilir. Sürtünme ve aşınma için hızın en etkili parametre olduğu gözlemlenmiştir (Erol ve ark., 2007).

Erol ve ark., (2009) araştırmalarında alüminyum esaslı alaşımların günümüzde yüksek performanslı motor yataklarında kullanılmak üzere geliştirildiği kabul ederek, çalışmalarında metal kalıba döküm ile üretilen yeni Al esaslı yatak alaşımları geliştirmiş ve bu alaşımların yağlama altındaki tribolojik özellikleri deneysel olarak analiz edilmişlerdir. Bu doğrultuda pin on disk aşınma test cihazında dört farklı alüminyum alaşımı gerçekleştirmişlerdir. Aşınma test cihazında disk malzemesi olarak SAE 1040 çeliği kullanmışlardır. Aşınma testlerini ise 1.8 m/s kayma hızında ve 70 N normal yükte gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda çeşitli çalışma koşullarında numunelerin sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları belirlemişlerdir. Numunelerin sertliği, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey sıcaklığı ölçülmüştür. Sonuç olarak, alaşımların sürtünme ve aşınma davranışlarının kayma koşullarına göre değiştiğini gözlemlenmiştir. Alüminyumu oluşturan alaşımlar dışındaki elementlerin tribolojik özellikler üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Al8.5Si3.5Cu alaşımı diğer alaşımlara göre daha düşük sürtünme katsayısı değerine sahip olduğunu görmüşlerdir. Al8.5Si3.5Cu ve Al15Sn5Cu3Si 6 alaşımları ise en yüksek aşınma direncine olduğunu görmüşlerdir. Al15Pb3.7Cu1.5Si1.1Fe alaşımı en çok aşınan malzemedir ve Al15Pb3.7Cu1.5Si1.1Fe alaşımı en yüksek aşınma oranına sahiptir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ise yatak malzemesi olarak

yağlama altında çalışacak alüminyum alaşımlarından Si ve Sn içeren Al–Sn ve Al–Si alaşımları tercih edileceğini ön görmüşlerdir (Erol ve ark., 2009).

Ertuğrul ve ark. (2007), gözenekli yatakların farklı çalışma koşulları altındaki performansları deneysel olarak incelemişlerdir. Gözenekli P/M mesnetlerin dinamik yükleme altında tribolojik özellikleri ve yorulma hatası incelemişlerdir. Yapılan testlerde PV'nin farklı ortalama yatak değerlerinde Cu esaslı yataklar kullanılmıştır (P, öngörülen alan üzerindeki yük basıncı, V muylunun yüzey hızıdır). Deneylerde, farklı PV değerleri için sürtünme katsayısı ve aşınma oranlarının değişimi incelemişlerdir. Sonuç olarak ise düşük PV değerlerindeki sürtünme katsayıları ve aşınma kaybı oranları, test yataklarında yüksek PV değerlerinden daha küçük olduğunu görmüşlerdir (Ertuğrul ve ark., 2007).

Hülya ve ark., (2009) araştırmalarında alüminyum esaslı alaşımların tribolojik uygulamalarda muylu yatak malzemesi olarak kullanmışlardır. En yaygın olarak kullanılan yatak malzemeleri Duralumines, AlMgSi, alüminyum bazlı alaşımlardır. Bu alaşımlar kaymalı yataklardan beklenen özellikleri sağlar. Yapılan bu çalışmada, alüminyum alaşımlarından üretilen bu kaymalı yatakların tribolojik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Karşı aşındırıcı olarak SAE 1050 çelik mil kullanılmıştır. Al alaşımlı yatakların aşınma direnci yaklaşık 2-3 kat arttığı ve muylu aşınma direnci yaklaşık 2-8 kat arttığını gözlemlemişlerdir. En yüksek rulman aşınma oranı saf Al rulmanlarda meydana gelirken, en düşük rulman aşınma oranı ise AlMgSi rulmanda meydana gelmiştir (Hülya ve ark., 2009).

Enver ve ark., (2008) araştırmalarında polimer bazlı malzemeler, düşük hızlarda iyi korozyon direnci, kendi kendini yağlama ve aşınma direnci özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılır ve kaymalı yataklarda yağlama için uygun değildir ve yüksek performanslı mühendislik polimerleri, kaymalı yataklar için istenen özellikleri sağlar ve iyi tribolojik sonuçlar verir teziyle ilerleyerek yaptıkları çalışmada, polimer esaslı PE, PA, POM, PTFE ve Bakalit mesnetlerin tribolojik davranışları araştırmışlardır. Sonuç olarak, en yüksek aşınma direnci PA ve POM yataklarında meydana geldiğini görmüşlerdir (Enver ve ark., 2008).

### **3. TEORİK ESASLAR**

#### **3.1. Yağlama ve Kaymalı Yataklar**

Hareketi izafi iken kuvvet ileten parçalar aralarında sürtünmeyle beraberinde gelen aşınma ve buna bağlı açığa çıkan ısı güç kaybı yaratır. Aşınma ve açığa çıkan ısıyı dolayısıyla güç kaybını azaltmak için izafi hareket eden parçalar arasına yağlayıcı maddeler konur.

#### **3.2. Yağ Çeşitleri**

Kaymalı yataklar kuvvet iletiminde çok kullanılan makine parçaları olup bir birine göre izafi hareket ederler ve sürtünmeyi dolayısıyla da aşınmayı izafi hareket eden parçalar arasına konan katı, sıvı ya da gaz yağlayıcılar sayesinde azaltırlar. Yağlayıcı olarak genelde akışkan yağlayıcılar kullanılmakla beraber, bazı koşullarda teflon, karbon gibi katı ve basınçlı hava gibi gaz yağlayıcılarda kullanılır.

##### **3.2.1. Katı Yağlayıcı**

Katı yağlar yalnız başlarına toz ya da plaka şeklinde kullanıldıkları gibi bazı durumlarda sıvı ya da greslerle karıştırılarak da kullanılabilirler.

### 3.2.2. Gresler yağlayıcı

Yarı katı yağlayıcılar sıvı yağlara katılan bir ya da birden fazla katkı maddesi ile elde edilirler ve oda sıcaklığında krem kıvamında bulunurlar. Gresler kullanılan katkı maddesine göre kalsiyum gresi, lityum gresi ve sodyum gresi gibi isimlerle anılırlar.

### 3.2.3. Sıvı yağlayıcılar

Sıvı yağlayıcılar organik (hayvansal ve bitkisel) yağlar, madensel (mineral) yağlar ve sentetik yağlar olmak üzere üç grupta toplanabilir. Sıvı yağlar aşağıdaki genel özelliklere sahiptir:

- Sıcaklığın etkisiyle viskozite azalır.
- Metallerin yüksek sıcaklarda bile oksitlenmesini önler.
- Parçalar üzerinde yapışma özelliği hareketli veya hareketsiz fark etmeksizin en az seviyededir.
- Parçalar arasındaki boşluklara (yük altındaki), aşınma ile sürtünme engelleyici sızıntı yapar.
- Temizleme özelliği ise yağlanmış yüzeylerdedir.
- Soğutma işlemi hareket halindeki parçalar arasındadır.

### 3.3. Kaymalı Yatak Çeşitleri

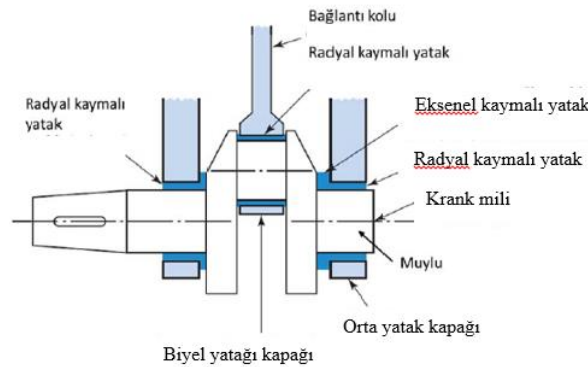
Zıt hareketi izafi olan, kuvvetle aynı yönde hareket etmeyen ayrıca hareket esnasında iki parça arasında yağ filmiyle sürtünme kaybı en aza indirerek kuvvetin iletimini sağlayan makine parçalarıdır.

Kaymalı yatak çeşidi ikidir ;

Radyal kaymalı yatak: Kuvvetleri radyal yönde karşılar.

Eksenel kaymalı yatak: Bunlar genellikle düz yataklardır ve milin yatakladığı yere radyal yönde monte edilir. Sadece mil doğrultusunda gelen yükleri alır.

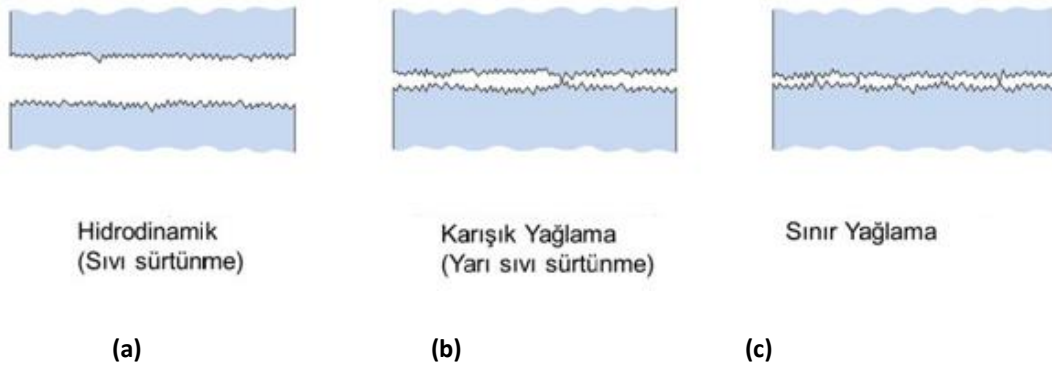
Şekil 3.1.'de radyal ve eksenel yataklara motor milinin yatakları örnek gösterilmiştir. İki yatakla sabitlenen krank şaftı olup, bunlar radyal ile eksenel yükleri karşılar.



Şekil 3.1. Krank şaftı silindiri üzerindeki yataklar ( Anonim,2009)

### 3.4.Yağlama Çeşitleri

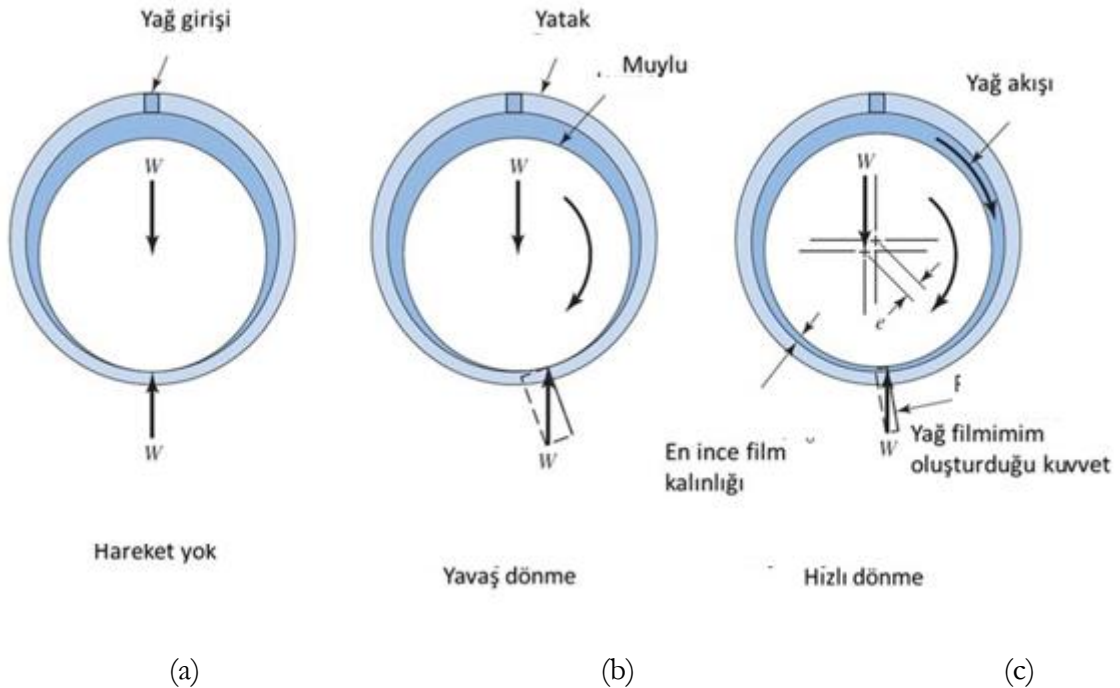
1. **Hidrokinamik Yağlama (Sıvı Sürtünmesi):** Sürtünme sadece sıvı molekülleri arasında oluşan (metalle metalin teması yok) kayma kuvvetinden oluşur.
2. **Karışık Yağlama (Yarı Sıvı Sürtünmesi):** Çok az kısımlarda metalle teması olup kısmı olarak hidrokinamik yağlamada sayılır.
3. **Sınır Yağlaması:** Zıt izafı parçalar hareket halinde bir birine tamamen değmektedir.



Şekil 3.2. Yağlamaların gösterimi ( Anonim,2007)

Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi en olumlu yağlama, hidrokinamik yağlamadır.

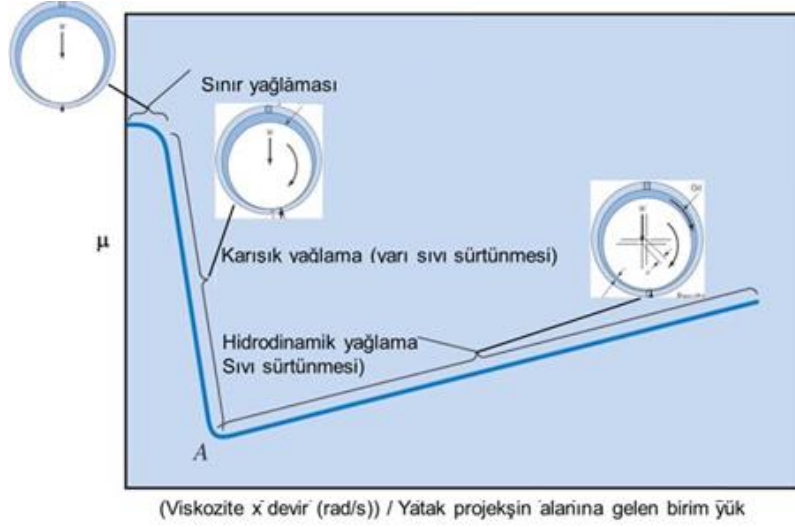
Mil (muylu) yatağın içinde saat yönünde sabit bir açısız hızla döner, yatak boşluğunun yük taşıyıcı yağ filminin oluşması dönme yönünde daralmasını sağlar.



Şekil 3.3. Kaymalı yatak yağlaması ( Anonim,2002)

Yatak içindeki mutlunun son hızına ulaşana kadarki süreçte üç adımı yağlama vardır. Sürtünme katsayısının üç yağlama aşamasına göre nasıl değiştiğini Stribeck eğrileri göstermektedir.





Şekil 3.4. Stribeck eğrisi ( Anonim,2010)

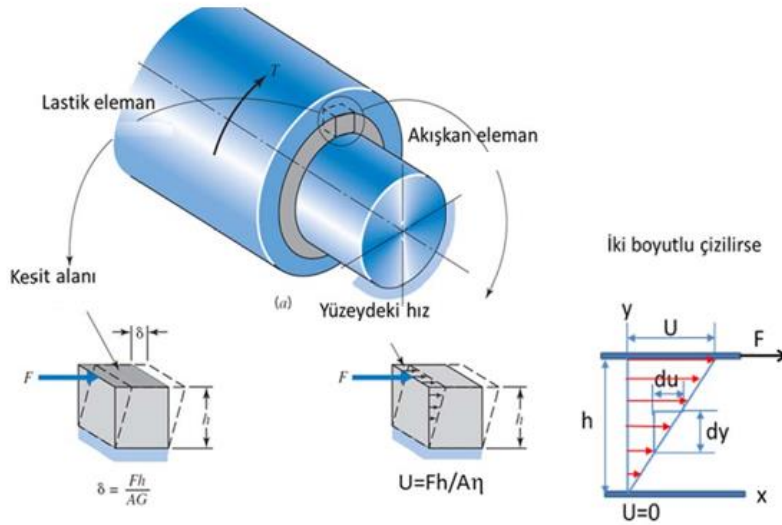
Hidrodinamik yağlama olabilmesi için,

1. İzafi hareket yüzeyleri ayrılabilmesi için gereklidir.
2. Yatağın iç duvarına doğru muylunun çıkması
3. Uyumlu bir yağ seçimi

Yatağın içinde sınır yağlamasını Motor krank mili dönerek oluşturur. Yatağa gelen kuvvet oldukça azdır ama motor çalışınca maksimum seviyeye ulaşır.

### 3.5.Viskozite

Viskozite, sıvı ya da gaz halindeki bir akışkanın biçim değişikliğine karşı gösterdiği dirençtir. Bir başka deyişle, sıvı ya da gaz halindeki bir akışkanın bir bölümünün hemen yanındaki bir bölüme göre yer değiştirmesine karşı gösterdiği dirence viskozite denir. Dilimizde ise akmazlık olarak da adlandırılır.



Şekil 3.5. Viskozite ve Kayma Gerilmesi Benzerliği ( Anonim,2009)

Şekil 3.5.'deki gibi hareketli silindir ve sabit şaft arasına esneyen madde konulmuş varsayarsak. Bir kuvvet hareketli silindire uygulandığında sabit yer değiştirme esneyen madde de görülür. Newton akışkanıyla esneyen madde farklı yerlere geçerse, yer değiştirme ( $\delta$ ) de sabit bir hız  $a$  ( $U$ ) yer değiştirmiş olur. Newton kanununun viskoz akışlara uygulamasıdır ve kanun ince film kalınlığı içindeki hız değişiminin düzgün olduğunu kabul eder.

$$\text{Kinematik Viskozite} = \frac{\text{vizkosite}}{\text{kütleyoğunluğu}} \quad (3.1)$$

birim  $\text{cm}^2/\text{s}$  – stoke – st

Net viskozite, Saybolt viskozite metresinden saniye birimiyle ölçülen değerin Eşitlik (3.2)'ye konulmasıyla elde edilir. Eşitlikte;  $S$  zamanı (saniye).

$$\eta \text{ ( mPa.s veya cp )} = \left( 0.22S - \frac{180}{S} \right) \rho \quad (3.2)$$

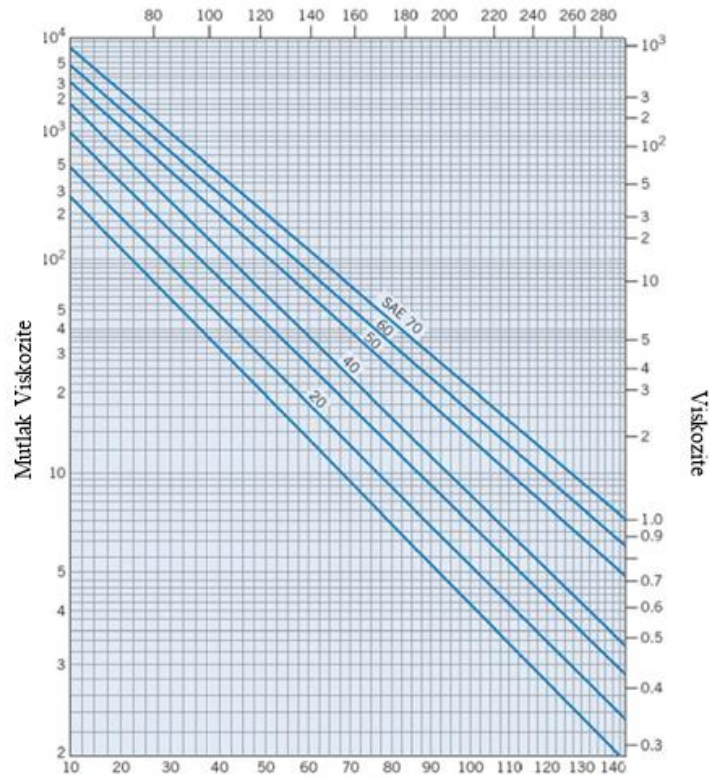
$$\eta \text{ ( } \mu\text{reyn )} = 0.145 \left( 0.22S - \frac{180}{S} \right) \rho$$

$\rho$  gram/santimetre küp ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) Petrolden elde edilen yağlar için  $60^\circ \text{F}$  ( $15.1^\circ \text{C}$ ) deki kütle yoğunluğu  $0.89 \text{ g}/\text{cm}^3$  dür.

$$\rho = 0.89 - 0.00063(\text{ }^\circ\text{C} - 15.6) \quad (3.3)$$

$$\rho = 0.89 - 0.00035(\text{ }^\circ\text{F} - 60) \quad (3.4)$$

**Tablo 3.1.** SAE yağları için viskozite sıcaklık eğrileri

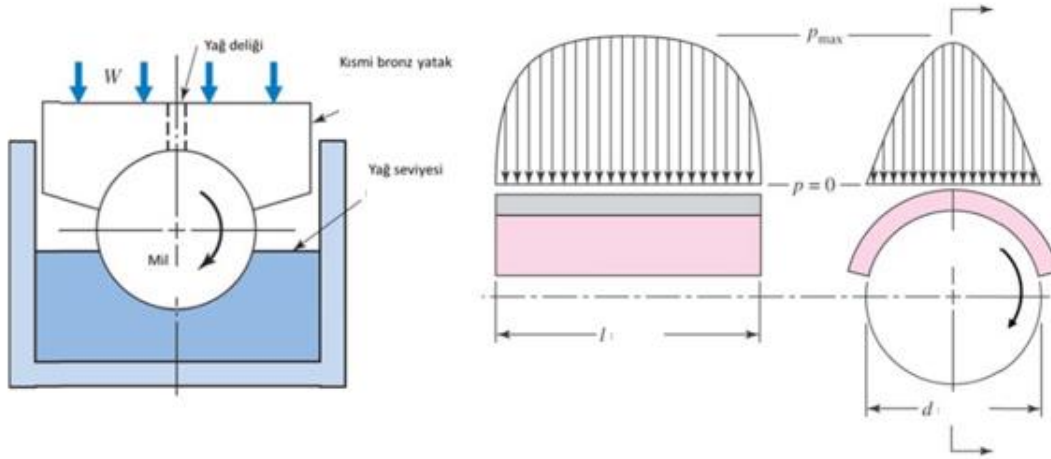


(American National Standart Z11.232)

Tablo 3.1 de gösterildiği üzere endüstride kullanılan akışkanların viskoziteleri genelde uluslararası standartlar da ASTM D 2422, American National Standart Z11.232, International Standart Organization ISO standart 3448 ve bazıları. Farklı viskozite değerleri için ISO VG olarak ifade edilip, takip eden numara 40°C deki kinematik viskozite değerini gösterir.

### 3.6.Hidrodinamik Yağlama Teorisi

Tower tarafından 1880’li yıllarda laboratuvarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel düzeneğinde yağlama yağını yatağın içine göndermek için bir delik açılmıştır. Şekil 3.6 daki gibi, diferansiyel yatak iz düşüm alanıyla tüm hidrodinamik basıncın çarpımının karşılanan yüke eşit olduğunu bulmuş.

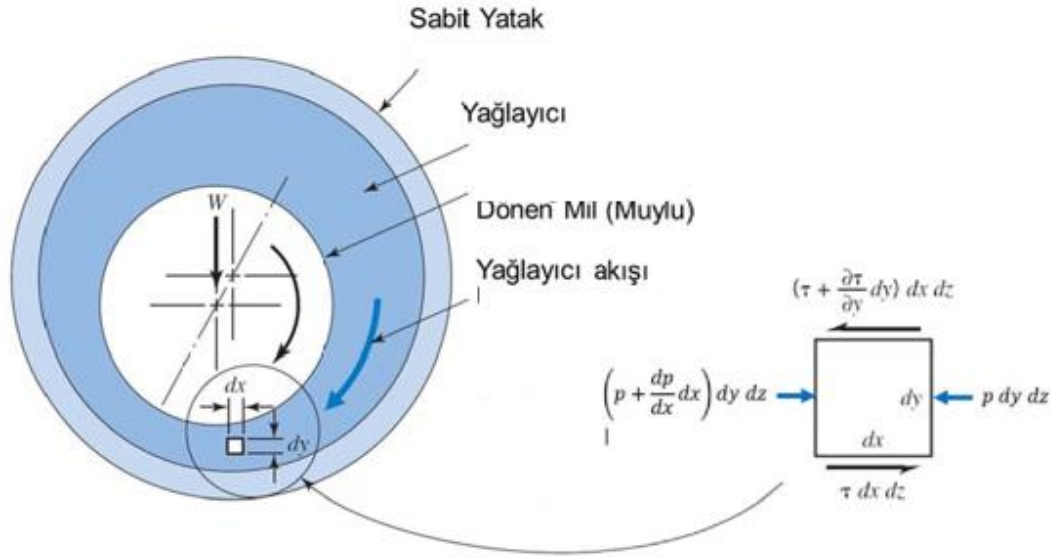


Şekil 3.6. Beauchamp Tower deney düzeneği ve ölçülen basınç dağılımı( Anonim,2009)

Reynolds teorik analizi sonucunda hidrodinamik yağlamanın temel eşitliğini elde etmiştir. Akış bir boyutludur, yaklaşık  $L/D$  1.4 alınmıştır.

Görülen elemana x-doğrultusundaki etkiyen kuvvetlerin denge durumu aşağıdaki kabuller yapılarak yazılır.

1. Newtonian akış yağlayıcıda görülür.
2. Atalet kuvvetleri yağlayıcıda yok sayılır.
3. Yağ filmi boyunca viskozite değişmez.
4. Eksenelde ise basınç sabittir..
5. Z yönündeki yatağın boyu sonsuzdur.
6. Y yönündeki basınç değişmez.



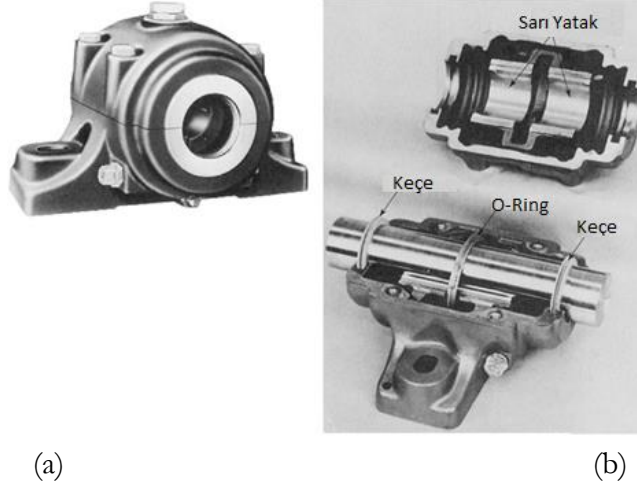
Aşağıdaki şekil 3.7 de şekil olarak gösterimi sağlanmıştır

Şekil 3.7. Yağ filmi içindeki herhangi bir yağ zerresi ( Anonim,2013)

### 3.7.Yağlayıcı Temini

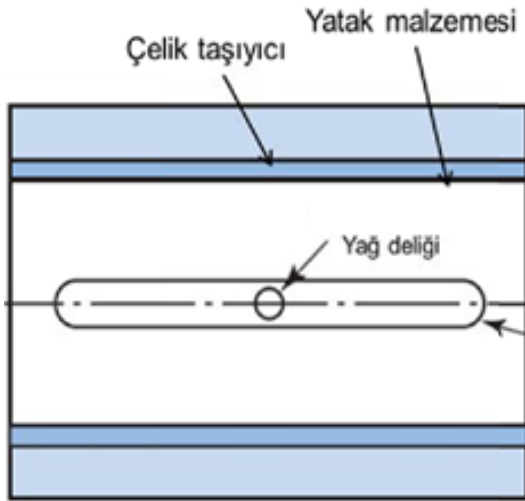
Hidrodinamik yağlamada sızan yağ miktarınca yeni yağın sürekli olarak yatağa kazandırılması gerekmektedir. Mühendisler bu amaca yönelik değişik yatak tasarımları yapmıştır.

**Yağ Halkası:** Milin 1.5 veya 2 katı çapında üretilmiş, milin üzerine serbesttir. Milin döndüğü esnada halka yağı mile taşır.

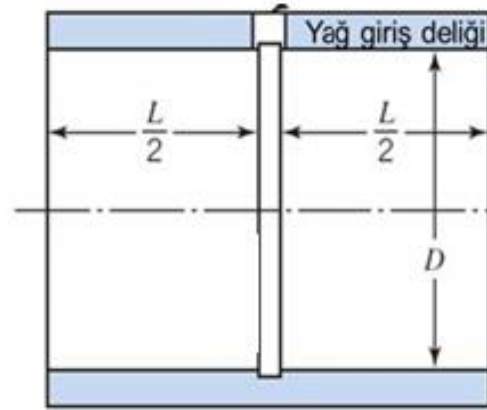
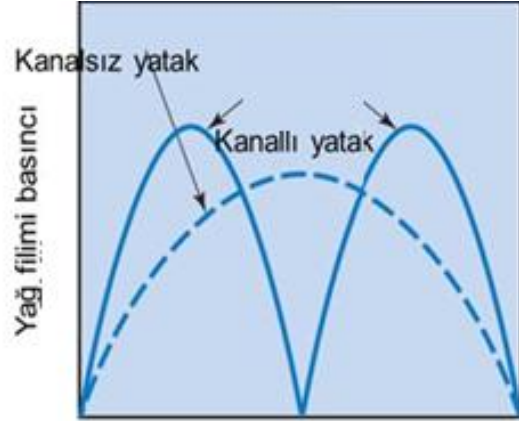


Şekil 3.8. Halkalı yatak ( Anonim,2006)

**Yağ deliği ve Kanalı:** Yağın aksel yayılmasını yağ kanalı sağlar. Yağ basınç ya da yer çekimi ile iner. Yatak silindire ikiye ayrılmıştır iki taraf da L/D oranına sahiptir. Bunların şekilsel gösterimi şekil 3.10 ve 3.11 de gösterilmiştir.



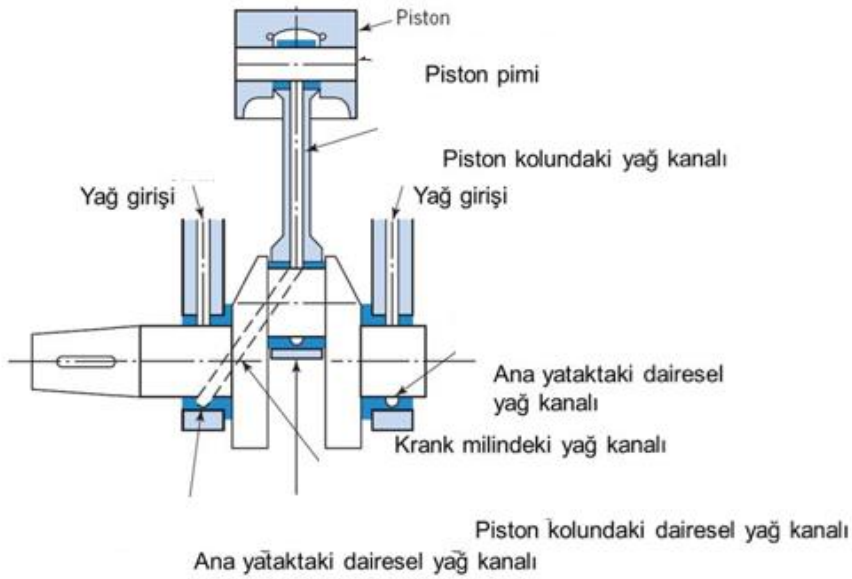
(a)



(b)

Şekil 3.9. Eksenel kanallı yatak

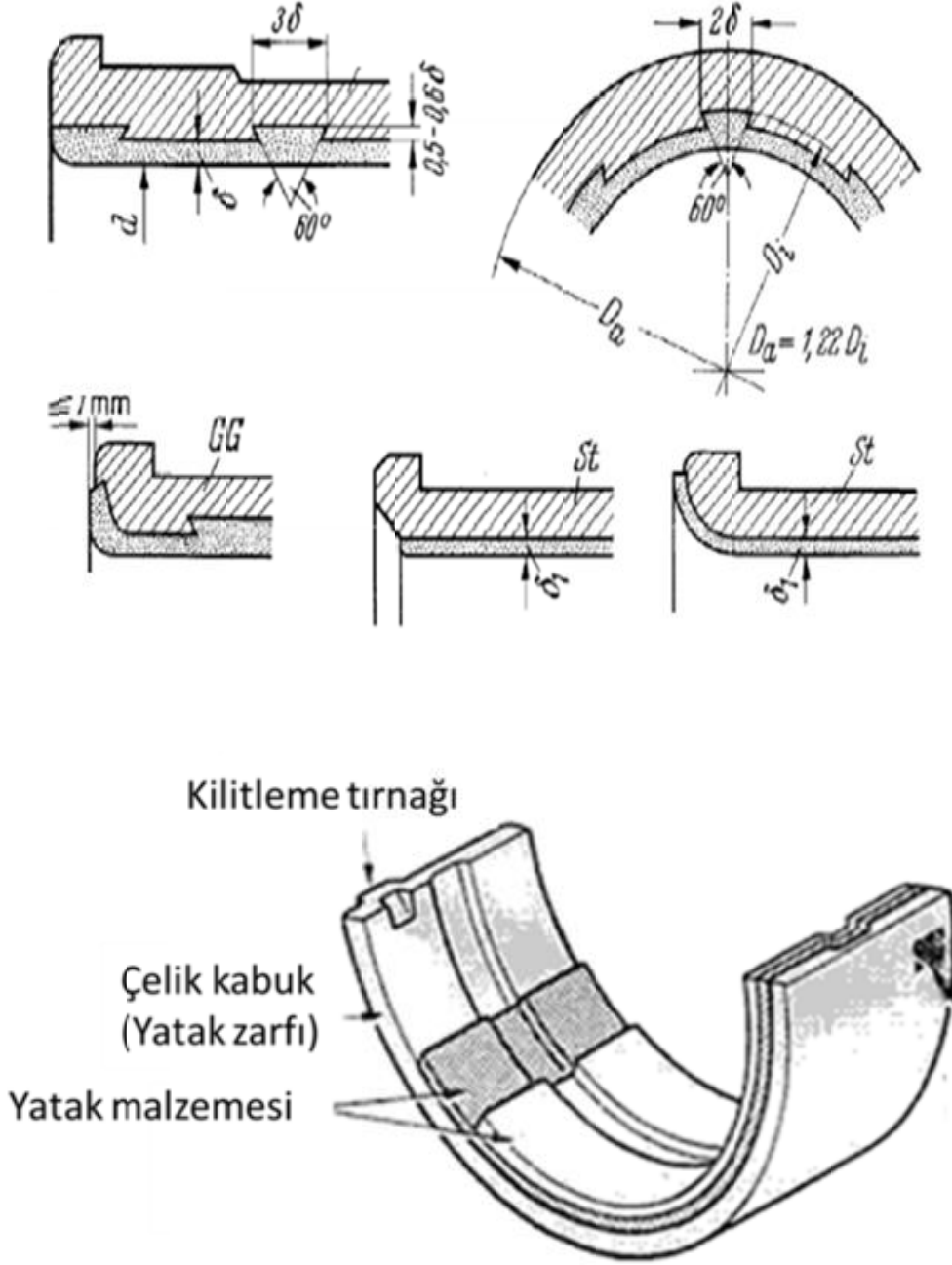
Şekil 3.10. Silindir kanallı yataкта basınç dağılımı (Anonim,2005)



Şekil 3.11. Krank milindeki yağ delikleri (Anonim,2019)

### 3.8.Yatak Malzemeleri

Basma mukavemeti olan yüzeyi düzgün olan metaller yatak malzemesi olarak kullanabilirler.



Şekil 3.12. Tipik kaymalı yatak tasarımı ( Anonim,2002)

**Mekanik özellikler.** Plastik şekil değiştirmesi ve elastik modülü basınçların giderilmesini, yatak malzemesinin yumuşak olması yüzeyin aynı kalmasını , yüzey pürüzlülüklerini min indirmeyi ve yatak dirençlerinin taşınmasını sağlar.

**Isı özellikleri,** Mil dönmeye başlayınca yatakla temas ettiği için , ısı yüzeylerden geçerek yataktan uzaklaştırılır. Mil dönmeye başladığında ise ısı oluşan yağ filmi ve yatak elemanı üzerinden uzaklaştırılır.

Al-Alaşımlı Düşük kalaylı	Al 92 Sn 8	Çok fazla kalay mukavemeti azaltır. Çelik yuvalarda ısıl genişleme problemi var. Sert muylu gerektirir. Yüksek sıcaklıklarda iyidir. Dizel motorlar ve kompresörler
Al-Alaşımlı Yüksek kalaylı	Al 80 Sn 20	Özel olarak imal edilir ve bu şekilde kalayın mukavemeti düşürmesi önlenir. Otomobillerde krank yatakları, uçaklar tipik uygulamaları
WM- kalay bazlı (Babbitt)	Sn 84, Cu 8 Sb 8	Düşük yük taşıma kapasitesi, genellikle bir taşıyıcı zarfa bağlanır (kırlangıç kuyruğu geçme) kirli ortamlar için uygun. Motorlar
WM- kurşun bazlı (Babbitt)	Pb 75, Sn 10 Sb 15	Yüksek antimon kırılabilirliği artırır. Diğer WM den ucuzdur. Krank yatakları, transmisyon burçları ve elektrikli aletlerde kullanılır.
Kalay bronzu ve kızıl döküm	91,2 Cu 8,5 Sn, 0,3 P	Yüksek sertlik, iyi yağlama gerektirir. Yüksek sıcaklığa ve korozyona dayanıklı. Arazi araçları, biyel yatakları
Kurşun bronzu	Cu 70 Pb 25, Sn 5	Yüksek hız ve büyük yük uygulamaları için uygun. Yumuşak muylularla kullanılabilir. Pompalar, ev aletleri, demiryolu taşıtları
Fosfor bronzu	Cu 80 Sn 10 Pb 10	Yüksek sertlik. İyi darbe dayanımı. Takım tezgahları, pompalar, ev aletlerinde yaygın olarak kullanılan popüler bir malzemedir.
Bakır –kurşun Alaşımı (Döküm)	Cu 75 Pb 25	Ana matris bakırdır. Kurşun yük taşıma kabiliyetini artırır ancak korozyon problemi oluşturur. Ağır yüklü uygulamalar.
Bakır –kurşun Alaşımı (Sinter)	Cu 75 Pb 25	Üç metalli yatak malzemelerinde WM nin alt tabakasını oluşturur. Yüksek sıcaklık ve ağır yüklü uygulamalarda kullanılır.

Şekil 3.13. Alaşımların özellikleri ( Anonim,2015)

1. Yüksek adeziv bağları olmalı.
2. Sıcaklıkta sertliğini korumalıdır.
3. Yüzeyi düzgün ayrıca imalatı da kolay olmalı.
4. Isı iletkenliği iyi olmalı.
5. Dayanıklılığı korozyonda fazla olmalı.
6. Yoğunluğu az olmalı.

### 3.9.Hidrodinamik Yatak Tasarımı

**Birim Yükleme:** Tablo 3.2’de yataklar için seçilen birim yüklerin uygulama yerine göre seçimi verilmiştir.

Tablo 3.2. Uygulandığı Yere Göre Yatak Birim Yükleri ( Anonim,2009)

Uygulama Application	Unit Load, $P = W_{max}/LD$	
	MPa	psi
<i>Yaklaşık sabit yükler</i>		
Elektrik motoru	0.8–1.5	120–250
Buhar türbini	1.0–2.0	150–300
Dişli kutusu	0.8–1.5	120–250
Santrifüj pompa	0.6–1.2	100–180
<i>Hızlı değişen yükler</i>		
Dizel motorlar		
Ana yatak	6–12	900–1700
Piston kolu yatağı	8–15	1150–2300
Otomatik benzinli motorlar		
Ana yatak	4–5	600–750
Piston kolu yatağı <sup>1</sup>	10–15	1700–2300

**Yatak Oranı :** Genelde L/D oranı 0,25 -0,75 arasında değişir. L/D oranının çok olması yatak kenarlarından sızan yağı azaltır çünkü yatağın boyu uzar. Yağ kullanımı azalır ama yağ uzun süre kalırsa fazla ısınır.

**Kabul Edilebilir  $h_0$  Kalınlığı:** Min. film kalınlığı, yüzey pürüzlüğüne bağlıdır.

Trumpler'in formülü;

$$h_0 \geq 0.0002 + 0.00004D \quad (h_0 \text{ ve } D) \quad (3.5.)$$

veya

$$h_0 \geq 0.005 + 0.00004D \quad (h_0 \text{ ve } D) \quad (3.6.)$$

Düzensün yükler için SF=2 alınır.

### **Tolerans Oranı ( $c/R$ veya $2c/D$ ):**

Mil çapı 25 mm den 150 mm = 0,001

Genelde = 0,002

Kötü tasarımlar için 0,004

Yatak tasarımı maddeleri ;

1. Kalın-film yağlamasını oluşturacak şekilde min yağ filmi olmalıdır.
2. En düşük sürtünme uygun bir film kalınlığında sağlanmalıdır.
3. Yağ yatak girişinde hazır olmalıdır ki pompalı sistem ve yağ soğutucu gerektirebilir.
4. Yağın kabul edilebilir değerlerden az olması gereken maks sıcaklığı vardır.
5. Yatak boyunca yağ düzensün bir şekilde dağılmalıdır..
6. Yatak için çalışma sıcaklığında gerekli direnci sağlayacak, yeteri kadar elastikliğe ve korozyona karşı dayanıma sahip malzeme seçilmelidir.
7. Yatak içinde dönen milin kuvvetleri hesaplanmalıdır. İki durumda da yatak basıncı 2 Mpa veya 300 psi altında kalmalıdır.
8. Isıl genleşmeye bağlı aşınmaya da dikkat edilerek çalışma toleransına bakılmalıdır.
9. Yatak için çalışma sıcaklığında gerekli direnci sağlayacak, yeteri kadar elastikliğe ve korozyona karşı dayanıma sahip malzeme seçilmelidir.
10. Yapılan tasarım düzensün olmayan yatak yerleşmesinden ve milin eğilmesinden kaynaklanan yükleri taşıyabilmelidir.

### **3.10.Reynolds Eşitlikleri**

Minimum film kalınlığı:  $h_0 = c - e$

Maksimum film kalınlığı:  $h_{max} = c + e$

$$\Delta r = R - r = c$$

$h$  film kalınlığı, yatak geometrisi büyüklükleri ve bağıntıları kullanılarak genel ifade olarak:

$$h = R - r + e \cdot \cos\theta = c + e \cdot \cos\theta$$

$$dh/d\theta = -e \cdot \sin\theta = 0$$

Minimum film kalınlığı:  $\theta = 0$



Maksimum film kalınlığı:  $\theta = \pi$

$$h = c(1 + \varepsilon \cos\theta)$$

$\varepsilon$ : mevcut yağ filmini belirten boyutsuz büyüklük

$$\varepsilon = e.c = e \Delta r$$

Metal-metal teması var ise:  $\varepsilon = 1$

$$\frac{\partial}{r^2 \partial \theta} \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial z} \right) \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right) \right) = 6\delta U \left( \frac{1}{r} \right) \left( \frac{\partial h}{r \partial \theta} \right) \quad (3.7)$$

Yağ tabakasındaki basıncın başlangıç ve bitiş değerleri için;

Sommerfeld  $\theta_i = 0$  ve  $\theta_f = 2\pi$

Yarı Sommerfeld  $\theta_i = 0$  ve  $\theta_f = \pi$

Reynolds  $\theta_i = 0$  ve  $P = 0$  ve  $dP/d\theta = 0$

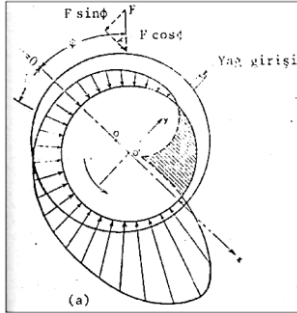
Hidrokinamik sıvı sürtünmesi genel Eşitliği:

$$\frac{\partial}{r^2 \partial \theta} \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial x} \right) \right) + \left( \frac{\partial}{\partial z} \right) \left( (h^3) \left( \frac{\partial P}{\partial z} \right) \right) = 6\delta U \left( \frac{1}{r} \right) \left( \frac{\partial h}{r \partial \theta} \right) \quad (3.8)$$

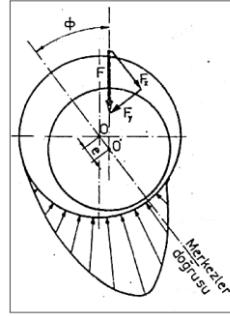
Sommerfeld sınır şartları yazıldığında, basınç ifadesi;

$$P = P_0 + \frac{\delta U r}{c^2} \left( \frac{6\varepsilon \sin\theta(2 + \varepsilon \cos\theta)}{(2 + \varepsilon^2)x(1 + \varepsilon \cos\theta)^2} \right) \quad (3.9)$$

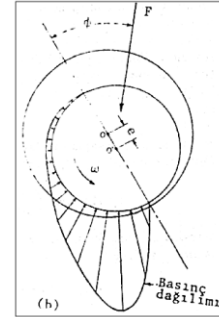
Sommerfeld



Yarı Sommerfeld



Reynolds



Yük Taşıma Kapasitesi

$$W_x = B \int_0^{2\pi} r \cdot d\theta \cdot P \cdot \cos\theta \quad (3.10)$$

$$W_y = B \int_0^{2\pi} r \cdot d\theta \cdot P \cdot \sin\theta \quad (3.11)$$

$$W_y = \frac{\eta \cdot U \cdot B \cdot r^2}{c^2} \frac{12 \cdot \mu \cdot \varepsilon}{(2 + \varepsilon^2) \cdot (1 + \varepsilon^2)^{1/2}} \quad (3.12)$$

Bu Eşitlik 3.12 düzenlenirse,

$$\frac{W}{B \cdot D} = \frac{n}{(c/r)^2} \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot \varepsilon}{(2 + \varepsilon^2) \cdot (1 + \varepsilon^2)^{1/2}} \quad (3.13)$$

Ortalama yatak yüzey basıncı  $P_m$ :

$$P_m = \frac{W}{B \cdot D} \quad (3.14)$$

İzafi yatak boşluğu,

$$\psi = \frac{\Delta r}{r} = \frac{c}{r} = \frac{\Delta D}{D} \quad (3.15)$$

Sommerfeld Sayısı,

$$S = \frac{\eta \cdot n}{P_m \cdot \psi^2} \quad (3.16)$$

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Test Metodu

Bu tez çalışmasında imalatı gerçekleştirilen deney düzeneğinin etkin çalışması sağlandıktan sonra aşağıda belirtilen farklı parametrik verilere bağlı olarak radyal kaymalı yatakların testleri ve optimize edilmesi sağlanmıştır. Üretimi yapılan test düzeneği ile kaymalı yataklara ait üretim süreç parametrelerinin, yağ miktarının ve yağ kalitesinin optimize edilmesi çalışmaları yürütülmüştür. Aşağıda yapılan bu testlerde mevcut üretimde kullanılan parçaların aşağıdaki özellikleri parametrik olarak revize edilmeye çalışılmıştır. Üretimi yapılan test düzeneği ile hidrokinamik radyal kaymalı yataklarda ayrıca yük miktarı ve hız gibi faktörlerin meydana gelen basınç dağılımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi çalışmaları yürütülmüştür.

Dönen salınım hareketi yapan veya hareketsiz duran mil ve aks muylularını taşıyan elemanları yatak adı verilir. Yüzeyler arasındaki hareketin oluş şekline göre yatakları iki temel gruba ayırmak mümkündür. Yatak yüzeyleri arasındaki hareket kayma şeklinde ise kaymalı yataklar, hareketi temin eden elemanların yuvarlanması şeklinde ise yuvarlanmalı yatakları taşıdıkları yükün etki doğrultusuna göre radyal ve eksenel yataklar olarak iki şekilde ele alınır. Radyal yatak eksenine dik doğrultuda gelen yükleri taşıyan yataklardır. Yatak eksenine paralel doğrultudaki yükleri taşıyan yataklar ise eksenel yataklar adı verilir. Kaymalı yataklar yağlama bakımından hidrokinamik ve hidrostatik kaymalı yataklar olmak üzere iki şekil de göz önüne alınır.

### 4.2. Deney Düzeneği

Radyal hidrokinamik kaymalı yataklarda yük miktarı radyal boşluk ve hız gibi faktörlere bağlı olarak meydana gelen basınç dağılımı, sürtünme momenti yağ sıcaklığı ve mil konumunun belirlenebilmesine olanak veren hidrokinamik yağlama sistemidir. Ayrıca kaymalı yatağın üzerindeki belli noktalarda basınç dağılımı hız, yük ve viskozite gibi önemli değişkenler yardımıyla tespit edilebilmektedir.

#### 4.2.1. 4.2.1. Temel özellikler

Şeffaf yağ hortumlar yardımıyla yatağın bütün noktalarındaki yağ gözlemlenebilmektedir. Yatak üzerindeki ayrı ayrı noktadaki basınç dağılımı manometre sistemi ile tespit edilmiştir. Çeşitli yükler ve hızlar altında çalışmak mümkündür. Deney cihazında çelik bir mil, bronz bir yatak ve bir servo motoru bulunmaktadır. Kontrol panosu ile motora bağlı milin devir sayısı ayarlanabilmekte ve motor istenilen yönde mili döndürebilmektedir. Motor hızı kontrol paneli üzerindeki göstergeden okunabilmektedir.

Yatağın altında kalan çubuklara takılan ağırlıklarla yüklenir.

##### 4.2.1.1. Basınçlı yağlama sistemi

Bir yağ silindirini pnömomatik olarak ileri geri çalıştıran çift etkili bir silindirden ibarettir.

Devredeki çek valfler silindirin her iki strokta pompalamasına olanak vermek için kullanılır. Evrede bulunan 8 barlık hidrodinamik besleyici pompalama stroku değişirken sistemin basıncını korur. Ayrıca devrede kaymalı yatak ve hidrostatik yastığın besleme basıncını yaklaşık olarak kaymalı yatakta 1,5 bar hidrostatik yastıkta 16 bar değerinde sınırlandıran iki adet basınç emniyet valfi vardır. Kaymalı yatak ve hidrostatik yastıktan sızan yağlar toplama tablasından tekrar tanka geri döner.



Şekil 4.1. Basınçlı yağlama sistemi

##### 4.2.1.2. Hız kontrol ünitesi

Hız kontrolü 0/1000 dev/dk aralığında hızı ayarlanabilen bir hız değiştirilebilir kontrol ünitesi ile yapılmaktadır. Bunun için ön paneldeki hız kontrol başlığı kullanılır. Hız göstergesinde okunan değer in sağlıklı olabilmesi için ayrıca bir takometre ile kontrol edilmesi gerekir.



Şekil 4.2. Hız kontrol ünitesi

#### 4.2.1.3. Moment ölçümü

Milin dönmesiyle oluşa sürtünme momenti eksenli serbestçe dönebilen yatak gövdesine bağlı yay ibre sistemiyle ölçülmektedir. Bu ölçümde milin dönmesiyle serbest olan yatak gövdesi sürtünme momentine eşit bir momentle ters yönde döndürülmektedir.

#### 4.2.1.4. Basınç ölçümü

Yağ beslenme basınçlarını gösteren basınçölçerler ön panoda spindle gövdesi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Basınç ölçerler

#### 4.2.1.5. Yataklama

Özel olarak sarı bronz alaşım malzemeden yapılmış 3 adet bronz vardır. Bu bronzların içerisine yağ film katsayısı oluşması için kanallar açılmıştır.



Şekil 4.4. Bronz

#### 4.2.1.6.Spindle Gövdesi

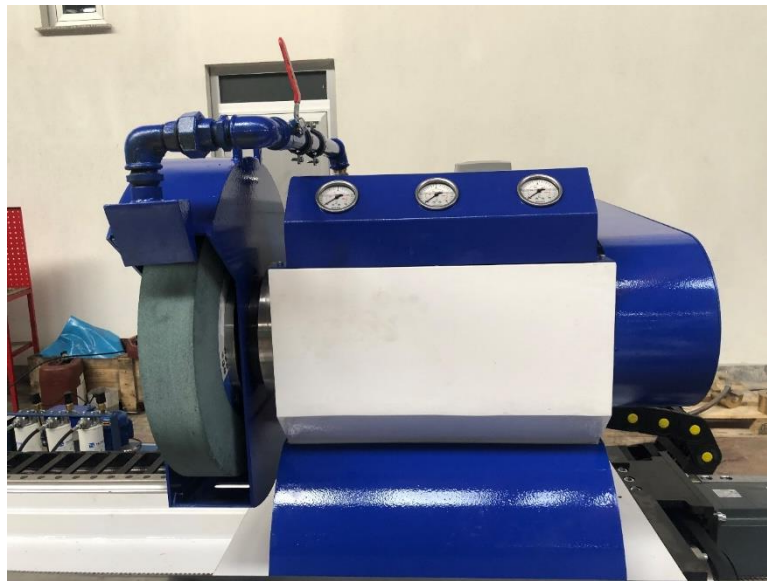
Sarı yataklar sıkı spindle gövdesi ısıtılıp sıkı geçme yapılarak gövdeye yerleştirilmiştir.

#### 4.2.1.7.Deney sonuçları

Yapılan ölçümlerde elde edilen basınç değerleri mm yağ yüksekliği ve Pascal cinsinden hesaplanarak ayrı tablolar halinde ifade edilir. Elde edilen sonuçlar sonucunda basınç dağılımı vermektedir.

Ar-Ge ekibinin problemleri belirlemesi sonucunda Yenar Firması, yapılan prototip silindirik makinesinde spindle mili hidrodinamik yataklama metodu ile yataklanmıştır. Yapılan denemeler sonucu hidrodinamik yataklamanın yüzey kalitesi ve işlem hızı olarak rulmanlı yataklamaya göre çok daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Hidrodinamik yataklamada oluşan yağ filmi talaş kaldırma esnasında oluşabilecek vibrasyonları belli ölçüde sönmüştür. Talaş kaldırma işlemi rulmanlı yataklamaya göre daha kararlı bir yapıya dönüşmüştür. Kararlı yapıda talaş kaldırılması sayesinde daha kısa sürede istenen yüzeye ve ölçüye ulaşılmasını sağlayabilmektedir. Bu yataklama metodu kullanılarak ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra ) 0,4 µm seviyelerine indirilebilmiştir. Bu seviye sektörde kullanılan vals topları için gayet iyi bir yüzey kalitesidir ancak yüzey kalitesini daha iyiye götürmek ve işlem hızını düşürmek, kaliteyi artırmak amaçları önceliklendirilerek yataklama uygulamalarında en farklı ve çözüm odaklı seçenek olan hidrostatik yataklama tasarımına geçilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Bu tip yataklama sayesinde kullanılan malzeme tanımında hemen hemen sonsuz ömür, yüksek hız, yüksek kalite, düşük sürtünme ile beraber az enerji tüketimine ulaşılabileceği hedeflenmiş olup bu dönüşüm, proje önerisinin ana fikrini oluşturmuştur.

Hidrostatik yataklama da mil ile göbek arasında yağ basıncı oluşturulduğu için mil, yağ teması vardır. Hidrolik yağların sürtünme katsayıları çok düşüktür. Sürtünmenin olmadığı ortamlarda hareketi sağlamak için kuvvet ihtiyacı da azalır. Bu durum daha düşük güçte motor kullanımı demektir. Ayrıca sürtünme katsayısının düşük olması yüksek hızlara çıkabileceğimiz anlamına gelmektedir. Dönme hareketi esnasında milin yağa temas etmesi demek oluşabilecek her türlü kararsız hareketi ortadan kaldırabileceği öngörüsünü ortaya çıkarmaktadır. Çünkü hidrolik yağların hareketleri, darbeleri sönmüleyebilme özelliği vardır. Bu kadar parametre göz önünde bulundurulduğunda hidrostatik yağlama etkinliğindeki yataklamaya geçişin proje önerisine ayrı bir katma değer sağlayacağı öngörüsünde bulunulmuştur.



Şekil 4.5. Spindle Test Gövdesi

## 5.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 5.1.Sürtünme Kuvveti Hesabı

$r = 20$  mm sabit mil yarıçapı bilindiğine göre, sürtünme kuvveti yapılan her deney için aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$F_s = (1200)/(60) = 60 N$$

olarak bulunur.

**Tablo 5.1.** Sürtünme kuvveti  $F_s$

Şaftın dönüş hızı (dev/dk)	Takılan ağırlık [ $F_s$ ] (N)				
	G = 0	G = 20	G = 40	G = 100	G = 200
500	4.30	4.7	5	6.6	8.1
1000	8.70	9.4	9.9	12	13.7
1500	11.2	11.7	11.3	13.5	16.1
2000	11.6	12.6	13.1	14.9	16.4
2500	11.7	12.6	13.2	15.3	16.7

### 5.2.Sürtünme Katsayısı Hesabı

Sürtünme kuvvetinin yatağa etkiyen toplam kuvvete ( $F_T$ ) bölünmesi ile sürtünme katsayısı ( $\mu$ ) hesaplanır. Yatağa etkiyen toplam kuvvet ( $F_T$ )

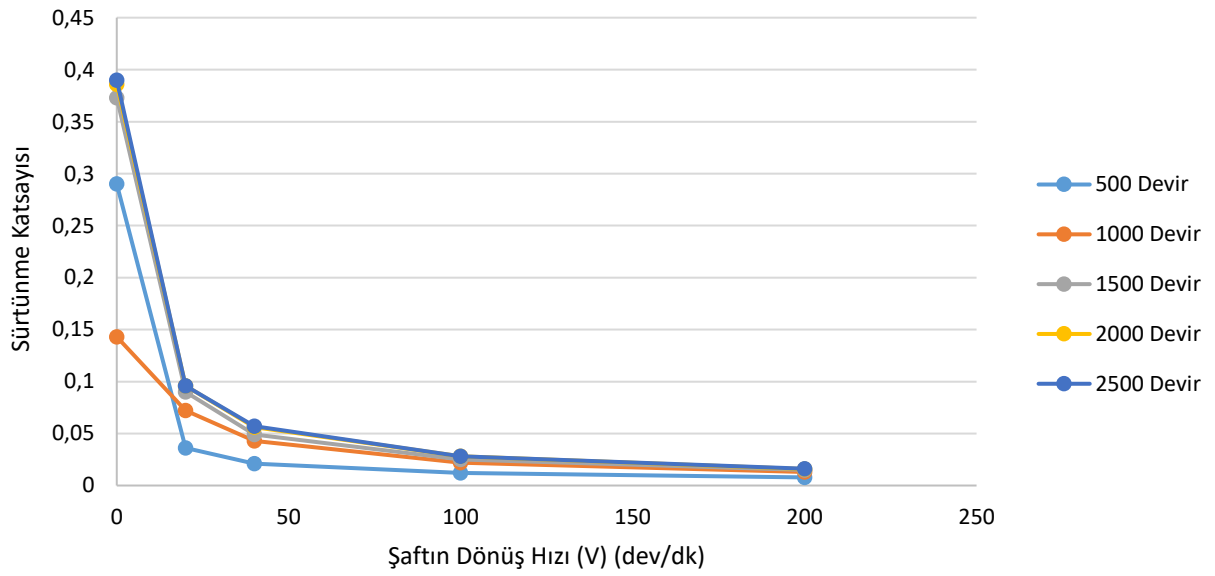
$F_T = F_0 + 5 \cdot G$  eşitliğinden hesaplanır. Burada,  $F_0 = 30 N$  olup, yükleme kolunun kendi ağırlığından kaynaklanan ilk yatak yüküdür.  $G$  ise moment kolu sağ ucuna yerleştirilen deney ağırlığıdır. Böylece, devir sayısına ve deney ağırlığına göre elde edilen sürtünme katsayısı hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 5.2’de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Sürtünme kuvveti  $F_s$

Devir Sayısı (dev/dk)	Deney Ağırlığı G (N)	Sürtünme Katsayısı $\mu$
500	0	0,29
	20	0,036
	40	0,021
	100	0,012
	200	0,0078
1000	0	0,143
	20	0,072
	40	0,043
	100	0,022
	200	0,013
1500	0	0,373
	20	0,09
	40	0,049
	100	0,025
	200	0,015

2000	0	0,386
	20	0,096
	40	0,056
	100	0,028
	200	0,015
2500	0	0,39
	20	0,096
	40	0,057
	100	0,028
	200	0,016

Yapılan her bir deney için, hesaplanan sürtünme katsayısının, hıza ve takılan ağırlığa göre değişimi Şekil 5.2’de verilmiştir.



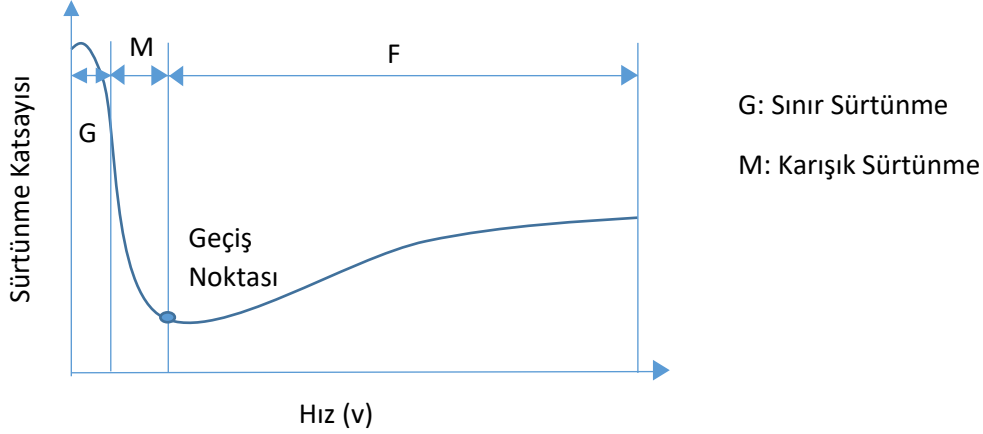
**Şekil 5.2.** Sürtünme katsayısının, hıza ve takılan ağırlığa göre değişimi

Şaftın dönüş devir aralığı sağ tarafta verilmiştir.

Formüllerden yola çıkarak sürtünme kuvvetlerine karşılık gelen sürtünme katsayıları bulunmuştur. Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi takılan ağırlıkların, farklı devirlerde verilere göre sürtünme kuvvetinin değişimi görülmektedir.

Şekil 5.2. den yola çıkarak şaftın farklı devirlerinde şaftın dönüş hızı arttıkça sürtünme katsayısının da azaldığı yorumunda bulunabiliriz.

### 5.3.5.3.Farklı Sürtünme Koşullarının (Sınır, Karışık, Sıvı) Hıza Etkisi:



Şekil 5.3. Sürtünmelerin hıza etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5.3. den de anlaşılacağı üzere hidrokinamik radyal kaymalı yataklarda sınır sürtünmesinden (G), sıvı sürtünmesine (F) geçtikçe hız da artış gösterir.

### 5.4.Farklı Viskozitelerin Geçiş Noktasına Etkisi

Stribeck eğrisi farklı viskoziteli yağların etkisini göstermektedir. Diyagram, viskozite ne kadar yüksek olursa, sıvı sürtünmenin ulaştığı geçiş noktasının daha hızlı olduğunu göstermektedir. Sıvı sürtünmesi, kaymalı yatak ve milin tam akışkan bir film ile aşınmaya karşı güvenilir bir şekilde korunabildiği en yüksek hıza bağlı güvenli durumdur. Bununla birlikte, yüksek dönme hızlarında, yüksek viskoziteli bir yağın kullanılması durumunda iç sürtünme önemli ölçüde artabilir.

Yüksek sürtünme, yüksek sıcaklık oluşumu ile sonuçlanabilir ve bu da yağın yaşlanma davranışını ve çalışma ömrünü olumsuz yönde etkiler. Hidrokinamik sürtünme koşullarında çalışan kaymalı yataklar için daha düşük viskoziteli bir yağlayıcı kullanılmalıdır. Daha düşük hızlarda çalışan bir kaymalı yatak için daha yüksek viskoziteli bir yağlayıcı seçilmelidir.

### 5.5.Farklı Yağlayıcıların Kayma Hızlarına Etkisi

Hidrokinamik koşullar yaklaşık 1m/s hızlarda gerçekleşir. Karışık sürtünmenin etkin olduğu yerlerde, yüzeye iyi bir şekilde yağlama tabakası oluşturduğundan gresler tercih edilmektedir. Katı yağlayıcılar ile tamamen kuru yağlama, sınırlı sürtünme ısı ile düşük hızlarda tercih edilebilir. Diğer durumlarda, aşırı ısı koşullarına maruz kalan kaymalı yataklar işletme ömrünün kısılmasına neden olabilir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Verimlilik artırmaya yönelik hidrostatik yağlamalı yataklama projesi ile sıvı sürtünmenin sürekli olarak sağlandığı, kuru ve sınır sürtünmenin bulunmadığı bir yağlama sayesinde yüzeyler arasında metal-metal temasının engellendiği, mil ve yatak yüzeyleri arasında aşınmanın minimize edilerek fener mili uyumuyla yatak ömrünün daha uzun olduğu bir yataklama sisteminin geliştirilmesi öncelikle amaçlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalar sayesinde;

- Hidrostatik yağlamalı yataklama sistemine geçiş sağlanmıştır,
- Yataklama sistemine uyumlu fener mili tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir,
- Sektörel kapsamda faaliyetteki firmalara karşı daha ciddi rekabet gücü elde edilmiştir,



- Aşınma ömrü ve yağlayıcı yetenekleri gibi konularda firma bünyesindeki teknik personel yetkinliği arttırılacak ve yataklama alternatifleri arasında silindirik taşlama makinelerinin karşılaştırmalı ömür özellikleri belirlenmiştir.

Yataklama seçeneğini hidrostatik yağlama uygulamasına dönüştürmek de yani izafi hareketli yüzeyler arasında, dıştan basınçlandırılmış bir akışkan tarafından oluşturulan film sağlanarak da sürtünme, ısı ve aşınma verileri kontrolüyle güç kaybı engellenebilir.

Ürün sektörel çözüme sahip imalatlarını gerçekleştirdiği makinelerin ülkemizdeki üretimlerinde kullanılmıyor olması ve bu imalatın gerçekleştirilmesi ile ulusal bilgi birikimine farkındalık katacak seviyede bir katkı sağlanarak uluslararası boyutta satış ağının geliştirilmesi yenilikçi yön olarak önceliklendirilmiştir. Ömür beklentilerinde ciddi oranda anlamda geliştirme hedeflenmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışması ile takım tezgahlarında kullanılan mevcut yataklama sistemlerine ek üstünlükler kazandırmak amaçlanmış olup bu temel hedefler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır;

## KAYNAKLAR:

Adatepe H., Cengil M., Güneş B. Teknolojik Araştırmalar: MTED 2012 (9) 25-34 Statik Yük Altındaki Kaymalı Yataklarda Sürtünme Katsayısının Teorik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi.

Anil S. , Prashant P. , Pakija S. ( 2018 ) Hydrodynamic Journal Bearing With Partial Tex

Bekir Ü , Enver A. 2009, Evaluation Of Effect Of Alloy Elements İn Copper Based Cusn10 and Cuzn30 Bearings On Tribological And Mechanical Properties, A Celal Bayar University, Vocational High School, Department Of Machinery, 45400-Turgutlu, Manisa, Turkey.

B.S. Ünlü, E. Atik / Materials And Design 31 (2010) 2690–2696 Investigation Of Tribological Properties Of Boronized Fe-Based SAE 1020 And TS-DDK 40 Journal Bearings At High Loads

B.S. Ünlü Et Al. / Journal Of Alloys And Compounds 487 (2009) 225–230 Tribological And Mechanical Properties Of Al Alloyed Bearings

E. Feyzullahoglu, Z. Saffak / Materials And Design 29 (2008) 205–211 The Tribological Behaviour Of Different Engineering Plastics Under Dry Friction Conditions.

E. Feyzullahog˘lu, N. Sakirog˘lu / Materials And Design 31 (2010) 2532–2539 The Wear Of Aluminium-Based Journal Bearing Materials Under Lubrication

Fathima S., Naduvinamani N.B., Hiremath P.S., Hydrodynamic Lubrication Of Rough Slider Bearing With Couple Stress Fluids. Tribology International.

G. Gao et al. / Tribology International 75 (2014) 31–38 Numerical Analysis Of Plain Journal Bearing Under Hydrodynamic Lubrication By Water

Galda L., Sep J., Zochowski T., Olszewski A., Experimental Investigation İnto

Surface Texture Effect On Journal Bearing Performance. Tribology International.

Gengyuan G., Zhongwei Y., Dan J., Xiuli Z. (2015) Cfd Analysis Of Load-Carrying Capacity Of Hydrodynamic Lubrication On A Water-Lubricated Journal Bearing.

Güler Ö. , Ertuğrul D. (2021) Statik Yüklü Radyal Kaymalı Yataklarda Hidrodinamik Yağlamanın Analizi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta, Türkiye.

Güllü E., Yılmaz T., (2018) Investigation Of Pressure Distribution İn Hydrodynamic Radial Journal Bearings With Finite Difference Method.

Gültekin K., (2018) Grafit ve Bronz Dolgulu Bir Ptfе Kaymalı Yatağın Kuru Sürtünme Özelliklerinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi.

H. Cuvalcı, H. Baş, Tribology International 37 (2004) 433–440 Investigation Of The Tribological Properties Of Silicon Containing Zinc–Aluminum Based Journal Bearings

Hori Y., 2016, “Hydrodynamic Lubrication”, University Of Tokyo

K. Gungor Et Al./ Isites2015 Valencia –Spain Ptfе Kaplanmış Gözenekli Kaymalı Yatağın Sürtünme Ve Aşınma Davranışları \* 1 Vocational School Of Hendek, Department Of Mechanical And Metal Technologies, Sakarya University, Turkey

Kumar V., Tiwari P. (2012) Analysis Of Hydrodynamic Journal Bearing: A Review.

International Journal Of Engineering Research & Technology, 1

Stefani, F., 2011, “Fem Applied To Hydrodynamic Bearing Design”, Mechanics And

Machine Design

T.P. Gundarneeeyya And D.P. Vakharia Performance Analysis Of Journal Bearing Operating On Nanolubricants With Tio<sub>2</sub>, Cuo And Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles As Lubricant Additives , A Mechanical Engineering Department, Government Engineering College, Surat 395001, India.

Wang Y., Yin Z., Jiang D., Gao G., Zhang X. (2016) Study Of The Lubrication Performance Of Water-Lubricated Journal Bearings With Cfd And Fsi Method Industrial Lubrication And Tribology.

## Kırsal Peyzajların Korunmasında Köy Tasarım Rehberlerinin Rolü

Betül TÜLEK<sup>1</sup>  
Selin ERDOĞAN<sup>2</sup>

### 1.GİRİŞ

Bir bölgenin doğal ve kültürel yapılarını kapsayan özelliklerin tamamını ifade eden peyzaj kavramı içerisinde, toplumun gelenek, görenekleri, yönetim şekli, ekonomik yapısı ve eğitim durumu gibi sosyal özellikleri de peyzajın kültürel yönünü oluşturmaktadır (Gökçe ve Açıksöz, 2015:410-413). Bir alanın ‘kültürel peyzaj’ olarak değerlendirilebilmesi, doğa/insan ilişkisinin zamanla önemli oluşumlar ortaya çıkarması ve bu oluşumların uyum içerisinde olmasını gerektirmektedir (Gökalp ve Yazgan, 2013:25-29). Kültürel peyzajdan bahsedilirken nüfus yapısı, gruplar halinde yapılan göçler, konut yapıları, konutların yapısı ve köylerde toplanmaları gibi unsurlar da kültürel peyzajı oluşturan önemli etkenlerdendir (Sauer, 1969).

Kırsal yerleşim alanları ve bu alanların planlaması kapsamında yürütülmekte olan çalışmalar Cumhuriyet’in ilk yıllarına kadar uzanmaktadır. Bu süre zarfında değişen siyasal durumlar ve toplumun yapısına bağlı olarak değişikliklerin olması söz konusu olmuştur. 1990 yılında kurulan Plan Afric, kırsal planlamanın 3 ana unsurdan oluştuğu savunmaktadır. Bu unsurlar; içeriğin düzenlenmesine yönelik kırsal planlama kapsamında bulunan politikalar, planlamayı yönetecek olan yasal düzenlemeler ve yaklaşımlar olarak belirtilmektedir (Çelik, 2006:26-27).

Kırsal kalkınmanın önemli bir bölümünü oluşturan kırsal planlama; ekonomik, fiziksel ve sosyal alanları da barındırmaktadır. Kırsal alanlar dahilinde yapılacak olan çalışmaların; sosyal, kültürel, demografik yapı ve ekonomik istihdam konuları dahilinde yürütülmesi gerekmektedir. Cumhuriyetin ilk dönemlerinde nüfusun %80’lik kısmı kırsal alanlarda ikamet etmektedir. Toplumun büyük bir kısmı köylerde yaşamlarını devam ettirmelerine rağmen kırsal nüfusun ekonomiye olan katkısı %20’lerde kalmıştır (Çelik, 2006:26-27). Bu durumun nedeni olarak tarım faaliyetlerinin geleneksel insan gücü gerektiren tarım aletleriyle gerçekleştirilmesi olarak gösterilemektedir. Nüfusun büyük bir kısmının kırsal alanlarda yaşıyor olmasına bağlı olarak Cumhuriyetin ilk dönemlerinde kırsal alanların modern bir şekilde kalkınmasına ve gelişmesine yönelik planlamalar yapılmıştır. Bu planlama doğrultusunda 1924 yılında Köy Kanunu çıkarılmıştır. İlerleyen dönemlerde söz konusu kalkınmanın eğitim öncülüğünde olması gereksinimini savunan bir görüşe bağlı olarak Köy Enstitüleri kurulmuştur. 1954 yılına kadar süren bu uygulama dahilinde birçok aydın kişinin kırsal alanlardan çıkarak kırsal alanların kalkınmasına destek sağladığı belirtilmektedir (Akbaş, 2021:20).

1961 Anayasası ve DPT ‘nin kurulmasıyla Türkiye’deki araştırmacılar ve devlet yönetimi çalışmalarını kırsal alanlara yönlendirmiştir ( 2003:29-34). 1963-67 yılları kapsamında birinci beş yıllık kalkınma planı düzenlenmiş ve sonrasında DPT beş yıllık kalkınma planı hazırlamaya devam ettiği bilinmektedir. Bu kalkınma planlarına ek olarak, “*Mülga T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı ve T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı*” kapsamında da kalkınma plan ve stratejileri hazırladığı

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Orcid: 0000-0002-6584-041X

<sup>2</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Orcid: 0000-0003-0234-6710

belirtilmektedir. Kırsal alanların kalkınma planlamaları doğrultusunda merkez-köy, kent-köy şeklinde modeller belirtilmiş ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gelen her yeni yönetimin farklı konular doğrultusunda düzenleme yapmasına bağlı olarak kırsal alanlara yapılan çalışmalar yetersiz gelmektedir. Dolayısıyla da kırsal kalkınma için kalıcı bir çözüm söz konusu olamamaktadır. 2005 yılında Köydes projesi başlatılmış ve köylerdeki altyapı sorunlarının giderilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak altyapı düzenlemeleri köyde gerçekleştirilen fiziksel düzenlemeler için yeterli gelmemektedir. Köy tasarım rehberleri de tam da bu eksikliklerin tamamlanmasına yönelik olarak hazırlanan uluslararası kullanıma uygun bir rehberdir (Akbaş, 2021:22-23).

Bu çalışma kapsamında peyzaj, kültürel peyzaj planlanması ve korunması, köy tasarım rehberleri ve Türkiye'deki örnekleri bağlamında dokümanlar analiz edilmiş ve literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca Türkiye'deki köy tasarım rehberleri uygulama örnekleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan analizler, literatür taraması ve uygulama inceleme sonuçları çalışmaya eklenmiştir.

## 2. Peyzaj ve kültürel peyzaj kavramları

Avrupa Peyzaj Sözleşmesi (Resmi Gazete, 2003) peyzaj kavramını, insanların bakış açısına bağlı olarak algıladıkları, özellikleri doğal ya da insan etkileşimi sonucunda oluşan alanlar şeklinde tanımlanmaktadır. Bu ifadenin yanı sıra peyzaj için, “kültür ve doğa arasındaki ortak paydadır” ifadesi de kullanılmıştır (Kaska, 2012:8-9). Bir alandaki araziler, evler, ormanlar, göller, rekreasyon ve yerleşim alanlarının tamamı peyzajı oluşturmaktadır (Akdoğan, 2014: 2-3).

Peyzaj kavramı kendi içerisinde doğal ve kültürel peyzaj olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu ayrıma bağlı olarak değişkenler ve bu değişkenlerin kendi aralarındaki iletişimini de kapsayan bir kavram olarak bilinmektedir. Bayer (1977:31)'e göre Avrupa Peyzaj Sözleşmesi'nde belirtilen doğal faktörler; morfolojik ve jeolojik arazi yapısı ve bu arazide yer alan flora ve fauna ile birlikte gerçekleşen hareketli, görsel tüm öğeleri içinde barındırmaktadır (Ada ve Yener, 2017:8-13).

Bir alandaki ev, arazi gibi yerleşim yerleri toplu yaşama alanları oluşturmakta dolayısıyla da bu alanlara ait kültürel değerler oluşmaktadır. İnsanın var oluşundan bu yana insan ve doğanın birleşerek gelecek kuşaklara miras olarak kalan eserlere “kültürel peyzaj” ismi verilmektedir (Mutlu, 2012:9-11). Kültürel peyzaj 1920'li yıllarda coğrafyacı Carl Ortwin Sauer kullanmış ve bir kültürün doğayı etkilediğini ve o alanda kültürel peyzaj oluştuğunu belirtmektedir (Mitchell, 2003:233-248). Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN)'nin tanımına göre; kültürel ve doğal kaynakları, yaban hayatı ve evcil hayvanları kapsayan geçmişte yaşanmış olay ya da farklı kültürel ve estetik değerlere ev sahipliği yapan coğrafi mekanlar şeklinde ifade edilmektedir. İnsan ve doğa birlikteliğinin uyumlu bir şekilde zamanla ürün ortaya koyduğu alanlar kültürel peyzaj alanı özelliği kazanmış olmaktadır (Baştanur, 2013:15).

Amerika Birleşik Devletleri Milli Park Servisi (ABD-MPS) 1981'de kültürel peyzajları özel kaynaklar olarak nitelendirmiş ve aynı yıl içerisinde kültürel peyzaj koruma hareketini başlatmıştır. Kültürel peyzajların bu derece önemli olmasına bağlı olarak Dünya Mirası Alanları Sınıflandırmasına, 1992'de kültürel peyzajlarda eklenmiştir (Mitchell vd., 2009). Dünya Mirası Sözleşmesinde yer alan tanımda kültürel peyzaj, birbirini takip eden sosyal, ekonomik ve kültürel güçlerin etkisi ile zamanla doğal çevrenin fiziksel sınırlamalara uygun olarak gelişen; toplum ve yerleşimlerin evriminin izlerini barındıran insan ve doğanın ortak çalışmalarının sonucu şeklinde ifade edilmektedir (Ada, 2014:14-16).

18. yüzyıldan itibaren kültürel peyzajların önemi anlaşılmış, koruma kavramının kurumsal olması tartışmaları 20. yüzyıl başlarında gelişim göstererek anıt eserleri çevresiyle birlikte koruma kapsamına bırakılmıştır. Özel kaynaklar olarak belirlenen kültürel peyzajlarla birlikte, kültürü oluşturan ve korunması gereken diğer alanlar da kırsal kesimlerdeki köylerdir ve kültürel kimliğin belirlenmesi konusunda oldukça önemli alanlardır.

### 3.Kültürel peyzajların korunması ve planlanması

Avrupa Peyzaj Sözleşmesi (APS)'nde "Peyzajın Korunması" peyzajların önemli ve karakteristik özelliklerinin korunması ve devamı için yapılan işlemlerdir ve bunlar da peyzajın doğal biçimi ve/veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan miras değeri ile karşılaştırılmasıdır. "Peyzaj Planlaması" ise peyzajın geliştirilmesi, korunması, muhafaza edilmesi veya oluşturulması için yapılan ileriye dönük etkili faaliyetler olarak tanımlanmaktadır (Council of Europe, 2000; Resmi Gazete, 2003).

Dünya da ve Türkiye de kültürel peyzaj özelliklerinin uluslararası alanda da fark edilmesi ve önemsenmeye başlanması sonucunda bu alanların korunması gereksiniminin olduğuna karar verilmiştir. Bu farkındalık sonrasında çeşitli kurumlar tarafından bu alanların korunmasına ve yönetimi açısından çalışmalar yapılması söz konusu olmuştur (Eryazıcıoğlu, 2012:20).

Kültürel peyzaj alanlarının korunmasına yönelik olarak hazırlandığı bilinen belgelerden ilki Avrupa Konseyi tarafından yayınlanmış olan '*Kültürel Peyzaj Alanlarının Bütüncül Korunmasına İlişkin Tavsiye*' belgesidir. Bu belge kapsamında iki amaç bulunmaktadır. Bu amaçlar (Madran ve Özgönül, 2005:37):

1- Avrupa'nın kültürel kimliklerinin bakımının sağlanması ve gelişiminin gerçekleştirilmesine yönelik peyzaj politikaları için kılavuz oluşturmak,

2- Kültürel peyzaj alanlarının korunması için önlem alınması doğrultusunda fikir önerilerinin sunulması ve bu alanlarda gerçekleştirilecek evrimlerin yönetiminin sağlanması şeklinde belirtilmiştir.

Belgede, kültürel peyzaj alanlarının ve bu alanların korunması, geliştirilmesi, mekan planlamalarının yapılması, ulusal peyzaj ve koruma politikalarının bir parçası olarak dahil olması gereksinimi ile uygun ve etkili olacak araçların kullanılarak sürekliliğin sağlanması gereksinimi önemle belirtilmiştir. Belgede kültürel peyzaj alanlarının korunması ve yönetimi konusunda dikkat edilmesi gereken kurallar:

-Kültürel peyzaj alanlarının yerel gelişimi için kullanılacak sosyo-ekonomik kaynak olarak değerlendirilmesi, dolayısıyla bu alanların kullanılırken bütünlüklerinin ve özelliklerinin olumsuz şekilde etkilenmemesi gereksinimi,

-Toplumların bu alanları kontrollü olarak kullanmaları,

-Tarihsel ve kültürel açılarından alınan önlemlerin farklı araçlar kullanılarak geniş kitlelere ulaştırılması ve bu bildirim sonrasında gereken hassasiyetin gösterilmesi gereksinimi belirtilmiştir.

Kültürel peyzaj alanlarının korunmasına yönelik çalışma yapan bir diğer kurum ise UNESCO'dur. UNESCO'nun, 1992 yılında kültürel peyzaj alanlarının Dünya Miras özelliklerine uygun alanlar olduğunu kabul etmiş ve sonrasında kültürel peyzaj alanlarını Dünya Miras Listesi'ne alınmasına bağlı olarak bu alanlar için çalışmalar yapmaya başlamıştır. UNESCO tarafından 2003 yılında yayınlanan '33' belgesinin sonuç bölümünde kültürel peyzaj alanlarının korunması konusuna yer verilmiştir. Belgede 1992-2002 yılları kapsamında kültürel peyzaj alanlarının korunması doğrultusunda yaşanan zorluklar ve eksikliklere şu ifadelerle yer verilmiştir (UNESCO, 2003:160):

-Korumanın gerçekleşmesi için uluslararası olarak işbirliğinin olması gerekmektedir. Bu yıllar arasında işbirliği söz konusu değildir.

-Düzenli bir Dünya Miras Listesinin olması için gereken küresel stratejiler kısıtlı olarak uygulanmaktadır.

-Bölgesel olarak bir denge kurulamamaktadır.

-Yönetimin en iyi şekilde gerçekleştirilmesi için kaynakların kısıtlı olması ve kurumların güçlü olmaması durumu söz konusudur.

-Geleneksel arazi kullanımını devam ettirme konusunda zorluklar yaşanmaktadır.

-Kültürel peyzaj alanlarının korunmasına yönelik hazırlanmış olan sistemler arasındaki ilişkinin güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Yaşanan zorlukların yanı sıra bu alanların korunmasına bağlı olarak yer verilen konular dahilinde (UNESCO, 2003:160-161):

-Kültürel peyzajlar için belirli sınırları olan yasalara gerek duyulduğu ve bu yasaların tüm ilgili alanlarda işbirliği yapılabilecek boyutta olması durumuna önem verilmesi,

-Kültürel peyzaj alanlarının çoğunun dinamik alanlar olmasından kaynaklı olarak, koruma ve yönetim açısından yaşanan zorluğun, alanların kendine has özelliklerini koruma altına alacak şekilde değişimine kılavuz olması gerektiği de bulunmaktadır.

UNESCO Almanya Komisyonu tarafından 2008 yılında yayınlanmış olan “*Dünya Miras Alanları İçin Yönetim Planları, Rehber*” isimli çalışma kapsamında, kültürel peyzaj alanlarındaki içerisinde dahil olduğu dünya miras alanları için bir koruma ve yönetim şekli oluşturulması için bir deneme yapılmıştır. Yapılan bu çalışma dahilinde 7 temel bölümü içeren bir yönetim planı hazırlanmıştır. Bu yönetim planının içeriği işe şu şekildedir (Ringbeck, 2008:14-24):

1- Sorunun temel sebebinin tanımlanması: bu bölüm içerisinde planın temel sorununa, amacına, içeriğine, yapısına, muhatap alınacak durumlara ve bağlayıcı olduğu durumlara yer verilmiştir.

2- Dünya Mirası alanlarının özelliklerinin belirtilmesi: belirlenen alanın dünya mirasları listesinde yer almasının sebeplerine gerekçeleriyle birlikte yer verilmelidir.

3- Koruma kavramı dahilindeki hedeflerin ve araçların belirtilmesi: korumanın konusunun ve amaçlarının belirtildiği, planda önde tutulması gereken uluslararası belgeleri ile ulusal seviyedeki yasalar ve bağlayıcı olan yapısal yasalar belirtilmeli ve tanımları yapılmalıdır.

4- Koruma alanının tanımının yapılması: Alanı sınır, tampon bölgeler, panorama nitelikleri açısından tanımlandığı bölümdür.

5- Yönetim sistemi: mevcut alanla ilgilenebilecek olan kurumlar arasındaki koordinasyonun sağlanması, planın amacı, hedefi ve stratejik yöntemlerinin belirlenmesi, alana yönelik var olan tehditler ve bu tehditlere karşı alınabilecek önlemler, planın uygulanmasının, izleme ve kalitesinin kontrolünün sağlandığı bölümdür, son olarak da eğitim, turizm rehberliğinin uluslararası ortamda tanıtımına yönelik konulara yer verilmektedir.

6- Sürdürülebilir kullanım: koruma alanlarının sürdürülebilir kullanım dahilinde önemli noktalarının bulunması

7- Personel ve Bütçe: söz konusu korumanın gerçekleştirilmesi için gerekli olan insan ve mali kaynağın belirlenmesi ve planda bulunması gerekmektedir.

UNESCO tarafından 2009 yılında yayınlanan “*Dünya Mirası Kültürel Peyzajlar, Koruma ve Yönetim Rehberi*” belgesinde kültürel peyzaj alanlarının korunması ve yönetim modeli ile ilgili belirlenen ilkelere yer verilmesi gerekmektedir. Belgede ilk olarak kültürel peyzaj alanlarının doğal ve kültürel niteliklerine yer verilmiştir. Daha sonra da bu niteliklerin korunmasının gerçekleştirilmesi için belirlenen ilkeler sıralanmıştır. Bu ilkeler (UNESCO, 2009:35-36):

1- Kültürel peyzaj alanında yaşamını sürdüren kişiler idari anlamda yer alması gereken öncül kişilerdir.

2- Başarılı bir yönetimin gerçekleştirilebilmesi için, yönetimin kapsamlı ve şeffaf olması gerekmektedir. Bununla birlikte önemli olarak yer alan yönetim paydaşları arasında iyi seviyede diyalog bulunmalıdır.

3- Kültürel peyzajın sahip olduğu değer, insan ve çevre ilişkisine dayanmaktadır, dolayısıyla yönetimin asıl odağı bu ilişki üzerine kurulmaktadır.

4- Yönetimin odak noktası olarak; kültürel peyzajın değerlerinin korunması doğrultusunda yapılacak olan değişimlere rehberlik edilmesi yönündedir.

5- Söz konusu yönetim, daha kapsamlı bir peyzaj bağlamının oluşturulabilmesi için düzenlenmiştir.

6- Başarılı bir şekilde gerçekleştirilen yönetim, sürdürülebilir bir topluma katkı sağlamaktadır, şeklinde sıralanmaktadır.

Kültürel peyzaj alanlarının korunması ve yönetim ile ilişkili olarak belirlenen ilkelerin yanı sıra bu alanların yönetim planı ile ilgili olarak 8 aşama düzenlenmiştir (UNESCO, 2009:38):

1. Aşama: bu konu dahilindeki hazırlanmış olan yaklaşımların ve çalışma planları için anlaşılması,

2. Aşama: kültürel peyzajın ve sahip olduğu değerlerin belirlenmesi ve anlaşılması,

3. Aşama: gelecek için ortak bir vizyon geliştirilmesinin amaçlanması,

4. Aşama: yönetim amaçlarının belirlenmesi ve bu bağlamdaki fırsatların ve zorlukların değerlendirilmesi,

5. Aşama: yönetim için uygulanacak yöntemler üzerinde çalışma yapılması,

6. Aşama: belirlenen yönetim stratejisinin uygulanmasının hazırlanması,

7. Aşama: izleme, değerlendirme ve uyarlanması mümkün olan yönetim şeklinin uygulanması,

8. Aşama: yönetim teknikleri ve yönetim planının üzerinde revize yapılması

Belirlenen aşamalardan da anlaşılacağı üzere, söz konusu peyzaj alanlarının stratejik planlama yapılan ve bu doğrultuda uygulamanın gerçekleştirilmesinin daha uygun olacağı ifade edilmiştir. Bu aşamaların katılımcı ve gelişen koşullara uygun olarak revizesinin mümkün olduğu bir yönetim şekli olması detayına da yer verilmiştir. (Ringbeck, 2008:14-24).

Avrupa Konseyi ya da UNESCO gibi uluslararası düzeyde gerçekleştirilmiş olan faaliyetlerin yanı sıra farklı ülkelerde ulusal kurumlar tarafından yayınlanan belgeler, çeşitli ülkeler kapsamında kültürel peyzaj alanlarının korunması ve yönetilmesi konularına yaklaşımının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır (National Park Service, 2022).

ABD İçişleri Bakanlığı'na bağlı olarak çalışmasını sürdüren ABD Milli Park Servisi, kültürel peyzajların yönetim modeli için düzenlemiş olduğu, '*Kültürel Peyzajlar İçin Rehber: Koruma Planlaması ve Kültürel Peyzajlara Yapılacak İşlemler*' isimli belge dahilinde bu alanlara yapılabilecek müdahaleler için kurallar belirtmiştir. İlk olarak kültürel peyzajlar için genel bir durum olan, doğal kaynakların değişimini göstererek ve doğal kaynaklara bağlı olarak gelişmiş olduğu belirtilmelidir. Dolayısıyla kültürel peyzajların diğer kültürel kaynaklardan farklı olduğu, sahip oldukları doğal ve kültürel özelliklerin birbirleriyle ilişki halinde oldukları, dinamik bir sistem olması ve belirtilen sebepler doğrultusunda bu alanlar için gereken belgelerin oluşturulması, korunması ve yönetimi konusunda oldukça disiplinli olunması gereksinimi söz konusudur (National Park Service, 2022).

Rehber doğrultusunda, kültürel peyzaj alanları konusunda yapılan çalışmalar için hazırlanan kurallardan bazıları şunlardır (Tırnakçı, 2021):



Proje ya da çalışmaya başlanmadan önce kültürel peyzajın ne olduğuna dair araştırmanın yapılması sonucunda elde edilen bilgilerin yapılacak olan çalışmanın içeriğini şekillendirmesi için gerekliliği,

Kültürel peyzaj envanterinin çıkarılması ve hazırlanan dokümantasyonun amacı, kültürel peyzajın o anki bulunduğu durumun, yapılması istenen çalışma için temel oluşturması için kayıt altına alınması,

Bir kültürel peyzajın tarihteki sürekliliğinin değerlendirilmesinin, kültürel ve tarihi değerlerin kültürel ve tarihi değerlerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli olduğu,

Kültürel peyzajları için hazırlanan koruma planının, dinamik değişkenlerden oluşmasıdır.

Bu kuralların yanı sıra kurum tarafından, herhangi bir kültürel peyzaj için hazırlanması gereken “Kültürel Peyzaj Raporu” nda hangi konuların yer alması gerektiğine yer verilmiştir. Özel olarak bu alanlarda değişiklik oluşturması mümkün olan turizm yatırımları konusunda, alanın karakter özelliklerini belirleyen unsurların zarar görmesine karşı önemli bir araç görevinde olacaktır. Bu rapor dahilinde yönetici olanlar ve bu konuyla ilgilenen kişiler için de bilgiler yer almaktadır. Ayrıca yapılacak olan koruma planlamasının hangi aşamalardan geçecek olduğuna da yer verilmiştir. Kültürel peyzaj alanlarının özelliklerine bağlı olarak esnek ve değişebilir olması durumunun belirtildiği sürecin aşamaları (Tırnakçı, 2021):

- 1- Alanın tarihsel araştırmasının yapılması
- 2- Olağan durumdaki şartların kayıt altına alınması ve envanter çalışmasının yapılması
- 3- Sit analizleri: bütüncül oluşu ve öneminin değerlendirilmesi,
- 4- Koruma yaklaşımının gelişiminin sağlanması,
- 5- Yönetim planı ve felsefesinin geliştirilmesi,
- 6- Korumanın sürekli olmasına yönelik stratejinin geliştirilmesi,
- 7- Geleceğe dönük önerilerde bulunulması olarak belirtilmiştir.

Kültürel peyzaj alanlarının korunmasına yönelik ulusal olarak çalışma yapan bir diğer kurum ise “Parks Canada” dır. Söz konusu kurum yerli halkın dünyaya bakış açısı ve koruma kuramları bağlantısını sağlayacaktır (Parks Canada, 2015). Dolayısıyla, kültürel peyzajların yorumlanmasında yerli halkın yaşam şekilleri de oldukça önemli olmasına bağlı olarak antropojenik bir bakış açısı bulunmaktadır.

Parks Canada dahilinde kültürel peyzaj alanlarının korunması konusu için önemli noktaların neler olduğuna yer vermiştir. Bu noktalara ‘*Yerli Kültürel Peyzaj Alanları İçin Kılavuz*’ belgesi içerisinde yer verilmektedir. Kanada’da bulunan kültürel peyzaj alanları için yapılan korumalar dahilinde dikkat edilmesi gereken durumlar şu şekilde sıralanmaktadır (Parks Canada, 2015).

1- Bu alanlarda yaşayan kişilerin kültürel ve geleneksel nitelikleri alanın tarihsel devamlılığını ve anlamını belirtmektedir.

2- Kültürel peyzaj alanlarında bulunan ve birlikte değerlendirilen kültürel ve doğal nitelikler bu alanların önemli olmasında oldukça önemlidir.

3- Söz konusu doğal ve kültürel değerlere, bu alanlarda yaşamlarını sürdüren kişilerin geleneksel olan bilgilerinden destek alınmaktadır.

4- Bu alanların ne kadar önemli olduğunu somut olarak belirten kültürel ve doğal niteliklerinin tamamının anlaşılabilmesi için akademik anlamda çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye dahilinde ise söz konusu koruma alanları “*Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu*” kapsamında yer almaktadır. Korunması gerekli olan koruma varlıkları, 19. yüzyıla kadar yapılmış

olan taşınmazlar ve sonrasında yapılmış olup niteliklerine ve önemine bağlı olarak Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından korunması gereksinimi bulunan alanlar koruma kapsamına dahil edilmektedir. Sit alanları içerisinde yer alan taşınmaz unsurlar da kültür varlıklarını koruma kapsamında yer almaktadır. Milli tarihimizdeki yerlerinin önemine bağlı olarak zaman ve kayıt aranmaksızın Milli Mücadele ve Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşu döneminde bulunan ve bu dönemlere şahitlik etmiş alanlar ve mimari yapılar Mustafa Kemal ATATÜRK tarafından kullanılmış evler koruma kapsamına dahil olan alanlardır (Resmi Gazete, 1983).

Doğal ve kültürel alanların korunmasına yönelik “*Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği*” düzenlenmiştir. Doğal, kültürel ve tarihi alanların kullanma ve korunma dengelerinin sağlanması gerekmektedir. Bölge ve ülke boyutlarında kararla uygulanabilecek olan büyük projelerin mekansal strateji planı ya da çevre düzeni planı kapsamında değerlendirilmesi gerekmektedir. Hazırlanan planların çevresinde bulunan mevcut planlara uygun olarak hazırlanmalıdır. Koruma alanlarına yakın olan çevrede yapılan planlar, bu alanların hassasiyet noktası göz önünde bulundurularak hazırlanmalıdır. Koruma amacına bağlı yapılan imar planları hazırlanırken ise tarihi çevre ve geleneksel doku, doğal ve kültürel miras, sosyal ve teknik altyapı, ulaşım sistemi gibi insana yönelik kullanımlara dikkat edilip bu etkenlerle ilişkilendirilerek hazırlanmaktadır (Resmi Gazete, 2014).

Zaman içerisinde korunan alanlarında sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yönelik olarak restorasyona gereksinim olmaktadır. Dolayısıyla bu durum için “*Korunan Alanlarda Yapılacak Planlara Dair Yönetmelik*” düzenlenmiştir. Yönetmeliğe göre bir alanın statüsünün değişmesi ya da o alanın doğal sit alanı olarak ilan edilmesi, alan içerisinde gerçekleştirilmesi planlanan her ölçekteki plan uygulanmasının durmasına sebep olmaktadır. Sit alanı olarak belirlenen alanların etkileşim ve geçiş sahasına dikkat edilerek varsa çevre düzenine yönelik çevre planları, alanın hangi sit statüsünde bulunduğu, alanın doğal sit olduğuna dair gerekçe raporu ya da biyoçeşitlilik raporu göz önünde bulundurularak tekrar incelenmesi ve bakanlık tarafından onaylanması gerekmektedir. Doğal ve kültürel değerlerin bulunmasına bağlı olarak sit alanı olarak belirlenen alanlar ve koruma altına alınmış diğer alanların çakışmış olduğu alanlar için ilgili bakanlıkların koruma ve kullanma konusunda görüşlerine başvurulmaktadır. Korumaya yönelik olarak yapılan imar planları kullanım kararlarının ve yapılaşma şartlarının, alan dahilinde tabiat varlıklarıyla ilgili olarak varsa biyoçeşitlilik şeklindeki araştırmalar doğrultusunda belirlenmesi gerekmektedir (Resmi Gazete, 2012).

#### 4. Köy tasarım rehberlerinin kapsamı

Kırsal alanlar, genel olarak kentin dışında kalmış, üretim şekli, idaresi ve nüfus özelliklerine bağlı olarak tanımlanan alanlardır (Kayıkcı, 2009:312). Tarım ve hayvancılık yapılarak geçimin sağlandığı, az nüfuslu alanlara kırsal alan denmektedir (Yılmaz ve Atık, 2006:1-9). Kırsal alanlarda bulunan en küçük birim ise köylerdir. Söz konusu alanlar diğer yerleşim alanlarından uzak, köye ait mera, yayla gibi geniş alanlarla çevrili olarak bulunan yerlerdir (Kavruk, 2004; Kavruk vd., 2012:282).

Kırsal alanlarda yapılan işlerin devam etmesi, kırsal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması, sosyal adalet ve kentlere olan yoğun göçün engellenmesi için kırsal alan planlarının yapılması gerekmektedir. Kırsal alanlar kendilerine ait karakteri ve kimliği olan alanlardır (Mamunlu, 2001:155). Söz konusu önlemlerin alınmasını amaçlayan, kırsal alanlardaki planlamaları hedefleyen Köy Tasarım Rehberleri çalışmaları yapılmaktadır. Köy tasarım rehberleri 2000’li yıllardan topluluk kavramına gerçek anlamda önem verilen bir dönemde ortaya çıkmıştır. Hazırlanan rehberlerin, köy halkının ortak değerlerine dayalı olması hedeflenmektedir (Harvey, 2014; The Heritage Council, 2012).

Köy tasarım rehberleri öncelikle İngiltere’de 1990’lı yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Yerel ölçeğin önemsenmeye başlaması, kırdaki farklılık ve özgün bir ortam anlayışının sonucu olarak düşünülebilmektedir. Köy tasarım rehberleri kırsal karakteri oluşturan öğelerin devam etmesine yönelik çalışmaların bulunduğu bir dökümandır. Köyde doğal çevre ile bütünlüğün nasıl

sağlanabileceği, parsellerin iklim ve arazi şartlarına uygun olarak nasıl düzenlenebileceği, yerel malzemelerin tekrar nasıl kullanılabilir olabileceği şeklinde mekansal konuları içermektedir (Owen, 1998: 199-220; Owen, 2002:1-21).

Türkiye’de köy tasarım rehberinin çıkışına bağlı yasal anlamda ilk kez 2013 yılında 3194 sayılı İmar Kanunu’na eklenen bir madde ile birlikte köy tasarım rehberleri konusuna yer verilmiştir. 6495 sayılı Kanun’un 73. Maddesine eklenen 8/ğ maddesinde “...Yerleşme ve yapılaşma özellikleri, mimari doku ve karakteri, gelişme düzeyi ve potansiyeli açısından önem arz eden köylerde bu özellikleri korumak, geliştirmek ve yaşatmak amacıyla muhtarlık katılımı ile idarelerce köy tasarım rehberi hazırlanabilir. Köy tasarım rehberi, ilgili idare meclisi kararı ile onaylanır ve uygulanır.”

Eklenen bu madde kapsamında köy tasarım rehberlerinin (Öğdül vd., 2015:31);

- Nerede uygulanacağı (yapı ve yerleşme nitelikleri, mimarisi ve karakteri, gelişme seviyesi ve potansiyeli bakımından önemli olan köylerde),
- Amacı (köyde bulunan özelliklerin korunması, geliştirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması),
- Nasıl gerçekleştirileceği (ilgili idareler açısından ve muhtarlığın katılımıyla),
- Kim tarafından kabul göreceği (ilgili idare topluluğu) konularına yer verilmiştir.

Köy tasarım rehberinin olumlu sonuca ulaşabilmesi için, yerel, orta ve üst ölçekli plan yöntemleri ile uyum içerisinde bulunması ve birbirlerine destek sağlamaları gerekmektedir. Üst ölçek kapsamında; T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı tarafından düzenlenmiş olan Kırsal Kalkınma Planı’nda (2010-2013) yer almaktadır. “Kırsal Alan Fiziki Altyapı Hizmetlerinin Geliştirilmesi ve Yaşam Kalitesinin Artırılması” yönteminin hedefinin alt eylemleri dahilinde; yörelere bağlı olarak uygulanan mimari özelliklerinin belirtilmesine bağlı yöntem ve temellerin belirtildiği tasarım rehberlerinin il seviyesinde düzenlenmesi konusuna ilgili madde dahilinde yer almaktadır.

Köy tasarım rehberleri; uygulanacağı çevrenin yaşam kalitesinin ve çalışma şartlarını olumlu yönde etkilemekte, bununla birlikte yerelin tasarım ve planlama dönemindeki etkisinin çoğaltılmasını hedeflemektedir. Belirlenen mekanlar üzerinde uygulanan düzenlemelerde sosyal ve ekonomik faaliyetlerin artırılması, köylerin var olan mekansal karakterinin korunması ile birlikte köylerde tek tip/kimliği olmayan yapılaşmayı önlemek amaçlanmaktadır. Bulunduğu duruma göre daha yüksek standartta yere özgü çevreye katkı sağlanması ve köylerde geleneksel durumun devam etmesi ve sürekliliğin sağlanması önemli bir etkidir (Tok, 2017:3-4; Kut Görgün ve Yörür, 2018:28).

Köy tasarım rehberleri köyün hem peyzaj dokusunun hem de mimarisinin korunup geliştirmesine yönelik tüm kavramlarla çalışmalar yapmaktadır. Belirlenen alanlar için hazırlanan rehberde konforun sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan tüm malzemelere ve kullanım tekniklerine yer verilmesinin yanı sıra uygulama için yönlendirmeler yapmaktadır. Rehberlerin ele aldığı kavramlar (Eminagaoglu ve Çevik, 2007:157-162):

- Köyün yapısal dokusu
- Peyzaj dokusu
- Herkesin kullanımına açık olan alanlar
- Parsel kullanım şekilleri
- Yapı-parcel bağı
- Yapı şekilleri (yükseklik ve büyüklük)
- Kullanılan yapı malzemeleri ve kullanım şekilleri

- Yapıda kullanılan elemanlar (kapı, çatı, pencere vb.)
- Sınırlandırmaya yönelik kullanımlar (bahçe duvarı vb.)
- Konumlanma açısı olarak sıralanabilir.

Sıralanan kriterlere her köy rehberinde yer almamasının yanı sıra köyde yaşanan sorunlar doğrultusunda yer verilir. Bununla birlikte köyün özellikleri ya da gereksinimlerine bağlı olarak farklı başlıklar da eklenebilmektedir. Köyün organik yapısı ve insanı ön planda tutan bir çalışma olmasına bağlı olarak konu başlıklarında değişiklikler söz konusu olabilmektedir. Köy tasarım rehberlerinin tasarım ilkelerinin belirlenmesi köy halkının yaşadığı sorunlar ve köyün potansiyeline bağlı olarak belirlenmelidir (Ögdül vd., 2017:53-56).

Kırsal alanlar, genel anlamda farklı coğrafyaların kültürlerini ve kültürel farklılıklarının belirtildiği bir kriterdir. Belirtilen kriterler İngiltere ve İrlanda başta olmak üzere Avrupa ülkelerinde kırsal alanlarda gerçekleştirilen yerleşimlerde tek model yapılaşmaya başlandığı belirtilmektedir. İngiltere, farklı mekanlar için çözüm araçları geliştirmiştir. Bu çözüm araçlarından birisi de köy tasarım rehberleridir. Bir alanın korunması ve geliştirilmesi gereken alanlarını bilecek olan kesimin o alanda yaşayan halk olması düşüncesi doğrultusunda halk da söz konusu çözüm aracına dahil edilmiştir. Köy tasarım rehberleri köyde yaşayan halk tarafından hazırlanıp yerel de bulunan yönetim tarafından kabul gördüğünde planın eki şeklinde kabul edilmektedir. İlk köy tasarım rehberi (VDS – Village Design Statments) 1993 yılında İngiltere’de hazırlanmıştır. Belirlenen alanın geliştirilmesi ve kullanımının yönetilme şeklini belirten “Local Plan” ların içerisinde yer verilen konular için öneriler sunan bir doküman olarak yapılan plana dahil edilmektedir. Hazırlanan rehberin değerlendirilmesine yönelik pilot alanlar belirlenmiş ve sonuç olarak planlanan kararlara destek sağladığı kanısına varılmıştır. Bu olumlu gelişme sonrasında İngiltere’de 600’den fazla köy tasarım rehberinin hazırlandığı bilinmektedir (Ögdül vd., 2015:23). Günümüzde de İrlanda, Türkiye, Kanada, İngiltere, Avustralya ve Amerika kırsal alan mekan düzenlemesinde köy tasarım rehberlerini araç olarak kullanmaktadır (Eminağaoğlu ve Çevik, 2007:157-162)

İrlanda 2000 yılında köy tasarım rehberi hazırlayan ikinci ülkedir. Benzer coğrafyaya ve kültürel özelliklere sahip olmalarına rağmen farklı şekillerde uygulamalar yapılmıştır. Dağınık yapılaşmanın ve ekonomik olarak geride olmasının etkisi söz konusu olmuştur. Hazırlanan raporlar, halkın katılımı ve uzman kişiler işbirliğinde hazırlanmaktadır. Bu durum giderek halkın da hazırlanan köy tasarım rehberlerine merakının artmıştır. Buna bağlı olarak köy tasarım rehberleri proje aşamalarında yararlanılan bir araç olması söz konusu olmaktadır (Küçüköğül, 2017:30).

Amerika’ da ise kırsal komisyonların hazırladıkları rapor ve bölgesel ölçekte hazırlanmış olan planların birbirlerine uygun şekilde bağdaştırılarak bakanlığın onayladığı bilinmektedir. Hazırlanan düzenlemeler kırsal alanlarda bulunan arazilerin verimli kullanılmasına yöneliktir (Eminağaoğlu ve Çevik, 2005:72-81). 1998 yılında, kırsal alanlarda yaşayan kişilerin ekonomik olarak zorlandıkları konuların ve yapılan planlamalardaki eksiklerin tamamlanması için New York Eyalet Üniversitesi kapsamında Toplum Tasarımı Araştırma Merkezi kurulmuştur. Kurulan bu merkezde halka eğitim verileceği, halk arasında iletişimin daha iyi olacağı ve halkın planlamada söz hakkının olacağı belirtilmiştir (Karakurt Franco ve Franco, 2003:35-40).

Kanada’da kırsal alanlar kapsamındaki gelişmeler farklı hükümetler ve büroların içinde bulunduğu ekiplerce gerçekleştirilmektedir. İçerisinde kır komisyonunun da var olduğu bu yapılaşma, bölgedeki ağın oluşmasını sağlamaktadır. Alanda bulunan kültürel unsurların korunmaya alınması, kamu yapılarının işlevleri, yapılaşma kapsamındaki veriler ve çevrede yapılan çalışmaların kır komisyonunca yürütülen, uygulanacak olan planların yasal tarifi için rehber olarak katkı sağlayan çalışmalardır (Eminağaoğlu ve Çevik, 2005:72-81).









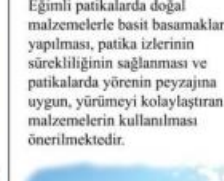
## 5. Türkiye’de köy tasarım rehberlerinin uygulanması

İngiltere ve İzlanda'nın öncü olmasına bağlı Avrupa ülkelerinde yapılmaya başlanan köy tasarım rehberleri sonrasında, 2013 yılında Türkiye'de de köy tasarım rehberleri gündeme gelmiştir. Köy tasarım rehberi kavramı ilk olarak imar kanunu kapsamında bir kavram olarak yer edinmiştir. Kırsal yerleşimlerle ilgili yapılan yasal düzenlemelerin yeterli gelmemesine bağlı olarak yerleşim alanlarına yönelik olarak uluslararası alanda uygulanmakta olan köy tasarım rehberinin mevzuatta yer alması oldukça önemlidir. Türkiye'de ilk köy tasarım rehberi 2014 yılında Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi tarafından hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan ilk çalışma Kastamonu-Küre-Ersizlerdere Köy Tasarım Rehberi'dir. Yapılmış olan bu proje sayesinde köy tasarım rehberi yalnızca mevzuatta bir kavram olarak kalmayıp, uygulanabilir bir proje olarak hayata geçirilmiştir (Akbaş, 2021:30-31).

### 5.1. Kastamonu – Küre Ersizlerdere köy tasarım rehberi

T.C. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı (KUZKA), Kastamonu Valiliği ve Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi işbirliğiyle 22 Ocak 2014 tarihinde imzalanmış olan protokol dahilinde başlatılmıştır. Konuyla ilgilenen kurumların öncülüğünde Küre'de finansal, sosyal kalkınma ve yerleşim konusunun fiziksel dokusuyla ilgili olarak birçok proje sürdürülmüştür. Küre için hazırlanmış olan köy tasarım rehberi 2014 yılının Kasım ayında KUZKA'ya teslim edilmiş olan projelerden ilki olmuştur (Olgun vd., 2017:3).

Türkiye'de köy tasarım rehberinin mevzuata dahil olmasından kısa bir süre sonra, geniş çaplı bir hazırlık yapılarak hazırlanmış olan ilk köy tasarım rehberi olarak örnek niteliği taşıması sebebiyle de oldukça önemli bir konumda yer almaktadır. Proje mevcut doğal güzellikleri, üst ölçekle olan ilişkisi ve yerel yönetimin desteleriyle gerçekleştirilen bir projedir. Çalışmanın hedefleri arasında yereldeki sorunlara çözüm üretmek, alan kapsamında var olan potansiyellerin ortaya çıkmasını sağlamak ve örnek proje olmak bulunmaktadır. Bu projenin hayata geçirilmesiyle ilk köy tasarım rehberinin uygulanabilir oluşu, ekolojik kurallarla geleneksel yapıım modellerinde yeni yapılaşmanın mümkün olduğu kanıtlanmıştır (Öğdül vd., 2018:3-5) (Şekil 1).

Konum / Yerleşim	Peyzaj Karakteri	Parsel Biçimlenişi	Cephe Özellikleri	Yapım Sistemi
<p>Kastamonu - Küre'de bulunmaktadır.</p> 	 <p>Vadi boyunca dere hattının ve orman - yerleşim sınırının korunması, tarla orman geçişinin yöreye özgü çalı türleri ile sağlanması önerilmiştir. Kır ve merada yapılaşma kesinlikle önerilmemiştir.</p>	<p>İfraz ve tevhit işlemleri ile mevcut parsellerin mahalledeki ortalama büyüklüklere uyumlu olması, taban alanı ve emsal değerlerinin diğer parsel değerleriyle uyumlu olması ve kat yüksekliklerinin 2 katı geçmemesi önerilmektedir.</p> 	 <p>Ahşap yığma elemanları, ahşap kaplama ve sıvalı yüzeyler köyün özgün karakterini oluşturmaktadır. Cephe düzeninde yapı kimliği ile uyumsuz müdahalelerin özgün hale getirilmesi, gerekli yerlerde kaplamasız yüzeylere siva yapılması önerilmektedir.</p>	
<p><b>Çalışmanın Amacı</b></p>  <p>Diğer KTR'lere örnek bir çalışma oluşturmak, yereldeki sorunlara çözüm bulmak ve alanın sahip olduğu potansiyelleri açığa çıkarmak amaçlanmıştır.</p>	<p><b>Yerleşim Dokusu</b></p>  <p>Yeni yapılaşmada, yerleşim toplu ve dağınık özelliklerinin korunması, doğal alanların baskın olduğu, doğal alan-yapı dengesinin korunması ve yerleşmenin coğrafi özelliklerinin göz önünde bulundurulması önerilmiştir.</p>	<p><b>Ortak Mekanlar</b></p>  <p>Köy meydanında zemin ve cephe düzenlemesi, kot farklılıklarından yararlanılarak meydana farklı kullanım alanlarının oluşturulması ve okulun yanında çocuklar için oyun alanı yapılması, harman yerlerinin ortak kullanıma / toplanma alanına uygun hale getirilmesi önerilmektedir.</p>	<p><b>Yollar ve Patikalar</b></p>  <p>Eğimli patikalarda doğal malzemelerle basit basamakların yapılması, patika izlerinin sürekliliğinin sağlanması ve patikalarda yörelin peyzajına uygun, yürümeyi kolaylaştıran malzemelerin kullanılması önerilmektedir.</p>	<p>Yapım sistemini ahşap karkas ve yığma ahşap sistem oluşturmaktadır. Bu ahşapların bakımı ve koruma için önlemlerin alınması oldukça önemlidir. Kullanılan geleneksel yapı duvar sisteminin ısı yalıtımının sağlanmasında yetersiz kaldığı düşünülmektedir. Su ve ısı yalıtımına yönelik ek önlemlerin alınması konusunda öneriler geliştirilmiştir.</p>

### KÜRE / ERSİZLERDERE KÖY TASARIM REHBERİ

Şekil 1– Küre Ersizlerdere Köy Tasarım Rehberi Ana Kararları (Öğdül vd., 2015; Olgun vd., 2017)


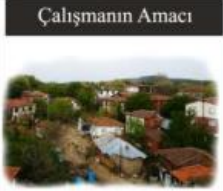









Yapılmış olan ilk köy tasarım rehberi kapsamında iki kitap yayınlanmıştır. Bu kitaplardan ilkinde köy tasarım rehberine kavram olarak yer verilmiş ve kaynak oluşturabilecek tanımlamalar yapılmıştır. Proje uygulama aşamaları ve kullanılan yöntemlere detaylı bir biçimde yer verilmiştir. Köy tasarım rehberi hazırlanırken kullanılan köye ait coğrafi, sosyo-kültürel, nüfus, ulaşım, kırsal peyzaj, köyün potansiyeli ve tehdit unsurları ele alınmıştır. İmar planı kapsamında mevzuatta yer almasına bağlı olarak da hem yerleşme dokusu hem de parsel biçimlenişine yer verilmiştir. Yerleşme nitelikleri, kamusal alanlar, ulaşım etkenleri, parsel büyüklükleri, değerleri gibi konular geliştirilen önerilerle birlikte köy tasarım rehberi hazırlanmıştır. Yayınlanmış olan “Kastamonu – Küre: Kırsal Yerleşimden Yapıya” isimli kitapta ise yeni yapılaşmanın nasıl olması gereksinimleri kapsamında önerilere ve tekniklere yer verilmiştir. Yapılan çalışmalar ekolojik ve mimari konular başlıkları altında toplanarak mimari doğrultuda; parsel kullanımı, malzeme seçimi ve bina yapım kriterleri belirtilmiştir. Bununla birlikte ekolojik temelli yapı dahilinde tasarım kuralları ve sürdürülebilirlik konularına da değerlendirilmiştir. Kırsal alanlarda oldukça önemli bir detay olan toplanma alanları için de örnek projeler üretilmiştir (Öğdül vd., 2015).

## 5.2. Küre Dağları Milli Parkı köy tasarım rehberleri (Bartın bölümü)

Küre Dağları Milli Parkı için hazırlanmış olan bu proje ise T.C. Kalkınma Bakanlığı, Küre Dağları Milli Parkı, Bartın Üniversitesi, Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı'nın (BAKKA) ortak çalışmasıyla 2015 yılında hazırlanmıştır. Proje için gerekli olan finansal BAKKA tarafından karşılanmıştır. Söz konusu çalışma Küre Dağları Milli Parkı Bartın bölümü, tampon bölgesinde yer alan 71 köyde uygulanmıştır. Hazırlanmış olan proje kapsamında, tampon bölgenin biyolojik çeşitlilik özellikleri korunarak, köylerde yaşam kalitesinin artırılması ve ekoturizm olanaklarının yüksek olduğu köylerde bulunan imkanların köy tasarım rehberleri tarafından geliştirilmesi amaçlanmıştır (Görmüş vd., 2015).

## 5.3. Balıkesir-Erdek Yukarıyapıcı Mahallesi yenileme projesi

Kırsal Peyzaj ve Yerleşim Analizi/Köy Tasarım Rehberi /Meydan Projesi; Erdek Belediyesi ve Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi işbirliğiyle 2017 yılında hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan projede; kıyı turizminin aktif olmasına alternatif bir durum olarak doğanın ve köy yaşamının bulunduğu alanlarda kırsal turizmi desteklemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma dahilinde ilk olarak köylerde uygulanmış olan mekansal düzenleme için kullanılan araçlar ele alınmıştır. Sürecin devamında bölge ile ilgili analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde köy tasarım şeması, kırsal turizm eylem planı, köy tasarım rehberi ve meydan tasarım projesi oluşturulmuştur (Öğdül vd., 2017) (Şekil 2).

Konum / Yerleşim	Peyzaj Karakteri	Parsel Kullanımı	Cephe Özellikleri	Ortak Mekanlar
<p>Balikesir - Erdek'te bulunmaktadır.</p>  	 <p>Köyün imaj bitkileri olan çınar ve kiraz ağaçlarının korunması Köy silüetini bozmayacak yapılaşma Tavuk çiftliklerinin düzenlenmesi Deredeki kirlenmenin önlenmesi için tedbirler alınması Tarım kır peyzajındaki dokunun korunması önerilmiştir.</p>	<p>Yeni yapılaşmada taks alanında bahçe için alanın bırakılması Parsel sınır elemanlarının köyün karakteriyle uyumlu olması ve 1 metreyi geçmemesi Yapıların parsel içinde arazi yapısıyla uyumlu şekilde oturumunun sağlanması önerilmiştir.</p> 	 <p>Yapılar genelde sıvasızdır. Cepheler, ahşap karkası ve duvar malzemesini yansıtmaktadır. Genel olarak köy içinde cepheler uyum içerisinde. Gerekli onarım yapılmalıdır.</p>	<p>Meydan düzenlemesi yapılması Meydandaki tescilli binaların öncelikli olarak restore edilmesi Kadınlar meydanının düzenlenmesi Festival alanının peyzaj dokusunun korunması Kapalı düğün mekanı ve açık hava sinemasının yapılması önerilmiştir.</p> 
Çalışmanın Amacı	Yerleşim Biçimi	Yapı Elemanları	Yollar ve Patikalar	Köy Girişi
 <p>Kıyı turizminin faaliyetlerine seçenек olarak, iç kesimlerdeki kırsal yerleşimlerin turizm potansiyelini açığa çıkaracak bir çalışma yapmak amaçlanmıştır.</p>	 <p>Bütüncül yapılaşmanın korunması Meyve bahçelerinin korunması Terk edilerek boş kalan binaların öncelikli olarak tercih edilmesi Yerleşimin dere peyzajı ile uyumlu şekilde devam etmesi önerilmiştir.</p>	 <p>Köy karakteriyle uyum sağlayacak giyotin, tek ve çift kanatlı ahşap pencereler Dış kapılarda dokuya uyumsuz Çatılarda, kırma ve %30-35'i geçmeyen eğimde kiremit kaplama malzemesi önerilmektedir.</p>	<p>Araç yolları için ring şeklinde güzergah belirlenmesi Araç yollarında beton derzli malzeme, yaya yollarında ise çim derzli granit taş kaplama kullanılması önerilmektedir.</p> 	 <p>Giriş yoluna ağaçlandırma çalışması yapılması Aydınlatma elemanlarının eklenmesi "Hoşgeldiniz" ve köyün isminin yazıldığı tabela konması Köprünün köyün dokusuna uygun şekilde projelendirilmesi Girişteki çeşmenin onarım işlevsel hale getirilmesi önerilmektedir.</p>

ERDEK / YUKARIYAPICI MAHALLESİ KÖY TASARIM REHBERİ

Şekil 2– Erdek Yukarıyapıcı Mahallesi Köy Tasarım Rehberi Ana Kararları (Ögdül vd., 2017)

#### 5.4. Bademli köy tasarım rehberi

Köy tasarım rehberlerinin nitelikleri ve içeriği bağlamında iyi bir rehber olabilmesi için, köy ve çevresinin ayırt edici nitelikteki özelliklerini belirtmeli, halkın fikirlerine yer verilerek yerel planlama sistemine uygun olmalıdır. Bu doğrultuda hazırlanmış olan Bademli köy tasarım rehberinin amaçları şöyle sıralanabilir (Kut Görgün ve Yörür, 2018:28):

- Kırsal alanlar için güncel bir kalkınma ve planlama çalışması olması,
- Yerel öğelerin planlama ve tasarım süreçlerindeki etkenlerine daha çok yer verilmesi,
- Yerel farkındalığı artırılarak, geleneksel olarak var olan yaşamın devam ettirilmesinin desteklenmesi,
- Geçmişin değerlerinin korunarak, geleceğe yön veren bir kırsal yerleşimin söz konusu olması,
- Yaşam ve çalışma kalitesinde artış sağlanması,
- Özgün olan mimari dokunun korunması.

#### 5.5. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi meskûn ve gelişme kırsal konut alan yerleşimleri tasarım rehberi

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından yerel ölçekte hazırlanmış bir projedir. Nazım İmar Planı, plan hükümlerine ek olarak kırsal konutların bulunmakta olduğu alanlarda da geçerli olmaktadır. Zorunlu maddeler uygulamaya geçirilmedikçe yapı ruhsatı ve yapının kullanılmasına yönelik izin verilmesi söz konusu değildir. Yapılmış olan bu çalışma kapsamında diğerlerinden farklı olarak yaptırım gücü daha etkilidir. Çalışma dahilinde yapılaşmanın yöresel dokuya ve doğal koşullara, yerel halkın kültürel niteliklerine, yaşam şartlarına ve şimdiye kadar geçen süre zarfında oluşturmuş oldukları alışkanlıklar doğrultusunda, estetik, düzenli ve güvenli olması

hedeflenmektedir. Evlerin olması gereken kat yükseklikleri, bahçe duvarları, evlerin cephelerinin kaplamaları, balkon ve çatı gibi detayların olması gereken şekilleri için de 3 boyutlu modellemelerle bilgilendirme yapılmıştır (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2017) (Şekil 3).



Şekil 3 – Kocaeli Geleneksel Yapı Örnekleri ve 3 Boyutlu Modellemeleri (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2017).

## 6.Sonuç

Kültürel peyzajlar, doğa/insan ve kültür arasında var olan etkileşimin soyut ve somut ürünlerini içerisinde bulunduran insanların oluşturduğu toplumun ve yerleşimlerin, doğal çevreler tarafından sunulan ve/veya fiziksel sınırlandırmaların iç ve dış sosyal, ekonomik ve kültürel etkenler çerçevesinde gerçekleşen evrimini, niteliklerini açıklayan alanlardır (UNESCO, 2003). Kültürel peyzaj alanları, kültürel peyzaj kavramının geniş kapsamlı tanımına bağlı olarak içerisinde, tarihi, kültürel, doğal ve arkeolojik gibi birçok koruma altına alınması gereken varlıkları içerisinde bulunduran alanlardır. Belirtilen içerikler doğrultusunda da mutlak korunması gerekli olan alan özelliğine sahip olmaktadır.

UNESCO, bulundurduğu niteliklere bağlı olarak 1992 yılında, kültürel peyzajların üstün evrensel nitelikleri ile Dünya Miras Kriterleri kapsamında yer aldıkları ve Dünya Miras Listesine dahil olmalarının mümkün olduğuna karar vermiştir. Bu karar sonrasında kültürel peyzajlar için yapılmakta olan çalışmalar hızlandırılmış, korunmaları konusunda kurallar ve stratejiler belirlenmeye başlamıştır.

Kültürel peyzaj alanlarının korunması kapsamında asıl konu, doğa/insan ve kültür etkileşimi ve bu etkileşim dahilinde oluşan ürünlerin korunmasına yönelik olmalıdır. Korumanın temel amacı, özellikle gelişen kültürel peyzajlar dahilinde gerçekleşmekte olan değişimi, alanın özelliklerinin korunmasını sağlayarak yönetilmesini ve yönlendirilmesi olmalıdır. Söz konusu alanları insan ve doğa etkileşimi ile oluşan arazi kullanımları, yapı biçimleri, yaşam şekilleri, yerleşme nitelikleri ve geleneksel bilgiler kültürel peyzajları korunması gereken farklı değerlerden ayıran niteliklerdir.



İmar Kanunu'na 2013 yılında eklenmiş olan 8/ğ maddesi dahilinde ilk kez mevzuatta bulunan köy tasarım rehberleri, yerel karakterlerin tanınması, korunması, gelişiminin sağlanması ve değerlendirilmesi yönünden önemlidir. Çünkü kırsal alanlar doğal, yerel ve kültürel nitelikleri bakımından özgün değerler barındırmaktadır. Dolayısıyla bu özellikler açısından oldukça önemli bir konumda yer alan kırsal yerleşim alanları için köy tasarım rehberleri geliştirilerek, bu doğrultuda yapılaşmalar geliştirilmelidir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2018).

Belirtilen kültürel alanların korunması gereksinimi, imar kanunu dahilinde bir kavram olarak Türkiye'de sözü edilmeye başlanan köy tasarım rehberleri ile desteklenmektedir. Kırsal alanlar için yasal düzenlemelerin yeterli gelmemesine bağlı olarak da mevzuatta bulunması oldukça büyük önem taşımaktadır. Bulunduğu konum ve uygulamalara bağlı olarak, incelenen pilot projelerde de görüldüğü üzere köy tasarım rehberleri oluşturulması açısından olumlu dönüşler sağlanmıştır. İncelenen projelerde köy tasarım rehberlerinin hazırlanmasında her bir köy için konu ile ilgili uzmanlardan oluşan bir komisyonun oluşturulması, konu hakkında yerel halkın bilgilendirilmesi ve görüşlerine başvurulması, oluşturulacak rapor ile yerel ve bölgesel ölçeklerdeki planların etkileşimli olması üzerinde durularak, kırsal peyzajların önemi vurgulanmaktadır. Belirtilen hedeflere ulaşılması ve özellikle de kırsal peyzajların özgün dokularının sürdürülebilir kılınması konusunda köy tasarım rehberlerinin oldukça etkili bir araç olduğu belirtilebilmektedir.

## Kaynakça

- Ada, E. (2014). İstanbul adaları peyzajında kültürel dinamiklerin etkisiyle oluşan değişimlerin değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Türkiye.
- Ada, E. ve Yener, D. (2017). Türkiye’de kırsal peyzaj yaklaşımı ve Avrupa ülkeleri çerçevesinde bir karşılaştırma. Uluslararası kırsal turizm ve kalkınma dergisi, E-ISSN: 2602-4462, 1 (2): 08-13.
- Akbaş, C. (2021). Kırsal yerleşimlere ilişkin köy tasarım rehberlerinin Tekirdağ - Şarköy - Güzelköy örneğinde uygulanabilirliği. Namik Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Akbaş, C. ve Kiper, T. (2022). Tekirdağ/Şarköy/Güzelköy örneğinde köy tasarım rehberleri ile kırsal alanlarda yerel özgünlüğün korunması. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 18(1), 1-24.
- Akdoğan, G. (2014). Kentleşme sürecinde kırsal yerleşmelerde yaşanan peyzaj değişimlerinin irdelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Baştemur, C. (2013). Özel ilgi turizmi kapsamında mimar sinan kültür rotası, VIII. Sinan Sempozyumu, Edirne.
- Bayar, M. Z. (1977). Peyzaj mimarisi, Türk Tarih Kurumu, Ankara.
- Çelik, Z. (2006). Türkiye’de kırsal planlama politikalarının geliştirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- Council of Europe. (2000). The European Landscape Convention (STE n°176). Erişim tarihi: 20.11.2022, <http://www.coe.int>.
- Eminağaoğlu Z. ve Çevik S. (2005). Kırsal yerleşmelere ilişkin tasarım ve planlama politikalarının bölgesel ölçek içinde değerlendirilmesi. Planlama Dergisi, 2, 72-81.
- Eminağaoğlu, Z. ve Çevik, S. (2007). Kırsal yerleşmelere ilişkin tasarım politikaları ve araçlar. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1).
- Eryazıcıoğlu, M.E. (2012). Kültürel peyzaj alanlarının korunmasına yönelik ilkeler: İstanbul Boğaziçi örneği. MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi İstanbul.
- Gökalp, D. D. ve Yazgan, M. E. (2013). Kırsal peyzaj planlamada agroturizm ve agriturizm. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 2013(1), 25-29.
- Gökçe, G. ve Açiksöz, S. (2015). Kültürel peyzaj bileşenleri ve turizm ilişkisinde görsel peyzaj analizi: Nallıhan-Beydili Köyü örneği. I. Eurasia International Tourism Congress: Current Issues, Trends, and Indicators (EITOC-2015).
- Görmüş, S, Atmış, E., Artar, M., Özkazanç, N. K., Günşen, H. B., Cengiz, S. ve Tekebaş, S. (2015). Küre Dağları Milli Parkı köy tasarım rehberleri (Bartın Bölümü). Bartın, Üniversitesi Yayınları.
- Harvey, A. (2014). Community-led plan making under the unesco aarhus convention ‘toolkit’ for community-led village design statements (clvds) in Ireland. National Planning Conference, The Heritage Council.
- Karakurt Franco, E. ve Franco, M. (2003). ABD’de Katılımcı kırsal planlama uygulamaları: toplum tasarımı araştırma merkezi (TTAM) örneği. Planlama Dergisi, 4, 35-40.
- Kaska, E. (2012). Avrupa Peyzaj Sözleşmesi (APS) ve Türkiye’deki uygulamaların irdelenmesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Kavruk, H., Erdem, T., Öztaş, N., Keleş, İ., Yusuf, P. ve Aktürk, B. (2012). Türkiye’de köy yerleşimi ve yönetimi. 1. basım, TODAĞE Yayınları: 28, Hangar Marka İletişimi Reklam ve Yayıncılık Hizmetleri, Ankara, 282 s.

Kayıkçı, S. (2009). Türkiye’de kırsal alan yönetimi. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi ve Siyaset Bilimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 312s.

Kocaeli Büyükşehir Belediyesi. (2017). Meskun ve gelişme kırsal konut alan yerleşimleri tasarım rehberi. Erişim: 25.11.2022, [https://www.kocaeli.bel.tr/webfiles/userfiles/files/birimler/imar-ve-sehircilik-dairesi-baskanligi/imar-isleri-sube-mudurlugu/KIRSAL\\_ALAN\\_YERLEMELER\\_TASARIM\\_REHBER.pdf](https://www.kocaeli.bel.tr/webfiles/userfiles/files/birimler/imar-ve-sehircilik-dairesi-baskanligi/imar-isleri-sube-mudurlugu/KIRSAL_ALAN_YERLEMELER_TASARIM_REHBER.pdf).

Köroğlu N. T. (2003). Kent kır ayırımında kırın planlanması sorunsalı. Planlama Dergisi, 4, 29-34.

Kut Görgün, E. ve Yörür, N. (2018). Kırsal yerleşmelerde özgün dokunun korunmasında bir araç olarak köy tasarım rehberleri: Ödemiş Bademli örneği. TÜBA-KED.

Küçüköğül, S. (2017). Kırsal yerleşmelerde tasarım rehberi – süreç ve değerlendirmeler – Bursa örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Madran, E. ve Özgönül, N. (2005). Kültürel ve doğal değerlerin korunması. TMMOB Mimarlar Odası.

Mamunlu, H. (2001). Kırsal alanlar/köy yerleşmeleri ve planlama ilişkisinde İstanbul II bütünü örneği. Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İstanbul, 155 s.

Mitchell, D. (2003). California living, California dying: dead labor and the political economy of landscape. In K. Anderson, M. Domosh, S. Pile, & N. Thrift (Eds.), Handbook of Cultural Geography, London: 233-248. <http://dx.doi.org/10.4135/9781848608252.n16>. (30.10.2022).

Mitchell, N., Rossler, M., ve Tricaud, P. M. (2009). World heritage cultural landscapes. A hand book for conservation and management. 4/2/UNESCO/Cult/09/E, World Heritage paper № 26.

Mutlu, B. (2012). Mimarlık tarihi ders notları, 3.baskı, Özdil Basımevi, İstanbul: 9-11.

National Park Service. (2022). Technical preservation services. Erişim tarihi: 06.11.2022. <http://www.nps.gov/history/hps/tps/briefs/brief36.htm>.

Öğdül, H., Olgun, İ. ve Çalışkan, Ç.O., (2015). Kastamonu-Küre Ersizlerdere köy tasarım rehberi (1. Basım) Ankara, Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı Yayınları.

Öğdül, H., Gül, M., Olgun, İ., Yücel, S. D. K. ve Çalışkan, Ç. O. (2018). Küre-Ersizlerdere köy tasarım rehberi; süreç ve yöntem üzerine bir tartışma. Küre-Ersizlerdere Village Design Guide: A Debate on Process and Methodology. Sahibi ve Sorumlu Yazı İşleri Müdürü-Owner and Chief Editor, 1.

Öğdül, H., Yücel, S. D. K., Ünsal, B. Ö. ve Aksümer, G. (2017). Kırsal mekanda yeni düzenleme araçları; köy tasarım şeması, köy tasarım rehberi ve eylem projeleri. New Planning Tools in Rural Areas: Village Design Framework, Village Design Guide and Action Projects. Sahibi ve Sorumlu Yazı İşleri Müdürü-Owner and Chief Editor.

Öksüz, A. M. (2015). Koruma odaklı kırsal alan planlaması bir model önerisi sonuç raporu. Proje No: 108 G 173, 108 G 187 Nolu TÜBİTAK-KAMAG 1007 Projesi.

Olgun, İ., Büken Cantimur, B., Hasgül, E., Turgut, E. ve Ergün, M. (2017). Kastamonu – Küre: kırsal yerleşimden yeni yapıya. İstanbul, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Yayınları.

Owen, S. (1998). The role of village design statements in fostering a locally responsive approach to village planning and design in the UK. *Journal of Urban Design*, 3(3), 199–220.

Owen, S. (2002). Locality and community: Towards a vehicle for communitybased decision making in rural localities in England. *Town Planning Review*, 73, 1–21.

Parks Canada. (2015). Parks Canada. Erişim tarihi: 06.11.2022. <http://www.pc.gc.ca/eng/index.aspx>

Resmi Gazete. (1983). Kültür ve tabiat varlıklarını koruma kanunu. Resmi Gazete Tarihi: 23 Temmuz 1983, Kanun No 2863. Erişim tarihi: 27.11.2022. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.2863.pdf>

Resmi Gazete. (2003). Avrupa Peyzaj Sözleşmesinin onaylanmasının uygun bulunduğu dair kanun. Resmi Gazete tarih 10.06.2003, Kanun No 4881. Erişim tarihi: 27.11.2022. <http://www.basbakanlik.gov.tr>.

Resmi Gazete. (2012). Korunan alanlarda yapılacak planlara dair yönetmelik. Resmî Gazete Tarihi: 19.07.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28358. Erişim tarihi: 27.11.2022. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/03/20120323-20.htm>.

Resmi Gazete. (2014). Mekânsal planlar yapım yönetmeliği. Resmi Gazete Tarihi: 14.06.2014, Resmi Gazete Sayısı: 29030. Erişim tarihi: 27.11.2022. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/06/20140614-2.htm>

Ringbeck, B. (2008). Management plans for world heritage sites. A Practical Guide, German Commission For UNESCO, Bonn.

Sauer, C. O. (1969). Land and life. A selection From The writings of Carl Ortwin Sauer. Ed: J. Leighly, University of California Press, Berkeley.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Turizm Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara: Kalkınma Bakanlığı.

The Heritage Council. (2012). Community-led village design statement – Vds- Toolkit, Ireland.

Tırnakçı, A. (2021). Identifying the value of traditional cultural landscape in rural settlements. *Journal of History Culture and Art Research*, 10(1), 1-15. doi: <http://dx.doi.org/10.7596/taksad.v10i1.2814>

Tok, H. (2017). Köy tasarım rehberleri: Kaş Bezirgan köyü, Camıyanı ve cevizdibi mahalleleri önerisi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

UNESCO. (2003). Cultural landscapes: The challenges of conservation. World Heritage Papers 7, UNESCO World Heritage Centre, Paris.

UNESCO. (2003). World heritage cultural landscapes 1992-2002, World Heritage Papers 6, UNESCO World Heritage Centre, Paris.

UNESCO. (2009). World heritage cultural landscapes, a handbook for conservation and management. World Heritage Papers 26, UNESCO World Heritage Centre, Paris.

Yılmaz, B. ve Atık, G. (2006). Doğal peyzaj özelliklerinin kırsal yerleşimler üzerindeki etkileri: Bartın örneği. ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 8 (1).

## Ham ve Temperlenmiş DIN 41Cr4 ve 30MnB4 Çeliklerinin Morfolojilerinin Karşılaştırılması

Murat ESKİL<sup>1</sup>  
Sefer GÜLEKEN<sup>2</sup>

### Giriş

Bilindiği gibi her sene milyonlarca araç üretilmektedir. Dayanıklılık ve kaliteden ödün vermeden daha ekonomik malzeme kullanmak üretim maliyeti için çok önemli bir faktördür. Çelik genellikle % 2'den daha az miktarlarda karbon içeren demir esaslı bir alaşımdır. Karbon çeliği ise kendisine has özellikleri ve içerdiği karbon oranına göre isimlendirilir. Karbon çeliği metal sanayisinde en yaygın kullanılan malzemelerden bir tanesidir. Alaşımlı çelikler, karbon dışındaki diğer elementlerin oranlarına göre adlandırılan çeliklerdir (Gandy, 2007). Makine parçalarının imalatında uygun malzeme seçimi ile birlikte bu malzemelere uygulanan ısıl işlemlerinde büyük önem arz ettiği bilinmektedir. DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çelikler otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılır (Kam vd.2016, Bayrak vd., 2006). DIN 41Cr4 (AISI 5140) ve DIN 42CrMo4 (AISI 4140) düşük alaşımlı çelikler, otomotiv endüstrisinde krank milleri, araç ön aksları, aks burçları ve direksiyon aksamı gibi sürüş sistemi parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler ısıl işlem görebilir, soğuk ve sıcak şekillendirme uygulamaları için uygundur (Xinbo vd., 2002). Malzeme maliyeti kullanılan ölçülere göre değişkenlik gösterebilir fakat genelde 42CrMo4 çeliğinin maliyeti 41Cr4 çeliğinin maliyetinden daha yüksektir. 41Cr4 ve 42CrMo4 malzemeler orta karbonlu çeliklerdir. Bu alaşımlı çeliklerin, mekanik özelliklerini arttırmak için ısıl işlem (Homojenizasyon, su verme ve menevişleme vb.) yapılabilir. Bu malzemeler çoğunlukla menevişlenmiş olarak ve martensitik mikro yapıda kullanılır. Menevişleme işlemi ile martensitik çeliğin gevrek yapısı iyileştirilir (Bayrak vd., 2006). 42CrMo4 çeliğinin 41Cr4 çeliğinden farkı 42CrMo4 çeliğinin % 0,15-0,30 oranlar arasında Mo içermesidir. Bu durum Tablo 1.1 de açıkça görülmektedir. Tablo 1.1 de ayrıca 41Cr4 ve 42CrMo4 çelikleri ile farklı yayınlarda mukayese edilen 20MnB4, 30MnB4, C45 ve C70 çeliklerin kompozisyonları verilmiştir. Tablo 1.1 de verilmiş olan 41Cr4 ve 42CrMo4 alaşımlarına Cr eklenmesi ile ve 42CrMo4 alaşımına molibden eklenmesiyle daha iyi ısıl işlem yapılabilir ve böylece değişik dayanım ve duktilite (süneklik) kombinasyonları elde edilir. Daha da önemlisi, orta karbonlu çeliklere molibden eklenmesi, bu çeliklerin ısıl işlem sonrası gevrekliklerini gidermeyi sağlar (Bayrak vd., 2006).

---

<sup>1</sup> Prof.Dr.Murat ESKİL, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı Orcid: 0000-0001-9192-019

<sup>2</sup> Mak.Müh.,Sefer GÜLEKEN, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Orcid:

Tablo 1.1: Malzemelerin kimyasal kompozisyonu (ağ. %)

	DIN 41Cr4 (AISI 5140)	DIN 42CrMo4 (AISI 4140)	20MnB4 (1.5525)	30MnB4 (1.5526)	C45	C70
<b>C</b>	0,38-0,45	0,38-0,45	0,18-0,23	0,27-0,32	0,40-0,45	0,68-0,73
<b>Si</b>	≤0,40	≤0,40	Max 0,30	Max 0,30	0,10-0,30	0,10-0,30
<b>Mn</b>	0,60-0,90	0,60-0,90	0,90-1,20	0,80-1,10	0,50-0,80	0,50-0,80
<b>P</b>	≤0,035	≤0,035	Max 0,025	Max 0,025	Max 0,035	Max 0,035
<b>S</b>	≤0,035	≤0,035	Max 0,025	Max 0,025	Max 0,035	Max 0,035
<b>Cr</b>	0,90-1,20	0,90-1,20	Max 0,30	Max 0,30	Max 0,20	Max 0,15
<b>Mo</b>	-	0,15-0,30	-	-	Max 0,05	Max 0,05
<b>Cu</b>	-	-	Max 0,25	Max 0,25	Max 0,30	Max 0,25
<b>Ni</b>	-	-	-	-	Max 0,25	Max 0,20
<b>B</b>	-	-	0,0008-0,005	0,0008-0,005	-	-

Mn-B çeliği, Cr ve Ni yerine Mn ve B içeren düşük yapılı bir alaşımdır. B elementinin eklenmesi, çeliğin sertleşebilirliğini ve ısıtılardan sonra çeliğin aşınma direncini önemli ölçüde iyileştirebilir. Mn-B çeliği, pulluk makinesi, öğütücü ve biçerdöverin aşınma kısmı için kullanılabilir (Güler vd., 2007). 20MnB4 ve 30MnB4 soğuk şekillendirme C45 ve C70 çeliklerinin vida, somun ve cıvata gibi ürünleri, homojen bir yapı, tutarlı mekanik özellikler, küçük boyutlu toleranslar ve soğuk plastik işlemeye karşı iyi duyarlılık ile karakterize edilmektedir. Bu çeliklerin kolayca kaynaklanabilir olması, karmaşık şekillere (çatlaksız, boyunsuz) sahip ürünlerin ekonomik olarak üretilmesini sağlamaktadır.

Yüksek mukavemetli çelik cıvatalar, endüstride statik veya mekanik yüklemeler altında makine parçalarını monte etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, çelik cıvataların mekanik özellikleri, cıvata üreticisinin akma dayanımı, gerilme mukavemeti ve sertlik gibi gerekli değerleri karşılaması için çok önemlidir. Malzemenin mekanik mukavemeti ısıtılardan sonra iyileştirilebilir (Kınıt vd., 2014).

Cıvatalar, nispeten küçük boyutlarına rağmen, makinelerin, cihazların, araçların, yapıların veya binaların dayanıklılığında ve güvenilirliğinde en yaygın kullanılan ve önemli rol alan bağlantı elemanlarıdır. Bağlantı elemanlarının uygulamalarının çeşitliliği, kalite ve performansları için ilgili gereklilikleri beraberinde getirir. Cıvata üretim yöntemleri soğuk dövme, sıcak dövme ve işleme, ovalama ile dış açmadır (Bickford, 1998). Cıvataların imalatında en avantajlı mekanik özellikleri elde etmek ve aynı zamanda malzeme tasarrufu sağlamak amacıyla kullanılan en yaygın yöntem soğuk dövme yöntemidir. Daha sonrada talaş kaldırmadan ovalama yöntemi ile dış açarak üretimi gerçekleştirmektedir. Cıvataların işlevsel özelliklerinin iyileştirilmesi, ısıtılardan uygulanarak da elde edilebilir (Bobylev, 2002; Satanovskii, 1979). Bu nedenle, bağlantı elemanlarının fonksiyonel özellikleri çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler imalat yöntemi (Ivanov, vd., 1983), üretim için kullanılan malzeme, imalat işlemi sırasında ısıtılardan ve ek kaplamaların uygulanması (Klyachkin, 1988) gibi montajla ilgili hususlar, cıvata şekli (Bobylev, 2002), yağlama, dış aralığı, delik açıklığı, uygulanan tork ve sıkma kuvveti, sıkma hızı ve sıkma ve gevşetme sayısıdır. Bunlardan bazıları montaj işlemi üzerinde diğerlerine göre daha fazla etkiye sahiptir.

Bu çalışmada, 41Cr4 ve 30MnB4 çeliklerinin temperleme ve menevişleme sonucu ortaya çıkan mikroyapı ve mekanik özellikler incelenmiştir. 30MnB4 çeliğinin Tablo.1.2 de görülen ISO 898-1 standartında verilen 10.9 ve 12.9 kalite sınıfına eşdeğer mekanik özelliklerden çekme gerilimi, akma dayanımı ve sertlik değerleri bakımından ISO 898-1 standartında belirtilen mekanik özellikler elde edilmeye çalışılacaktır. 30MnB4 çeliğinin bijon üretimine uygun olabilmesi için işletmeler

çekme-akma ve sertlik deneyleri gibi statik deneylerin yanı sıra ilave deney sonuçları istememektedir. Bu yüzden bu çalışmada da çekme, akma ve sertlik verileri kıyaslanacaktır. 30MnB4 çeliğin mikro yapısı temperlenmiş martensittir ve 860°C'de ISOMAX 169 yağda soğutma ve ardından beş farklı sıcaklıkta temperlemeden sonra oluşan faz yapıları tayin edilmeye çalışılmıştır. Geleneksel su verme sıcaklığının 30MnB4 çeliğin mikroyapısı ve özellikleri üzerindeki etkileri literatürde nadiren incelenmiştir, bu nedenle bu çalışmada, sanayide gerçekleştirilebilecek üretime rehberlik etmek için farklı menevişleme sıcaklıklarının mikroyapısı ve 30MnB4 çeliğinin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

**Tablo 1.2.** ISO 898-1 Standardı Çekme, Akma ve Sertlik Değerleri

KALİTE SINIFI	ÇEKME	AKMA	SERTLİK	
	GERİLİMİ R <sub>m</sub> MP <sub>a</sub>	GERİLİMİ R <sub>p0,2</sub> MP <sub>a</sub>	VİCKERS (HV)	ROCKWELL (HRC)
10.9	1000-1040	900-940	320-380	32-39
12.9	1200-1220	1080-1100	385-435	39-44

## 2. MALZEME ve YÖNTEM

41Cr4 ve 30MnB4 çeliklerinin kimyasal bileşimi Tablo 1.1'de gösterilmektedir. Ticari olarak elde edilmiş olan 41Cr4 ve 30MnB4 çelikleri 860 °C de tavlanylıp Isomax 169 ısı işlem yağında soğutma yapılmış ve daha sonra Tablo 2.1 de verilen sıcaklıkta gerçekleştirilmiş olan temperleme işlemi sonucu farklı faz yapıları tespit edilmiştir. Temperleme işlemi gerçekleştirilen numuneler yağ ortamında soğutulmuştur.

**Tablo 2.1.** Homojenizasyon sıcaklığına göre numune adları.

Sıcaklık	Malzeme Cinsi ve Numune Adı		Açıklama
	41Cr4	30MnB4	
HAM	41-H	30-H	Isıl işlem görmemiş
860 °C	41-T	30-T	860 °C'de Tavlama

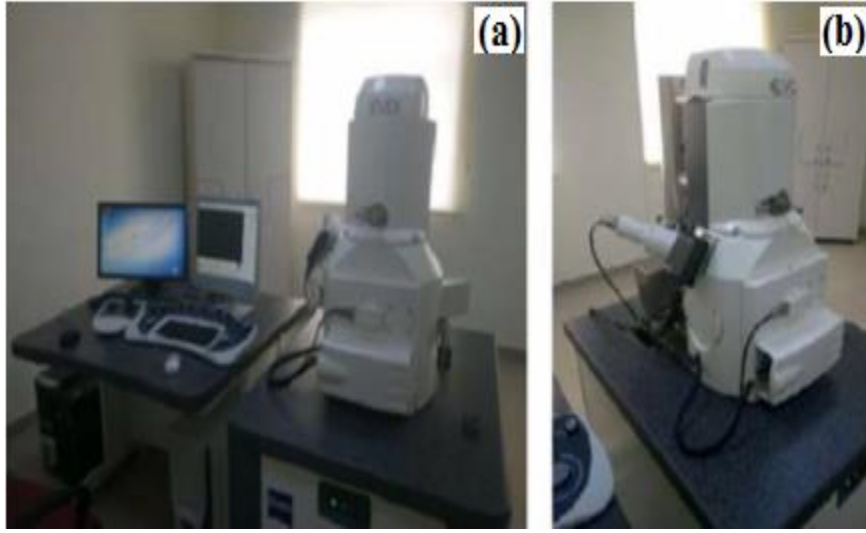
Tüm numunelerin SEM fotoğrafları çekildi ve EDS analizleri yapıldı. Numunelerin tümünün optik mikroskop görüntüleri elde edildi.



**Şekil 2.1.** Hazırlanan Numune tanımlaması

## 2.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri ve EDS Analizleri

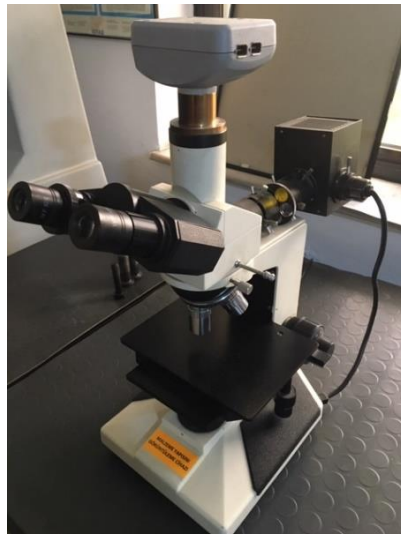
Ø22x25 mm ebatlarında kesilen metalografik numuneler faz yapılarının gözlenmesi amacıyla Tablo 1.1’de verilen alaşımlara Tablo 2.1’deki ısıl işlemler uygulandı. Isıl işlem uygulanan bu numuneler daha sonra Metkon marka DIGIPRESS bakalit cihazında kalıba alındı. Bakalite alınan numuneler parlatma işleminden sonra %25 etanol- %75 HCl dağlama işlemine tabi tutuldu. Malzemelerin mikroyapısı Şekil 2. 2 de verilmiş olan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM, ZEISS EUO LS 10) ile gözlenmiştir. Numuneler cihaza yerleştirilmeden önce altın ve platinyum ile kaplandı. EDS analizlerinin alındığı Zeiss Evo 40 marka Ametek EDAX model Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDX) ile çalışmada incelenen numuneler içerisindeki madde miktarlarının dağılımı ölçülmüştür.



Şekil 2.2. a) Zeiss Marka EVO 40 model SEM, b) EDX Marka EDAX.

## 2.2 Optik Mikroskop Gözlemleri

Tablo 1.1 de kompozisyonları ve 2.1’de ısıl işlemleri verilmiş olan optik mikroskop numunelerin gözlemleri için numuneler SEM numunelerine benzer şekilde hazırlandı. Dağlama işlemi bitince numuneler Şekil.2.3 Nikon MA 200 Invert tipi optik metal mikroskobunda görüntü analizleri yapıldı.

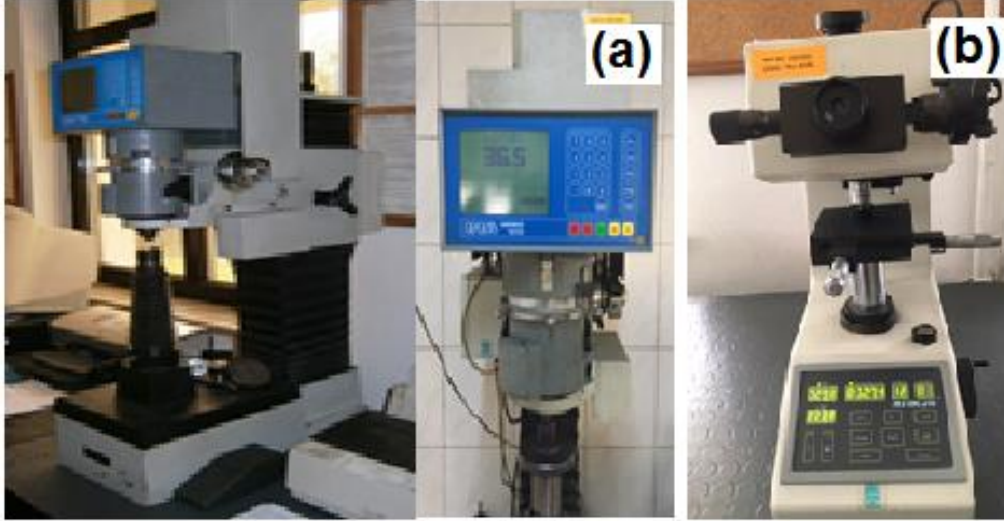


Şekil 2.3. Nikon MA 200 Invert tipi optik metal mikroskobu

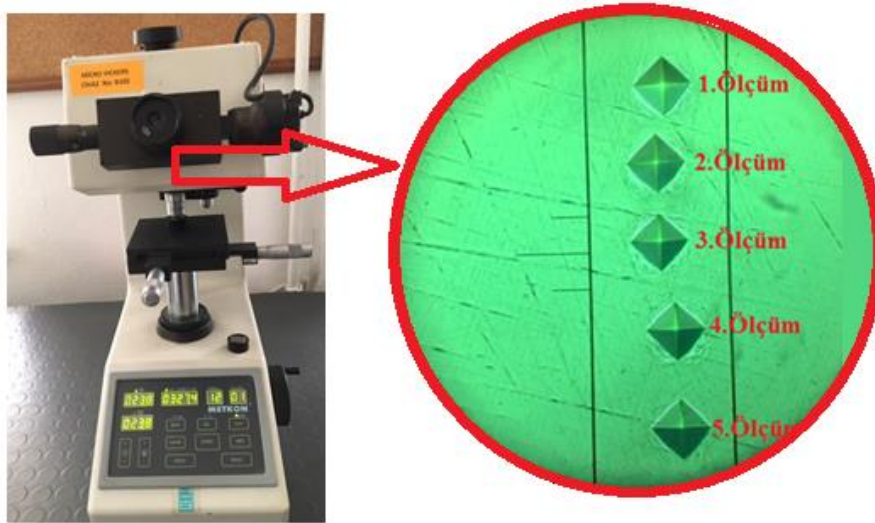


## 2.3 Sertlik Ölçümleri

Şekil 2.1 de verilen numunelerin sertlik değerlerini elde etmek için Rockwell-C ve Mikro vickers sertlik ölçümleri alındı. Sertlik ölçümleri Şekil 2.4 de verilmiş olan Rockwell-C için 150 kg. yükle AT200 Ernst marka, Mikro vickers için 100 gramlık yükle Metkon marka cihaz kullanıldı. Her bir numune için beş ölçüm alınarak yapıldı.



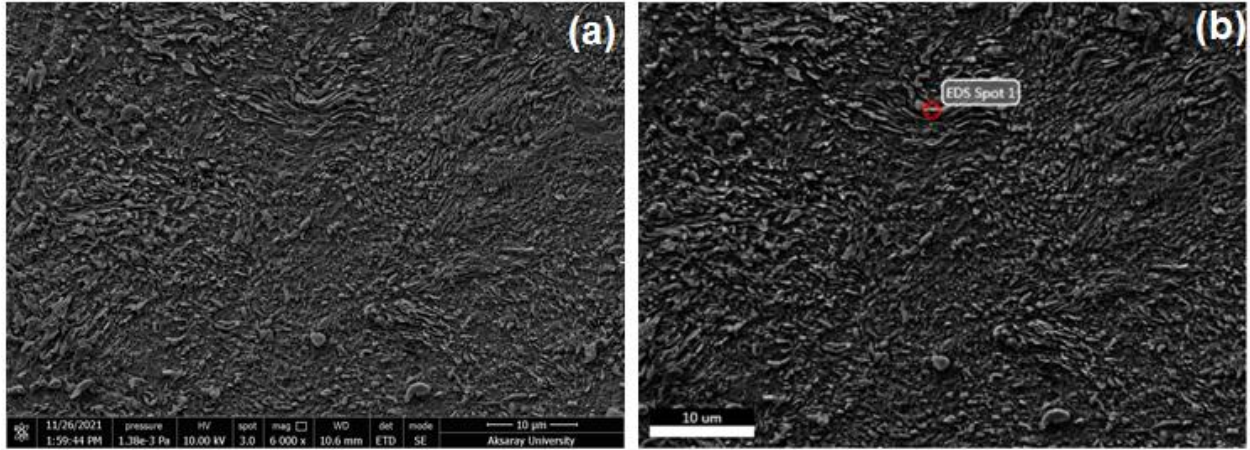
Şekil 2.4 Sertlik cihazları a) Rockwel-C b) Mikro Vickers



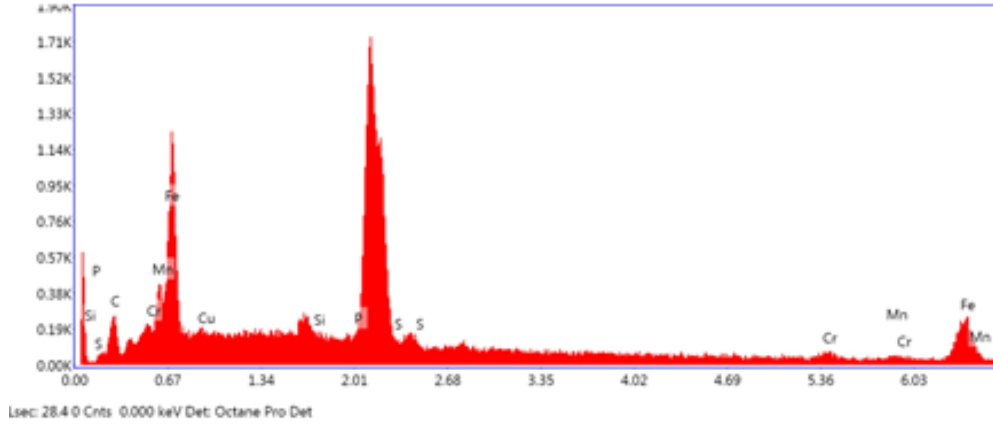
Şekil 2.5. Alınan Mikro vickers sertlik ölçümleri.

## 3. BULGULAR

41Cr4 çeliğinin ham numunesine (41-H1) ait SEM görüntüsü Şekil 3.1a da verilmiştir. Şekil 3.1b de ise aynı mikrograf üzerinden EDS analizi alınan bölge verilmiştir. Tablo 3.1 de Şekil 3.1b de verilen EDS bölgesinin ve Şekil 3.2 de verilen pikin element kompozisyonu verilmiştir. Şekil 3.1 b de verilen bölge malzemenin genel kompozisyonu ile karşılaştırıldığında, söz konusu bölgenin Fe açısından daha fakir olduğu, diğer elementler açısından yığılmanın daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.1. 41Cr4 çeliğinin ham numunesine (41-H) ait SEM görüntüsü ve analiz alınan nokta.



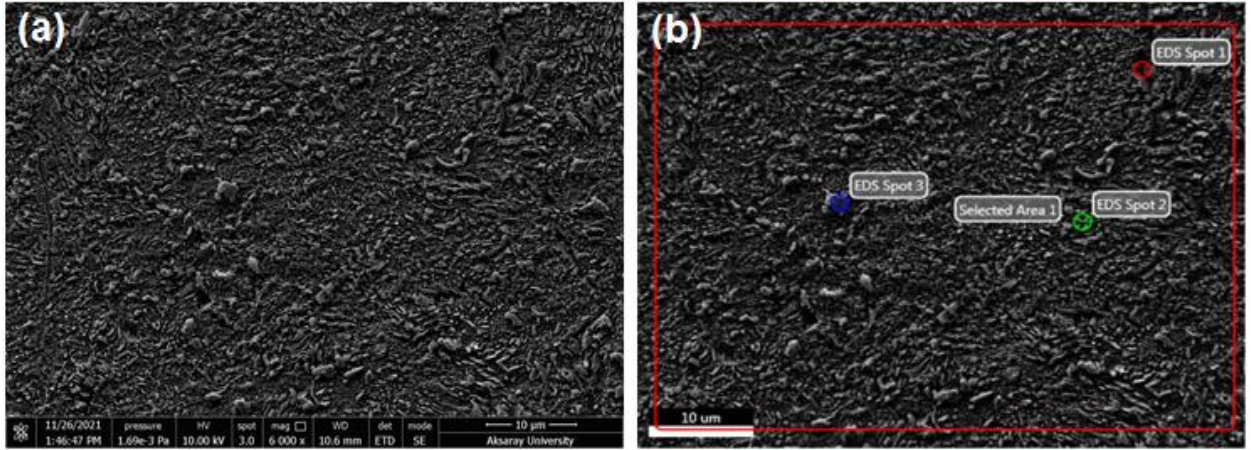
Şekil 3.2. 41Cr4 Çeliğinin ham numunesinden (41-H1) alınan EDS analiz pikini.

Tablo 3.1. 41-H1 numunesinden alınan EDS analiz pikine ait element kompozisyonu.

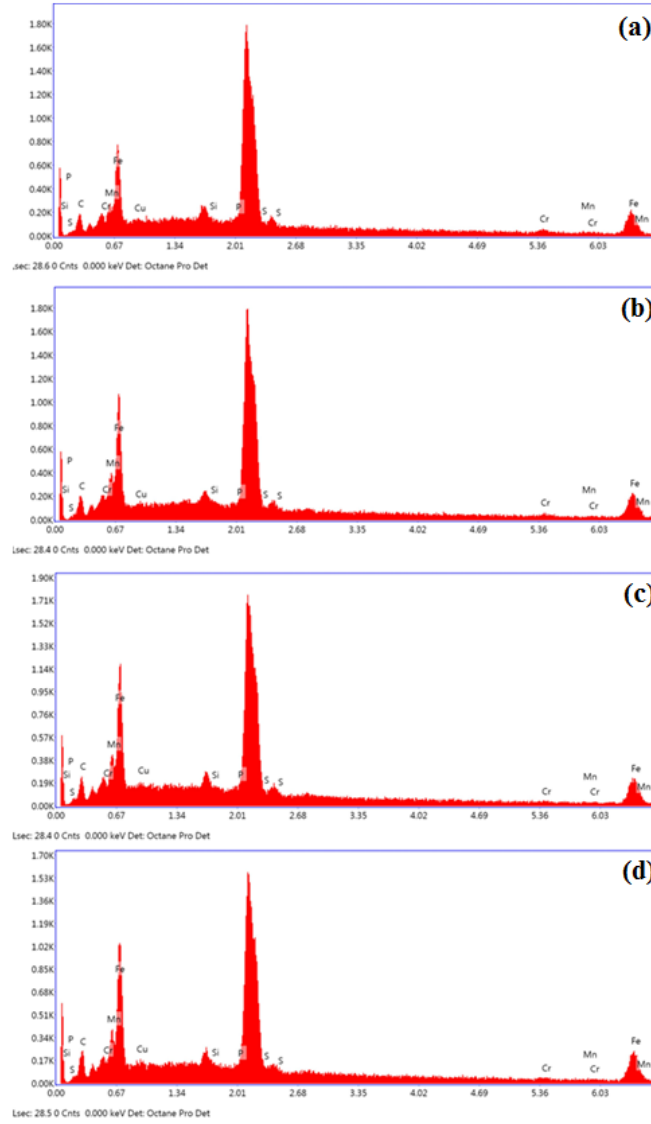
Element	EDS Spot 1							
	C <sub>K</sub>	Fe <sub>L</sub>	Cu <sub>L</sub>	Si <sub>K</sub>	P <sub>K</sub>	S <sub>K</sub>	Cr <sub>K</sub>	Mn <sub>K</sub>
Wt. %	21.10	41.70	1.71	2.72	11.68	14.04	4.06	2.99
At. %	49.16	20.87	0.75	2.70	10.55	12.25	2.18	1.54

41Cr4 çeliğinin ham numunesine (41-H2) ait diğer bir SEM görüntüsü de Şekil 3.3a da verilmiştir. Şekil 3.3b de ise aynı mikrograf üzerinden EDS analizi alınan bölgeler verilmiştir. Tablo 3.2 de Şekil 3.3b de verilen EDS bölgelerinin ve Şekil 3.4 de verilen piklerin element kompozisyonu verilmiştir. Şekil 3.3b de verilen bölgeler malzemenin genel kompozisyonu ile karşılaştırıldığında, söz konusu bölgelerin Fe açısından daha fakir olduğu, diğer elementler açısından yığılmanın daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. EDS Spot 3 olarak anılan büyük topaklanmanın element dağılımının malzemenin genel element kompozisyonu ile aynı olduğu görülmektedir. EDS Spot1 ve EDS Spot 2 nin ise Cr ve Mn açısından zenginleştiği anlaşılmaktadır. 41Cr4 çeliğinin ham numunesine (41-H3) ait diğer bir SEM görüntüsü de Şekil 3.5 de verilmiştir.

Şekil 3.6a, Şekil 3.6b, Şekil 3.6c, Şekil 3.6d ve Şekil 3.7, 41Cr4 çeliğinin tavlama yapılmış numunesinin SEM görüntülerini içermektedir. Tüm mikrograflardan da anlaşılacağı gibi malzemenin temperlenmiş hali martensit plakalarını içermektedir. Şekil 3.7, Şekil 3.6d nin analiz alınmış bölgelerini ve Şekil 3.8 de bu bölgelerden alınan pikleri göstermektedir. Mikrografın genelinden alınan element analizinden de anlaşılacağı gibi mikrografın bütününün C oranı diğer bölgelerden yüksek çıkmaktadır.



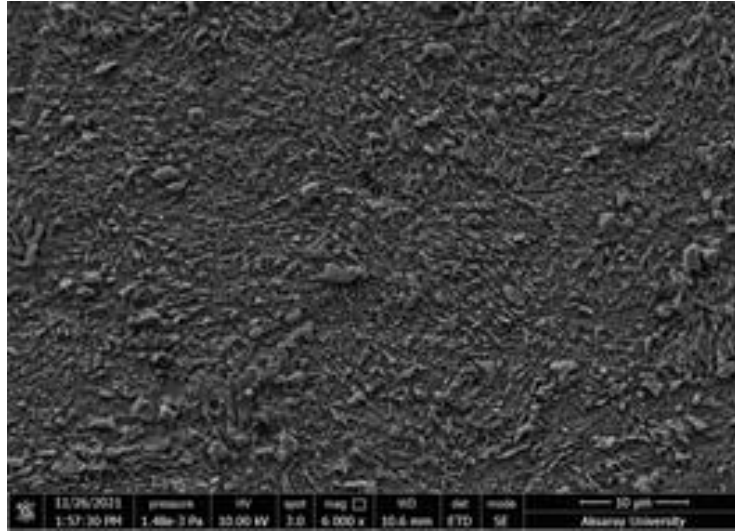
Şekil 3.3. 41Cr4 Çeliğinin ham numunesine (41-H2) ait a) SEM görüntüsü b) EDS analizi alınan bölgeler.



Şekil 3.4. 41-H2 numunesine ait SEM pikleri a) EDS Spot 1 b) EDS Spot 2 c) EDS Spot 3 d) Selected Area 1

Tablo 3.2. 41-H2 numunesinden alınan EDS analiz pikine ait element kompozisyonu.

Element	EDS Spot 1		EDS Spot 2		EDS Spot 3		Selected Area 1	
	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %
C <sub>K</sub>	18.19	43.64	19.15	45.53	22.75	51.20	22.75	51.20
Fe <sub>L</sub>	31.69	16.36	40.15	20.55	42.01	20.33	42.01	20.33
Cu <sub>L</sub>	0.01	0.00	0.04	0.02	0.53	0.22	0.53	0.22
Si <sub>K</sub>	2.79	2.87	2.57	2.62	2.32	2.24	2.32	2.24
P <sub>K</sub>	13.74	12.78	13.38	12.35	12.48	10.89	12.48	10.89
S <sub>K</sub>	17.12	15.39	15.81	14.10	14.97	12.62	14.97	12.62
Cr <sub>K</sub>	10.89	6.04	6.75	3.71	2.44	1.27	2.44	1.27
Mn <sub>K</sub>	5.57	2.92	2.14	1.11	2.48	1.22	2.48	1.22



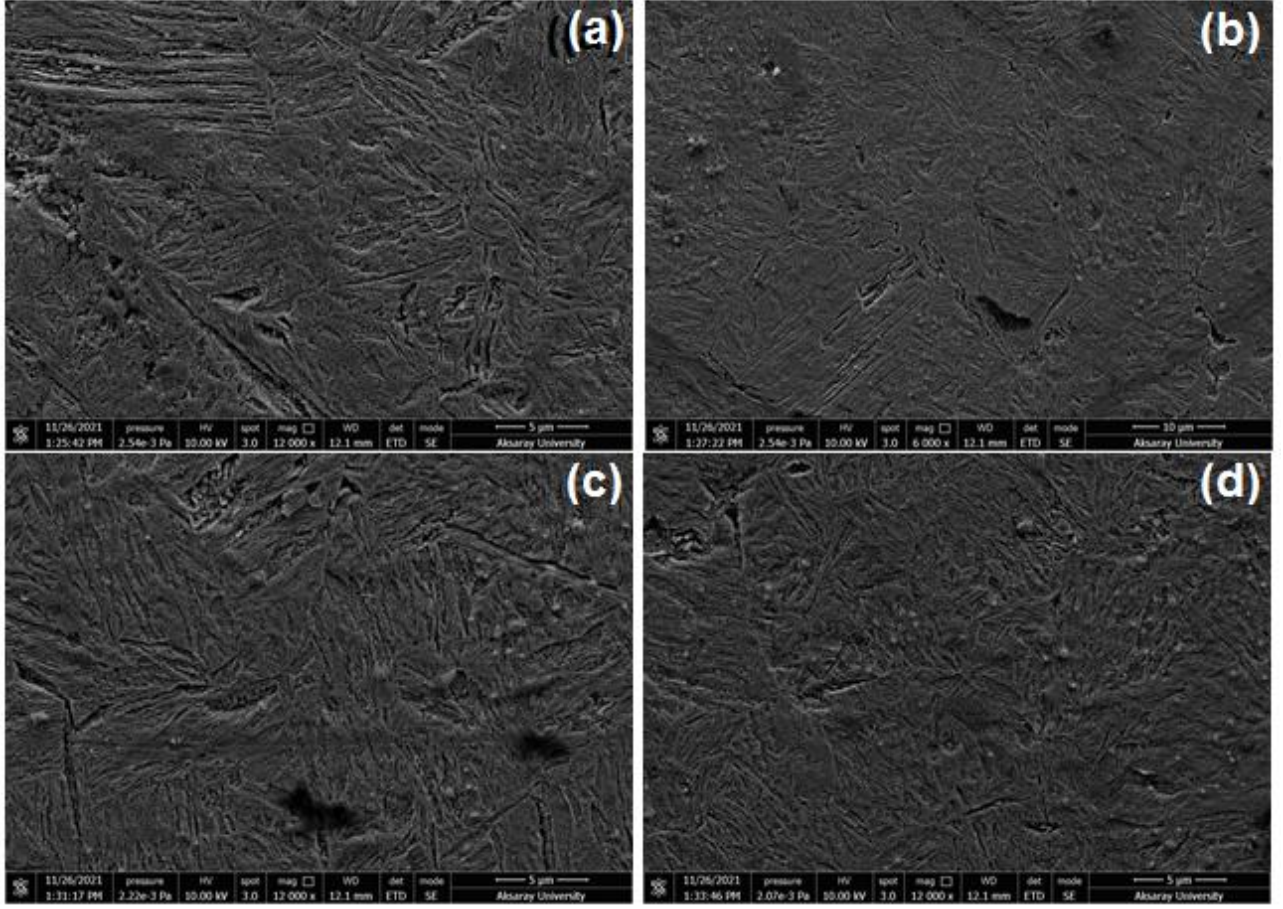
Şekil 3.5. 41Cr4 Çeliğinin ham numunesine (41-H3) ait SEM görüntüsü.

Martensit fazı görülen temperlenmiş 30MnB4 çeliğine ait Şekil 3.9a detaylı bir şekilde incelendiğinde martensit yapılanmalarının homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bor içeren 30MnB4 te martensit morfolojisinin bor içermeyen 41Cr4 e göre daha farklı olduğu anlaşılmıştır. Şekil 3.9b, 30MnB4 çeliğinin tavlama yapılmış numunesinin SEM görüntüsünü içermektedir. Şekil 3.9c, Şekil 3.9b nin EDS analiz alınmış bölgelerini ve Şekil 3.10 da bu bölgelerden alınan pikleri göstermektedir. Tablo 3.4 de verilen element analizinden de anlaşılacağı gibi martensit fazı olarak değerlendirilen EDS Spot 1 analizi Cu ve S oranı açısından diğer bölgelerden yüksek çıkmaktadır.

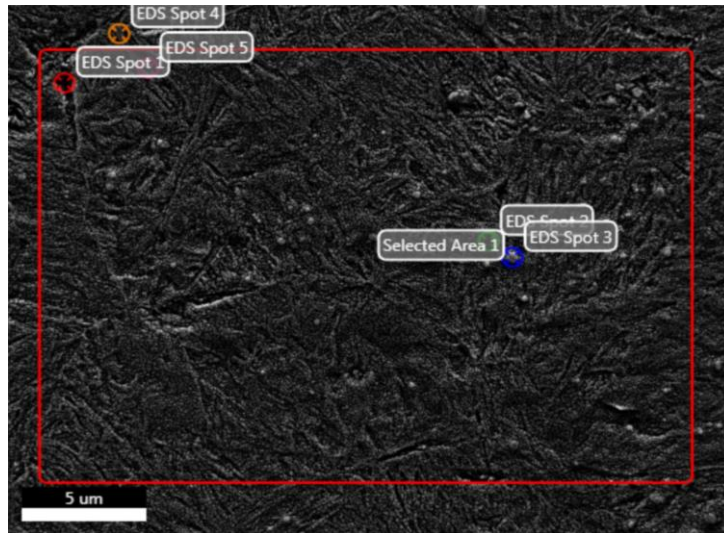
Bu çalışmada 41Cr4 çeliğinin ham numunelerine (ısıl işlem görmemiş) ait metal mikroskobu görüntüleri Şekil 3.11a, Şekil 3.11b’de verilmiştir. 30MnB4 çeliğinin ham numunesine ait metal mikroskobu görüntüleri ise Şekil 3.12a ve Şekil 3.12b de verilmiştir. Her iki alaşım içinde martensit yapılanmaları gözlemlenememiştir. 41Cr4 ve 30MnB4 ün ham numunelerinin morfolojilerinin birbirinden çok farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 3.13a, Şekil 3.13b ve Şekil 3.13c de verilmiş olan ve 41Cr4 çeliğinin 860 °C tavllanmış numunesine ait metal mikroskobu görüntüleri malzemenin içerisinde tamıyla martensit fazı ile dolu olduğunu göstermektedir. 30MnB4 çeliğinin 860 °C tavllanmış numunesine ait metal

mikroskobu görüntüleri ise Şekil 3.14a, Şekil 3.14b, Şekil 3.14c, Şekil 3.14d ve Şekil 3.14e de verilmiştir. Her iki alaşımın tavllanmış numunelerinin birbirinden çok farklı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.6. 41Cr4 Çeliğinin Tavlama yapılmış numunesinin (41-T1) SEM görüntüsü.

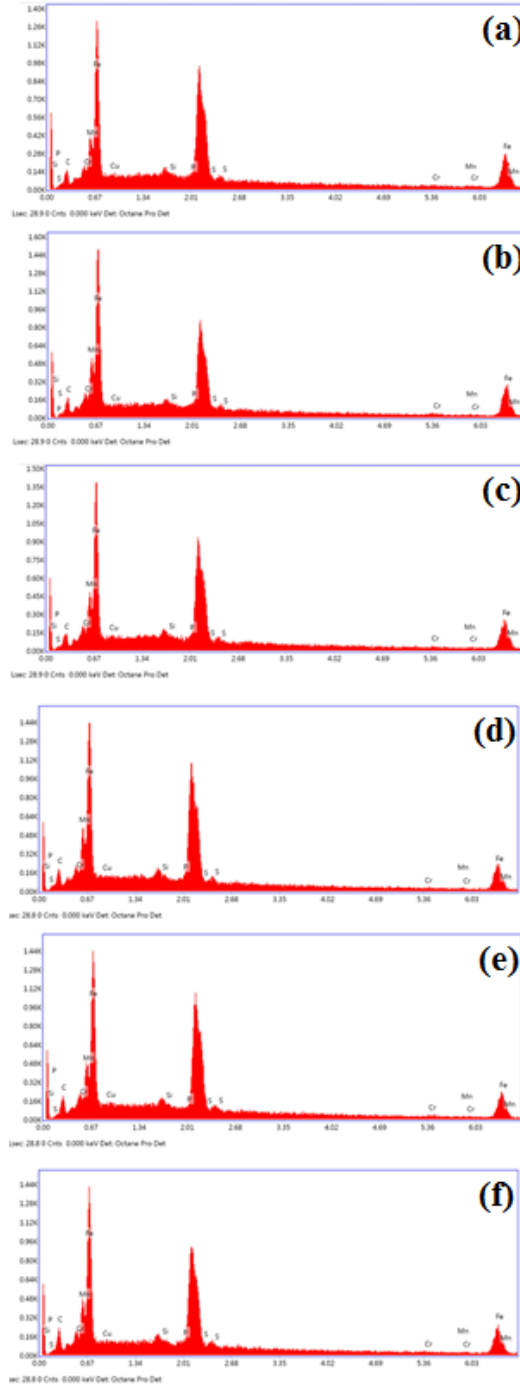


Şekil 3.7. 41-T4 numunesine ait SEM görüntüsü üzerinde alınan EDS analiz

30MnB4 ve 41Cr4 çeliklerine uygulanan tavlama işleminin etkisini araştırmak için malzemeler austenit bölgesine kadar ısıtılıp yağda soğutulmuşlardır. Sonuç olarak, tavlama işlemine bağlı olarak en yüksek sertlik artış oranının 41Cr4 çeliğinde olduğu belirlenmiştir. Literatürdeki anlatılan çalışmalar incelendiğinde; civata için istenilen mukavemet sınıfının elde edilmesi amacı ile

üretile her hammadde cinsine göre istenilen sertlik değeri – mukavemet sınıfı için uygulanacak olan ısıt işleminin ve prosesinin farklı olacağı sonucuna varılmıştır. Çelik malzemelerin kimyasal özelliklerini değiştirmeksizin, ısıt işlemin uygulanarak malzemenin dayanımı, sünekliliği ve sertliği gibi mekanik özellikler değiştirilebilmektedir (Kınıt vd., 2014).

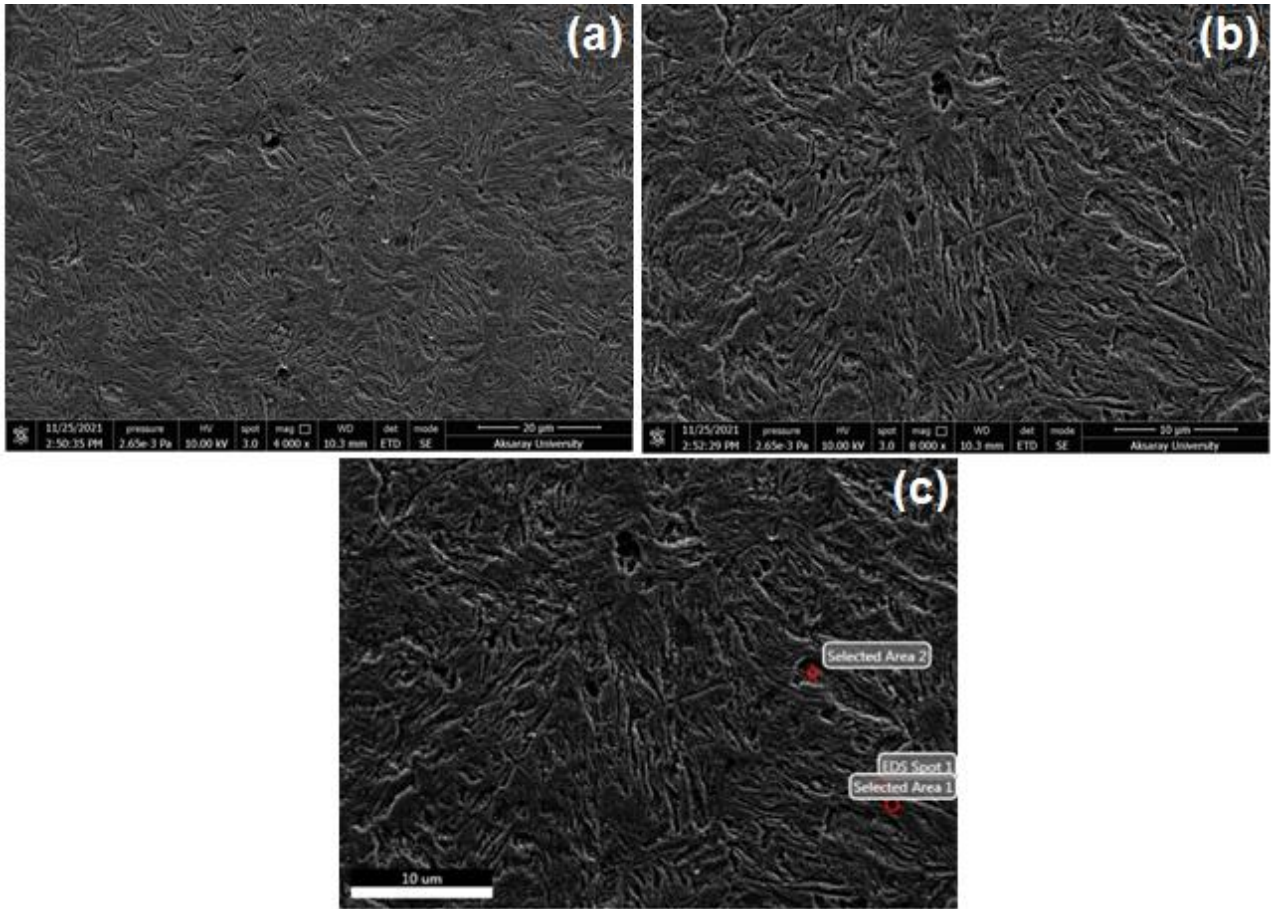
Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 den, 860 °C de uygulanan tavlama işleminin 41Cr4 çeliğini 30MnB4 çeliğinden çok daha sert hale getirdiği anlaşılmıştır. Tavlama işlemi uygulandığında 41Cr4 çeliğinin sertliğinin yaklaşık 40 HRC arttığı, ancak 30MnB4 çeliğin sertliğinin ise yaklaşık 36 HRC arttığı görülmektedir.



Şekil 3.8. 41-T4 numunesinin EDS pikleri a) Spot 1 b) Spot 2 c) Spot 3 d) Spot 4 e) Spot 5 f) Seçilmiş Alan 1.

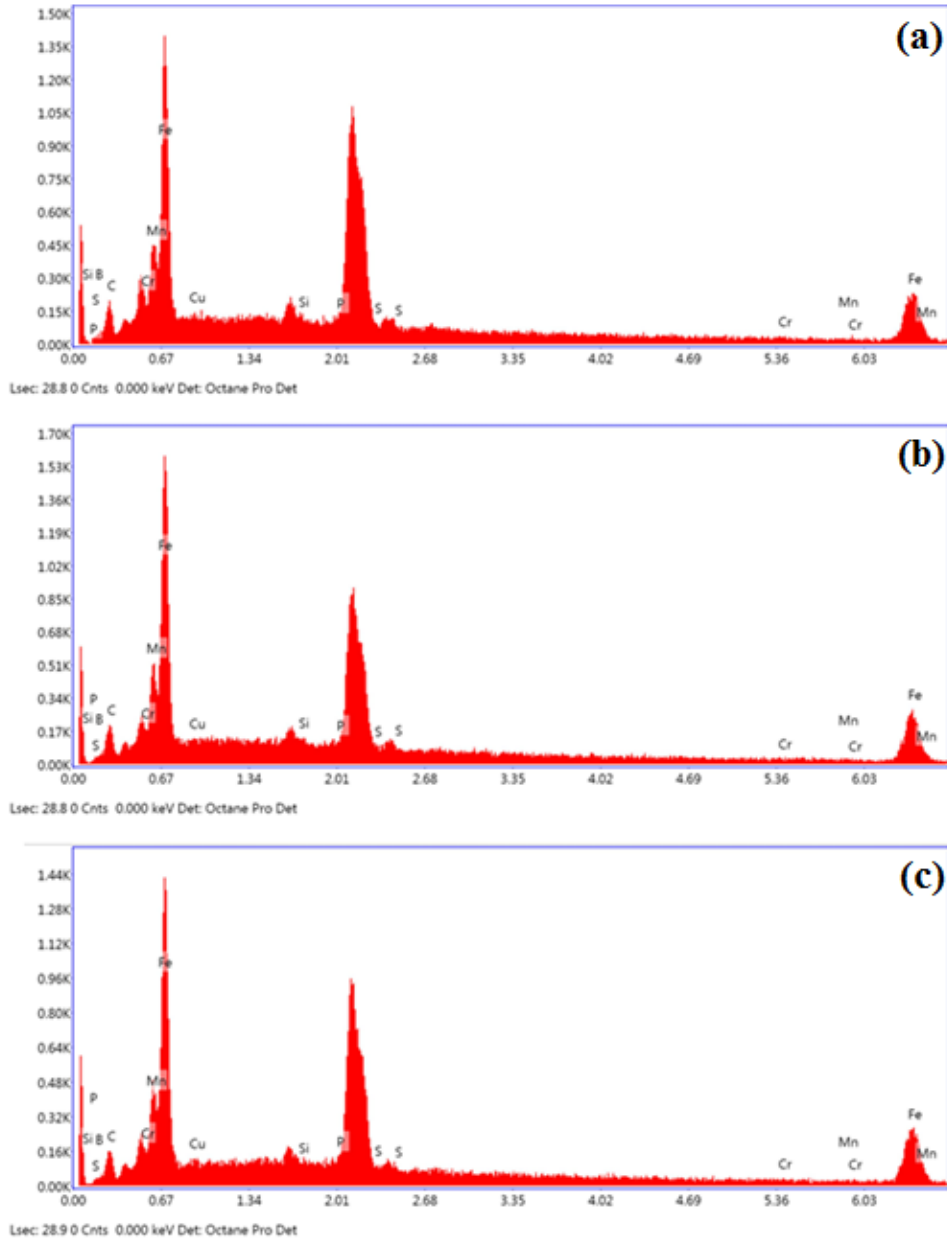
Tablo 3.3. 41-T4 numunesinin EDS analiz pikine ait element kompozisyonu.

Element	EDS Spot 1		EDS Spot 2		EDS Spot 3		EDS Spot 4		EDS Spot 5		Seçilmiş Alan 1	
	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %
C <sub>K</sub>	10.70	32.56	11.44	34.63	12.77	36.76	14.41	39.75	15.27	41.49	17.19	44.85
Fe <sub>L</sub>	56.65	37.02	63.18	41.14	62.33	38.63	59.54	35.32	57.28	33.47	58.21	32.67
Cu <sub>L</sub>	1.53	0.87	1.28	0.73	1.27	0.69	1.84	0.96	2.56	1.31	1.42	0.70
Si <sub>K</sub>	1.75	2.27	1.41	1.83	1.80	2.22	2.28	2.69	2.07	2.41	2.03	2.27
P <sub>K</sub>	7.43	8.75	6.44	7.55	8.05	8.99	8.36	8.94	7.79	8.21	8.18	8.28
S <sub>K</sub>	7.73	8.80	6.63	7.52	8.70	9.39	9.46	9.78	9.60	9.78	9.22	9.02
Cr <sub>K</sub>	7.35	5.16	6.18	4.33	3.41	2.27	2.18	1.40	3.07	1.93	2.10	1.26
Mn <sub>K</sub>	6.86	4.56	3.44	2.28	1.65	1.04	1.92	1.15	2.35	1.40	1.64	0.94



Şekil 3.9. 30MnB4 Çeliğinin Tavlanmış numunesine (30-T2) ait a ve b) SEM görüntüsü.c) EDS analizi alınmış bölgeler.

Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 den de görüldüğü gibi tavlama işlemi ile martensitik çeliğin yapısı gevrek hale gelmiştir.

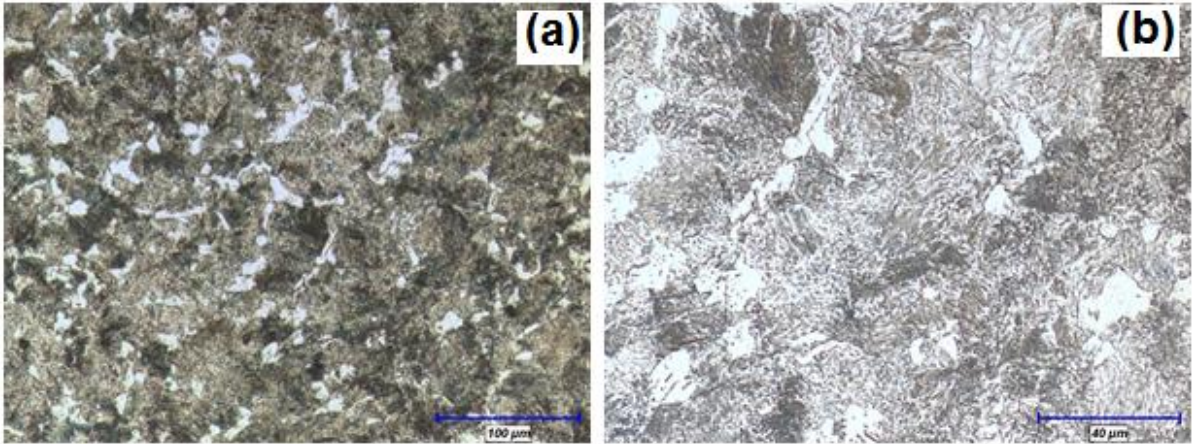


Şekil 3.10. 30MnB4 Çeliğinin tavlama yapılmış numunesine (30-T2) ait SEM pikleri a) EDS Spot 1 b) Selected Area 1 c) Selected Area 2 (Seçili Alan).

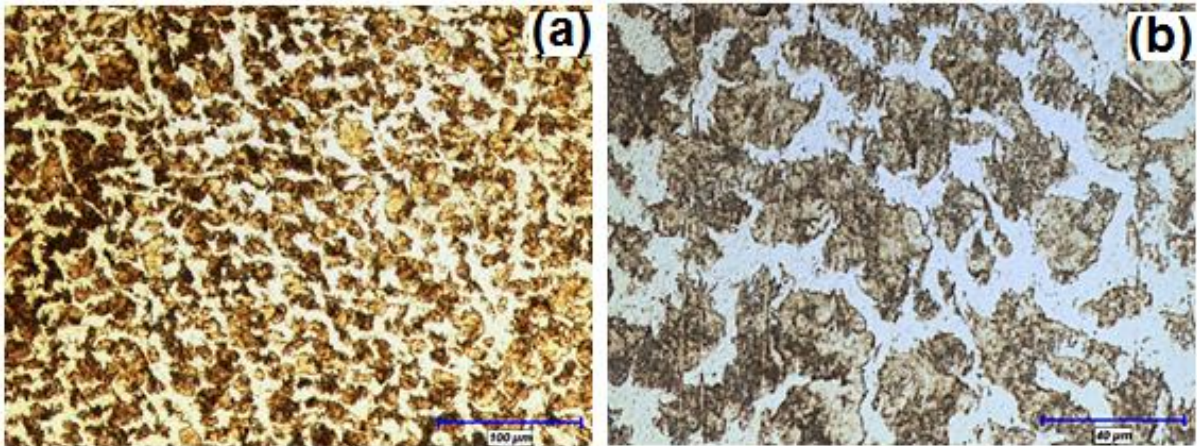


Tablo 3.4. 30-T numunesinden alınan EDS analiz pikine ait element kompozisyonu

Element	EDS Spot 1		Selected Area 1		Selected Area 2	
	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %
B <sub>K</sub>	0.11	0.36	0.10	0.33	0.11	0.37
C <sub>K</sub>	12.74	36.44	13.22	38.26	11.75	34.72
Fe <sub>L</sub>	54.11	33.30	60.70	37.79	58.10	36.91
Cu <sub>L</sub>	1.99	1.08	1.56	0.85	1.22	0.68
Si <sub>K</sub>	1.95	2.39	1.48	1.83	1.68	2.13
P <sub>K</sub>	7.93	8.79	6.04	6.78	7.42	8.50
S <sub>K</sub>	9.36	10.03	7.27	7.89	8.07	8.93
Cr <sub>K</sub>	6.31	4.17	4.91	3.28	6.39	4.36
Mn <sub>K</sub>	5.50	3.44	4.72	2.99	5.26	3.40

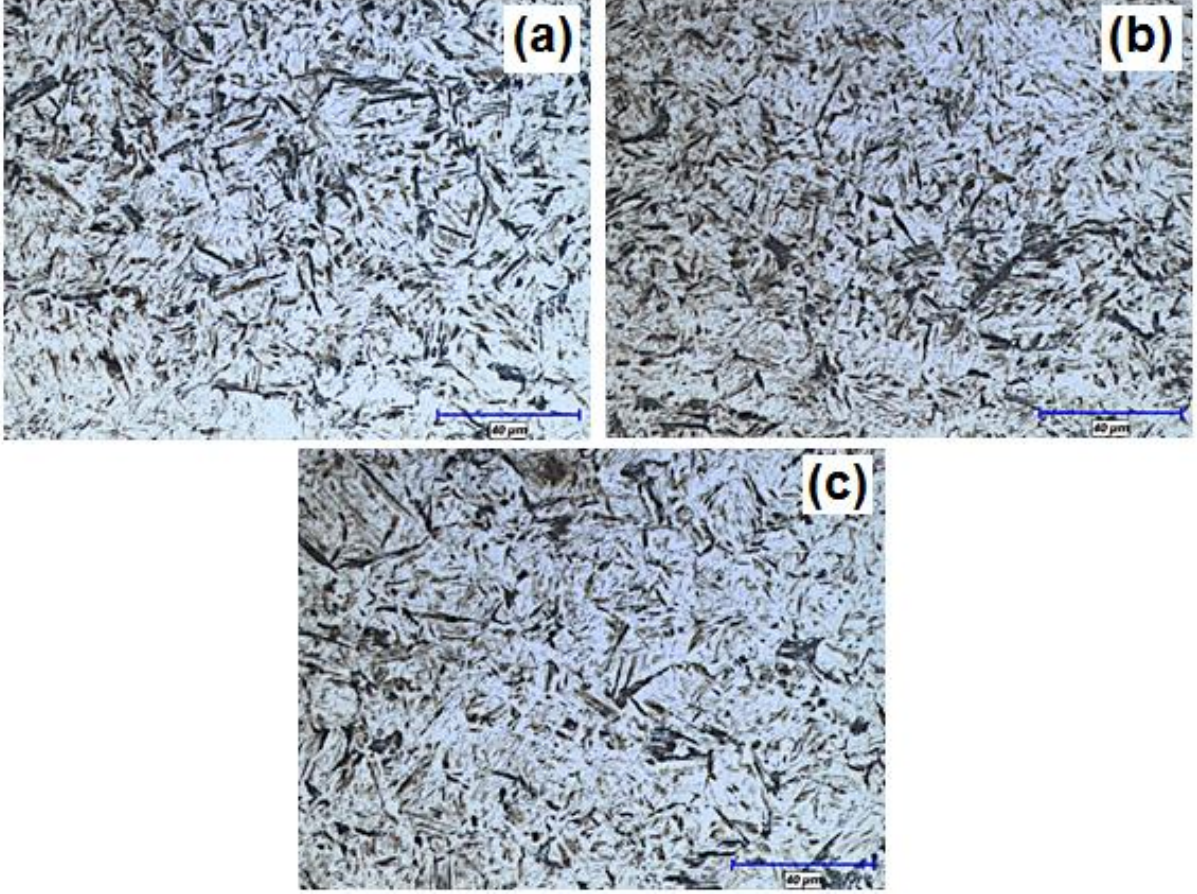


Şekil 3.11. 41-H numunesine ait metal mikroskobu görüntüsü a) (X20), b) (X50).

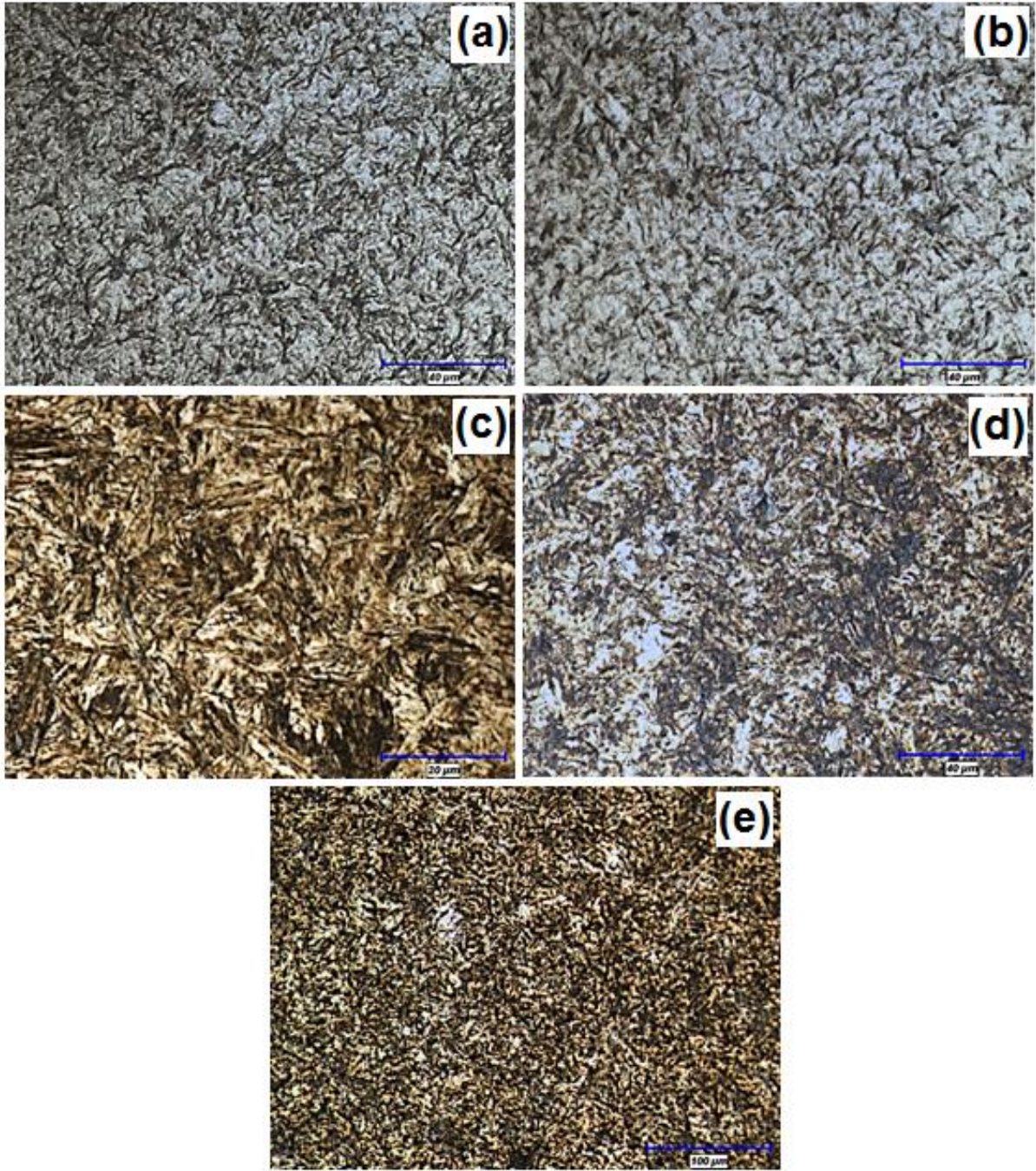


Şekil 3.12. 30-H numunesine ait metal mikroskobu görüntüsü a) (X20), b) (X50).

860 °C tavllanmış 65 °C yağ ortamında soğutulmuş Şekil 3.13a, Şekil 3.13b ve Şekil 3.13c de verilmiş olan ve 41Cr4 çeliği ile Şekil 3.14a, Şekil 3.14b, Şekil 3.14c, Şekil 3.14d ve Şekil 3.14e de 30MnB4 çeliğinin Yapılan metal mikroskobu görüntüleri incelemelerinde malzemenin içerisinde yoğun martensit fazı olduğunu göstermektedir. Her iki alaşımın tavllanmış numunelerinin metal mikroskobu görüntülerinin birbirinden çok farklı olduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.13.** 41Cr4 Çeliği 860 °C tavllanmış numunesine ait metal mikroskobu görüntüsü (X50). a) 41T1, b)41-T2, c)41-T3



Şekil 3.14. 30MnB4 Çeliği 860 °C tavlama numunesine ait metal mikroskobu görüntüsü a) ve b) (X50) c) (X100) d) (X50) e) (X20).

Tablo 3.5. 41Cr4 Çeliğine ait numunelerden alınan HRC değerleri ve ortalamaları

	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm 5	Ortalama
Ham Numune	12.3	13.7	11.1	10.8	13.9	12.36
Tavlama (860 °C)	50.4	51.3	52.2	50.9	52.6	51.48

Tablo 3.6. 30MnB4 çeliğine ait numunelerden alınan HRC değerleri ve ortalamaları

	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Ölçüm 4	Ölçüm 5	Ortalama
Ham Numune	12.1	13.6	12.4	13.1	13.5	12.94
Tavlama (860 °C)	47.9	49.3	50.7	48.7	50.1	49.34

#### 4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Civata için istenilen mukavemet sınıfının elde edilmesi amacı ile üretilen her hammadde cinsine göre istenilen sertlik değeri–mukavemet sınıfı için uygulanacak olan ısıtma işlem yönteminin ve prosesinin farklı olması gerekir. Çelik malzemelerin kimyasal özelliklerini değiştirmeksizin, ısıtma işlemi uygulanarak malzemenin dayanımı, sünekliği ve sertliği gibi mekanik özellikler değiştirilebilmektedir (Kınıt vd., 2014). Soğutma ortamının ve ısıtma sürelerinin 30MnB4 çeliğinin mikroyapısı ve özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve sonuçlar, su verme işlemi kullanılarak ısıtma işlemi görmüş 30MnB4 çeliğinin martensitik bir mikro yapı içermesi sebebiyle çok iyi mekanik özellikler sergilediğini göstermiştir. Tüm mikrograflardan anlaşılacağı gibi malzemelerin temperlenmiş hali martensit plakalarını içermektedir. Bor içeren 30MnB4 te martensit morfolojisinin bor içermeyen 41Cr4 e göre daha farklı olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak, tavlama işlemine bağlı olarak en yüksek sertlik artış oranının 41Cr4 çeliğinde olduğu belirlenmiştir. 860 °C de uygulanan tavlama işleminin 41Cr4 çeliğini 30MnB4 çeliğinden çok daha sert hale getirdiği anlaşılmıştır. Tavlama işlemi uygulandığında 41Cr4 çeliğinin sertliğinin yaklaşık 40 HRC arttığı, ancak 30MnB4 çeliğin sertliğinin ise yaklaşık 36 HRC arttığı görülmektedir.

**Bilgilendirme:** Bu çalışma, Aksaray Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2022-007 Numaralı, DIN 41Cr4 VE 30MnB4 Çeliklerinde Menevişleme İşleminin Etkisinin İncelenmesi adlı Proje Desteği ile finanse edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Bayrak M., Ozturk F., Demirezen M. ve Evis Z Analysis of tempering treatment on material properties of DIN 41Cr4 and DIN 42CrMo4 steels, JMEPEG (2007) 16: 597–600

Bickford J. H. (1998). Handbook of bolts and bolted joints, ISBN 9780824799779, Published April 28, 1998, CRC Press

Bobylev M. V. (2002). Quenching of rolled shapes of low-carbon steel from the intercritical range: an effective method for manufacturing high-strength fasteners, Metal Sci. Heat Treat., 44, No. 1, 63

Gandy D. (2007). Carbon steel handbook. California, USA: EPRI, Palo Alto, ss.1-2.

Güler H., Ozcan R., Yaunz N. (2007). Comparison of the mechanical and microstructural properties of heat-treated boron steel in different cooling media. [J] Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Volume 45, Issue 10 p. 894-899

Ivanov S. I., Trofimov N. G., É. I. Freidin É. I. (1983). et al., Residual stresses and fatigue strength of screw joints Strength Mater., 15, No. 12, 1669–1670

Kam M. ve Saruhan H. (2016). Derin kriyojenik işlemin farklı bekletme sürelerinin AISI 4140 (42CrMo4) çeliğin mekanik özelliklerine etkisi,” Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, c. 6, s. 3, ss. 553-564,

Kınıt U., Bozca V., Palabıyık I.M., Sevinç A. ve Büyükalgan Ü. H. (2014). Investigation of heat treatment effect on mechanical properties of high strength steel bolt material L. Ševčík et al. (eds.), Modern Methods of Construction Design, 89 Lecture Notes in Mechanical Engineering, DOI: 10.1007/978-3-319-05203-8\_13,

Klyachkin N. L. (1988). Problems of the strength of group threaded joints in relation to the nonuniform distribution of the bolt tightening forces,” Strength Mater., 20, No. 9, 1259–1267

Satanovskii L. G. (1979). Heat treatment of fasteners in production lines (from foreign technology),” Metal Sci. Heat Treat., 21, No. 5, 346–349

Xinbo L., Fubao Z., Jianhua F. and Zhiliang Z. (2002). Research on the flow stress characteristics of AISI 1006 and AISI 5140 in the temperature range of warm forging by means of thermo-mechanical experiments, J. Mater. Process. Technol., 122, p 38–44

## Farklı Soğutma Hızlarında Katılaştan Al-Zn ve Al-Cu Alaşımlarının Mikroyapı ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

Sinan YILMAZ<sup>1</sup>  
Engin KOCAMAN<sup>2</sup>  
Nazım KUNDURACI<sup>3</sup>  
Süleyman Can KURNAZ<sup>4</sup>

### Giriş

Yaygın olarak kullanımı 1900'lü yılların başlarına dayanan alüminyumun sağladığı üstün özellikleri sayesinde kullanım alanı her geçen gün artmaktadır. Özgül ağırlığının düşük, elektrik iletkenliğinin yüksek, gümüş beyazı rengini açık havada uzun süre koruyabilmesi, tokluğunun nispeten yüksek olması gibi nedenler alüminyum ve alaşımlarının başlıca avantajları olarak sıralanabilir. Ayrıca alaşım elementi ilavesi ile özelliklerinin olumlu yönde geliştirilebilmekte bu durum dolaylı olarak kullanım alanında bir genişlemeye neden olmaktadır. Uzay, uçak, otomobil, makine, bilgisayar endüstrisi, elektrik iletimi ve sağlık sektörü gibi alanlarda kendisine kullanım alanı bulan alüminyum alaşımları, artık günümüz teknolojisinin vazgeçilmez malzemelerinden birisi haline gelmiştir [1] [2] [3] .

Alüminyum alaşımları; silisyum, bakır, magnezyum, çinko ve mangan ana alaşım elementlerinden birini ya da bir kaçını içerirler. Demir, krom ve titanyum gibi elementler ise düşük miktarda bulunabilirler. Özel alaşımlarda, bunları yanı sıra nikel, kobalt, kalay, kurşun ya da vanadyum bulunabilir. Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementlerinden Si, Cu, Mg, Zn, Mn, Fe, Pb, Bi gibi elementler sayesinde alaşımın mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir [4]. Ayrıca alaşım elementi ilavesi sayesinde alüminyum ısıl işlem yapılabilir hale gelmektedir. Öte yandan alüminyum alaşımları içerisinde ilave edilen alaşım elementi sonucu alaşımın korozyon özelliklerinde bir azalma meydana gelmektedir. Bu durum alaşım elementi ilavesi sonucu mikroyapıda oluşan fazların matris ile etkileşime girerek veya alüminyumun yüzeyinde yer alan kararlı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakasının alaşım elementi ilavesi sonucu meydana gelen bütünlüğün bozulması sonucu meydana geldiği düşünülmektedir [5]. Öte yandan alüminyum alaşımlarının üretim prosesi de alaşımın özellikleri üzerinde etkilidir. Özellikle yaygın bir yöntem olan döküm prosesi ile üretilen alüminyum alaşımlarının üretim sırasında oluşan soğuma hızları farklılıkları segregasyon, mikroyapısal farklılıklar, tane boyutu değişimi gibi etkiler doğurabilmekte ve korozyon özelliklerinde bölgesel değişikliklere neden olabilmektedir.

---

<sup>1</sup> Master Öğrencisi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-4496-6881

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Üniversite, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0001-5617-3064

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-0687-3860

<sup>4</sup> Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-0172-4196

Özellikle ikili alaşımların soğuma hızının ele alındığı çalışmaların literatürde kısıtlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada %99.7 saflıktaki alüminyum içerisine farklı oranlarda çinko veya bakır elementi ilave edilmiş ve kama şekilli kokil kalıp içerisine dökülmüştür. Kalıbın farklı kesit kalınlığına sahip yani farklı soğuma hızına sahip kesitlerinden alınan numuneler mikroyapısal incelemeleri gerçekleştirilmiş sertlik ve korozyon dayanımları ölçülmüştür.

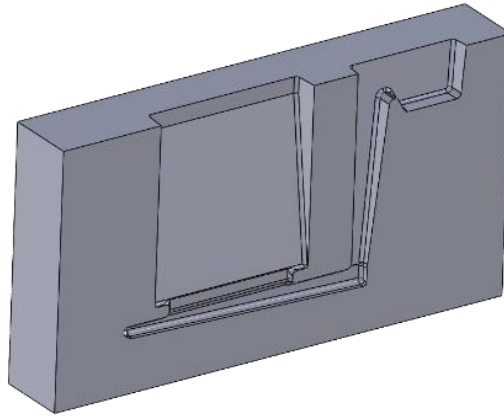
## YÖNTEM

Bu çalışmada Aşaş Alüminyum firmasından temin edilen ve Tablo 1’de kimyasal kompozisyonu verilen %99.7 saflıktaki alüminyum kullanılmıştır. Kamara tipi fırın içerisinde 800 °C’de ergitilen alüminyum içerisine ağırlıkça %2.5, %5 ve %7.5 oranında %99.9 saflıkta çinko ve bakır ilavesi yapılmıştır. Homojen bir alaşımın elde edilmesi için alaşım her 15 dakika da bir 5 dakika süre ile karıştırılmış ve azot gazı ile ergiyik alaşıma gaz giderme işlemi uygulanmıştır.

Tablo 4-Numune kodları ve spektral analiz sonuçları

Numune Kodu	Mn	Si	Fe	Cu	Ti	Zn	Mg	Al
Referans	≤0.03	≤0.15	≤0.16	≤0.01	≤0.01	≤0.04	≤0.02	Kal.
Döküm 1	0.048	0.56	0.13	0.004	0.001	2.17	0.007	96.9
Döküm 2	0.046	0.83	0.09	0.002	0.001	4.19	0.001	94.8
Döküm 3	0.042	0.403	0.10	0.002	0.001	7.67	0.001	91.7
Döküm 4	0.046	0.95	0.11	2.44	0.001	0.017	0.001	96.3
Döküm 5	0.046	0.64	0.12	4.95	0.001	0.005	0.001	94.1
Döküm 6	0.046	0.86	0.11	7.45	0.001	0.005	0.001	91.6

Ergitilen alaşımlar Şekil 1’de şematik görünümü verilen ve 250 °C ön ısıtılan kokil kalıp içerisine 730 °C (±5) sıcaklıkta dökülmüştür. Dökülen numuneler dikine kesit boyunca tam ortan kesilmiş ve kama şekilli parçanın 15 mm ve 25 mm kesite tekabül edilen kalınlıklarından numune çıkarılmıştır.



Şekil 21-Döküm kalıbını şematik görünümü

Çıkarılan numuneler Baker’s dağlayıcısı kullanılarak elektro dağlama yöntemi ile dağlanmıştır. Optik mikroskop görüntüleri Leica M1750 metal mikroskobu ile polarize prizması kullanılarak alınmıştır. Numunelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Jeol JSM 6060 (SRM/EDS) marka cihaz ve bu cihaza bağlı enerji dispersif spektroskopi EDS ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri Shimadzu hmv marka cihaz kullanılarak Vickers sertlik ölçme yöntemine göre 10 gr yük altında 40x büyültmede 10sn yük uygulanarak ölçülmüştür. Korozyon

testleri Gamry 1010 E marka ve model cihaz ile 0.5 M NaCl çözeltisi içerisinde 1 mV/sn tarama hızında ve -0.5, +1.5 V potansiyel aralığında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen polarizasyon eğrileri Gamry Echem yazılımında işlenerek  $E_{kor}$  (korozyon potansiyeli)  $I_{kor}$  (korozyon akımı) ve  $K_h$  (korozyon hızı) ölçülmüştür.

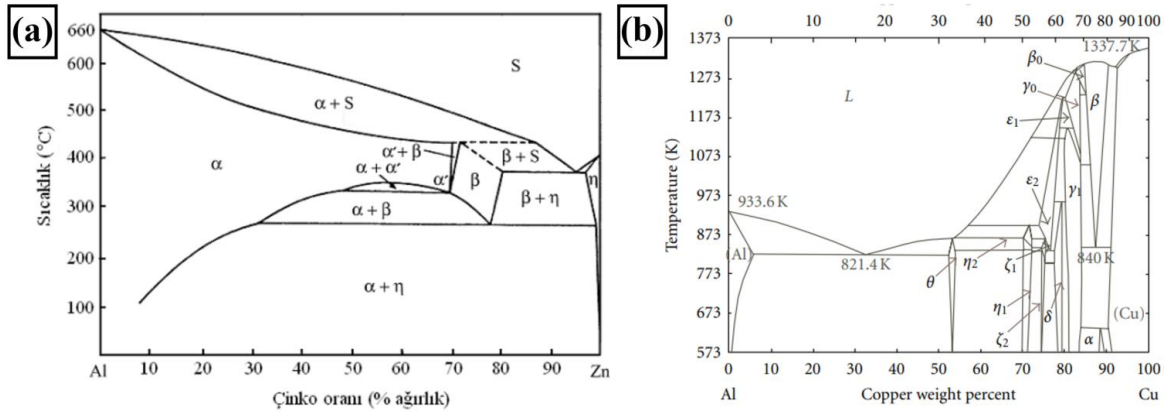
### Mikroyapı

Şekil 2’de kama şekilli kalıba dökülen numunelerin kesit tarama görüntüleri verilmiştir. Görüntüde numunelerin kalın kesitlerinin yani üst bölgelerinin daha kaba taneli bir yapıya sahip olduğu ince kesitli alt bölgelere inilmesi ile tane boyutunda bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca sıvı metalin kalıbın içine doldurulması numunenin dış kısmından iç kısmına doğru sütunsal bir büyümenin gerçekleştiği söylenebilir.



Şekil 22-Döküm numunelerin kesit görüntüleri

Şekil 3-a ve Şekil 3-b’de sırasıyla Al-Zn ve Al-Cu faz diyagramları verilmiştir. Çalışmada üretilen numunelerin maksimum alaşım elementi miktarı ağırlıkça %7.5 olduğu için her iki alaşımda faz diyagramının sol tarafında yer alan alüminyumca zengin bölgede katılaşmasını gerçekleştirecektir.

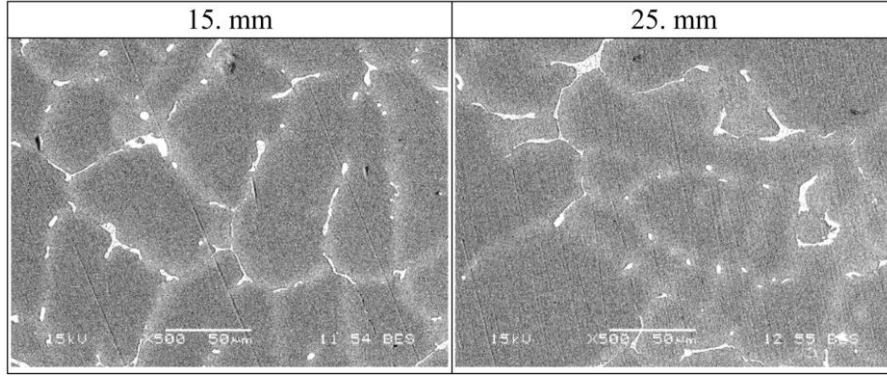


Şekil 23-A)Al-Zn faz diyagramı [6] B)Al-Cu faz diyagramı [7]

Şekil 4’te Döküm 3 kodlu numunenin kalıbın 15 mm ve 25 mm kesitlerinden çıkarılan numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Çinkonun oda sıcaklığında alüminyum içerisindeki çözünürlüğü ağırlıkça %2’nin altındadır [8]. Bu sebeple bileşimin Al-Zn faz diyagramının  $\alpha$ -Al kenar katı ergiyiği bölgesinin sağ tarafında katılaşmasını gerçekleştirilecektir. Yani alaşımın eser miktarda  $\eta$  fazı içermesi beklenmektedir. Bu sebeple görüntülerde koyu gri renkli matris faz  $\alpha$ -Al içerisinde açık renkli olan ve çinko içeren  $\eta$  fazı olduğu söylenebilir. Bu durum Şekil 5’te verilen kalıbın 15

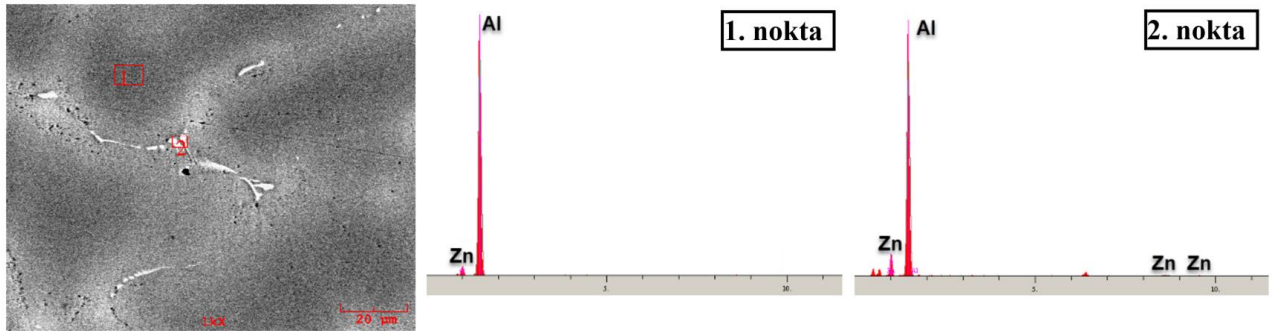


mm kesitinden çıkarılan numunenin EDS analizinde açıkça görülmektedir. EDS analizinde 1 numaralı matris bölgesinden alınan kimyasal analiz sonucu matriste eser miktarda çinkonun çözüldüğü görülmektedir. Beyaz adacıkların üzerinden alınan EDS analizinde ise daha yoğun bir çinko sinyali vermekte ve bu fazların matrise göre daha fazla çinko içerdiği anlaşılmaktadır.



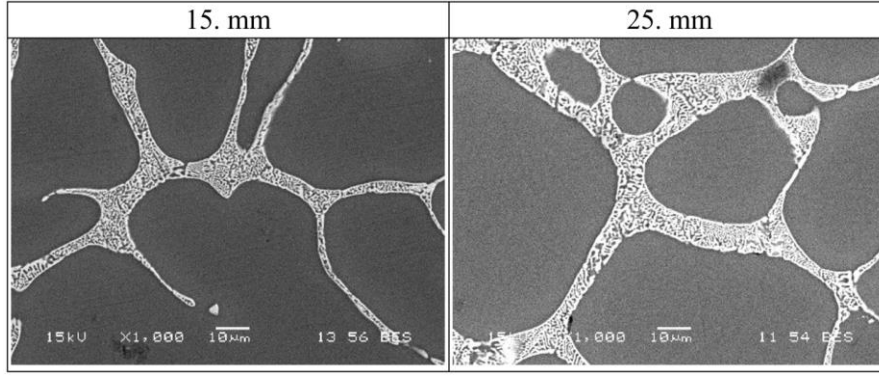
Şekil 24-Döküm 3 kodlu numunenin 15.mm ve 25.mm kesitinden çıkarılan numunelerin SEM görüntüleri

Öte yandan aynı bileşimin kalıbın 25 mm kesitinden çıkarılan numunenin SEM görüntüsünde benzer şekilde  $\eta$  fazının varlığı görülmektedir. Bu görüntüde kalıbın ince kesitinden çıkarılan numuneden farklı olarak mikroyapı içerisinde  $\eta$  fazının biraz daha büyük bir hacimsel orana olduğu söylenebilir. Bu durum kalıbın ince kesitinde meydana gelen hızlı soğuma ile oda sıcaklığında bulunması beklenen fazların alaşımın ergiyik halden katılaşması sırasında oluşması için yeterli zamana bulamaması şeklinde açıklanabilir. Kalıbın kalın kesitinde ise katılaşmanın biraz daha uzun sürmesi sebebiyle oda sıcaklığında bulunması beklenen denge fazlarının oluşmasına olanak tanımaktadır. Alaşımın daha dengeli katılaşması beklenmektedir.



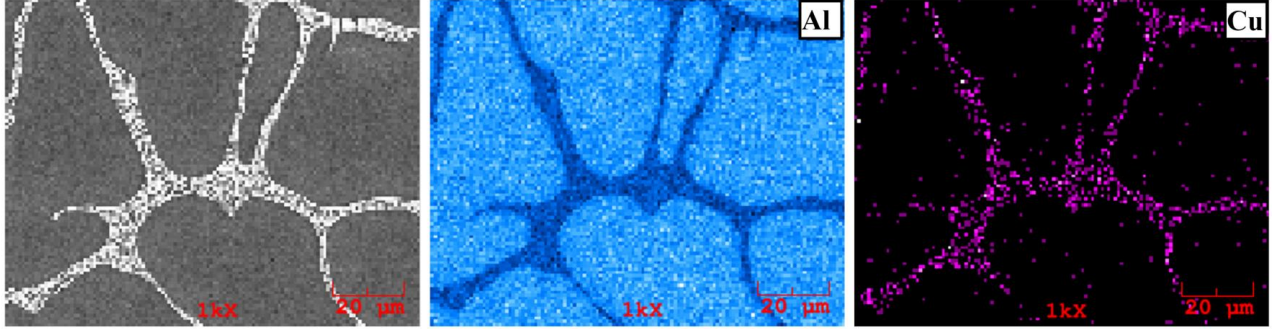
Şekil 25-Döküm 3 kodlu numunenin 15.mm kesitine uygulanan EDS analizi

Öte yandan alaşımın Şekil 6'da verilen SEM görüntülerinde Döküm 6 kodlu numunenin sırasıyla 15 mm ve 25 mm kalıp kesit görüntüsü verilmiştir. Bu görüntülerde Şekil 6'da verilen Al-Cu faz diyagramında görüleceği üzere alaşımın bir  $\theta$  olarak isimlendirilen  $\text{CuAl}_2$  intermetalik yapısını içermesi beklenmektedir. Şekil 7'de verilen Döküm 6 kodlu alaşımının 15 mm kesitinden çıkarılan numunenin MAP analizinde ötektik olarak katılaşan bölgelerde yoğun miktarda bakır bulunduğu görülmektedir. Bu sebeple bu bölgelerin  $\text{CuAl}_2$  intermetalik yapısını içeren  $\alpha\text{-Al} + \text{CuAl}_2$  ötektik yapısı olduğu söylenebilir.



Şekil 26-Döküm 6 kodlu numunenin 15.mm ve 25.mm kesitinden çıkarılan numunelerin SEM görüntüleri

Soğuma hızının Döküm 6 kodlu alaşımın üzerindeki etkisi ise Döküm 3 kodlu alaşıma benzer şekilde olacağı beklenmektedir. Ağırlıkça %7.5 oranında Cu içeren Döküm 6 kodlu alaşımın katılaşması sırasında sıvı fazdan oluşacak ilk katı  $\alpha$ -Al olacaktır. Soğuma hızının artması ilk oluşacak  $\alpha$ -Al yapısında hızlı bir soğuma ile neredeyse bu yapıyı oda sıcaklığına taşınmasını ve oda sıcaklığında oluşması beklenen dengeli fazların yeterli zaman bulamaması anlamına gelmektedir. Fakat bu çalışmada kalıp kesitleri arasındaki farkın az olması sebebiyle mikroyapıda oluşması beklenen fark eser miktarda görülmektedir. Bununla birlikte kalıbın hem ince kesitinde hem de kalın kesitinde denge fazlarının oluşması için yeterli zaman elde edilmiştir. Nihai mikroyapıda ise  $\alpha$ -Al -  $\alpha$ -Al+CuAl<sub>2</sub> ötektik yapılarının olması beklenmektedir.



Şekil 27-Döküm 6 kodlu numunenin 25.mm kesitine uygulanan MAP analizi görüntüsü

## Sertlik

Tablo 2'de döküm numunelere ait sertlik değerleri verilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında üretilen numunelerin içerisinde sertliği en düşük olan numunenin referans döküm yani %99.7 saflıktaki alüminyumda ölçülmüştür. Bu numunenin içerisine alaşım elementi ilavesi ile elde edilen diğer döküm numunelerin sertlik değerinde bir artış olduğu ve artan alaşım elementi miktarına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bu durumun alaşım elementi ilavesi ile oluşan yeni fazların sertliğinin yüksek olmasından ve katı eriyik sertleşmesi sonucu alaşımın sertleşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Hekimoğlu ve Turan [6] saf alüminyum içerisinde farklı oranlarda ilave ettikleri çinko miktarının artması ile sertlik değerinin arttığını bildirmiştir. Benzer şekilde Rawajfeh ve Qawabah [9] ağırlıkça %99.8 saflıktaki alüminyum içerisine ilave ettikleri bakır ile sertliğin arttığını rapor etmişlerdir. Bu bakımdan ölçülen sertlik değerlerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Kama şekilli döküm numunenin üst noktasından alt noktasına doğru ölçülen Vickers sertlik değerlerinde üst bölgeden alt bölgeye doğru sertlik değerinin arttığı anlaşılmaktadır. Uludağ ve arkadaşları [10] farklı soğuma hızlarında katılaştırdıkları Etial 221 alaşımında artan soğuma hızı ile sertliği arttığı rapor etmişlerdir. Bu çalışma için artan soğuma hızı ile birlikte yani

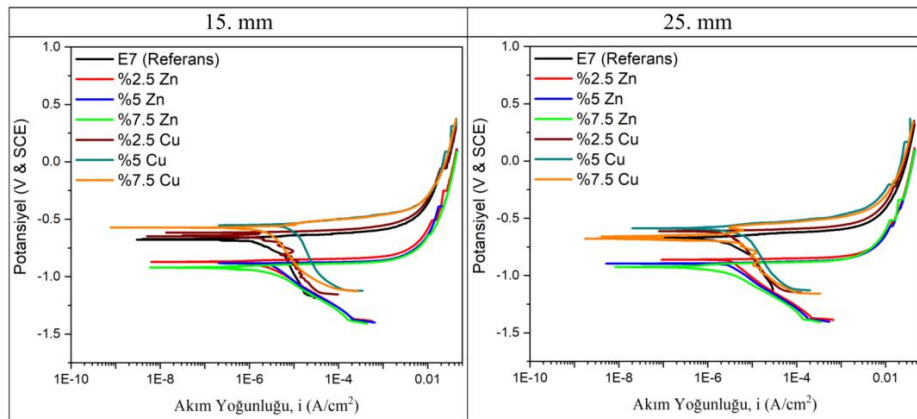
kalıbın ince kesitli bölgesinden çıkarılan numunelerin daha ince taneli olduğu bu sebeple tane sınırlarının dislokasyon hareketini engelleyecek şekilde hareket ettiği ve sertliğin artmasına neden olduğu söylenebilir. Öte yandan artan soğuma hızı ile matris fazda çözünen alaşım elementi miktarı artmakta ve sertliğini artmasına katkıda bulunmaktadır. Fakat bu çalışmada soğuma hızının aşırı doymuş bir katı ergiyik oluşturacak kadar yüksek olmadığı mikroyapı görüntülerinde anlaşılmaktadır.

Tablo 5-Etial A7 alaşımının spektral analiz sonucu

Referans	Döküm 1	Döküm 2	Döküm 3	Döküm 4	Döküm 5	Döküm 6
24.2	27.8	27.2	39	41.6	50.6	63.3
23.1	23.3	28.6	33.1	42.2	52	64.6
25.1	25.1	29.3	39.9	43	56	92.9
23.2	25.3	29	39.7	44.5	55.3	69.6
23.7	27.4	29.7	43.8	44.6	55.9	61.7
24.8	27.6	28.7	44.6	47.9	58.8	70
25.6	26.9	30	42.5	48.6	57.3	79
25	27.4	29.5	46.5	49.6	61.7	82
26.3	28	30.1	52.3	50	65.8	93.6
26.1	27.9	31.6	51	57.1	68	89.7

## Korozyon

Şekil 8'de kama şekilli kalıba dökülen ve farklı oranlarda çinko ve bakır içeren döküm numunelerin korozyon testi sonrası potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen Tafel eğrileri verilmiştir. Tafel eğrilerinde %99.7 saflıktaki alüminyum içerisine ilave edilen çinko veya bakır oranının artması ile korozyon potansiyellerinde doğrusal bir değişim olmadığı görülmektedir. Öte yandan Tablo 3'te Tafel korozyon parametreleri verilmiştir. Tabloya göre en düşük korozyon potansiyeli değerleri ağırlıkça % 5 Cu içeren alaşımda elde edilmiştir. Fakat korozyon açısından oldukça önemli bir parametre olan korozyon akımına bakıldığında ağırlıkça % 5 oranında bakır içeren alaşımın korozyon akımı değerleri oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu durum alaşımın korozyon hızını da artırmaktadır.



Şekil 28-Farklı kesitlerden çıkarılan numunelerin Tafel eğrileri

Yine numuneler arasında en düşük korozyon hızına sahip alaşım ağırlıkça % 7.5 bakır içeren Döküm 6 kodlu alaşımdır. Literatürde alüminyum içerisine ilave edilen alaşım elementlerinin alaşımın korozyon direncini azalttığı belirtilmektedir [11]. Fakat bu çalışmada genel literatürden farklı olarak %7.5 gibi nispeten yüksek bir oranda alaşım elementi ilavesi yapılmıştır. Bu durum bakır ilavesi sonucu oluşan  $CuAl_2$  intermetaliklerinin matrise göre daha soy olmasından kaynaklanabilir [12] [13]. Alaşıma çinko ilavesi ise alüminyum ve çinko arasında bölgesel veya mikro anlamda galvanik bir oluşum sonucu korozyonu hızlandırıcı bir etki yapabileceği için alaşımın korozyon direncini azaltabileceği söylenebilir.

Tablo 6-Tafel eğrilerinden elde edilen Tafel test parametreleri

Numune	$E_{kor}$ (mV)	$I_{kor}$ ( $\mu A$ )	Kh (mpy)
Ref-15mm	-674.715	1.231	0.675
Ref-25mm	-674.548	1.706	0.936
Döküm 1-15mm	-870.364	1.52	0.857
Döküm 1-25mm	-859.728	2.414	1.361
Döküm 2-15mm	-883.632	2.353	1.353
Döküm 2-25mm	-891.059	2.101	1.208
Döküm 3-15mm	-921.783	1.943	1.16
Döküm 3-25mm	-924.148	1.514	0.904
Döküm 4-15mm	-642	0.895	0.504
Döküm 4-25mm	-613.749	2.383	1.344
Döküm 5-15mm	-551.952	5.041	2.896
Döküm 5-25mm	-585.573	2.347	1.348
Döküm 6-15mm	-571.773	1.075	0.641
Döküm 6-25mm	-666.418	0.853	0.509

## SONUÇ

Bu çalışma %99.7 oranındaki saflıkta ETİAL A7 alüminyum içerisine farklı oranlarda çinko ve bakır ilave edilmiş ve kama şekilli kalıp içerisine dökülmüştür. Dökülen parçalar kesilerek mikroyapısal incelemeleri gerçekleştirilmiş, sertlik testi ve korozyon dayanımları incelenmiştir. Elde edilen bulgular göstermektedir ki;

- Ticari saflıktaki alüminyum içerisine ilave edilen çinko ve bakır ile mikroyapıda çeşitli değişikliklere neden olmuştur. Çinko ilavesi sonucu mikroyapıda  $\eta$  fazı görülürken bakır ilavesi ile  $CuAl_2$  intermetalik yapısı meydana gelmiştir. Oluşan bu mikroyapıların kalıbın farklı soğuma hızlarına bağlı kesitlerinden çıkarılan numunelerinde soğuma hızı yüksek bölgelerde alaşım elementi sonucu oluşan fazların daha ince olduğu fakat kalın kesitli bölgelerde daha büyük boyuta sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Vickers sertlik testi sonuçlarına göre ticari saflıktaki alaşıma ilave edilen çinko ve bakır ile sertlik değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca soğuma hızının sertlik üzerinde etkili olduğu ve artan soğuma hızı ile sertlik değerinin arttığı anlaşılmaktadır.
- Korozyon test sonuçlarına göre döküm numuneler arasında en yüksek korozyon direnci ağırlıkça %7.5 bakır içeren alaşımda elde edilmiştir. Öte yandan soğuma hızının veya alaşım elementi ilavesinin alaşımın korozyon direnci üzerinde doğrusal bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir.

## KAYNAKÇA

P. Dwivedi, A. Siddiquee and S. Maheshwari, "Issues and Requirements for Aluminum Alloys Used in Aircraft Components: State of the Art.," *Russ. J. Non-Ferrous Met.*, pp. 62,212-225, 2021.

B. Stojanovic, M. Bukvic and I. Epler, "Application of Aluminum and Aluminum Alloys in Engineering.," *Appl. Eng. Lett.*, pp. 52-62, Mart 2018.

J. Davis, "Aluminum and Aluminum Alloys.," *Light Met. Alloy*, p. 66, 2001.

R. Rana, R. Purohit and D. S, "Reviews on the Influences of Alloying Elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites.," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, pp. 1-7, Şubat 2012.

K. Ralston and N. Birbilis, "Effect of Grain Size on Corrosion: A Review.," *Corrosion*, p. 66, 2010.

A. HEKİMOĞLU and Y. TURAN, "Çinko Oranının Al-(5-50)Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, pp. 9,16-25, 2019.

E. Huerta, A. Oliva, F. Avilés, J. González-Hernández and J. Corona, "Elastic Modulus Determination of Al-Cu Film Alloys Prepared by Thermal Diffusion.," *J. Nanomater.*, 2012.

K. Dehghani, A. Nekahi and M. Mirzaie, "Using Response Surface Methodology to Optimize the Strain Aging Response of AA5052.," *Mater. Sci. Eng. A*, pp. 7442-7451, 2012.

A. Al-Rawajfeh and S. Qawabah, "Al Investigation of Copper Addition on the Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Commercially Pure Aluminum.," *Emirates J. Eng. Res.*, pp. 47-52, 2009.

M. ULUDAĞ, L. GEMİ and D. DİSPİNAR, "ETİAL 221 Alaşımında Katılma Hızı ve Su Verme Ortamlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İstatistiksel Analizi.," *Uludağ Univ. J. Fac.Eng.*, pp. 169-189, 2020.

K. Sugimoto, Y. Sawada and S. Morioka, "Effects of Alloying Elements on the Pitting Corrosion of Aluminum.," *Trans Jap Inst Met*, pp. 345-351, 1972.

C. Vargel, "Chapter C.13 - Galvanic Corrosion. In; Vargel, C.B.T.-C. of A.," *Second E., Ed.;Elsevier: Amsterdam, 2020; pp. 295–315 ISBN 978-0-08-099925-8.*, pp. 295-315, 2020.

C. Castella, "Self Hardening Aluminum Alloys for Automotive Applications," *student Politecnico Di Torino Porto Institutional Repository [Doctoral Thesis]*, 28 Temmuz 2016.

## Eğitim Binalarında Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi için Öncelik Sıralaması Oluşturulması

Ahmet Hakan Mutlu<sup>1</sup>

### 1. 1.GİRİŞ

Millî Eğitim Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı'nın 2019-2020 verilerine göre, özel okullar ve açık öğretim okulları hariç olmak üzere, ülkemizde 15.189.878 öğrencinin eğitim-öğretim gördüğü, 942.936 öğretmenin hizmet verdiği, toplam 588.010 derslik (54.715 okul) bulunmaktadır (MEB İstatistikleri 2019-2020). Eğitim ortamlarının kalitesinin artırılması, günümüz teknolojisine uygun eğitim binalarının ihtiyacı, derslik başına düşen öğrenci sayısının azaltılması ve her geçen gün artan nüfus nedeniyle Bakanlıkça her yıl binlerce yeni derslik yapımı gerçekleştirilmektedir (Mutlu, 2020).

Aynı zamanda, dünyanın en önemli deprem kuşaklarından birinde yer alan Türkiye'deki mevcut eğitim binalarının depreme karşı güvenli hale getirilmesi de bir zorunluluktur. Ancak, yaklaşık 55.000 eğitim binasına sahip bir ülkenin aynı anda bunu gerçekleştirmesi mümkün görünmemektedir. Maddi olanaklar çerçevesinde ve eğitim öğretimi aksatmadan yapılacak bir plan dâhilinde deprem güvenliği belirlenecek eğitim binalarının öncelik sıralamasının yapılması gerekmektedir. Binlerce binayı içeren sıralama çalışması için kullanılacak birden fazla bağımsız ölçüt birlikte değerlendirilmelidir. Bunun için de Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Birden fazla alternatiften oluşan çoklu ölçüte sahip problemlerde karar sürecini kolaylaştırmak amacıyla 70'den fazla yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin genelinde, fayda ya da maliyet içeren ve sayısı birden fazla olan ölçütlerin çözümlenmesi, modelleme şekilleri ve uzlaşım çözümlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yeni yaklaşım ve yöntem bilimleri geliştirilerek ve diğer bilim dalları ile etkileşime girerek ÇKKV disiplini gelişmesini sürdürmüştür (Zopounidis vd., 2010).

Literatürde, afetlerle ilgili olarak ÇKKV yöntemleri, genellikle, bir bölgenin ya da şehrin deprem risk haritalarının oluşturulmasında (Rashed vd., 2003; Ateş vd., 2019; Özşahin, 2014; Jena vd., 2020), zemin ve kütle hareketlerinin analizinde (Değerliyurt, 2014), afet sonrası geçici veya kalıcı barınma alanlarının tespit edilmesinde (Karaman vd., 2014; Hazırcı vd., 2019; Chu vd., 2012; Omidvar vd., 2013), afet istasyonları kuruluş yerinin veya acil durum toplanma merkezlerinin belirlenmesinde (Aslan vd., 2015; Şekeli, 2020) kullanılmıştır.

Ayrıca, bu çalışmada da vurgulanan çok kriterli karar yöntemlerinin karşılaştırılması da araştırmacıların çalışmalarına konu olmuştur. Örneğin, Obricovic ve Tzeng (2004), TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin ideal yakınlığı ifade ettiğini ancak ikisinin farklı normalizasyon teknikleri kullandığını belirtmişlerdir. VIKOR yönteminde kullanılan normalizasyon tekniğinin değerlerin birimine bağlı olmadığını, TOPSIS yönteminde ise bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Ceballas vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise, çeşitli çok kriterli karar verme yöntemleriyle üretilen sıralamalar Spearman'ın korelasyon katsayısı indeksi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Subaşı (2011), TOPSIS ve AHP Yöntemlerini karşılaştırdığı çalışmasında, uygulanabilecek karar verme teknikleri ile ilgili genel bilgilerin yanı sıra, finansal kurumlar açısından dış denetim firması seçim kriterleri ve

---

<sup>1</sup> Ahmet Hakan MUTLU, Dr. İnş. Müh., Millî Eğitim Bakanlığı, İnşaat ve Emlak Genel Müdürlüğü

seçim aşamasında kullanılabilecek tekniklere ait uygulamaları ortaya koymuştur. Bu kapsamda bir uygulama gerçekleştirerek AHP ve TOPSIS yöntemlerinin birbirleriyle tutarlılıklarını incelemiştir. Öztel (2016), verilen problemin çözümünde kullanılacak en etkili ÇKKV yönteminin seçilmesi amacıyla yeni bir yapı olarak regresyon yaklaşımını önermiştir. Öztel, en yüksek determinasyon katsayısını elde eden modelde kullanılan ÇKKV yöntemin en iyi yöntem olduğunu önermiştir.

İstanbul Valiliği, İstanbul Proje Koordinasyon Birimi (İPKB) tarafından yürütülen, “İstanbul Sismik Riskin Azaltılması ve Acil Durum Hazırlık Projesi” (İSMEP) kapsamında yapılan çalışmalarda kamu binalarının güçlendirilmesi veya yıkılarak yerine yenisinin yapılması amacıyla öncelik kriterleri belirlenmiştir. Eğitim yapıları için belirlenen afet sırasında erişim, binanın teknik özellikleri, fay hattına olan mesafe, afet yönetim planında yer alan önem, öğrenci sayısı ve çalışma saatleri ölçüt olarak alınmış ve her ölçüte bir puan atanarak sayısallaştırılmıştır (İSMEP, 2014).

## 2. 2.MATERYAL ve YÖNTEM

Afet yönetimi süreci, güvenli ve gelişmiş bir yaşam alanı oluşturmak kapsamında afetlerin önlenmesi ve zararlarının azaltılması amacıyla, afet öncesi, sırası ve sonrasında alınması gereken önlemler ve yapılması gereken çalışmaların planlanması ve yürütülmesini içeren, çok yönlü ve çok aktörlü bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Afet duyarlı planlama ise, yerleşim birimlerindeki tehlike ve risklerin belirlenmesi çerçevesinde; bu tehlike ve risklerin önlenmesi veya olası zararların en aza indirgenmesi amacıyla hazırlanan, kısa, orta ve uzun vadede hedef, strateji ve faaliyetleri belirleyerek eylem planlarının temelini oluşturan planlama süreci olarak tanımlanmıştır (Ergünay vd., 2008).

Yukarıda tanımları verilen afet yönetimi ve afet duyarlı planlama amacı taşıyan bu çalışmada, deprem hasarını ve can kaybını artırıcı en önemli etkenler ölçüt olarak alınmıştır. Ölçütler belirlenirken, eğitim binasının bulunduğu alanda olabilecek deprem riski, depreme maruz kalan yapının hasarını etkileyecek parametreler ile deprem sırasında eğitim binasında bulunan öğrenci sayısı ve gün içerisinde yapıda kalma süreleri göz önüne alınmıştır.

### 2.1. ÇKKV Yöntemi için Belirlenen Ölçütler

#### 2.1.1. Eğitim Binasının Bulunduğu Arsanın Sismik Tehlike Düzeyi

18 Mart 2018 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanan ve 01.01.2019’da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne (TBDY) göre eğitim yapıları için 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan - bir başka deyişle yinelenme süresi 2475 yıl olan- deprem yer hareketi düzeyine göre can güvenliği performans seviyesini sağlamalıdır (TBDY, 2018). Eğitim binalarının bulunduğu arsanın sismik tehlike düzeyi hem tasarımda hem de mevcut yapının deprem güvenliğinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) web sitesinde bulunan 2018 Türkiye Deprem Tehlikesi Haritalarından (TDTH, 2018) ortalama 2475 yıllık yinelenme periyoduna karşılık gelen maksimum yer ivmesi (peak ground acceleration – PGA) değerleri her eğitim yapısı konumu için bulunarak ve eğitim yapısının oturduğu zemin sınıfına göre modifiye edilerek sismik tehlike düzeyi tespit edilebilmektedir.

#### 2.1.2. Bina Yaşı

Eğitim binasının inşa edildiği tarih; o dönemde yürürlükteki yönetmelik hükümleri, yapım tarzı, inşaat alanındaki teknolojik gelişmeler, betonarme binanın ekonomik ömrü gibi parametrelerin hepsini birden kapsamaktadır. Bu nedenle bina yaşı deprem güvenliği açısından oldukça önemlidir.

### 2.1.3. Eğitim Binasının Gün İçinde Kullanım Süresi

Öğrencilerin eğitim binasını kullandıkları süre depreme bina içinde maruz kalmaları ile doğru orantılıdır. Bu nedenle eğitim binasının bir gün içindeki (24 saat) kullanım süresi hesaplamalara dâhil edilmiştir. Ülkemizde, eğitimin “tam gün eğitim” ve “ikili eğitim” olmak üzere 2 şekilde yapıldığı bilinmektedir. Tam gün eğitimde, öğrenciler hafta içi her gün sabah okula gelir ve öğleden sonra okuldan ayrılırlar. İkili eğitimde ise hafta içi her gün sabahtan öğlene kadar bir grup öğrenci, öğleden sonra akşama kadar ise diğer grup öğrenci eğitim almak üzere okulda bulunurlar. Bunun haricinde eğitim binaları içinde yer alan öğrenci yurtları da öğrencilerin gece barınma ihtiyaçlarını giderirler. Yukarıda açıklanan durum sayısallaştırıldığında; tam gün eğitim alan öğrenciler bir günde 6 saat 30 dakika (390 dakika), ikili eğitim yapan öğrenciler bir günde 10 saat 40 dakika (640 dakika) ve öğrenci yurtlarında kalan öğrenciler ise bir günde 16 saat (960 dakika) eğitim binasını (okul veya öğrenci yurdu) kullanmış olurlar.

### 2.1.4. Eğitim Binasının Öğrenci Sayısı

Depreme karşı güvenli hale getirilen her okul, deprem sonrası can güvenliği sağlanarak eğitim yapısından çıkan her çocuk önemlidir. Ancak olası bir depremde can güvenliği sağlanacak öğrenci sayısının fazlalığı önceliklendirme çalışması için önem arz etmektedir. Türkiye’deki eğitim yapıları genellikle 2, 4, 8, 12, 16, 24 ve 32 derslikli olarak inşa edilmektedir. Derslik başına düşen öğrenci sayısı ise -ideal olarak- 30 olarak görülmektedir.

### 2.1.5. Eğitim Binasının Kat Adedi

Bir binanın hakim periyodunu belirleyen en önemli değişkenin bina yüksekliği olduğu bilinmektedir. Yükseklik arttıkça salınım periyodu büyüdüğünden deprem sonrası gözlenen bina hasarlarında, diğer yapı nitelikleri benzer olsa bile, çok katlı binaların az katlı olanlardan göreceli olarak daha fazla hasara maruz kaldığı görülmüştür. Türkiye’de eğitim binaları genellikle, bodrum kat hariç, en fazla zemin + 4 kattan oluşmaktadır.

## 2.2. Uygulanan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çalışmada uygulanan çok kriterli karar verme yöntemlerinin kısa tanımları bu bölümde verilmektedir.

### 2.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Karmaşık kararları düzenlemek ve analiz etmek için kullanılan ve Thomas L. Saaty (1987) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. AHS, problemi oluşturan ölçütlerin ve alt ölçütlerin önem derecelerini hesaplayarak boyut indirgemesi yapar. Elde edilmesi muhtemel sonuçlara, en iyi ölçütün dâhil edilebilmesi için ölçütleri önem sırasına koyma olanağı sunmaktadır (Önder vd., 2015). AHS'nin aşamalı prosedürü aşağıdaki şekilde sunulmuştur:

Adım 1: Ölçütler belirlenir.

Adım 2: Ölçeklerin göreceli önem derecesini elde etmek için Çizelge 1'de gösterildiği gibi “Saaty Tercih Ölçeği” kullanılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Adım 3: Normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulur. Ölçüt ağırlıkları belirlenir.

Adım 4: Tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık oranı % 10'dan düşükse ölçüt ağırlıkları tutarlı olarak kabul edilir. Aksi takdirde ikinci adıma dönülerek ikili karşılaştırma matrisi yeniden düzenlenir.



Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit derecede önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Mutlak derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Çizelge 1. Saaty Tercih Ölçeği (Saaty, 1987).

### 2.2.2. WASPAS Yöntemi

WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) yöntemi, ÇKKV'de oldukça yaygın bir şekilde kullanılan Ağırlıklandırılmış Toplam Modeli (Weighted Sum Model, WSM) ve Ağırlıklandırılmış Çarpım Modeli (Weighted Product Model, WPM) adlı yöntemlerin birleşimine dayanmaktadır (Zolfani vd., 2013). WASPAS yöntemi, problemin çözümünde alternatiflerin ölçütler bazındaki performans değerlerini ve ölçüt ağırlıklarını kullanmaktadır. Çözüm sonucu olarak karar vericilere alternatiflere ilişkin bir sıralama sunulmaktadır. WASPAS yönteminin adımları aşağıda özetlenmiştir (Zavadskas vd., 2013; Madic vd., 2014; Zavadskas vd., 2015).

Adım 1: Farklı alternatiflerin farklı ölçütler altında performanslarını gösteren karar matrisi X oluşturulur.

Adım 2: Karar matrisi normalize edilir.

Adım 3: Bu adımda WSM ve WPM'ye göre alternatiflerin toplam görelî önemi ayrı ayrı hesaplanır. WSM'ye göre bir alternatifin toplam görelî önemi, ölçüt değerlerinin ağırlıklı toplamı olarak belirlenirken; WPM'ye göre ise bir alternatifin ölçüt değerleri ölçüt ağırlığı kadar kuvvetinin çarpımı olarak hesaplanır (Turskis vd., 2015).

Adım 4: Adım 3'te WSM ve WPM yöntemlerine göre hesaplanan alternatiflerin toplam görelî önemleri hesaplanır. En yüksek değere sahip alternatif, en iyi alternatif olarak seçilir.

### 2.2.3. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique For Order Preference By Similarity To An Ideal Solution) yöntemi Hwang ve Yoon (1981) tarafından ortaya atılmıştır. TOPSIS, n sayıda alternatif, m sayıda kriterden oluşan bir karar problemine nitel çevirim yapılmaksızın direkt veri üzerine uygulanabilen çok kriterli karar verme tekniğidir (Eleren vd., 2008). Az sayıda girdi parametresi ile kolay anlaşılabilen sonuç sunan TOPSIS yönteminde, seçilen alternatifin ideal çözüme en yakın olması beklenirken, ideal çözüm olamayan alternatife en uzak olması beklenir (Özdemir, 2015). TOPSIS yönteminde aşağıdaki çözüm adımları izlenebilir (Supçiller vd., 2011).

Adım 1: Problemin amaçları ve değerlendirme ölçütleri belirlenir.

Adım 2: Karar matrisi oluşturulur.

Adım 3: Normalizasyon işlemi yapılır. Oluşturulan karar matrisindeki ölçüt değerlerinin kareleri toplamı, karekökleri alınarak normalize edilmiş matris elde edilir.

Adım 4: Normal matrisin ağırlıklandırılması ile V matrisi oluşturulur.

Adım 5: İdeal çözümlerin oluşturulması amacıyla ağırlıklı normalleştirilmiş matriste en iyi performans değerinden pozitif ideal çözüm, en kötü değerden ise negatif ideal çözüm elde edilir.

Adım 6: Alternatiflerin ayırım ölçüleri hesaplanır. Her alternatifin ideal çözüme olan uzaklığı hesaplanır (Alpar, 2011). Pozitif değere olan uzaklığına pozitif ideal ayırım, negatif değere olan uzaklığına negatif ideal ayırım denir (Ertuğrul vd., 2014).

Adım 7: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması amacıyla karar noktalarının ideal çözüme göreli yakınlığının ideal noktalara uzaklıklarından faydalanılır. İdeal çözüm hesaplanır. İdeal çözüm,  $[0,1]$  aralığında değer alır ve 1'e yaklaştıkça pozitif ideal çözüme yaklaştığını, 0'a yaklaştıkça da negatif ideal çözüme yaklaştığını gösterir (Özdemir, 2015).

#### 2.2.4. VIKOR Yöntemi

Çok kriterli karmaşık sistemlerin optimizasyonu için geliştirilen VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yönteminin temelleri Yu (1973) ve Zeleny (1982) tarafından atılmıştır. Opricovic ve Tzeng (2004) tarafından farklı ölçü birimleriyle elde edilmiş veri gruplarında kullanılabilen çok kriterli karar verme tekniği olarak tanıtılmış ve aşağıdaki çözüm adımları izlenmiştir.

Adım 1: Oluşturulan karar matrisi içindeki en iyi ve en kötü ölçütler belirlenir.

Adım 2: Normalizasyon işlemi yapılır.

Adım 3: Normal matrisin ağırlıklandırılması ile V matrisi oluşturulur.

Adım 4: Alternatiflerin ortalama değeri ve maksimum değerleri bulunur.

Adım 5: Adım 4'te hesaplanan değerler yardımı ile her alternatifin çözüm değeri bulunur.

Adım 6: Çözüm değerleri için iki koşullu doğrulama işlemi yapılır.

#### 2.2.5. BORDA Sayım Yöntemi

1781 yılında Jane-Charles de Borda tarafından önerilen BORDA Sayım yöntemi, bireysel sıralamalarda en uygun karara varan bir sıralama olarak tanımlanır. Yöntem, sınıflandırıcılar arasında bağımsızlık varsayımı üzerine kuruludur. Uygulanması kolaydır ancak tüm sınıflandırıcıları eşit görebek bireysel sınıflandırma yeteneklerini hesaba katmamaktadır (Lumini vd., 2006). Birden fazla sıralama yönteminin kullanıldığı sonuçlarda tek bir sıralama için bu yöntem kullanılır (Wu, 2011). En az tercih edilen alternatife "0" puan, bir sonrakine "1" puan, en fazla tercih edilen alternatife ise "n-1" puan atanmaktadır. Daha sonra Borda sıralaması, alternatiflerin elde ettikleri Borda puanlarına göre sıralanmasıyla belirlenmektedir (Bassett vd., 1999).

### 3. TEORİ HESAPLAMA (ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA)

Deprem güvenliği belirlenmesi için öncelik sıralaması yapılacak olan 50 eğitim binası ve yöntemlerde kullanılmak üzere belirlenen 5 ölçütün sayısal değerleri ve alt ölçüt değişimleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. "Okul Adı" olarak verilen Okul 1, Okul 2, ... , Okul 49, Okul 50'nin herhangi bir okul ismi olmamasına özen gösterilmiş, ölçütlerin sayısal değerleri -sismik tehlike düzeyi (maksimum yer ivmesi) ölçütü hariç- ise ülkemizde bulunan eğitim binalarının içinden seçilmiştir.

Çalışma alanı olarak belirlenen 50 okul için; sismik tehlike düzeyi kriterindeki maksimum yer ivmesi değerleri 0,05g-0,80g arasında, bina yaşı 15-57 arasında, öğrenci sayısı 113-1155 arasında değişirken binaların kullanım süreleri 390 dakika, 640 dakika ve 960 dakika olarak alınmıştır. Ayrıca yukarıda da açıklandığı üzere ülkemizdeki eğitim binaları -genellikle- zemin + 4 kat olarak yapıldığından bina kat adedi 1-5 arasında değişim göstermiştir.

Okul İsmi	Sismik Tehlike Düzeyi	Bina Yaşı	Kullanım Süresi	Öğrenci Sayısı	Kat Adedi	Okul İsmi	Sismik Tehlike Düzeyi	Bina Yaşı	Kullanım Süresi	Öğrenci Sayısı	Kat Adedi
Okul 1	0,17	18	390	129	1	Okul 26	0,31	38	390	113	1
Okul 2	0,25	23	960	245	5	Okul 27	0,16	43	640	540	4
Okul 3	0,08	42	640	322	3	Okul 28	0,25	23	390	360	2
Okul 4	0,41	19	960	386	5	Okul 29	0,61	39	390	152	1
Okul 5	0,33	22	640	862	4	Okul 30	0,27	45	390	328	2
Okul 6	0,11	35	390	186	1	Okul 31	0,37	41	640	605	3
Okul 7	0,27	25	390	617	3	Okul 32	0,71	33	640	1155	4
Okul 8	0,53	17	640	555	4	Okul 33	0,13	36	960	362	5
Okul 9	0,36	38	390	427	3	Okul 34	0,43	40	640	185	1
Okul 10	0,72	20	960	352	5	Okul 35	0,32	50	640	322	3
Okul 11	0,16	48	640	252	2	Okul 36	0,21	27	390	418	3
Okul 12	0,22	54	640	623	3	Okul 37	0,77	23	960	400	4
Okul 13	0,58	33	390	711	4	Okul 38	0,68	18	390	695	3
Okul 14	0,05	21	960	182	4	Okul 39	0,46	31	390	426	4
Okul 15	0,40	38	390	475	3	Okul 40	0,34	26	390	544	3
Okul 16	0,19	27	640	923	4	Okul 41	0,52	16	640	982	4
Okul 17	0,26	15	390	692	3	Okul 42	0,26	37	640	678	4
Okul 18	0,12	23	390	582	3	Okul 43	0,33	46	390	561	3
Okul 19	0,39	31	640	443	4	Okul 44	0,45	48	960	321	3
Okul 20	0,55	16	960	225	2	Okul 45	0,50	21	640	1058	4
Okul 21	0,80	24	390	465	3	Okul 46	0,57	39	960	224	3
Okul 22	0,30	36	640	795	5	Okul 47	0,41	15	640	1002	4
Okul 23	0,07	57	640	403	3	Okul 48	0,38	34	640	855	3
Okul 24	0,42	21	960	299	1	Okul 49	0,23	26	390	473	3
Okul 25	0,29	19	640	1122	4	Okul 50	0,28	17	390	258	2

Çizelge 2. 50 eğitim yapısı alt ölçüt değişimleri.

### 3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Ölçüt Ağırlıklarının Belirlenmesi

Ölçüt ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile tespit edilmiştir. Ölçütlerin önem dereceleri belirlenirken literatürde deprem hasarını etkileyen parametreler konusunda yapılan çalışmalardan, uzman görüşlerinden ve edinilen tecrübelerden yararlanılmıştır. Çizelge 3'te gösterilen ölçüt ağırlıklarından da anlaşılacağı üzere sismik tehlike düzeyi önem derecesi en yüksek ölçüt olarak belirlenmiş ve deprem hasarını etkileyen birçok parametreyi içeren eğitim yapısının yaşı ikinci derecede önemli ölçüt olarak kabul edilmiştir. Eğitim yapısı içinde bulunan öğrenci sayısı ve eğitim yapısının kullanım süresi birbiriyle aynı derecede önemli ölçütler olarak belirlenirken eğitim yapısının önem derecesinin, seçilen beş ölçüt içinde, en düşük seviyede önem derecesine sahip olduğu kabul edilmiştir.

Ölçütler	Ölçüt Ağırlıkları
Sismik Tehlike Düzeyi (MYİ) (g)	0,4547
Eğitim Yapısının Yaşı (yıl)	0,2407
Kullanım Süresi (dakika)	0,1203
Öğrenci Sayısı (kişi)	0,1203
Eğitim Yapısının Kat Adedi	0,0640

Çizelge 3. Ölçüt ağırlıkları

Yöntemin adımlarından biri olan tutarlılık oranı (CR) 0,0022 olarak hesaplanmış, 0,10'dan düşük olduğu için seçimlerin tutarlı olduğu belirlenmiştir. Analitik Hiyerarşi Sürecine göre belirlenen ölçüt ağırlıkları bu çalışmada uygulanan tüm çok kriterli karar verme yöntemlerinde kullanılmıştır.

### 3.2. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Çalışma Alanına Uygulanması

Bu bölümde, 50 eğitim yapısı için WASPAS, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri uygulanarak öncelik sıralamaları oluşturulmuştur. Sıralamaların ilişki düzeyleri Spearman Sıralama Korelasyon Testi ile belirlenmiştir. İstatistiksel ölçü olarak nitelendirilen katsayı ( $\rho$ ), ilk olarak Charles Spearman tarafından ortaya atılmıştır (Spearman, 1904). ( $\rho$ ) katsayısı iki değişken arasındaki bağımlılık, bir başka deyişle korelasyon ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Korelasyon aralıklarına göre ilişki düzeyleri Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Korelasyon Aralığı	İlişki Düzeyi
(-0,25) - (0,00) ve (0,00) - (0,25) arası	Çok Zayıf
(-0,49) - (-0,26) ve (0,26) - (0,49) arası	Zayıf
(-0,69) - (-0,50) ve (0,50) - (0,69) arası	Orta
(-0,89) - (-0,70) ve (0,70) - (0,89) arası	Yüksek
(-1,00) - (-0,90) ve (0,90) - (1,00) arası	Çok Yüksek

Çizelge 4. Spearman Sıralama Korelasyon Katsayısı ( $\rho$ ) ilişki düzeyleri (Spearman, 1904).

WASPAS, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile elde edilen sıralamaların Spearman Sıralama Korelasyon Testi sonucuna göre, üç yöntem de birbirleriyle karşılaştırıldıklarında ilişki düzeyleri "çok zayıf" olarak bulunmuştur (Çizelge 5).

Yöntemler	( $\rho$ ) katsayısı	İlişki Düzeyi
WASPAS-TOPSIS	0,06631453	Çok Zayıf
WASPAS-VIKOR	0,1382473	Çok Zayıf
TOPSIS-VIKOR	0,18165666	Çok Zayıf

Çizelge 5. Yöntemlerden elde edilen sıralamaların ilişki düzeyleri

TOPSIS ile VIKOR yöntemleriyle oluşturulan öncelik sıralamalarının birbirine daha yakın olduğu, WASPAS yönteminin ise diğer iki yöntemle karşılaştırıldığında daha düşük korelasyonlara sahip olduğu Çizelge 5'ten de görülmektedir.

Sıralama	WASPAS	TOPSIS	VIKOR	BORDA	Sıralama	WASPAS	TOPSIS	VIKOR	BORDA
1	Okul 32	Okul 32	Okul 32	Okul 32	26	Okul 5	Okul 40	Okul 24	Okul 24
2	Okul 37	Okul 21	Okul 37	Okul 37	27	Okul 9	Okul 22	Okul 42	Okul 9
3	Okul 10	Okul 37	Okul 10	Okul 10	28	Okul 42	Okul 5	Okul 5	Okul 5
4	Okul 21	Okul 10	Okul 46	Okul 21	29	Okul 25	Okul 26	Okul 9	Okul 42
5	Okul 46	Okul 38	Okul 44	Okul 46	30	Okul 24	Okul 12	Okul 25	Okul 25
6	Okul 13	Okul 29	Okul 21	Okul 13	31	Okul 40	Okul 30	Okul 2	Okul 40
7	Okul 44	Okul 13	Okul 13	Okul 38	32	Okul 30	Okul 42	Okul 33	Okul 30
8	Okul 45	Okul 46	Okul 45	Okul 44	33	Okul 16	Okul 25	Okul 27	Okul 2
9	Okul 38	Okul 20	Okul 29	Okul 29	34	Okul 27	Okul 7	Okul 30	Okul 26
10	Okul 41	Okul 8	Okul 38	Okul 45	35	Okul 2	Okul 50	Okul 23	Okul 27
11	Okul 48	Okul 41	Okul 41	Okul 41	36	Okul 7	Okul 23	Okul 16	Okul 7
12	Okul 31	Okul 45	Okul 31	Okul 8	37	Okul 33	Okul 11	Okul 40	Okul 11
13	Okul 29	Okul 44	Okul 48	Okul 31	38	Okul 11	Okul 2	Okul 11	Okul 16
14	Okul 8	Okul 39	Okul 35	Okul 48	39	Okul 26	Okul 17	Okul 26	Okul 23
15	Okul 22	Okul 34	Okul 20	Okul 20	40	Okul 49	Okul 27	Okul 7	Okul 33
16	Okul 39	Okul 15	Okul 4	Okul 39	41	Okul 17	Okul 28	Okul 3	Okul 17
17	Okul 19	Okul 31	Okul 8	Okul 35	42	Okul 36	Okul 49	Okul 49	Okul 49
18	Okul 35	Okul 48	Okul 22	Okul 4	43	Okul 23	Okul 36	Okul 17	Okul 50
19	Okul 15	Okul 24	Okul 12	Okul 19	44	Okul 28	Okul 16	Okul 36	Okul 36
20	Okul 4	Okul 19	Okul 34	Okul 15	45	Okul 50	Okul 33	Okul 28	Okul 28
21	Okul 43	Okul 4	Okul 19	Okul 22	46	Okul 3	Okul 3	Okul 50	Okul 3
22	Okul 20	Okul 47	Okul 39	Okul 34	47	Okul 18	Okul 6	Okul 14	Okul 6
23	Okul 47	Okul 9	Okul 47	Okul 47	48	Okul 6	Okul 1	Okul 18	Okul 18
24	Okul 12	Okul 35	Okul 43	Okul 43	49	Okul 14	Okul 18	Okul 6	Okul 14
25	Okul 34	Okul 43	Okul 15	Okul 12	50	Okul 1	Okul 14	Okul 1	Okul 1

Çizelge 6. Yöntemlerden elde edilen sıralamalar

Çalışmanın ikinci aşamasında üç yöntemle belirlenen sıralamaların tek bir sıralamaya dönüştürülmesi için BORDA Sayım Yöntemi kullanılmıştır. WASPAS, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile elde edilen sıralamalar ve üç yöntemin sıralamalarının birleştirildiği BORDA sıralaması Çizelge 6’da gösterilmiştir.

Tüm ilişki düzeyleri “çok zayıf” olarak hesaplanmasına karşın, ilk öncelikli olarak deprem güvenliği belirlenecek eğitim binasının tüm yöntemlerde “Okul 32” adı verilen okul olduğu görülmektedir.

Deprem güvenliği belirlenecek okulların sıralaması sadece sismik tehlike düzeylerine göre sıralanmış olsaydı, 0,80g maksimum yer ivmesine sahip zemin üzerinde bulunan “Okul 21” adı verilen eğitim binasının öncelikli olması gerekecekti. Ancak söz konusu okulun WASPAS yöntemine göre 4, TOPSIS yöntemine göre 2 ve VIKOR yöntemine göre 6. öncelik sırasında olduğu görülmektedir.

Bir başka çarpıcı örnek ise eğitim binalarının yaşları ile ilişkilidir. Rastgele seçilen 50 okul içinde en eski okul 57 yıl önce yapımı gerçekleştirilen “Okul 23” adı verilen eğitim binasıdır. Ancak,

“Okul 23”, WASPAS yöntemine göre 43, TOPSIS yöntemine göre 36 ve VIKOR yöntemine göre 39. sırada yer almaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile deprem performans düzeylerinin belirleneceği eğitim yapılarının öncelik sıralamasının oluşturulması amaçlanmıştır. Rastgele seçilen 50 eğitim yapısının deprem güvenliğinin belirlenmesi için 5 farklı kriter ve alt kriterleri belirlenmiştir. Deprem hasarını etkileyen parametreler üzerinde yapılan çalışmalar, uzman görüşleri ve kişisel deneyimlerden yararlanılarak belirlenen kriterlerin ağırlıkları, Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak hesaplanmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemleri WASPAS, VIKOR ve TOPSIS kullanılarak oluşturulan öncelik sıralamaları Spearman's Rank Correlation Test ile karşılaştırılmıştır. Buna göre her üç yöntemin de birbiri ile korelasyon düzeyi “çok düşük” olarak belirlenmiştir. Daha sonra sıralamalar veri birleştirme yöntemi olan BORDA Sayma Yöntemi ile birleştirilerek tek bir sıralama elde edilmiştir.

Korelasyon düzeyi çok düşük çıkması nedeniyle tek bir yöntem kullanılarak oluşturulan sıralamaların her zaman sağlıklı sonuçlar veremeyeceği, özellikle deprem güvenliğinin sağlanması gibi çok önemli konularda birden fazla çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Birden fazla yöntemin uygulanması, aralarında ilişki kurularak ilişki düzeylerinin belirlenmesi ve bütünlük bir sıralama oluşturulmasının verilecek kararlarda hata payını minimum seviyeye düşürecektir.

Çok alternatifli öncelik sıralama problemlerinde ilk ve son sıraların tüm yöntemlerde çok fazla değişmediği ancak orta sıralamalarda büyük farklılıkların oluşabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, yukarıda örneklendirilen, tek kriterle oluşturulacak sıralamalarda yapılabilecek hatalar, çok kriterli karar verme yöntemleri ile doğru karara en yakın sonuçlara ulaşılabilmesini göstermiştir.

Bu çalışmanın, deprem güvenliği belirlemek için öncelik sıralaması oluşturması bakımından literatürde bir ilk olması nedeniyle gelecekte bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutabilecek nitelikte olduğu, makro ve mikro ölçekte (yerel ve/veya ülke çapında) uygulanabilmesi nedeniyle de konuyla ilgili çalışmalara kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Alpar, R., Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler, Üçüncü Baskı, Detay Yayıncılık, Ankara 2011.
- Ateş A., Mutlu A.H., “Earthquake Hazard Mapping and Analysis by Integrating GIS, AHP and TOPSIS for Gölyaka Region in Düzce, Turkey”, Journal of Current Construction Issues, pp. 103-113, (May 2019).
- Aslan, H. M., Yıldız, M. S. & Uysal Tezcan, H., Afet İstasyonlarının Kuruluş Yeri Seçiminde Bulanık TOPSIS Yönteminin Uygulanması: Düzce’de Bir Lokasyon Analizi, Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 2015, Yıl:3, Cilt:3, Sayı:2.
- Bassett, JR., G.W., Persky, J., (1999), Robust Voting, Public Choice 99, pp.299-310.
- Ceballos, B., Lamata, M.T., Pelta, D.A., “A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods” Progress in Artificial Intelligence, April 2016, DOI: 10.1007/s13748-016-0093-1
- Chu, J., Su, Y., 2012. The application of TOPSIS method in selecting fixed seismic shelter for evacuation in cities. Systems Engineering Procedia, 3, 391-397.
- Değerliyurt, M. 2014, “İskenderun-Arsuz İlçelerinin (Hatay) CBS Tabanlı Zemin Hareketleri Duyarlılık Analizi”, Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume 9/5 Spring 2014, p. 655-678, ANKARA-TURKEY
- Eleren, A. ve Karagül, M., “1986-2006 Türkiye Ekonomisinin Performans Değerlendirmesi”, Celal Bayar Üniversitesi İİBF Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 15(1): (2008), s. (1-14).
- Ergünay, O., Gülkan, P., Güler, H., H., T.C. İçişleri Bakanlığı Japon Uluslar arası İşbirliği Ajansı (JICA), “Afet Yönetimi İle İlgili Terimler Açıklamalı Sözlük”, Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri”, 2, Mikdat Kadioğlu ve Emin Özdamar (ed.), İSMAT Matbaacılık, Ankara, 14-15, 43, 50 (2008).
- Ertuğrul, İ. & Özçil, A. “Çok Kriterli Karar Vermede TOPSIS ve VIKOR Yöntemleriyle Klima Seçimi”, Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, , Cilt 4, Sayı 1: (2014), s. (267-282).
- Güçlendirme ve Yeniden Yapım Çalışmaları, İSMEP Rehber Kitaplar, 2014.
- Hazırcı, M., Şahin, Y., (2019). Geçici İskân Alanlarının Seçimi İçin AHP Temelli P-Medyan Modeli: Burdur Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 403-417.
- Hwang, C.L. & Yoon, K., “Multiple attribute decision making, methods and applications Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol.186. (1981), New York: Springer-Verlag.
- [http://sgb.meb.gov.tr/meb\\_iys\\_dosyalar/2020\\_09/04144812\\_meb\\_istatistikleri\\_orgun\\_egitim\\_2019\\_2020.pdf](http://sgb.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2020_09/04144812_meb_istatistikleri_orgun_egitim_2019_2020.pdf) (Erişim Tarihi 15.02.2021)
- Jena, R., Pradhan, B., Beydoun, G., Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model”, International Journal of Disaster Risk Reduction 46 (2020) 101518, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101518>
- Karaman, H., Rezaei, S., Kalkan, K., Konukçu B., E., Erden, T. 2014. Afet Sonrası En Uygun Geçici Barınma Alanlarının CBS ile Tespiti. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

Lumini, A., Nanni, L., (2006), Detector of Image Orientation Based on Borda Count, Pattern Recognition Letters, 27(3), pp.180–186.

Madić, M., Gecevska, V., Radovanović, M. & Petković, D. 2014. Multi-criteria economic analysis of machining processes using the WASPAS method. Journal of Production Engineering, 17(2): 79-82.

Mutlu, A. H. (2020). Binaların Güçlendirme/Yıkım Kararı Sürecindeki Ekonomik Değerlendirme İçin Yeni Bir Yöntem Önerisi: Eğitim Yapıları Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı), 46-56.]

Omidvar, B., Baradaran-Shoraka, M. & Nojavan, M., 2013. Temporary site selection and decision-making methods: a case study of Tehran, Iran. Disasters, 37(3), 536-553.

Opricovic, S., Tzeng, Gwo-H., “The Compromise Solution By MDCM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS”, European Journal Of Operational Research, Vol. 178: (2004), s. (445-455).

Önder G. & Önder E., “Analitik Hiyerarşi Süreci”, (Bahadır Fatih YILDIRIM ve Emrah ÖNDER), Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Yayıncılık 2015, s. (21-65).

Özdemir M., “TOPSIS”, (Bahadır Fatih YILDIRIM ve Emrah ÖNDER), Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Yayıncılık 2015, s. (133-153).

Özsahin, E. 2014, “Earthquake Damage Risk Analysis in Tekirdag Province Using Geographic Information System (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP)” International Journal of Human Sciences, volume:11, issue:1, year:2014, p.861-879.

Öztel, A., Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara 2016.

Rashed, T., Weeks, J. 2003. Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards Through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas, International Journal of Geographic Information Science, 17(6), 547-548.

Saaty, R. W., (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical Modelling, 9(3), 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).

Spearman,C.(1904) "The proof and measurement of association between two things" Amer.J.Psychol. C.15 say.72–101

Subaşı, H., Çok Kriterli Karar Vermede Kullanılan TOPSIS Ve AHP Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Bir Uygulama, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2011.

Supçiller, A., Çarpraz, E., “AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması”, Ekonometri ve İstatistik, Sayı:13 (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı) (2011), s. (1–22).

Şekkeli, Z. (2020). Afet ve Acil Durum Lojistiği Kapsamında Acil Durum Toplanma Merkezi Seçiminde AHP Yöntemi: Kahramanmaraş On İki Şubat Belediyesinde Bir Uygulama. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 9 (2) , 903-930.

TDTH (2018). Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları AFAD-2018 <https://tdth.afad.gov.tr>, (Erişim tarihi:10.05.2021)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018.



Turskis, Z., Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J. & Kosareva, N. 2015. A hybrid model based on fuzzy AHP and fuzzy WASPAS for construction site selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 10(6): 873-888.

Wu, W.W., (2011), Beyond Travel & Tourism Competitiveness Ranking Using DEA, GST, ANN and Borda Count, *Expert Systems With Applications*, 38(10), pp.12974-12982.

Yu Po.-Long, “A Class Of Solutions For Group Decision Problems”, *Management Science*, 19(8), (1973), s. (936-946).

Zavadskas, E.K., Baušys, R. & Lazauskas, M. 2015. Sustainable assessment of alternative sites for the construction of awaste incineration plant by applying WASPAS method with single-valued neutrosophic set. *Sustainability*, 7: 15923–15936.

Zeleny, M. *Compromise Programming, Multiple Criteria Decision Making*, (1982), 286.

Zolfani, S. H. & Saparauskas, J. 2013. New application of SWARA method in prioritizing sustainability assessment indicators of energy system. *Engineering Economics*, 24(5): 408-414.

Zavadskas, E.K., Antucheviciene, J., Šaparauskas, J. & Zenonas Turskis, Z. 2013. Multicriteria assessment of facades' alternatives: peculiarities of ranking methodology. *Procedia Engineering*, 57: 107 – 112.

Zopounidis, C. and Pardalos, P., *Handbook Of Multicriteria Analysis*, Springer Science and Business Media 2010.

## Tüberküloz Tedavisinde Mikobakteriyofajlar

Kübra YILDIRIM<sup>1</sup>

### Giriş

Tüberküloz (TB), *Mycobacterium tuberculosis* bakterisinin neden olduğu, başta akciğerler olmak üzere birçok organda kendini gösterebilen, insanlar arasında solunum yolu ile yayılan bulaşıcı bir hastalıktır (Bloom vd., 2010: 233). 2019 yılında dünya çapındaki ölüm nedenleri sıralamasında baştan 13. sırada yer alan TB, tek bir enfeksiyöz ajan sebebiyle meydana gelen ölümler açısından COVID-19'dan sonra ikinci sıradadır. Dünya nüfusunun yaklaşık 4 de 1'i hali hazırda TB basili ile enfekte durumdadır. Her 4 kişiden biri vücudunda canlı tüberkül basilini taşır ancak hastalık semptomu göstermez. Latent enfeksiyon olarak adlandırılan bu durum yeni aktif TB vakalarının en büyük rezervuarıdır (Dean vd., 2022: e191; Kiazzyk ve Ball, 2017: 62; WHO, 2021: 8). Tanı ve tedavi yöntemlerindeki ilerlemelere rağmen hala küresel sağlığı tehdit eden TB, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) raporuna göre 2020 yılında dünya çapında tahminen 9,9 milyon insanı enfekte etmiştir. Bu 100.000 nüfus başına 127 vakaya eşdeğerdir. Aynı yıl içerisinde 1,3 milyon insan ise TB sebebiyle hayatını kaybetmiştir (WHO, 2021: 7).

Bakterilerde meydana gelen değişiklikler, enfeksiyonları tedavi etmek için kullanılan ilaçların daha az etkili olmasına neden olduğunda ortaya çıkan bakteriyel antimikrobiyal direnç (AMR), 21. yüzyılın önde gelen halk sağlığı tehditlerinden biridir (Murray vd., 2022: 630). *M. tuberculosis* izolatlarında çok ilaca direnç (ÇİD) ve yaygın ilaca direnç (YİD) olmak üzere iki ayrı antimikrobiyal direnç kavramı söz konusudur. Birinci kuşak antibiyotiklerden olan izoniazid (İNH) ve rifampisin (RİF)'e karşı gelişen direncin tanımı olan ÇİD ve İNH-RİF direncine ilaveten herhangi bir florokinolona ve bedakulin (BDQ) ya da linezolidde (LZD) karşı gelişen direncin tanımı olan YİD, TB kontrol programları için önemli bir sorun teşkil etmektedir (Seung vd., 2015: 1; "WHO, 2022: 1).

ÇİD-TB ve YİD-TB suşlarının ortaya çıkması ve enfeksiyonun hızla yayılmasıyla birlikte bilim insanları odak noktalarını yeni anti-TB ilaçların araştırılması, çoklu ilaç kombinasyonlarına alternatif yeni tedavi rejimlerinin geliştirilmesine çevirmiştir. Bunun yanın sıra 1915-1917 yıllarında ilk keşfedildiklerinde umut vaadeden ancak sonrasında yeni antibiyotiklerin keşfedilmesiyle geri planda kalan "faj terapisi" de çağımızın alternatif tedavi seçenekleri arasında yeniden yerini almıştır. (Aranaga vd., 2022: 1; Hesse ve Adhya, 2019: 2).

Bakteriyofajlar (fajlar), yalnızca bakterileri enfekte eden virüslerdir. Fajlar en bol bulunan biyolojik varlıkları temsil ederler ve insan vücudu dahil her doğal ortamda bulunabilirler. Dünyadaki faj sayısının  $10^{31}$  olduğu tahmin edilmektedir (Hatfull ve Hendrix, 2011: 1). Fajlar iki farklı yaşam döngüsü içerisinde replikasyonlarını sürdürürler. Lizojenik fajlar bakteri genomuna entegre olup konak organizmasıyla birlikte çoğalırken (lizojenik döngü), litik fajlar konak organizmanın hücre içi mekanizmalarını yeni fajları üretmeye yönlendirerek konağını zarara uğratarak çoğalmaktadır (litik döngü) (Hesse ve Adhya, 2019: 3). Fajlar, konağın normal mikrobiyotasına zarar vermeden birçok bakteriyi spesifik olarak hedefleyip öldürebildiğinden, fajların antibiyotik tedavisine kıyasla bazı avantajları vardır (El Haddad vd., 2019: 176). Tetrasiklinler gibi bazı antibiyotikler bakteriyostatik

<sup>1</sup> Doktor, Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Orcid: 0000-0003-0558-8619  
Verem Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye

olmalarına rağmen litik fajlar tarafından enfekte olan bakteriler canlılıklarını geri kazanamadıkları için fajlar önemli bakterisidal ajanlardır (Loc-Carrillo ve Abedon, 2011:111). Konak organizmasında bulunduğu yerde sayıca artma potansiyeline sahip olduğu için enfeksiyon sırasında “otomatik dozlama” denen bir durumla faj dozunun oluşmasına katkıda bulunurlar (Skurnik ve Strauch, 2006: 7). Bir bakteri türünün yalnızca birkaç suşunu enfekte etme yeteneklerinden ötürü konak özgüllükleri nedeniyle normal flora bakterilerini yalnızca minimum düzeyde etkilerler (Hyman ve Abedon, 2010: 218). Fajların en önemli avantajı ise antibiyotiklerle çapraz direnç oluşturmadaki eksiklikleridir. Fajlar, antibiyotiklerinkinden farklı mekanizmalar kullanarak bakterileri enfekte edip öldürdüğü için, spesifik antibiyotik direnç mekanizmaları, faj direnci mekanizmalarına dönüşmez (Kutter vd., 2010; Loc-Carrillo ve Abedon, 2011:112).

1930'larda yaygın olarak kullanılmasına rağmen, faj tedavisi araştırmaları ve klinik uygulamalar, II. Dünya Savaşı'ndan sonra, yeni antibiyotiklerin ortaya çıkmasıyla birlikte batı dünyası tarafından büyük ölçüde ihmal edilmiştir. Batıda diğer antibakteriyeller benimsenmiş olsa da eski Sovyetler Birliği cumhuriyetlerinde (SSCB) faj tedavisi gelişimini sürdürmüştür. Fajlar, antibiyotiklerin Batı'da zirvede olduğu 1960'lar ve 1970'lerde bile SSCB'deki sağlık sistemlerinin standart bir parçası olarak kalmış, tedavi, profilaksi ve birçok bakteriyel enfeksiyonun teşhisi için kullanılmıştır (Kutateladze ve Adamia, 2010: 591).

Antibiyotik tedavisinin başarısız olduğu vakalarda geçici bir önlem olarak bakteriyofajların kullanılması fikri, son yıllarda son derece olumlu hasta sonuçları olan deneysel faj tedavisi vakalarının raporlanmasıyla birlikte yeniden ivme kazanmıştır. Çok ilaca dirençli *Klebsiella pneumoniae* sekansı tip 258 (ST258) ile enfekte olmuş farelerde tek tek ve kombine halde 2 fajla tedavi edilmesi sonucu farelerde ST258 bakteriyemisini engellediği bildirilmiştir (Hesse vd., 2021: 8). Çok ilaca dirençli *Acinetobacter baumannii* enfeksiyonu ile komplike olan nekrotizan pankreatitli 68 yaşındaki diyabetik bir hasta için kişiselleştirilmiş bakteriyofaj terapisinin, çok sayıda antibiyotik tedavisine ve çabalara rağmen, 4 aylık bir süre içinde kötüleşen durumunu tersine çevirdiği ve enfeksiyonun ortadan kalktığı bildirilmiştir (Schooley vd., 2017: 9).

**Mikobakteriyofajlar**, *Mycobacterium smegmatis* ve *Mycobacterium tuberculosis* dahil mikobakteriyel konakları enfekte eden virüslerdir. Siphoviridae ve Myoviridae olmak üzere iki ana aileyi içeren Caudovirales takımına ait bu virüsler kuyruklu çift sarmallı DNA (dsDNA) virüsleridir (Hatfull, 2020: 40; Hosseiniporham ve Sechi, 2022: 1). İlk mikobakteriyofajlar 1940'ların sonlarında konak olarak *M. smegmatis* kullanılarak izole edilmiştir, ardından *M. tuberculosis*' i enfekte eden fajların izolasyonu yapılmıştır (Gardner ve Weiser, 1947: 205; Hatfull, 2014: 1) *M. smegmatis* mc<sup>2</sup> 155 suşu kullanılarak izole edilen mikobakteriyofajlardan bazıları şunlardır: C2, I3, Bxz1, Rahel, D4, D29, L1, L5, PDRP<sub>xv</sub>, OKCentral2016, Ms6 Donny, BPs, Angel, Halo, Faze9, Donny, KingMidas, ZoeJ, Milly, Adephagia ve CrimD ve phAE19 (Hosseiniporham ve Sechi, 2022: 2). **Veri tabanına bakıldığında bugüne kadar tanımlanmış 11.991 mikobakteriyofaj olduğu ancak bunların sadece 2134 tanesinin dizi analizinin yapıldığı bildirilmiştir** (*The Actinobacteriophage Database* | *Mycobacterium*, n.d.).

Mikobakteriyofaj uygulamaları TB'nin teşhisinde (Muzaffar vd., 2002: 635), ilaç duyarlılık testlerinde (Crowley vd., 2019: 124) kullanılmaktadır. Terapötik potansiyellerine (Azimi vd., 2019: 2943) bakıldığında alternatif tedavi seçenekleri arasında önemli bir yer tutmaktadır.

TB teşhisi için faj kullanımı, TB yükünün yüksek olduğu ve sağlık tesislerinin yetersiz olduğu ülkeler için uygun bir seçenek olarak görülmektedir. İlk kez Wilson ve ark. tarafından tanıtılan klinik örneklerde canlı *M. tuberculosis*' i dolaylı olarak saptayan bir teknoloji olan biyolojik olarak amplifiye edilmiş faj (PhaB) testi, litik faj D29' un hem *M. tuberculosis* hem de *M. smegmatis*' i enfekte etme yeteneğine dayanır. (Wilson vd., 1997: 465) Balgam numunelerinde canlı tüberkül basilinin varlığını göstermek için kullanılan FASTPlaque<sup>®</sup> TB testi (Biotec Laboratories Ltd, Ipswich, UK), bakteriyofaj D29' un bir gösterge olarak kullanıldığı faj amplifikasyon teknolojisine dayanan ilk ticarileştirilmiş testtir (Muzaffar vd., 2002:635). Faj tabanlı testlerin gerçekleştirilmesi nispeten kolaydır, sadece

rutin mikobakteriyel kültürler için gerekli olan laboratuvar altyapısı gerektirir. Faj bazlı testlerin sonuçlanma süresi ise yaklaşık 2 gündür (Kalantri vd., 2005: 2). Test , hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde TB' nin hızlı teşhisi için yeni araçlar sunabilir.

Mikobakteriyofaj uygulamaları bu çalışmalarla sınırlı kalmamış, ÇİD-TB ve YİD-TB suşlarının ortaya çıkmasıyla birlikte antibiyotik tedavisine alternatif olarak TB' nin tedavisinde kullanım potansiyelleri araştırılmıştır. Faj DS-6A, TM4, D29, T7, P4, PDRPv, BTCU-1, Bo4, SWU1, GR-21/T, My327, Ms6, Bxz2 terapötik etkinlikleri araştırılan mikobakteriyofajlardan bazılarıdır (Azimi vd., 2019: 2945). Bunların içerisinde mikobakteriyofaj D29, genomunda lizin A, lizin B ve holin proteinleri kodlayan 3 gen den oluşan bir litik kaset bulundurulur. Gp10 tarafından kodlanan Lysin A, bakteri hücre duvarının peptidoglikanını hidrolize eder. Gp12, mikobakteriyel hücre duvarındaki peptidoglikanlardan mikolik asidin yayılmasına yol açan Lysin B' yi kodlar. Holin, membranda gözenek oluşturucu bir protein olarak, lizinlerin sitozolden periplazmaya transferine katılır (Hassan vd., 2010: 23; Pohane vd., 2014: 12085). Sahip oldukları litik aktivite mikobakteriyofajları önemli terapötik ajanlar haline getirir.

Mikobakteriyofajların litik aktiviteleri, *M. abscessus*, *M. ülserans*, *M. avium* ve *M. tuberculosis*' de başarılı bir şekilde gösterilmiştir. Ancak verilerin çoğu *in vitro* denemeler ve hayvan modelleriyle sınırlı kalmış olup klinik raporlar yetersizdir. (Broxmeyer vd., 2002: 1155; Trigo vd., 2013: 1). Mikobakteriyofaj tedavisine yönelik yakın tarihli bir klinik vaka raporunda, kistik fibrozlu 15 yaşındaki bir hastada tüberküloz dışı bir mikobakteri olan yaygın ilaca dirençli *M. abscessus* subsp. *massiliense*' nin tedavisinde üç fajdan oluşan bir kokteyl kullanılmıştır. Hasta ilaç tedavisine yanıt vermediği için, mikobakteriyofaj veri tabanı taranmış ve ardından genom mühendisliği ve ileri genetik uygulamalarla üç fajlı (faj Muddy, ZoeJ fajının litik türevidir, BP litik fajının geniş konak aralıklı mutanı) kokteyl hazırlanarak herhangi bir yan etki olmaksızın intravenöz olarak uygulanmış ve klinik iyileşme göstermiştir. Enfekte cilt lezyonlarını azaltmış ve karaciğer fonksiyonunu iyileştirmiştir. 121 günlük tedaviden sonra, hastanın *M. abscessus* izolatlarının, kokteyldeki üç fajın her birine hala duyarlı olduğu görülmüş ve bir nötralize edici immün yanıt oluşmamıştır. Başka bir vakada da aynı üç fajlı kokteyl kullanılarak, *M. abscessus* subsp. *massiliense* ile enfekte olan 81 yaşındaki bir hasta 6 ay boyunca tedavi edilmiştir. Tedavi *M. abscessus* balgam yükünü bir ay içinde on kat azaltmıştır ancak iki ay sonra hastada fajlara karşı güçlü bir IgG ve IgM aracılı nötralize edici antikor yanıtı oluştuğu için bakteri sayısı artmıştır. (Dedrick vd., 2021:1; Dedrick vd., 2019: 730). İlginç bir şekilde, *M. abscessus*' un klinik izolatları arasında faj duyarlılığında önemli farklılıklar vardır ve bir hastada başarıyla kullanılan kokteyl diğer hastalar için uygun değildir (Dedrick vd., 2021a). Çalışma sonuçları faj tedavilerinin kişiselleştirilmiş tedaviler olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle klinik uygulamalar öncesi *in vitro* çalışmaların artırılması son derece önemlidir.

Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), San Diego'daki Yenilikçi Faj Uygulamaları ve Tedavi Merkezinin (IPATH), "Acil Durum Araştırma Yeni İlaç" şeması aracılığıyla deneysel bir tedavi olarak faj tedavisini kullanmasını onaylamıştır. İki yıllık bir süre içinde farklı mikobakteriyel enfeksiyonlara karşı faj terapisi için 90 talep (47 *M. abscessus*, 23 *M. avium*, 7 *M. chimaera* ve *M. chelonae*, *M. smegmatis*, *M. xenopi* ve *M. genavense* dahil olmak üzere 13 diğer *Mycobacterium* türü) olduğunu duyurmuştur. Merkezde faj terapisi *M. abscessus* enfeksiyonu olan sadece dört hasta için onaylanmış ve uygulanmıştır (Shield vd., 2021: 8).

Bunun yanı sıra bugüne kadar *M. tuberculosis*' i tedavi etmek için uygulanan herhangi bir faj terapisi mevcut değildir ve diğer tüberküloz dışı mikobakteriler haricinde herhangi bir klinik vaka çalışması bildirilmemiştir. Ancak hayvan modellerine bakıldığında *M. tuberculosis* için de faj terapisinin oldukça umut verici olduğu görülmektedir.

*M. tuberculosis*' in duyarlı suşları ile enfekte olan kobaylarda mikobakteriyofaj D29' un anti-TB etkisinin araştırıldığı bir çalışmada 10<sup>6</sup> PFU/0.1 mL konsantrasyonda faj haftada üç kez intranasal olarak uygulanmıştır. Faj ile tedavi edilen grubun akciğerlerindeki bakteri yükü ve rifampin ile tedavi edilen grubun akciğerlerindeki bakteri yükünün, kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde azaldığı

gösterilmiştir. Bakteriyofaj D29 ile tedavinin terapötik etkisinin, kobaylarda herhangi bir yan etki olmaksızın rifampininkine yaklaşılabileceği, hatta ondan daha iyi olabileceği gösterilmiştir (Li vd., 2009: 1).

Mikobakteriyofajların doğrudan inhalasyon yoluyla akciğerlere verilmesinin profilaktik etkisi olduğu fare modelinde gösterilmiştir. Carrigy vd. tarafından uygulanan deneysel modelde mikobakteriyofaj D29, yaklaşık 1 PFU/alveol konsantrasyonunda, doz simülasyon tekniği ile optimize edilmiş ve titreşimli ağ nebulizörü ile kullanım için uyarlanmış sadece burundan inhalasyon cihazı kullanılarak farelerin akciğerlerine verilmiştir. Bakteriyofaj verilmesinden sonraki 30 dakika içinde, farelerin akciğerlerine ya düşük dozda (50 ila 100 CFU) ya da ultra düşük dozda (5 ila 10 CFU) *M. tuberculosis* H37RV aerosolü verilmiştir. Bakteriyofaj aerosol ön tedavisinin fare akciğerlerinde *M. tuberculosis* yükünü 24 saat -3 hafta süresinde önemli ölçüde azalttığı bir profilaktik etki gözlemlenmiştir (Carrigy vd., 2019: 4). Sonuçlar, TB'ye maruz kalma riski yüksek olan bireyler tarafından mikobakteriyofajların inhale edilmesinin enfeksiyondan korunma için önemli bir aşama olabileceğini öne sürmektedir. Daha büyük veya tekrarlanan aktif faj dozları ile tam profilaksi sağlanabileceği öngörülmektedir.

Tek bir fajın değil de içerisinde 3 ya da daha fazla farklı litik faj bulunduran faj kokteyllerinin inhale edilmesi tam profilaksinin oluşmasını sağlayabilir. Çünkü yakın zamanda yapılan *in vitro* çalışmalar litik fajların kokteyl halinde test edilmesi sonucu önemli aktivitelerinin olduğunu göstermektedir. Faj direncinin ortaya çıkmasını ve çoklu fajlara çapraz direnci en aza indirmek amacıyla beş adet faj içeren bir kokteyllinin *M. tuberculosis* H37Rv ile 7 gün boyunca inkübe edilmesi sonucu bakteriler üzerinde güçlü bir anti-TB etki gösterdiği bildirilmiştir (Guerrero-Bustamante vd., 2021:12).

Bir diğer *in vitro* çalışmada düşük pH, düşük büyüme hızı ve hipoksi gibi çeşitli patofizyolojik koşullar altında mikobakterilere karşı bir faj kokteyllinin *M. smegmatis*' e karşı etkili olduğu ve faj kokteyllinin uzun süre direnç oluşumunu engellediği gösterilmiştir. Yine aynı çalışmada *M. tuberculosis* H37Ra' ya karşı bu sefer 3 fajlı (D29, TM4, DS6A) kokteyl hazırlayarak litik aktivitelerine bakıldığında ise birkaç hafta boyunca *M. tuberculosis*' in büyümesini önlemede başarılı ve etkili olduğu ve OD ölçüleriyle tutarlı olarak faj tedavisinden sonra bakteri sayısında azalma olduğu gösterilmiştir. Bu deneyler, fajların uzun süreler boyunca yavaş büyüyen *M. tuberculosis*' e karşı da etkili olabileceğini göstermektedir zyk(Kalapala vd., 2020: 7).

Litik bir faj olan TM4' ün hem intraselüler hem de ekstraselüler *M. avium* ve *M. tuberculosis*' i öldürdüğü *in vitro* model çalışmasında, faj enfeksiyonundan 2 saat sonra ekstraselüler *M. avium*' un canlı basil sayısında %50 azalma, enfeksiyondan 4 saat sonra ise ekstraselüler *M. tuberculosis*' in canlı basil sayısında 30 kat azalma gözlenmiştir. Aynı çalışmada TM4' ün tek başına intraselüler basillere karşı bir etkinliği görülmezken, TM4 ile enfekte olmuş *M. smegmatis*' in hücre içi etkinliğinde canlı basil sayısında önemli düşüşler gözlenmiştir.(Broxmeyer vd., 2002: 1157)

Tüm bu çalışmalar tüberkülozun tedavisinde mikobakteriyofaj kullanımının önemli terapötik potansiyeli olduğunu göstermektedir. Ancak mikobakteriyofaj terapilerinin klinikte uygulanmalara geçebilmesinde kişiselleştirilmiş tedaviler olduğu göz önünde bulundurulduğunda, fajların çeşitliliği, direnç mekanizmaları, antibiyotiklerle olan etkileşimleri, immün yanıtlarındaki farklılıkları hakkında daha çok bilgiye ihtiyaç duyulmakta ve *in vitro* çalışmalara daha fazla ağırlık verilmelidir.

## *Mycobacterium tuberculosis* ve Makrofaj İlişkisi

Kübra YILDIRIM<sup>1,2</sup>  
Esra TANYEL AKÇİT<sup>2,3</sup>

### Giriş

Antik çağlardan beri sürekli savaş halinde olduğumuz tüberküloz (TB) Hipokrat tarafından M.Ö. 400 gibi erken bir tarihte tanımlanmıştır. *Mycobacterium tuberculosis* (Mtb) DNA'sı M.Ö. 2000 yılından itibaren Mısır mumyalarında keşfedilmiştir.(Zink ve diğerleri, 2003: : 359-367). Tüm ölümlerin %20-30'unun TB 'den kaynaklandığı salgınlar olmuştur (Donoghue, 2009 : 1156-1162). Ancak 19. yüzyılda, barınma (hastaların tedavi gördüğü sanatoryumların açılması), beslenme, eğitim ve sanitasyon iyileştikçe; yaşam koşullarının ve sosyal faktörlerin önemi anlaşılmıştır.1943'te streptomisin keşfiyle, TB tıbbi olarak tedavi edilebilir bir hastalık haline gelmiş ve insidans 20. yüzyıl boyunca gelişmekte olan ülkelerde düşmeye devam etmiştir (Snowden, 2008 : 9-26). Bununla birlikte, HIV salgını, yeni tropik hastalıkların ortaya çıkması ve antibiyotik direnci, bulaşıcı hastalıkları yeniden küresel bir tehdit haline getirmiştir. Çoklu ilaca dirençli TB'nin evrimi, bağışıklık sistemi zayıflamış HIV pozitif kişilerin TB'ye karşı artan duyarlılığı, küreselleşme nedeniyle artan insan hareketliliği ve Bacillus Calmette-Guérin (BCG) aşısının bazı durumlarda etkisizliği, son yirmi yılda TB'yi yeniden gündeme getirmiştir.(Navin, McNabb ve Crawford, 2002:1187). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2020 yılı raporuna göre 1,3 milyon mortalite ile, TB gerçekten küresel bir acil durumdur (Davis ve Ramakrishnan, 2009).

### Tüberküloz nedir?

Tüberküloz “*Mycobacterium tuberculosis* complex” olarak adlandırılan bir grup mikobakteri ( *M. africanum*, *M. bovis*, *M. microti*, *M. tuberculosis*, *M pinnipedii*, *M.caprae*, *M.mungi*, *M.surricattae*, *M.orygis*) nin neden olduğu, enfekte dokularda granülomların varlığı ile karakterize edilen, değişik klinik süreçlere sahip bakteriyel bir enfeksiyondur.(Orgeur ve Brosch, 2018 :68-75). İnsan TB'si çoğunlukla bir Mtb suşu ile oluşur, ancak *M. africanum* ve *M. bovis* enfeksiyonu da TB gelişimine yol açabilir. Robert Koch, 1881'de ezilmiş granülomları kültürleyerek *Mycobacterium tuberculosis* (Mtb)'i tanımlamıştır.(Ducati, Ruffino-Netto, Basso ve Santos, 2006: 697-714.) Mtb, çok yavaş çoğalan yaklaşık 0,5 µm çapında ve 1-4 µm uzunluğunda bir bakteridir, kristal viyole ile zayıf bir şekilde boyanır ve benzersiz hücre duvarına sahiptir. Bir flagellum veya bir kapsülü yoktur. Karmaşık, mumsu hücre duvarı, aside dirençli özelliğini verir.(Orgeur ve Brosch, 2018 :68-75)

### Nasıl Bulaşır?

*M. tuberculosis* basilinin bulaşması, enfekte olmuş bir bireyin akciğerlerinden salınan kontamine damlacıkların, tipik olarak öksürük yoluyla solunmasıyla gerçekleşir. Basillerle hiç karşılaşmamış kişiler sağlıklı kişilerdir. İlk kez basille karşılaştığında birincil enfeksiyon oluşur.

<sup>1</sup> Doktor, Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Orcid: 0000-0003-0558-8619

<sup>2</sup> Verem Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye

<sup>3</sup> Doktora Öğrencisi, Akdeniz Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Tıbbi Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Orcid: 0000-000-0561-7440

Burada oluşabilecek üç durum söz konusudur. İlkinde başlangıçta enfekte olan hücreler alveolar makrofajlar tarafından fagosite edilerek öldürülürler. Bu konağın doğal immünesinin bir sonucudur. %5 lik bir kısımda bağışıklık sistemi zayıfsa iç düzeyde ilerleme ile basilin sebep olduğu akciğer pnömonisi veya enfeksiyonun yayılımıyla milyer tüberküloz meydana gelir. Yayılmış ve ölümcül enfeksiyonlardır. İkinci durumda ise makrofajlar tarafından fagosite edilir fakat basiller makrofaj içinde %95 durgun halde kalırlar. Basille karşılaşan hücreler proinflamatuvar sitokinleri serbest bırakır ve diğer bağışıklık hücreleri burada toplanarak 'TB' nin patolojik özelliği olan granülomları oluşturur. Oluşan granülomlarda, makrofajlar farklılaşır veya dev hücreler oluşturmak için birleşir. Aktive T lenfositler, makrofajlar ve diğer immün hücrelerin oluşturduğu granülomlar, basilin çoğalmasını ve yayılımını sınırlar ve ardından nekroz oluşumu gözlenir. Nekroz ortamı mikobakterinin çoğalmasını durdurarak hastalığın ilerlemesi önler ve böylece basil sabit faza (latent) geçer. İlk iki durumda da bağışıklık sistemi basillerle karşılaşmıştır, basillerde herhangi bir çoğalma yoktur ve bu iki durumu klinik olarak ayırt etmek mümkün değildir. Yıllarca latent halde kalabilirler. Son durumda ise basiller makrofajlardan kaçır ve çoğalırlar. Alveoler boşluğa geçen basilleri yeni makrofajlar fagosite etseler de henüz aktive edilmedikleri ve hücrel immün yanıt gelişmediği için çoğalmalarına engel olamazlar. Son durumdaki bu hastalığa 'Aktif verem enfeksiyonu' denir. Belirtileri ise, 15 günden uzun süren öksürük şikayeti, yüksek ateş, gece terlemesi, şiddetli göğüs ağrısı, iştahsızlık, hızlı kilo kaybı, halsizlik, yorgunluk, ilerleyen dönemlerde kanlı balgam görülmesidir. Latent evrede olan tüberküloz basilleri %5 oranda enfeksiyondan bir ay sonra veya yıllar sonra aktifleşebilir. Buna ikincil enfeksiyon denir. Bu latent enfeksiyonu lan kişinin bağışıklık sistemine bağlıdır. HIV virüsü ile enfekte olması, organ bağı yapılmaması, kemoterapi görüyor olması, sigara içme, yetersiz beslenme, damar yolu ile ilaç alma, şeker hastalığı gibi sebeplerle tekrar aktif olma riski artar. İkincil enfeksiyonun diğer bir sebebi ise tüberküloz enfeksiyonu olan başka kişiyle temasa geçilmesi ve yeniden basillerle karşılaşmadır. (Davis ve Ramakrishnan, 2009: 37-49)

### Makrofajlar

Makrofaj kelimesi Yunanca "büyük yiyici" anlamına gelir. Enfeksiyon sırasında rolleri patojenleri sindirmek ve yok etmek, bağışıklık sisteminin diğer hücrelerini toplamak ve adaptif bağışıklık sisteminin hücrelerine antijenleri sunmaktır (Rohde, Yates, Purdy ve Russell, 2007: : 37-54) Makrofajlar, 0,5 µm'den büyük partikülleri içine alabilirler. Vücutta enfeksiyonun meydana gelebileceği stratejik noktalarda sabit bir konuma sahiptir. (örn. alveolar makrofajlar akciğerlerde, Kupffer hücreleri karaciğerde ve mikroglia sinir sisteminde). Makrofajların öncüsü monosit, kan dolaşımında dolaşır ve uyarıldığında enfeksiyon veya doku hasarı bölgelerine alınır. Daha sonra farklı morfolojide artan fagositik kapasiteye ve yapışkan özelliklere sahip bir makrofaj olarak farklılaşır. Enfekte olmuş bölgeye ulaşan kandan köken alan makrofajlar, basilleri fagosite eder ancak aktive olmadıkları için öldüremezler. Bu da basillerin çoğalabilmesi için uygun ortam oluşturur. Mikrobisidal ortam özellikle T lenfositlerden salgılanan interferon gama (IFN-γ) ile sağlanır. Bir patojenin reseptör aracılı fagositoz yoluyla bir makrofaj içine alınması, fagozomal olgunlaşma olarak adlandırılır. (Flannagan, Cosío ve Grinstein, 2009: 355-66); (Desjardins, Huber, Parton ve Griffiths, 1994: 677-88) Fagozomal olgunlaşma aşamaları, erken, orta ve geç fagozomu, ardından fagolizozomu içerir. Erken fagozomda düşük sayıda vakuolar H+ bulunur. Dolayısıyla yaklaşık 6.3 civarında nötral bir pH'a sahiptir ve erken endozomal antijen 1 (EEA1) ve Rho-GTPAZ, Rab5 gibi proteinleri taşır. Rho-gtpazların fagozomal olgunlaşmadaki rolü, endozomal olayları yönlendirmektir. Fagozomlar ve diğer organeller arasındaki füzyona da aracılık eder. fagozomal olgunlaşmanın devam etmesi için hem Rab5 hem de EEA1 gereklidir. Ara fagozom, erken ve geç fagozomlar arasında bir orta noktadır. Rab5 korunur, ancak EEA1'i

kaybolur. Artan vakuolar sayısı ile fagozomun pH'ı düşer. Geç fagozomda pH yaklaşık 5.5'tur. Lizozomal ilişkili membran proteini LAMP-1, LAMP-2, LAMP-3 / CD63 ve Rab7, Katepsin D gibi lizozomal hidrolazlar olgun formlarına dönüşür. Asidik koşullar bu geç fagozomda başlar(Flannagan ve diğerleri, 2009: 355-66);(Davis ve Ramakrishnan, 2009: 37-49);(Perskvist, Roberg, Kulyté ve Stendahl, 2002: 1321-30) Fagozom ile lizozom birleşir. Olgunlaşma sürecinin son aşaması olan fagolizozomun pH'ı oldukça asidiktir ve 4.5-5 civarındadır, çok sayıda vakuolar H<sup>+</sup> nedeniyle oldukça etkili bir antimikrobiyal ortama sahiptir. Bu fagolizozom, fosfatidilinositol 3-fosfat (PI3P) ve mannoz 6 ile geç fagozomdan ayırt edilebilir. Fagolizozom içindeki basiller, ortamın pH'ının düşmesi, lizozomal proteolitik enzimlerin etkisi, fagositik hücrelerde reaktif oksijen (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ve nitrojen (NO) ara ürünlerinin üretilmesi ile yok edilirler. Makrofaj içinde nitrit taşıyan bir protein olan nramp proteininin üretiminde veya fonksiyonunda bir sorun varsa nitrik oksit üretimi azalır Bu da bakteriye karşı hassasiyetin artmasına neden olur. Bu nedenle basili öldürmede konak faktörlerinin de etkili olabileceği unutulmamalıdır. Fagozomal olgunlaşmanın son aşamasına yaklaşık 90 dakika sonra ulaşılır. Basillerin bu asidik ortama dayanmaları mümkün değildir.(Flannagan ve diğerleri, 2009: 355-66)

*M. tuberculosis* ile konakçı makrofaj arasındaki etkileşim, enfeksiyonun sonucunu belirlemede esastır. TB'nin başlangıçta öldürmek için tasarlanmış makrofajın tepkisini nasıl bozduğu hala tam olarak anlaşılmamıştır. *M. tuberculosis* kompleksi basiller, 90'dan fazla antijen ve değişik virulans faktörleri içermektedir.

Mikobakterilerin fagositozunda, hücre duvarında bulunan lipidlerin önemi büyüktür. *M. tuberculosis*'in hücre duvarında lipoarabinomannan (LAM), sulfolipitler, mikolik asit içeren glikolipitler (kord faktörü: trehalose 6,6'-dimycolate) ve 19 kDa lipoprotein bulunur. (Ciaramella, Martino, Cicconi, Colizzi ve Fraziano, 2000) Kord faktörü [6-6'-dimikolat-a-D-trehaloz ] bir glikolipiddir. Virulan suşlar sıvı besiyerinde karakteristik olarak ip veya demet şeklinde yılankavi kord (serpentine cord) oluşturarak ürerler. Virulan olan Mtb suşları, kord faktör üretebilme yeteneğini kaybederse, virulan özelliğini de kaybeder. Kord faktör, basili makrofajların salgıladığı lizozimin öldürücü etkisinden korur. Lipo Arabinomannan (ManLAM) ise Mtb'nin en önemli virulans faktörlerinden birisidir. Hücre duvar yapısının %40'ını oluşturur. Arabinan terminaline mannoz bağlı ManLAM, fosfo-myo-inositol bağlı LAM ve arabinan terminalinde mannoz olmayan AraLAM olmak üzere üç tip lipoarabinomannan vardır.(Park ve Bendelac, 2000) ManLAM virulan mikobakteri türlerinde bulunur. Makrofaj yanıtını inhibe ederek, *M. tuberculosis*'in hücre içinde yaşayabilmesini sağlar *M. tuberculosis*in virulans faktörleri nedeniyle makrofaj aktivitesi yetersiz kalırsa veya fagozom-lizozom füzyonu bozulursa, basiller sindirilmekten korunurlar ve hücre içinde çoğalırlar. *M. tuberculosis*in 19 kDa lipoproteinini nitrojen (NO) ara ürünlerinin üretimini ve makrofajlardan IL-12 üretilmesini inhibe eder. ManLAM (arabinan terminaline mannoz bağlı LAM) zayıf aktiviteli makrofaj yanıtını inhibe eder. ManLAM tarafından fagozom olgunlaşmasının inhibisyonu en iyi karakterize edilen mekanizmadır. Fagozom-lizozom füzyon süreci sitozolik Ca<sup>2+</sup> artışına bağlıdır. Ca<sup>2+</sup> /kalmmodulin bağımlı PI3-kinaz hVPS34 ve modülatör alt birimi p150, fagozomal membran üzerinde fosfatidilinositol 3-fosfat (PI3P) üretir. PI3P, membran bağlama proteini EEA1'in fagozoma alınmasına aracılık eder. EEA1, katepsinlerin (lizozomal hidrolazlar) ve vakuolar H<sup>+</sup>-ATPase'in trans-golgi ağından fagozoma iletilmesinde rol oynayan sintaksin-6 (Syn6) ile etkileşime girerek fagozom olgunlaşması için gereklidir. ManLAM sitozolik-Ca<sup>2+</sup> ı inhibe ederek ardışık adımları bloke etmiş olur, bu da lizozomal füzyon ve asitleşmenin önlenmesine neden olur. Basillerin fagolizozomdaki düşük pH nötralizasyonu, basil duvarında bulunan lipidler nedeniyle düşük aktiviteli makrofajların oksijenden bağımsız lizozomal hidrolitik enzimlerine (lizozim, lipaz, fosfotaz) direnç geliştirmesi, reaktif oksijen ara ürünlerinin (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)



etkisinin inhibisyonu, makrofaj aktive edici moleküllerin sentezinin önlenmesi veya fagolizozomdan sitoplazmaya kaçış yoluyla fagolizozomun öldürücü etkisinden kurtulduğu düşünülmektedir. Kurtulan basiller, makrofaj içinde çoğalarak fagositleri parçalar veya latent olarak kalırlar. Parçalanan fagositlerden saçılan basiller, alveoler boşluklarda çoğalmaya başlar ve komşu lenf bezlerine ve lenfo-hematojen yolla tüm vücuda yayılırlar. (Flannagan ve diğerleri, 2009: 355-66)

ESAT-6 (6 kDa early secretory antigenic target) da son yıllarda büyük ilgi gören bir Mtb virülans faktörüdür. ESAT-6 sistem-1 (ESX-1) veya tip VII salgılama sistemi olarak adlandırılan bir sistem tarafından bir kompleks içinde salgılanır. Sistem, mikobakteriyel genom tarafından kodlanır ve *M. marinum* ve *M. bovis* dahil birkaç mikobakteriyel türde vardır. ESAT-6'nın birden fazla virülans mekanizması vardır, ancak en iyi çalışılanı, Mtb'nin bir makrofajdan diğerine yayılmasına neden olan membran lizisindeki rolüdür. *M. marinum* ile enfekte olmuş makrofajlarda, ESAT-6'nın basilin makrofaj dışına kaçmasına ve ardından yayılmasına neden olduğu gösterilmiştir. (Simeone, Bottai ve Brosch, 2009: 4-10); (Lewis ve diğerleri, 2003: 117-23)

Sonuç olarak, Mtb'nin patogeneğinde etkili hücre duvarında bulunan yapıların biyosentezinde görevli enzimlerin ve bu enzimleri kodlayan genlerin bilinmesi kaçış mekanizmalarının anlaşılmasını ve TB'nin daha iyi kontrol edilmesi için yeni aşı ve yeni ilaçların geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Özellikle bakterinin bağışıklık tepkisini bozarak konak makrofaj içinde hayatta kalma ve çoğalma yollarını araştırmak gereklidir.

## KAYNAKÇA

- Ciaramella, A., Martino, A., Cicconi, R., Colizzi, V. ve Fraziano, M. (2000). Mycobacterial 19-kDa lipoprotein mediates Mycobacterium tuberculosis-induced apoptosis in monocytes/macrophages at early stages of infection [1]. *Cell Death and Differentiation*. doi:10.1038/sj.cdd.4400761
- Davis, J. M. ve Ramakrishnan, L. (2009). The Role of the Granuloma in Expansion and Dissemination of Early Tuberculous Infection. *Cell*, 136(1). doi:10.1016/j.cell.2008.11.014
- Desjardins, M., Huber, L. A., Parton, R. G. ve Griffiths, G. (1994). Biogenesis of phagolysosomes proceeds through a sequential series of interactions with the endocytic apparatus. *Journal of Cell Biology*, 124(5). doi:10.1083/jcb.124.5.677
- Donoghue, H. D. (2009). Human tuberculosis - an ancient disease, as elucidated by ancient microbial biomolecules. *Microbes and Infection*. doi:10.1016/j.micinf.2009.08.008
- Ducati, R. G., Ruffino-Netto, A., Basso, L. A. ve Santos, D. S. (2006). The resumption of consumption - A review on tuberculosis. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*. doi:10.1590/S0074-02762006000700001
- Flannagan, R. S., Cosío, G. ve Grinstein, S. (2009). Antimicrobial mechanisms of phagocytes and bacterial evasion strategies. *Nature Reviews Microbiology*. doi:10.1038/nrmicro2128
- Lewis, K. N., Liao, R., Guinn, K. M., Hickey, M. J., Smith, S., Behr, M. A. ve Sherman, D. R. (2003). Deletion of RD1 from Mycobacterium tuberculosis mimics bacille Calmette-Guérin attenuation. *Journal of Infectious Diseases*, 187(1). doi:10.1086/345862
- Navin, T. R., McNabb, S. J. N. ve Crawford, J. T. (2002). The continued threat of tuberculosis. *Emerging Infectious Diseases*, 8(11). doi:10.3201/eid0811.020468
- Orgeur, M. ve Brosch, R. (2018). Evolution of virulence in the Mycobacterium tuberculosis complex. *Current Opinion in Microbiology*. doi:10.1016/j.mib.2017.11.021
- Park, S. H. ve Bendelac, A. (2000). CD1-restricted T-cell responses and microbial infection. *Nature*. doi:10.1038/35021233
- Perskvist, N., Roberg, K., Kulyté, A. ve Stendahl, O. (2002). Rab5a GTPase regulates fusion between pathogen-containing phagosomes and cytoplasmic organelles in human neutrophils. *Journal of Cell Science*, 115(6). doi:10.1242/jcs.115.6.1321
- Rohde, K., Yates, R. M., Purdy, G. E. ve Russell, D. G. (2007). Mycobacterium tuberculosis and the environment within the phagosome. *Immunological Reviews*. doi:10.1111/j.1600-065X.2007.00547.x
- Simeone, R., Bottai, D. ve Brosch, R. (2009). ESX/type VII secretion systems and their role in host-pathogen interaction. *Current Opinion in Microbiology*. doi:10.1016/j.mib.2008.11.003
- Snowden, F. M. (2008). Emerging and reemerging diseases: A historical perspective. *Immunological Reviews*. doi:10.1111/j.1600-065X.2008.00677.x
- Zink, A. R., Sola, C., Reischl, U., Grabner, W., Rastogi, N., Wolf, H. ve Nerlich, A. G. (2003). Characterization of Mycobacterium tuberculosis complex DNAs from Egyptian mummies by spoligotyping. *Journal of Clinical Microbiology*, 41(1). doi:10.1128/JCM.41.1.359-367.2003

## Force Localization with the Use of Single-Input–Multi-Output (Simo) Algorithm

Hakan UÇAR<sup>1</sup>

### Introduction

Force localization has a vital importance for the structural mechanics in terms of structural dynamic calculations, structural health monitoring and mechanical design. Besides, the accuracy of the force localization considerably effects the structural design and construction as well as the strength of the structure. Engineering structures are subjected to many diverse forces, such as impact loading, wind force, engine force and so on. These forces cannot be directly localized for complex structures since the direct measurement of dynamic forces at the locations of interest is very difficult, unpractical and sometimes unfeasible. Force identification problem can be defined by considering force localization and force quantification. In such cases, inverse estimation is applied for force localization and quantification based on limited response measurements from the sensors. Force identification using the inverse estimation is usually an ill-posed problem in which least squares solution is unstable (Chang & et al., 2019). Therefore, this problem has led to many researches and studies and various methods have been developed over the years. Park and Kim (Park & Kim, 2006) presented source localization technique by applying time–frequency analysis technique such as the time-of-arrival differences (TOADs) between the transducer signals and the output velocities. In another study, a method based on wavelet multi-resolution analysis was proposed to calculate the loads and the method was illustrated by a multi-input-multi-output numerical simulation (Z. Li & et al., 2014). Dick et al. (Dick & et al., 2015) presented a force localization technique based on a spectral finite element method (SFEM) model of the structure. First, the impact force was identified independent of the position, and then force was localized with the use of obtained force information. Xu and Ou (Xu & Ou, 2015) proposed a moving least square (MLS) method for identifying unknown forces based on virtual work principle, which improves the previous methods. Li and Lu (Li & Lu, 2016) studied the impact forces and determined the location of the impact with an error functional indicator using the Complex Method. In their following study, they investigated the force location by considering a constrained optimization problem (Li & Lu, 2018). In the study, they proposed a two-step iterative approach for both localization and reconstruction of the point force acting on a structure. Li et al. (Li & et al., 2020) proposed a time domain hierarchical Bayesian method in order to locate and reconstruct the external forces. In this method, a novel non-force criterion is proposed to determine the non-force locations. Qu et al. (Qu & et al., 2020) applied multiple time-series analyses and a pattern-recognition method, which is named as the pattern-recognition method combined with a similarity metric (PRMCSM), to localize the unknown impact forces and validated the method by applying numerical and experimental case studies. In addition to the aforementioned time domain analysis, in another study (Feng & et al., 2020) a Kalman filter was applied to simultaneously localize and reconstruct forces in time domain and the proposed algorithms were validated by applying numerical simulations of a beam, a truss structure, and a support structure. Davis (Davis, 2022)

---

<sup>1</sup> Ph.D., Design Project Office, hkucar@gmail.com

investigated the footstep localization through structural vibrations with the use of the Force Estimation and Event Localization (FEEL) Algorithm. Recently, a novel strategy for point force localization in the frequency domain has been proposed and a real-world application has been carried out (Aucejo, 2022). In the study, the proposed localization method is divided into a training stage and a deployment, consisting in an optimization procedure.

Most of the existing methods, used for force identification, assume that the force location is known. However, in many cases of engineering practice, the force locations are unknown. Besides, most of the proposed methods require reconstructing the forces for localization. In this study, an approach based on single-input-multi-input (SIMO) algorithm will be proposed to identify the force location without considering the reconstruction of the forces. SIMO algorithm will be implemented with the transmissibility approach and the force location will be determined through this methodology based on transmissibility with SIMO algorithm.

### Theory

Transmissibility is simply the ratio between the output and input. In terms of dynamic systems, input can be a force, while output can be the system's response to the exciting force such as displacement or its derivatives. However, transmissibility can also be defined as the ratio between any two output values on the system (Wu & et al., 2021). In this context, the ratios of the system responses can be considered as transmissibility, as shown in Eq. (1) in where two points, point  $i$  and a reference point  $j$  are defined for a harmonic excitation force at a given DOF,  $k$ .

$$T_{ij(k)}(\omega) = \frac{X_{i(k)}(\omega)}{X_{j(k)}(\omega)} \quad (1)$$

where  $\omega$  is the frequency.

This method estimates the contributions of the selected points without knowing the transfer functions between them and it is based on artificial and operational measurements, which makes it practical and therefore highly attractive for force localization. In the presented SIMO algorithm with the transmissibility concept, transmissibilities are estimated by using the artificial multi-responses occurred due to the single-input excitation at different operational conditions. Thus, artificial excitations are used for determining the responses and the artificial response vector is created for each frequency as;

$$[S_{i(k)}] = [X_{i(k)}^{(1)} \quad X_{i(k)}^{(2)} \quad \dots \quad X_{i(k)}^{(m)}] \quad (2)$$

where  $m$  is the number of artificial excitations. Applying Eq. (1), the transmissibility matrix is obtained, as shown in Eq. (3).

$$T_{ij(k)} = [S_{i(k)}] [S_{j(k)}]^+ \quad (3)$$

where superscript  $+$  implies pseudo inverse of the matrix. There are two conditions for using Eq. (3); (i) the excitation should be applied at the same positions for all measurements; (ii) the matrix  $[S_{j(k)}]$  should be invertible. If the exciting points,  $k$  are selected as the measuring points, respectively, it would be easy to fulfill the first condition just by considering that the force is applied at the same points for all measurements.

Provided that the first condition is satisfied, the second condition denotes that  $[S_{j(k)}]$  is a full rank matrix; the necessary condition for this is the number of its columns is greater or equal the number rows. Practically this implies that the number of artificial measurements,  $m$  must be greater than the number of selected points in order to obtain a well-conditioned matrix. On the

other hand, in order to obtain linearly independency of the columns, the artificial forces must be varied as much as possible.

The operational response at the selected points can be typically calculated by using the obtained transmissibility matrix and measured operational responses, as shown below;

$$\{X_{i(k)}\} = [T_{ij(k)}] [\tilde{X}_{j(k)}]^+ \quad (4)$$

where  $\sim$  denotes the measured condition. Once the operational responses are calculated by means of transmissibility matrix, they are compared with the measured ones for each co-ordinate,  $i$  by implementing accumulated error.

$$\varepsilon_{i(k)} = \frac{|\sum_{\omega} (\log(|\tilde{X}_{i(k)}|) - \log(|X_{i(k)}|))^2|}{n} \quad (5)$$

where  $n$  is the number of discrete frequencies. Accumulated error is calculated for each response at the selected points with respect to different excitation points,  $k$ . When the accumulated error becomes zero, it can be stated that the calculated response coincides with the measured one, hence the location of the excitation force,  $k$  is determined.

### Case Study

In accordance with the statements of the transmissibility approach based on single-input-multi-input (SIMO) algorithm, a cantilever beam is considered in order to apply the methodology for determining the location of the point force acting at the tip, as shown in Figure 1. 5 sensor points (S1 to S5) on the beam are defined and artificial and operational measurements are obtained at these points.

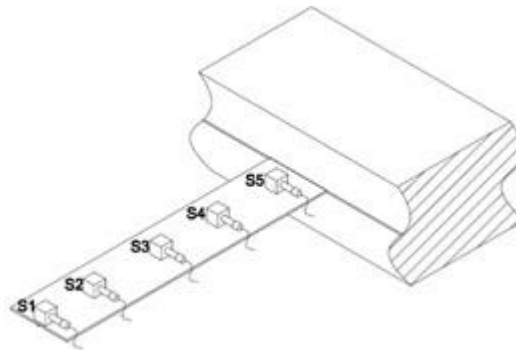


Figure 1. Cantilever beam

Euler-Bernoulli Beam Theory defines the deflection characteristics of beams. According to the beam theory, the lateral deflections can be calculated by considering the shear and bending moments acting on the beam (Thomson & Dahleh, 1998). The two fundamental assumptions of the Bernoulli-Euler beam theory are that plane sections remain in plane and that deformed beam angles are small.

For a uniform cantilever beam of length,  $L$  with an upward point force acting at the tip, as shown in Figure 1, the point load can be modeled by using Dirac delta function in Euler-Bernoulli Beam Theory. In this case, the governing equation and the boundary conditions are derived as shown in Equation (6) and (7), respectively.

$$EI \frac{\partial^4 w(x, t)}{\partial x^4} + \mu \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial t^2} = F\delta(x - L) \quad (6)$$

where  $w$  is the deflection,  $E$  is the Young's modulus of the beam material,  $\mu$  is the mass per unit length,  $I$  is the second-moment of the cross-section given as  $I = \frac{bt^3}{12}$  ( $b$  and  $t$  is the width and the thickness of the beam, respectively.)

$$\begin{aligned}
 w(0, t) &= 0 && \text{zero displacement} \\
 \frac{\partial}{\partial x} w(x, t) \Big|_{x=0} &= 0 && \text{zero rotation} \\
 \frac{\partial^2}{\partial x^2} w(x, t) \Big|_{x=L} &= 0 && \text{zero bending moment} \\
 \frac{\partial^3}{\partial x^3} w(x, t) \Big|_{x=L} &= 0 && \text{zero shear force}
 \end{aligned} \tag{7}$$

In this case study, it is assumed that the beam is made of steel and the fundamental material properties and dimensions used in the study are shown in Table 1.

Table 1. Fundamental material properties and dimensions of the beam

Elastic Modulus, $E$ (GPa)	200
Mass density, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	8095
Length, $L$ (mm)	230
Width, $b$ (mm)	50
Thickness, $t$ (mm)	1.5

In the absence of loading, the governing equation becomes free vibration equation, as shown in Eq. (8).

$$EI \frac{\partial^4 w(x, t)}{\partial x^4} + \mu \frac{\partial^2 w(x, t)}{\partial t^2} = 0 \tag{8}$$

The solution to this differential equation can be expressed as a standing wave by seperating the spatial and temporal components, as below.

$$w(x, t) = \psi(x) e^{-i\omega t} \tag{9}$$

where  $\psi(x)$  is the modal displacement function which is independent of time and  $\omega$  is the natural frequency. Substituting Eq. (9) to Eq. (8), an ordinary differential equation is obtained for each value of frequency as,

$$EI \frac{d^4 \psi}{dx^4} - \mu \omega^2 \psi = 0 \tag{10}$$

Solving the ordinary differential equation and applying the boundary conditions, as stated in Eq. (7), the mode shapes and corresponding natural frequencies for the free vibration of the cantilever beam is obtained as;

$$\psi_i \left( \frac{x}{L} \right) = \cosh \left( \frac{\lambda_i x}{L} \right) - \cos \left( \frac{\lambda_i x}{L} \right) - \sigma_i \left( \sinh \left( \frac{\lambda_i x}{L} \right) - \sin \left( \frac{\lambda_i x}{L} \right) \right) \tag{11}$$

$$\omega_{n,i} = \lambda_i^2 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} \tag{12}$$

where  $\psi_i(x)$  is the mode shape associated with the  $i^{th}$  vibration mode;  $\omega_{n,i}$  is the circular natural frequency of the  $i^{th}$  vibration mode in rad/sec;  $\lambda_i$  and  $\sigma_i$  are the dimensionless natural frequency parameters which are a function of the boundary conditions.  $\lambda_i$  can be numerically computed by using transcendental equation, Eq. (13) whereas  $\sigma_i$  can be determined by using the obtained  $\lambda_i$  value as in Eq. (14). However, these values can also be adapted from Table 2 for clamped-free boundary condition (Blevins, 2001).

$$\cos(\lambda) \cosh(\lambda) + 1 = 0 \tag{13}$$

$$\sigma_i = \frac{\sinh(\lambda_i) - \sin(\lambda_i)}{\cosh(\lambda_i) + \cos(\lambda_i)} \tag{14}$$

Table 2. Dimensionless natural frequency parameters for a cantilever beam

$\lambda_i; i=1, 2, 3, \dots$	$\sigma_i; i=1, 2, 3, \dots$
1.8751	0.7341
4.6941	1.0185
7.8547	0.9992
10.9955	1.0000
14.1372	0.9999

First three modes of the cantilever beam with the properties given in Table 1 are calculated and tabulated in Table 3. Besides, the mode shapes associated with the first three natural frequencies are determined and normalized by dividing the mode shape with the normalization constant, 2. Figure 3 shows the normalized mode shapes of the cantilever beam.

Table 3. Natural frequencies of the cantilever beam for the first three modes

First Mode	1.3112 Hz.
Second Mode	8.2172 Hz.
Third Mode	23.008 Hz.

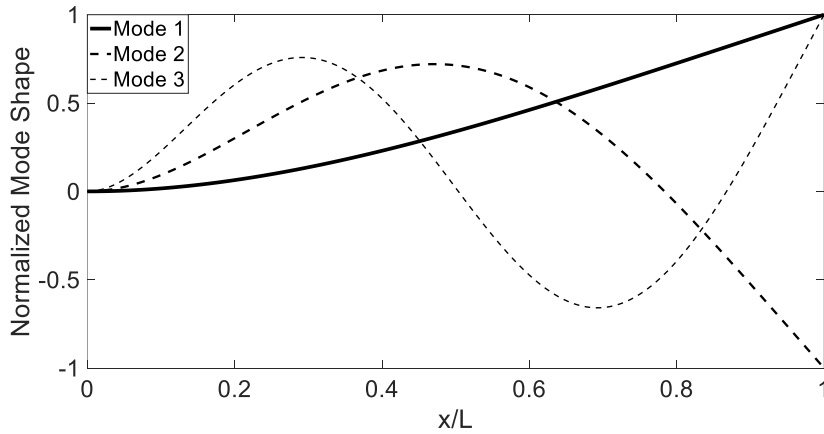


Figure 2. Normalized mode shapes of cantilever beam

The ratio between the harmonic response and the input harmonic force is defined as the frequency response function (FRF). This ratio is complex in which both there is amplitude ratio and a phase angle between input and output. If the response is selected as the displacement, then FRF is named as receptance and defined as;

$$\alpha_{ik} = \sum_{r=1}^n \frac{\psi_{ir} \psi_{kr}}{(\omega_n^2 - \Omega^2) + j 2\xi \omega_n \Omega} \quad (15)$$

where  $\Omega$ ,  $\xi$  is the circular frequency and the damping ratio, respectively. According to Equation (15), for the cantilever beam case study, point FRF at point 1 and FRF between point 1 and 2 are shown in Figure 3.

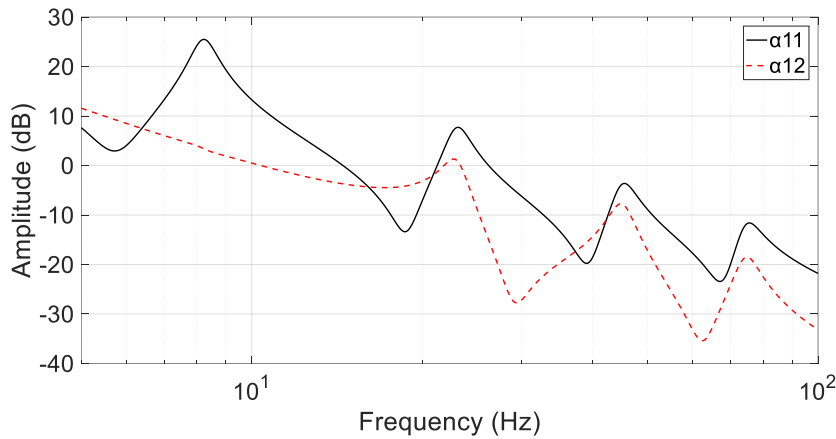


Figure 3. FRFs (receptances) of cantilever beam

Considering that the simplest definition of FRF is the relationship between the input force and the output response, the product of the force amplitude acting on the structure and the FRFs results in the operational response of the structure.

$$S_k(\Omega) = F_i(\Omega) \alpha_{ik}(\Omega) \quad (16)$$

where  $S_k$  is the operational response at point,  $k$ ,  $F_i$  is the exciting force acting at point,  $i$ . As seen in Eq.(16), the response is calculated for each frequency,  $\Omega$ . In this case study, exciting force is applied at S1 point (the tip) of the cantilever beam, as shown in Figure 4.



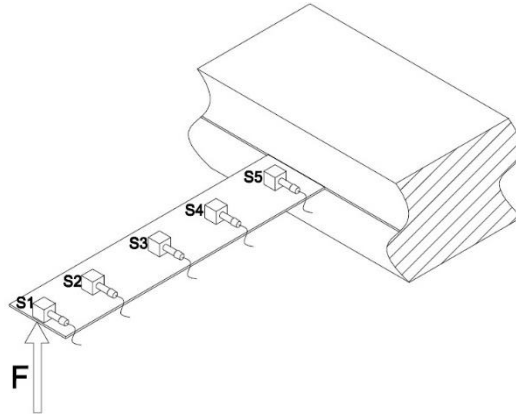


Figure 4. Exciting force at the tip of the cantilever beam

According to the proposed force localization with the use of SIMO algorithm, various artificial forces should be applied in order to identify the dynamic behavior of the structure to the excitations. Thus, 6 artificial forces are selected as random functions, one of which is shown in Figure 5, and applied to the tip of the beam. Using the mentioned random forcing functions and Eq. (16), the responses at the sensor points (S1 to S5) are obtained. As an illustration, the response at point S2 is shown in Figure 6.

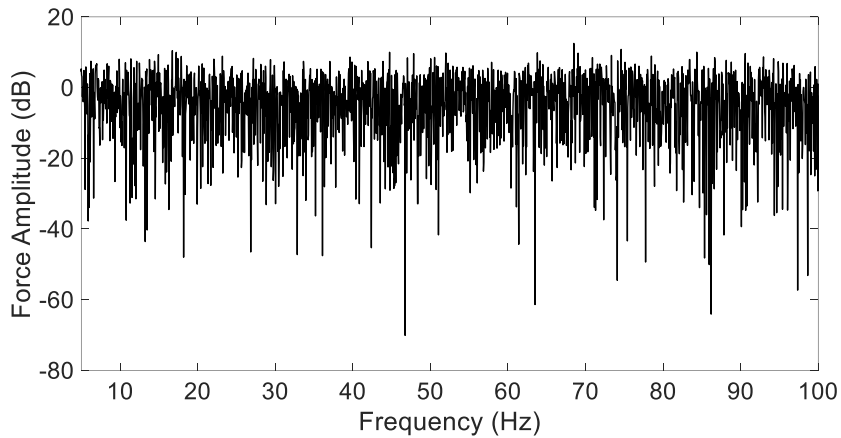


Figure 5. Random forcing function

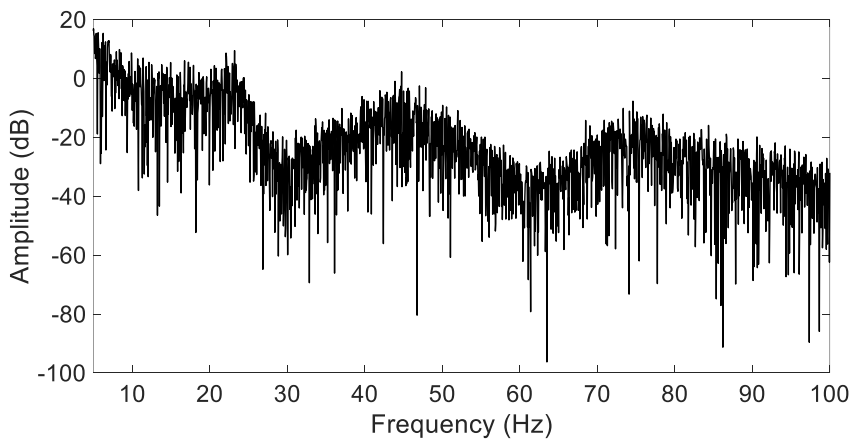


Figure 6. Response at S2 due to the artificial force

Once the operational responses due to the artificial forces are obtained, the aim of the study is to determine the location of the exciting force using the output responses as discussed in Theory Section. Using the transmissibility concept with SIMO algorithm, the transmissibility matrix is constructed with the use of the output responses at all points on the beam, as defined in Eq. (3). Afterwards, the operational response at the selected points is reconstructed by using the transmissibility matrix and measured operational responses, as stated in Eq. (4). Calculated or reconstructed response is compared with the measured ones for each measurement point and force acting point by implementing accumulated error, as shown in Eq. (5). Accumulated error for each point response is normalized by using Eq. (17). According to the normalized value of the accumulated error, the force location is to be identified.

$$\tilde{\varepsilon}_{i(k)} = \frac{\varepsilon_{i(k)}}{\max(\varepsilon_i)} \tag{17}$$

where  $\tilde{\varepsilon}_{i(k)}$  is the normalized accumulated error obtained by dividing the accumulated error with the given force input by the maximum accumulated error at point,  $i$ . In Figure 7,  $(1-\tilde{\varepsilon}_{i(k)})$  is shown as a three-dimensional surface plot. According to the figure, at first sight, it is seen that the normalized accumulated error is close to zero for the conditions that the force is applied to the S1, S2 and S3 points. However, for the forces applied to S2 and S3, the error for reconstructing the responses of S1 and S2 is very high. On the other hand, it is determined that the normalized accumulated error obtained by assuming that the exciting force is applied to the S1 point is close to zero for all points. In view of this situation, it can be stated that the location of the exciting force is found to be point S1.

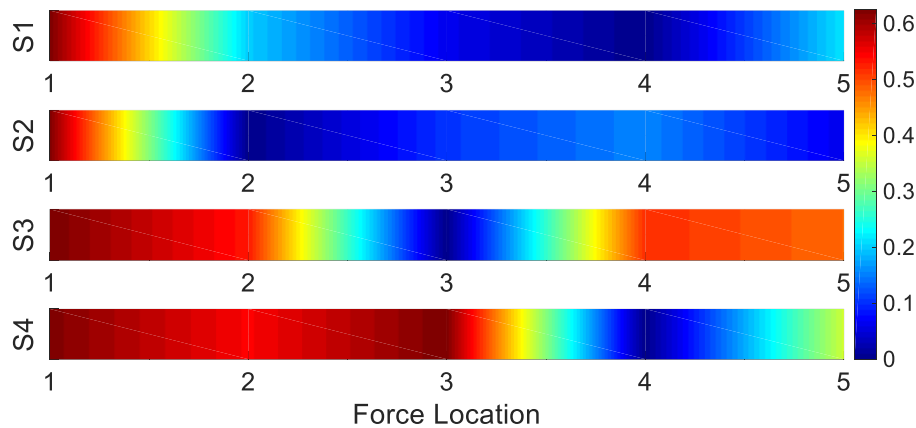


Figure 7. Normalized accumulated error in responses

In order to demonstrate the effect that will occur in the case of the false localization of the force, an erroneous determination has been made that the force acts at the S4 point instead of the S1 point. In this case, when the operational response of the S5 point is reconstructed, it is seen in Figure 8 that it is quite inaccurate with the actual response. However, with the accurate localization, it is definite that the reconstructed response and the actual response coincides with each other.

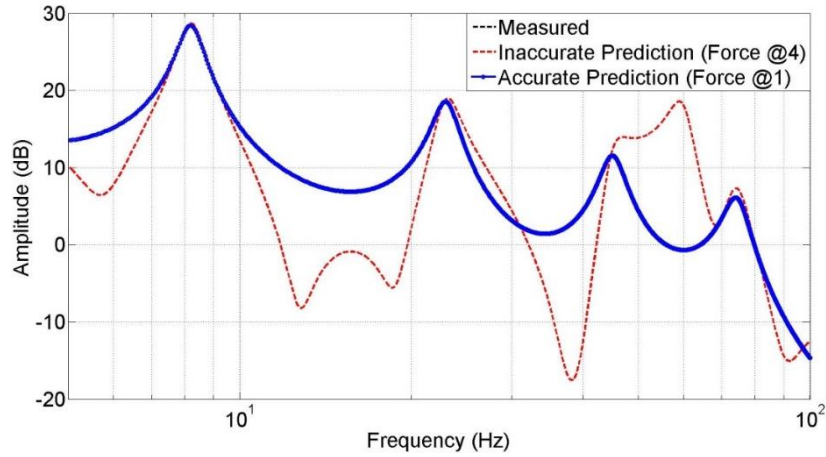


Figure 8. Operational response at S5

## CONCLUSIONS

In this study, the force localization without identifying the force is discussed. For this purpose, a SIMO-based transmissibility concept is proposed to avoid the errors caused by pseudo inversion technique which is used to determine the magnitude of the force. In this concept, it is taken as a basis that a single input force affects the structure and a response is obtained from many points. However, since the location of the operational force is unknown, the structure is excited from each point using artificial forces and responses are collected. With the use of the obtained responses, the transmissibility of the selected points with each other is calculated and the transmissibility matrix is obtained. Thus, the system identification phase is completed, and the phase of determining the location of the force is initiated with the responses obtained when the real operational force is applied. At this stage, the error between the measured and calculated responses using the transmissibility matrix is examined, and the responses with the least accumulated error are determined. In this case, the force location from which the calculated response is obtained is determined by the transmissibility matrix. The use of the transmissibility concept based on the SIMO algorithm has been analytically demonstrated in a case study consisting of cantilever beam and it has been determined that the location of the force can be identified with the proposed method. According to the results, the proposed method identifies the location accurately with an acceptable error and it can be stated that the method is practical compared to the previous methods, both in terms of calculation and application. Therefore, in future studies, it is aimed to study the localization of multiple forces with the use of multi-input-multi-output (MIMO) algorithm. However, it is considered that localizing the impulsive forces with a similar method will be very critical, especially for defense products such as naval ships, which are likely to be exposed to impulsive forces.

## REFERENCES

- Chang X., Yan Y., Wu Y. (2019) Study on solving the ill-posed problem of force load reconstruction. *Journal of Sound and Vibration*, 440 186-201. Doi: 10.1016/j.jsv.2018.10.017
- Park J.H., Kim Y.J. (2006) Impact source localization on an elastic plate in a noisy environment. *Meas. Sci. Technol.* 17, 2757–2766. Doi:10.1088/0957-0233/17/10/030
- Li Z., Feng Z., Chu F. (2014) A load identification method based on wavelet multi-resolution analysis. *Journal of Sound and Vibration*, 333, 381–391. Doi: 10.1016/j.jsv.2013.09.026
- Ghaderi P., Dick A. J., Foley J. R., Falbo G. (2015) Practical high-fidelity frequency-domain force and location identification. *Computers and Structures*, 158, 30–41. Doi: 10.1016/j.compstruc.2015.05.028
- Xu X., Ou J. (2015) Force identification of dynamic systems using virtual work principle. *Journal of Sound and Vibration*, 337, 71–94. Doi: 10.1016/j.jsv.2014.10.005
- Li Q, Lu Q. (2016) Impact localization and identification under a constrained optimization scheme. *Journal of Sound and Vibration*, 366, 133–148. Doi: 10.1016/j.jsv.2015.12.010
- Li Q, Lu Q. (2018) Force localization and reconstruction using a two-step iterative approach. *Journal of Vibration and Control*, 24 (17), 3830-3841. Doi:10.1177/1077546317713366
- Feng W., Li Q., Lua Q., Wang B., Li C. (2020) Time domain force localization and reconstruction based on hierarchical Bayesian method. *Journal of Sound and Vibration* 472, 115222. Doi: 10.1016/j.jsv.2020.115222
- Qiu B., Zhang M., Li X., Qu X., Tong F. (2020) Unknown impact force localisation and reconstruction in experimental plate structure using time-series analysis and pattern recognition. *International Journal of Mechanical Sciences*, 166, 105231. Doi: 10.1016/j.ijmecsci.2019.105231
- Feng W., Li Q., Lu Q. (2020) Force localization and reconstruction based on a novel sparse Kalman filter. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 144, 106890. Doi: 10.1016/j.ymssp.2020.106890
- Davis B. T. (2022) Footstep localization and force estimation through structural vibrations using the FEEL Algorithm. *Measurement*, 197, 111247. Doi:10.1016/j.measurement.2022.111247
- Aucejo M. (2022) A data-driven metamodel-based approach for point force localization. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 171, 108881. Doi: 10.1016/j.ymssp.2022.108881
- Wu D., M. Z. (2021) Detection and localization of debonding beneath concrete pavement using transmissibility function analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 159, 107802.
- Thomson W. T., Dahleh M. D. (1998). *Theory of Vibration with Applications* (5th ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Blevins R. D. (2001). *Formulas for Natural Frequency and Mode Shape*. Krieger Pub Co.

## Design and Implementation of High-Speed Fpga-Based Complex $e^x$ Calculation Unit

Günay TEMÜR<sup>1</sup>

### Introduction

FPGA chips are preferred in applications that require high processing power and performance due to their low cost, reprogram ability and high frequency operation. FPGAs first appeared in the mid-1980s and were first used in the telecommunications and networking industry. They were originally developed to create prototypes of ASIC designs and perform functional validation on them through simulation. However, their place in the final product range has increased over time due to their low development costs and their ability to be put on the market in a short time. Towards the end of the 1990s, it started to be used in other sectors as well (Temür 2013). After production, FPGA chips can be reprogrammed according to their functionality needs. These features make them different from ASICs designed for a specific application or task. In addition, these features enable hardware designs to be upgraded and reconfigured during or after the implementation (Babu ve Parthasarathy 2021).

FPGA chips today are an inevitable hardware element for designs to be used in the calculation of mathematical functions which are extremely difficult to calculate precisely with digital circuits in the context of medical imaging (Almekkawy, Xu, ve Chirala 2014), (Rasu, Sundaram, ve Santhiyakumari 2015), image processing (Raut vd. 2019; Chaple, Daruwala, ve Gofane 2015), robotics (Wan vd. 2021), voice recognition (Rodríguez-Orozco vd. 2018; Sun, Li, ve Luo 2011), encryption (Ismail vd. 2017), (Adil Yazdeen vd. 2021), bioinformatics (Surendar 2017), space technology (Wan vd. 2021), (Cosmas ve Kenichi 2020), vehicle technology (Acosta Lúa vd. 2021), (Tatar ve Bayar 2019) and artificial neural networks (Şahin ve Temür 2016). One of these mathematical functions to be calculated is Exponential Function ( $e^x$ ). The ability of this function to provide accurate results is crucial for the successful operation of function-dependent designs. It is also expected that the function yields results as quickly as it gives correct results. For this reason, various methods have been described in the literature in order to calculate the  $e^x$  function logically. Some of the methods used to calculate the  $e^x$  function are the Look Up Table (LUT) use, Taylor Series expansion and **CO**ordinate **R**otation **DI**gital **C**omputer (CODIC) based approaches (Arar 2017). Examples of the studies on FPGA chips implemented using these methods are given below.

Wielgosz et al. presented an implementation of the double sensitive  $e^x$  function. This application is an application created by a LUT Table structure together with Taylor series expansion. The application is built for 64-bit numbers and provides low latency and low space consumption on the FPGA chip when compared to 32-bit applications. Thanks to the parallel operation logic of the FPGA chips and the low space cost of the module, it was stated that the results obtained using two modules on the same chip were satisfactory (Wielgosz, Jamro, ve Wiatr 2008).

---

<sup>1</sup> PHd, Duzce University

Sujitha and Reddy created a design that can calculate log and  $e^x$  functions for CORDIC-based 16-bit numbers. As a disadvantage to this design, they suggested that it can be used in decoding algorithms and communication systems (J Sujitha 2014).

Koyuncu and Sahin designed a CORDIC-based  $e^x$  calculation unit for FPGA chips. The unit was designed to work with 32-bit data in IEEE 754-1985 floating-point number format. The results produced by the unit were compared with the actual results and it was observed that the unit can calculate with at least four-digit sensitivity (Şahin ve Koyuncu 2011).

Wang et al. have designed a model to provide scalable application capabilities for an overall hardware architecture, computational precision, and degree of interpolation. Eight complex reciprocal and eight complex exponential design examples are applied to validate the proposed architecture. The ASIC and FPGA-based experimental results show that the proposed scheme can efficiently approach complex reciprocal and exponential functions up to 16-bit precision, and also achieves a significant reduction in memory requirements compared to traditional two-part and multi-part schemes (Wang, Ercegovac, ve Xiao 2014).

Hosseiny and Jaberipur used rectangular multipliers for hardware realization of complex exponential functions (CEF). Compared to previous studies, they achieved more than 30% speedup and 75% lower cost (Hosseiny ve Jaberipur 2020).

Another study was carried out by Doss et al. with the LUT and Taylor Series expansion on FPGA. In the study, data processing speed was compared with a PC and high speed gains were obtained (Doss ve Riley 2004).

In this study, a complex  $e^x$  calculator module was designed, differently from other studies. The designed module works with the 64-bit IEEE 754-1985 floating-point number format. The module was coded in VHDL and synthesized for the FPGA Virtex-6 XC6VLX75T chip with Xilinx's ISE 14.7 EDA tool. The results produced by the module were compared with the actual results and the sensitivity of the module was determined.

General information about the subject was given in the following sections of the article. In the second part, the general structure of FPGA chips, CORDIC algorithm and  $e^x$  calculation method are explained. Then in the third part, the  $e^x$  calculation method applied in this work were explained consecutively. In the fourth part, the architectural structure and operation of the designed module were explained in detail. In the fifth part, the test studies and the results obtained from these studies were presented. In the last part, the results were discussed and recommendations were given about future studies.

## Background Information

### FPGA Chips

FPGA chips are integrated circuits that provide designers great convenience with their reprogrammable structure and ability to perform parallel operations. In recent years, the use of FPGAs in real-time and high-performance data processing applications has become quite widespread.

Input/Output Blocks (IOBs), interconnecting networks, and configurable logic blocks (CLBs) in the FPGA chips (the general structure shown in Figure 1) can be programmed according to the circuit that the user designs. These chips are usually mounted on computer systems in the form of an electronic card with other circuit elements.

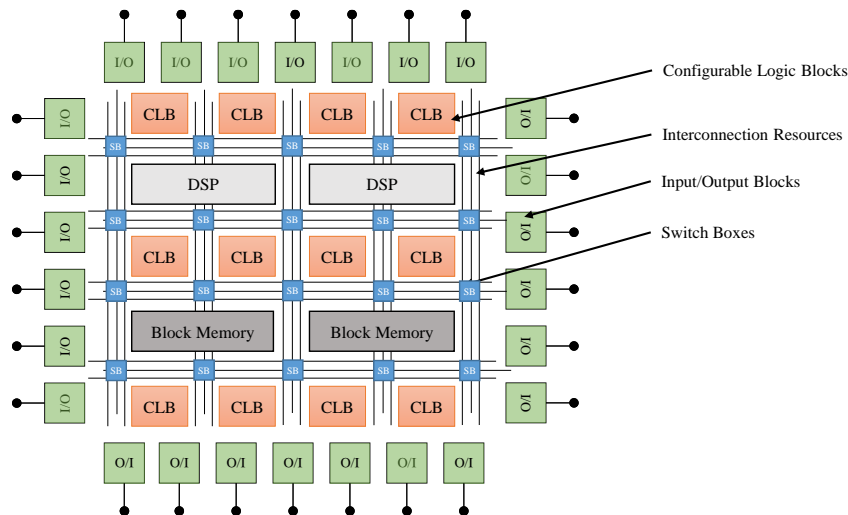


Figure 1. FPGA Architecture (Hoe, Deepthi Bollepalli, ve Martinez 2013)

### Programmable Logic Blocks

CLBs consist of LUT Carry Logic and Flip-Flops, as can be seen in figure 2. a typical FPGA chip may contain tens of thousands of CLBs and flip-flops. The size of an FPGA chip can be expressed as the number of inputs and outputs of CLBs, the number of transistors used in the formation of CLBs, or the number of logical functions that CLBs can perform. Memory capacity (LUT) is limited by the number of entries. CLBs provide functional elements for the logic circuit the user wants to build. The flexibility and symmetry of the CLB architecture allows applications to be deployed with ease (Temür 2013).

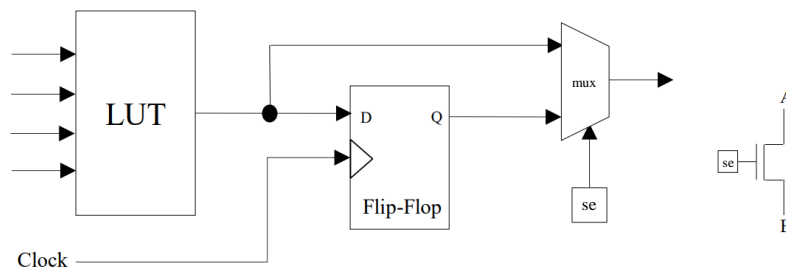


Figure 2. Structure of Configurable Logic Block (Temür 2013)

### Programmable I/O Blocks

As seen in figure 3, IOBs act as a programmable interface between the internal signal lines and pins of the chip. Thanks to IOBs, the pins of FPGAs can be programmed as input, output or bidirectional. Depending on the type of FPGA chips, the number of IOBs in a chip can reach 1000s .

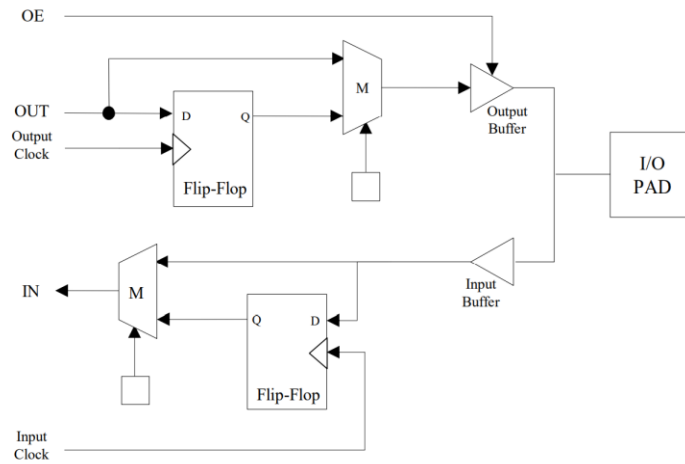


Figure 3. I/O Block Diagram (Temür 2013)

### Interconnection Resources

These units, shown in the clear diagram in Figure 4, are used to configure connections both between CLBs and between CLBs and IOBs. Since they are programmable, they have a very flexible structure. There are matrix switches at the junction of the horizontal and vertical channels. These switches have a six-transistor steering mechanism inside. Thanks to these programmable switches, it can be directed to the other three neighboring parties from the input side (Temür 2013).

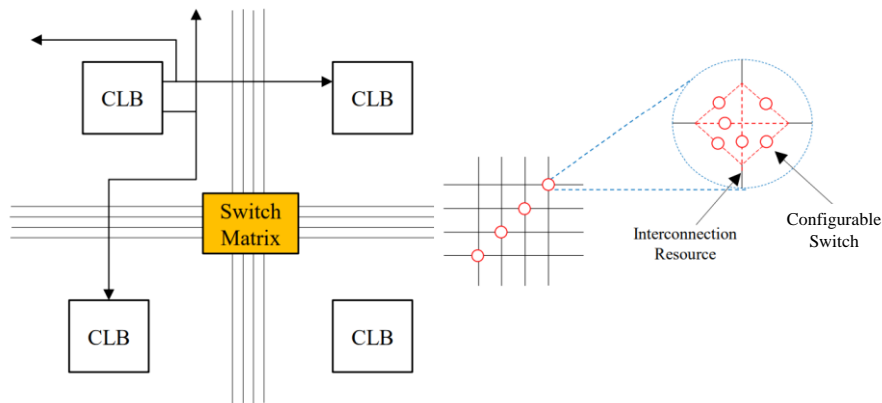


Figure 4. Configurable Interconnection Resources (“FPGA Architecture for the Challenge”)

### Methods of e<sup>x</sup> Calculation

There are different methods used to calculate the e<sup>x</sup> function in the literature. These functions can be expressed as standard basic approaches and modern approaches. Taylor series expansion is one of the standard basic approaches.

e<sup>x</sup> value calculation formula with the Taylor Series expansion is given in equation (1).

$$e^x = 1 + \frac{x^1}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!} + \dots + \frac{x^n}{n!} \tag{1}$$

This method is an iterative approach method. Taylor approximation presents a major disadvantage, which resides in uniformity of the convergence time. As the number of iterations in



the formula increases, the calculated value gets closer to the actual  $e^x$  value. Since this method is a calculation method that needs the  $n$ th power of  $x$ , it is not preferred in digital circuit designs.

On the other hand, the little-known LUT and CORDIC algorithms are modern methods used to calculate the  $e^x$  function in the literature. The LUT method is the pre-tabled version of the fixed  $e^x$  values that are predicted to be needed in the calculation. In this method,  $e^x$  values in a wide range cannot be calculated. This method is used for results that will correspond to fixed input values and does not give the desired output with the desired precision. In cases where precise calculations are required, very large tables are needed.

Another modern method, the CORDIC method is a calculation method created with the help of trigonometric functions. It is shown by Walther [6] that the CORDIC algorithm can be used to compute hyperbolic functions. As given in equation (2), the value of  $e^x$  is calculated by the adding of  $Sinh(x)$  to  $Cosh(x)$  values calculated by CORDIC.

$$e^x = Sinh(x) + Cosh(x) \tag{2}$$

This architecture does not need a LUT since the values for the angle accumulator are fixed and hardwired as constants to each adder and subtractor in the angle accumulator chain. Also the barrel shifters can be eliminated, since non-combinatorial hardwired shifts can be applied to the adder and subtractor in each stage (Pouyan, Hertz, ve Nilsson 2011).

As can be seen in the flow diagram of the CORDIC algorithm given in Figure 5, the main purpose is to bring the output value of the Z variable closer to zero.

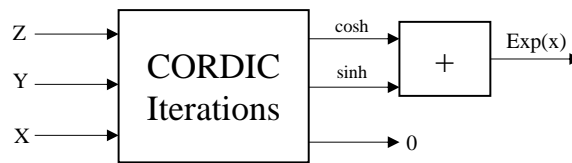


Figure 5. Exponential function entity (Boudabous vd. 2004)

This process, in the rotation mode given in figure 6, circular angle transformation, vector  $i$  with position  $(i+1)$ . It is formed by performing the shift operations until the angle value “ $\theta$ ” between its current position is reset.

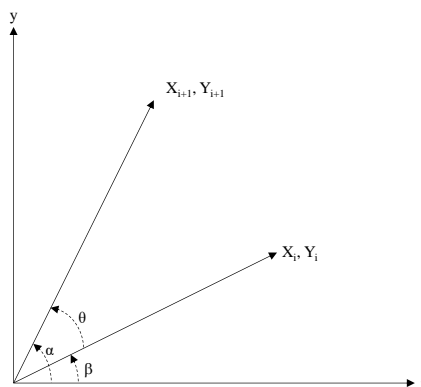


Figure 6. Circular angle conversion in rotation mode (Considine 1989)

The biggest disadvantage of this method is that the current CORDIC unit can only calculate the  $Sinh(x)$  and  $Cosh(x)$  values in the range of  $-\pi/4$  to  $\pi/4$ . Therefore, CORDIC can only calculate between  $e^{-0.7853981}$  and  $e^{0.7853981}$ .

### Proposed $e^x$ Calculation Method

The  $e^x$  calculation method proposed in this study is given as  $e^{x.y}$ . ( $x$ ) represents the desired integer part, and ( $y$ ) represents the decimal part. The formula used in the calculation is given in equation (3) and the flow chart of the proposed model is given in figure 7.

$$e^{x.y} = LUT(x) * [Sinh(.y) + Cosh(.y)] \tag{3}$$

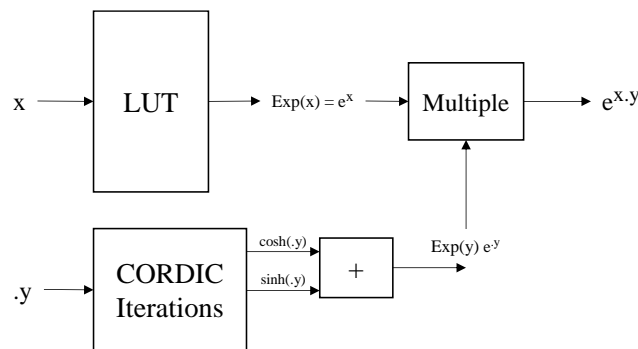


Figure 7. flow chart of the proposed model

This module consists of 2 channels designed as a complex structure in which the CORDIC and LUT methods are used together. The first channel is the part of the CORDIC design that calculates the exponential function  $e^y$  of the decimal part of the number to be calculated. The current CORDIC structure is able to compute values of  $Sinh(y)$  and  $Cosh(y)$  only in the range  $-\pi/4$  to  $\pi/4$ . Therefore, CORDIC can only calculate between  $e^{-0.7853981}$  and  $e^{0.7853981}$ . At this point, the maximum decimal value for the module is fixed to 0.75 in order not to deal with odd operations. For this reason, our module contains 2 CORDICs. With the first CORDIC, only 0.75 and lower values are calculated. If the desired calculation value is 0.75 or less, then 0 is transferred to the other CORDIC unit. CORDIC produces a value of 1 that will not change the final value in the multiplication operation against the input value of 0. If the desired decimal value of the module is greater than 0.75, then 0.75 is subtracted from the value to be calculated and the other CORDIC enters for the remaining value. Then, by multiplying the results from both CORDIC units, the value of  $e^y$  can be calculated. With this design, the exponential function values of a maximum decimal number such as 0.99 can also be calculated.

The LUT design consisting of the other-channel is the part where the desired integer  $e^x$  values are calculated. The formula used in the calculation is given in equation no.(4). For these values, a control structure was created with VHDL codes and provision for desired values is transferred as power of  $e$  to the corresponding module. The equations used in determining the desired values are given in (5) and (6).  $d$  in equation (5) represents both the negative and positive values of  $x$  (0-9), which is desired to be calculated in equation (5) represents both the negative and positive values of  $x$  (0-9), which is desired to be calculated. When the value ( $d$ ) obtained by a mode operation is subtracted from the value ( $x$ ), negative and positive values of  $t:10-20-\dots-90$  representing the value ( $x$ ) are transferred to the module output as power of  $e$ . These exponential numbers are transferred to  $ContA$  and  $ContB$  units, which consist of another unit. In these units,  $e^x$  output values created in response to incoming exponential values are transferred to the output of the units. Finally, the obtained values of  $e^d$  and  $e^t$  are multiplied as shown by the equation (4) to obtain  $e^x$  value.

$$e^x = e^d * e^t = e^{d+t} \tag{4}$$

$$d = x \text{ mod } 10 \tag{5}$$

$$t = x - d \tag{6}$$

**e<sup>x</sup> Calculator Module Design**

In this work, a hardware module calculating the (e<sup>x</sup>) exponential value of a given decimal (x.y) value, which can be used for FPGA chips has been designed. The module has been designed to work with numbers in the IEEE 754-1985 floating-point number standard and can calculate values between e<sup>-99.99</sup> ve e<sup>99.99</sup>. The module produces more definite values between e<sup>-89.99</sup> ve e<sup>89.99</sup> since the result for the values greater than e<sup>90</sup> is infinite while it is 0 for the values less than e<sup>-90</sup>. The module was coded in VHDL and synthesized for the FPGA Virtex-6 XC6VLX75T chip with Xilinx's ISE 14.7 EDA tool. The operational structures used in the design were also created with Xilinx's IP Core Generator.

Figure 8 shows the top level block diagram of the designed module. The module has 64-bit data input and output paths. *Enable* and *Ready* signals are used to provide synchronization (hand-shaking) between the module's timing and the module and the other units to which the module is connected. When valid data is present at the input of the module, the *Enable* signal is activated and the data begins to be processed as the module starts to read it. When the module generates the result, it activates the *Ready* signal to warn the next unit.

The module has been designed with 47 clock pipelined structures. This means that the module can read a new (x.y) value for each period to calculate. The result of the first reading is produced after 47 periods, and at each subsequent period, other results corresponding to the new (x.y) input can be respectively generated.

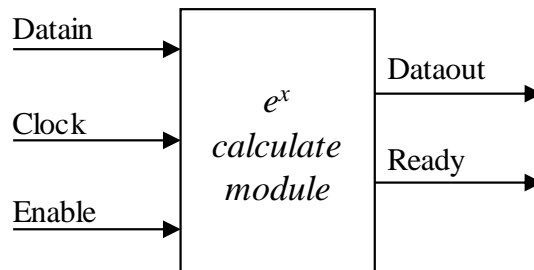


Figure 8. e<sup>x</sup> Calculation Module, Top Level Block Diagram

Figure 9 shows the second level block diagram of the e<sup>x</sup> calculation unit. The 64-bit (x.y) number that comes to the unit is first converted from "floating point" number format to "fixed-point" number format. The first 11 bits of this number are the integer (x) while the remaining 53-bit are the decimal (.y) and parts.

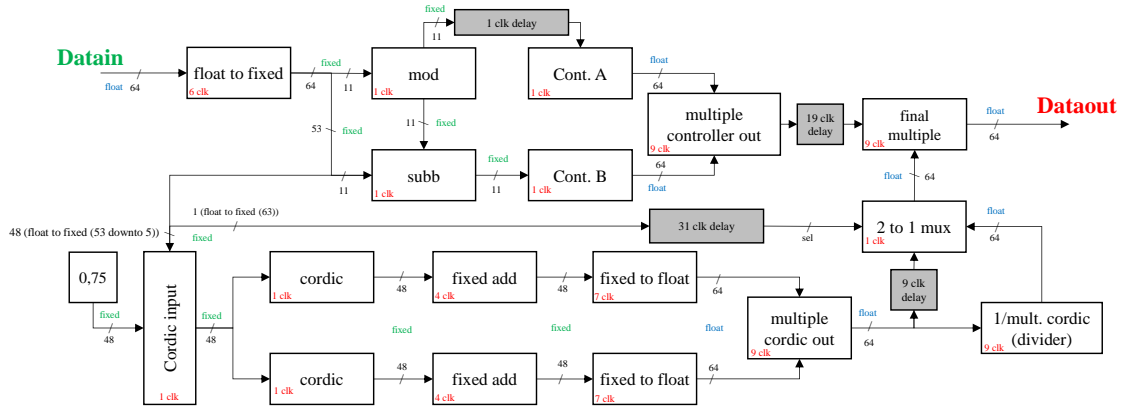


Figure 9.  $e^x$  Calculation Module Second Level Block Diagram

After this step, the  $(x)$  and  $(y)$  parts of the number advance in the unit from two different channels. While the integer  $(x)$  part runs from the 1st channel, the operation of the  $(mod10)$  given in the equation (5) is applied by the  $(mod)$  unit. The aim of this unit is to learn the value of the units digit for a two-digit integer. Then the value obtained with  $mod10$  is transferred to the output unit.  $(x)$  number is transferred to the output unit as another entry. The value at the output unit is obtained as 10 and multiples of our count. By entering into  $ContA$  and  $ContB$  units, these two numerical values obtained are able to produce  $(e^x)$  output that is fixedly introduced to the system. The  $ContA$  and  $ContB$  units are a unit created with a simple "if" block. This unit generates constant output values according to the input values. These constant values are given in table 1 on the following page. The output of the  $ContA$  and  $ContB$  units is multiplied by the "multiple controller out" unit as indicated by equation (4). The output of this unit gives us the  $e^x$  value of the number  $(x)$ . The result obtained is then stored in a delay unit up to 19 clock cycles for the calculation of the  $(y)$  value as  $e^y$ , which is to come from the 2nd channel.

Table 1.  $e^x$  Output values for x integer inputs (LUT)

ContA Input Dec	ContA Input Binary	64bit $e^x$ HEX OUT	ContB Input Dec	ContB Input Binary	64bit $e^x$ HEX OUT
0	0000000000	3FF0000000000000	0	0000000000	3FF0000000000000
1	0000000001	4005BF0A80000000	10	0000001010	40D5829DC0000000
2	0000000010	401D8E64C0000000	20	0000010100	41BCEB0880000000
3	0000000011	403415E5C0000000	30	0000011110	42A3704700000000
4	0000000100	404B4C9020000000	40	0000101000	438A220D40000000
5	0000000101	40628D38A0000000	50	0000110010	44719103E0000000
6	0000000110	407936DC60000000	60	0000111100	45579DBCA0000000
7	0000000111	4091228860000000	70	0001000110	463FBFD220000000
8	0000001000	40A749EA80000000	80	0001010000	47255779C0000000
9	0000001001	40BFA71580000000	90	0001011010	7FF0000000000000
-1	1111111111	3FD78B5635FDCF09	-10	11111110110	3F07CD79B55EE42F
-2	1111111110	3FC152AAA33D6D85	-20	11111101100	3E21B48655E34457
-3	1111111101	3FA97DB0C9A5BFB1	-30	11111100010	3D3A56E0C2AE6E18
-4	1111111100	3F92C155BA0A9722	-40	11111011000	3C539792495539C
-5	1111111011	3F7B993FE01D6A27	-50	11111001110	3B6D257D54805FC4
-6	1111111010	3F644E51D8CBEFBE	-60	11111000100	3A85AE191A9C9281

-7	11111111001	3F4DE16BAF146EE7	-70	11110111010	39A02057D125F45E
-8	11111111000	3F35FC229D30496B	-80	11110110000	38B7FD974D400187
-9	11111110111	3F202CF3D3F7B960	-90	11110100110	37D1D8508FA83B20

The  $(.y)$  value advancing through the 2nd channel is the 53-bit portion that comes from *floattofix* converter unit. However, since CORDIC works with a maximum of 48-bit input, the last 5 bits, which are considered to be insignificant, are ignored. The remaining 48-bit  $(.y)$  value primarily enters into the *cordic input* unit. This unit also has a fixed 48-bit "fixed" 0.75 number. This fixed 0.75 number is determined as it is the maximum number that the CORDIC can calculate. In this unit, we have created a block that compares whether the decimal number is greater than the constant 0.75 input. Thanks to this unit, as in channel 1, our value is again two numbers. If the decimal number is greater than 0.75, 0.75 is subtracted from our number as shown in equation (7), the remaining difference  $(w)$  and 0.75  $(f)$  are transferred to the output unit as two separate outputs. If the number is equal to or less than 0.75, then 0  $(w)$  to 0.75  $(f)$  values are passed to the output to be sent to the CORDIC units. These two values are applied to two different CORDIC units in the module, and  $Sinh(w)$ ,  $Cosh(w)$  and  $Sinh(f)$  and  $Cosh(f)$  values corresponding to these values are calculated simultaneously. These values calculated by CORDICs are collected separately to yield fixed results. After these fixed results are passed through a *fixtofloat* converter, these two values are multiplied in the last multiplier of the second channel, yielding the value of  $e^y$ .

$$\begin{aligned} &.y > 0.75 \begin{pmatrix} w = y - 0.75 \\ f = 0.75 \end{pmatrix} \\ &.y \leq 0.75 \begin{pmatrix} w = 0 \\ f = 0.75 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

After this stage, the resulting  $e^y$  value will be transferred to two separate units. The goal here is to perform an additional calculation depending on the likelihood of the datain  $(x,y)$  number to be negative. For this reason, the *divider* unit has been used. The process is to obtain the  $e^y$  value that comes from CORDICs divided by 1. This obtained value is applied to a "mux" unit together with the  $e^y$  value. The 64th bit of the incoming 64-bit datain value gives us whether the number is negative or positive. This is the 64th bit *mux* it is designed to determine the output value of our unit as a selector. If our number is negative, then the value from *divider* is transferred to the output. If the number is positive, the  $e^y$  value is transferred to the output. After this step, the final multiple unit, where the  $e^x$  value is multiplied by  $e^y$  as the last stage, gives us the counterpart of  $e^{x,y}$  value as *dataout*.

### Test Results Of Fpga-Based $e^x$ Calculator Module

The designed  $e^x$  unit was synthesized for the Virtex-6 FPGA XC6VLX75T chip and the determined data processing time was obtained using the ISE simulation program. The usage statistics on the specified FPGA chip after the synthesis of the module are given in Table 2. From the chip statistics provided, it is possible that 3 copies of the module can be placed in a single chip, to the smallest capacity model of Virtex-6, and can be run in parallel. The high IOB value in the statistics does not prevent the module copy from being placed. That is because the data input/output to the chips is provided via a single data path .

Table 2. Module's FPGA chip statistics

Number of Slice Registers / %	Number of Slice LUTs / %	Number of bonded IOBs / %	Max Clock Speed (Mhz)
17141 / 18	15007 / 32	131 / 54	56,460

Table 3 gives the comparison of the actual results with the results produced by the  $e^x$  unit for some sample test values. The values in the first column are the selected test values  $(x,y)$ . The values in the second and third columns are the values generated by the Excel program and the Module. In the last column, the precision between the Excel values and the values produced by the designed Module is given by specifying the number of digits in different colors. According to the results obtained, the designed module can produce results with precision up to 7-8 digits.

The module has been designed with a 47 clock pipelined structure and can be operated at 56.460 MHz. The module runs for the first 47 periods after the first data entry is made, and the result is generated at the end of the 47th period. A new data can be entered with every clock pulse at the input, and this data is calculated consecutively after the first 47 periods of waiting and then sent to the output. When the unit is used in this way, it can perform 56458  $e^x$  calculations per second.

Table 3.  $e^x$  Comparative Results of the Module

Input Value	Output Excel Exp	Output Module Exp	Output Precision
-89.899	9.06484477E-40	9.06484454E-40	9.06484477E-40
-88.599	3.32616047E-39	3.32616039E-39	3.32616047E-39
-80.199	1.47916576E-35	1.47916574E-35	1.47916576E-35
-71.679	7.41661665E-32	7.41661664E-32	7.41661665E-32
-63.400	2.92233398E-28	2.92233395E-28	2.92233398E-28
-57.800	7.90276278E-26	7.90276275E-26	7.90276278E-26
-42.270	4.38906740E-19	4.38906727E-19	4.38906740E-19
-36.357	1.62313828E-16	1.62313830E-16	1.62313828E-16
-25.145	1.20133810E-11	1.20133811E-11	1.20133810E-11
-14.836	3.60418493E-07	3.60418495E-07	3.60418493E-07
-7.700	4.52827183E-04	4.52827175E-04	4.52827183E-04
5.300	2.00336810E+02	2.00336814E+02	2.00336810E+02
12.850	3.80788735E+05	3.80788724E+05	3.80788735E+05
33.440	3.33278636E+14	3.33278625E+14	3.33278636E+14
43.650	9.05636953E+18	9.05636968E+18	9.05636953E+18
69.150	1.07513605E+30	1.07513606E+30	1.07513605E+30
76.300	1.36983724E+33	1.36983729E+33	1.36983724E+33
89.000	4.48961282E+38	4.48961293E+38	4.48961282E+38

## Conclusion

The exponential function ( $e^x$ ) is a function highly needed in various fields that require intensive calculation. However, it is difficult to calculate this function logically and it requires high processor power. For such areas requiring high processing speed, FPGA chips are a fast, high-capacity hardware element that has proven its usability. In this study, an  $e^x$  calculator module has been designed that can be used in digital designs, making use of the fact that FPGA chips are a cheap and flexible alternative for applications requiring high computational power. The designed module works with the 64-bit IEEE 754-1985 floating-point number format. The module was coded in VHDL and synthesized for the FPGA Virtex-6 XC6VLX75T chip with Xilinx's ISE 14.7 EDA tool. According to the results obtained, the designed module can produce results with precision up to 7-8 digits. Considering that the IEEE 754-1985 floating point number representation is sensitive to a maximum of 7-8 bits, the accuracy of the results produced by the designed module can be argued to be excellent. In addition, the designed module can be operated at maximum 56.460 MHz. In the future, the clock speed can be increased by using a memory structure which is different from the kad structure for the module. Considering the amount of hardware the unit uses, it can be seen as a disadvantage that FPGA uses too much space for the smallest chip. For this, more replicas can be created for the larger-capacity FPGA chips that the module can be run in parallel.

## REFERENCES

- Acosta Lúa, Cuauhtémoc, Stefano Di Gennaro, Antonio Navarrete Guzmán, ve Jorge Rivera Domínguez. 2021. “Digital sliding mode controllers for active control of ground vehicles”. *Asian Journal of Control* 23 (5): 2129–44. <https://doi.org/10.1002/asjc.2627>.
- Adil Yazdeen, Abdulmajeed, Subhi R. M. Zeebaree, Mohammed Mohammed Sadeeq, Shakir Fattah Kak, Omar M. Ahmed, ve Rizgar R. Zebari. 2021. “FPGA Implementations for Data Encryption and Decryption via Concurrent and Parallel Computation: A Review”. *Qubaban Academic Journal* 1 (2): 8–16. <https://doi.org/10.48161/qaj.v1n2a38>.
- Almekkawy, Mohamed, Jingwei Xu, ve Mohan Chirala. 2014. “An optimized ultrasound digital beamformer with dynamic focusing implemented on FPGA”. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014*, 3296–99. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944327>.
- Arar, Steve. 2017. “An Introduction to the CORDIC Algorithm”. 2017. <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/an-introduction-to-the-cordic-algorithm/>.
- Babu, Praveenkumar, ve Eswaran Parthasarathy. 2021. “Reconfigurable FPGA Architectures: A Survey and Applications”. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B* 102 (1): 143–56. <https://doi.org/10.1007/s40031-020-00508-y>.
- Boudabous, Anis, Fahmi Ghozzi, M Wajdi Kharrat, ve Nouri Masmoudi. 2004. “Implementation of Hyperbolic Functions Using CORDIC Algorithm”. *IEEE*, 738–41.
- Chaple, Girish N., R. D. Daruwala, ve Manoj S. Gofane. 2015. “Comparisons of Robert, Prewitt, Sobel operator based edge detection methods for real time uses on FPGA”. *Proceedings - International Conference on Technologies for Sustainable Development, ICTSD 2015*, sayı 1: 4–7. <https://doi.org/10.1109/ICTSD.2015.7095920>.
- “CLB(Configurable Logic Block) Wiki - FPGakey”. y.y. Erişim 13 Ocak 2022. <https://www.fpga-key.com/wiki/details/51>.
- Considine, Vincent. 1989. “CORDIC trigonometric function generator for DSP”. *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings* 4: 2381–84. <https://doi.org/10.1109/icassp.1989.266946>.
- Cosmas, Kiruki, ve Asami Kenichi. 2020. “Utilization of fpga for onboard inference of landmark localization in cnn-based spacecraft pose estimation”. *Aerospace* 7 (11): 1–25. <https://doi.org/10.3390/aerospace7110159>.
- Doss, Christopher C., ve Robert L. Riley. 2004. “FPGA-based implementation of a robust IEEE-754 exponential unit”. *Proceedings - 12th Annual IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines, FCCM 2004*, 229–38. <https://doi.org/10.1109/FCCM.2004.38>.
- “FPGA Architecture for the Challenge”. y.y. Erişim 13 Ocak 2022. [https://www.eecg.utoronto.ca/~vaughn/challenge/fpga\\_arch.html](https://www.eecg.utoronto.ca/~vaughn/challenge/fpga_arch.html).
- Hoe, David H.K., L. P. Deepthi Bollepalli, ve Chris D. Martinez. 2013. “FPGA fault tolerant arithmetic logic: A case study using parallel-prefix adders”. *VLSI Design* 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/382682>.
- Hosseiny, Adel, ve Ghassem Jaberipur. 2020. “Complex exponential functions: A high-precision hardware realization”. *Integration* 73 (February): 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2020.02.005>.
- Ismail, Samar M., Lobna A. Said, Ahmed A. Rezk, Ahmed G. Radwan, Ahmed H. Madian, Mohamed F. Abu-Elyazeed, ve Ahmed M. Soliman. 2017. “Generalized fractional logistic map



encryption system based on FPGA”. *AEU - International Journal of Electronics and Communications* 80: 114–26. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2017.05.047>.

J Sujitha, V Ramohan Reddy. 2014. “Implementation of Log and Exponential Function in FPGA”. *International Journal of Engineering Research Technology* 3 (11): 1–4. <https://www.ijert.org/view-pdf/11860/implementation-of-log-and-exponential-function-in-fpga>.

Pouyan, Peyman, Erik Hertz, ve Peter Nilsson. 2011. “A VLSI implementation of logarithmic and exponential functions using a novel parabolic synthesis methodology compared to the CORDIC algorithm”. *2011 20th European Conference on Circuit Theory and Design, ECCTD 2011* 4 (1): 709–12. <https://doi.org/10.1109/ECCTD.2011.6043642>.

Rasu, R., P. Shanmuga Sundaram, ve N. Santhiyakumari. 2015. “FPGA based non-invasive heart rate monitoring system for detecting abnormalities in Fetal”. *International Conference on Signal Processing and Communication Engineering Systems - Proceedings of SPACES 2015, in Association with IEEE*, 375–79. <https://doi.org/10.1109/SPACES.2015.7058287>.

Raut, Sushil, Kohei Shimasaki, Sanjay Singh, Takeshi Takaki, ve Idaku Ishii. 2019. “Real-time high-resolution video stabilization using high-frame-rate jitter sensing”. *ROBOMECH Journal* 6 (1). <https://doi.org/10.1186/s40648-019-0144-z>.

Rodríguez-Orozco, Eduardo, Enrique Efrén García-Guerrero, Everardo Inzunza-Gonzalez, Oscar Roberto López-Bonilla, Abraham Flores-Vergara, Jose Ricardo Cárdenas-Valdez, ve Esteban Tlelo-Cuautle. 2018. “FPGA-based chaotic cryptosystem by using voice recognition as access key”. *Electronics (Switzerland)* 7 (12): 1–16. <https://doi.org/10.3390/electronics7120414>.

Şahin, İbrahim, ve İsmail Koyuncu. 2011. “FPGA ÇİPLERİ İÇİN CORDIC TABANLI ex HESAPLAMA ÜNİTESİ TASARIMI”. *E-journal of New World Sciences Academy*, sayı September.

Şahin, İbrahim, ve Günay Temür. 2016. “A Controller Design Tool Development For Automatically Mapping Artificial Neural Networks”. *SDU International Journal of Technological Science* 8 (1): 34–52.

Sun, Yan, Le Li, ve Hong Luo. 2011. “Design of FPGA-based multimedia node for WSN”. *7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2011*, 4–8. <https://doi.org/10.1109/wicom.2011.6040365>.

Surendar, A. 2017. “FPGA based parallel computation techniques for bioinformatics applications”. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences* 8 (2): 124–28.

Tatar, Guner, ve Salih Bayar. 2019. “FPGA Based Bluetooth Controlled Land Vehicle”. *International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies, ISAECT 2018 - Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISAECT.2018.8618830>.

Temür, Günay. 2013. “Yapay Sinir Ağlarının Otomatik Olarak Fpga Çipine Uygulanması İçin Denetleyici Tasarım Aracı”. *Düzce Üniversitesi. Düzce Üniversitesi*.

Wan, Zishen, Bo Yu, Thomas Yuang Li, Jie Tang, Yuhao Zhu, Yu Wang, Arijit Raychowdhury, ve Shaoshan Liu. 2021. “A Survey of FPGA-Based Robotic Computing”. *IEEE Circuits and Systems Magazine* 21 (2): 48–74. <https://doi.org/10.1109/MCAS.2021.3071609>.

Wang, Dong, Milo D Ercegovac, ve Yang Xiao. 2014. “Two-Dimensional Interpolation” 63 (12): 2948–60.

Wielgosz, Maciej, Ernest Jamro, ve Kazimierz Wiatr. 2008. “Highly efficient structure of 64-Bit exponential function implemented in FPGAs”. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 4943 LNCS: 274–79. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-78610-8\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-540-78610-8_28).

## Green Energy Production and Sustainable Carbon Reduction Potential of Poultry Waste in Turkey

Zuhai AKYÜREK

### Introduction

Energy security is one of the main drivers of sustainable development. Growing population, technological and economic developments in the last decades have created a steady increase in global demand for energy. The world energy mix heavily depends on fossil fuels. Backwards of fossil fuel energy such as uncertainty in supply, fluctuations in fossil fuel prices and climate change concerns give impetus to transition to low carbon energy.

Biomass is an abundant and carbon neutral source of renewable energy production. It is the only renewable energy source that can produce electricity, provide heating, cooling and can be converted into fuels in form of solid, liquid and gas (Sahoo et al., 2018; Magnhanaki et al., 2013, Akyürek, 2019a). Biomass refers to organic materials that is derived from animals or plants, present in nature or generated from agricultural and industrial activities and urban wastes (Ferreira et al., 2018; Mao et al., 2015). Biomass energy highly depends on availability of the resources as well as their utilization through sustainable conversion technologies (Terrapan-Pffaff et al., 2012).

Biomass can be converted to green energy through combustion, gasification, pyrolysis, anaerobic digestion technologies (Panwar et al., 2012). Depending on the fuel properties, suitable technologies are applied for waste treatment and renewable energy recovery purposes. Compared with other bioenergy conversion technologies, biogas is a mature and commercialized technology for waste utilization (Li et al., 2016). Biogas can be produced from landfills, wastewater treatment plants, sewage treatment plants and anaerobic digestion plants processing organic waste. Anaerobic digestion describes the robust process of organic material decomposition in oxygen-free medium to produce biogas, which is composed of methane, carbon dioxide, ammonia and traces of other gases, volatile fatty acids, and water (Lyytimaki, 2018; Yentekakis and Grammatiki, 2017). Natural gas has become one of the most widely used energy forms in the recent decades (Demirbaş, 2010). In Table 1, the comparison of characteristic properties of biogas from organic waste and landfill methane with natural gas are presented.

Table 1. Characteristic compositions of biogas and landfill gas with natural gas (Lyytimaki, 2018; Demirbaş, 2010; Bond and Tepleton, 2011; Jönsson etv al., 2003)

Composition	Natural Gas	Biogas	Landfill Methane
CH <sub>4</sub> , Vol. %	87-96	60-70	45-55
CO <sub>2</sub> , Vol. %	0.1-1.0	30-40	30-40
N, Vol. %	<1	<1	5-15
H <sub>2</sub> S, ppm	5.5	10-2000	50-300
HHV, MJ/m <sup>3</sup>	35-40	21-24	13-19

The biogas produced from the anaerobic digestion of organic waste can be used for electricity and heat production in energy sector. Biogas generally used in power and CHP plants in economically developed regions, while in rural it is mostly used for heating or cooking purposes (Scarlat et al., 2018; Akyürek, 2018). Biogas can also be upgraded to bio-methane to be used as fuel in transport sector to replace with oil and diesel fuel. Bio-methane can be compressed or liquefied to increase its volumetric energy density. Bio-methane has been shown to be more environmentally beneficial than liquid biofuels in road transport sector to contribute the climate change combat (Patterson et al., 2011).

Turkey is one of the fast-growing economies in Europe and is a candidate country for European Union Membership. In the EU, political targets for climate and energy in 2030 are 40% reductions in greenhouse gas emissions. In longer term, the EU has ambition for transition to low carbon economy and to reach CO<sub>2</sub> reduction of 80-95% by 2050 (Scarlat et al., 2018). In Turkey, power generation and industrial activities are responsible for most of the total greenhouse gas emissions (Figure 1). According to Turkey's Intended Nationally Determined Contribution covering the period 2012-2030, total greenhouse gas emissions will be reduced up to 21% by 2030 with the improvements in energy, industrial processes and products use, agriculture, land use land-use change and forestry, and the waste sectors. From this point of view, biogas energy can contribute significantly to reach the emission reduction targets of Turkey.

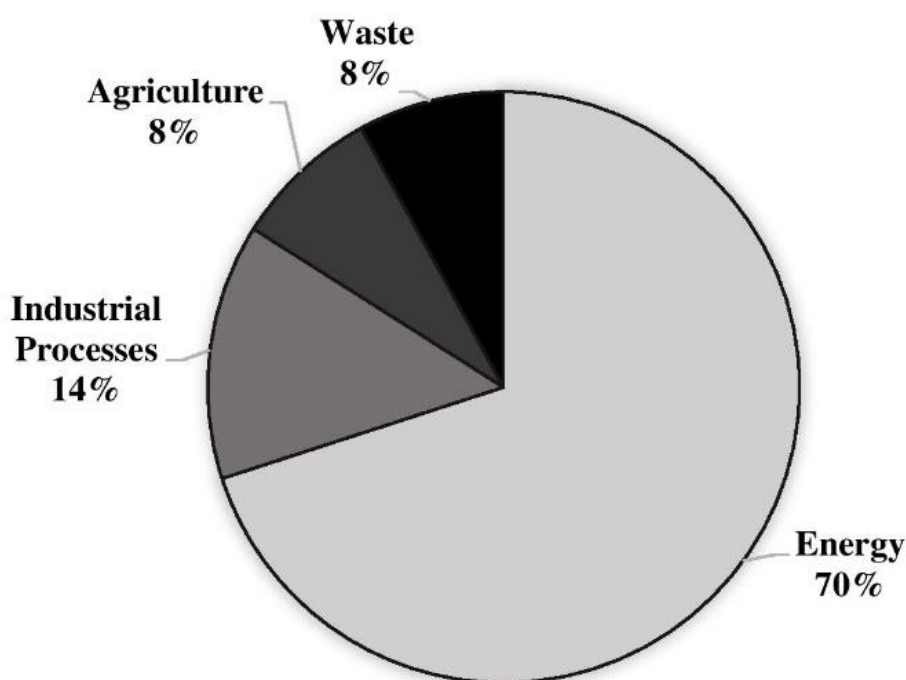


Figure 1. Sectoral distribution of the generated greenhouse gas emissions in Turkey.

Figure 2 shows the EU member countries with highest biogas production in comparison with the biogas production in Turkey (2015). Biogas production in EU-28 Countries have reached to 15887 TOE in 2015. Germany has the highest share (50%) in total biogas production in Europe due to application of effective feed-in tariff system (Meyer et al., 2017) followed by United Kingdom, Italy, France, Czechia, Netherlands, Austria.

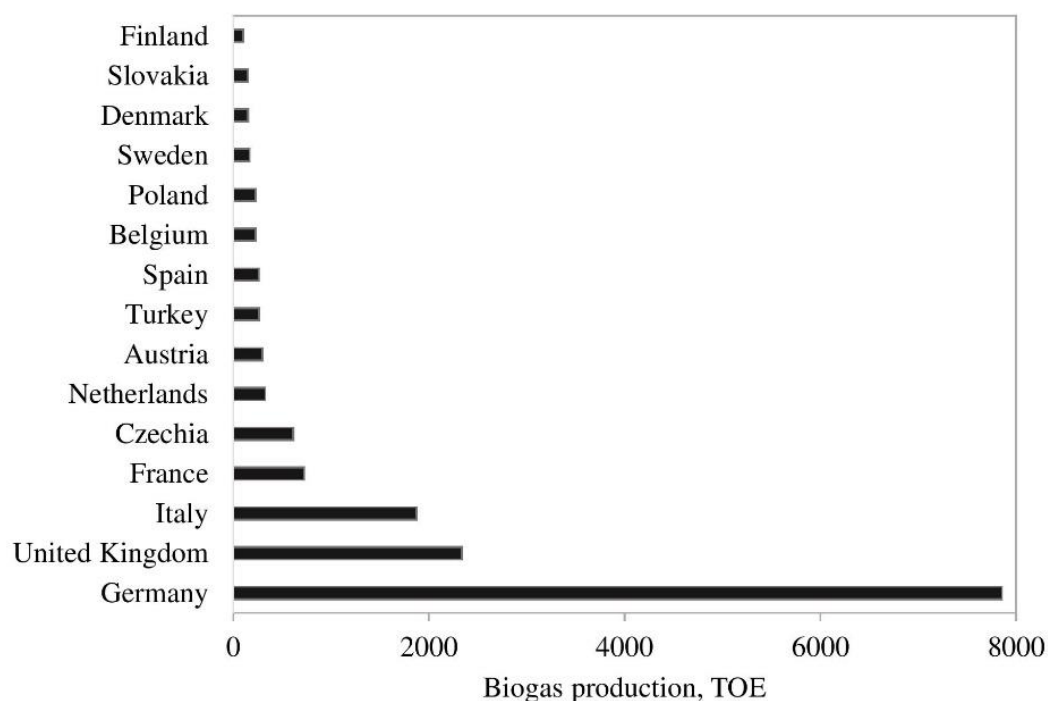


Figure 2. Biogas production in EU countries and Turkey (Eurostat, 2015).

According to United Nations (UN), food demand will rise by 70 % worldwide by 2050. In this context, the poultry sector will gain global importance for supplying protein foods (Ferreira et al., 2019). Over the last decades, the poultry industry has grown tremendously in order to meet the huge demand for cheap and safe meat and eggs supply. However, the projections towards intensification of the sector on the other hand, have risen the environmental concerns on waste management (Gerber et al., 2007). Managing poultry waste is challenging and results in financial burden for livestock farms. Intensive chicken breeding causes production of high nitrogen content in manure, which hinders poultry waste to be directly used as fertilizer in farmlands (Cavalaglio et al., 2018). Council Directive of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources (91/676/EEC) restricts the use of nitrates to 170 kg/ha.

In Turkey, poultry farming has high economic value and the poultry industry is a prospective and progressive sector. A huge amount of waste is produced from this sector annually. Traditionally, livestock manure is used to fertilize the local farmland. However, severe negative impacts to the environment may occur when manure is directly stored on the farmland; for instance, provoking greenhouse gas emissions, causing animal and human health problems, reducing soil fertility, eutrophication of surface waters due to runoff of excess nitrate and phosphate and spreading of pathogens, antibiotics, heavy metals, etc. in the groundwater, etc. (Ten et al., 2014; Motew et al., 2018; Fuchs et al., 2018).

Anaerobic digestion can be an efficient solution for handling the environmental problems associated with treatment of poultry manure through biogas production. Poultry manure is a highly bio-degradable organic waste which is rich in organic matter and hence an efficient substrate for energy recovery (Altınbaş and Çiçek, 2019). Moreover, poultry manure had higher biogas potential compared to dairy manure with loading rate of solids below 5 % under mesophilic conditions (Itoda and Awulu, 1999). There are many studies available in literature that have pointed out poultry manure as a potential source of renewable energy (Batzias et al., 2005; Ribeiro et al., 2018;

Akyürek and Coşkun, 2019), however, there are no detailed studies available on estimation of the poultry waste derived biogas production in Turkey. Therefore, this study attempts to identify the biogas potential of regions of Turkey considering poultry manure capacity by using the recent data. The assessment of energy and electricity generation capacities and carbon emission reduction potential have carried out.

## Materials and Methods

Turkey is a Eurasian country with a minor portion located in South Eastern Europe and the major portion (Anatolia) of is located in Asia Continent. Turkey has 78 million ha total land area. Turkey is composed of seven geographic regions, each having different climate and geographical properties. Turkey's population has reached to 84.34 million in 2020. Agricultural activities and livestock industry have significant role in Turkish Economy. Livestock farming has also great importance in terms of solution to socio-economic problems in the country such as preventing the immigration from rural areas to cities.

## Poultry Population

Biogas potential from poultry waste is determined for the seven regions in Turkey. The total number of total poultry population provided from Turkish Statistical Institute (TUIK, 2021) is shown in Figure 3. As can be seen from the figure, most of the poultry population is accumulated in Aegean, Marmara, Black Sea, Central Anatolia and Mediterranean Regions.

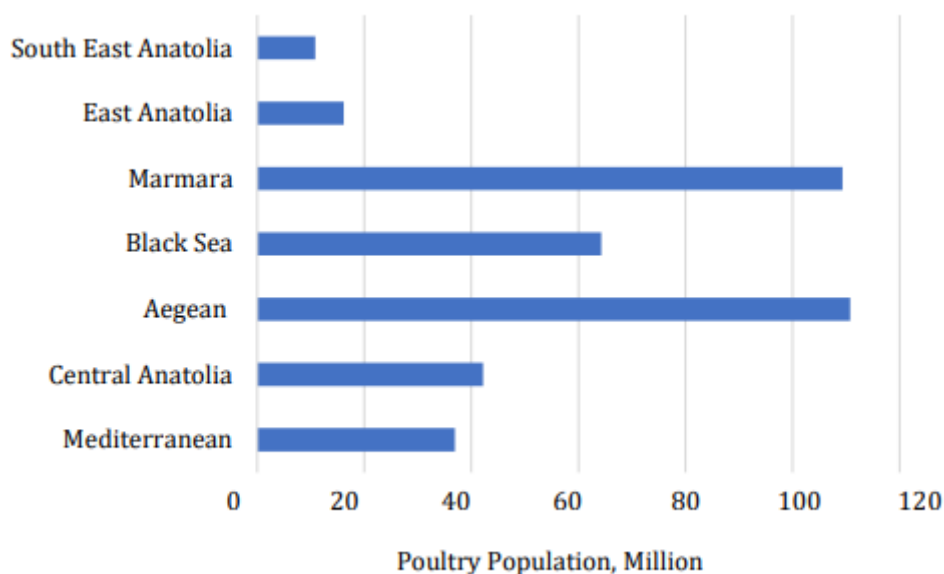


Figure 3. Poultry population (Broiler and Egg Chicken) distribution in Regions of Turkey, 2021.

## Poultry Waste Potential

Poultry waste mainly refers to the organic waste consisting of a mixture of manure, bedding material, litter, feed waste, broken eggs and feathers removed from poultry hutches (Kelleher et al., 2002). Table 3 shows the typical waste characteristics of the poultry waste and Figure 4 shows the available poultry waste production in Turkey year 2021.

Table 3. Characterization of Poultry Manure (Özyurt 2010; Kelleher et al., 2002; Özer, 2017)

Total solids (TS), %	44
Volatile total solids (VTS), %	89
C/N	12.24
pH	8.8
Total Nitrogen (dry, %)	3.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (dry, %)	0.71
K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (dry, %)	3.79

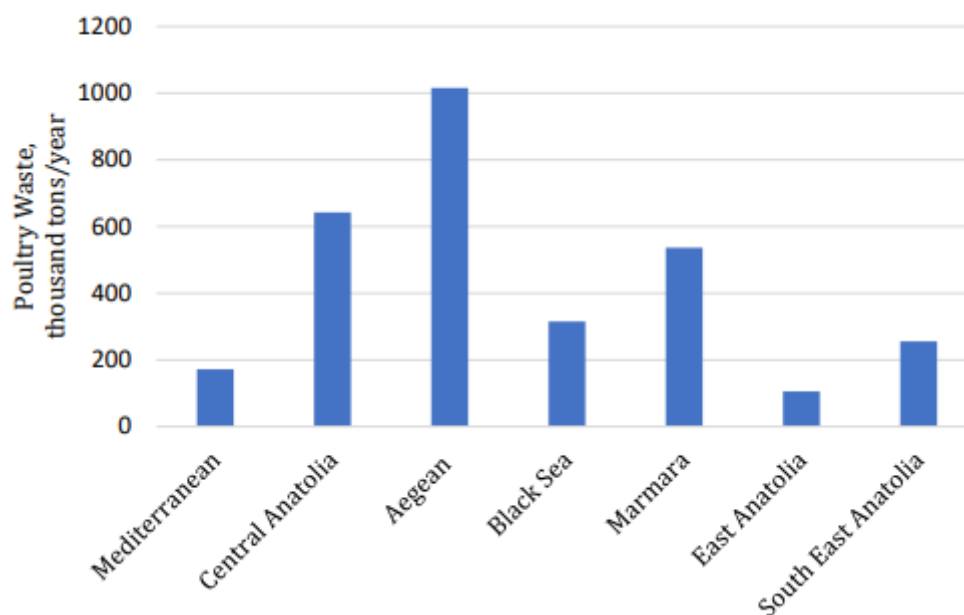


Figure 4. Distribution of poultry waste from egg chicken in Regions of Turkey, 2021.

### Biogas Potential

Biogas potential is affected by are many factors such as type of the animal, body weight, total solids ratio, volatile solids ratio, the availability ratio of waste and operating conditions of the anaerobic digestion process. Excess ammonia content, high temperature and/or pH levels are some of the operational obstacles that can hinder the methane production in anaerobic digesters (Kelleher et al., 2002).

The egg chicken wastes are considered to be feasible for anaerobic digestion operation for efficiently producing biogas and organic fertilizer than broiler chicken wastes (MoENR), therefore the theoretical potential of biogas production has calculated from the amount of waste derived from egg chickens.

Theoretical biogas production potential is calculated as follows (Abdeshahian et al., 2016):

$$TBP = M * TS \% * VTS \% * AC * EB_{VTS} \quad (1)$$

where TBP denotes the theoretical potential of biogas (m<sup>3</sup>/year),

M is the total amount of the poultry manure produced for each region (kg/year)

TS represents the ratio of the total solids of the poultry manure, %

VTS is the ratio of total volatile solids in the poultry manure, %

AC denotes the availability ratio, %

$EB_{VTS}$  is the quantity of estimated biogas produced per kg of the volatile total solids ( $m^3/kg$  VTS).

In the current study, the availability of the poultry has taken as 99 % due to high residence time of poultry in the hens. The quantity of estimated biogas produced per kg of the volatile total solids is in the range of 300-450 l/kg VTS for poultry (Avcioglu and Türker, 2012).

### Energy Recovery

The amount of energy produced from bio-methane (kWh/year) is calculated based on Equation 2;

$$E_M = TBP * M_p * E_{CH_4} \quad (2)$$

$M_p$  represents the methane production ratio of biogas %

$E_{CH_4}$  is the energy content of methane ( $36 \text{ MJ}/m^3 \text{ CH}_4$ )

Electricity generation from bio-methane is calculated from Equation 3;

$$E_{Me} = E_M * \eta \quad (3)$$

$\eta$  denotes electricity conversion of bio-methane energy depending on the power generation plant (40 %).

### Greenhouse Gas (GHG) Emissions

Potential savings of GHG emissions are estimated by considering the on-land deposition of manure, biogas production from anaerobic digestion process and fossil fuel displacement. On-farm deposition of fresh poultry manure results in methane emissions due to organic content of the waste. The methane emission due to unprocessed poultry manure is calculated by Equation 4 (IPCC, 2006):

$$E_{CH_4} = 0.67 * N * VS * B_o * MCF \% \quad (4)$$

Where N is the number of poultry,

VS denotes the volatile solids, kg dry manure/year,

$B_o$  is the biodegradability of the organic matter: 0.24 (kg  $\text{CH}_4/\text{kg VS}$ ),

MCF is the methane conversion factor for poultry litter in an open pit: 65 %.

Indirect nitrous oxide emissions occur via nitrification and denitrification of nitrogen content in the manure during outdoor storage. Nitrous oxide emission during natural processing of poultry manure can be formulated by [IPCC, 2007] Equation 5:

$$E_{N_2O} = N * N_{ex} * MS * EF_{N_2O-D} * 1.57 \quad (5)$$

Where N is the number of poultry,

$N_{ex}$  is annual average nitrogen excretion/poultry, 0.6 kg N/year,

MS is the fraction of litter stockpiled, 1 for outdoor storage,

$EF_{N_2O-D}$  is the emission factor for direct  $\text{N}_2\text{O}$  emissions in  $0.002 \text{ kgN}_2\text{O-N}/\text{kg N}$ .

Total amount of uncontrolled release of biogas to the atmosphere is calculated as,

$$B_{CO_2} = E_{CH_4} + E_{N_2O} \quad (6)$$

In contrast to fossil fuel produced CO<sub>2</sub>, emission from biogas have much shorter carbon cycle among atmospheric CO<sub>2</sub> to plant, plant to poultry, poultry to manure (Cornejo and Wilkie, 2010). Emission factor of 0.8 kW<sub>e</sub>/CO<sub>2</sub> is defined for electricity generation from biogas while it is 1 kW<sub>e</sub>/CO<sub>2</sub> for electricity generation from coal (Murphy et al., 2004);

$$B_{e,CO_2} = E_M * 0.8 \quad (7)$$

The average efficiency of the conversion from coal to electricity is used as 0.33 in Equation (8) to evaluate the coal displacement with biogas.

$$C_{e,CO_2} = \frac{E_M}{0.33} * 1.0 \quad (8)$$

Total savings of GHG emission from electricity generation from biogas on behalf of coal is obtained from the following equation (Özer, 2017):

$$TES_{CO_2} = B_{CO_2} + C_{e,CO_2} - B_{e,CO_2} \quad (9)$$

### Organic Fertilizer Production

The residue of the anaerobic digestion process is the organic fertilizer which is a valuable product to be used for agricultural, landscaping and horticultural applications. The slurry retained after digestion process is a thick sludge with a moisture content of about 80-90 % which can be dewatered by simple filtration before it is sold as solid fertilizer.

The amount of the organic residual that can be obtained after biogas processing is calculated by Equation 10;

$$F = M * AC * TS \% * NVTS \% * OS \% \quad (10)$$

where F is the amount of fertilizer produced from digester, ton/year,  
 NVTS is the ratio of non-volatile total solids in poultry manure, %  
 OS is the ratio of organic solids in non-volatile total solids.

### Results and Discussion

Animal waste derived from the livestock farms and processing industries has high organic content that can lead to environmental pollution. These wastes are generally characterized by their high nitrogen and phosphorus contents and generally used as fertilizer by means of spreading on the farmlands. Direct application of animal waste to farmlands results in nutrient imbalance in the soil and triggers environmental contamination due to transfer of pathogens, diseases, antibiotics, heavy metals and hormones (Abdeshahian et al., 2016; Mainali et al., 2017). Suitable treatment of livestock manure by means of anaerobic digestion provides getting rid of negative environmental impacts of manure to air, soil and water resources, protecting human health, preventing bad odors and stabilizing the manure to form organic fertilizer (Hol-Nielsen et al., 2009; Gebrezgabher et al., 2010).

In this study, the potential of poultry population in Turkey is evaluated in terms of energy production from biogas, waste management and climate change impacts. The share of poultry population and poultry waste potential in Turkey is demonstrated in Figure 5. As can be seen from the figure, poultry population has the highest share (85%) in the animal stock of Turkey, whereas it has the lowest manure production potential (9%). The biogas conversion yield of poultry on the other hand, is much greater than those of cattle and small ruminants' manure. Therefore, poultry waste becomes a favorable substrate for biogas production in anaerobic digesters.



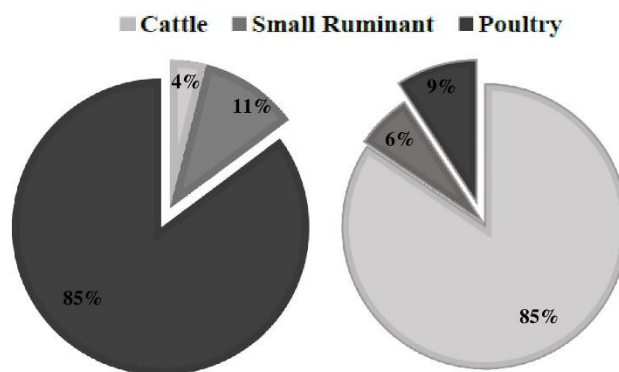


Figure 5. Comparison of the animal population (a) and available waste production potential by animal type (b) in Turkey (2021).

The results of the calculations revealed that total theoretical biogas production potential from poultry manure in Turkey is 327.8 Million m<sup>3</sup>/year. Biogas and bio-methane production potential in different regions of Turkey are illustrated in Figure 6. As expected from the amount of waste inventories, Aegean Region has shown the highest biogas production potential from poultry waste in Turkey.

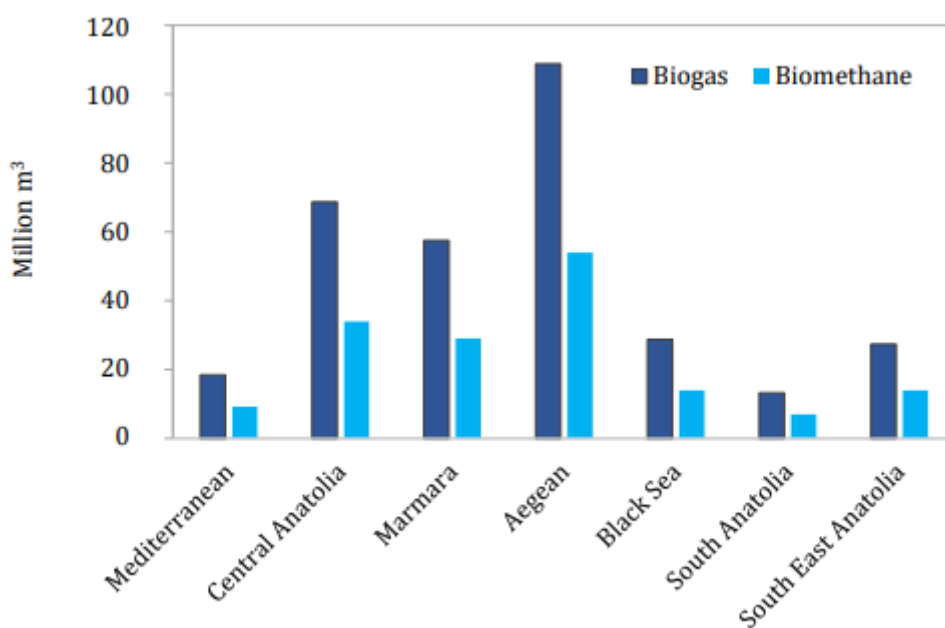


Figure 6. Contribution of each region to biogas and bio-methane production.

Estimated potential of energy and electricity productions from poultry manure are presented in Table 4. Total annual potential of energy production from poultry waste derived biogas in Turkey accounts for ~1639 GWh.

Table 4. Annual Energy, electricity production potential from poultry waste.

Region	GWh	GWe
Mediterranean	92.03	33.13
Central Anatolia	343.35	123.61
Marmara	287.67	103.56
Aegean	543.88	195.80
Black Sea	168.99	60.84
South Anatolia	66.23	23.84
South East Anatolia	136.94	49.30
Total	1639	590

Total annual electricity generation potential of poultry derived biogas can contribute to 590 GWe to the electricity production from renewable sources. As an energy importing country, energy production from local sources especially from organic waste is of great importance for Turkey. Biogas production not only contributes to energy supply but also helps to reduce greenhouse gas emissions via avoiding CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from on-farm depositing. Figure 7 shows the potential of the regions of Turkey in terms of total greenhouse gas (GHG) emission savings.

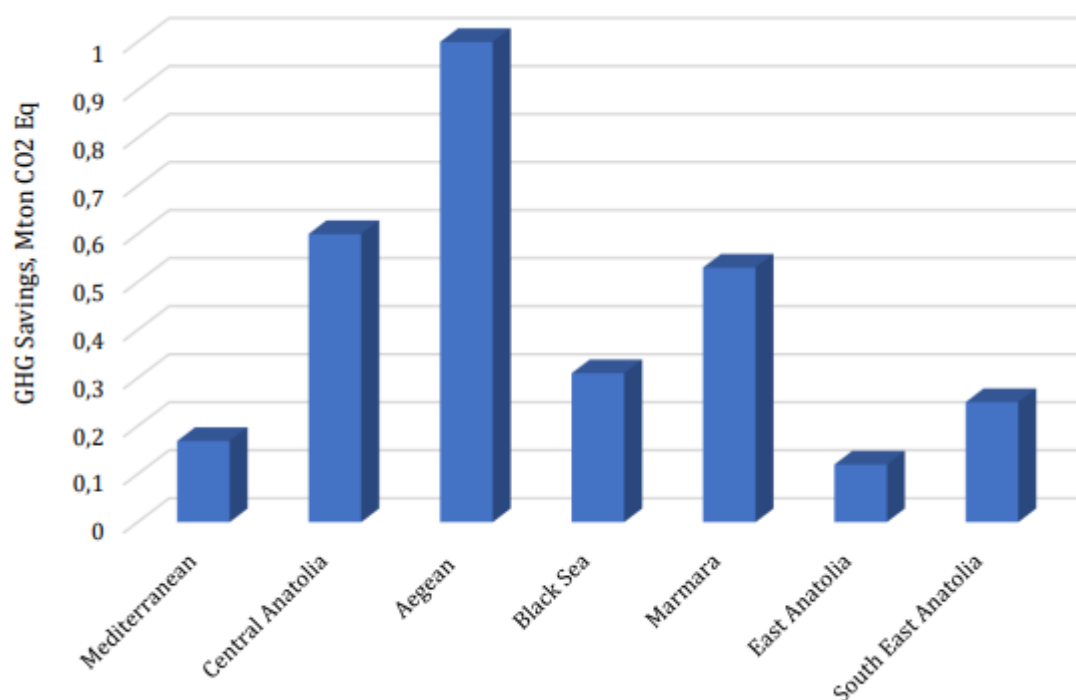


Figure 7. Total GHG emission savings in each region.

The by-product of the anaerobic digestion process is the digestate which has high fertilizing potential compared to unprocessed animal manure. During the process of anaerobic digestion, in contrast to composting, the amount of nutrient content of the feedstock stays almost the same. However, the form of nutrients in the manure changes. Nitrogen, Phosphorous and Potassium are the key nutrients in the organic fertilizers. Small amount of nitrogen is emitted within biogas whereas the high amount of total nitrogen (>99%) retains within the bio-slurry in the digester (Wysocka-Czubaszek, 2019). About 50 % of the organic nitrogen of manure is converted to ammonia which is readily available for uptake by plants (Kamal et al., 2011). Therefore, high

nitrogen availability in the digestate makes it more suitable for fertilizer application compared to untreated poultry manure to act as a substitute to Synthetic-N fertilizers.

The composition of the poultry derived organic fertilizer is reported to have 1.8-2.7 % of Nitrogen, 0.8-3.3 % of Phosphorous and 0.5-0.8% of Potassium (K) contents (Kamal et al., 2011; Islam, 2006). On farm application trials of the digestate from poultry waste have shown that the organic fertilizer has superior impact on the yield of agricultural crops (Cabbage, tomato, etc.) compared to synthetic fertilizers (Albuquerque et al., 2012). The stability of the bio-slurry determines the dynamics of nitrogen in soil; hence before applying directly to the field, some aerobic post treatment methods such as curing and maturing may be required to stabilize the product. From the calculations (Equation 10), total 0.251 million ton/year organic fertilizer production can be achieved by using anaerobic digestion technology in Turkey.

The estimated potentials of production of energy and GHG emissions are summarized in two different scenarios and illustrated in Figure 8. In the figure, the first scenario represents the emissions from on farm deposition of poultry manure and coal combustion for electricity generation. In the second scenario, on the other hand, poultry waste is deposited in storage tanks and utilized in anaerobic digestion plant to produce biogas and GHG emissions only resulted from biogas combustion to produce the same amount of electricity. As can also be seen from the illustration, biogas production is a feasible route for poultry sector to reduce the risk of methane and nitrous oxide emissions to atmosphere. Environmental hazard can considerably be reduced if poultry waste is anaerobically digested instead of spreading as raw fertilizer onto farmlands.

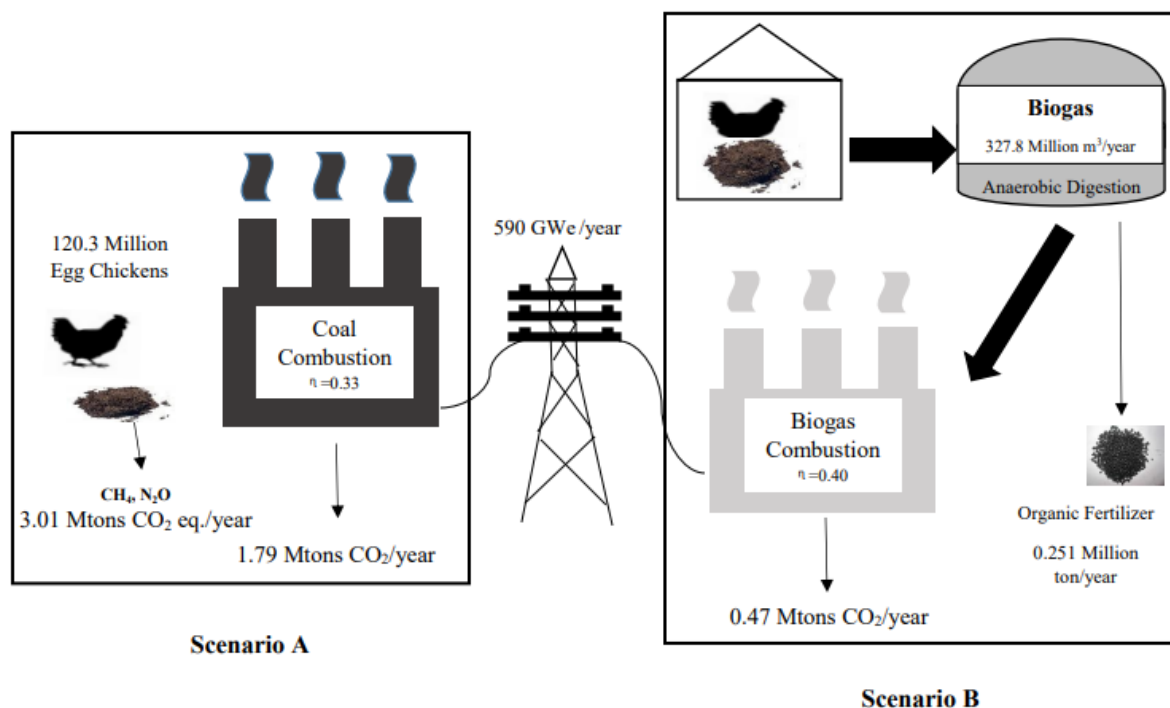


Figure 8. Schematic description of the inputs and outputs of (A) on farm manure deposition and coal combustion (B) biogas production.

Renewable power is of great importance in Turkey. Most of the investments in renewable electricity generation is accumulated in solar and wind energy. However, bio-waste is abundant organic source and has significant potential to contribute to renewable energy mix. In Turkey, renewable energy investments are supported via guaranteed feed-in tariff system. Feasibility studies on biogas power shows the payback periods in the range of 2-3 years (Çoban et al., 2016) that poultry waste valorization via biogas production can be considered as a worthwhile energy option in Turkey.

### **Concluding Remarks**

In Turkey, high amount of biodegradable poultry waste generates. As an energy importing country, Turkey needs to focus and invest on utilization of her renewable sources for providing energy security and for reaching the envisaged emission reduction targets for 2030. The estimation study of environmental impact and energy potential of biogas production from poultry waste has revealed that egg chicken waste has 327.8 million m<sup>3</sup>/year biogas production potential corresponding to annual 590 GWe electricity generating capacity and about 3 Mt CO<sub>2</sub> equivalent emission mitigation. The residual of biogas production process has annual 251 thousand tons of organic fertilizer production potential for agricultural, landscaping and horticultural applications.

## REFERENCES

- Abdeshahian, P., Lim, J. S, Ho, W.S., Hashim, H., Lee, C.T. (2016) Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 60, 714-723. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.117
- Albuquerque J.A., de la Fuente C., Bernal M.P. (2012) Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils. *Agr Ecosyst Environ* 160, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.007>
- Akyürek, Z., (2018) Potential of Biogas Energy from Animal Waste in the Mediterranean Region of Turkey, *J Energ Sys.* 2(4), 159-167, (2018). DOI: 10.30521/jes.455325
- Akyürek, Z., (2019a) Sustainable valorization of animal manure and recycled polyester: co-pyrolysis synergy, *Sustainability*, 11(8), 2280. <https://doi.org/10.3390/su11082280>
- Akyürek, Z. (2019b) Energy Recovery from Animal Manure\_Biogas Potential of Burdur, Turkey, *Eskişehir Tech. Uni. J Sci. Tech., Part A: Appl. Sci. Eng.*, 20(2), 161-170. DOI:10.18038/aubtda.456873
- Akyürek, Z, Coşkun, S. (2019) Determination of Biogas Energy Potential of Aegean Region Based on Animal Waste. *Celal Bayar Uni. J Sci.* 15(2), 171-174. Doi: 10.18466/cbayarfbe.492880
- Altınbaş, M., Cicek, A.O. (2019) Anaerobic co-digestion of chicken and cattle manures: Free ammonia inhibition, *Energy Source Part A*, 41(9), 1097-1109. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1539143>
- Avcıoğlu, A.O., Türker, U. (2012) Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 16, 1557–1561. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.006>
- Batzias, F.A., Sidiras, D.K., Spyrou, E.K. (2005) Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renew Energ.*, 30, 1161–76. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.10.001>
- Bond, T., Templeton, M.R. (2011) History and future of domestic biogas plants in the developing world, *Energy Sustain Dev.*, 15, 347–354. Doi:10.1016/j.esd.2011.09.003
- Cavalaglio, G., Coccia, V., Cotana, F., Gelosia, M., Nicolini, A., Petrozzi, A. (2018) Energy from poultry waste: An Aspen Plus-based approach to the thermo-chemical processes, *Waste Manag.* 73, 496-503. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.037>
- Cornejo, C., Wilkie, A.C. (2010) Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy Sustain Dev.*, 14, 256-266. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.09.008>
- Coban, V., Cagman, S., Eyidogan M., Kılıc Canka, F., Kaya, D. (2016) Economic Analysis of Biogas Production from Chicken Manure, In the Proceedings of 8th International Ege Energy Symposium and Exhibition.
- Demirbaş, A. (2010) *Methane Gas Hydrate*, Springer, 57-76. ISBN: 978-1-84882-871-1
- Eurostat database (2019) <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- Ferreira, L.R.A., Otto, R.B., Silva, F.P., De Souza, S.N.M., De Souza S.S., Ando Junior, O.H. (2018) Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 94, 440–455. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.034>

Fuchs, W., Wang, X., Gabauer, W., Ortner, M., Li, Z. (2018) Tackling ammonia inhibition for efficient biogas production from chicken manure: Status and technical trends in Europe and China, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 97, 186–199. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.038>

Gerber, P., Opio, C., Steinfeld, H. (2007) Poultry production and the environment – a review, *Poultry in the 21st Century*. [http://www.fao.org/Ag/Aginfo/home/events/bangkok2007/docs/part2/2\\_2.pdf](http://www.fao.org/Ag/Aginfo/home/events/bangkok2007/docs/part2/2_2.pdf) Jönsson, O., Polman, E., Jensen, J.K., Eklund, R., Schyl, H., Ivarsson, S. (2003) Sustainable Gas Enters the European Gas Distribution System, [http://www.dgc.eu/sites/default/files/filarkiv/documents/C0301\\_sustainable\\_gas.pdf](http://www.dgc.eu/sites/default/files/filarkiv/documents/C0301_sustainable_gas.pdf)

Gebrezgabher, S.A., Meuwissen, M.P.M., Prins, B.A.M., Lansink, A.G.J.M.O. (2010) Economic analysis of anaerobic digestion – a case of Green power biogas plant in The Netherlands”. *NJAS – Wageningen J Life Sci* 57, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2009.07.006>

Guerra-Rodriguez, E., Diaz-Ravina, M., Vazquez, M. (2001) Co-composting of chestnut burr and leaf litter with solid poultry manure, *Bioresour. Tech.* 78, 107-109, PII: S0960-8524(00)00159-0

Hol-Nielsen JB, Al-Seadi T, Oleskowicz P. (2009) The future of anaerobic digestion and biogas utilization”. *Bioresour. Technol.* 100, 5478–5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>

IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 10: emission from livestock and manure management. (2006). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

IPCC. Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland: IPCC; (2007) <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr>

Islam, M.S. (2006) Use of Bioslurry as Organic Fertilizer in Bangladesh Agriculture”, International Workshop on the Use of Bioslurry Domestic Biogas Programmes. <http://www.bibalex.org/search4dev/files/338830/172330.pdf>

Itoda, I.N., Awulu, J.O. (1999) Effects of total solids concentrations of poultry, cattle, and piggery waste slurries on biogas yield, *Transactions of the ASABE* 42, 1853-1855, Doi:10.13031/2013.13350

Kamal, A., Rabbani, G., Islam, S. (2011) Processing of Grameen Shakti Jaibo Sar as Organic Fertilizer and Its Uses. <http://www.bibalex.org/search4dev/files/338830/172330.pdf>

Kelleher, B.P., Leahy, J.J., Henihan, A.M., O'Dwyer, T.F., Sutton, D., Leahy, M.J. (2002) Advances in poultry litter disposal technology – a review, *Bioresour. Tech.* 83, 27–36. PII: S0960-8524(01)00133-X

Li, K., Liu, R., Sun, C. (2016) A review of methane production from agricultural residues in China, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 5, 857–865. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.103>

Lyytimäki, J. (2018) Renewable energy in the news: Environmental, economic, policy and technology discussion of biogas. *Sustain Pro Consump.* 15, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.04.004>

Maghanaki, M.M., Ghobadian, B., Najafi, G., Galogah, R.J., (2013) Potential of biogas production in Iran. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 28, 702–714. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.021>

Mainali, B., Emran, S.B., Silveira, S. (2017) Greenhouse gas mitigation using poultry litter management techniques in Bangladesh, *Energ.*, 127, 155-166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.103>

Mao, C., Yongzhong, F., Xiaojiao, W., Guangxin, R., (2015) Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 45, 540-55. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>

Meyer, A.K.P., Ehimen, E.A., Holm-Nielsen, J.B. (2017) Future European biogas: animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass Bioenerg.*, 111, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.05.013>

Motew, M., Booth, E.G., Carpenter, S.R., Chen, X., Kucharik, C.J. (2018) The synergistic effect of manure supply and extreme precipitation on surface water quality, *Environ Research Letters* 13, 044016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaade6>

Murphy, J.D., McKeogh, E., Kiely, G. (2004) Technical/economic/environmental analysis of biogas utilisation. *Appl Energy* 77, 407-427. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2003.07.005>

Ozyurt, O. (2010) Energy issues and renewables for sustainable development in Turkey, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 14, 2976-2985. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.08.002>

Özer, B. (2017) Biogas Energy Opportunity of Ardahan City of Turkey, *Energ.*, 139, 1144-1152. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.052>

Patterson, T., Esteves, S., Dinsdale, R., Guwy, A. (2011) An evaluation of the policy and techno-economic factors affecting the potential for biogas upgrading for transport fuel use in the UK, *Energ Policy*, 39, 1806–1816. doi:10.1016/j.enpol.2011.01.017

Panwar, N.L., Kothari, R., Tyagi, V.V. (2012) Thermo Chemical Conversion of Biomass—Eco Friendly Energy Routes, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 16, 1801-16. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.024>

Ribeiro, E.M., Barros, R.M., Filho, G.L.T., Santos, I.F.S., Sampaio, L.C., Santos, T.V., Silva F.G.B., Silva, A.P.M., Freitas, J.V.R. (2018) Feasibility of biogas and energy generation from poultry manure in Brazil, *Waste Manag. Research*, 36, 221-235. <https://doi.org/10.1177/0734242X177518>

Sahoo, K., Mania, S., Das, L., Bettinger, P. (2018) GIS-based assessment of sustainable crop residues for optimal siting of biogas plants, *Biomass Bioenerg.*, 110, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.01.006>

Scarlat, N., Fahl, F., Dallemard, J.F., Monforti, F., Motola, V. (2018) A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 94, 915–930. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.035>

Terrapon-pfaff, J.C., Fishedick, M., Monheim, H. (2012) Energy potentials and sustainability—the case of sisal residues in Tanzania, *Energy Sustain Dev.*, 16, 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.06.001>

Ten Hoeve, M., Hutchings, N.J., Peters, G.M., Svanström, M., Jensen, L.S., Bruun, S. (2014) Life cycle assessment of pig slurry treatment technologies for nutrient redistribution in Denmark. *J Environ. Manag.*, 132, 60–70. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.023>

Turkish Statistical Institute (TUIK) 2021. <http://tuik.gov.tr>

Yentekakis, I.V. and Grammatiki, G. (2017) Biogas Management: Advanced Utilization for Production of Renewable Energy and Added-value Chemical, *Front Environ Sci.*, 5, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00007>

Wysocka-Czubaszek, A. (2019) Dynamics of Nitrogen Transformations in the Soil Fertilized with Digestate from Agricultural Biogas Plant, *J Ecol Eng.* 20(1), 108-117. <https://doi.org/10.12911/22998993/93795>



## Destek Vektör Regresyonu İle Hava Kalitesi Tahmini

Arzu ALTIN YAVUZ<sup>1</sup>

### Giriş

Küresel iklim krizi son yıllarda tüm ülke yönetimlerinin en önemli sorunudur. İklimde meydana gelen değişimler, beklenmeyen yağışlar, ani hava değişimleri ve bunun sonucunda gıda kıtlığı olarak kendini göstermektedir. Artan insan nüfusu ve hızlanan sanayileşme, beraberinde su, toprak ve hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Doğal kaynakların sınırsızca ve vahşi kullanımı işin sonunda yine insanı etkilemektedir. Hava, dünya üzerindeki tüm canlılar için gerekli oksijen ve diğer gazları sağladığından, temel ihtiyaçların başında gelmektedir. Bu nedenle hava kirliliği canlı yaşamını diğer doğal kaynakların kirliliğinden daha hızlı bir biçimde etkiler. Hava kirliliği, çeşitli kirleticilerin yoğun olarak uzun bir süre boyunca atmosferde bulunması durumu olarak tanımlanmaktadır. Şehir merkezleri ve yoğun endüstriyel faaliyet gösterilen sanayi bölgelerinde hava kirliliği oldukça yüksektir. Kötü hava kalitesi sadece çevresel bir sorun olmayıp, canlı yaşamını tehdit eden önemli bir problemdir. Dünya nüfusunun %90 civarındaki bir kısmının yaşadığı bölgelerde hava kalitesinin kirlilik sınırlarını aştığı belirlenmiştir. Ayrıca, dünya üzerinde hava kirliliğine bağlı ölümler, ölüm nedenleri arasında 4'üncü sırada yer almaktadır. Yıllık 4.2 milyon insan hava kirliliğine bağlı nedenlerle yaşamını yitirmektedir (WHO, 2020). Başta üst solunum yolları hastalıkları olmak üzere, astım, akciğer kanseri, bronşit, Covid-19 ve grip gibi hastalıkların kötü hava kalitesinde arttığı tespit edilmiştir (Karacı, 2018). İnsan yaşamı dışınca hava kalitesinin düşük olduğu bölgelerde su kaynaklarının asidik özellikte olduğu, bu su kaynakları kullanılarak üretilen ürünlerin besin değerlerinin düştüğü saptanmıştır. Ülkemizdeki hava kirliliği nedenlerinin başında hızlı ve plansız kentleşme, sanayideki çeşitli uygulama eksiklikleri, kullanılan enerji kaynakları, karayolu trafiği, termik santraller gelmektedir (Özbey & ark., 2017).

Hava kalitesinin tespit edilmesi için ele alınacak değişkenler uluslararası çalışmalarla tespit edilmiştir. Hava kirliliğine sebep olan faktörler gaz ve toz kirleticiler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Gaz grubu kirleticiler kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), nitrojen oksit (NO), nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>), hidrokarbonlar (HC) ve kurşun (Pb) olarak belirlenebilir. Toz kirleticiler ise partikül madde adı verilen ve mikron düzeyindeki büyüklüklerine göre adlandırılan kirleticilerdir. En yaygın ölçümü yapılan partikül madde düzeyleri PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub> kirleticileridir (Gültepe, 2019).

Hava kirliliği ile mücadelede en önemli adımlardan biri kalite kriterlerinin sürekli ve düzenli ölçümüdür. Ölçümlerin güncelliğini kaybetmesi elde edilen sonuçların kullanılabilirliğinin azalmasına neden olmakta ve çalışmanın tekrarlanmasını gerektirmektedir. Ülkemizde hava kalitesine ait ölçümler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından gerçekleştirilmektedir. Her ilde sınırlı sayıda lokasyonda bulunan hava kalitesi izleme istasyonları yeterli değildir. Çünkü, hava kalitesi mekânsal olarak değişkenlik gösteren bir olgudur. Ölçüm istasyonlarının sayısının artırılması ise yüksek maliyet gerektirmektedir.

---

<sup>1</sup> Prof.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Hava kirliliği üzerinde meteorolojik faktörlerin etkisi oldukça yüksektir. Hava kirleticilerin taşınması, yayılımı ve temizlenmesinin meteorolojik değişkenlerden etkilendiğini tespit eden bir çok bilimsel çalışma mevcuttur (Bridgman & ark., 2002, Verma & Desai, 2008, Oğuz & Pekin, 2022). Atmosferdeki kirletici yoğunluğu sıcaklık, basınç, bulutluluk ve nem gibi faktörlerden etkilenmektedir (Jacobson, 2005).

Hava kirliliği tahmin modelleri, hava kirliliğinin engellenmesinde kullanılan en önemli araçlardır. Bu amaçla çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Ancak günümüzde makine öğrenme yöntemlerinin yüksek tahmin başarısı ve akıllı sistemlerin maliyetlerinin düşmesi sonucunda yapay zekaya dayalı hava kalitesi izleme istasyonları yaygınlaşmaktadır. Hava kalitesi tahmini için literatürde çeşitli makine öğrenme yöntemleri (Çoklu doğrusal regresyon analizi, destek vektör makineleri, lojistik regresyon, k-En Yakın Komşu algoritması, yapay sinir ağları, rassal orman ve karar ağacı) kullanılmıştır (Hu & Rahman, 2017; Huang & Kuo, 2018; Alimissis & ark., 2018). Sürekli ölçümler ve makine öğrenme yöntemleri ile kirlilik seviyesinin tahmin edilmesi hem hava kalitesinin belirlenen sınırlar içerisinde kalmasına hem de kirlilik durumunda alınacak tedbirlerin zamanında alınmasına neden olacaktır. Sürdürülebilir bir hava kalitesi için güncel bilimsel yöntemlerin kullanılması da güvenilirliği arttıracaktır.

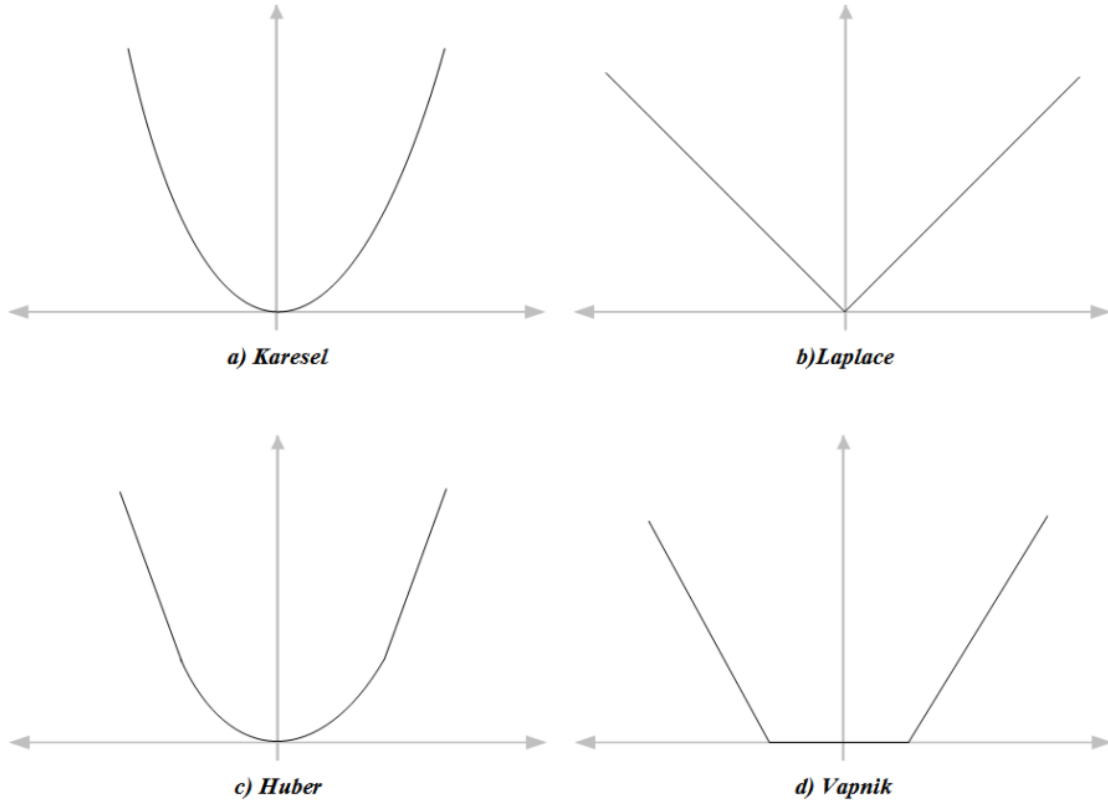
ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından hava kirliliği içerisinde kronik solunum yolu hastalıklarına neden olduğu tespit edilen en önemli kirletici, partikül madde miktarıdır. Partikül maddelerin son dönemde yaşanan Covid-19 salgınının bulaş hızını arttırdığı tespit edilmiştir (Kim & ark., 2015). Ülkemizde düzenli ölçümü gerçekleştirilen PM10 değişkeni, aerodinamik çapı 10 µm'den küçük olan partikülleri ifade etmek için kullanılmaktadır (Demirarslan & Kaya, 2017).

Bu çalışmada Ankara ili için PM10 değeri makine öğrenme yöntemlerinden Destek Vektör Regresyonu (DVR) ile modellenmiştir. Kasım 2021- Kasım 2022 dönemine ait PM10, CO (µg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) ve O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) değerleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığında temin edilmiştir. PM10 değişkeni üzerinde etkili olduğu düşünülen meteorolojik değişkenlerin (sıcaklık, basınç, nem, çığ noktası ve görüş mesafesi) verileri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Veri seti % 75 eğitim ve % 25 test verisi olarak ayrılmıştır. Destek vektör makineleri yöntemleri yardımıyla kurulan modeller hata kareler ortalaması bakımından karşılaştırılmıştır.

## Destek Vektör Regresyonu

Destek vektör makineleri (DVM), hem regresyon hem de sınıflandırma amaçlı olarak kullanılabilen denetimli makine öğrenme yöntemlerinden biridir. İstatistiksel öğrenme teorisine dayalı olarak geliştirilen DVM, örüntü tanıma için geliştirilmiş olan genelleştirilmiş betimleme algoritmasının (generalized portrait algoritm) doğrusal olmayan modellere genişletilmesi ile ortaya çıkmıştır (Vapnik & Chervonenkis, 1964). DVM temel amacı farklı gruplara ait gözlemler arasındaki en uygun hiper düzlemin belirlenmesidir (Vapnik, 2000). DVM sınıflandırma amaçlı kullanıldığında, farklı grupların birbirine en yakın olan gözlemleri belirlenerek, bu gözlemler arasındaki mesafeyi en büyük yapacak şekilde destek vektörleri oluşturulur. Sınıflandırma performansı değişmeyecek şekilde oluşturulabilecek tüm vektörler arasından hiper düzleme en uzak olacak vektör belirlenir.

DVM'nin regresyon modellerinde kullanıldığında, Destek Vektör Regresyonu (DVR) olarak adlandırılmaktadır. DVR, bir modelin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki fonksiyonel ilişkiyi karakterize etmek için kullanılan bir makine öğrenme yöntemidir (Zhang & O'Donnell, 2020). DVR istatistiksel öğrenme teorisinde eğitim hatasını en aza indirmek yerine, beklenen risk hatasını en aza indirgeyecek regresyon modelini belirlemeye çalışır. DVR çeşitli kayıp fonksiyonlarını kullanarak belirli bir hata toleransına göre destek vektörler arasındaki mesafenin en büyüklenmesini amaçlar. DVR'nda sıklıkla kullanılan bazı kayıp fonksiyonlarına ait grafikler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. DVR için bazı kayıp fonksiyon grafikleri

Şekil 1a'da verilen grafik hata kareler toplamının minimizasyonunu ifade eden en küçük kareler kayıp fonksiyonuna aittir. Şekil 1b'de ise aykırı değerlerin varlığı durumunda en küçük kareler kadar duyarlı olmayan Laplace kayıp fonksiyonu gösterilmiştir. Şekil 1c'de verilen Huber kayıp fonksiyonu ise verinin normal dağılıma uygun olmadığı durumlarda kullanılan optimal sağlamlık özelliğine sahip olan bir kayıp fonksiyonudur (Gunn, 1998). Şekil 1d'de ise Vapnick tarafından önerilen  $\varepsilon$ -duyarsız kayıp fonksiyonu yer almaktadır. İlk 3 kayıp fonksiyonundan farklı olarak Vapnick kayıp fonksiyonu destek vektör sayısını arttırmaktadır (Vapnick, 1995).

Sınıflandırma probleminde olduğu gibi hata terimi  $[-\varepsilon, \varepsilon]$  aralığında olmak üzere,  $x_i$  bağımsız ve  $y_i$  bağımlı değişken değerlerini göstermek üzere regresyon modeli,

$$-\varepsilon \leq y_i - w_i x_i - b \leq \varepsilon \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir.

Ancak bu koşullar altında optimizasyon probleminin çözümü mümkün olmadığından modele aylak değişken ilave edilir. Bu aylak değişken  $\epsilon_i^-, \epsilon_i^+ \geq 0$  şeklinde tanımlanır.

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + K \sum_{i=1}^n (\epsilon_i^- + \epsilon_i^+) \quad (2)$$

$$y_i - w_i x_i - b \leq \varepsilon + \epsilon_i^+$$

$$w_i x_i + b - y_i \leq \varepsilon + \epsilon_i^-$$

$$\epsilon_i^-, \epsilon_i^+ \geq 0$$

Buradaki K parametresi, artık değerlerin  $\epsilon$ 'dan büyük olması durumundaki sapmalar ile regresyon modelinin çıkarsama yeteneği arasındaki dengeyi sağlamaktadır (Drucker & ark., 1997). DVR çıkarsama yeteneği iyi, tahmin doğruluğu ve eğitim hızı yüksek olduğundan yaygın kullanıma sahiptir. Örneklem boyutunun küçük olması durumunda dahi etkin sonuçlar vermesi, doğrusal ve doğrusal olmayan veri yapıları için kullanışlı olması ise diğer avantajları olarak karşımıza çıkmaktadır (Vapnik, 1998).

### Performans Ölçütü

Regresyon temelli istatistiksel modelleme çalışmalarında, oluşturulan modellerin tahmin yeteneklerinin etkinliğini değerlendirmek genellikle Hata Kareler Ortalaması (Mean Squared Error-MSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE) ölçütleri kullanılmaktadır. Bu ölçütler Eşitlik 3-4 de verilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

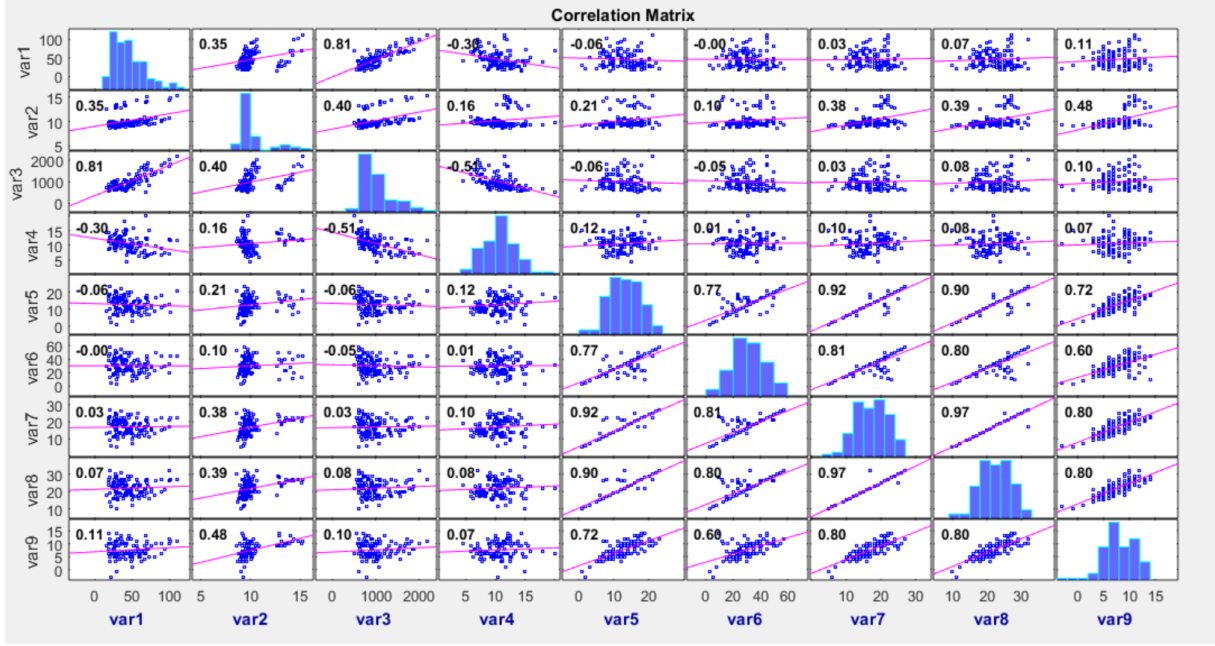
Burada  $\hat{y}_i$ ,  $y_i$ 'nin tahmin değerini göstermektedir.

### Uygulama

Çalışmanın bu kısmında Ankara ilinin Kasım 2021- Kasım 2022 dönemine ait PM10 değeri DVR kullanılarak modellenmiştir. PM10 değeri üzerinde etkili olduğu düşünülen CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), SO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), O<sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sıcaklık, basınç, nem, çığ noktası ve görüş mesafesi değişkenleri için belirtilen dönem ve lokasyon için gözlem değerleri ilgili kurumlardan temin edilmiştir. Makine öğrenme yöntemlerinde performans değerlendirmesi eğitim ve test verisi üzerinden yapılmaktadır. Bu nedenle 356 verinin 267'si (%75) eğitim verisi olarak kullanılmış, kalan kısmı ise test verisi (%25) olarak ayrılmıştır.

Hava kalitesi değişkenlerine ait gözlemler zaman serisi şeklinde olduğundan modelin öngörü başarısı kayan pencere yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kayan pencere yönteminde, ilgili zamandaki gözlem değeri kendisinden önceki k zaman noktasındaki gözlem değeri kullanılarak öngörülmeye çalışılır. Bu yöntemde her öngörü değeri sonrası, gözlemler birer birim kaydırılarak k tane gözlem değeri ele alınır. Yeni k tane gözlem yardımıyla ilgili dönemin öngörü değeri elde edilir. Bu şekilde öngörülerin elde edilmesi k kayan pencere yöntemi olarak adlandırılmaktadır.

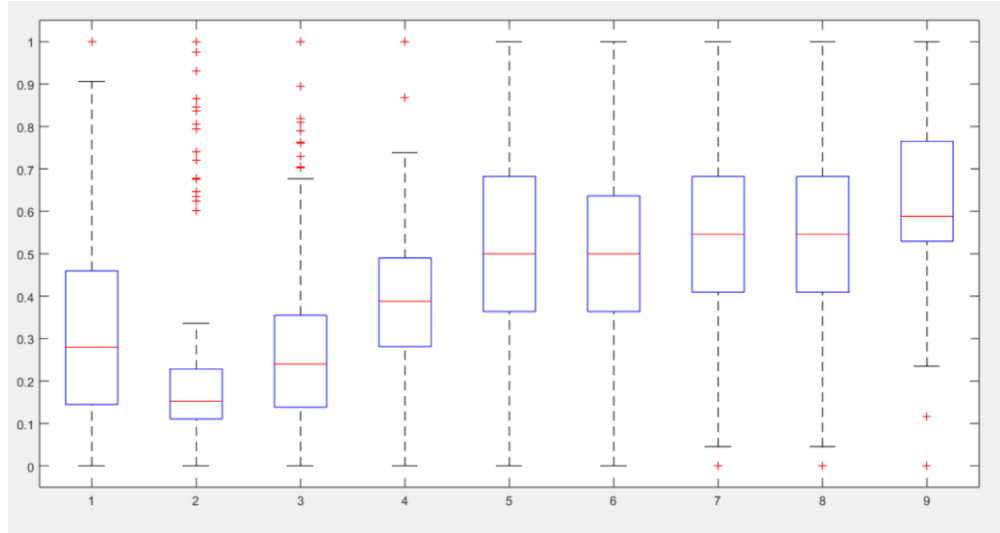
Çalışmada ele alınan değişkenler arasındaki korelasyon grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde yüksek korelasyonların varlığı dikkat çekmektedir.



Şekil 2. Korelasyon Grafiği

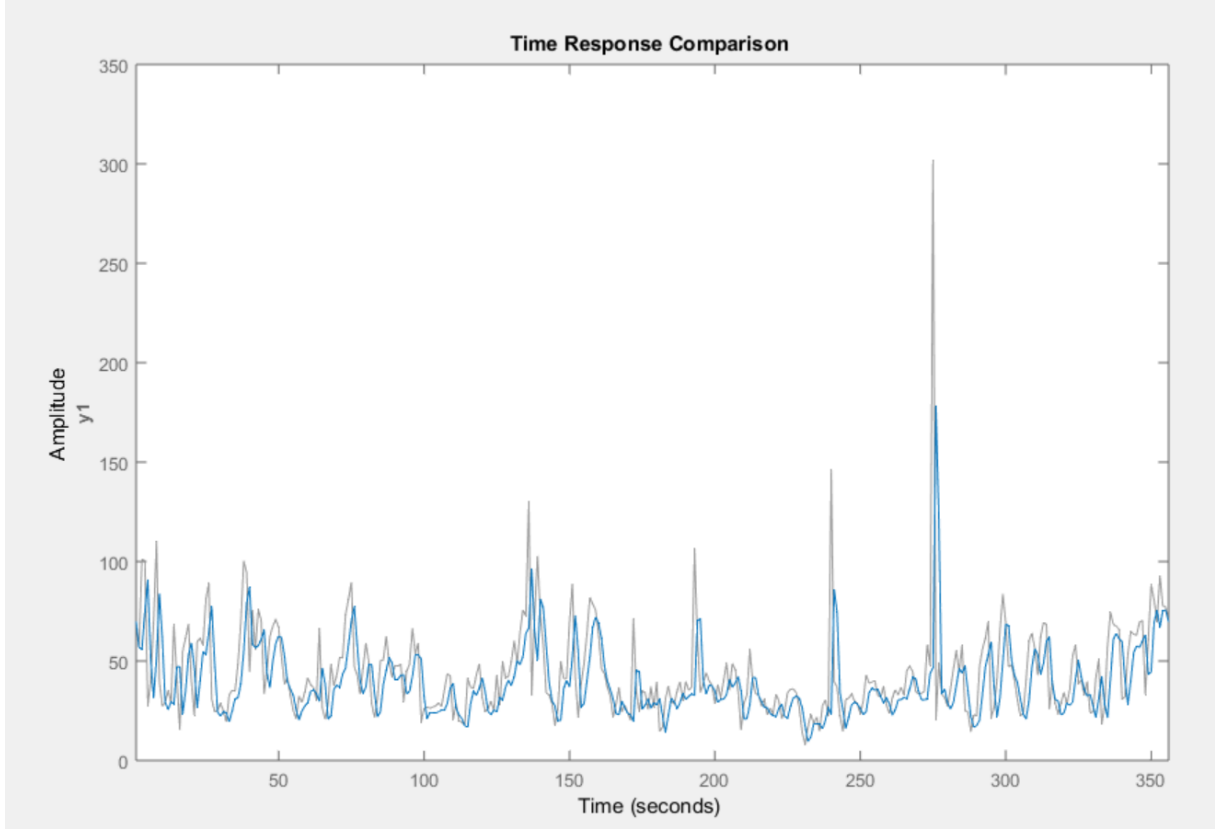
Çalışmanın devamında ele alınan değişkenlerin ölçü birimleri birbirinden farklı olduğu için normalizasyon yapılmıştır. Değişkenlerin ölçü birimlerindeki farklılık makine öğrenme yöntemlerinin performansını etkilemektedir. Bu nedenle tüm değişkenlerin 0-1 aralığına dönüşümünü sağlayan normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Normalizasyon yapılmış değişkenler için kutu bilyk grafikleri çizilmiş ve veri setinde aykırı değer olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Grafik 1'den görüleceği gibi sıcaklık ve basınç değişkenleri dışındaki tüm değişkenlerde aykırı gözlem değerleri mevcuttur.



Grafik 1. Değişkenlere ait Kutu Bilyk Grafikleri

Daha sonra PM10 zaman serisinin grafiği çizilmiş ve Grafik 2'de verilmiştir.



Grafik 2. PM10 Grafiği

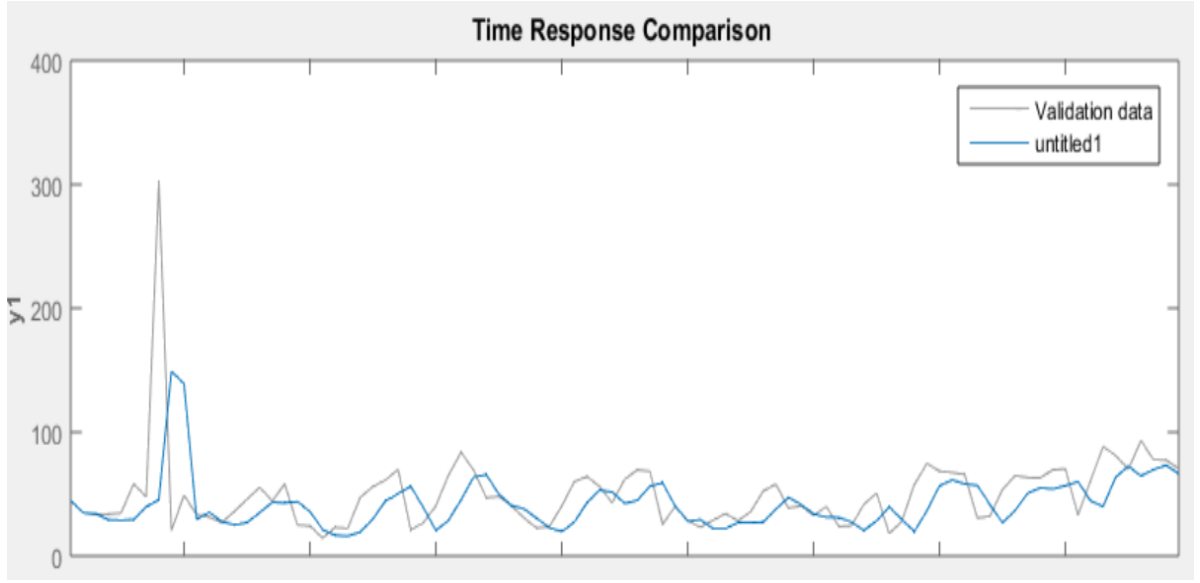
Çalışmanın devamında eğitim veri seti kullanılarak çeşitli çekirdek fonksiyonları yardımıyla DVR modelleri kurulmuştur. 4 farklı çekirdek fonksiyonu kullanılarak oluşturulan DVR modelleri, test verileri kullanılarak MSE ve MAE ölçütleri bakımından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** PM10 tahmini için model karşılaştırma sonuçları

Yöntem	MSE	MAE
DVR (Karesel)	1048,72	27,28536
DVR (Laplace)	892,15	24,90512
DVR (Huber)	854,37	23,22038
DVR (Vapnick)	839,17	23,28291

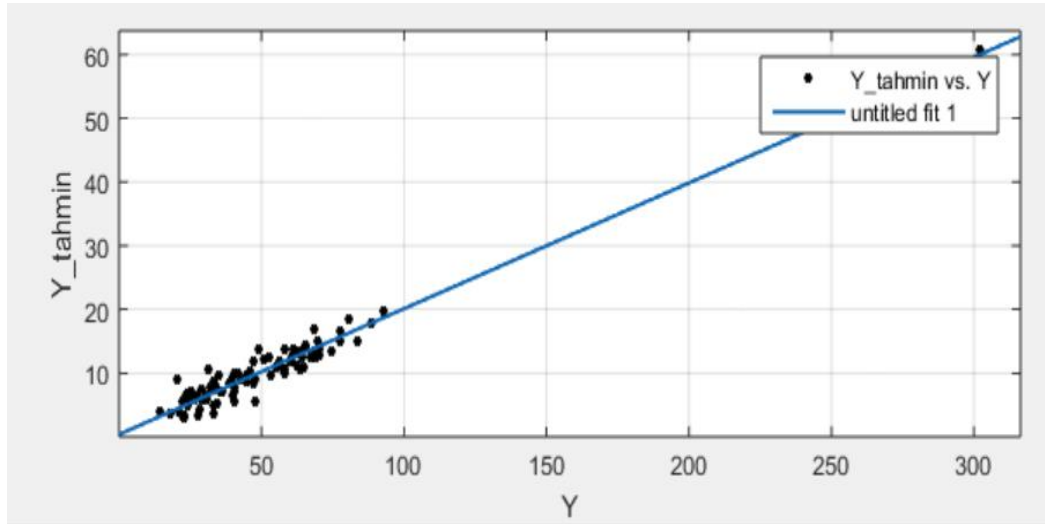
Tablo 1 incelendiğinde karesel çekirdek fonksiyonu kullanılarak oluşturulan DVR modelinin MSE ve MAE değeri, diğer tüm çekirdek fonksiyonlarındakinden büyüktür. Bunun nedeni karesel çekirdek fonksiyonunun aykırı değerlerden en fazla etkilenen fonksiyon olmasıdır. Grafik 1’de gösterildiği gibi birçok değişken içerisinde aykırı gözlemler mevcuttur. Bu durum DVR modelinin performansını düşürmüştür. Laplace çekirdek fonksiyonu kullanılarak oluşturulan DVR modeli için MSE ve MAE değerleri, aykırı değerlere daha dirençli olan Huber ve Vapnick çekirdek fonksiyonlarının MSE ve MAE değerinden büyüktür. Huber ve Vapnick çekirdek fonksiyonları için sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Ancak Vapnick çekirdek fonksiyonu hata terimlerinin sınırlı değer aralığı sebebiyle, Huber çekirdek fonksiyonundan daha etkin sonuç vermiştir. Bu nedenle Vapnick çekirdek fonksiyonuna dayalı DVR modelinin öngörü amaçlı kullanılması, diğer yöntemlere göre daha etkin sonuçlar elde edilmesine neden olacaktır. Vapnick çekirdek fonksiyonu

kullanılarak oluşturulan DVR modeli yardımıyla elde edilen öngörü değerleri ve gerçek gözlemler için zaman serileri çizilmiş ve Şekil 4’de verilmiştir.



Grafik 3. Test verisi ve öngörü değerlerine ait zaman serisi grafiği

Grafik 3 incelendiğinde zaman serisinin bir noktasındaki gözlemlerde bir sıçrama olduğu ve PM10 değerinin ani yükseldiği görülmektedir. Daha sonra öngörü değerleri ile gözlem değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla doğrusal regresyon modeli oluşturulmuş ve Grafik 4’te verilmiştir.



Grafik 4. Test verisi ve öngörü değerlerine ait zaman serisi grafiği

Grafik 4 incelendiğinde Vapnick çekirdek fonksiyonu kullanılarak oluşturulan DVR modeli PM10 tahmini için etkin sonuçlar vermektedir.

## Sonuç ve Öneriler

PM10 değeri sağlık açısından en önemli hava kirliliği parametresidir. Ancak bu kirleticinin değeri lokasyonlar arasında farklılık göstermektedir. Ülkemizde her şehirde hava kalitesi gözlem istasyonları şehir merkezlerinde belirli lokasyonlarda mevcuttur. Covid-19 gibi küresel bir salgının yayılım hızının hava kalitesinden oldukça etkilendiği belirlenmiştir. Bu nedenle hava kalitesinin takibi için çok daha fazla lokasyonda izleme istasyonunun yapılması gereklidir. Ancak gözlem istasyonlarının sayısının artırılması yüksek bir maliyetle karşılaşılmasına neden olmaktadır. Hava kalitesinin sürekli ve yerinde takibi, halk sağlığı için alınacak önlemlerin zamanında ve etkili olmasına fayda sağlayacaktır. Bu nedenle birçok ülkede son dönemlerde yapay zekaya dayalı sistemler geliştirilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada PM10 değerinin makine öğrenme yöntemlerinden olan ve yaygın kullanıma sahip DVR ile modellenmesi gerçekleştirilmiştir. DVR yönteminde farklı çekirdek fonksiyonları elde edilecek öngörüler üzerinde etkilidir. Zaman serisi yapısında olan PM10 değerlerinde aykırı değerlerin varlığı tespit edilmiştir. Bu durum karesel çekirdek fonksiyonunun tahmin yeteneğini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bağımsız değişkenler içerisinde de aykırı değerler mevcuttur. Hem bağımlı hem de bağımsız değişkenlerde bulunan bu aykırı gözlemler modellerin öngörü yeteneğini etkilemektedir. Ancak özellikle Vapnick ve Huber çekirdek fonksiyonları aykırı değerlere karşı dirençli fonksiyonlar olduğundan, bu modellere dayalı DVR'larının daha etkin sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Karşılaştırmalarda kullanılan MSE ve MAE değerleri incelendiğinde Vapnick çekirdek fonksiyonunun daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Partikül madde miktarları hava kalitesini düşüren ve canlı yaşamını tehdit eden kirleticilerdir. Ayrıca bu kirleticiler küresel iklim değişikliğinin hızını arttırmaktadır. Bu değerlerin çok fazla lokasyonda etkili ve hızlı ölçümü alınacak tedbirler üzerinde faydalı olacaktır. Maliyet azaltıcı, hızlı ve güvenilir sonuçlar veren yapay zekaya dayalı yaklaşımlar geliştirilerek bir çözüm sağlanabilir. Ankara ili için PM10 değerinin öngörüsü için Vapnick fonksiyonuna dayalı DVR kullanılması faydalı olacaktır. Diğer iller ve lokasyonlar için benzer çalışmalar gerçekleştirilebilir.



## KAYNAKÇA

- Alimissis, A., Philippopoulos, K., Tzani, C.G., & Deligiorgi, D. (2018) Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models. *Atmospheric Environment*, 191, 205-213.
- Bridgman, H.A., Davies, T.D., Jickells, T., Hunova, I. & Tovey, K. (2002) Air pollution in the Krusne Hory region, Czech Republic during the 1990. *Atmospheric Environment*, (36), 21, 3375–3389.
- Demirarslan, K. O. & Kaya, A. (2017) Kömür madenciliği kaynaklı hava kirliliği: partikül madde ve metan emisyonları üzerine literatür araştırması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 56(1), 23-31.
- Drucker, H., Burges, C.J.C, Kaufman, L., Smola, A.J., Vapnik, V.N. (1997). *Support vector regression machines*, *Advances in Neural Information Processing Systems 9*, M.C. Mozer, M.I. Jordan, T. Petsche (Eds.), MIT Press.
- Gunn, S.R. (1998). *Support vector machines for classification and regression*, Technical report, University of Southampton.
- Gültepe, Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 16*, 8-15.
- Hu, K. & Rahman, A. (2017). HazeEst: Machine Learning Based Metropolitan Air Pollution Estimation From Fixed and Mobile Sensors, *IEE Sensors*, 17(11), 3571-3525.
- Huang, C-J. and Kuo, P-H. (2018). A Deep CNN-LSTM Model for Particulate Matter (PM2.5) Forecasting in Smart Cities, *Sensors*, 18(7), 2-22.
- Jacobson, M.Z. (2005). *Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solution*. Cambridge University Press.
- Karacı, A. (2018). Akıllı Şehir Hava Takip Sistemi ve Astım Hastaları için PM2.5 Konsantrasyonu Ölçüm Aracının Geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6:3, 418 – 425.
- Kim K H, Kabir E. & Kabir S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136–143.
- Oğuz, K. & Pekin, MA. (2022). Makine Öğrenme Algoritmaları ile PM10 Konsantrasyon Tahmini, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, (8),2, 12-27.
- Özbey B.G., Geven F., Güney K., Bölükbaşı A. & Günday B. (2017). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin hava kalitesi analizi (Mayıs 2016-2017), *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 5(2), 50-64.
- Vapnik, V. (1998). *Statistical Learning Theory*. Wiley-Interscience, New York.
- Vapnik, V.N. (2000). *The Nature of Statistical Learning Theory* (Second edit), Springer.
- Vapnik, V.N. & Chervonenkis, A. (1964). On a Perceptron Class, *Avtomat Telemekh*, 25, 1, 112–120.
- Verma, S.S. & Desai, B. (2008). Effect of meteorological conditions on air pollution of Surat city, *Journal of International Environmental Application and Science*, 3, 5-18.
- WHO, (2020). [World Health Statistics \(who.int\)](http://www.who.int)
- Zhang, F. & O'Donnell, L. J. (2020). *Support vector regression*. In *Machine Learning*, Academic Press.

## Et Gevrekliğini Artırmaya Yönelik Yenilikçi Teknolojiler

Cemalettin SARIÇOBAN<sup>1</sup>  
Ziyare GÜN<sup>2</sup>

### Giriş

Dünya nüfusunun giderek artmasıyla birlikte gıda maddelerine olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Et ve et ürünleri ise insanların yeterli ve dengeli beslenebilmesi için gerekli olan temel besin maddelerini içermesi sebebiyle tüketici tarafından sıklıkla tercih edilmektedir. Et insan beslenmesi açısından yüksek biyolojik değere sahip protein, yağ, çeşitli mineraller, A ve B vitaminlerini ve endojen ve ekzojen amino asitleri bünyesinde bulundurmaktadır. Etin besleyici olmasıyla birlikte lezzetli ve doyurucu olması da tüketicinin et tüketimini artıran sebeplerdendir.

Tüketici eti satın alırken etin rengi, görünümü ve kokusu gibi özelliklere bakarak tercih yapmaktadır. Etin rengi, kokusu, pH'sı, lezzeti, tekstürü, sululuk ve yumuşaklığı gibi özellikler kalite kriterlerini oluşturmaktadır. Tüketici bu kalite faktörlerini bünyesinde bulunduran taze eti satın almayı tekrarlamaktadır. Bu kalite faktörlerinin raf ömrü boyunca korunması ve geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmış ve farklı yöntemler bulunmuştur. Etin gevrekliği kesim öncesi ve sonrası olmak üzere birçok faktöre bağlı olabilmektedir. Et gevrekliğini geliştirmek içinde enzimlerle yumuşatma, mekanik yöntemler, marinasyon gibi geleneksel yöntemler ve teknolojik yöntemler geliştirilmiştir.

Son dönemde tüketicilerin sağlık ve gıda arasındaki ilişki konusunda bilinçlenmeleri sebebiyle gıda alanında beklentiler artmış ve değişikliğe uğramıştır. Bu nedenle bilim insanları ette kalite kaybını en aza indirmek için ısı işlem içermeyen yüksek basınç uygulaması, elektriksel stimülasyon, yüksek voltajlı vurgulu elektrik alan, ultraviyole ışın uygulaması, ultrason ve hidrodinamik şok dalgaları gibi teknolojik yöntemler geliştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada günümüzde hala gelişmekte olan şok dalga uygulaması, ultrason ve yüksek basınç uygulamasının et gevrekleştirme üzerinde kullanımı incelenmiştir. Bu yöntemlerin uygulanma şekillerine ve et gevrekliği üzerine etkilerine değinilmiştir.

### Et gevrekliğini artırmak için ortaya çıkan yenilikçi teknolojiler

Et, temel besin maddelerimizden biridir (Kubberød ve ark., 2002a). Bir yemek kitabına bakıldığında, çoğu tarif et bileşenlerinden sonra adlandırılır ve et genel olarak yemeğin merkezi bir parçası olarak görülür (Horowitz, 2006). Et, çoğu insanın beslenmesinde önemli bir besin kaynağıdır. Esansiyel amino asitler de dahil olmak üzere yüksek miktarda protein, demir ve vitaminler gibi diğer faydalı besinleri içerir (NNF, 2004; Aaslyng, 2009).

Et kalitesi, tüketicinin mağazada gördüğü görsel özelliklerden ve tüketimle ortaya çıkan duyuşal özelliklerden oluşur. Etin yüzey rengi, tüketicilerin et ürününü satın alma isteğini etkilediği için en önemli görsel özelliktir. Tepsidedeki yağ içeriği ve su varlığı gibi diğer faktörler de tüketicilerin bir et ürünü satın alma kararını etkileyen görsel özelliklerdir. Yeme kalitesi için önemli olan duyuşal özellikler arasında lezzet, gevreklik, sululuk ve genel olarak kabul edilebilirlik bulunmuştur (Channon, Payne & Warner 2000; Warner & Ha, 2019).

---

<sup>1</sup> Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Orcid No: 0000-0001-9898-0884

<sup>2</sup> Selçuk Üniversitesi, Orcid No: 0000-0003-0713-4805

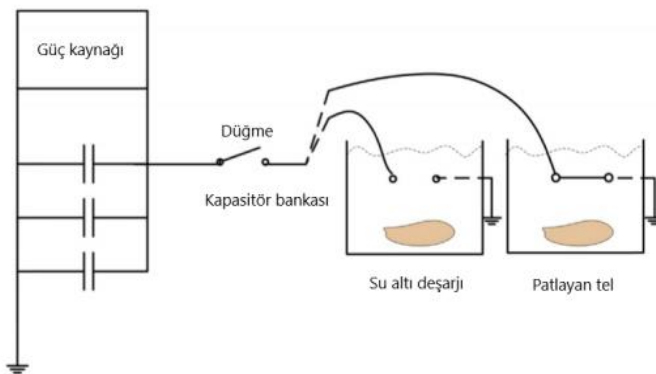
Taze etin tüketici tarafından kabul edilebilirliği için et gevrekliğini uzun zamandır en önemli kalite özelliği olarak kabul edilmektedir (Mennecke ve ark., 2007) ve tüketiciler, yumuşak et için daha fazla ödeme yapmaya isteklidir (Miller ve ark., 2001; Bolumar ve ark., 2016). Etin gevrekliği, tüketici memnuniyetini güçlü bir şekilde etkilemekte ve böylece tüketici satın almayı tekrar etmektedir (Grunert, Bredahl & Brunsø, 2004; Bolumar ve ark., 2016). Et gevrekliğinin temelde üç ana bileşene bağlı olduğu: (i) sarkomerin kasılma derecesi veya "sarkomer uzunluğu", (ii) yapısal miyofibriller proteinlerin bütünlüğünün bozulmasının derecesi (proteoliz) ve (iii) bağ dokusu içeriği / kompozisyonu olarak bildirilmiştir (Koochmaraie ve ark., 2002; Bolumar ve ark., 2016).

Etin gevrekliği, birçok farklı faktöre bağlı olabilir ve gevrekliğe ulaşmanın birçok yolu bilinmektedir (Aaslyng ve ark., 2004a; Aaslyng ve ark., 2009). Olgunlaşma, etin hassasiyetini artırmanın iyi bilinen bir yoludur. Olgunlaşma sırasında proteolitik enzimler proteinleri parçalamakta ve etin yapısını gevşetmektedirler. Bu, artmış bir Miyofibriller Parçalama İndeksi veya sitoskeletal protein desmin gibi spesifik proteinlerin artmış degradasyonu ile görülmüştür (Kristensen ve ark., 2003, 2006; Therkildsen ve ark., 2002a; Aaslyng ve ark., 2009). Olgunlaşmanın etkisi, olgunlaşma sırasındaki zaman ve sıcaklığa ve ayrıca büyüme hızı etteki proteolitik enzimlerin aktivitesini artırdığından, hayvanın kesime kadar olan büyüme hızına bağlı olduğu bildirilmiştir (Kristensen ve ark., 2006; Therkildsen, 1999; Therkildsen ve ark., 2002a, b; Aaslyng ve ark., 2009). Ayrıca kas içi yağ içeriği et gevrekliğinde önemli bir faktördür (Aaslyng ve ark., 2004b; Brewer, Zhu & McKeith, 2001; Fortin, Robertson & Tong, 2005; Aaslyng ve ark., 2009). Sığır etinde, bir 'kabul edilebilirlik derecesi', kabul edilebilir bir lezzet elde etmek için en az %3, orta bir lezzet elde etmek için en az %5, yüksek bir lezzet için en az %7'lik bir kas içi yağ içeriği gerekli olarak tanımlanmıştır (Savell ve ark., 1988; Aaslyng ve ark., 2009).

Et gevrekliği, eti tüketici tarafından tüketime hazırlamak için kullanılan üretim, işleme, değer katma ve pişirme yönteminin bir fonksiyonudur (Thompson, 2002; Bolumar, 2013).

### Şok dalgaları

Adından da anlaşılacağı gibi, hidrodinamik şok dalgaları (HSW), akışkan bir ortamda (tipik olarak su), ses hızını aşan bir hızla 1 GPa'ya kadar basınç dalgalarının üretilmesini içerir. Basınç dalgaları, piezoelektrik, elektromanyetik, elektro-termal veya yüksek enerjili patlayıcıların elektro-patlaması gibi çeşitli yöntemlerle oluşturulabilir. Dalgalar, sıvı ortamdan ve benzer sıkıştırılabilirlik özelliğine sahip tüm yiyecek nesnelere geçmektedir (Long, 2000; Warner & Ha, 2019). Etin yaklaşık %75'i sudan oluştuğundan, basınç dalgası etin üzerinden geçer ve akustik empedansların farklı olduğu noktalarda, bir enerji momentum transferi meydana gelir ve bu da kas yapısını yırtan mekanik stres yaratmaktadır. Bu, "yırtılma etkisi" olarak adlandırılabilir olayı meydana getirmiş ve bunun sonucunda et anında gevrekleşmiş ve etin hızlanan olgunlaşması da gözlemlenmiştir (Bolumar ve ark., 2013; Bolumar ve ark., 2016). Şekil 1'de Elektrohidrolik şok dalgası ekipmanının çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektrohidrolik şok dalgası ekipmanının çalışma prensibi (Bajovic, Bolumar & Heinz, 2012).

Et gevrekleştirmeye uygulanan şok dalga teknolojisi, mikrobiyolojik ve kimyasal ürün stabilitesi üzerinde hiçbir olumsuz etkisi olmayan, düşük maliyetli ve invazif olmayan bir tekniği temsil eder. Bununla birlikte, şok dalgası işleminden sonra ambalaj malzemesinde hasar, endüstriyel dirençli bir prototipte etkili şok dalgası teslimi ve et gevrekleştirilmesini sağlayan etkili parametreler, belirli et ve ilgili ekipman ayarları gibi kısıtlamaların araştırılması ve gerçekleştirilmesi gerektiğinden ticari uygulama mevcut değildir (Bolumar, 2013).

Şok dalga teknolojisi, yetmişli yılların başında eti gevrekleştirmek için alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmış, ancak sektördeki uygulama çok sınırlı kalmıştır. Gerçek şu ki, ABD'de geliştirilen ilk ve sonraki sistemler patlayıcı kullanımına dayanmaktaydı (Godfrey, 1970; Long, 1993; Solomon, Long, & Eastridge, 1997). Patlayıcıların kullanımı, gıda endüstrisinde gerekli olan çevresel koşullarla tutarlı görünmemiş ve operatörler için olası güvenlik endişeleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle et endüstrisine kolayca uyum sağlayamamıştır. Patlayıcılar tarafından şok dalgalarının üretilmesine bir alternatif, su altındaki elektrik boşalmalarıyla şok dalgalarının üretilmesidir (Long, 2000). Sualtında elektrik deşarjlarının kullanılması, patlayıcı kullanımından kaynaklanan sorunları ortadan kaldıracığı ve şok dalgası darbeleri arasında yüklemeyi boşaltmaya gerek kalmadan tekrarlanan sayıda şoklara izin vereceği, bu da uygulamayı otomasyon açısından daha uygun hale getireceği, işlemin uygulanma süresini azaltıp ve farklı elektrik yoğunluklarının ve / veya uygulama başına atım sayısının iletilmesiyle şok dalgası yoğunluğunun daha kolay modülasyonuna izin vereceği düşünülmüştür (Bolumar, 2013).

### Şok dalga işleminin tarihsel gelişimi

1970 yılında Godfrey, bir şok dalgası oluşturan ve buna hidrodinamik basınç işleme (HPP) adı verilen bir patlayıcı yük kullanarak et dahil yiyecekleri yumuşatmak için bir yöntem ve aparatın patentini almıştır. Daha sonra Long (1993, 1994), eksikliklerin üstesinden gelmek için teknolojiyi değiştirmiş ve bunu Hydrodyne® işlemi olarak adlandırmıştır. Hydrodyne® işlemi, etin gevrekliğinde önemli gelişmeler olduğunu gösteren Gıda Teknolojisi ve Güvenlik Laboratuvarı'ndan (Beltsville, MD, ABD) Profesör Morse Solomon tarafından kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Bununla birlikte, patlayıcıların yarattığı şok dalgaları, ekipman geliştirme, patlamadan kaynaklanan kalıntılarla potansiyel kirlenme ve operatörler için güvenlik sorunları açısından bazı önemli dezavantajlar ve teknik zorluklar taşımaktadır (Solomon ve ark., 2006; Solomon, Sharma & Patel, 2011).

2000 yılının başlarında, bir şok dalgasının bir kapasitör deşarj sistemi tarafından elektriksel olarak üretilebileceği yeni bir konsept tasarlanmıştır (Long, 2000). Daha sonra Long (2001a, b), Long & Ayers (2001) şok dalgası yansımali sürekli şok dalgalı gıda işleme ve akustik yakınsayan dalga kılavuzu ile şok dalgası gıda işleme için üç ek patent başvurusunda bulunmuşlardır. Bu kavramların entegrasyonu, Hydrodyne Incorporated tarafından Tender Class System (TCS) adı verilen ticari bir sistemin geliştirilmesine yol açmıştır (Claus, 2002). Long, Thomsen & Waits (2007), şok dalgasının bir diyafram yoluyla ete iletiildiği bir sistemi tanımlamışlardır. Bununla birlikte, elektrikle üretilen şok dalgalarının kullanılmasıyla etin gevrekleştirilmesiyle ilgili sınırlı literatür mevcuttur (Bowker ve ark., 2011; Claus, 2002; Claus, Sagili & Sammel, 2002; Claus ve ark., 2001b, Sagili & Claus, 2003) ve bu teknolojinin et endüstrisi tarafından benimsenmesi şimdiye kadar çok sınırlı olmuştur.

Cooper & Solomon (2000) ayrıca Kanada patenti 5,432,756'ya (Solomon ve ark., 2006) dayanan bir plazma kıvılcım cihazı kullanarak et gevrekleştirme çalışmaları yürütmüştür. Son zamanlarda Bowker ve ark. (2011), Schaefer (1998) tarafından hazırlanan kıvılcım kaynağı sistemine dayanan yüksek verimli kompakt bir kıvılcım kullanarak sığır etinin gevrekliğinde olumlu değişiklikler olduğunu göstermiştir. Genel olarak, bu teknolojiyle ilgili olarak dünya çapında yaklaşık 15-20 patent doldurulmuştur. Dönem boyunca (2008-2011) ve bir Alman araştırma projesi kapsamında, Alman Gıda Teknolojileri Enstitüsü'nde elektro-hidrolik su altı deşarjları ile et

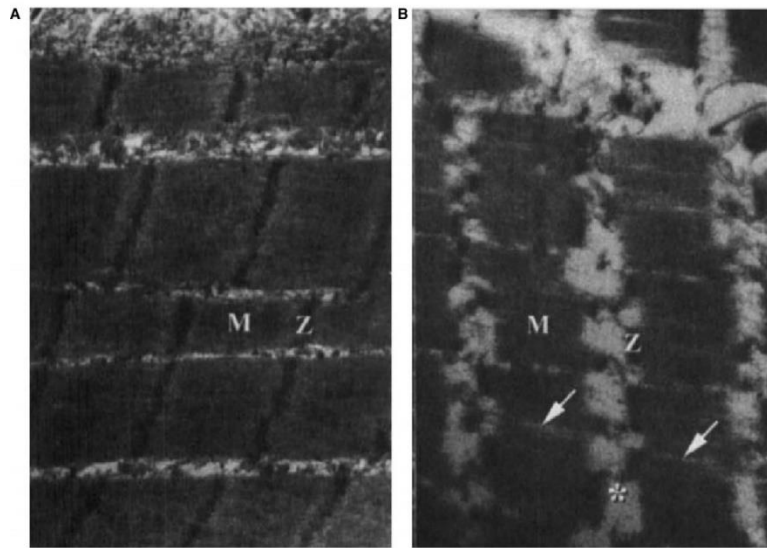
gevrekleştirme amaçlı şok dalgalarının üretilmesi için bir pilot tesis tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir (Heinz ve ark., 2011; Bolumar ve ark., 2013).

### Şok dalga işleminin gevreklik üzerine etkisi

Et gevrekliği, genel yeme deneyimi, tekrarlanan satın alma niyeti ve taze et ürünleri için ödeme yapma isteği ile oldukça ilgili duyusal bir özelliktir (Font-I-Furnols ve Guerrero, 2014; Lyford ve ark., 2010). 1500 sığır numunesi ve 1800 tüketici üzerinde çok değişkenli bir regresyon modeli, hassasiyetin genel lezzetliliğin %43.4'ünü oluşturduğunu göstermiştir (O'Quinn ve ark., 2018). Bu çalışma ayrıca, eğer gevreklikte kabul edilemez olarak derecelendirilirse, etin genel lezzetinin 7.2 kat daha fazla kabul edilemez olarak değerlendirildiğini göstermiştir. Bu nedenle, gevreklik kalitesinin ve tutarlılığının sağlanması et üreticileri, perakendeciler ve gıda hizmeti sağlayıcıları için önemli bir ilgi alanıdır. Tüketim noktasındaki gevreklik, hayvan genetiğinden etin pişirilmesine kadar birçok faktör tarafından belirlenir (Tornberg, 1996).

Hidrokinamik şok dalgası (HPP) işleminin, kimyasal ve mikrobiyal stabilite üzerinde hiçbir etkisi olmayan taze kesimlerde gevrekliği artırmak için etkili bir kesim sonrası teknik olduğu defalarca gösterilmiştir (Bowker ve ark., 2010; Claus ve ark., 2001a; Moeller ve ark., 1999; Solomon, Long, & Eastridge, 1997). Şok dalgası işleminin et gevrekleştirilmesi, farklı ses hızına ve akustik empedansa sahip malzemelerin sınır alanlarında enerji ve mekanik stresin yayılmasından kaynaklanmaktadır (Toepfl & Heinz, 2009). HPP şok dalgası, tüm bir et parçası ile gevreklikteki farklılığı da azaltabilmiştir (Spanier, Berry & Solomon, 2000; Bolumar ve ark., 2013).

Şok dalgalarının hassaslaştırıcı etkisi iki ana mekanizma ile açıklanabilmektedir: (i) kas yapısının fiziksel olarak bozulması (miyofibriller bileşen ve bağ dokusu) ve (ii) yapısal kas proteinlerinin artmış proteolizi olarak bildirilmiştir. Kas yapısındaki şok dalgasının neden olduğu mekanik stres, muhtemelen fiziksel bozulmayı açıklamaktadır. Transmisyon elektron mikroskobu kullanılarak yapılan mikroskobik incelemeler, Z çizgilerine bitişik bölgede miyofibriller parçalanmanın yanı sıra kırıkların her iki tarafında A bandına Z çizgilerinin ekli dağılımlarını göstermiştir. Ayrıca, miyofibril kafesinde uzunlamasına boşluklar veya bölünmeler ile miyofibriller arası boşlukların arttığı gözlemlenmiştir (Zuckerman & Solomon, 1998). Z-çizgisindeki pürüzlü kenarlar ve şok dalgası ile muamele edilmiş etteki ince filamentler de Claus (2002) tarafından tanımlanmıştır (Bolumar, 2017). Şekil 2'de Longissimus kasi (A) kontrol ve (B) şok dalgası ile muamele edilmiş örneklerin transmisyon elektron mikroskobik görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. Longissimus kasi (A) kontrol ve (B) şok dalgası ile muamele edilmiş örneklerin transmisyon elektron mikroskobik görüntüleri. Ölçek çubukları 0.5 mm'yi gösterir (Zuckerman & Solomon, 1998).

Et gevrekliği için şok dalgası üzerine yayınlanan araştırmaların çoğunda, basınç dalgalarını oluşturmak için patlayıcı infilak kullanılmıştır. Farklı patlayıcı yükleri (50, 75 veya 100 g) ve patlatma sayısı (1 veya 2) kullanan ilk çalışmaların bazıları, sığır eti *Longissimus* ve *Biceps femoris*'in gevrekliğinde önemli bir gelişme göstermiştir (Solomon, Long & Eastridge, 1997). Sığır eti örneklerinin gevrekliği, artan patlayıcı yüklerle azalmıştır. Bununla birlikte, 50 g patlayıcıyla iki yüke (56 N ve 78 N) maruz kalan sığır etinin Warner Bratzler kesme kuvvetinin, kontrol örneklerine kıyasla tek bir 100 g patlayıcı yükünden (52 N) önemli ölçüde farklı olmadığı görülmüştür. Böylece, ete uygulanan toplam basınç, tekrarlanan basınç uygulamasından daha etkili olmuştur. O zamandan beri çok sayıda başka çalışmada, farklı kaslar ve türler üzerinde benzer gevrekleşme (yumuşama) etkileri bildirilmiştir (Bowker ve ark., 2010; Callahan ve ark., 2006; Claus ve ark., 2001; Moeller ve ark., 1999; Marriott ve ark., 2001; Warner ve Ha, 2019).

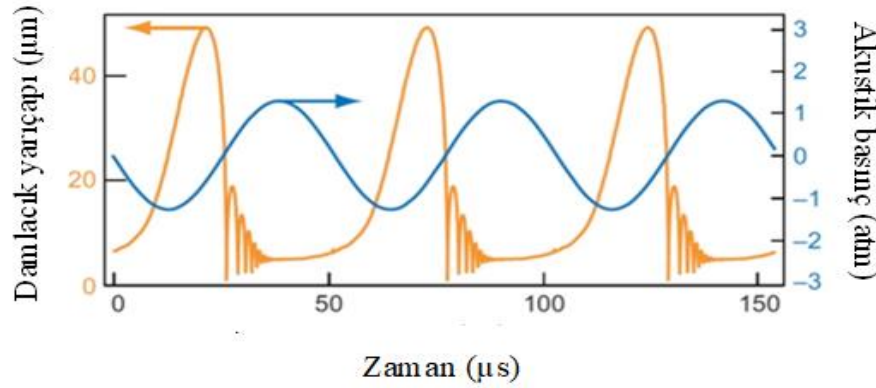
Şok dalgaları, eti anında gevrekleştirmekle kalmamış, aynı zamanda olgunlaşma sırasında gevrekleştirmeyi de hızlandırmıştır. Şok dalga ile muamele edilmiş sığır eti ve domuz *Longissimus* kası, eşdeğer bir süre için olgunlaştırılan kontrol numunelerine kıyasla, olgunlaştırma sonrasında Warner Bratzler kesme kuvvetine önemli ölçüde daha düşük değere sahip olduğu görülmüştür (Bowker ve ark., 2010; Bowker ve ark., 2008; Zuckerman ve ark., 2013), bu da şok dalgası ve olgunlaştırma işlemlerinin et gevrekliği üzerindeki sinerjik bir etkisini göstermektedir (Warner & Ha, 2019).

Şok dalgası muamelesi ile gevreklik iyileşmelerinin yaklaşık %25 veya daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Patlayıcı kullanımına dayanan Hydrodyne® Süreci, sığır eti ve domuz eti ve ayrıca kuzu eti gibi farklı etlerde %25 ila %70 arasında değişen gevreklik iyileştirme değerleri ile doksanlı yılların ortalarından beri kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Gevreklik gelişmelerindeki yüksek varyasyon, başlangıçtaki gevreklik, taze veya dondurulmuş / çözülmüş etin işlenmesi ve ölüm sonrası işlem süresi ve saklama süresi ve HPP işleminin spesifik koşulları ile ilgilidir (örneğin şok dalgası kabının konfigürasyonu, miktarı, yerleştirme ve patlayıcıların şekli ve patlamanın konumu) (Solomon ve ark., 2004; Solomon ve ark., 2008; Solomon ve ark., 2011). Ek olarak, beyaz etler veya kümes hayvanlarında genellikle gevreklik sorunları görülmesine de, gevrekliğin sorun olduğu belirli durumlarda bunlara HPP de uygulanmıştır. Bu anlamda, HPP ile muamele edilen hindi göğüs eti, kontrole kıyasla renk üzerinde hiçbir etkisi olmaksızın artmış tuzlu su emilimi, iyileştirilmiş işleme verimi ve dokusal özellikler göstermiştir (Bowker, Callahan & Solomon, 2010). Su altında elektriksel deşarj ile üretilen şok dalgasına ilişkin mevcut literatür çok daha sınırlıdır (Bowker ve ark., 2011; Claus, 2002; Claus, Sagili, & Sammel 2002, 2001b; Sagili & Claus, 2003). Elektriksel deşarjlarla üretilen şok dalgası kullanılarak elde edilen gevreklik iyileştirmeleri, sığır eti, domuz eti, hindi ve tavuk gibi farklı etler için %12 ila 29 arasında değişmiştir (Bolumar ve ark., 2013).

Şok dalga teknolojisi, mikrobiyolojik ve kimyasal stabilite (yani damlama kaybı, renk ve lezzet) üzerinde bilinen hiçbir olumsuz etkisi olmaksızın et yumuşatması için invazif olmayan bir müdahaleyi temsil eder (Bolumar & Toepfl, 2016; Claus, 2016). Ancak, etin vakumla paketlenmesini gerektiren şok dalgası sistemleri için ticari uygulama henüz mevcut değildir. Bu, yeniden paketlenme ihtiyacı nedeniyle endüstride uygulanmasını daha az elverişli hale getirmektedir. Bu alan, büyük olasılıkla büyük gıda paketlenme şirketleri ile işbirliği içinde daha fazla araştırma ve geliştirme gerektirecektir. Ayrıca, etin bir şok dalgası sistemine iletilmesi için ve ticari koşullar altında sürekli olarak çalışabilen verimli bir yolun geliştirilmesi henüz geliştirilmemiştir. Bolumar & Toepfl (2017), ekipmanın maliyeti, işletim maliyeti, bakım ve ekstra paketlenme dahil olmak üzere teknolojinin tam bir maliyet analizini rapor ettiler ve şok dalga teknolojisinin mevcut teknolojik gelişmesiyle, yalnızca kalite / gevrekliğin olduğu uygulamalar için iyileştirme 0.3 V / kg etten daha fazla faydaya yol açacak, teknolojiyi karlı hale getirecektir. Şok dalga teknolojisi, verimi artırmak ve özellikle hasar görmüş paketlerin miktarını en aza indirmek için ekipman ile paketlenmiş ürün arasında daha iyi bir etkileşime sahip olmak için daha da geliştirilebilir (Bolumar, 2017).

## Ultrason

Ultrason, gıda maddelerinin hem analizinde hem de modifikasyonunda uygulamaları olan yenilikçi bir teknolojidir ve insan kulağı tarafından algılanabilenlerden (20 kHz) daha yüksek ses dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Ses bir ortamın içinden geçtiğinde, ortamdaki parçacıkların sıkıştırılması ve seyrelmesi dalgaları oluşturur (Povey & Mason, 1998) ve bunun sonucunda boşluklar ve / veya kabarcıklar oluşmaktadır. Bu boşluklar, sonraki ultrason döngüleri ile büyür ve sonunda kararsız hale gelir ve yüksek sıcaklıklar ve basınçlar açığa çıkararak çöker. Bu çökme biyolojik bir materyalin içindeyse, ultrason bu biyolojik materyalleri ve dokuları mikro ve makro ölçekte etkileyebilir. Gıda işleme durumunda, artan gıda kalitesi ve güvenliğini teşvik etmek için uygulanabileceklerinden etkiler genel olarak olumlu bulunmuştur (Alarkon Rojo ve ark., 2015). Şekil 3'te ultrason uygulaması ile kararlı bir durumda kabarcıkların oluşumu ve çökmesi gösterilmiştir.



Şekil 3. Kararlı durumda kabarcıkların oluşumu ve çökmesi (Suslick ve ark., 2008).

Ultrason, büyük ölçüde frekans temelinde ayırt edilebilmektedir. Düşük frekanslı ultrason (20 kHz'den yaklaşık 100 kHz'ye kadar) bir işleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Çünkü yeterince yüksek yoğunlukta yapıları bozabilir, kristalleşmeyi ve kütle transferini hızlandırabilir ve kararlı ve geçici kaviteasyon yoluyla kimyasal reaksiyonları (Mason, Paniwnyk & Lorimer, 1996) değiştirerek kavite çökmesi üzerinde yüksek kesme ve basınç oluşturma, mikrojet oluşumu, serbest radikal oluşumu ve mikro akım gibi etkilere neden olabilmektedir (Lamminen, Walker & Weavers, 2004; Leighton, 1998). Yüksek frekanslı ultrason (1 MHz üzeri), malzeme analizi (Kundu, 2004), tıbbi görüntüleme (Wells, 1999), hayvanlarda yağ kalınlığı değerlendirmesi (Fisher, 1997) ve gıda süreci izlenmesi için tahribatsız bir sensör olarak kullanılmaktadır (Coupland, 2004). Kaviteasyona neden olmak için gereken ultrason yoğunluğu, yaklaşık 100 kHz'in üzerinde belirgin bir şekilde artmaktadır (Williams, 1983) ve bu nedenle, sensörler için kullanılan frekanslarda kaviteasyon olasılığının düşük olduğu bildirilmiştir. Bir sensör olarak kullanıldığında, ultrason, çalışma modu (örneğin, sürekli çalışma yerine ultrason darbelerinin kullanılması), frekans ve ultrason yoğunluğunu en aza indirerek hasar verici değişikliklerini azaltmış veya önlemiştir (Jayasooriya ve ark., 2007).

Yüksek frekanslı ultrasonunun et işlemedeki etkisi, nadiren ette herhangi bir olumsuz etkiye sahip olmakla ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, bazı etkiler arasında su bağlama kapasitesindeki olumsuz değişiklikler (Siró ve ark., 2009), renk kararlılığı (Stadnik, 2009), sululuk, duyu özellikler ve et veriminde (Barbieri & Rivaldi, 2008) yer almaktadır. Bu değişikliklerin et proteinlerindeki fiziksel ve kimyasal değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir (McDonnell ve ark., 2014), ancak bu henüz doğrulanmamıştır. Akustik enerji absorbe edilebilir ve kaviteasyon nedeniyle yüksek sıcaklıklara neden olarak yiyeceğin termal hasarına yol açabilir (Reza Kasaai, 2013) ve bazı çalışmalar termosonikasyonun dış hücre zarında büyük fiziksel hasara neden olabileceğini de göstermiştir (Mañas & Pagán, 2005; Alarkon Rojo ve ark., 2015).

Düşük kaliteli eti daha lezzetli hale getirmek için kullanılan geleneksel gevrekleştirme yöntemleri arasında mekanik, enzimatik ve kimyasal yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu alandaki ilk yayınlardan birinde ısı ve ultrason kullanarak et sterilizasyonu üzerine yapılan araştırmada, yumuşatmanın bu sterilizasyon işleminin yararlı bir yan etkisi olduğu görülmüştür (Pagan ve ark., 1999), ancak yazarlar uygulanan ultrasonun yoğunluğunu ve sıklığını bildirmemişlerdir (Alarkon Rojo ve ark., 2015).

### Ultrason işleminin gevreklik üzerine etkisi

Etin kabul edilebilirliğini belirlemede gevrekliğin önemi ve gevreklikte tutarlı ve hızlı iyileştirmeler sağlayan işlemlere duyulan ihtiyaç, diğer işlemlerin değerlendirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Bir seçenek, yüksek kesme, basınç ve sıcaklık ve serbest radikal oluşumu gibi kavitasyonla ilgili mekanizmalar yoluyla malzemelerin fiziksel olarak bozulmasına neden olabilen ultrason kullanımınıdır. Ultrasonun kavitasyona neden olma yeteneğinin, ultrason özelliklerine (ör. Frekans, yoğunluk), ürün özelliklerine (ör. viskozite, yüzey gerilimi) ve ortam koşullarına (ör. sıcaklık, basınç) bağlı olduğu bildirilmiştir (Williams, 1983).

Birkaç bilim insanı et gevrekleştirmede düşük frekanslı ultrason kullanımını araştırırken (Jayasooriya ve ark., 2004), bulgular karıştırılmıştır. Bazı çalışmalarda, düşük frekanslı ultrason (22-40 kHz) muamelesi ile artan hassasiyet (Dickens, Lyon & Wilson, 1991; Dolatowski, 1988; Dolatowski, 1989) veya kısa ultrason uygulamalarıyla artan hassasiyet (25.9 kHz; 4 dakikaya kadar), ancak daha uzun uygulama sürelerinde (8-16 dakika) azalan gevreklik saptanmıştır (Smith ve ark., 1991). Diğer çalışmalar ultrasonun et örneklerini yumuşatmadığını göstermiştir. Bunun nedeni, nispeten düşük yoğunluklu ultrason banyolarının ( $0.29-1.55\text{W}/\text{cm}^2$ ) (Lyng, Allen, & McKenna, 1997; Pohlman ve ark., 1997b) veya yüksek yoğunluklu ultrasonun ( $62\text{ W}/\text{cm}^2$ ) kullanılması olabilir, kısa işlem süreleri (15 s) için (Lyng ve ark., 1998a; Lyng ve ark., 1998b) et numunesinin ayrı bölgelerine uygulanır, bu da bir gevrekleştirme etkisi yaratmak için yetersiz kalabilmiştir. Ultrasonla (20 kHz) işlenmiş ve ardından konveksiyonlu fırında pişirilmiş çiğ etin (Pohlman, Dikeman & Kropf, 1997a; Pohlman ve ark., 1997c), aynı gevrekliğe sahip olduğu veya ultrason muamelesi olmadan pişirilen, kaynar suda pişirilen veya ultrason enerjisi kullanılarak pişirilen et konveksiyonundan daha az gevrek olduğu görülmüştür. Yaş (kaynatma ve ultrasonla pişirme) ve kuru (konveksiyon) pişirme teknikleri ve pişirme süresi arasındaki pişirme kayıplarındaki farklılıklar bu sonuçlardan sorumlu olabilir (Jayasooriya ve ark., 2006).

Yüksek frekanslı ultrasonun et dokusu üzerindeki etkisine ilişkin bir çalışma bildirilmiştir. Bu çalışmada pre- ve post-rigor et, yüksek frekanslı, yüksek yoğunluklu ultrason ( $2.6\text{ MHz}$ ,  $10\text{ W}/\text{cm}^2$ ) ile muamele edilmiştir (Got ve ark., 1999). Titreşim öncesi ve sonrası ultrason muamelelerinin çiğ et dokusu üzerinde küçük etkileri olmuştur; ultrasonla muamele edilmiş et, üç ila altı gün olgunlaştıktan sonra biraz daha yumuşak çiğ et yapısına sahip olduğu görülmüştür. Kontrol ve ultrasonla muamele edilmiş numune dokusu arasındaki fark, 14 günlük olgunlaştırma sonrasında kaybolmuştur. Et gevrekleştirme teknikleri için devam eden talep ve önceki çalışmalardaki tutarsız sonuçlar, etin gevrekleştirilmesi için ultrasonun uygulanabilirliğini açıklığa kavuşturmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu anlamına gelmektedir.

Jayasooriya ve ark. (2006)'nin yaptığı çalışmada ölümden 24 saat sonra elektrikle uyarılan dokuz karkasın her iki tarafından striploin (*Longissimus lumborum et thoracis*) ve göz çevresi (*Semitendinosus*) kaslarının çıkarılmasıyla bir mezbahadan (IMTP Processing Ltd., Cannon Hill, Queensland) örnekler alınmıştır. Karkaslar, elektriksel olarak uyarılmış ve  $2\text{ }^\circ\text{C}$  hava ile yaklaşık 9 saat boyunca  $7\text{ }^\circ\text{C}$  yüzey sıcaklığına kadar soğutulmuş, ardından yaklaşık 12 saat boyunca  $10\text{ }^\circ\text{C}$ 'de hava ile soğutulmuş 3 ila 4 yaşındaki kısırlaştırılmış boğalardı. Et Queensland Üniversitesine nakledilmiş ve numune hazırlama sırasında  $5\text{ }^\circ\text{C}$ 'de saklanmıştır. Her kası çevreleyen bağ dokusunun bariz tam veya kısmi kılıfı olan epimysium, keskin bir bıçakla mümkün olduğunca minimum yapışık kasla dikkatlice çıkarılmıştır. Her bir kas, uzun eksen fiber yönüne paralel olacak



şekilde yaklaşık 50 g'lık bloklar halinde (sırasıyla 40, 60 ve 20 mm, uzunluk, genişlik ve yükseklik) kesilmiştir. Her bir kastan toplam 25 örnek kesilmiştir. Tüm ayrı numunelerin pH'ı, rengi ve ağırlıkları ultrason muamelesinden önce kaydedilmiştir. Bireysel numuneler, vakumla paketlenmiş çok tabakalı polietilen ve naylon torbalar (FoodSaver Rolls, Tilia International, San Francisco, CA, ABD) idi ve ultrasonik uygulama için kullanılabilecek kadar 5 °C'de saklanmışlardır.

Numunelerin her biri rastgele olarak ultrason uygulaması ve olgunlaştırma uygulamalarına ayrılmıştır. Ultrason uygulaması, 24 kHz çalışma frekansı, 12–600 W /cm<sup>2</sup> güç yoğunluğu ve sonotroda bağlı olarak 12–260 lm aralığında genliğe sahip bir UP400S (Dr. Hielscher GmbH, Teltow, Almanya) ile yapıldı. Kullanılan sonotrot (H 40, ışın çapı 40 mm) 12 W / cm<sup>2</sup>lik bir güç yoğunluğu vermiştir. Vakumla paketlenmiş numune, sonotrotun altına yerleştirilmiş ve farklı süreler boyunca (0, 30 60, 120 ve 240 saniye) ultrasona maruz bırakılmıştır. Deneylerde ultrason sondası ve et sarma yüzeyi arasında hiçbir bağlama maddesi kullanılmamıştır. Ultrason işlem süresi iki kısma bölündü, et bloğunun bir tarafına toplam işlem süresinin yarısı kadar muamele edilmiş, daha sonra numune ters çevrilmiş ve karşı taraf toplam işlem süresinin yarısı kadar muamele edilmiştir. Ultrason uygulaması oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve ultrason uygulamasının uzunluğuna bağlı olarak et sıcaklığında 15–30 °C'lik bir artışla sonuçlanmıştır. Ultrason muamelesinden sonra, numuneler farklı süreler için (0, 1, 3, 5 ve 8.5 gün) 5 °C'de olgunlaştırılmıştır. Olgunlaştırıldıktan sonra numuneler vakumlu ambalajlardan çıkarılmış, kâğıt havlu ile kurutulmuş ve numune ağırlığı, pH ve rengi, pişirme için plastik poşetlere geri gönderilmeden önce kaydedilmiştir. Torbalı numuneler 45 dakika 70 °C'de bir su banyosuna yerleştirilmiş, daha sonra akan musluk suyu altında (yaklaşık 25 °C) 30 dakika soğutulmuş ve gece boyunca 5 °C'de tutulmuştur. Ertesi gün pişirilmiş ve soğutulmuş numuneler plastik kuru poşetlere paketlenmiş ve tartılmıştır. Pişirilen numunelerin dokusu, Warner Bratzler kesme (WBS) ve sıkıştırma yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma, kullanılan ultrason koşullarının kombinasyonunun etin WBS kuvvetini ve sertliğini azaltmada etkili olduğunu ve etten sızıntıyı, pişirmeyi veya toplam kaybı artırmadığını göstermiştir. Ultrason muamelesi, etin WBS kuvvetini ve sertliğini işlenmemiş örneklerle kıyasla önemli ölçüde azaltmış; 60 saniyelik ultrason işleminden sonra elde edilen seviyeler, üç ila beş günlük et ile karşılaştırılabilir. Ultrason muamelesinden elde edilen fayda, olgunlaşma süresinin artmasıyla azalmış, WBS kuvveti veya 8.5 gün olgunlaştırıldıktan sonra ultrasonla muamele edilmiş ette görülen sertlik azalmış veya hiç azalmamıştır. En gevrek et 240 sn uygulanan ultrason işlemiyle üretilmiş, ancak ultrasonik enerjinin bir miktar ısı olarak yayılmasının neden olduğu numune içindeki sıcaklık yükselmesi nedeniyle ultrason işleminin uzunluğu sınırlı olmuştur. Ultrasonun et dokusu üzerindeki etkisinin, görünüşe göre büyük ölçüde kavitasyon etkilerinden kaynaklandığı bildirilmiştir, çünkü numuneler ultrason işleminden hemen sonra, artan sıcaklığın dokuyu etkilemesi için sınırlı bir süre vererek (örneğin, artan proteoliz hızı) soğutulmuştur. Gevreklikteki iyileşme, sızıntı, pişirme veya toplam kayıplar ve renk üzerinde zararlı etkiler olmaksızın başarılıdır. Bu çalışma, ultrasonun eti hızlı bir şekilde yumuşatma yeteneğini ve yüksek güçlü ultrason jeneratörlerinin (15 kW'ın üzerinde sağlayan tek üniteler) mevcudiyetini, büyük ölçekli gevrekleştirmenin pratik olabileceği anlamına geldiğini göstermiştir.

### **Darbeli Elektrik Alanı (PEF)**

PEF işlemi, iki elektrot arasına yerleştirilen yiyeceklere kısa süreli yüksek voltaj darbelerinin uygulanmasıdır. Genel olarak PEF, biyolojik hücreleri etkilemekte ve spesifik yapısal modifikasyonlara ve hücre zarı bozulmasına neden olmaktadır (Barba ve ark., 2015). Hücre tipine bağlı olarak yaklaşık 1-10 (kV / cm) alan eşik değeri vardır, aşıldığında, elektro-sıkıştırma kuvveti membranın lokal dielektrik parçalanmasına neden olarak bir gözenek oluşumuna neden olur, daha sonra iletken bir kanal olarak çalışabilir (Kumar, Kumar Patel & Kumar, 2015; Oziemblowski & Kopeć, 2005; Puértolas, Koubaa & Barba, 2016). Daha spesifik olarak, yüksek elektrik alan darbeleri nedeniyle, hücre zarları ya mevcut gözeneklerin genişlemesi ile ya da çalışma koşullarına bağlı olarak kalıcı ya da geçici olabilen yeni gözenekler oluşturarak gözenekler geliştirir ve zar geçirgenliğinin artmasına neden olur (Chauhan ve Unni, 2015). Önerilen başka bir elektroporasyon

modeli, hücre zarının geçirgenliğinde bir artışı teşvik eden, yeterli güçte harici bir uygulanan elektrik alanından oluşur. Bu artış, zarın lipid çift tabakasında sulu yolların, yani gözeneklerin oluşumu ile ilişkilidir (Mahnič-Kalamiza, Vorobiev & Miklavčič, 2014; Gomez ve ark., 2019).

Et kalitesini artırmak için darbeli elektrik alanı (PEF) işleminin uygulanması, et bilimi araştırmalarında büyük ilgi toplamıştır (Bhat ve ark., 2018a; Gómez ve ark., 2019). PEF, hücre elektroporasyonunu indüklemek için kısa yüksek voltaj darbeleri kullanan yeni bir termal olmayan gıda işleme tekniğidir ve bu, et yumuşatmayı iyileştirme potansiyeline sahip geri dönüşü olmayan yapı değişikliklerine neden olabilir (Bekhit, 2017; Bekhit & Carne, 2014; Bekhit & van de Ven, 2014). PEF tarafından indüklenen kas liflerindeki değişikliğin, sığır etinde su tutma kapasitesi ve renk gibi kalite özelliklerini etkilediği bildirilmiştir (Suwandy ve ark., 2015b). Şu anda, PEF muamelesinin et gevrekleştirilmesi üzerindeki etkilerine dair genel fikir birliği çelişkilidir (Mungure ve ark., 2020).

Bu tekniğin kavramları yaklaşık 50 yıl önce gıda endüstrisine tanıtılmış olsa da, PEF, endüstriyel uygulamalarındaki son gelişmeler nedeniyle hala gelişmekte olan bir teknoloji olarak kabul edilebilir. PEF'in gıda ürünleri için uygulanabilirliği literatürde iyi açıklanmıştır (Barba ve ark., 2017; Gabric ve ark., 2018; Misra ve ark., 2017; Soliva-Fortuny ve ark., 2009), aslında büyük besin ve duyu kaliteye ve raf ömrüne sahip gıdalar üretme kapasitesine sahip yeni bir koruma yöntemi olarak bildirilmiştir (Barba ve ark., 2017; Horita ve ark., 2018; Kumar, Kumar Patel & Kumar, 2015; Gomez ve ark., 2019).

PEF'in proses parametreleri, istenen uygulamaya bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Ek olarak, hammaddelerin çeşitliliği ve PEF ekipmanının mevcudiyeti, PEF işlem koşullarını etkileyebilir. Aynı şekilde, farklı darbe özelliklerine sahip PEF üretimi için çeşitli yollar bulunmaktadır. Kumar, Kumar Patel & Kumar, (2015), bir PEF uygulamasında üstel darbeler, kare dalga, iki kutuplu ve salınımlı darbeler dahil olmak üzere farklı voltaj dalga biçimlerinin uygulanabileceğini açıklamıştır. Ek olarak, muamele odalarının tasarımı, sonuçların karşılaştırılabilirliği açısından muhtemelen en önemli unsurdur. Bölmenin şekli, elektrik alan dağılımı ve toplam direnç ve ayrıca deşarj devresi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Muamele odasının yanı sıra yüksek yoğunluklu PEF, bir güç kaynağı, bir anahtar, bir kapasitör tankı, sıcaklık sensörleri ve aseptik paketleme ekipmanı gibi bir dizi bileşeni içermektedir (Kumar, Kumar Patel & Kumar, 2015; Gomez ve ark., 2019).

### **Darbeli elektrik alanı (PEF) işleminin gevreklik üzerine etkisi**

Darbeli elektrik alanı (PEF) işleminin uygulanması etin yapısını ve dokusunu etkileyebilir ve bu nedenle fonksiyonel özelliklerini geliştirebilir (Toepfl, Heinz & Knorr, 2007). Sığır eti örneklerine uygulanan elektrik alan kuvvetlerinin 1.1 ile 10.0 kV/ cm<sup>-1</sup> arasında değiştiği bildirilmiştir (Bekhit ve ark., 2014; O'Dowd ve ark., 2013; Suwandy ve ark., 2015). PEF işleminin sığır kaslarında kesme kuvvetini azalttığı bildirilmiştir (Bekhit ve ark., 2014). Arroyo ve ark. (2014) ayrıca PEF uygulamasının sığır *Longissimus lumborum* (LL) kasının duyu dokusunu ve koku niteliklerini iyileştirebileceğini bildirmiştir. Ek olarak, lipid oksidasyonunun, sığır etinin PEF işlenmesi ile arttığı (Faridnia ve ark., 2015), koku beğenisini olumsuz yönde etkileyebilecek oksitlenmiş koku / lezzet özelliklerine neden olabileceği bildirilmiştir. PEF'in farklı et kaslarının kalitesi üzerindeki etkileri değişiklik göstermiştir. Sığır LL kasları, artan PEF muamele sıklığıyla daha sert yapıya dönüşmüştür. Bununla birlikte, sığır *semimembranosus* (SM) kasının PEF muamelesi, kesme kuvvetinde %21.6'ya kadar azalma ile sonuçlanmıştır (Suwandy ve ark., 2015; Kantono ve ark., 2019).

Kantono ve ark. (2019)'nin çalışmasında, sığır eti örnekleri iki muamele grubuna ayrılmıştır. Bunlardan biri PEF işlemine tabi tutulmuş ve diğeri "kontrol" numunesi olarak tutulmuştur. Hem kontrol hem de PEF numuneleri için kaslar, et numuneleri ile eti kesmek için elektrotlar arasında doğrudan teması sağlamak için kullanılan PEF haznesi ile aynı boyutta (6 cm x 4 cm x 6 cm) özel bir kesme kalıbı kullanılarak kesilmiştir. Lif yönü, elektrik akımına dik olacak şekilde düzenlenmiştir.

Et numunesi daha sonra PEF bölmesinde doğrudan temas sağlamak için dikkatlice 2 elektrot arasına yerleştirilmiştir. Sığır eti örnekleri, bir parti modu konfigürasyonu kullanılarak bir pilot tesis ölçekli PEF sisteminde işlenmiştir. Elektrik alan kuvveti 0.8–1.1 kV / cm, darbe genişliği 20 µs, frekans 50 Hz olarak hedeflenmiş, bu da et örneklerinin fazla pişirilmemesini sağlayan kararlı ve etkili bir elektrik alanı sağlamıştır. Nabız şekli (kare dalga bipolar), PEF işlemi sırasında bir osiloskopa çevrimiçi olarak izlenmiştir (Faridnia ve ark., 2015). Tüm PEF koşulları ve işleme parametreleri, numunelerin sıcaklığını ve iletkenliğini etkileyebilir. Tüm numunelerin sıcaklığı (°C) ve elektriksel iletkenliği ( $\sigma$ ) PEF işlemlerinden önce ve sonra ölçülmüştür. Sığır eti örneklerinin başlangıç sıcaklığı, bir sıcaklık kaydedici kullanılarak 4 °C'de tutulmuştur. Sığır eti örneklerinin elektriksel iletkenliği, elde tutulan bir et iletkenlik ölçer ile belirlenmiştir. Tüm ölçümler için, problemler doğrudan üç farklı pozisyonda et örneklerine yerleştirilmiştir. PEF işleminden sonra numuneler (70 ± 5 g) poliamid polietilen torbalarda ayrı ayrı vakumla paketlenmiştir. Taze örnekler için, yarısı hemen -20 °C'de (0 günlük örnekler) ve diğer yarısı 4 °C'de 7 gün, ardından -20 °C'de saklanmıştır (7 gün saklanan örnekler). Bu çalışmada, PEF işleminin sığır etinin rengi, lipid oksidasyonu ve yağ asidi bileşimi üzerindeki etkilerini ve ayrıca pişmiş etin duyu özellikleri ve başlangıçtaki gevrekliğini değerlendirilmiştir. PEF işleme, işlenmiş sığır etinin renk kalitesini ve gevrekliğini iyileştirmiştir.

### Yüksek Basıncılı İşleme (HPP)

Yüksek hidrostatik basınç olarak da adlandırılan yüksek basınçlı işleme (HPP), bir paket içinde halihazırda mühürlenmiş bir ürüne bir sıvı verici aracılığıyla 100-800 MPa'da izostatik basıncın uygulanmasını içerir (IFT & USDA, 2014; Simonin, Durantion & de Lamballerie, 2012). Basıncılı işlem sırasında proses sıcaklığı 0 °C'nin altından 100 °C'nin üzerine kadar belirlenebilir ve HPP'ye maruz kalma süreleri bir milisaniye darbeden 20 dakikaya kadar değişebilmektedir (IFT & USDA, 2014). Et gevrekliğini artırmak için HPP uygulaması ilk olarak birkaç on yıl önce gösterilmiştir (Bouton ve ark., 1977a, 1977b; Macfarlane, 1973) ve sertlik öncesi veya sonrası kas / ete uygulanabilmektedir (Warner ve Ha, 2019).

İhale talep eden ilk patent McKenna (2009) tarafından yapılmıştır, ancak HPP uygulamasına yanıt olarak etin başarılı şekilde gevrekleştirilmesiyle ilgili ilk makale 1973'tedir (Macfarlane, 1973). HPP'nin ete uygulanmasının doku / hassasiyet üzerindeki etkisi, uygulanan basınca, uygulama sırasındaki sıcaklığa, uygulama süresine, kas ve ölüm sonrası zamana bağlıdır ve sonuçta sertleşmeden belirgin yumuşamaya kadar değişen sonuçlar göstermektedir. Daha da önemlisi, yüksek basınç uygulaması sırasında, 100 MPa başına 3 °C'ye eşdeğer adyabatik ısıtma meydana gelmektedir (USDA, 2014; Warner ve Ha, 2019).

HPP'nin proteinlerin hem yapısını hem de işlevini etkilediği anlaşılmaktadır ve sadece kovalent olmayan bağları değiştirdiği bilinmektedir (Lee ve ark., 2007). Basınç, basınç kaldırıldıktan sonra yeniden katlanma ve yeniden birleşme ile multimerik proteinlerin ayrılmasını ve açılmasını kolaylaştırmaktadır (Smeller, 2002). Buna karşılık, ısı hem hidrojen hem de kovalent bağlar üzerinde bir etkiye sahiptir ve ilişkili protein denatürasyonu ile proteinlerin açılmasına neden olmaktadır. Ek olarak, sıcaklık denatüre proteinler bir araya toplanma eğilimindedir ve bu kümelenme, soğutma veya dondurma ile değişmemektedir. Isıya tepki olarak protein denatürasyonu, HPP uygulaması sırasında meydana gelen adyabatik ısıtma ile kombinasyon halinde uygulanan ısı seviyesine bağlı olarak tersine çevrilebilir veya geri döndürülemez olabilir. HPP, ortam sıcaklığında, düşük sıcaklıklarda veya yüksek sıcaklıklarda uygulanabildiğinden, bunun et yapısına ve gevrekliğine katkıda bulunduğu bilinen çeşitli proteinler üzerinde farklı etkileri olabilir. Bazı yazarlar, HPP uygulaması sırasında proteinlerdeki değişikliklerin tersine çevrilebilirliğinin uygulanan basınca bağlı olduğunu öne sürmüşlerdir; <300 MPa basınç uygulandıktan sonra proteinlerdeki değişiklikler tersine çevrilebilirken, HPP uygulaması >300 MPa'dan sonra proteinlerdeki değişiklikler geri döndürülemezdir (Sun & Holley, 2010). HPP'nin et dokusunu ve gevrekliğini nasıl etkilediğine dair önerilen mekanizmalar, (i) gevrekliği artıran basınç uygulaması sırasında proteinlerin

depolimerizasyonuna bağlı olarak proteinlerin çözünürlüğünde bir artış (Sun & Holley, 2010), (ii) daha yüksek sıcaklıklarda kolajen çözünürlüğünde artış (Ma & Ledward, 2004), (iii) HPP ortam sıcaklığında uygulandığında sertleşmeye veya sertleşmeye neden olarak miyofibriler yapıda bütünlük (Jung, De Lamballerie-Anton & Ghoul, 2000), (iv) kollajenin stabilizasyonu nedeniyle miyofibrillerin artmış kırılması (Sikes, Tornberg & Tume, 2010) ve (v) kas yapısında artan su tutulumu, hem gevrekliği hem de sululuğu iyileştirmektedir. Bu mekanizmalardan bazıları eşzamanlı olarak ortaya çıkabilmekte ve et dokusu ve gevrekliği üzerindeki etkileri açısından antagonistik veya sinerjik olabilmektedir (Warner & Ha, 2019).

### HPP işleminin gevreklik üzerine etkisi

HPP uygulamasından elde edilen gevrekleştirme sonucu, çalışmalar arasında büyük farklılıklar gösterir; bazıları gevrekleşme gösterirken, bazıları değişiklik göstermemiştir ve diğer çalışmalar aslında sertleştirme etkisi göstermiştir (Mullen ve ark., 2011). Genel olarak, 10 çalışma, HPP'nin on sert sığır eti, koyun eti ve domuz eti üzerindeki gevrekleştirici etkisini araştırmak için 60 işlem kullanmıştır (Sikes & Warner, 2016; Warner ve ark., 2017). Pre-rigor ete HPP uygulamanın ortalama etkisi, HPP ile muamele edilmemiş etin kontrolüne göre PSF ile ölçülen gevreklikte 82.3 N'luk dramatik bir artış yaşanmıştır (Warner & ark., 2017). Pre-rigor etin HPP'si ile ilişkili gevrekleşme, etin endojen enzimlerinin HPP kaynaklı aktivasyonu veya inhibisyonu nedeniyle hızlandırılmış veya durdurulmuş glikolizin (Sikes & Warner, 2016) bir sonucu olduğu ileri sürülmektedir (Cheftel & Culioli, 1997). HPP'ye yanıt olarak sertlik öncesi kasta gözlemlenen hızlandırılmış glikoliz ve buna bağlı hızlı pH düşüşünün, sarkoplazmik retikulum hasarına ve kalsiyum salınımına bağlı olduğu düşünülmektedir, bu da kapsamlı sarkomer kasılması ve kısılması ve buna bağlı gevrekliği açıklamaktadır (Sikes & Warner, 2016). Genelde kısa sarkomerler etin sertleşmesiyle ilişkili olduğu için bu, sezgisel görünse de, aşırı kısılma, şiddetli kas bozulması nedeniyle gevrek etle ilişkilidir (Marsh & Leet, 1966). HPP'ye maruz kalan kaslarda durdurulan glikolizin, glikolizde rol oynayan enzimlerin geri dönüşü olmayan ısı ile indüklenen denatürasyonunun bir sonucu olduğu ve bunun sonucunda kas pH'nın yükselmesine ve su tutma kapasitesinin, gevrekliğin, sululuğun ve lezzetinin artmasına neden olduğu varsayılmaktadır (Smit, Summerfield & Cannon, 2010).

HPP'nin sığır eti ve koyun etine uygulanması için, 22 çalışma ve 204 işlemde elde edilen veriler kullanılarak ve meta-analize tabi tutulursa, farklı sıcaklık ve basınç kombinasyonlarının etkileri çok belirgin hale gelmektedir. HPP sırasında uygulanan basınç "Düşük" (100-150 MPa), "Orta" (200-400 MPa) ve "Yüksek" (520-600 MPa) olarak gruplandırılmış ve uygulama sırasındaki sıcaklık "Düşük" 10-30 °C, Orta (35-45 °C), 'Yüksek (50-60 °C) ve 'Çok yüksek' (68-80 °C). Yüksek basınçta (520-600 MPa), HPP'nin orta ila çok yüksek sıcaklıkla (35-80 °C) birlikte uygulanmasının PSF üzerinde çok az etkisi vardır. Ayrıca, orta sıcaklıklarda (10-30 °C) yüksek basınç uygulandığında, 28 N'lik ortalama PSF artışıyla önemli bir sertleştirme etkisi saptanmıştır. Orta basınçta (200-400 MPa), 10 ila 80 °C arasındaki sıcaklıklarda uygulandığında PSF veya gevrekleşme üzerinde çok az etkisi olmuştur. Orta basınç (100-150 MPa) uygulamasının etkisi uygulama sırasındaki sıcaklığa bağlıdır. HPP orta basınç ve orta sıcaklıkta (10-30°C) uygulandığında, sonuç ortalama olarak etin hafif sertleşmesidir. Ancak, orta basınçtaki HPP, orta ila çok yüksek sıcaklıklar (35-80 °C) ile birleştirildiğinde, PSF'de 53-110 MPa'lık bir düşüşle gösterilen önemli derecede gevrekleşme görülmüştür. Maksimum gevrekleştirme için ideal HPP koşulları, 100-150 MPa'lık orta basınç ve 68-80 °C'lik çok yüksek sıcaklık olarak tanımlanmıştır.

Önerilen eylem şekli şu şekildedir; ortam sıcaklığında, kolajen molekülleri hidrojen bağları ile stabilize edildiğinden kolajen veya çapraz bağlarda çok az değişiklik olmaktadır (Gekko & Koga, 1983). Bunun tersine, > 60 °C'lik yüksek sıcaklıklarda, kolajen denatürasyonu ve açılma meydana gelmektedir. Kolajen denatürasyonu > 50-60 °C'de başlatılır, bu nedenle HPP uygulamasına yüksek sıcaklıklar eşlik ettiğinde, ortaya çıkan et gevrekleşmesi muhtemelen kollajenin gevrekliğe katkısındaki bir değişikliğe bağlı olduğu düşünülmüştür (Warner & Ha, 2019).

## Nükleer Manyetik Rezonans (NMR)

Nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi, belirli atomik çekirdeklerin manyetik özelliklerinden yararlanan bir tekniktir. Kuantum mekanik olarak, tüm atom çekirdeklerinin spin (I) olarak bilinen bir özelliği vardır. Dönüşü  $I = 1/2$  olan bir çekirdek manyetik olarak aktif olacak ve izotop için karakteristik frekansta elektromanyetik radyasyonu emecektir.  $^1H$ ,  $^{13}C$  ve  $^{31}P$  gibi çekirdeklerin tümü  $I = 1/2$ 'lik bir dönüşe sahiptir ve bu nedenle manyetik olarak aktiftir. NMR spektrometresinde, numune bir manyetik alana yerleştirilir ve çekirdekler, izotop için karakteristik olan bir radyo frekansı darbesinin uygulanmasıyla uyarılmaktadır. Serbest indüksiyon azalması (FID) olarak bilinen sonuçta oluşan bir sinyal kaydedilmektedir. Zaman alanı FID sinyalini frekans alanına dönüştürmek için Fourier dönüşümü olarak bilinen matematiksel bir prosedür gerçekleştirilir. Frekans alanından, ayrı çekirdeklerin kimyasal kayma değerleri doğrudan çıkarılabilir ve bunlar, uygulanan manyetik alandan bağımsız olacaktır. Bir moleküldeki farklı çekirdek grupları, yerel ortamlarından farklı elektronik korumalar yaşayacaklarından biraz farklı kimyasal kaymalara sahip olacaktır. Bu nedenle, NMR spektrumundaki kimyasal kayma değerleri ve sinyal yoğunlukları, molekülün yapısı hakkında bilgi elde etmek için kullanılabilir (Bertram, 2017).

NMR sistemlerinden elde edilen spektrumlar analizden önce işlenmelidir. İlk olarak, kimyasal kayma yanlış hizalaması, en yaygın olarak uygulanan icoshift algoritması olmak üzere, kaydırma algoritmaları kullanılarak düzeltilmelidir (Savorani ve ark., 2010). İkinci olarak, gürültülü bölgeler kaldırılmalı ve NMR spektrumları normalleştirilmeli ve ölçeklendirilmelidir (Craig ve ark., 2006). Son olarak, 1. ve / veya 2. türev dönüşüm, SNV ve MSC (Rinnan, Van der Berg & Engelsens, 2009) ile birlikte en sık kullanılan algoritmalar Savitzky-Golay olmak üzere klasik spektroskopiden ön işleme teknikleri uygulanır. Veriler daha sonra spektrumlardan çıkarılabilir ve her bir tepe noktasının numunenin her bileşeni ile ilişkisinin tanımlanmasına olanak tanımaktadır. NMR spektrumlarından çıkarılan verilerin analizi için genel olarak PCA, PLS veya MLR yaygın olarak kullanılmaktadır. PCA, kalıpların tanımlanmasını ve veri dağıtımının görselleştirilmesini sağladığı için en sık kullanılan keşifsel veri analizi tekniğidir (Bro & Smilde, 2014). PLS (Bro, 1996) öngörücü ile yanıt verisi arasındaki kovaryansı maksimize etmeyi amaçlamaktadır. MLR, bağımlı bir değişken ile birkaç bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil etmek için kullanılır ve bu daha sonra gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılabilen doğrusal bir regresyon denklemi üretmektedir (Hastie, Tibshirani & Friedman, 2001; Antequera ve ark., 2021).

Et biliminde popüler hale gelen NMR spektroskopisinin çekici özelliklerinden biri, NMR spektroskopisinin bazı NMR ekipmanı türleriyle sağlam doku üzerinde dinamik olarak gerçekleştirilebilmesidir. NMR spektroskopik ölçümü tahribatsızdır ve bu nedenle, bir zaman serisi analizi olarak bir zaman periyodu boyunca sürekli ölçüm yapılabilir. Etin NMR analizlerine ilişkin ilk raporlardan bazıları, postmortem oluşumunu takip etmek için küçük et parçaları (yaklaşık 5-10 g) üzerinde  $^1H$  NMR spektroskopisinin nasıl yapılabileceğini gösteren Lundberg, Vogel & Ruderus (1986) ve Lundberg ve ark. (1987) tarafından yayınlanmıştır. Yarı katı ve katı materyallerin NMR spektrumlarının spektral çözünürlüğünü iyileştiren bir sihirli aç döndürme (MAS) tekniği kullanan  $^1H$  NMR spektroskopisi, kesim yapıldıktan hemen sonra ve 24 saatlik bir süre boyunca kesilen kas numuneleri üzerinde sürekli olarak gerçekleştirilmiş, bu sayede ayrıntılı ilerleme kaslarda laktat oluşumu takip edilebilmiştir (Bertram ve ark., 2004a). MAS tekniklerinin bir dezavantajı, numunenin, numune bütünlüğünü, numune yapısını ve suyun içsel dağılımını etkileyebilecek çok yüksek eğirme hızlarına (tipik olarak kilohertz aralığında) maruz kalmasıdır. Oldukça düşük eğirme hızlarında gerçekleştirilebilen özel katı hal NMR deneyleri geliştirilerek bu dezavantajın üstesinden gelmek için girişimlerde bulunulmuş ve kas örnekleri eğrildiğinde  $^1H$  MAS NMR spektrumlarının elde edildiği postmortem tavşan kaslarında fizibilite gösterilmiştir (Bertram ve ark., 2004b).

C NMR spektroskopisi, kas glikojeni ve laktatı incelemek için başka bir NMR tabanlı yaklaşımdır ve metodolojinin potansiyeli, katı hal NMR yaklaşımları kullanılarak sağlam kas biyopsilerinde gösterilmiştir (Quistorff, Frye & Bock, 1993; Bertram ve ark., 2003). Bu metodoloji, laktat ve glikojen üzerine kas ekstraktlarının  $^1H$  NMR spektroskopisi ile aynı derecede ayrıntılı

spektral bilgi sağlamazken, sağlam dokuların katı hal NMR analizi, membran bileşenlerinin hareketliliği ve bütünlüğü hakkında tamamlayıcı bilgiler sağlayabilir. Böylelikle Bertram ve ark. (2003), hücre zarı özelliklerinde değişikliklere atfedilen ön kesim stresli ve kontrol domuzlarından kas biyopsilerinin C NMR spektrumlarında metilen lipid sinyallerinde farklılıklar göstermiştir.

H NMR ve C NMR spektroskopisi kas laktatının ve glikojenin saptanmasını ve ölçülmesini sağlarken, kas ve ette enerji açısından zengin fosfor içeren metabolitleri incelemek için P NMR spektroskopisi kullanılabilir (Hoult ve ark., 1974; Burt, Glonek & Barany, 1976; Seeley ve ark., 1976; Busby ve ark., 1978; Vogel ve ark., 1985). Nükleosit fosfatlar ve fosfokreatin (PCr), kas enerjisi metabolizmasında önemli bir rol oynar ve P NMR spektroskopisi, adenozin trifosfat (ATP) bozunması ve PCr bozunmasının başlangıcı arasındaki ilişki hakkında yararlı bilgiler sağlamıştır (Vogel ve ark., 1985; Bertram ve ark., 2001, 2002).

### **NMR işleminin gevreklik üzerine etkisi**

Bilimsel literatürde, taze etin kalite özelliklerini tahmin etmek için LF-NMR veya HF-NMR sistemlerini kullanan çeşitli çalışmalar bulunmuştur. Domuz eti örneklerini analiz etmek için LF-NMR'nin kullanımı başlangıçta pişirme sıcaklığı (62-75 °C), su dağılımı ve bazı duyuşal özellikler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla test edilmiştir (Bertram, Aaslyng ve Andersen, 2005). Pişirme sıcaklığının neden olduğu duyuşal özelliklerdeki değişiklikler ile spektral veriler yani sululuk ( $R^2 = 0.82$ ), gevreklik ( $R^2 = 0.87$ ) arasında yüksek korelasyon katsayıları bulunmuştur. 62 °C'de pişirilen örneklerden 75 °C'ye göre daha iyi sonuçların (daha yüksek sulu ve gevreklik değerleri, daha düşük hata) elde edildiği kaydedilmiştir. Korelasyon gücünün daha yüksek sıcaklıklarla erozyonu, su dağılımındaki değişikliklere bağlanabilir. Bu değişiklikler et ve et ürünlerine yansısı ve sonuç olarak NMR cihazlarının gevrekliği etkilediği bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, farklı olgunlaştırma günlerinden sonra pişirme sonrasında WHC ile filetoların su dağılımı arasındaki ilişki NMR verileriyle ( $R > 0.75$ ) gösterilmiştir (Straadt ve ark., 2007). Spectra, olgunlaşma günleri arttıkça daha küçük alanlarla daha yüksek zirvelere doğru eğilim göstermiştir. Bu gerçek et ve et ürünlerinin miyofibriler yapısının bozulmasıyla ilgili olabilir (Antequera ve ark., 2021).

Sığır eti ve at karışımlarının sınıflandırılması, mevcut her türün miktarının bir fonksiyonu olarak LF-NMR (60 MHz) ile araştırılmıştır (Jakes ve ark., 2015). Sonuçlar 107 numuneden 106'sının doğru şekilde sınıflandırıldığını ve bu metodolojinin tür bazlı et karışımlarının farklılaşması için doğruluğunu gösterdiğini göstermiştir. Böylece, NMR'nin yüksek hassasiyeti, gıda sahtekârlığından kaçınmak için numuneleri ayırt etmeye yardımcı olabilir. Tavşan etinin çeşitli kalite parametreleri (lipid oksidasyonu, WHC, enstrümantal renk ve doku) üzerinde dondurma ve çözündürme sonrası etkisi de LF-NMR uygulanarak incelenmiştir (Jia ve ark., 2017). Bu çalışmada incelenen tüm parametreler için 0.95'ten yüksek korelasyon katsayılarına ulaşılmıştır. Su dağılımının etkisinin proteinler, miyofibriller ve ekstra miyofibriler makromoleküllerle yakından ilişkili olduğuna dikkat çekerek, bu bulgular et endüstrisinde büyük bir potansiyele işaret etmektedir (Antequera ve ark., 2021).

## KAYNAKÇA

Aaslyng, M. D. & Hviid, M. (2004a). The secret behind tender pork. *Fleischwirtschaft International*, 2, 52–54.

Aaslyng, M. D. & Støier, S. (2004b). The effect of intramuscular fat on eating quality of pork depending on end point temperature. Helsinki, Finland, 548–550.

Aaslyng, M. D. (2009). Trends in meat consumption and the need for fresh meat and meat products of improved quality. *Woodhead Publishing Limited*, Danish Meat Research Institute, Denmark.

Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L. & Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat Science*, 107, 86–93.

Antequera, T., Caballero, D., Grassi, S., Uttaro, B. & Perez-Palacios, T. (2021). Evaluation of fresh meat quality by Hyperspectral Imaging (HSI), Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Magnetic Resonance Imaging (MRI): A review. *Meat Science*, 172, 108340.

Arroyo, C., Lascorz, D., O'Dowd, L., Noci, F., Arimi, J. & Lyng, J. G. (2014). Effect of Pulsed Electric Field treatments at various stages during conditioning on quality attributes of beef longissimus thoracis et lumborum muscle. *Meat Science*, 99, 52–59.

Bajovic, B., Bolumar, T. & Heinz, V. (2012). Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products. *Meat Science*, 92 (3), 280–289.

Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N. & Vorobiev, E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77, 773–798.

Barba, F. J., Koubaa, M., do Prado-Silva, L., Orlie, V., and Sant'Ana, A. D. S. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 66, 20–35.

Barbieri, G. & Rivaldi, P. (2008). The behaviour of the protein complex throughout the technological process in the production of cooked cold meats. *Meat Science*, 80, 1132–1137.

Bekhit, A. E.-D. A., Carne, A., Ha, M. & Franks, P. (2014). Physical interventions to manipulate texture and tenderness of fresh meat: A review. *International Journal of Food Properties*, 17(2), 433–453.

Bekhit, A. E.-D. A. (2017). *Advances in Meat Processing Technology*, CRC Press.

Bekhit, A. E. D. A., van de Ven, R., Suwandy, V., Fahri, F. & Hopkins, D. L. (2014). Effect of pulsed electric field treatment on cold-boned muscles of different potential tenderness. *Food and Bioprocess Technology*, 7(11), 3136–3146.

Bertram, H. C., Dønstrup, S., Karlsson, A. H., Andersen, H. J. & Stødkilde-Jørgensen, H. (2001). Post mortem energy metabolism and pH development in porcine M. longissimus dorsi as affected by two different cooling regimes, A 31P-NMR spectroscopic study. *Magn. Reson. Imaging*, 19, 993–1000.

Bertram, H. C., Stødkilde-Jørgensen, H., Karlsson, A. H. & Andersen, H. J. (2002). Post mortem energy metabolism and meat quality of porcine m. longissimus dorsi as influenced by stunning method—a 31P NMR spectroscopic study. *Meat Science*, 62, 113–119.

Bertram, H. C., Jakobsen, H. J., Andersen, H. J., Karlsson, A. H. & Engelsen, S.B. (2003). Post mortem changes in the porcine m. longissimus studied using solid-state 13C CP MAS NMR spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 2064–2069.

Bertram, H. C., Whittaker, A. K., Andersen, H. J. & Karlsson, A.H. (2004a). The use of simultaneous  $^1\text{H}$  &  $^{31}\text{P}$  magic angle spinning nuclear magnetic resonance measurements to characterize energy metabolism during the conversion of muscle to meat. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 39, 661–670.

Bertram, H. C., Hu, J. Z., Rommerein, D. N., Wind, R. A. & Andersen, H. J. (2004b). Dynamic high-resolution  $^1\text{H}$  and  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy and  $^1\text{H}$  T<sub>2</sub> measurements in postmortem rabbit muscles using slow magic angle spinning. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 2681–2688.

Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L. & Bekhit, A. E.-D. A. (2018a). Current and future prospects for the use of pulsed electric field in the meat industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–15.

Bolumar, T. & Toepf, S. (2016). Application of shockwaves for meat tenderization, *CSIRO Food and Nutrition*, Coopers Plains, QLD, Australia; German Institute of Food Technologies, Quakenbrück, Germany.

Bolumar, T., Enneking, M., Toepf, S. & Heinz, V. (2013). New developments in shockwave technology intended for meat tenderization: Opportunities and challenges, A review. *Meat Science*, 95, 931–939.

Bolumar, T. & Claus, J. (2017). Utilizing Shockwaves for Meat Tenderization, *CSIRO Agriculture and Food, Meat Science*, Coopers Plains, QLD, Australia, 7.

Bolumar, T. & Toepf, S. (2016). Application of shockwaves for meat tenderisation, In: Knoerzer, K., Juliano, P., Smithers, G. (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies: Extraction, Separation, Component Modification and Process Intensification*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 231–258.

Bolumar, T. & Toepf, S. (2017). Hydrodynamic pressure processing to improve meat quality and safety, *Advanced Technologies for Meat Processing*, In: Toldra, Fidel, Nollet, Leo (Eds.), *CRC Press/Taylor & Francis Group*, 259–296.

Bouton, P. E., Ford, A. L., Harris, P. V., Macfarlane, J. J. & Shea, J.M. (1977a). Pressure-heat treatment of postrigor muscle: effects on tenderness. *Journal of Food Science*, 42 (1), 132–135.

Bouton, P. E., Harris, P. V., Macfarlane, J. J. & O'Shea, J. M. (1977b). Effect of pressure treatments on the mechanical properties of pre- and post-rigor meat. *Meat Science*, 1, 307–318.

Bowker, B. C., Schaefer, R. B., Grapperhaus, M. J. & Solomon, M. B. (2011). Tenderization of beef loins using a high efficiency sparker, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12, 135–141.

Bowker, B. C., Callahan, J. A. & Solomon, M. B. (2010). Effects of hydrodynamic pressure processing on the marination and meat quality of Turkey breasts. *Poultry Science*, 89 (8), 1744–1749.

Bowker, B. C. (2008). Effect of hydrodynamic pressure processing and aging on the tenderness and myofibrillar proteins of beef strip loins. *Journal of Muscle Foods*, 19 (1), 74–97.

Bowker, B. C. (2010). Effect of postmortem aging and hydrodynamic pressure processing on pork loin quality. *Journal of Muscle Foods*, 21 (2), 379–398.

Bowker, B. C., Schaefer, R. B., Grapperhaus, M. J. & Solomon, M. B. (2011). Tenderization of beef loins using a high efficiency sparker. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12, 135–141.

Brewer, M.S., Zhu, L.G. & McKeith, F.K. (2001). Marbling effects on quality characteristics of pork loin chops: Consumer purchase intent, visual and sensory characteristics. *Meat Science*, 59, 153–163.



- Bro, R. & Smilde, A. K. (2014). Principal component analysis. *Analytical Methods*, 6, 2812–2831.
- Bro, R. (1996). Multiway calibration. Multilinear PLS. *Journal of Chemometrics*, 10, 47–61.
- Burt, C. T., Glonek, T. & Barany, M. (1976). Analysis of phosphate metabolites, the intracellular pH, and the state of adenosine triphosphate in intact muscle by phosphorous nuclear magnetic resonance. *J. Biol. Chem.*, 251, 2584–2591.
- Busby, S. J. W., Gadian, D. G., Radda, G., Richards, R.E. & Seeley, P. J. (1978). Phosphorous nuclear-magnetic resonance studies of compartmentalization in rat muscle. *Biochem. J.*, 170, 103–114.
- Callahan, J. A. (2006) Hydrodynamic pressure-processed beef Semitendinosus muscle using a steel reflector bowl. *Journal of Muscle Foods*, 17 (1), 105–113.
- Channon, H. A., Payne, A. M. & Warner, R. D. (2000). Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Science*, 56 (3), 291–299.
- Chauhan, O. P. & Unni, L. E. (2015). Pulsed electric field (PEF) processing of foods and its combination with electron beam processing. In S. D. Pillai, S. Shayanfar (Eds.), *Electron beam pasteurization and complementary food processing technologies*, Woodhead Publishing, 157-184.
- Cheftel, J. C. & Culioli, J. (1997). Effects of high pressure on meat: a review. *Meat Science*, 46, 211–236.
- Claus, J. R. (2002). Shock treatment- shock waves are an effective tool for tenderizing meat. *Meat and Poultry*, 48(12), 61–63.
- Claus J. R. (2016). Application of hydrodynamic shock wave processing associated with meat and processed meat products, (Chapter 7), In: Cummins, E.J., Lyng, J.G. (Eds.), *Emerging Technologies in Meat Processing*, Wiley-Blackwell Publishers, 171–210.
- Claus, J., Sagili, L. & Sammel, L. (2002). Tenderization of beef and pork with shock waves produced with a capacitor discharge system, *55th Annual Reciprocal Meat Conference*, Michigan State Univ., Lansing, MI., Poster abstract, 45, 142.
- Claus, J. R., Schilling, J. K., Marriott, N. G., Duncan, S. E., Solomon, M. B. & Wang, H. (2001b). Tenderization of chicken and turkey breasts with electrically produced hydrodynamic shockwaves. *Meat Science*, 58, 283–286.
- Claus, J. R. (2001a). Hydrodynamic shockwave tenderization effects using a cylinder processor on early deboned broiler breasts. *Meat Science*, 58 (3), 287–292.
- Cooper, C. & Solomon, M. B. (2000). Meat tenderization by means of plasma sparking device, Canadian Patent #5,432,756.
- Coupland, J. N. (2004). Low intensity ultrasound. *Food Research International*, 37(6), 537–543.
- Craig, A., Cloarec, O., Holmes, E., Nicholson, J. K. & Lindon, J. C. (2006). Scaling and normalization effects in NMR spectroscopic metabonomic data sets. *Analytical Chemistry*, 78, 2262–2267.
- Dickens, J. A., Lyon, C. E. & Wilson, R. L. (1991). Effect of ultrasonic radiation on some physical characteristics of broiler breast muscle and cooked meat. *Poultry Science*, 70(2), 389–396.
- Dolatowski, Z. J. (1988). Ultraschall. 2. Einfluss von ultraschall auf die mikrostruktur von nuskelgewebe bei der poekehügel. *Die Fleischwirtschaft*, 68(10), 1301–1303.
- Dolatowski, Z. J. (1989). Ultraschall. 3. Einfluss von ultraschall auf die produktions technologie und qualitaet von kochschinken. *Die Fleischwirtschaft*, 69(1), 106–111.

Faridnia, F., Ma, Q. L., Bremer, P. J., Burritt, D. J., Hamid, N. & Oey, I. (2015). Effect of freezing as pre-treatment prior to pulsed electric field processing on quality traits of beef muscles. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29, 31–40.

Fisher, A. V. (1997). A review of the technique of estimating the composition of livestock using the velocity of ultrasound. *Computers and Electronics in Agriculture*, 17(2), 217–231.

Font-I-Furnols, M. & Guerrero, L. (2014). Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: an overview. *Meat Science*, 98 (3), 361–371.

Fortin, A, Robertson, W. & Tong, A.K.W. (2005). The eating quality of Canadian pork and its relationship with intramuscular fat. *Meat Science*, 69, 297–305.

Gabric, D., Barba, F., Roohinejad, S., Gharibzahedi, S. M. T., Radojcin, M., Putnik, P. & Bursać Kovačević, D. (2018). Pulsed electric fields as an alternative to thermal processing for preservation of nutritive and physicochemical properties of beverages: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 41(1).

Gekko, K. & Koga, S. (1983). The effect of pressure on thermal stability and in vitro fibril formation of collagen. *Agric. Biol. Chem.*, 47 (5), 1027–1033.

Godfrey, C. S. (1970). Apparatus for Tenderizing Food, *U.S.P. Office*, Google Patents: USA.

Gómez, B., Munekata, P. E. S., Gavahian, M., Barba, F. J., Martí-Quijal, F. J., Bolumar, T. & Lorenzo, J. M. (2019). Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Research International*, 123, 95–105.

Got, F., Culioli, J., Berge, P., Vignon, X., Astruc, T. & Quideau, J. M. (1999). Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on ageing rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef. *Meat Science*, 51(1), 35–42.

Grunert, K.G., Bredahl, L. & Brunsø, K. (2004). Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sectoral review. *Meat Science*, 66, 259-272.

Ha, M. & Warner, D.R. (2019). Effects of Hydrodynamic Shockwave Processing on the Quality of Meat and Meat Products, *Faculty of Veterinary and Agricultural Sciences*, The University of Melbourne, Parkville, VIC, Australia.

Hastie, T., Tibshirani, R. & Friedman, J. (2001). The elements of statistical learning: Data mining inference and prediction, New York, U.S.A.: Springer-Verlag.

Heinz, V., Töpfl, S., Schwägele, F. & Münch, S. (2011). AiF-15884 N: Anwendung elektrohydraulischer Stoßwellen zur Desintegration biologischer Gewebe am Beispiel der Zartmachung von Rindfleisch, *Bonn: Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI)*.

Horita, C. N., Baptista, R. C., Caturla, M. Y. R., Lorenzo, J. M., Barba, F. J. & Sant'Ana, A.S. (2018). Combining reformulation, active packaging and non-thermal post-packaging decontamination technologies to increase the microbiological quality and safety of cooked ready-to-eat meat products. *Trends in Food Science and Technology*, 72,45–61.

Horowitz, R. (2006). Putting Meat on the American Table, Taste, Technology, Transformation, *The Johns Hopkins University Press*, Baltimore, Maryland.

Hoult, D. I., Busby, S. J. W., Gadian, D. G., Radda, G. K., Richards, R. E. & Seeley, P. J. (1974). Observation of tissue metabolites using <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance. *Nat. Lond.*, 252, 285–287.

IFT, USDA (2014). Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies, *U.S. Food and Drug Administration*.

Jakes, W., Gerdova, A., Defernez, M., Watson, A. D., McCallum, C., Limer, E. & Kemsley, E. K. (2015). Authentication of beef versus horse meat using 60 MHz <sup>1</sup>H NMR spectroscopy. *Food Chemistry*, 175, 1–9.

Jayasooriya, S. D., Torley, P. J., D'Arcy, B. R. & Bhrandari, B. R. (2007). Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine semitendinosus and longissimus muscles. *Meat Science*, 75, 628–639.

Jayasooriya, S. D., Bhandari, B. R., Torley, P. & D'Arcy, B.R. (2004). Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review. *International Journal of Food Properties*, 7, 301–319.

Jia, G., Liu, H., Nirasawa, S. & Liu, H. (2017). Effects of high-voltage electrostatic field treatment on the thawing rate and post-thawing quality of frozen rabbit meat. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41, 348–356.

Jung, S., De Lamballerie-Anton, M. & Ghoul, M. (2000). Textural changes in bovine meat treated with high pressure. *High Press. Res.*, 19 (1–6), 69–74.

Kantono, K., Hamid, N., Oey, I., Wang, S., Xu, Y., Ma, Q., Faridnia, F. & Farouk, M. (2019). Physicochemical and sensory properties of beef muscles after Pulsed Electric Field processing. *Food Research International*, 121 (2019) 1–11.

Koohmaraie, M., Kent, M. P., Shackelford, S. D., Veiseth, E. & Wheeler, T.L. (2002). Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship?. *Meat Science*, 62, 345–352.

Kristensen, L., Therkildsen, M., Riis, B., Sørensen, M. T., Oksbjerg, N., Purslow, P. P. & Ertbjerg, P. (2003). Dietary-induced changes of muscle growth rate in pigs: Effects on in vivo and post mortem muscle proteolysis and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 80, 2862–2871.

Kristensen, L., Therkildsen, M., Aaslyng, M. D., Oksbjerg, N. & Ertbjerg, P. (2006). Compensatory growth improves meat tenderness in gilts but not in barrows. *J. Anim. Sci.*, 82, 3617–3624.

Kubberød, E., Ueland, Ø., Rødbotten, M., Westad, F. & Risvik, E. (2002a). Gender specific preferences and attributes towards meat. *Food Quality and Preferences*, 13, 285–294.

Kundu, T. (2004). Ultrasonic nondestructive evaluation – engineering and biological material characterization, *Boca Raton: CRC Press*.

Kumar, Y., Kumar Patel, K. & Kumar, V. (2015). Pulsed electric field processing in food technology. *International Journal of Engineering Studies and Technical Approach*, 1(2), 6–16.

Lamminen, M. O., Walker, H. W. & Weavers, L. K. (2004). Mechanisms and factors influencing the ultrasonic cleaning of particle-fouled ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*, 237(1–2), 213–223.

Lee, E. -J., Kim, Y. -J., Lee, N. -H., Hong, S. -I. & Yamamoto, K. (2007). Differences in properties of myofibrillar proteins from bovine semitendinosus muscle after hydrostatic pressure or heat treatment. *J. Sci. Food Agric.*, 87 (1), 40–46.

Leighton, T. G. (1998). The principles of cavitation, In M. J. W. Povey & T. J. Mason (Eds.), *Ultrasound in food processing* London: Blackie Academic and Professional, 151–182.

Long, J. B. (2000). Treatment of Meat by Capacitor Discharge, *W.I.P. Organization*, Google Patents.

Long, J. B. (1993). Tenderizing Meat. U.S. Patents, Google Patents: USA.

Long, J. B. (2001a). Continuous shock wave food processing with shock wave reflection, U.S. Patent 6,168,814.

- Long, J. B. (2001b). System for treating meat, U.S. Patent 6,306,029.
- Long, J. B. & Ayers, R.A. (2001). Shock-wave food processing with acoustic converging wave guide, US Patent 6,224,476.
- Long, J. B., Thomsen, P. & Waits, D. (2007). Shockwave treatment of meat, U.S. Patent 7,244,459.
- Lundberg, P., Vogel, H. J. & Ruderus, H. (1986). Carbon-13 and proton NMR studies of post-mortem metabolism in bovine muscles. *Meat Science*, 18, 133–160.
- Lundberg, P., Vogel, H. J., Fabiansson, S. & Ruderus, H. (1987). Post metabolism in fresh porcine, ovine and frozen bovine muscle. *Meat Science*, 19, 1–14.
- Lyford, C.P. (2010). Is willingness to pay (WTP) for beef quality grades affected by consumer demographics and meat consumption preferences?. *Agribus. Rev.*, 18, 1–17, Australas.
- Lyng, J. G., Allen, P. & McKenna, B. M. (1997). The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness. *Journal of Muscle Foods*, 8(3), 237–249.
- Lyng, J. G., Allen, P. & McKenna, B. (1998a). The effects of pre- and post-rigor high-intensity ultrasound treatment on aspects of lamb tenderness. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31(4), 334–338.
- Lyng, J. G., Allen, P. & McKenna, B.M. (1998b). The effect on aspects of beef tenderness of pre- and post-rigor exposure to a high intensity ultrasound probe. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 78(3), 308–314.
- Ma, H.J. & Ledward, D.A. (2004). High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle. *Meat Science*, 68, 347–355.
- Mahnič-Kalamiza, S., Vorobiev, E. & Miklavčič, D. (2014). Electroporation in food processing and biorefinery. *The Journal of Membrane Biology*, 247(12), 1279–1304.
- Mañas, P. & Pagán, R. (2005). Microbial inactivation by new technologies of food preservation. *Journal of Applied Microbiology*, 98, 1387–1399.
- Macfarlane, J. J. (1973). Pre-rigor pressurization of muscle: effects on pH, shear value and taste panel assessment. *Journal of Food Science*, 38 (2), 294–298.
- Marriott, N. G. (2001). Studies of cow beef tenderness enhancement through supersonic-hydrodynamic shock wave treatment. *Journal of Muscle Foods*, 12 (3), 207–218.
- Marsh, B. B. & Leet, N. G. (1966). Studies on meat tenderness, III. The effects of cold shortening on tenderness. *Journal of Food Science*, 31, 1122–1147.
- Mason, T. J., Paniwnyk, L. & Lorimer, J. P. (1996). The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 3(3), 253–260.
- McArdle, R. A., Marcos, B., Kerry, J. P., Mullen & A. M. (2011). Influence of HPP conditions on selected beef quality attributes and their stability during chilled storage. *Meat Science*, 87, 274–281.
- McDonnell, C. K., Lyng, J. G., Morin, C. & Allen, P. (2014). The effect of ultrasonic salting on protein and water–protein interactions in meat. *Food Chemistry*, 147, 245–251.
- McKenna, D. R. (2009). G. Patents.
- Mennecke, B. E., Townsend, A. M., Hayes, D. J. & Lonergan, S. M. (2007). A study of the factors that influence consumer attitudes toward beef products using the conjoint market analysis tool. *Journal of Animal Science*, 85, 2639–2659.

Miller, M. F., Carr, M., Ramsey, C. B., Crockett, K. L. & Hoover, L. C. (2001). Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Animal Science*, 79, 3062–3068.

Misra, N. N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., Inácio, R. S. & Barba, F. J. (2017). Landmarks in the historical development of twenty first century food processing Technologies. *Food Research International*, 97, 318–339.

Moeller, S. (1999). Impact of the hydrodyne process on tenderness, microbial load, and sensory characteristics of pork longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 77 (8), 2119–2123.

Mungure, T. E., Farouk, M. M., Birch, E. J., Carne, A., Staincliffe, M., Stewart, I. & Bekhit, A. E. A. (2020). Effect of PEF treatment on meat quality attributes, ultrastructure and metabolite profiles of wet and dry aged venison Longissimus dorsi muscle. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 65, 10.

NNF (2004). Nordic Nutrition Recommendation 2004, 4th edn Integration nutrition and physical activity, *Nordic Council of Ministers*, Copenhagen, Denmark.

O'Dowd, L. P., Arimi, J. M., Noci, F., Cronin, D. A. & Lyng, J. G. (2013). An assessment of the effect of pulsed electrical fields on tenderness and selected quality attributes of post rigour beef muscle. *Meat Science*, 93(2), 303–309.

Oziembowski, M. & Kopeć, W. (2005). Pulsed Electric Fields (PEF) as an unconventional method of food preservation. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 14(S1), 31–35.

Pohlman, F. W., Dikeman, M. E. & Kropf, D. H. (1997a). Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis muscle. *Meat Science*, 46(1), 89–100.

Pohlman, F. W., Dikeman, M. E., Zayas, J. F. & Unruh, J. A. (1997c). Effects of ultrasound and convection cooking to different end point temperatures on cooking characteristics, shear force and sensory properties, composition, and microscopic morphology of beef longissimus and pectoralis muscles. *Journal of Animal Science*, 75(2), 386–401.

Povey, J. W. & Mason, T. (1998). *Ultrasound in food processing*, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Blackie Academic & Professional.

Puértolas, E., Koubaa, M. & Barba, F. J. (2016). An overview of the impact of electrotechnologies for the recovery of oil and high-value compounds from vegetable oil industry: Energy and economic cost implications. *Food Research International*, 80, 19–26.

O'Quinn, T. G. (2018). Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience, *Translat. Animal Science*, 2 (1), 26–36.

Quistorff, B., Frye, J. S. & Bock, K. (1993). Methods for liquid- and solid-state CP MAS NMR spectroscopy of untreated tissue biopsies. *Anal. Biochem.*, 213, 68–74.

Reza Kasaii, M. (2013). Input power–mechanism relationship for ultrasonic irradiation: Food and polymer applications. *Natural Science*, 5, 14–22.

Rinnan, A., Van der Berg, F. & Engelsen, S. B. (2009). Review of most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *Trends in Analytical Chemistry*, 28, 1201–1222.

Sagili, J. V. V. & Claus, J. R. (2003). Tenderization effects of electrically produced hydrodynamic shock waves on top round and strip loin muscles of beef, *Proceedings of the 56th Reciprocal Meat Conference*, Columbia, MO: American Meat Science Association, 122.

Savell, J. W. & Cross, H.R. (1988). 'The role of fat in the palatability of beef, pork and lamb', in National Research Council Designing Foods: Animal Product Options in the Market- place, Washington D.C., *National Academy Press*, 345–355.

- Schaefer, R. B. (1998). Sparker source systems, US Patent 5,841,737.
- Seeley, P. J., Busby, S. J. W., Gadian, D. G., Radda, G. K. & Richards, R. E. (1976). A new approach to metabolite compartmentation in muscle. *Biochem. Soc. Trans.*, 4, 62–64.
- Sikes, A., Tornberg, E. & Tume, R. (2010). A proposed mechanism of tenderising post-rigor beef using high pressure-heat treatment. *Meat Science*, 84, 390–399.
- Sikes, A. L. & Warner, R. D. (2016). Application of high hydrostatic pressure for meat tenderisation. In: Knoerzer, K., Juliano, P., Smithers, G. (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies*, Woodhead Publishing, Sydney, Australia, 259–290.
- Simonin, H., Duranton, F. & de Lamballerie, M. (2012). New insights into the high-pressure processing of meat and meat products. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 11 (3), 285–306.
- Siró, I., Vén, Cs, Balla, Cs, Jónás, G., Zeke, I. & Friedrich, L. (2009). Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food Engineering*, 91, 353–362.
- Smeller, L. (2002). Pressure-temperature phase diagrams of biomolecules. *Biochimica Biophysica Acta.*, 1595, 11–29.
- Smit, N. R., Summerfield, J. W. & Cannon, J. E. (2010). Use of high-pressure processing to improve muscle quality by inhibiting post mortem glycolysis: Google Patents.
- Smith, N. B., Cannon, J. E., Novakofski, J. E., McKeith, F. K. & O'Brien, W. D. (1991). Tenderization of Semitendinosus muscle using high intensity ultrasound, *In Proceedings of the IEEE ultrasonics symposium*, 1371–1374, Orlando, FL, USA.
- Soliva-Fortuny, R., Balasa, A., Knorr, D. & Martín-Belloso, O., 2009, Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(11–12), 544–556.
- Solomon, M. B., Liu, M. N., Patel, J. R., Bowker, B. C. & Sharma, M. (2006). Hydrodynamic pressure processing to improve meat quality and safety, In: Nolle, L.M.L., Toldrá, F. (Eds.), *Advanced Technologies for Meat Processing*, CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, 222–239.
- Solomon, M. B., Liu, M. N., Patel, J. R., Bowker, B. C. & Sharma, M. (2006). Hydrodynamic pressure processing to improve meat quality and safety, In L. M. L. Nolle, & F. Toldrá (Eds.), *Advanced technologies for meat processing*, 219–244, CRC/Taylor & Francis.
- Solomon, M. B., Long, J. B. & Eastridge, J. S. (1997). The hydrodyne: a new process to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 75, 1534–1537.
- Solomon, M. B., Liu, M., Patel, J., Paroczay, E. & Eastridge, J. (2004). Tenderness improvement in fresh and frozen/thawed beef strip loins treated with hydrodynamic pressure processing. *Journal of Animal Science*, 82, 18–22.
- Solomon, M. B., Sharma, M. & Patel, J. R. (2011). Hydrodynamic pressure processing of meat products, In Howard Q. Zhang, Gustavo V. Barbosa-Canovas, V. M. Bala Balasubramaniam, C. Patrick Dunne, Daniel F. Farkas, & James T. C. Yuan (Eds.), *Non-thermal processing technologies for food*, Wiley Blackwell IFT Press.
- Solomon, M. B., Liu, M. N., Patel, J., Paroczay, E., Eastridge, J. & Coleman, S. W. (2008). Tenderness improvement in fresh or frozen/thawed beef steaks treated with hydrodynamic pressure processing. *Journal of Muscle Foods*, 19(1), 98–109.
- Spanier, A. M., Berry, B. W. & Solomon, M. B. (2000). Variation in the tenderness of beef strip loins and improvement in tenderness by use of hydrodynamic pressure processing (HDP). *Journal of Muscle Foods*, 11 (3), 183–196.

Suslick, K. S. & Flannigan, D. J. (2008). Inside a collapsing bubble: sonoluminescence and the conditions during cavitation, *Annu. Rev. Phys. Chem.*, 59, 659–683, <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.59.032607.093739>.

Stadnik, J. (2009). Influence of sonication on the oxidative stability of beef, *Roczniki Instytutu Przemysłu Mięsnego i Tłuszczowego*, 47, 63–68.

Straadt, I. K., Rasmussen, M., Andersen, H. J. & Bertram, H. C. (2007). Aging-induced changes in microstructure and water distribution in fresh and cooked pork in relation to water-holding capacity and cooking loss – A combined confocal laser scanning microscopy (CLSM) and low-field nuclear magnetic resonance relaxometry study. *Meat Science*, 75, 687–695.

Sun, X. D. & Holley, R. A. (2010). High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products. *Journal of Food Science*, 75 (1), 17–23.

Suwandy, V., Carne, A., van de Ven, R., Bekhit, A. E.-D. A. & Hopkins, D. L. (2015a). Effect of pulsed electric field on the proteolysis of cold boned beef *M. Longissimus lumborum* and *M. Semimembranosus*. *Meat Science*, 100, 222–226.

Suwandy, V., Carne, A., van de Ven, R., Bekhit, A. E.-D. A. & Hopkins, D. L. (2015b). Effect of pulsed electric field treatment on the eating and keeping qualities of cold-boned beef loins: Impact of initial pH and fibre orientation. *Food and Bioprocess Technology*, 8(6), 1355–1365.

Therkildsen, M. (1999). Biological factors affecting beef tenderness with emphasis on growth rate and muscle protein degradation, Ph.D. thesis, *The Royal Veterinary and Agricultural University*, Copenhagen, Denmark.

Therkildsen, M, Riis, B., Karlsson, A., Kristensen, L., Ertbjerg, P., Purslow, P., Aaslyng, M.D. & Oksbjerg, N. (2002a). Dietary induced changes in growth rate affect muscle proteolytic potential and meat texture, Effects of duration of the compensatory growth. *Animal Science*, 80, 2862–2871.

Thompson, J. (2002). Managing meat tenderness. *Meat Science*, 62, 295–308.

Tornberg, E. (1996). Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science*, 43 (S), 175–191.

Toepfl, S. & Heinz, V. (2009). New options for targeted product modification, *Fleischwirtschaft International*, 3, 11-13.

Toepfl, S., Heinz, V. & Knorr, D. (2007). History of pulsed electric field application, *Preservation of food by Pulsed Electric Fields*, Cambridge, UK: Woodhead.

USDA (2014). Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies – High Pressure Processing, *Safe Practices for Food Processes*.

Vogel, H. J., Lundberg, S., Fabiansson, S., Ruderus, H. & Tornberg, E. (1985). Post-mortem energy metabolism in bovine muscles studied by non-invasive phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. *Meat Science*, 13, 1–18.

Warner, R. D. & Ha, M. (2019). Utilising high pressure processing for meat tenderisation, school of agriculture and food, *Faculty of Veterinary and Agricultural Sciences*, Melbourne University, Parkville, VIC, Australia.

Warner, R., McDonnell, C., Bekhit, A. A., Claus, J., Vaskoska, R., Sikes, A. L., Dunshea, F. R. & Ha, M. (2017). Systematic review of emerging technologies for tenderising meat. *Meat Science*, 132, 72-89.

Wells, P. N. T. (1999). Ultrasonic imaging of the human body. *Reports on Progress in Physics*, 62(5), 671–722.

Williams, A. R. (1983). Ultrasound: biological effects and potential hazards, *London: Academic Press*.

Zuckerman, H. & Solomon, M. B. (1998). Ultrastructural changes in bovine longissimus muscle caused by hydrodyne process. *Journal of Muscle Foods*, 9(4), 419–426.

Zuckerman, H. (2013). Microstructure alterations in beef intramuscular connective tissue caused by hydrodynamic pressure processing. *Meat Science*, 95 (3), 603–607.



## Atkılı Örmek Tekniği İle Elde Edilen Tekstiller ve Kullanım Alanları

Devrim DEMİRAY SOYASLAN<sup>1</sup>

### Giriş

Teknik tekstiller, estetik ve dekoratif özelliklerinden ziyade teknik ve fonksiyonel özellikleri için üretilen tekstil malzemeleridir. Teknik tekstillerin uygulama alanları arasında değer açısından en büyük uygulama alanları olarak; inşaat, otomotiv sanayii, endüstriyel alanlar, taşımacılık, spor malzemeleri, jeotekstiller, tıp ve hijyen ürünleri, koruyucu tekstiller ve havacılık sanayi sayılabilir. İlerleyen yıllarda en hızlı büyüyecek olan teknik tekstil sektörlerinin, sanayide kullanılacak olan tekstiller, inşaat ve yapı işlerinde kullanılacak olan jeotekstiller ve tıp alanında kullanılacak olan tekstillerin olacağı bilinmektedir. Bilindiği gibi teknik tekstillerin üretimi; dokuma, örme ve dokusuz yüzey oluşturma tekniklerinden her hangi birisi kullanılarak elde edilebilmektedir. Bu çalışmanın amacı da örme sektörünün teknik tekstillerin gelişimine yaptığı katkının değerlendirilmesi ve özellikle atkılı örme tekniği ile teknik tekstillerin üretimlerinin incelenmesidir.

Teknik tekstillerin üretim yelpazesi içinde hem atkılı hem de çözgümlü örme teknolojileri önemli roller almaktadır. Örneğin, dünya çapında en büyük teknik tekstil kullanıcısı olan otomotiv sektöründe en büyük pazar payına %34 ile çözgümlü örme, %28'lik pay ile düz dokuma kumaşlar, %16'lık pay ile velür kumaşlar ve %11'lik pay ile yuvarlak örme kumaşlar sahiptir. Ayrıca Asya da baskı yapılmış kumaşların giderek kullanımının artmasının da velür ve düz örme kumaşların payını artıracığı söylenmektedir (Anand, 2003).

Buna ilaveten örme teknik tekstillerin diğer kumaşlar arasında küçük bir yüzdeye sahip olduğu, teknik tekstiller için kullanılacak olan toplam elyaf miktarının yaklaşık olarak %9 luk bir kısmı örme teknik tekstiller için kullanılmakta ise de örme teknolojisinin esnekliğinden dolayı son yıllarda teknik uygulamalar için daha fazla örme yapıların geliştirildiği ve tercih edildiği bilinmektedir. Ayrıca yüksek performanslı ipliklerden elde edilen atkılı örme kumaşlar, tekstil destekli kompozitlerin kullanımında yüksek bir potansiyele sahiptirler. Bununla beraber, çeşitli yönlerdeki rijitliği artırmak amacıyla bazı özel ipliklerin (straight non-knitting yarns) tanıtılması ile ilgili pek çok gelişme yer almaya başlamıştır. Ayrıca kompleks şekillerin gelişimiyle ilgili uygulamalarda şardonlu iki yada üç iplikli bazı ilginç yapılar da mevcuttur.

Teknik tekstillerin üretimi için kullanılacak olan örme teknolojilerinin diğer teknolojilere kıyasla avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Özellikle atkılı örmeciliği bazında çok esnek olmaları.
- İlave iplik hazırlığı gerektirmemesi.
- Tasarım kapasitesine katkıda bulunan elektronik iğne seçimi ve CAD sistemlerinin bulunması ve örme makinelerinin hızlı kurulabilir olmaları.
- Örme kumaşların doğal yapılarından dolayı aksel kuvvet gibi özelliklerinin özel ipliklerle (straight in-laid yarns ) başarılı olabilir olması.

---

<sup>1</sup> Doç. Dr. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-5145-8551

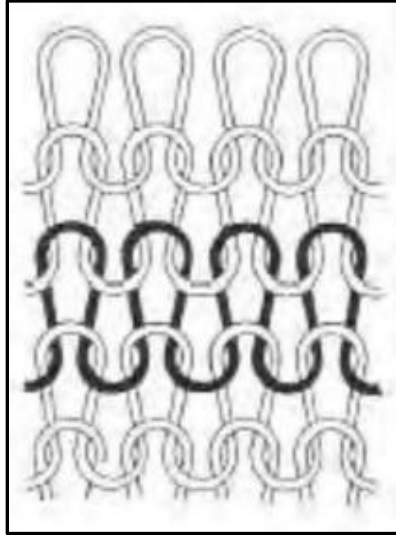
- Şekle göre örmek tekniğinin (knitting to shape) 2 boyutlu ve 3 boyutlu kumaşların elde edilmesine olanak sağlaması.
- Şekillere uyabilme kabiliyeti ve objeleri kaplayabilme özellikleri örmek kumaşları kompozit materyaller için ideal yapılar haline getirmektedir.

### Örmek Temel Bilgileri

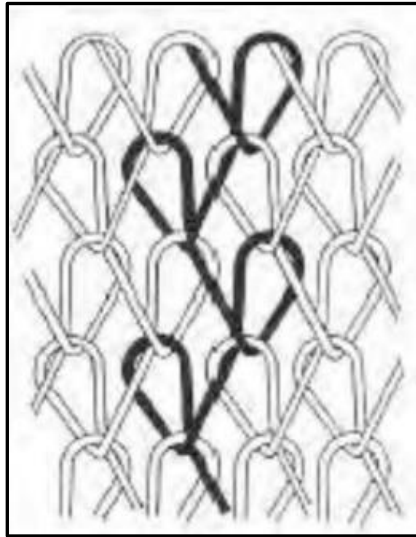
Örmek, bir tekstil yapısının meydana getirilebilmesi için ipliklerin ilmek formuna getirilmesi tekniğidir.

Atkılı örmek ve çözgülu örmek teknikleri olmak üzere iki tür örmek tekniği vardır. Atkılı örmek tekniği ile iplikler kumaş eni boyunca ilmek oluştururken, çözgülu örmek tekniği ile kumaş uzunluğu boyunca ilmek oluştururlar. Şekil 1’de atkılı örmek yapısı, Şekil 2’de ise bir çözgülu örmek yapısı görölmektedir.

Örmek kumaşları üretmek amacıyla kullanılan farklı ilmek yapıları vardır. Bunlar; atlama, askı ve transfer yapılarıdır. Buna ilaveten örmek kumaşların üretimi için örmek makinelerinde esnek uçlu iğne, dilli iğne ve sürgülu iğne olmak üzere üç tip iğne çeşidi kullanılmaktadır.

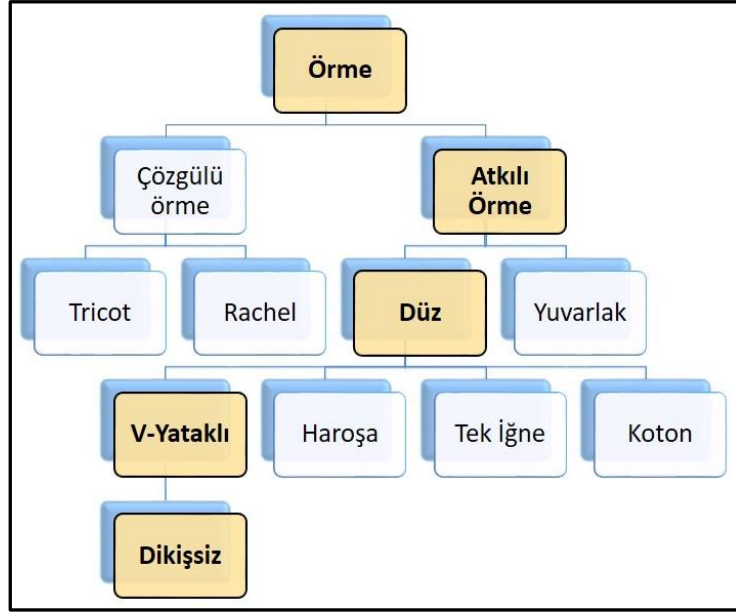


Şekil 1. Atkılı örmek yapısı (Raz, 1987)



Şekil 2. Çözgülu örmek yapısı (Raz, 1987)

Şekil 3’de örmek sektöründe yer alan temel örmek makinelerine dair temel bir sınıflandırma verilmiştir.

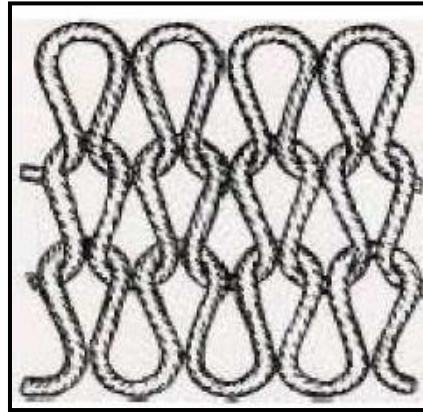


Şekil 3. Temel örmek makinelerine dair bir sınıflandırma

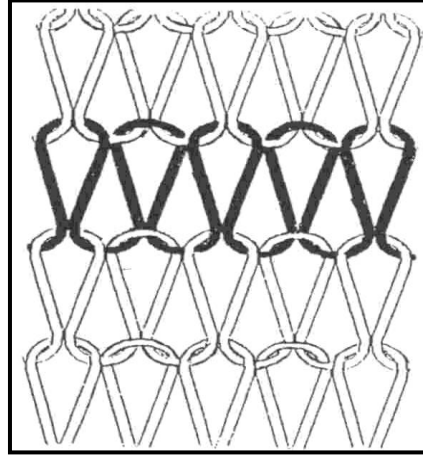
Bu çalışma kapsamında atkılı örmek tekniği üzerinde durulacağından sadece temel atkılı örmek kumaş yapıları ve makineleri hakkında kısaca bilgi verilecektir.

### Atkılı Örmek Kumaş Yapıları

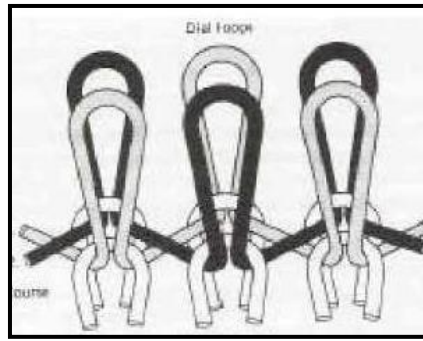
Düz örgü (jersey) ve türevleri, rib örgü ve türevleri ve haroşa örgü (purl fabric) ve türevleri olmak üzere üç temel atkılı örmek kumaş yapısı vardır. Düz örgü ve türevleri tek katlı yapılar olup; düz örgü, pike, düz jakar ve fleece gibi kumaşları içerir. Rib örgüler ise 1X1 rib, selanik, interlok ve düz jakarlı ve çift yüzlü kumaşları ve haroşa örgüler de çift katlı kumaşları içerirler. Aşağıda Şekil 4’de düz örgü, Şekil 5’de rib örgü ve Şekil 6’da interlok örgü gösterilmektedir.



Şekil 4. Düz örgü yapısı (Shinn, 1957)

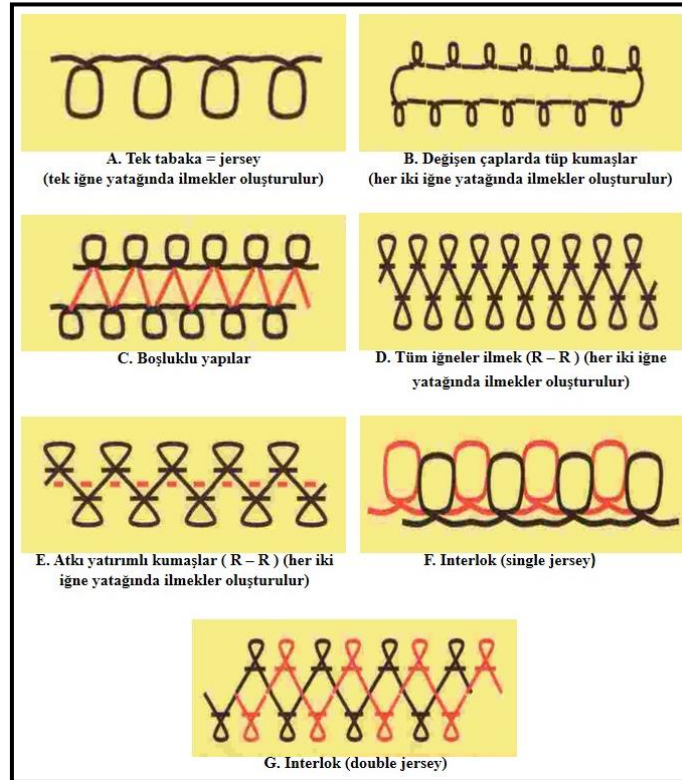


Şekil 5. Rib örgü yapısı (Shinn, 1957)



Şekil 6. İnterlok örgü yapısı (Spencer, 2001)

Teknik tekstillerin üretiminde kullanılan belli başlı örme yapıları ise aşağıda Şekil 7’de özetlenmiştir. Bu yapılar ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

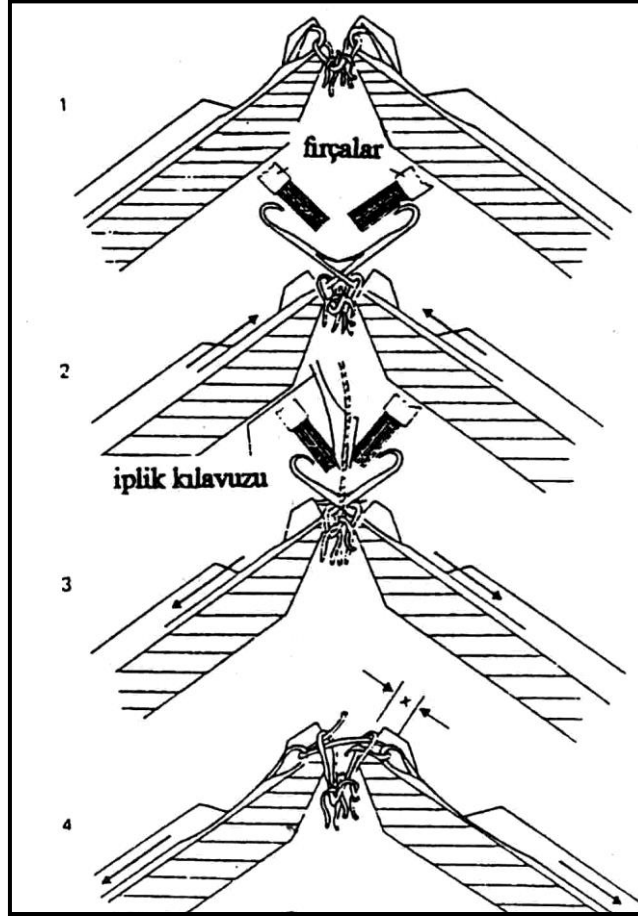


Şekil 7. Teknik tekstillerin üretiminde kullanılan belli başlı örme yapıları

## Atkılı Örmek Makineleri

Yuvarlak ve düz olmak üzere iki tip atkılı örmek makinesi vardır. Yuvarlak örmek makineleri; single jersey makineleri, kapak-silindir makineleri ve çift silindirli haroşa makineleri olmak üzere üç kategoriye ayrılabilirler. Single jersey makineleri, sadece düz örgü yapabilen tek iğne yatağına sahip düz örgü makineleridir. Kapak-silindir makineleri, çift iğne yatağına sahip düz örgü ve rib örgüler yapabilen makineler iken Haroşa makineleri, iki ucu dilli iğne kullanan ve haroşa kumaşlar yapabilen makinelerdir.

Düz yataklı örmek makineleri, V yataklı makineler ve bugün neredeyse hiç kullanılmayan düz haroşa makineleridir. Şekil 8’de çift yataklı bir düz örmek makinesinde ilmek oluşumu ve Şekil 9’da ise silindir-kapak makinesinde ilmek oluşumu verilmektedir (Spencer, 2001).



Şekil 8.Çift yataklı bir düz örmek makinesinde ilmek oluşumu (Spencer, 2001)

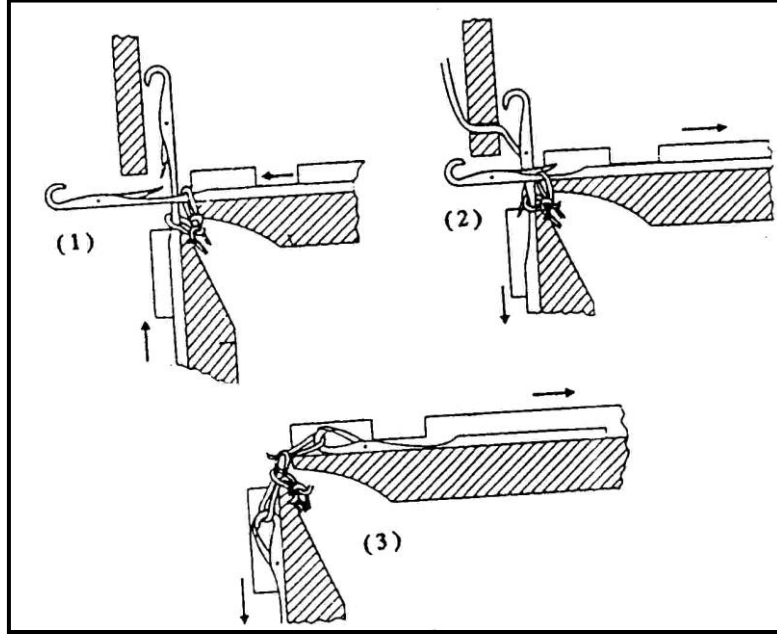
Çift yataklı bir düz örmek makinesinde ilmek oluşumunun 4 konumu şu şekilde açıklanabilir:

Konum 1: Dinlenme konumu. İğnelerin başlarının üstleri, devrilme uçlarının kenarı ile aynı hizadadır. İğnenin uçları, kaldırma kamı ile temas edene kadar düz bir çizgi alır, önde gelen dikiş kamları aktif olmayan bir konuma kaldırılır. Kaldırma hareketi, hareket başladığında her bir sistemdeki arka ilmek kamlarını her zaman indiren ve öndeki ilmek kamlarını yükselten alternatif bir harekettir. Bu hareket, örgü hareketinin başlamasından önce iğnelerin gereksiz yere indirilmesini ve eski ilmeklerin üzerine bir gerilimin yüklenmesini önler.

Konum 2: Temizleme konumu. İğne uçları, mandallar eski ilmekleri temizleyene kadar kaldırılır. İğne dipçikleri, kamların alt yüzeyi koruyucu kam görevi gören iğneyi “kancaya sokma” yüksekliğine yükselten kamların ön kenarına temas ettiğinde kaldırılır. Uçları germe kamlarının üstünden geçerken iğneler tam açık yüksekliğe kaldırılır.

Konum 3: İplik besleme konumu. İplikler inmeye başlayınca iğnelere beslenir. İplik, koruma kamının kontrolü altında iğnelere aşağı indirilince beslenir. Her iğne, ilmek kamına inerken gerekli ilmek uzunluğunu çeker.

Konum 4: Devrilme (Knocking over) konumu. Yeni ilmekler eski ilmeklerin içinden geçerek döngüyü tamamlar. Her iki iğne yatağının eşzamanlı devrilmesini sağlamak için; ilmek kamı ön sistemi, daha sonra etkisiz hale getirilecek şekilde yardımcı ilmek kamı aşağı ayarlanır. Ancak gecikmeli devrilme zamanlaması kullanılırsa, arka yatakta devrilmeden sonra ön yatakta devrilme meydana gelir. Bu durumda, ilmek kamı, sonraki kamın derinlik ayarının devrilme eylemi üretmesi için 5. konum kadar düşük ayarlanmaz. (Textileblog, 2022), (Bruer & Smith, 2005).



Şekil 9. Yuvarlak yataklı silindir-kapak makinesinde ilmek oluşumu (Spencer, 2001)

## Atkılı Örmek Tekniği İle Elde Edilen Teknik Tekstillerin Kullanım Alanları

### Otomotiv Tekstilleri

Teknik tekstiller pazarında en büyük paya sahip sektördür. Dünyada yılda 45 milyon otomobil imal edilmekte ve her bir otomobil için yaklaşık 20 kg teknik tekstil kullanılmaktadır. Aşağıda Tablo 3’de otomobillerin koltuk döşemelerinde kullanılan başlıca kumaş tiplerinin kullanım oranları görülmektedir. Fakat Asya’da baskılı kumaşların kullanım oranlarının artması örmek kumaşların payının artacağına işaret etmektedir.

Tablo 3. Otomobillerin koltuk döşemelerinde kullanılan başlıca kumaş tiplerinin kullanım oranları (Anand, 2003)

Kumaş tipi	Avrupa	Amerika	Asya
Düz dokuma	% 47	% 14	% 12
Velür dokuma	% 1	% 30	% 24
Tricot çözgümlü örmek	% 15	% 11	% 44
Raschel çözgümlü örmek	% 5	% 23	% 9
Yuvarlak örmek	% 21	% 1	% 7
Deri	% 11	% 21	% 4
Toplam	% 100	% 100	% 100

Courtoulds ve General Motors Anonim Şirketi 1985 de koltuk döşemeleri elde etmek amacıyla üç boyutlu örmek tekniğini geliştirmişlerdir. Dikişsiz örmek tekniği ile yapılan otomotiv koltuğu döşemelerinin otomotiv sektöründe yüksek bir potansiyele sahip olduğu da belirtilmektedir. Üç boyutlu örmek teknolojileri üzerinde patent sahibi olan Lear Anonim Şirketi, koltuk tasarımında %25 zaman tasarrufu sağlayan bir bilgisayar modeli kullanarak yeni koltuklar tasarlamakta olduğunu belirtmektedir.

### **Tıbbi Tekstiller**

Tıbbi tekstiller pazarı, teknik tekstiller pazarının % 10 'nuna karşılık gelmektedir.

Son zamanlarda atkılı örmek tekniği ile üç boyutlu olarak düz örmek makinelerinde üretilen özel tekstiller tıbbi tekstil alanında kullanılma imkanı bulmuştur (Wu , ve diğerleri, 2016) . Bandajlar, ortopedik destekler ve tıbbi kompres çorapları gibi tüp formulu örmek yapılar geliştirilmektedir. Gelecekte daha gelişmiş ve teferruatlı tıbbi yapılar ile dikişsiz giysilerin dikişsiz örmek tekniği kullanılarak üretilebileceği umulmaktadır. Yüksek performanslı liflerle ilave sensör ve elektroniklerin birleşiminin de sağlık uygulamalarında dikişsiz ürünler için daha ileri imkanlar sağlayacağı düşünölmektedir (Lee vd., 2020)

Boşluklu kumaşların tıbbi uygulamalarda, ortopedik kullanımlar için darbe emici malzemeler, kırıklarda sabitleyici malzemeye destek kumaşlar, belirli bir bölgesine melhem ve emülsiyon emdirilen bandajlar ve fully fashion pantolonlara ilave edilen emici liflerden yapılmış idrar pedleri gibi kullanım alanları da vardır (Chen vd., 2021).

Ayrıca düz örmek makinelerinde elde edilen tekstillerin yapıları ve tasarımları, bunların medikal implantlar olarak veya implantın bir parçası olarak kullanılmasına imkan vermekte ve hızla ilgi çekmektedir. Örneğin, özel liflerden örölmüş ağ yapılar karın ameliyatlarında implant olarak kullanılmak üzere torba şeklinde üretilmektedirler (Fallahi vd., 2016).

### **Spor Giyim Tekstilleri**

Bu sektör de teknik tekstiller pazarında giderek artan bir paya sahip olmaktadır.

Termofizyolojik konfor, hem ısı düzenleme hem de nem kontrolü gerektirmektedir. Yoğun bir aktivite esnasında oluşan nem ve ısı arasındaki dengeyi sağlamak oldukça zordur. Bunun için doğru lif kombinasyonu, doğru kumaş yapısının seçimi ve kumaşa doğru kimyasal veya bitim işlemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Hem atkılı hem de çözöülü örmek makinelerinde iç giyim, dış giyim ve spor giyimde konforlu giysiler üretilmektedir. Beyzbol, Amerikan futbolu ve kayak gibi pek çok spor dalında kullanılan dokuma giysiler artık yerlerini örmek kumaşlara bırakmaktadırlar.

### **Güvenlik Amaçlı ve Koruyucu Tekstiller**

Bu tekstiller, çevredeki zararlı ve tehlikeli etkilere korunmak amacıyla kullanılırlar. Bu tür teknik tekstiller, belirtilen şu etkilere karşı dayanıklı ve dirençli olmalıdırlar; yüksek ısı ve alev, zararlı kimyasallar ve gazlar, mekanik ve elektrik tehlikeler, radyasyon, aşırı soğuk, virüs ve bakteriler ve balistik tehlikeler.

Atkılı ve çözöülü örmek teknolojileri ile yukarıda bahsedilen pek çok tehlikeye karşı koruyucu giysiler Cam, Nomax, Kevlar, Basofil, Karbon, Metaller vb. pek çok yüksek performanslı lifler kullanılarak üretilmektedir.

Özellikle atkılı örmek teknolojisinin bu alandaki üstünlüğu, hiç dikişsiz olarak giysilerin üretilmesi olmalıdır. Bu imkân; dokuma, dokusuz yüzey oluşturma ve çözöülü örmek tekniklerinde mevcut değildir. Ayrıca yüksek performanslı liflerle, düşük aşınma, düşük gerginlik ve ipliğin üretim

için daha kısa bir yol takip etmesinden dolayı örmek makinelerinde dokuma makinelerine göre daha kolay çalışılabilmektedir.

### **Jeotekstiller**

Jeotekstiller, teknik tekstiller pazarında en hızlı büyüyeceği tahmin edilen sektördür. Jeotekstiller, toprak destekleme, ayırma, filtreleme ve inşaat uygulamaları için tasarlanmış geçirgen tekstil materyalleridir. Jeotekstil kumaşların %70'ini dokusuz yüzeyler oluşturmakla birlikte %25'lik bölümünü örmek kumaşlar oluşturmaktadır. Çözgümlü örmek kumaşlar, ağ ve ızgara şekilli yapılar, çok eksenli yapılar ve üç boyutlu boşluklu materyallerin üretiminde yaygın kullanıma sahiptirler. Bu yapılar toprağı düz yapılardan çok daha iyi tutmaktadır.

Yüksek duvarların yapımı, setler gibi yüksek performans isteyen uygulamalarda yüksek mukavemetli olan iki eksenli raşel yapılar kullanılmaktadır. Bu kumaşlar; yüksek mukavemet, düşük uzama, yüksek modül ve yüksek yırtılma mukavemeti değerlerine sahiptir.

Atkılı örmek alanında ise, Bolton Enstitüsü'nde geliştirilmiş ve uygulanmakta olan bir teknolojiyle toprak takviyesi için düz örmek makinesinde jüt, keten, pamuk, viskoz, tencel, yün gibi liflerden yapılan örmek yapı içine enine, boyuna veya her iki yönde sisal, coir gibi yüksek mukavemetli, kaba ve tüylü ipliklerin yatırılması gerçekleştirilmiştir.

### **Endüstriyel Tekstiller**

Endüstriyel tekstiller alanında atkılı örmek tekniği ile elde edilen tekstillerin payı oldukça yüksektir. Pek çok materyalin aynı örmek yapısı içerisinde farklı kumaş yapıları ve desenlendirme teknikleri kullanılarak örülmesi sağlanabilmektedir. Çeşitli endüstriyel amaçlar için bu tür yapılar arasında, şekilli teknik kumaşlar, metalik kumaşlar, metal yatırımlı iletken kumaşlar, filtrasyon amaçlı kumaşlar, cepli uygulamalar vs. sayılabilir.

### **Sonuç**

Bu çalışmada örmek kumaş üretim tekniklerinden biri olan atkılı örmek kumaş tekniğinin teknik tekstillerin üretimlerine olan katkısı incelenmiştir. Teknik tekstil tanımı, görünüş ve estetik karakteristiklerinden ziyade teknik özellikleri ve performansları için üretilen tekstillerdir. Teknik tekstillerin en büyük uygulama alanları olarak; inşaat, otomotiv, taşımacılık, havacılık ve uzay sanayi yer almaktadır. Bu alanların yanı sıra son zamanlarda özellikle tıp ve hijyen alanındaki tekstiller, koruma amaçlı tekstiller, askeri amaçlı tekstiller, spor tekstilleri vs. de teknik tekstillerin büyük gelişme gösterdiği alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Teknik tekstillerin üretimi için kullanılacak olan örmek teknolojilerinin diğer kumaş üretim teknolojilerine kıyasla bazı avantajları bulunmaktadır. Özellikle atkılı örmek teknolojileri için bu avantajlar; ilave iplik hazırlığına ihtiyaç duyulmaması, çok esnek yapılar elde edilebilmesi, çok geniş yelpazede tasarımlar yapılabilmesi ve şekle göre uygun yapıların üretilmesi şeklinde sıralanabilir.

Atkılı örmek yapıların şekle göre üretilmesi olmaları, objeleri kaplayabilme kolaylığı getirdiği için bu yapıları kompozit uygulamalar için çok cazip hale getirmektedir. Yapılan çalışmalar, bu yapıların ilerleyen yıllarda endüstriyel uygulamalar için hatırı sayılır bir paya sahip olacağını göstermektedir.



## Kaynakça

- Anand, S. (2003). Spacer at the technical frontier. *Knitting International*, 110(1305), 38-41.
- Bruer, S. M., & Smith, G. (2005). Three-Dimensionally Knit Spacer Fabrics: A Review of Production Techniques and Applications. *Journal of Textiles and Apparel, Technology and Management (JTATM)*, 4(4), 1-31.
- Chen, J., Kan, W., Yi, L., Chuck, Z., & Ben, W. (2021). Application of textile technology in tissue engineering: A review. *Acta Biomaterialia*(168), 60-67.
- Fallahi , A., Khademhosseini, A., & Tamayo, A. (2016). Textile processes for engineering tissues with biomimetic architectures and properties. *Trends in Biotechnology*, 34(9), 683-685.
- Lee, , J., Llerena Zambrano, B., Woo, J., Yoon, K., & Lee, T. (2020). Recent advances in 1D stretchable electrodes and devices for textile and wearable electronics: materials, fabrications and applications. *Advanced Materials*(32 ), 1-28.
- Raz, S. (1987). *Warp knitting production*. Heidelberg, Germany: Verlag Melliand Textilberichte.
- Shinn, W. (1957). *Principles of Knitting (3rd edition)*. Charlotte: Clark Publishing Company.
- Spencer, D. J. (2001). *Knitting Technology*. NewYork: Pergamon Press.
- Textileblog. (2022, 09 16). *V-bed Knitting Machine: Specification, Diagram and Knitting Action*. Textile Blog: <https://www.textileblog.com/v-bed-knitting-machine-specification-diagram/adresinden-alandi>
- Wu , S., Duan, B., Liu, P., Zhang, C., Qin, X., & Butc, J. (2016). Fabrication of aligned nanofiber polymer yarn networks for anisotropic soft tissue scaffolds. *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, 26(8), 16950–16960.

## Kentsel Alanda Yaşanan Kamulaştırma Sorunları :Gaziantep Örneği

Fazıl Nacar

### 1. GİRİŞ

Kamulaştırma; kamu yönetimlerinin, yasalar gereği yerine getirmekle yükümlü oldukları kamu hizmetleri ya da girişimlerini yürütmek için gereksinim duydukları, gerçek ya da özel tüzel kişilerin mülkiyetinde bulunan taşınmazlar ile kaynak ve yükümlenme (irtifak) haklarına, karşılıklarını ödemek koşuluyla el koymalarıdır (URL-1).

Ülkemizde kamulaştırma sürecinin hukuki (Berberoğlu, 2004;Hayta, 2007; Eren, 2014;Çoban Atik, 2013; Demirbaş, 2014; Karaman, 2015;),ekonomik (Pehlivan, 2008;Tepe 2009; Ayten ve Çay, 2012) ve teknik (Sert, 2005; Uzer, 2010;Erdin, 2010;Ergüven, 2013; Yıldız, 2013; Dörtgöz, 2014, Çağla ve ark., 2016) yönden işleyiş ve sorunları ile ilgili pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Göktepe 2010 yılındaki çalışmasında kamulaştırma kavramı, işlemin türleri ve yapılış şekilleri ile mülkiyet hakkı üzerinde doğurduğu etki ve sorunlar olduğunu ifade etmiştir. Akay ve Çiçek 2005 yılındaki çalışmalarında, 1070 km uzunluğunda BaküTiflis-Ceyhan(BTC) Ham Petrol Boru Hattı Projesinde karşılaşılan sorunların, kurumlardaki altyapı yetersizliği sorununun diğer birçok sorunun kaynağı olduğunu ve kamulaştırma çalışmalarına etkisinin büyük olduğunu ifade etmişlerdir.(İşcan,F. Ve Vögeroğlu,F.,2019)

Ülkemizde özellikle son yıllarda şehirlerimize ait 1/1000 ölçekli uygulamalı imar planlarının hayata geçirilmesi sonucunda kamuya ayrılan alanların (yol, park, belediye hizmet alanı, milli eğitim alanı vb.) faaliyete geçirilmesi sonucu kamulaştırma işlemi artmıştır. Ayrıca son yıllarda kentsel dönüşüm projelerinin artması kamulaştırma işlemlerini de aynı doğrultuda arttırmaktadır. Değişen ve gelişen dünyada vatandaşların ihtiyaçları ve beklentileri dönemsel farklılıklar göstermektedir. Çağa ayak uydurmak, gelişimi takip ederek güncel kalmak gerek şehirlerin gerekse ülkelerin turizm kapasitelerini ve rantını arttırmak, şehri zenginleştirmek, görüntüsel ve işlevsel durumunu iyileştirmek adına kamulaştırma projeleri günden güne önemini arttırmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; planlama yetkisine sahip olup yatırım yapmak durumunda olan Belediyelerin yatırımlarını hayata geçirmeye çalıştıkları bölgelerdeki mülkiyet problemlerinin çözümü için uygulanan kamulaştırma öncesi, sırasında ve sonrasında yaşanan sorunlar ele alınmış, ayrıca sorunlara çözüm önerilerine yer verilmiştir. Söz konusu kamulaştırma projeleri ağırlıklı olarak Gaziantep ilinden örneklerle bunun yanı sıra Kilis, Adıyaman, Kahramanmaraş gibi çevre illerden de ilgili konu hakkında veriler kullanılmıştır. Tespit edilen sorunların ve sunulan çözüm önerilerinin ülkemizin her yerinde devamlı yapılan ve yapılacak olan kamulaştırma projelerine ışık tutması, yaşanan sorunlara genel bir bakış açısı sunması, çalışma sonucunda tespit edilen sorunların çözümü için ilgili kurum ve kuruluşların konu hakkında plan ve projeler geliştirmesi, Harita Mühendisi meslektaşlarımızın yaşadığı problemlere değinilmesi ve en aza indirilmesi, vatandaşın aklındaki soru işaretlerinin dağılması ve memnuniyetin artması, devletin kamulaştırma projeleri için ayırdığı bütçeyi vatandaş için en doğru şekilde planlaması gibi hedeflere ulaşması beklenmektedir.

## 2.KAMULAŞTIRMA ve Kamulaştırmanın genel sorunları

### 2.1.Kamulaştırma Kavramı ve Tanımı

Kamulaştırma, devlet ve kamu tüzel kişilerinin, kamu yararının gerektirdiği hallerde, gerçek karşılıklarını peşin ödemek şartıyla, özel mülkiyette bulunan taşınmaz malların tamamının veya bir kısmının kanunla gösterilen esas ve usullere göre, mülkiyetini zorla devralmasıdır. Kamulaştırma, mülkiyet hakkına kamu yararı amacıyla kanunla getirilmiş ve dolayısıyla Türkiye Cumhuriyeti Anayasasının 35'inci maddesine uygun bir sınırlamadır. Kamulaştırma veya istimlak ibaresinin millileştirme veya devletleştirme ifadesi ile zaman zaman karıştırılması nedeniyle millileştirme ve devletleştirme kavramlarını kısaca tanımlamak gerekir. Millileştirme, yabancılara ait olan şirketlerin devletin kendisinin veya vatandaşlarının mülkiyetine alınması işlemi olarak ifade edilebilir. Kamulaştırmanın konusunu sadece taşınmazlar oluşturmakla birlikte, millileştirmenin konusu, bir özel iktisadi teşebbüs veya teşebbüsler grubunun mülkiyet ve yönetiminin kamu yararına tahsisidir. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası 46. Maddesine göre, Kamulaştırma, mülkiyet hakkının kamu yararı nedeni ile sınırlandırılması ve kamu yararı amacı ile özel hukuk kişilerinin taşınmaz üzerindeki mülkiyet hakkının gerçek bedelinin ödenmesi koşuluyla idareye geçirilmesine yönelik kamu gücüne dayanarak, yasaya uygun olarak gerçekleştirilen idari ve adli aşamadan oluşan bir süreci ifade eder. Anayasada da benzer ifadeler kullanılmaktadır: Devlet ve kamu tüzel kişileri; kamu yararının gerektirdiği hallerde, gerçek karşılıklarını peşin ödemek şartıyla, özel mülkiyette bulunan taşınmaz malların tamamını veya bir kısmını, kanunla gösterilen esas ve usullere göre, kamulaştırmaya ve bunlar üzerinde idari irtifaklar kurmaya yetkilidir (İŞCAN & VARGELOGLU, 2019).

Kamu hizmeti görmek üzere kamu hukuku kurallarına göre kurulmuş kamu idareleri ve kamu tüzel kişileri, kamu kurumu olarak adlandırılmaktadır. Kamu kurumlarının, kanunlardan aldıkları yetkiyle yürütmekle görevli olduğu; kentleşme hedefi olarak görülen çağdaş hayat düzeninin sağlanabilmesi, yaşam kalitesinin artırılabilmesi ve eğitim, sağlık, dinlenme, imar ve diğer altyapı ihtiyaçlarının beklentiler çerçevesinde gerçekleştirilebilmesi, sürekliliği ve düzeninin korunması için, diğer kaynaklar yanında mülkiyete de ihtiyaç duyulur. İhtiyaç duyulan bu taşınmazlar, kimi zaman özel hukuk hükümleri çerçevesinde devlet tarafından satın alınabildiği ve eşit şartlarda hukuki sözleşmeler düzenlenebildiği gibi, kimi zaman da mal değişimine, trampaya konu olabilmekte veya hibe yoluyla da elde edilebilmektedir.

Bazı durumlarda da bu malların edinilebilmesi için sözleşme yapmak yetersiz olabilmekte; mülk sahipleri bu taşınmazları devlete vermekten çekinebildiklerinden; kamu yönetimlerinin tek taraflı iradeleri ile kişi rızası olmaksızın elde etme aracı olan diğer yol kullanılabilmektedir; kamulaştırma. Ancak burada kamu ihtiyacı, mülkiyet hakkının sınırsız olmaması ilkesinin verdiği yetki ile karşılanırken, kişilerin mağdur edilmemesi ve ikisi arasında bir denge kurulması esastır.

Tarih boyunca insanları en çok uğraştıran konulardan biri, mülkiyet haklarını toplumsal gerçeklere ve ihtiyaçlara göre sınırlandırma getirme zorunluluğu olmuştur. Çünkü, mücadele içgüdüünün göstergelerinden biri sayılan mülkiyet düşüncesinin, sınırlandırılması hep büyük zorluklarla gerçekleştirilebilmiştir (Ülger, 2010).

Kentsel toprak politikaları uygulama araçlarından kamulaştırma, mal üzerinde bireylerin mülkiyet hakkına müdahale eden ve ortadan kaldıran en ağır düzenleme olması sebebiyle bireyi ve toplumu en çok etkileyen sosyal, teknik ve hukuki bir sınırlandırma işlemidir.

Hukuki çerçeveye uygun yürütülen bir kamulaştırma işleminden daha ağır; sonuçları itibarıyla daha etkileyicisi ve çarpıcısı ise; kamulaştırmaz el atmalardır. Kurallarına uygun yürütülen bir kamulaştırma sürecinde bile, malikin katlandığı külfet kamulaştırma bedeli ile bir nebze giderilmeye çalışılırken, sosyal hukuk devleti ile bağdaşmayan, maliki yok sayan ve “yok” hükmünde olan kamulaştırmaz el atma, sosyal yaşamdaki kimi huzursuzluklara, politik ve ekonomik patlamalara yol açar (Ulusoy, 2002).

Ulusal ve uluslararası mevzuatın üzerinde çokça durduğu ve korumaya çalıştığı bireysel hakların zorla kamu mülkiyetine geçirilmesi, kamulaştırma sürecinin yöntemini ve sonuçlarını daha da önemli kılmaktadır (Çavuşoğlu, 2004).

1982 yılında revize edilen T. C Anayasasının 35. ve 46. Maddelerine dayalı olarak 04.11.1983 tarihinde yürürlüğe giren 2942 sayılı Kamulaştırma kanununa göre dokunulmaz olan mülkiyet hakkı kamu yararı olması halinde ve bedeli peşin ödenmek koşulu ile sonlandırılabilir.

## 2.2.Mülkiyet Hakkı

İnsan değerli ve onurlu varlık olduğundan dolayı diğer varlıklardan ayrılması değeri ortaya çıkmaktadır. İnsanın onuru entelektüel bir yapı üzerine inşaa edilmiştir. Her insanın yaşam kalitesi düzeyinde insanlık onuruna yakışır bir şekilde yaşaması gerekir. İnsan yaşama, öğrenme, barınma, çalışma, özgür olma, gelişme, örgütlenme, güvenlik ve dolaşım hakları, her biri kendi başına amaç olan, devredilemez, güçsüzlerin güçlülere karşı korunması amacına yönelik temel insan haklarıdır. Hak, insanın var olmasından doğan, yaşama, mülkiyet, seyahat, eğitim gibi, hukukun bir yetki ve yükümlülük olarak benimsediği bir aidiyettir (Evren, 2012).

Mülkiyet hakları olarak en önde gelenlerden olup sahip olunmaya elverişlidir. Malikler arasında soyut bir ilişki vardır. Eşya olarak sahip olunan gayrimenkul mal ve menkul mal mülkiyeti olarak hakka sahip olan bakımından, kişisel ve toplu mülkiyet şeklinde ikiye ayrılır.

İktisadi anlamda faydalanma, edinme ve sahip olma konusu edilebilen; insanlar fayda veren, temel hakları çerçevesinde ihtiyacını gideren, beklentilerini karşılayan; bütün eşya, menfaat ve haklara mal denilir. Konu oldukları hukuk sistemine göre mal ikiye ayrılır. Bireylere yönelik, amaca göre ve sınırlı kullanımlar tesis ediliyorsa özel mal; topluma yönelik, amaca göre ve geniş kullanımlar tesis ediliyorsa kamu malı ismi verilir. Kamu malı, herkesin ortak kullanımına konu; yol, köprü, okul, metro gibi yeryüzündeki veya altındaki sabit tesisler olabildiği gibi toplumun kısa veya uzun zamanda tamamının kesinlikle etkilendiği 'çevre' de miras, ortak mal, sahihsiz mal isimleriyle devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunduğu kabul edilen kamu malıdır.

## 2.3.Kamu Yararı Kavramı

Kamu yararı, çok işlevli bir kavramdır. Kamusal işlerin hukuka uygunluğunu ölçmede, devletin doğrulamasını yapmada kullanılan, temel hakların sınırlandırılmasında başvurulan, yargıcın kendiliğinden kullandığı yetkilerin alanı bakımından temel alınan, yönetime uygulanan özel kuralların uygulama alanını belirleyen bir ölçüttür. Faaliyetin, kamu hukukuna uygunluğunun ölçüsü ve ona devlet ya da kamu niteliği kazandıran kavram, kamu yararıdır.

Yönetim ve kamu hukuku ile siyaset biliminin en önemli dayanağı, kamu yararı kavramıdır. Kamu yararı; devlet, devleti temsil eden kamu kurumlarının hizmetleri ile kamu faaliyeti niteliğinde olan ve yapılan işlemin kamu hukukuna uygunluğunu gösteren bir ölçüt olarak kabul edilir (Ceylan, 2005).

## 3.KAMULAŞTIRMA SIRASINDA YAŞANAN GENEL SORUNLAR

- Kamulaştırma ile başka bir yerleşim birimine göç eden insanlar, eski çevrelerinden ayrılmaları nedeniyle davranış normlarını kaybetmekte, komşuluk ilişkilerini yeniden oluşturmakta ve gittiği yerde süregelen sosyal ilişkiler ağına dahi olmaya zorlanmakta, sonuçta uyumsuzluk göstermektedir. Bu Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde yapılan yasaların sadece teknik ve hukuki boyutunun düzenlendiğini aslında bunlardan daha önce ve öncelikle sosyal ve psikolojik boyutunun düzenlenmesi gerektiğini göstermektedir (Aytaç, 1987).

- Yerleşim yerini değiştirmek, göç etmek zorunda kalanlar, gittikleri yeni yerleşim birimlerinde yeni sorunların doğmasına sebep olmakta bu sebeple, kavimler göçü gibi oradakileri yerlerini değiştirmelerinin zorunlu olduğunu düşünmeleri sonucu doğmaktadır (Karakuş, 2006).
- Kamulaştırma ile ilgili genel olarak karşılaşılan sorunlar aşağıda belirtilmiştir. bu çalışmada bu sorunların yanısıra kentsel alandan kaynaklı sorunlar ele alınmış örnekler haritave belgelerle açıklanmıştır.

Kamulaştırma İle İlgili Genel Sorunlar :

- 1-Vatandaş Memnuniyeti
- 2-Mali Kaynak Sorunu
- 3-Bedel Tespiti Sorunu
- 4-Yasadan Kaynaklı Sorunlar
- 5-Teknik İşlemlerle İlgili Sorunlar
- 6-Uzlaşma İle İlgili Sorunlar
- 7-İdari İşlemlerle İlgili Sorunlar
- 8-Yargısal Sorunlar
- 9-Kurumsal Sorunlar
- 10-Toplusal Ve Psikolojik Sorunlar

#### **4.KENTSEL ALANLARDA KAMULAŞTIRMADA YAŞANAN SORUNLAR**

##### **4.1.Kamu Alanlarındaki Kaçak Yapıların İmar Uygulaması Sonrasında Kamulaştırma Sürecinde Yaşanılan Sorunlar**

İmar uygulamaları yapılmadan önce yapılan kaçak yapıların, imar uygulaması sonucunda yol, park vb. alanların tapu kütüğünde terkin işlemi yapıldığından kaçak yapıların malik tespitinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır.

Bir bölgede yapılaşmanın yapılabilmesi için o bölgenin 1/1000 ölçekli uygulama imar planının hazırlanıp onaylanması ve ardından 3194 sayılı imar kanununun 18.maddesi gereğince imar uygulamaları çalışmalarının tamamlanarak imar planına uygun yapılar yapılması gerekir. Bu şeklin dışındaki yapılan yapılar kaçak yapılaşma olarak adlandırılır.

Gaziantep de ne yazık ki yapılaşmaların büyük bir çoğunluğu kaçak yapılardan oluşmaktadır. Bunun da ana sebebi; Belediye Başkanının halkın oyları ile seçilmesinden dolayı, özellikle seçim zamanlarında oy kaybı yaşamamak için kaçak yapılaşmaya göz yummalarından kaynaklanmaktadır. Kaçak yapılaşmaların sonucunda bu bölgelerin ihtiyacı olan yol, park, okul alanı, dini tesis, belediye hizmet alanları vb. alanlar ayrılmadığından bu alanları üretebilmek için kamulaştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Aslında bu tür kamu yararı gözetilen alanların üretilebilmesi için öncelikle 3194 sayılı imar kanununun 18.maddesi gereğince imar uygulaması yapılması gerekmektedir. İmar uygulaması yapılmayan veya yapılamayan bölgelerde kamulaştırma işlemi ile mülkiyet sorunu çözümlenmelidir.

Kaçak yapılaşmanın olduğu bölgelerde imar planına göre imar uygulaması yapılsa bile tam olarak mülkiyet sorununun çözümü gerçekleşmeyebilir. Bu durumu daha önce yapılan bir uygulama ile anlatalım.

Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Mimar Sinan Mahallesi'nde 1/1000 ölçekli uygulama imar planına göre, 3194 sayılı imar kanununun 18.maddesi gereğince imar uygulaması yapılmadan önce aşağıdaki krokide (Şekil.1.) görüleceği üzere kaçak yapılaşmalar gerçekleşmiştir.



Şekil .1. Mimar Sinan Mahallesi imar uygulaması öncesi

Daha sonra bölgede yapılaşma olmasına rağmen aşağıdaki krokide (Şekil.2.) görüleceği üzere 1/1000 ölçekli uygulama imar planına göre, 3194 sayılı imar kanununun 18.maddesi gereğince imar uygulaması yapılmış ve taşınmazların maliklerine ait hisseler konut adalarına taşınmıştır.



Şekil .2. Mimar Sinan Mahallesi imar uygulaması sonrası

Yukarıdaki krokide (Şekil .2.) görüleceği üzere 3985 numaralı konut adası ile 3648 numaralı konut adası arası yola terk edilmiş olup daha önce kadastro parseli olan taşınmazdaki hissedarlar konut adalarına hisseleri arsa vasfı kazanarak taşınmış ve mülkiyet sorunu çözülmüştür. Ancak her ne kadar imar uygulaması ile mülkiyet sorunu çözülmüş olsa dahi yolda kalan alanda yapılar mevcuttur. Yolda kalan yapılar taşınamayacağından yolun kullanıma açılabilmesi için toplam 8 adet binanın (yapıların) kamulaştırılmasına karar alınmıştır.

Kamulaştırma işlemi ile mülkiyet sorununun çözümü zor bir işlem iken kaçak yapılaşmanın olduğu ve arsaların imar uygulaması ile konut adasına taşındığı bölgedeki yolda kalan yapıların kamulaştırma işlemleri daha da zorlaşmaktadır. Arsa veya arsa ve üzerindeki yapı (muhdesat) ile birlikte yapılan kamulaştırmalarda, tapu kayıtlarına doğrudan ulaşabildiğimiz için kamulaştırması yapılacak taşınmazın malik tespiti daha kolay yapılmaktadır. Ancak yukarıdaki krokide (Şekil 5.2.) yolda kalan yapıların malik tespiti için imar uygulaması öncesindeki tapu bilgileri olan ada ve parsel bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. İmar uygulaması öncesindeki tapu bilgilerini de ya imar uygulamasını yapan kurumdan ya da kadastro müdürlüğünden temin ederek bulabilmekteyiz. Temin edilen eski ada parsel bilgilerine göre, Tapu Müdürlüğünde bulunan tapu kütüğündeki pasif kayıtlara bakılarak malikler tespit edilir ve kamulaştırılması yapılacak olan taşınmazlara yönelik zeminde yapılan malik tespiti ile karşılaştırılmaları yapılır. Böylelikle yapıların (muhdesatların) malik tespitleri yapılmaya çalışılır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda bazen, zeminde yapılan malik tespiti tapu kütüğündeki pasif kayıtlarda bulunmamaktadır. Bununla birlikte ya zeminde yapılan malik tespiti yanlış yapılmış olabilir ya da imar uygulaması yapıldıktan sonra mülkiyet sahibi taşınmazı başka birine satmış olabilir. Zeminde yapılan malik tespitindeki yanlışlıklar tekrar tespit edilerek giderilir. Eğer imar uygulaması yapıldıktan sonra mülkiyet sahibi taşınmazı başka birine satmış ise Kadastro Müdürlüğünden imar uygulaması yapılan taşınmazdaki maliklerinin hisseleri hangi yapı adalarına taşındığı tespit edilir. Dağıtım yapılan yapı adalarının tapu kütüklerindeki pasif kayıtlardan kimlere satış yapıldığına bakılır. Yapılan satış işlemi sonucunda yeni malikler ile zeminde yapılan tespitlerdeki isimler karşılaştırılarak kamulaştırılması yapılacak yapının (muhdesatın) malik tespiti yapılır. Ancak yine de malik tespitinin doğruluğunu desteklemek için Emlak beyan kayıtlarına, Elektrik, Su, Doğalgaz kayıtlarına ve İkamet kayıtlarına bakılır. Bu kayıtlarda tam doğru sonuç veremeye bilir emlak beyan kayıtlarında, taşınmaz el değiştirdiği halde beyan esas olduğundan eski malik ismi çıkabilir. Elektrik, Su, Doğalgaz ve İkamet kayıtları da kirada oturan kişilerin adına kayıtlı olabilir. Kamulaştırmayı yapan kurum için, yukarıda bahsettiğimiz tapu kayıt tetkikleri malik tespiti için esas alınır.

Taşınmazlara ait malik tespitleri yapıldıktan sonra taşınmaz maliklerine tebligat yapıp, anlaşma usulü ile sadece yapıların bedelleri ödenmiş, binalar tahliye edildikten sonra yıkım işlemleri gerçekleştirilmiş ve kamuya ayrılan yol asfaltlanarak kullanıma açılmıştır.

#### **4.2.Kamulaştırma İşlemi Yapan İdare ile Farklı Kamu Kurumlarının Aynı Bölgede Birbirinden Bağımsız Çalışması Durumunda Kamulaştırma Sürecinde Yaşanılan Sorunlar**

Bir bölgede kamulaştırma işlemleri yapan idareden bağımsız olarak başka kamu kurumunun aynı bölgede yaptığı çalışmalardan dolayı kamulaştırma sürecinde sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

Gaziantep İli, Araban İlçesi, Yukarıkaravaiz Mahallesi yolda kalan parselden dolayı taşınmaz sahibi tarafından, yolda kalan alanın bedelinin ödenmesine ilişkin yoldan sorumlu idare olan Gaziantep Büyükşehir Belediyesine “Kamulaştırmatsız El Atma” davası açmıştır.

Kamulaştırmatsız el atma durumu 2 şekilde olur.

1.Fiili el atma durumu

2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu kapsamı içinde, kamulaştırma işlemi yapılmamış veya kamulaştırma işlemine başlanılmakla beraber kamulaştırma işlemi tamamlanmamış olmasına

rağmen, idare el koyarak bir taşınmaz mal üzerinde tesis veya bina yapar yahut o taşınmaz malı kamu yararına yönelik bir hizmete tahsis ederek mal sahibinin dilediği gibi kullanma hakkına karşı herhangi bir girişimde bulunursa, kamulaştırmatsız el koyma söz konusudur.

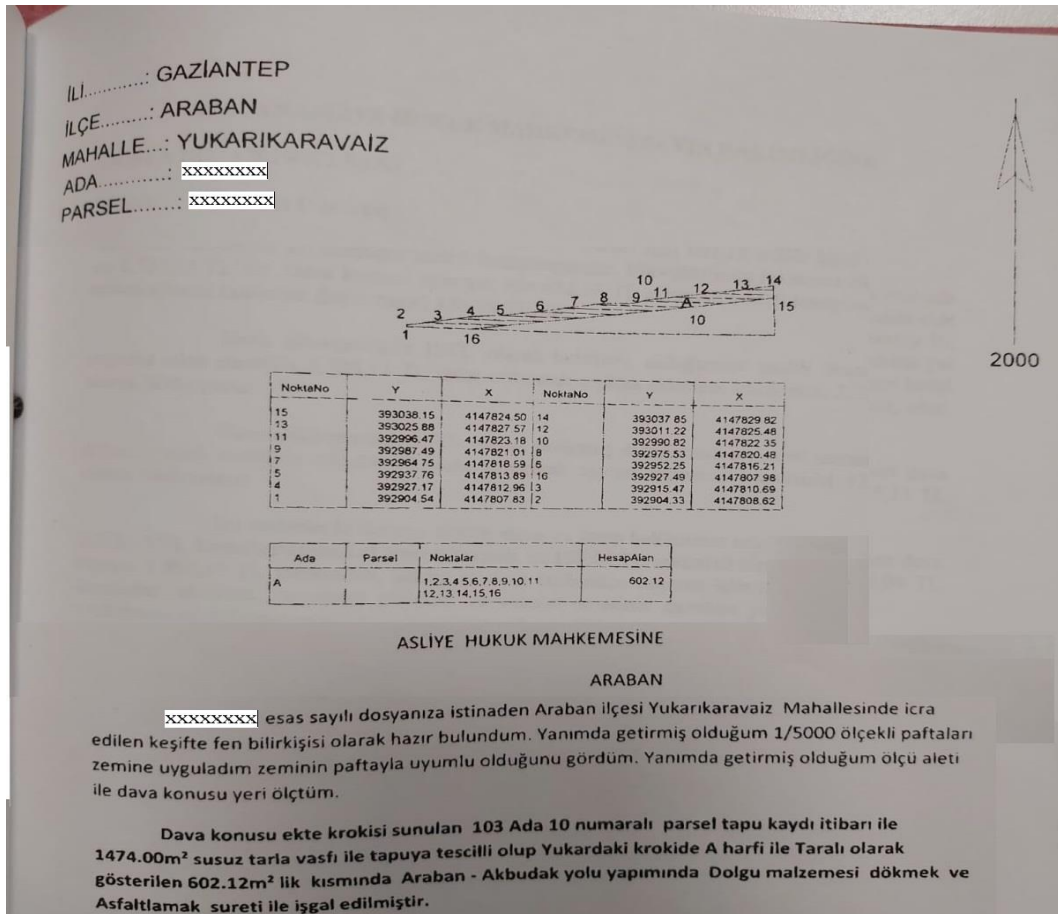
## 2.Hukuki el atma durumu

İmar planları kapsamında bir kamu ihtiyacına tahsis edilerek malikin tasarruf hakkının kısıtlandığı durumlarda söz konusudur. İmar planında okul, ibadethane, karakol, yol, meydan, yeşil alan gibi umumi hizmetler için ayrılan alanlarda kalan parsellerin, planın onaylandığı tarihten itibaren 5 yıl içerisinde herhangi bir faaliyette (Kamulaştırma veya imar kanununun 18.madde uygulaması) bulunulmaması durumunda maliklerinin haklarının kısıtlanması sonucunda kamulaştırmatsız el atma söz konusu olur.

Bu iki durumdan birinin gerçekleşmesi durumunda kamulaştırmatsız el atma davası açılabilir. Fiili el atma durumunda Asliye Hukuk Mahkemelerine, Hukuki el atma durumunda ise İdare Hukuk Mahkemelerine dava açılabilir.

Gaziantep İli, Araban İlçesi, Yukarıkaravaiz Mahallesinde bulunan taşınmaz üzerine kısmen asfalt yapılması sonucunda fiili el atma söz konusu olduğundan dolayı taşınmaz maliki tarafından Asliye Hukuk Mahkemesine “Kamulaştırmatsız El Atma” davası açılmıştır.

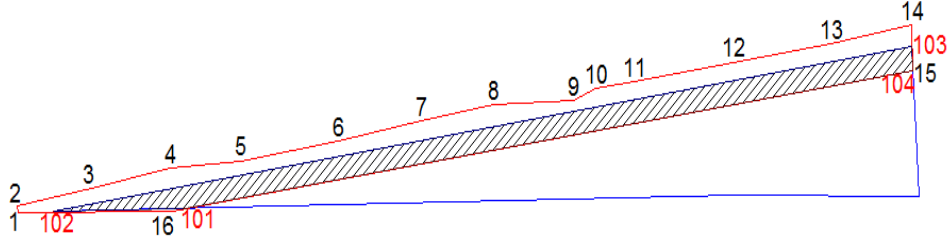
Açılan davaya ilişkin Asliye Hukuk Mahkemesi tarafından bilirkişi heyeti tespit edilmiş ve bilirkişi heyeti tarafından dava konusu taşınmazın yerinde tespitlerini yapıp rapor olarak Mahkemeye sunmuştur. Asliye Hukuk Mahkemesi Ara Kararında bilirkişi raporunda belirtilen bedelin davacı adına bloke edilmesine karar vermiş ve davalı Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından davacı adına bankaya blokesi yapılmıştır. Fen bilirkişisinin hazırlamış olduğu raporda yolda kalan kısmı 602,12 m<sup>2</sup> olarak (Şekil .3.) hesaplamıştır.



Şekil .3. Fen bilirkişi raporu



Dava devam ederken dava konusu taşınmazın bulunduğu bölgede Kadastro Müdürlüğü 22/a çalışmalarına başlamış ve kesin askı sürecini tamamlamıştır. Kadastro Müdürlüğü'nün 22/a çalışması sonucunda dava konusu taşınmaza ait yeni sınırları gösteren koordine özet çizelgede yolda kalan kısım 324,90 m<sup>2</sup> olduğu (Şekil .4.) gözükmektedir.



NoktaNo	Y	X	NoktaNo	Y	X
104	393038.08	4147824.49	103	393037.91	4147827.36
101	392929.26	4147808.24	102	392909.69	4147807.88

Ada	Parsel	Noktalar	HesapAlan
A		101,102,103,104	324.90

Şekil .4. Yeni sınırlar koordine özet çizelgesi

Kamulaştırmaz el atma davası devam ederken Asliye Hukuk Mahkemesine, Kadastro Müdürlüğü tarafından 22/a çalışması yapıldığını, 22/a çalışması sonucunda parselin alanında artma veya azalmanın meydana geleceği gibi parselin yolda kalan alanında da değişimin olabileceğini, bu sebepten dolayı 22/a çalışmalarının bitimine kadar davanın ertelenmesi gerektiği bildirilmiş, ancak Asliye Hukuk Mahkemesi Fen bilirkişi raporundaki alanın (Şekil .3.) yola terkinine hükmetmiştir.

Asliye Hukuk Mahkemesinin kararı Kadastro Müdürlüğüne yola terkin işleminin yapılabilmesi için gönderilmiştir. Kadastro Müdürlüğü 22/a çalışmaları tamamlanmadan hükmü yerine getiremeyeceklerini ve 22/a çalışmalarının tapuya tescili akabinde hükmün uygulayacaklarını bildirmiştir.

Kadastro Müdürlüğü; 22/a sonucunda dava konusu taşınmazın alanın değişimi ile terkin işlemini ya Asliye Hukuk Mahkemesinden tavzih kararı alınarak ya da tavzih kararının söz konusu olmaması durumunda yolda kalan alan kadar kısmın yola terkinini yapılacağı bildirilmiştir.

Asliye Hukuk Mahkemesinin kararı ile bilirkişi raporundaki bedel davacı adına yatırılmış, ancak yolda kalan alanda azalma meydana geleceği ve kamulaştırma bedelinde de azalma olacağından fazla yatan kısmın iadesi gerekecektir.

#### 4.3.Tapu Müdürlüğünde Tescil İşlemi Yapılmadan Senetle (Muhtar Senedi, Noter Senedi, Adi Senet Vb.) Yapılan Satışlar Sonrasında Kamulaştırma İşlemleri Yapıldığı Takdirde Yaşanılan Sorunlar

Bir taşınmazın kamulaştırma işlemi yapılırken taşınmazın malik tespiti (mülkiyet sahibi) yapılması gerekir. Mülkiyet sahibi, taşınmazın ilgili Tapu Müdürlüğündeki, tapu kütüğündeki kayıtlı kişi veya kişilerdir. Bir taşınmazın alım-satımında alıcı ve satıcının ilgili Tapu Müdürlüğüne gitmeden

kendi aralarında senetle (muhtar senedi, noter senedi, adi senet vb.) yaptıkları satış tapuya tescil edilmediği sürece kamulaştırma işlemini yapan kurum nezdinde geçersizdir. Çünkü Kamulaştırmayı yapan kurum tapu kaydında kayıtlı kişi veya kişilerin imzası karşılığında tescil işlemini gerçekleştirebilmektedir.

## TÜRK MEDENİ KANUNU

**Madde 705-** Taşınmaz mülkiyetinin kazanılması, tescille olur.

Miras, mahkeme kararı, cebri icra, işgal, kamulaştırma hâlleri ile kanunda öngörülen diğer hâllerde, mülkiyet tescilden önce kazanılır. Ancak, bu hâllerde malikin tasarruf işlemleri yapabilmesi, mülkiyetin tapu kütüğüne tescil edilmiş olmasına bağlıdır.

Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Beyazlar Mahallesinde 1/1000 ölçekli uygulama imar planında 35 metre genişliğindeki yolda kalan toplam 44 adet binadan 41 tanesinin mülkiyet sahibi tapu kaydında mevcut iken 3 adet taşınmazın mülkiyet sahibi ise taşınmazlarını noter aracılığı ile satın aldıklarından tapu kaydında mülkiyet sahibi olarak gözükmemektedir.

Kamulaştırma işlemindeki malik tespiti yapılırken arazide yapılan tespitler ile bu 3 taşınmaz malikin tapu kütüğünde isimlerinin kayıtlı olmadığı anlaşılmış ve taşınmaz maliklerine durum hakkında bilgi verilmiştir. Taşınmaz malikleri de taşınmazlarını alırken noter aracılığı ile yaptıklarını (Şekil .1.-Şekil .2) belgeleri ile sunmuşlardır. Taşınmaz sahiplerine, her ne kadar noter aracılığı ile kendi aralarında satış sözleşmeleri yapsalar da satış sözleşmesinin tapuda tescil edilmediği takdirde, kamulaştırılacak alanın belediye adına tescil işlemlerini gerçekleştiremeyeceklerinden, kamulaştırma bedelindeki arsa bedelinin yasal olarak kendilerine ödenemeyeceği belirtilmiştir. Arsa üzerindeki yapılarının ise kendilerine ait olduğunu ispatlamaları için Emlak beyan bilgileri Elektrik, Su ve Doğalgaz aboneliklerinin kayıtları istenmiştir.

Taşınmaz malikleri ile yapılan uzun görüşmeler neticesinde taşınmaz malikleri, arsa bedelinin ödenmesi koşulu ile anlaşma yapacaklarını beyan etmişlerdir. Kamulaştırma işlemini yapan idare de bu sorunun çözümü için yapı bedelinin ödeneceğini ve arsa bedelini ise ileriki bir süreçte tescil işlemlerinin gerçekleştirebilmeleri neticesinde olacağını bildirmiştir.

Taşınmaz sahipleri ileriki bir süreçte arsalarının kendileri adına tescil edildiği takdirde arsalarının kamulaştırılıp bedelinin ödenmesi için kamulaştırma işlemini yapan idareye dilekçe ile müracaatta bulunmuş ve kamulaştırmayı yapan idarede arsalarının kendileri adına tescil edildiği takdirde kamulaştırılıp bedelinin ödeneği yönünde dilekçeye cevap vermiştir

Taşınmaz malikleri ile anlaşma usulü ile sadece yapıların bedelleri ödenmiş, binalar tahliye edildikten sonra yıkım işlemleri gerçekleşmiş ve kamuya ayrılan yol asfaltlanarak kullanıma açılmıştır.

### 4.4.Hissedarlı Bir Taşınmaz Üzerindeki Ağaçların Kamulaştırılmasında Yaşanılan Sorunlar

Kamulaştırma bedeli hesaplanırken, kamulaştırması yapılacak taşınmazın üzerinde bina, muhdesat ve ağaç olup olmadığına bakılır. Kamulaştırması yapılan taşınmazın arsa bedeli, bina ve muhtesat bedeli ile ağaç bedelleri, konusunda uzman kişiler (bilirkişiler) tarafından ayrı ayrı hesaplanarak toplanır ve kamulaştırması yapılacak taşınmazın kamulaştırma bedeli hesaplanmış olur.

Kamulaştırması yapılacak taşınmazların malik tespiti yapılırken taşınmazın tapu kaydı ve arazide edinilen bilgilerden yararlanır. Mülkiyet sahibinin tespiti dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Çünkü yanlış yapılan tespitler sonucunda geri dönüşü olmayan sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

Kamulaştırma bedelli yanlış kişilere ödenmesi durumunda kamuyu zarara uğratma söz konusu olabilir. Bunun sonucunda yasal süreçler devreye girer.

Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Yamaçtepe Mahallesi'nin bir kısmında 1/1000 ölçekli uygulama imar planına göre, 3194 sayılı imar kanununun 18.maddesi gereğince imar uygulaması yapılmış ve taşınmazların maliklerine ait hisseler konut adalarına taşınarak mülkiyet sorunu çözülmüştür. Ancak uygulama yapılmadan önce 1/1000 ölçekli uygulama imar planında park alanında kalan taşınmazlar üzerindeki bina, muhtesat ve ağaçlar taşınmadığından kamulaştırılarak sorun çözülmüştür.

İmar uygulaması yapılmadan önceki hali olan tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Yamaçtepe Mahallesi, ada 106, parsel 51' de kayıtlı taşınmaz (Şekil 5.) çok hisseli olup taşınmazın arsa hissedarların hisseleri konut adalarına taşınmış ve üzerindeki yapı, muhtesat ve ağaçların bedeli hesaplanarak hisseleri oranında kamulaştırma bedellerinin ödenmesi için hissedarlara tebligat yapılmıştır.



Şekil 5. Yamaçtepe Mahallesi 51 nolu parselin uydu krokisi

Yapılan görüşmeler neticesinde taşınmaza her ne kadar hissedar olsalar da resmi olarak ifraz işlemi yapılmadan kendi aralarında taşınmazı böldüklerini (Şekil 6.) ve kamulaştırma bedellerinin paylaşımını da hisselerine göre değil de kendilerince böldükleri şekilde hesaplanarak ödenmesini istemişlerdir.



Şekil 6. Yamaçtepe Mahallesi 51 nolu parselin taşınmaz sahipleri arasındaki kullanımı

Kamulaştırmayı yapan idare malik sahiplerinin isteği üzerine taşınmaz üzerindeki yapı, muhdesat ve ağaçların bedellerini 3 ayrı parselmiş gibi resmi bir rapor düzenlemeden hesaplamış ve hissedarlara ayrı ayrı bedelleri bildirilmiştir. Kamulaştırma bedelinin hisseleri oranında değil de ayrı ayrı hesaplanan şekilde ödenmesi için ise kendi aralarında muvafakatname düzenleyerek bütün hissedarların imzalaması neticesinde olabileceği bildirilmiştir. Çünkü arsa ve yapıların kimlere ait olduğu her ne kadar ispatlansa bile, hisseli bir yerde ağaçların kime ait olduğu ispatlanamaz. Hisseli taşınmazlarda taşınmaz sınırı içinde herkes her yere ortaktır.

Hisseli olan taşınmazların birçoğunun kamulaştırması bu yöntemle çözülmüş olup muvafakat vermeyen kişilerin taşınmazlarının kamulaştırma işlemi ise hisseleri oranında kamulaştırma bedeli ödenerek çözülmüştür.

#### **4.5.Taşınmaz Sahibinin İkamet Ettiği Adrese Ulaşamadığı Durumlarda Kamulaştırma Sürecinde Yaşanılan Sorunlar**

Kamulaştırma işlemini yapacak idare, taşınmaz mallar hakkında yapacağı kamulaştırmalarda satın alma usulünü öncelikle uygulamaları esastır. Bu sebepten dolayı öncelikle anlaşma usulü ile kamulaştırma işlemi yapılması için hak sahiplerine tebligat yapılması gerekmektedir.

Kamulaştırma işlemini yapacak idare, taşınmaz mal sahiplerine tebligat yapabilmesi için öncelikle ikamet adreslerine ulaşmaları gerekir bunu da çeşitli kamu kurumlarından (Belediyeler, Nüfus Müdürlükleri, Tapu Müdürlüğü vb.) yardım alarak yapabilir. Kamulaştırmayı yapan idare taşınmaz malikine ulaşamadığı takdirde anlaşma usulü ile kamulaştırma işlemini yapamayacağından, kamulaştırma işlemini Kamulaştırma Kanunu'nun 10. Maddesine göre "Bedel Tespiti ve Tescil" davası açarak Asliye Hukuk Mahkemesi tarafından tebligat yapılmaya çalışılır. Eğer Asliye Hukuk Mahkemesi tarafından da taşınmaz malikine ulaşamadığı takdirde Hâkim tarafından taşınmaz maliki adına kayyum atanarak kamulaştırma işlemi yapılır.

Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Bey Mahallesinde yapılan 5 adet parselin kamulaştırma işleminde 4 adet parselin taşınmaz sahiplerine, Şahinbey Belediyesinden istenen Emlak Beyan Dökümü ve Şahinbey İlçe Nüfus Müdürlüğünden istenen ikamet belgelerinden ulaşılmıştır.

Ancak 1 adet parselin taşınmaz malikinin Şahinbey Belediyesinde Emlak Beyanı bulunamamış ve Şahinbey İlçe Nüfus Müdürlüğünden gönderilen ikamet belgesinde de tebligat yapılabilecek detaylı bir adrese ulaşamamıştır.

Taşınmaz malikine tebligat yapılamadığından, Kamulaştırma Kanunu'nun 8.maddesine göre anlaşma usulü ile kamulaştırma işlemi yapılamamıştır. Kamulaştırma işlemini, Kamulaştırma Kanunu'nun 10. Maddesine göre taşınmaz maliki adına "Bedel Tespiti ve Tescil" davası açılarak yapılmıştır. Ancak dava açılabilmesi için; Gaziantep Büyükşehir Belediyesinin tebligat adresine ulaşamadığını, Şahinbey Belediyesinden, Şahinbey İlçe Nüfus Müdürlüğünden, Şahinbey Tapu Müdürlüğünden, İl Emniyet Müdürlüğünden istenilmiş olduğu taşınmaz malikinin adres bilgisini gösteren belgenin talep yazıları ve talepte bulunulan kurumlardan gelen cevap yazıları ilgili Asliye Hukuk Mahkemesine sunulmak üzere kamulaştırma dosyasına konulmuştur. Bu evrakların temini bile anlaşma usulü ile yapılan kamulaştırma işleminden daha fazla zaman almıştır.

Dava açıldıktan sonra taşınmaz maliki yurtdışı adresli olduğundan Asliye Hukuk Mahkemesi, Avustralya' daki Türk Konsoloslugu aracılığı sayesinde taşınmaz malikine gerekli tebligatı yapmıştır. Taşınmaz maliki yurtdışında olduğundan, mahkeme sürecinde yapılan yazışmalardan dolayı Kamulaştırma Kanunu'nun 10. Maddesine göre taşınmaz maliki adına açılan "Bedel Tespiti ve Tescil" davası daha fazla zaman almış ve bu da projenin hayata geçmesini geciktirmiştir.

#### 4.6.Tapu Müdürlüğündeki Tescil İşleminde Yapılan Hisse Hatası Sonucunda Kamulaştırma Sürecinde Yaşanılan Sorunlar

Kamulaştırma işlemi yapılacak olan bir parseldeki hisselerin toplamı 1/1 (Tam) olmalıdır. Hisselerin toplamı 1/1 (Tam) olmadığı takdirde kamulaştırma işlemi yapacak olan idare gerekli olan çalışmaları yapıp hatanın nerden kaynaklandığını bulması ve gerekli düzeltmelerin yapılması için gerekenleri yapması gerekmektedir. Aksi takdirde hisselerin toplamı 1/1 (Tam) den fazla olması durumunda kamulaştırma işlemlerinde fazladan bedel ödemesi yapılacaktır. Bu durumda kamuyu zarara uğratma söz konusu olacaktır.

Bir taşınmazın satış işlemi sonucunda, tapu kütüğünde satan kişinin hissesi kırmızı kalemle çizilmek suretiyle pasif duruma alınır ve o sayfanın en üstteki boş satırına satın alan kişinin ismi hissesi ile birlikte yazılarak tescil işlemi gerçekleştirilir. Ancak bu işlem elle yapıldığından, bazen hisse yazılırken sehven yanlış yazıla bilmektedir.

Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, 186 ada, 19 parselde kayıtlı taşınmaz için kamulaştırma kararı alınmış ve parseldeki hisselerin toplamı 1/1 (Tam) den fazla olduğu tespit edilmiştir. Necla AY' ın avukatı müvekkilinin hissesine tekâmül eden kamulaştırma bedelini Gaziantep Büyükşehir Belediyesinden talep etmiştir. Gaziantep Büyükşehir Belediyesi' de ilgili dilekçeye cevaben (Şekil 7.) taşınmazda hisse hatası olduğunu ve kamuyu zarara uğratmamak için hisse hatasının düzeltilmesi sonrasında kamulaştırma işlemi yapılabileceğini belirtmiştir.

Sayın: Av. Pervin UZUN  
1583/1 Sokak Rodkar İş Merkezi A blok No:6 D:114  
Bayraklı/İZMİR

İLGİ: 24.01.2017 tarihli dilekçeniz.

İlgi dilekçenizde;

1-) Müvekkiliniz Necla AY; Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 19' da kayıtlı taşınmazın 493/3975 payını satış yoluyla 30/05/2008 tarihinde temlik ettiğini, Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 1' de kayıtlı taşınmazın 738/254400 payını ise intikal yoluyla edindiğini belirtmişsiniz.

2-) Müvekkilinize; Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 19' da kayıtlı taşınmaz için herhangi bir tebliğat ve ödeme yapılmaksızın fiilen "Yol" olarak kullanıldığını belirtmektesiniz.

3-) Müvekkiliniz; Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 1' de kayıtlı taşınmaz ise imar planında yeşil alanda kaldığını ve fiilen el atıldığını belirtmektesiniz.

Söz konusu taşınmazlar ile ilgili uzlaşma yolu ile kamulaştırılmasını aksi takdirde yasal yollara başvuracağımızı belirtmektesiniz.

Bahsi geçen taşınmazlardan; Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 1' de kayıtlı taşınmaz hissedarlarından Müvekkiliniz Necla AY' ın hissesini Belediyemiz ile uzlaşma yolu ile tescil edildiği takdirde kamulaştırma bedeli müvekkiliniz adına ödenecektir.

Bahsi geçen taşınmazlardan; Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 19' da kayıtlı taşınmazın ise tapu alanı ile hissedarların hisse alanları toplamı birbirinden farklı olduğundan (hisse hatası olduğundan) kamuyu zarara uğratmamak adına hisse hatası düzeltildikten sonra kamulaştırma işlemi yapılacaktır.

Bilgilerinize rica olunur.

Şekil 7. Kamulaştırma bedeli istenilen dilekçeye cevap

Hisse alanlarının toplamı parsel alanından fazla olmasının sebebinin araştırılmak için Şahinbey Tapu Müdürlüğüne gidilerek, parsel için tapu kütüğü ve daha önce geldiği tapu kütükleri kontrol edilmiştir. Araştırmalar sonucunda eski tapu kütüğünden yeni tapu kütüğüne geçiş yapılırken Necla AY' a ait hissenin sehven yanlış geçirildiği tespit edilmiştir. Hisse hatasının düzeltilmesi için Şahinbey Tapu Müdürlüğü ile görüşülmüş ve hisse hatasının düzeltilmesi talep edilmiştir. Şahinbey Tapu Müdürlüğü de hisse hatasının düzeltilmesi için mülkiyet hissedarlarından hangisinin hissesi üzerinde hata var ise o hissedarın şahsen veya kanuni vekilinin dilekçe ile başvurması halinde hisse düzeltilmesinin yapılacağını bildirmiştir. (Şekil 8)

Mülkiyete hissedar olan Necla AY' ın avukatına, Necla AY' ın Şahinbey Tapu Müdürlüğüne dilekçe ile başvuru yapıp hisse düzeltilmesini yaptığı takdirde kamulaştırma işleminin yapılabileceği bildirilmiştir. Necla AY, hisse hatasının düzeltilmesi için Şahinbey Tapu Müdürlüğüne dilekçe ile başvuru yapmış ve hisse hatası düzeltilmiştir. Hisse hatası tapu kütüğünde düzeltildikten sonra Necla AY' ın hissesi anlaşma usulü ile kamulaştırılmıştır.

Sayın: Av. Pervin UZUN  
1583/1 Sokak Rodkar İş Merkezi A blok No:6 D:114  
Bayraklı/İZMİR

İLGİ: 17.07.2017 tarihli dilekçeniz.

İlgi dilekçenizde;

1-) Müvekkiliniz Necla AY' ın; tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 19' da kayıtlı taşınmazdaki 493/3975 hissesini satış yoluyla 30/05/2008 tarihinde temlik ettiğini, Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 1' de kayıtlı taşınmazın 738/254400 hissesini ise intikal yoluyla edindiğini belirtmektedir.

2-) Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 1' de kayıtlı taşınmazın uzlaşma talebi de göz önüne alınarak söz konusu hissenin tescilinin yapılmasını belirtmektedir.

3-) Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 19' da kayıtlı taşınmaz üzerinde müvekkilinizin hissesine ilişkin hisse hatası söz konusu ise; hataya ilişkin düzeltmenin yapılmasını, düzeltmenin ardından kamulaştırma işleminin yapılmasını talep etmektedir.

Bahsi geçen taşınmazlardan; Tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 19' da kayıtlı taşınmazın tapu alanı ile hissedarların hisse alanları toplamı birbirinden farklı olduğundan (hisse hatası olduğundan) kamuyu zarara uğratmamak adına hisse hatası düzeltildikten sonra kamulaştırma işlemi yapılacağı belirtilmiştir.

Söz konusu taşınmazın hisse hatasının düzeltilmesi ile ilgili Şahinbey Tapu Müdürlüğü ile şifai görüşmeler sonucu Şahinbey Tapu Müdürlüğü hisse hatasının düzeltilmesi için mülkiyet hissedarlarından hangi hisse üzerinde hata var ise o hissedarın şahsen veya kanuni vekilinin dilekçe ile başvurduğu takdirde hisse düzeltilmesini yapacağını bildirmiştir.

İlgili şahsın Şahinbey Tapu Müdürlüğüne dilekçe ile başvuru yapıp hisse düzeltilmesi yapıldığı takdirde tapunun Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Fidanlık Mahallesi, pafta 144, ada 186, parsel 1 ve 19' da kayıtlı taşınmazların kamulaştırma işlemleri yapılacaktır.

Bilgilerinize rica olunur.

**Şekil 8** Kamulaştırma bedeli istenilen dilekçeye cevap

#### 4.7.Taşınmazın Tapu Kütüğüne İşlenen Takyidatlardan (İpotek, Haciz Vb.) Dolayı Kamulaştırma Sürecinde Yaşanılan Sorunlar

Kamulaştırmayı yapan İdare, malik tespiti için kamulaştırma işlemi yapılacak taşınmazların tapu kütüğünü inceler. Taşınmazdaki mülkiyet sahiplerinin hisseleri üzerinde herhangi bir takyidat (ipotek, haciz vb.) var mı diye kontrolü yapılır. Tapu kütüğündeki hisselerden üzerinde takyidat bulunan kişilerle görüşülür ve bu şerhlerin kaldırılması istenir.

#### Kamulaştırma Kanunu'nun 8.Maddesinde;

“(Değişik altıncı fıkra: 20/8/2016-6745/31 md.) İdarece, anlaşma tutanağının tanzim tarihinden itibaren en geç kırk beş gün içinde, tutanakta belirtilen bedel hazır edilerek, idarenin anlaşma tutanağı ve kamulaştırma öncesi taşınmaz üzerindeki tüm takyidat ve haklardan arındırıldığını bildiren yazıya istinaden idare adına tapuya resen tescil veya terkin edilir. Tapuya resen tescil veya terkinden sonra kamulaştırma bedeli kendilerine ödenir.” İbaresini belirtmektedir.

Gaziantep İli, Şehitkamil İlçesi, Zeytinli Mahallesiinde yapılan kamulaştırma işlemindeki taşınmazlardan bir hissedarın hissesi üzerinde Gaziantep İcra Müdürlükleri tarafından konulmuş hacizlere rastlanılmıştır. (Şekil 9.)

TAŞINMAZA AİT TAPU KAYDI							
67721490927172	(SN:78756434) RAMAZAN ATILGAN : ALI Oğlu KN:21490927172	0	4844.000	252689.000	-	Mülkiyet ve Hisse Oranlarının Düzeltilmesi- 10.8.2012-24471	
ŞERH/BEYAN/İRTİFAK BİLGİLERİ							
S/B/I	Açıklama	Malik/Lehedar			Tarih-Yevmiye		
REHİN BİLGİLERİ							
Kurum	Rehin Alacak Kişi Tipi	Rehin Alacaklı Adı	Miktar	Derece	İştirak No	Yevmiye Tarih-Yevmiye No	
57316778083718	(SN:156822501) ALI KAYGIN : OKKEŞ Oğlu KN:16778083718	0	4844.000	252689.000	-	Satis-17.1.2013-1638	
ŞERH/BEYAN/İRTİFAK BİLGİLERİ							
S/B/I	Açıklama	Malik/Lehedar			Tarih-Yevmiye		
Serh	İcra Haciz : GAZİANTEP 8. İCRA MÜDÜRLÜĞÜ'nün 23/07/2013 tarih 2013/3101 sayılı Haciz Yazısı sayılı yazıları ile 22170 TL bedel ile Alacaklı : -gaski genel müdürlüğü lehine haciz işlenmiştir.						
Serh	İcra Haciz : GAZİANTEP 8. İCRA VE İFLAS MÜDÜRLÜĞÜ'nün 22/06/2015 tarih 2013/3101 sayılı Haciz Yazısı sayılı yazıları ile 24696 TL bedel ile Alacaklı : rüksat uydu lehine haciz işlenmiştir.						
Serh	İcra Haciz : GAZİANTEP 13. İCRA DAİRESİ'nin 15/03/2016 tarih 2015/201584 ESAS sayılı Haciz Yazısı sayılı yazıları ile 19122,17 TL bedel ile Alacaklı : GASKI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ lehine haciz işlenmiştir.						
Serh	İcra Haciz : GAZİANTEP 13. İCRA DAİRESİ'nin 23/10/2017 tarih 2015/201584 E. sayılı Haciz Yazısı sayılı yazıları ile 28671,71 TL bedel ile Alacaklı : GASKI GENEL MÜD. lehine haciz işlenmiştir.						
Serh	İcra Haciz : GAZİANTEP İCRA DAİRESİ'nin 14/01/2019 tarih 2018/29643 ESAS sayılı Haciz Yazısı sayılı yazıları ile 2532,46 TL bedel ile Alacaklı : toroslar elektrik dağıtım a.ş. lehine haciz işlenmiştir.						

Şekil 9 Takyidatlı tapu kaydı

Tapu kütüğündeki hissesi üzerinde hacizler bulunan mülkiyet sahibi ile görüşülmüş ve hacizlerin kaldırılması sonucunda anlaşma usulü ile kamulaştırma işleminin yapılacağı bildirilmiştir. Mülkiyet sahibi kamulaştırma bedelini kabul ettiğini, ancak hacizlerin kaldırılması için parasının olmadığını ve kamulaştırma bedelinden hacizlerin kaldırılması için gereken bedelin düşülerekten sonra kalan kısmın tarafına ödenmesi konusunda muvafakat verebileceğini beyan etmiştir.

Hacizlerin güncel bedellerinin ne kadar olduğu konusunda, hacizleri koyan Gaziantep İcra Daireleri ile ilgili gerekli yazışmalar yapılmıştır. Ancak toplam güncel hacizlerin bedeli kamulaştırma bedelinden daha fazla olduğundan dolayı anlaşma usulü ile kamulaştırma işlemi yapılamamıştır.

Çünkü kamulaştırma bedeli hacizlerin toplam bedelini karşılayamamıştır. Mülkiyet sahibinin hissesinin hacizli olarak alınması durumunda kamuyu zarara uğratma söz konusu olacaktır.

Kamulaştırma işlemini, Kamulaştırma Kanunu'nun 10. Maddesine göre taşınmaz maliki adına "Bedel Tespiti ve Tescil" davası açılarak yapılmıştır. Dava yoluyla kamulaştırma işlemi yaklaşık 2 yıl sürmüş ve projenin uygulanabilmesi daha fazla zaman almıştır. Dava sonucunda Asliye Hukuk Mahkemesi tarafından verilen kararda "Tapu Kaydında İpotek, Haciz vs. şerhi varsa bunun kamulaştırma bedeline yansıtılmasına" hükmetmiştir. (Şekil 10.)

**H Ü K Ü M :**Yukarıda açıklanan nedenlerle;

1-Talebin KABULÜ ile,

2- Karşı taraf Ali KAYGIN adına tapuda kayıtlı olan fen bilirkişisinin 04/08/2020 tarihli raporunda sınırları yeşil renk ile gösterilen **Gaziantep İli, Şehitkamil İlçesi, Zeytinli Mah. 4768 ada 4 parsel 'de kayıtlı taşınmazın** karşı taraf Ali Kaygın'ın hissesi olan **48,44 m<sup>2</sup>'lik** kısmının ve fen bilirkişisinin 04/08/2020 tarihli raporunda A ve B hartleri ile gösterilen **Gaziantep İli, Şehitkamil İlçesi, Zeytinli Mah. 4768 ada 4 parsel 'de kayıtlı taşınmazın** üzerinde bulunan Lefkoşe Caddesi 245 numaralı yapının kamulaştırma bedelinin **265.814,80 TL olduğunun TESPİTİNE, TAPU KAYDINDA İPOTEK, HACİZ VS. ŞERHİ VARSA BUNUN KAMULAŞTIRMA BEDELİNE YANSITILMASINA,**

3-Harç peşin alındığından mahsubu ile, yeniden alınmasına yer olmadığına,

4-Bilirkişi raporunda belirtilen bedelin talep eden tarafından ilgili bankaya birer ay vadeli **hesaba bloke edilmesine ve dekont örneğinin mahkememize ibrazına,** bedelin ilgiliye 10/11/2020 havale tarihli bilirkişi raporundaki hisseleri nispetinde derhal ödenmesine, **belirtilen bedel bankaya bloke edildiğinde ve dekontun mahkememize ibrazı halinde taşınmaza 4550 sayılı kanunla değişik 8. Maddesi gereğince ACELE EL KONULMASINA**

5- **7139 sayılı kanununun 29. Maddesiyle, kamulaştırma kanununun 27. Maddesine eklenen fıkra hükmü dikkate alınarak el koyma kararının derhal tapu müdürlüğüne bildirilmesi ile dava konusu taşınmazın başkasına devir, ferağ veya temlikinin yapılamayacağı hükmünün tapu kütüğüne şerh edilmesinin istenilmesine,**

6-Kamulaştırma Kanununun 10.Maddesi gereğince karşı tarafa dava dilekçesi, bilirkişi raporu, dekont ve mahkeme kararının tebliğine, kararın talep eden idareye tebliğine,

7-Yatırılan avanstan bakiye kalan kısmın yatıran tarafa iadesine,

8-Yapılan yargılama giderlerinin acele el koyma kararı isteyen üzerinde bırakılmasına

Dosya üzerinde yapılan inceleme sonucunda kesin olarak karar verildi. 09/02/2021

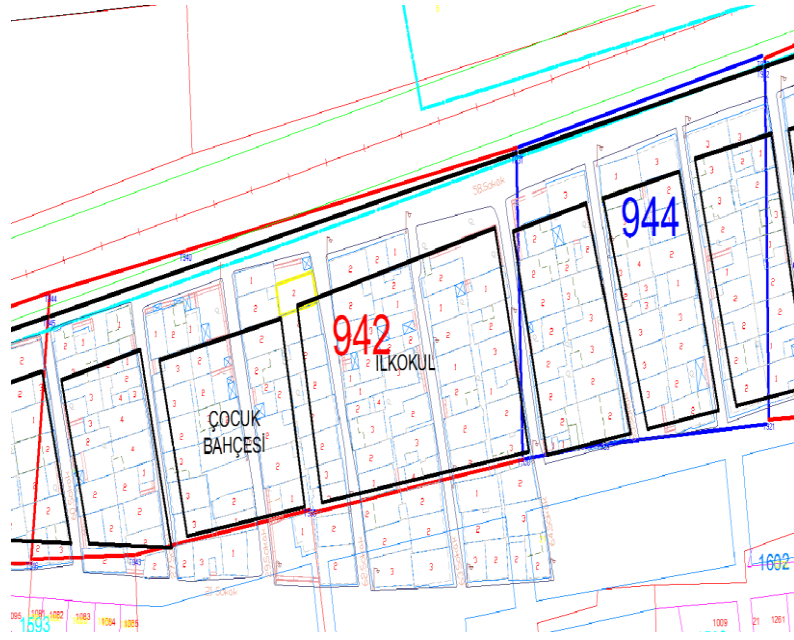
**Şekil 10** Asliye Hukuk Mahkemesi tarafından verilen karar

#### 4.8.Kamulaştırması Yapılacak Yapının Konum Bilgilerine Göre Arsasının Kamulaştırma Sahası Dışında Olduğu Durumlarda Yaşanılan Sorunlar

Taşınmaz satın alınırken, taşınmazı satan kişinin (Emlakçı vs.) arazide gösterdiği yer ile taşınmaza ait tapu bilgilerinden yararlanarak, taşınmazın mevcut konumu arazide aplike edilerek doğruluğu kontrol edilmelidir. Aksi takdirde arazide gösterilen yer dışında farklı bir taşınmazın satışı gerçekleşebilir. Satış sonrasında arazide gösterilen yeri satın aldığı zanneden malik tarafından, gerekli kurumlardan izin almadan taşınmaz üzerine kaçak yapı yapılabilmektedir. Bu tür durumlarda arsa ve binanın konumları farklı yerlerde olduğundan taşınmazın kamulaştırma işlemlerinde sorunlar yaşanabilmektedir.

Gaziantep İli, Şehitkâmil İlçesi, Göllüce Mahallesinde yapılan kamulaştırma işleminde arazide yapılan tespitler ve tapu kütüğündeki yapılan araştırmalar sonucunda arsa ve binanın farklı parsellerde olduğu ortaya çıkmıştır. Kamulaştırma işlemi yapılacak bölgedeki krokide (Şekil 11.) görüleceği üzere mülkiyet sahibinin üzerine kayıtlı arsası parsel 944' de iken binası 942 parsel üzerindedir.





**Şekil 11.** Göllüce Mahallesi imar ve halihazır durum krokisi

Taşınmaz sahibi ile yapılan görüşmeler neticesinde arsasının ve binasının farklı yerlerde olduğu bildirilmiştir. Taşınmaz sahibi de kendisinin taşınmazı satın aldığı dönemde satan kişinin binasının olduğu yeri gösterdiğini ve bunun üzerine de gösterilen yere binasını yaptırdığını söylemiştir. Mülkiyet sahibinin üzerine kayıtlı arsası parsel 944 ve binasının olduğu 942 parsel için Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından kamulaştırma kararı alınmıştır. Bu iki parselin kamulaştırma kararı olduğu ve kamulaştırma işlemi taşınmaz sahibinin de mağdur olmaması için hem arsası hem de binası anlaşma usulüne göre kamulaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Kamulaştırma işlemi yapılırken eğer taşınmaz malikinin arsası kamulaştırma sahası içerisinde kalmasaydı sadece yapı bedeli üzerinden kamulaştırma işlemleri yapılırdı. Bunun sonucunda da taşınmaz sahibine arsa bedeli ödenmeyeceğinden uzlaşma yoluyla kamulaştırma işlemini zorlaştıracağı gibi taşınmaz malikinin de yapılaşmış bir yerde arsası üzerinde tasarruf sahibi olması zorlaşacağından mağduriyeti söz konusu olacaktır.

#### **4.9. Arazi Yapılan Tespitin Yanlış Yapılması Sonucunda Kamulaştırmada Yaşanılan Sorunlar**

Ruhsatsız ve kaçak yapıların olduğu kadastro parsellerinde hisse bazlı satılan arsaların üzerine yapılan taşınmazların kimlere ait olduğunun tespitinin yapılabilmesi için arazide taşınmazın sınırlarının ve malik tespitinin yapılması gerekmektedir. Yapıların sınırı tespit edilirken çok dikkatli olunmalı alanında uzman kişiler tarafından gerekli hassasiyet gösterilerek belirlenmelidir. Arazi tespitlerinde yapılan yanlışlıklar bazen düzeltileceği gibi bazen de geri dönüşü olmayan hatalara sebebiyet verebilir.

Gaziantep İli, Şahinbey İlçesi, Kıbrıs Mahallesi için kamulaştırma kararı alınmıştır. Kamulaştırma kararı gereğince gerekli bütün evraklar hazırlanmış ve arazi tespiti yapılmıştır. Hali hazır krokide (Şekil 12.) kırmızı alanla gösterilen yapı bir bina olarak tespit edilmiştir.



Şekil 12 Halihazır kroki

Yapılan tespitler sonucunda bina yapı bedelleri ve arsa bedelleri hesaplanarak her taşınmaza ait kamulaştırma bedelleri hesaplanmıştır. Arazi tespitleri ile tapu bilgileri karşılaştırılarak halihazır krokide (Şekil 12.) kırmızı alanla gösterilen yapının taşınmaz sahibi ile uzlaşma görüşmeleri yapılmış ve kamulaştırma bedeli üzerinden anlaşma sağlanmıştır.

Ancak yapılan anlaşma sonucunda tapu tescil işlemleri gerçekleşmeden, hali hazır krokide (Şekil 13.) mavi alanlarla gösterilen yapıların iki bina olduğu, diğer bina sahibinin Şahinbey Belediyesine taşınmazının bedelinin ne kadar olduğunu sorması üzerine tespit edilmiştir.



Şekil 13. Halihazır kroki

Yapılan tespitin hatalı olduğunun belirlenmesi üzerine tespitlerin tekrardan yapılarak kamulaştırma bedelleri hesaplanmıştır. Taşınmaz maliklerinden daha önce uzlaşma görüşmesi yapıp anlaşma yapılan mülkiyet sahibi ile tekrardan görüşülerek sehven bir hata yapıldığını, daha önce yapılan anlaşmanın geçersiz olduğunu ve yapılan hatanın düzeltilip kamulaştırma bedelinin ne kadar olduğu bildirilmiştir. Taşınmaz sahibi daha önce yapılan anlaşmadaki bedeli kabul edebileceğini aksi takdirde anlaşma yapmayacağını bildirmiştir. Yapılan uzlaşma görüşmeleri sonucunda anlaşamadığından kamulaştırma işlemi, Kamulaştırma Kanunu'nun 10. Maddesine göre taşınmaz maliki adına "Bedel Tespiti ve Tescil" davası açılarak yapılmıştır. Dava yoluyla kamulaştırma işlemi yaklaşık 15 ay sürmüş ve projenin uygulanabilmesi daha fazla zaman almıştır.

Yapılan tespitin hatalı olduğu farkına varılmasaydı, yapılan anlaşma üzerine tescil işlemi gerçekleşip kamulaştırma bedeli taşınmaz maliki adına ödenecekti. Yapılan yanlışlığın, kamulaştırma bedelinin ödenmesi sonrasında anlaşılıysaydı, bunun üzerine kamulaştırma bedelinden fazla ödenen

kısmın iadesi için dava açılması gerekecekti. Hatta bu hatadan dolayı sorumlu kişilere zimmet dahi çıkabilirdi.

## 5.5.SONUÇ ve ÖNERİLER

### 5.1. 5.1Sonuçlar

3194 sayılı imar kanununun 18.maddesi gereğince imar uygulaması çalışmaları tamamlanmadan yapılan kaçak yapılar yüzünden hem kamulaştırma işlemlerinde malik tespitleri zorlaşmakta hem de ilgili belediye tarafından bu yapılara bedel ödenmektedir. Bu da hizmet verme açısından iş gücü, zaman ve bedel kaybına sebebiyet vermektedir..

Kamu kurumlarının birbirinden bağımsız bir şekilde yürüttükleri faaliyetler sebebi ile kurumların yapmak istedikleri projelerde değişiklikler yapmak zorunda kalması nedeniyle iş gücü, zaman ve bedel kaybına sebebiyet vermektedir.

Mülkiyet sahipleri taşınmazlarının satışını alıcı ile kendi aralarında ya da noter aracılığıyla düzenlenen senetlerle yapmakta Tapu Müdürlüğüne gitmeden kendi aralarında senetle (muhtar senedi, noter senedi, adi senet vb.) yapılan satışlar tapuya tescil edilmediği için yok hükmündedir.

Hisseli taşınmazlarda mülkiyet sahiplerinin ifraz işlemini resmi bir şekilde yaptırıp ilgili Tapu Müdürlüğüne tescil ettirmediği sürece, bütün hissedarlar taşınmaz üzerindeki her yere hisseleri oranında ortaktır. Hissedarların kendi aralarında yaptıkları bölümlenmeler resmi olarak geçersizdir.

Taşınmazların satış işlemi ilgili Tapu Müdürlüğünde yapılırken, tapu memuru tarafından tapu kütüğündeki tescil işleminde eski taşınmaz malikinin hissesini iptal edip yeni taşınmaz malikinin hissesini yanlış yazılmasından dolayı fazladan iş ve işlemlere t (hisse hatasının düzeltilmesi v.b) sebebiyet vermektedir.

Taşınmaz üzerindeki takyidatlardan dolayı taşınmaz sahibi ile anlaşılmış olsa dahi kamulaştırma işlemi gerçekleştirilememektedir.2942 sayılı kamulaştırma kanununun 10.maddesine göre “Bedel Tespiti ve Tescil” davası açılardan kamulaştırma işlemi gerçekleştirilmekte olup projenin uygulanması zaman almaktadır.

Taşınmaz satın alınırken, taşınmazı satan kişinin (Emlakçı vs.) arazide gösterdiği yer ile taşınmaza ait tapu bilgilerinden yararlanarak, taşınmazın mevcut konumu arazide aplane edilerek doğruluğu kontrol edilmediğinden, arazide gösterilen yer dışında farklı bir taşınmazın satışı yapılmaktadır.

Kamulaştırma işlemi yapılacak taşınmazın tespiti eksik yapılması nedeniyle taşınmaz kıymet takdirde hatalı yapılmaktadır.Hatanın düzeltilmesi ve tekrar gerekli tespitler tekrar yapılarak yapılmaktadır.

### 5.2. 5.2.Öneriler

Belediyeler vatandaşların ihtiyacını karşılayacak şekilde 1/1000 ölçekli uygulama imar planlarını hayata geçirmeli ve 3194 sayılı imar kanununun 18.maddesi gereğince imar uygulamaları çalışmalarını tamamlamalıdır. Belediyeler herkese hakkaniyetli davranarak imar çalışmalarını tamamlanmadan kaçak yapılaşmalara müsaade etmemeli ve kaçak yapılaşmayı önlemek için Yapı Kontrol Müdürlüklerinin aktif bir şekilde çalışmaları için uğraşmaları gerekmektedir. Böylelikle, plan tadilatları sonucunda yapılması gereken kamulaştırma işlemleri haricinde kamulaştırma işlemlerine ihtiyaç kalmayacak olup sosyal donatıları olan ve şehir trafiği olmayan daha kaliteli yaşam alanları oluşacaktır.

Kamu kurumları bir bölgede yapacakları projelere başlamadan önce gerekli bütün kurumlarla yazışmalarını tamamladıktan sonra projelerinin hayata geçirilmesi için faaliyetlerine başlamaları gerekmektedir.

Senetle yapılan satışların önüne bilmesi için gerekli bütün yasal düzenlemeler yapılarak caydırıcı yaptırımlar uygulanmalıdır. Taşınmazın satışı ilgili Tapu Müdürlüğünde yapılacağından, satış işlemine konu olan tapu harcı ve döner sermaye harcı da alınmış olunur.

Taşınmazlar ile ilgili yapılan satışlarda tapu kütüğündeki düzeltmeler elle yapıldığından birtakım hataların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu hataların ortadan kaldırılması için gerekli alt yapı sistemleri oluşturularak, tüm verilerin işlenmesi dijital ortamda yapılmalıdır.

Taşınmazın alım-satım işlemi yapılırken konum bilgilerinin doğruluğunun tespiti için gerekli yasal düzenlemeler yapılarak ilgili tapu müdürlüğü, taşınmazın satışının gerçekleştirilmesi için konum bilgilerinin tespitinin yapıldığına dair onaylı bir belge istemelidir.

Kamulaştırma işlemleri yapılırken bir taşınmazın kıymet takdirinde kullanılmak üzere yapılan bütün çalışmalarda gerekli hassasiyet gösterilmelidir. Yapılan işlemler acele edilmeden oto kontrollü bir şekilde yapılmalıdır. Bu sayede gözden kaçan yanlışlıklar düzeltilerek en doğru sonuca ulaşmamızı sağlar.

## KAYNAKLAR

Azrak, A. (2011). DEVLETLEŞTİRME, ANAYASA VE 3082 SAYILI KANUN.

Aytaç. (1987). Kamulaştırma ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar.

Karakuş, E. (2006). Göç olgusu ve eğitime olumsuz etkileri (Sultanbeyli örneği).

Ceylan, Ç. (2005). İstanbul Metropolitan Alanı'nda Kamulaştırma Yoluyla Elde Edilmiş Alanların Kullanım Biçimi: Avcılar İlçesi Örnekleme Fen Bilimleri Enstitüsü].

Çavuşoğlu, E. (2004). Hegemonik bir süreç olarak Türkiye kentleşmesi. Unpublished PhD Thesis, Mimar Sinan Fine Arts University.

Evren, N. (2012). Türkiye'de kamulaştırma çalışmaları için alternatif yaklaşımlar Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

İŞCAN, F., & VARGELOĞLU, F. (2019). Boru hattı kamulaştırma çalışmalarında karşılaşılan teknik, ekonomik, hukuki sorunlar ve çözüm önerileri. *Geomatik*, 4(3), 239-253.

Ulusoy, Y. (2002). İdarenin kamulaştırmaz el atması Pamukkale Üniversitesi].

Ülger, N. E. (2010). Türkiye'de arsa düzenlemeleri ve kentsel dönüşüm. Nobel Yayın Dağıtım.

Ceylan, Ç. (2005). İstanbul Metropolitan Alanı'nda Kamulaştırma Yoluyla Elde Edilmiş Alanların Kullanım Biçimi: Avcılar İlçesi Örnekleme Fen Bilimleri Enstitüsü].

Çavuşoğlu, E. (2004). Hegemonik bir süreç olarak Türkiye kentleşmesi. Unpublished PhD Thesis, Mimar Sinan Fine Arts University.

Evren, N. (2012). Türkiye'de kamulaştırma çalışmaları için alternatif yaklaşımlar Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

İŞCAN, F., & VARGELOĞLU, F. (2019). Boru hattı kamulaştırma çalışmalarında karşılaşılan teknik, ekonomik, hukuki sorunlar ve çözüm önerileri. *Geomatik*, 4(3), 239-253.

Ulusoy, Y. (2002). İdarenin kamulaştırmaz el atması Pamukkale Üniversitesi].

Ülger, N. E. (2010). Türkiye'de arsa düzenlemeleri ve kentsel dönüşüm. Nobel Yayın Dağıtım.

URL-1: <https://www.emektd.com.tr/tr/kamulastirma>

## Geleneksel Tip Isı Eşanjörlerinde Debi Değişiminin Akış Davranışına Etkisi

Mehmet Akif KARTAL<sup>1</sup>

### Giriş

Isı eşanjörleri, bir ortamdan diğerine ısı transferi gerçekleştirirken bunu en verimli ve tasarruflu bir şekilde yapmayı prensip edinmiştir. Isı transferinin ortamlar arası geçişini sağlamak için kullanılan cihazlara ısı değiştirici adı verilmektedir. Isı değiştiriciler kullanım yerlerine ve amaçlarına göre farklı farklı isimlendirilmeleri mümkündür. Örneğin, kullanılan akışkanların katı bir duvarla ayrılmış olan tiplerini direkt temaslı veya direkt temaslı olmayan tipteki ısı değiştiricileri olarak sınıflandırmak mümkün olabilmektedir. Isı değiştiriciler verimli bir ısı transferi için tasarlandıklarından endüstride ve sanayide kendine çokça yer bulabilmektedir. Örneğin ilaç ve kimya sanayinde kullanılabildiği gibi klima sektörü gibi soğutma sistemlerinde de kullanılabilmektedir.

Isı değiştiricilerin verimli ısı aktarma cihazları olmaları onları başlıca ekonomik unsurlar olarak karşımıza getirmektedir. Kullanım amacına uygun olarak tasarımı yapılan ısı eşanjörleri gerekli dataları kullanılacak ortamın şartlarına göre belirlemektedir. Kullanılacak akışkanlar sıvı, gaz veya her ikisinin de kullanıldığı kombinasyonlardan oluşabilir. Isı transferi sıvıdan gaza veyahut gazdan sıvıya şeklinde de gerçekleşebilmekte ve kullanım yerine göre tasarımları yapılmaktadır.

Isı değiştiricilerinde akışkan hızının değişimi önem kazanmaktadır. Konveksiyon yoluyla ısı transferini daha verimli bir halde aktarması için belirli bir hızda akışkanın akması belirli basınç düşüşlerine sebebiyet vereceğinden tasarım yapılırken, akışkanın hızı ve basınç düşümleri için gerekli tasarımsal gelişmeler yapılabilmektedir.

Dolayısıyla akışkan debisi bu noktada önem kazanmaktadır. Akışkan debisinin değişimiyle birlikte akışkan davranışında değişimler gözlemlenebilmektedir. Bu bölümde, akışkan debisinin farklı kütleli debiler olan 1.3 kg/s ve 2.2 kg/s 'deki değişimleri incelenmiş ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

### ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNİN TERMODİNAMİK İLE İLİŞKİSİ

Isı eşanjörleri, ısıyı farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla sıvı (yani sıvılar, buharlar veya gazlar) arasında aktarmak için tasarlanmış cihazlardır. Kullanılan ısı eşanjörünün tipine bağlı olarak, ısı transfer işlemi gazdan gaza, sıvıdan gaza veya sıvıdan sıvıya olabilir ve sıvıların karışmasını önleyen katı bir ayırıcı veya doğrudan sıvı aracılığıyla gerçekleşir. Yapı malzemeleri ve bileşenleri, ısı transfer mekanizmaları ve akış konfigürasyonları dahil olmak üzere diğer tasarım özellikleri de mevcut ısı eşanjör tiplerini sınıflandırmaya ve kategorilere ayırmaya yardımcı olur. Çok çeşitli endüstrilerde uygulama bulan bu ısı eşanjör cihazlarının çeşitli seçenekleri hem ısıtma hem de soğutma işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış ve üretilmiştir [1].

Bir ısı eşanjörünün tasarımı, ısı enerjisi akışı, sıcaklık ve diğer enerji biçimleriyle ilişkilerle ilgilenen bilim olan termodinamikteki bir alıştırma. Isı eşanjörü termodinamiğini anlamak için iyi

---

<sup>1</sup> Öğretim Görevlisi, Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi

bir başlangıç noktası, ısının transfer edilebileceği üç yolu iletim, konveksiyon ve radyasyonu öğrenmekten geçmektedir [2].

### İletim yolu ile ısı transferi

İletim, ısı enerjisinin birbiriyle temas halinde olan maddeler arasında iletilmesidir. Sıcaklık, bir malzemedeki moleküllerin ortalama kinetik enerjisinin bir ölçüsüdür - daha sıcak nesnelere (daha yüksek sıcaklıkta olan) daha fazla moleküller hareket sergiler. Daha sıcak bir nesne daha soğuk bir nesneyle (daha düşük sıcaklıkta olan) temas ettirildiğinde, iki malzeme arasında bir termal enerji transferi olur, daha soğuk olan nesne daha fazla enerjilenir ve daha sıcak olan nesne daha az enerjilenir. Bu işlem termal denge sağlanana kadar devam eder.

Isı enerjisinin bir malzemede termal iletimle aktarılma hızı aşağıdaki ifade ile verilir:

$$Q/\Delta T = k \cdot (A \cdot \Delta T)/d$$

Bu ifadeye, Q, t zamanında malzemedeki geçen ısı miktarını,  $\Delta T$ , malzemenin bir tarafı ile diğer tarafı arasındaki sıcaklık farkını (termal gradyan), A, malzemenin enine kesit alanı ve d, malzemenin kalınlığıdır. Sabit k, malzemenin termal iletkenliği olarak bilinir ve malzemenin içsel özelliklerinin ve yapısının bir fonksiyonudur. Hava ve diğer gazlar genellikle düşük termal iletkenliğe sahipken, metalik olmayan katılar daha yüksek değerler ve metalik katılar genellikle en yüksek değerleri gösterir [3].

### Konveksiyon yolu ile ısı transferi

Konveksiyon, ısıtılan hava veya su gibi bir sıvının hareketi yoluyla bir yüzeyden termal enerjinin aktarılmasıdır. Çoğu sıvı ısıtıldığında genişler ve bu nedenle daha az yoğun hale gelir ve sıvının daha soğuk olan diğer kısımlarına göre yükselir. Böylece bir odadaki hava ısıtıldığında daha sıcak ve daha az yoğun olduğu için tavana yükselir ve odadaki daha soğuk hava ile çarpışarak ısı enerjisini aktarır, sonra yoğunlaşarak tekrar yere doğru düşer. Bu işlem, doğal veya serbest bir konveksiyon akımı oluşturur. Konveksiyon, hidronik ısıtma sisteminde olduğu gibi ısıtılmış suyun bir borudan pompalanması gibi, zorlanmış veya destekli konveksiyon olarak adlandırılan yollarla da meydana gelebilir. Serbest konveksiyon için, ısı transfer hızı Newton'un soğuma kanunu ile ifade edilir [4].

$$Q = hc \cdot A \cdot (\Delta T)$$

Burada Q-noktası ısı transfer oranı, hc konvektif ısı transfer katsayısı, A konveksiyon işleminin meydana geldiği yüzey alanı ve  $\Delta T$  yüzey ile sıvı arasındaki sıcaklık farkıdır. Konvektif ısı transfer katsayısı hc, daha önce iletimle ilgili olarak bahsedilen malzemenin termal iletkenliğine benzer şekilde sıvının özelliklerinin bir fonksiyonudur.

### Radyasyon yolu ile ısı transferi

Termal radyasyon, ısıtılmış bir yüzeyden veya nesneden elektromanyetik dalgaların yayılmasını içeren bir ısı enerjisi aktarım mekanizmasıdır. İletim ve konveksiyondan farklı olarak, termal radyasyon dalga enerjisini taşımak için bir ara ortam gerektirmez. Sıcaklığı mutlak sıfırın (-273.15°C) üzerinde olan tüm nesnelere, tipik olarak geniş bir spektral aralıkta termal radyasyon yayar.

Radyasyonla ısı kaybının net oranı, Stefan-Boltzmann Yasası kullanılarak şu şekilde ifade edilebilir [5]:

$$Q = A \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_h^4 - T_c^4)$$

Burada Q birim zamanda ısı transferi,  $T_h$  sıcak nesnenin sıcaklığı (°K),  $T_c$  daha soğuk çevrenin sıcaklığı (°K),  $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabiti (değeri  $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ).  $\epsilon$  ile temsil edilen emisyon katsayısıdır ve malzemenin özelliklerine ve radyasyonu yansıtma, emme veya iletme yeteneğine bağlı olarak 0 ile 1 arasında herhangi bir değere sahip olabilir. Aynı zamanda malzemenin sıcaklığının bir fonksiyonudur.

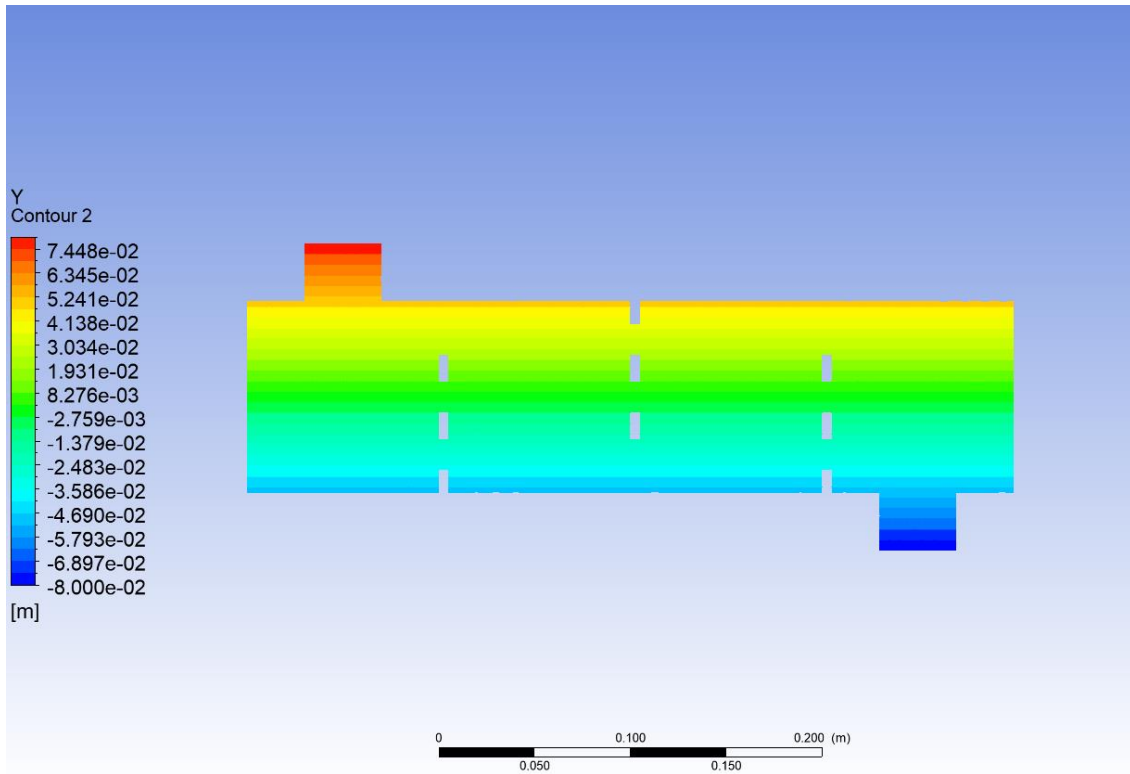
## GÖVDE BORULU ISI EŞANJÖRÜ

En yaygın ısı eşanjör tipi, kabuk ve borulu ısı eşanjörleri, sızdırmaz, silindirik bir basınçlı kap (yani kabuk) içine alınmış tek bir tüp veya bir dizi paralel tüpten (yani tüp demeti) yapılıdır. Bu cihazların tasarımı, bir akışkanın daha küçük boru(lar) içinden akacağı ve diğer akışkanın sızdırmaz kabuk içinde kendi dış(lar)ının etrafında ve aralarından akacağı şeklindedir. Bu tip ısı eşanjörü için mevcut olan diğer tasarım özellikleri arasında kanatlı borular, tek veya iki fazlı ısı transferi, karşı akım akışı, eş akım akışı veya çapraz akış düzenlemeleri ve tek, iki veya çok geçişli konfigürasyonlar yer alır [6].

Mevcut kabuk ve borulu ısı eşanjör tiplerinden bazıları sarmal bobinli ısı eşanjörleri ve çift borulu ısı eşanjörlerini içerir ve uygulamalardan bazıları ön ısıtma, yağ soğutma ve buhar üretimini içerir.

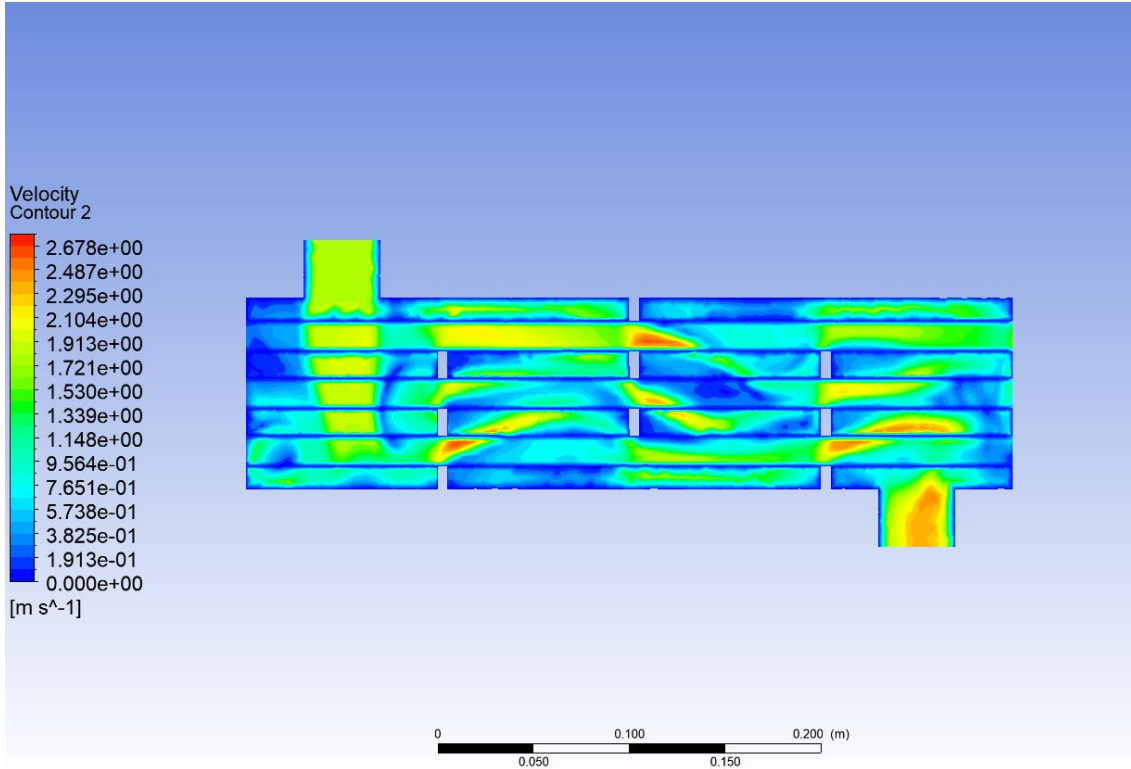
## FARKLI DEBİLERDEKİ ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN ANALİZİ

Geleneksel tipteki ısı değiştiricisinin kütesel debilerin 1.3 kg/s ve 2.2 kg/s olması durumunda akış davranışında değişiklikler meydana getirmektedir. Bu davranışları kullandığımız program sayesinde simüle ettiğimizde aşağıdaki verilerin elde edildiği gözlemlenmektedir.

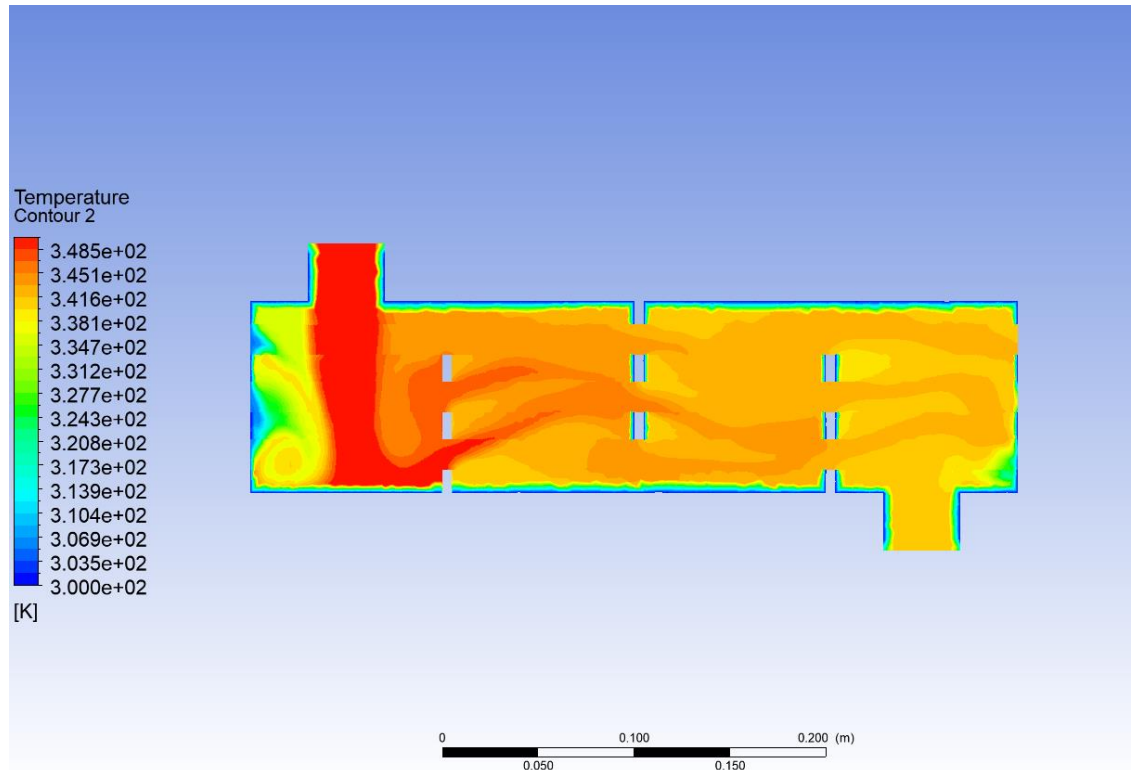


Şekil 1. Geleneksel tip eşanjörde debinin 2.2 kg/s olması durumundaki Y dağılımı

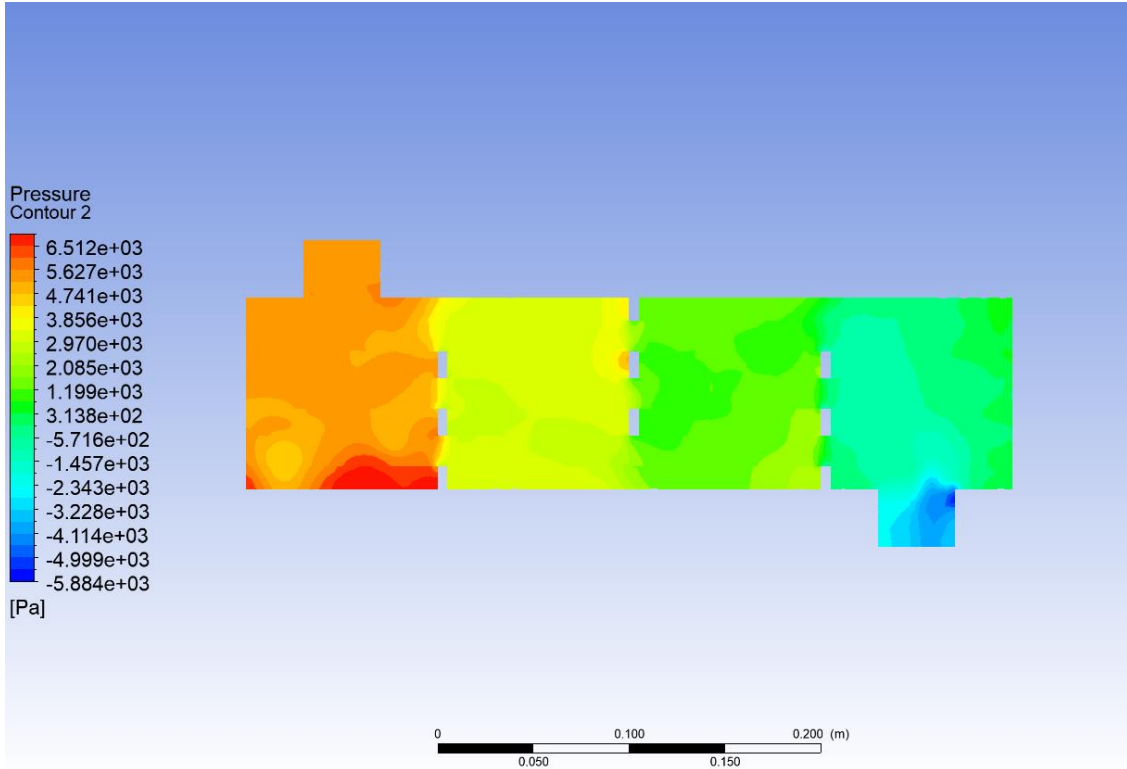




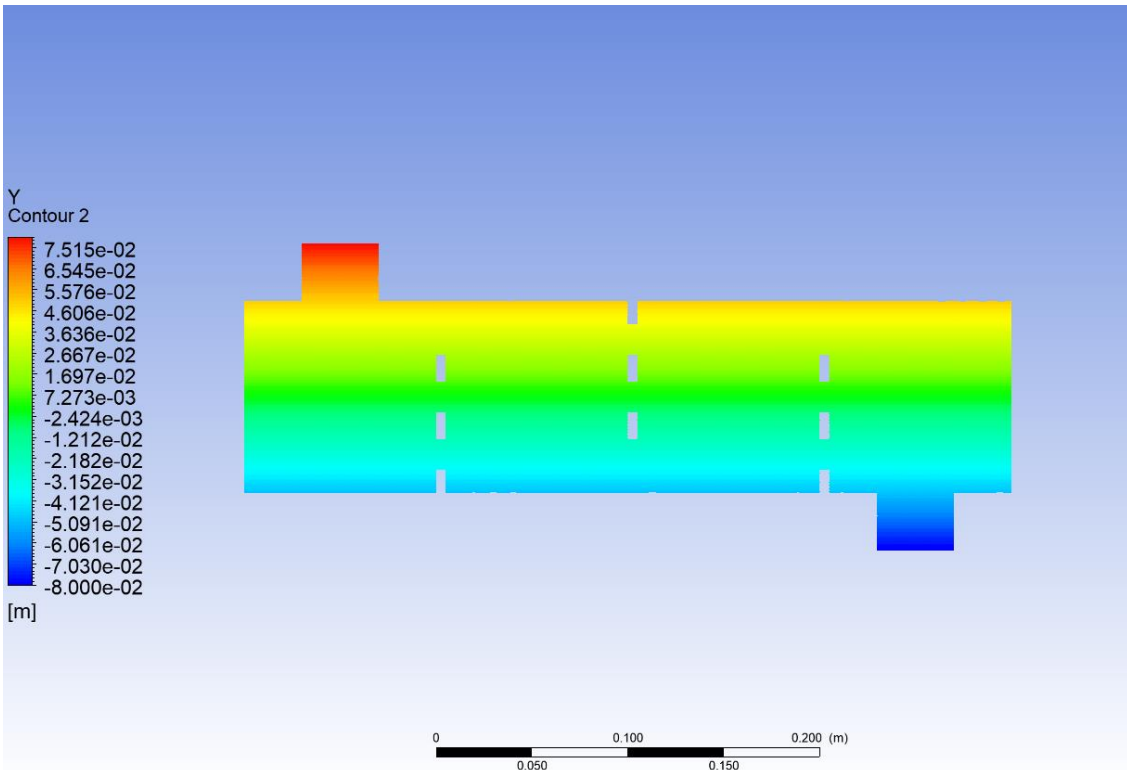
Şekil 2. Geleneksel tip eşanjörde debinin 2.2 kg/s olması durumundaki hız dağılımı



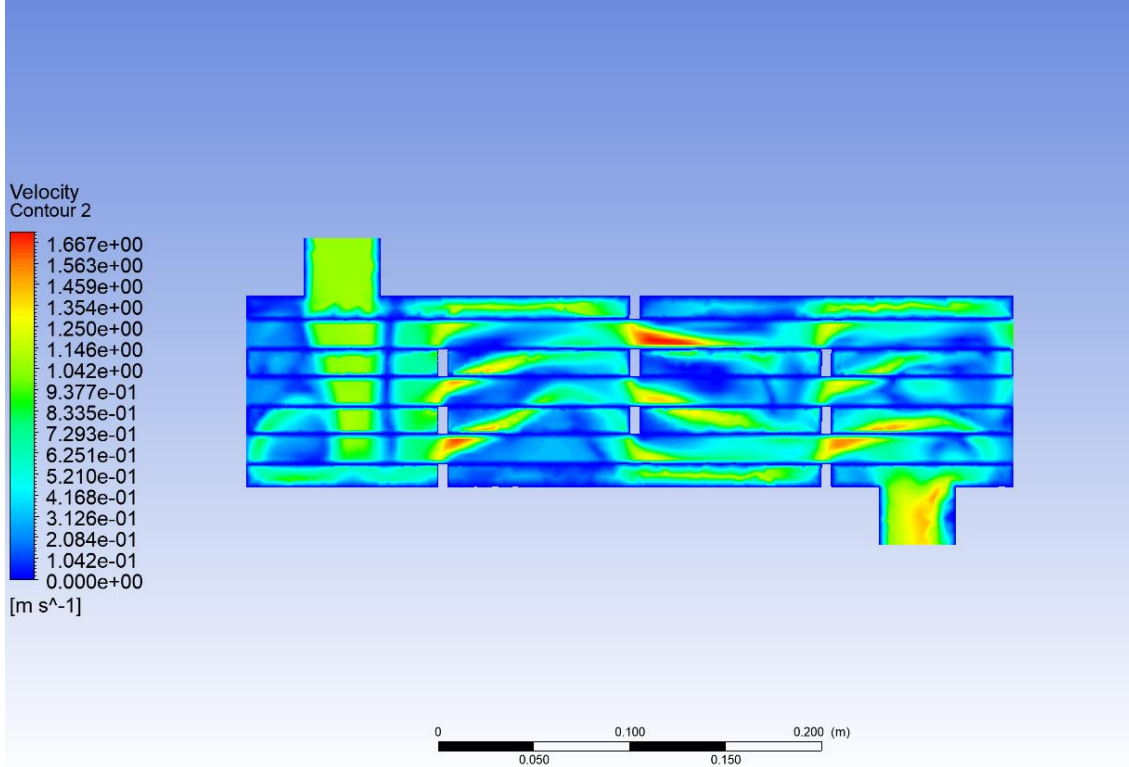
Şekil 3. Geleneksel tip eşanjörde debinin 2.2 kg/s olması durumundaki sıcaklık dağılımı



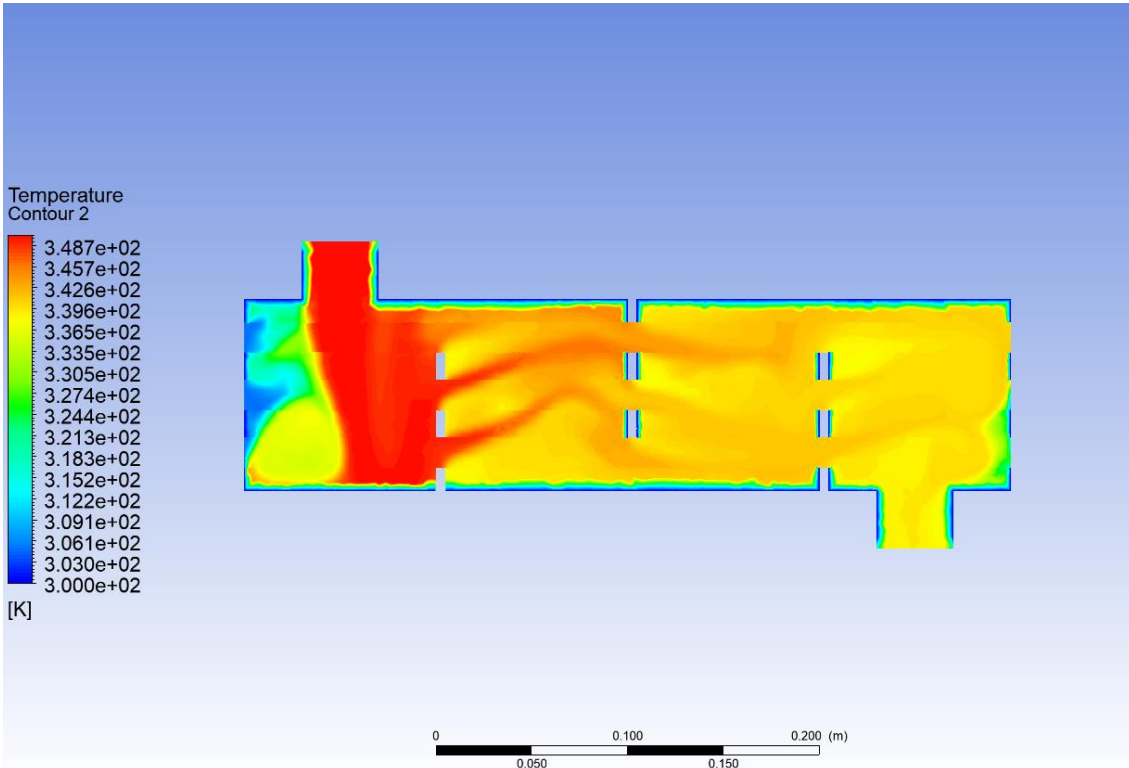
Şekil 4. Geleneksel tip eşanjörde debinin 2.2 kg/s olması durumundaki basınç dağılımı



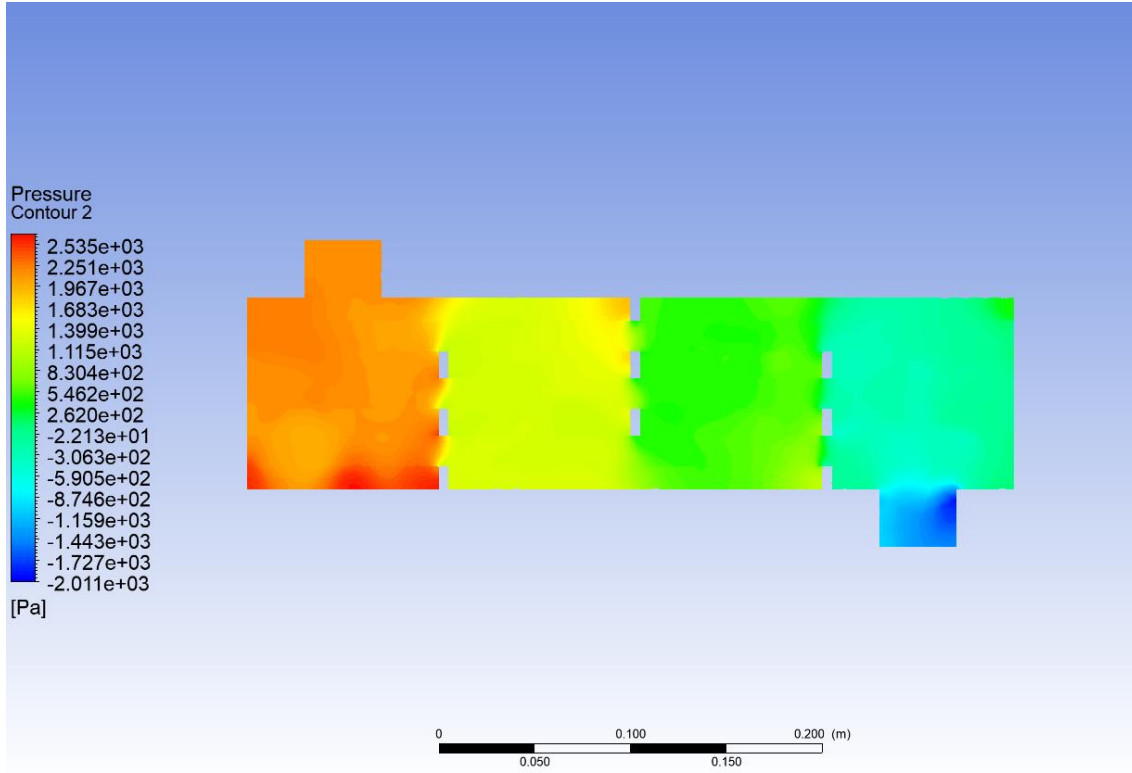
Şekil 5. Geleneksel tip eşanjörde debinin 1.3 kg/s olması durumundaki Y dağılımı



Şekil 6. Geleneksel tip eşanjörde debinin 1.3 kg/s olması durumundaki hız dağılımı



Şekil 7. Geleneksel tip Eşanjörde Debinin 1.3 kg/s olması durumundaki Sıcaklık dağılımı



Şekil 8. Geleneksel tip Eşanjörde Debinin 1.3 kg/s olması durumundaki basınç dağılımı

## SONUÇLAR

Bu çalışmada, konvansiyonel tipteki ısı değiştiricisinin gövde tarafındaki basınç düşüşü ve ısı transferine etkileri incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Gövde tarafındaki sıvının kütleli akış hızının artmasıyla basınç düşümü ve ısı transfer katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Buna göre, kütleli debinin 2.2 kg/s olduğu durumdaki sıvının basınç düşümü ve ısı transfer katsayısının, kütleli debinin 1.3 kg/s olduğu durumdaki sıvının basınç düşümü ve ısı transfer katsayısına göre kıyaslandığında debinin artmasıyla basınç düşümü ve ısı transfer katsayısının arttığı görülmüştür.

Konvansiyonel tipteki ısı değiştiricisinin gövde tarafındaki sıcaklık değişimi incelendiğinde kütleli debinin değişimiyle akışkan davranışının farklılaştığı görülmektedir. Kütleli debinin 2.2 kg/s olduğu durumdaki sıcaklık dağılımının, kütleli debinin 1.3 kg/s olduğu duruma göre daha homojen bir şekilde sıcaklık dağılımı olduğu gözlemlenmiştir. Kütleli debinin 2.2 kg/s olduğu durumda sıcaklık ortalamasının kütleli debinin 1.3 kg/s olduğu duruma göre daha yüksek olduğu ve homojenlik bakımından eşanjörde daha düzenli bir dağılımın olduğu görülmektedir.

Konvansiyonel tipteki ısı değiştiricisinin gövde tarafındaki hız değişimi incelendiğinde kütleli debinin değişimiyle akışkan davranışının ve  $Y$ 'ye göre değişimin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Kütleli debinin 2.2 kg/s olduğu durumdaki hız dağılımının, kütleli debinin 1.3 kg/s olduğu duruma göre daha hızlı hareket ettiği gözlemlenmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] A.E. Jones, Thermal design of the shell-and-tube, Chemical Engineering (2002) 60–65.
- [2] Jiji, L. M., 2003. Heat Conduction. Springer-Verlag, Berlin, 418p.
- [3] Baehr H. D. and Stephan K., 2006. Heat and Mass Transfer. Springer-Verlag, Berlin, 668p.
- [4] Godinez, F. A., Navarrete, M., Chavez, O. A., Merlin A. And Valdes J.R., 2015. Two fractal versions of Newton's Law of Cooling. Progress in Fractional Differentiation and Applications, 1, 133-143.
- [5] Hugh D. Young-Roger A. Freedman, 2009. University Physics; ISBN 10:0-321-50130-6 sf 596
- [6] E.U. Schlunder (Ed.), Heat Exchanger Design Handbook, vol. 3, Hemisphere Publishing Corporation, 1986.

## Eğitimde Bulut Bilişim Kullanımı

Muammer AKÇAY<sup>1</sup>

### Giriş

Bilgisayar alanında her yıl köklü değişimler yaşanmaktadır. Fiziksel boyutu büyük hesaplama kapasitesi sınırlı bilgisayarlar ile başlayan serüven, bugün küçük boyutlarda oldukça iyi hesaplama kapasitesi olan bilgisayarlar kullanılmaktadır. İnternetin gelişip yaygınlaşması ile bilgisayar iletişimde yeni bir boyut kazanmıştır. Belirli noktalarda depolanan veriler internetin kullanımı ile birçok kullanıcıya ulaştırılmaktadır. Günümüzde kullanımı giderek artan bulut bilişim internet tabanlı bir teknolojidir. Geleneksel bilgi teknoloji sistemlerinden farklı olarak bulut bilişim ölçeklenebilir, platformdan bağımsız servis olarak hizmet verebilen bir yapısı bulunmaktadır. Bilgi işlem birimleri hızla bu teknolojiye uyum sağlamaya çalışmaktadır.

Teknolojideki değişimler eğitim alanındaki beklentileri arttırmaktadır. Beklentileri karşılayabilmek için eğitim alanındaki kurumların bilgi işlem altyapılarını beklentilere cevap verebilecek, güncel ve esnek tutmak kolay değildir. Bunu sürdürebilmek ilave işgücü ve maliyet gerektirmektedir. Ayrıca eğitim kurumunun bilgi işlem altyapısının kullanımı zamanla farklılıklar göstermektedir. Bilgi işlem altyapısı bazen ihtiyacı karşılamakta zorlanabilmekte, bazen de atıl kalabilmektedir. Her olası çalışma şartlarında kullanıcı beklentilerini karşılayabilecek, esnek bilgi işlem altyapısının kurulması ve yönetilmesi eğitim kurumlarına ilave bir yük oluşturmaktadır. Eğitim kurumu beklenen hizmetleri beklenildiği gibi yapamamaktadır. Bu nedenle eğitim kurumları kaynaklarını etkin, verimli yönetebilmek için bulut bilişim bir fırsat olarak çözüme katkı sağlayabilir (Sultan 2010; Sevlı ve Kucuksille 2012).

### Bulut Bilişim

Bilgi işlem donanım ve yazılım hizmetlerini altyapıyı kurmadan, kaynaklara sahip olmadan ve sadece internet aracılığıyla hizmetleri kullanarak kullandığın kadar öde modeli oldukça cazip ve popüler bir modeldir.

Bulut bilişim, kullanıcılara internet aracılığıyla ulaşılabilen uygulamalar, veri tabanları, dosya sunucuları, eposta hizmetleri, web hizmetleri gibi birçok servis sunabilmeyi ve kişisel bilgisayarlardaki yükü azaltmayı amaçlamaktadır. Bulut bilişimin temelinde dağıtık hesaplama modeline dayanmaktadır. Büyük veri depolama birimlerinden, hesaplama gücü dağıtık bilgisayarlardan sağlanmaktadır.

Bulut bilişimin özellikleri:

Talebe göre dinamik ölçekleme: Kullanım ihtiyaca göre kaynakları azaltabilmek, ilave kaynaklar ekleyebilmek

Düşük maliyet ve kullandığın kadar öde: Bulut bilişim büyük kurulum maliyetleri gerektirmez, Alınan hizmet kadar ödeme yapılır.

Servis düzeyi anlaşma: Bulut bilişim servis sağlayıcılar verdikleri hizmetin sürekliliği için servis seviyesi anlaşmalar sunmaktadır.

---

<sup>1</sup> Dr. Öğretim Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Veri merkezleri farklı yerdedir: Veriler farklı coğrafyada ve kullanıcılara yakın yerlerde tutulur. Yedekleri ise farklı merkezlerde kopyalanır.

Bulut Servis Sağlayıcılar:

Microsoft Azure (Azure)

Google Cloud Computing (GCC)

Amazon Web Sevileri (AWS)

Türkiye Bulut Servis sağlayıcıları (TR-bulut)

Alibaba Bulut hizmetleri (Alibaba)

Yandex Bulut hizmetleri (Yandex)

IBM Bulut (IBM)

Bu veya benzeri altyapıları kullanarak hizmet veren birçok firma bulunmaktadır.

### **Eğitimde Bulut Bilişim Uygulamaları**

Bulut bilişim internet içeriklerinin, bilgilerin ve saklanması gereken dosyaları sayısal ortam dosyalama sistemidir. Eğitim için kullanılan kaynakların saklanması, istenildiğinde hızlıca ve güvenilir bir şekilde ulaştırılması çok önemlidir. Ayrıca eğitim için bir araya gelen kullanıcıların kendi aralarında ve öğretmenle iletişim kurması son derece önemlidir. Kullanıcıların takip edilmesi ve değerlendirme olması gereken diğer özelliklerdir. Günümüzdeki uygulamalar bunların birçoğunu desteklemektedir. Güvenlik çalışmaları halen devam etmektedir.

### **Türkiye’de Eğitimde Bulut Bilişim Uygulamaları**

MicroSoft Windows Azure platformu üzerinde. NET teknolojileri kullanılarak geliştirilen bulut bilişim temelli eğitim portal geliştirilmiştir (Sevli ve Kucuksille 2012). Veriler SQL Azure veri tabanında tutulmakta, veri erişimi LINQ To SQL teknolojisi kullanılarak yapılmaktadır. Etkinlik, mesajlaşma, dosya paylaşımı, duyurular, dersler, yönetim modülleri bulunmaktadır (Sevli ve Kucuksille 2012).

Türkiye yapılan bulut bilişimle ilgili bazı çalışmalar (Armutlu ve Akçay (2013; 2012; 2015; 2014); Yavuz, Aytekin ve Akçay 2012; Aygün, Akçay ve Güneş 2016, Akçay 2012).

### **Karşılaştırma**

Bulut Bilişimin faydaları:

Kullanıcıların zaman ve yerden bağımsız faaliyetlerini gerçekleştirebilmelerini,

Kütüphane içeriği ve çevrimiçi kaynaklara elektronik ortamda erişebilmelerini sağlar.

Kullanıcıları elektronik olarak kayıt altına alıp, istenilen kriterlere göre sorgulanabilmesini sağlar.

Kullanıcılara düzenli olarak geribildirimler verilip, ilerleme kaydetmeleri sağlanır.

Kullanıcılar ortak çalışma yapabilecek çevrimiçi topluluklar oluşturulabilir.

Kullanıcılar arasında fikir ve tecrübe paylaşımı için zemin hazırlar.

Kullanıcıların elektronik kaynaklara zaman ve platformdan bağımsız olarak erişebilmelerini sağlar.

Web tabanlı ders ve sınıf kayıtları yapılabilir.

Kullanıcıların birbirleriyle iletişim sağlayabilecekleri yeni bir imkân ve ortam sunar.

Günlük veya yakın dönemli ya da uzun dönemli stratejik planların, web ortamında tasarlanıp sunulmalarına imkân sağlar.

Bulut bilişim de güvenlik uygulamalarına biyometrik yaklaşımlar özetlenmiş, çözüm önerileri sunulmuştur (Aygün, Akçay, Güneş, 2016).

### **Bulut Bilişim Temelli Uygulamalar**

Günümüzde birçok web tabanlı, sunucu tabanlı uygulamalar bulut bilişim altyapısı kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Ding 2020).

### **Sonuç ve Öneriler**

Eğitim, her dönemde her alanında büyük bir öneme sahip olup eğitim hizmetlerinin kaliteli bir şekilde sunulması için sağlam teknolojik altyapılar kullanılarak inşa edilmelidir. Ayrıca değişen taleplere hızlı cevap verebilmek için altyapı sürekli iyileştirilmelidir. Teknolojik altyapının esnek yapılması ilave maliyet getirmektedir. Maliyetin azaltılmasına bulut bilişim olumlu katkı sağlamaktadır. Kullanıcılar istedikleri kaynaklara sahip olmak yerine gerektiğinde kiralarak erişim imkânı bulmaktadırlar. Bulut bilişim sunduğu imkânlarla her gün daha popüler bir çözüm olup, kullanımı ve yaygınlaşması günden güne artmaktadır.



## KAYNAKÇA

Sevli, O., Kucuksille, E. U. (2012). Bulut Bilişimin Eğitim Alanında Uygulanması, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16-3, 248-254. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/193890>

Sultan, N. 2010. Cloud computing for education: A new dawn? *International Journal of Information*

*Management*, 30(2), 109-116

Microsoft Education 2011. Education Portal Solutions.

<https://www.microsoft.com/tr-tr/educationk12portals.aspx>. Erişim Tarihi: 19.12.2022.

Azure, <https://azure.microsoft.com>

GCC, <https://cloud.google.com/>

AWS, <https://aws.amazon.com>

Tr-bulut, <https://cloudtalktime.com/turkiye-bulut-saglayicilari-listesi/>

Alibaba, <https://www.alibabacloud.com>

Yandex, <https://cloud.yandex.com>

IBM, <https://cloud.ibm.com>

Armutlu, H., Akçay, M. (2013). Bulut bilişimin bireysel kullanımı için örnek bir uygulama, *Akademik Bilişim Konferansı-2013* 23, 25.

Yavuz, G., Aytakin, S., Akçay, M. (2012). Apache Hadoop Ve Dağıtık Sistemler Üzerindeki Rolü, *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, 43-54

Armutlu, H., Akçay, M. (2012). Uzaktan Eğitimde Kaynak Yönetimi. XIV. *Akademik Bilişim Konferansı Bildiri Kitabçığı 1*

Armutlu, H., Akçay, M.,(2015). Bulut bilişim uygulamalarında amazon web servisleri hizmetlerinin ve javascript dilinin birlikte kullanımı, *XVII. Akademik Bilişim Konferansı*

Akçay, M., Armutlu, A. (2014). Distance education application architecture and cloud computing. *2014 IEEE 8th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*, pp 1-5.

Aygün, S., Akçay, M., Güneş, E. (2016). Bulut Sistemler için Önerilen Biyometri Tabanlı Güvenlik Sistemlerine Genel Bakış, *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mübendisliği Dergisi* 2 (1), 15-22,

Akçay, M. (2012), Parallel Distributed Cloud Computing. *AWER Procedia Information Technology & Computer Science* 1575-1580.,

Ding, Y., Li, Y., Cheng, L., (2020). Application of Internet of Things and Virtual Reality Technology in College Physical Education . *IEEE Access*, Vol 8. pp 96065-96074.

## Spt ve Kayma Dalgası Hızı İle Sıvılaşma Analizi; Yalova İli Örneği

**Erdinç KESKİN<sup>1</sup>**  
**Ayşe GÜNDAY<sup>2</sup>**  
**Kanat Burak BOZDOĞAN<sup>3</sup>**

### Giriş

Ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu herkes tarafından bilinmektedir. Depreme karşı dayanıklı yapı tasarlarken iki faktör çok önemlidir. Bu faktörlerin biri yapının oturduğu zeminin dinamik kuvvetler etkisindeki davranışı diğeri ise deprem etkisiyle yapıya gelen kayma gerilmeleridir. Kimi zaman mühendisler sadece üstyapıyı depreme dayanıklı olarak tasarlamakta ve bunun sonucunda da deprem sonrası binalarda hasarlar meydana gelmektedir. Bu nedenle zeminde oluşabilecek olası problemlerin önceden belirlenmesi ve buna göre önlem alınması önemlidir. Deprem etkisiyle zeminde meydana gelecek en olası problemlerden birisi sıvılaşma problemidir. Bu nedenle sıvılaşmanın tespit edilebilmesi amacıyla öncelikli olarak detaylı bir zemin etüdü yapılması gerekmektedir. Ardından yapılan zemin etütleri kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmalı ve sıvılaşma potansiyelleri değerlendirilmelidir.

Sıvılaşma, her tür zeminde ve her koşulda meydana gelmemektedir. TBDY 2018'e göre bir zeminin sıvılaşabilmesi için kum, siltli killi kum, çakıllı kum, plastik olmayan silt veya silt-kum karışımı olması gerekmektedir.

Sıvılaşmanın, deprem etkisinde zemin içerisindeki boşluklarda bulunan suyun basıncının artması ile birlikte meydana geldiği bilinmektedir. Zemin daneleri arasındaki boşlukların çok olması yani rölatif sıklığın çok olması, dane boyutlarının kötü derecelenmiş olması, dane şeklinin yuvarlak olması gibi durumlar sıvılaşma riskini arttırmaktadır. (Rouholamin vd., 2017; Keramatikerman & Chegenizadeh, 2017; Özocak ve Tapan, 2014)

Literatürde sıvılaşma analizi ile ilgili yapılan bazı çalışmalardan aşağıda bahsedilmiştir.

Durukan ve Akbuğa (2020), çalışmasında Sığacık sınırları içinde yer alan zeminlerin deprem etkisi altında sıvılaşma potansiyellerini Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'e göre incelemişlerdir. Bu amaçla 18 adet sondaj ve farklı deprem senaryoları kullanmışlardır.

Esin ve Ceryan (2015), Balıkesir Burhaniye'de 97 sondaj verisi kullanarak bir veri tabanı oluşturmuşlardır. Ardından moment büyüklüğü 7.2 olan olası deprem senaryolarını kullanarak Burhaniye yerleşim alanının sıvılaşma potansiyellerini değerlendirmişlerdir.

Orhan ve Ateş (2012), Manisa Saruhanlı'da meydana gelebilecek olası bir deprem etkisinde yerleşim alanı içerisinde bulunan zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini incelemişlerdir. Sıvılaşma analizlerinde sismik deneylerle elde ettikleri değerleri kullanmışlardır.

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kırklareli Üniversitesi

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisi, Kırklareli Üniversitesi

<sup>3</sup> Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Kavırmacı (2017), çalışmasında 58 adet sondaj verisini kullanarak zemin profillerini çıkarmıştır. Ardından inceleme alanının sıvılaşma potansiyellerini değerlendirmiştir. Sıvılaşma potansiyellerini belirledikten sonra sıvılaşma risk haritalarını oluşturmuştur.

Timur ve Sarı (2020), çalışmalarında Süleyman Demirel Sanayi Bölgesi Atık Arıtma Tesisi için yapılan zemin etütlerini kullanmışlardır. Sismik verileri kullanarak 2 farklı yöntem kullanmışlar ve zeminlerin sıvılaşmalarını belirlemişlerdir.

Bu çalışma kapsamında Yalova ili sınırlarında seçilen bir inceleme alanında sıvılaşma analizi yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri 12 farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır. Sıvılaşma analizleri hem TBDY 2018'e göre hem de DeepSoil ve Novoliq programları kullanılarak yapılmıştır. Sıvılaşma analizlerinde moment büyüklüğü 5.2 ile 7.4 aralığında değişen 11 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Son olarak elde edilen veriler karşılaştırmalı grafikler ve tablolar kullanılarak sunulmuştur.

### Sıvılaşma Analiz Yöntemleri

Sıvılaşma analizleri literatürde bulunan bir çok yöntem kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemlerin bir kısmı standart penetrasyon testi, koni penetrasyon testi, kayma dalgası hızı gibi arazi deney verilerine bir kısmı ise laboratuvar ortamında yapılan deneyler yardımıyla elde edilen verileri kullanarak sıvılaşmayı incelemektedirler. Laboratuvar deneylerinde arazi koşullarının birebir modellenmesi oldukça zor olduğu için sıvılaşma analizlerinde arazi deneyleri ile belirlenen deney verilerinin kullanılması sıklıkla tercih edilmektedir.

Ülkemizde sıvılaşma analizleri genellikle SPT deneyinin kullanıldığı gerilme tabanlı analiz yöntemleri ve kayma dalgası hızı yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. SPT tabanlı yöntem olarak Seed ve Idriss (1971), Youd vd. (2001) ve Boulanger ve Idriss (2014) tarafından geliştirilen yöntemler, kayma dalgası hızı yöntemi için ise Andrus ve Stokoe (2000) tarafından geliştirilen yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde basitleştirilmiş sıvılaşma analizi yöntemi olarak da geçen Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen sıvılaşma yöntemi yıllar içerisinde geliştirilerek günümüze kadar birçok araştırmacıya yol gösterici olmuştur. Seed ve Idriss çalışmalarında çevrimsel gerilme oranını (CSR) zeminde oluşacak maksimum tekrarlı makaslama gerilmesinin, zeminin efektif düşey gerilmesine oranı olarak tanımlamıştır. Çevrimsel gerilme oranının sıvılaşma karakteristiklerinin belirlenmesinde oldukça önemli bir parametre olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca çalışmalarında Alaska, Niigata depremleri ve yapılan bir dizi laboratuvar deneyi sonucunda zeminin herhangi bir noktasındaki ortalama kayma gerilmesinin, maksimum kayma gerilmesinin % 65'i oranında olduğunu belirlemişlerdir. Bu bilgiler ışığında CSR'nin hesaplanması için Denklem 1'de verilen bağıntıyı önermişlerdir. Bu bağıntı moment büyüklüğü 7.5 olan bir deprem için geçerlidir.

$$CSR = (0, 65) * \left( \frac{a_{max}}{g} \right) * \left( \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) * rd \quad (1)$$

Burada  $a_{max}$ , en büyük yer ivmesini,  $g$ , yerçekimi ivmesini,  $\sigma_v$ , toplam düşey gerilmeyi,  $\sigma_v'$ , efektif düşey gerilmeyi,  $r_d$  ise gerilme azaltma katsayısını temsil etmektedir.

Seed ve Idriss gerilme azaltma katsayısı için derinlik değerine gören değişen bir grafik tanımlamıştır. Ayrıca Lio vd. (1988)'de yaptıkları çalışmada gerilme azaltma katsayısının belirlenmesi için Denklem 2'de verilen bağıntıyı önermişlerdir.

$$\begin{aligned} r_d &= 1 - 0,00765 * z & z \leq 9,15m \\ r_d &= 1,174 - 0,0267 * z & 9,15m < z \leq 23m \\ r_d &= 0,744 - 0,008 * z & 23m < z \leq 30m \\ r_d &= 0,5 & 30m < z \end{aligned} \quad (2)$$

Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen derinlik azaltma katsayısı bağıntısını geliştirmiş ve Denklem 3'de verilen bağıntıyı önermiştir.

$$r_d = \frac{(1,000 - 0,4113 * z^{0,5} + 0,4052 * z + 0,001753 * z^{1,5})}{(1,000 - 0,4117 * z^{0,5} + 0,006205 * z^{1,5} + 0,00121 * z^2)} \quad (3)$$

Burada  $z$ , sıvılaşma riski araştırılan zemin katmanının yüzeyden itibaren derinliğidir.

Boulanger ve Idriss (2014) çalışmasında sıvılaşma analizinin temel çerçeve olarak depremin neden olduğu çevrimsel gerilme oranı (CSR) ve zeminin çevrimsel direnç oranı (CRR) ile ilişkili olduğunu göstermişlerdir. CSR ve CRR'nin hesap yöntemleri diğer yöntemlerle benzerlik göstermekle birlikte derinlik azaltma katsayısının Denklem 4'te verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmasını önermişlerdir.

$$\begin{aligned} r_d &= \exp[a(z) + \beta(z) * M] \\ a(z) &= -1,012 - 1,126 \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,133\right) \\ \beta(z) &= 0,106 - 0,118 \sin\left(\frac{z}{11,28} + 5,142\right) \end{aligned} \quad (4)$$

Burada  $z$ , sıvılaşma riski araştırılan zemin katmanının yüzeyden itibaren derinliğidir.

Çevrimsel direnç oranının hesaplanabilmesi için ağırlıklı olarak SPT deney verilerine başvurulmaktadır. SPT verileri kullanılarak CRR hesaplanması için önerilen bağıntı Denklem 5'te verilmiştir.

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 * (N_1)_{60} + 45^2]} - \frac{1}{200} \quad (5)$$

Burada  $(N_1)_{60}$ , kuyu çapı, yeraltı su seviyesi, örtü yükü, kuyu çapı, tij uzunluğu ve enerji düzeltmesi yapılmış SPT-N vuruş sayısını temsil etmektedir ve bağıntı Denklem 6'da verilmiştir.

$$(N_1)_{60} = N_m * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S \quad (6)$$

Burada  $N_m$ , SPT değerini,  $C_N$ , efektif örtü yükü,  $C_E$  enerji,  $C_B$ , kuyu çapı,  $C_R$ , tij uzunluğu,  $C_S$ , numune alıcı kılıf düzeltme katsayılarını temsil etmektedir.

Seed vd. (1985) CRR ile ince dane içeriği arasında bir ilişki olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle  $(N_1)_{60}$  değerinin ince dane içeriği ile düzeltilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Düzeltilmiş bağıntı Denklem 7'de verilmiştir.

$$(N_1)_{60,cs} = a + \beta * (N_1)_{60} \quad (7)$$

Denklem 7’de kullanılan  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri Denklem 8’de gösterildiği şekilde belirlenebilir.

$$\begin{aligned}
 a &= 0 & FC &\leq \%5 \\
 a &= \exp\left[1,76 - (190/FC^2)\right] & \%5 &< FC < \%35 \\
 a &= 5,0 & FC &\geq \%35 \\
 \beta &= 1,0 & FC &\leq \%5 \\
 \beta &= \left[0,99 - (FC^2/1,000)\right] & \%5 &< FC < \%35 \\
 \beta &= 1,2 & FC &\geq \%35
 \end{aligned} \tag{8}$$

Denklem 5 ve Denklem 7 birlikte değerlendirildiğinde Denklem 9 elde edilmektedir.

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60f}} + \frac{(N_1)_{60f}}{135} + \frac{50}{[10 * (N_1)_{60f} + 45^2]} - \frac{1}{200} \tag{9}$$

Denklem 5 ve Denklem 7 birlikte değerlendirildiğinde Denklem 9 elde edilmektedir.

Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı GS olarak tanımlanmıştır ve Denklem 10’da verilmiştir. Burada CSR, deprem nedeniyle oluşan çevrimsel gerilme oranı,  $CRR_{7,5}$ , moment büyüklüğü 7.5 olan deprem için çevrimsel direnç oranı, MSF ise deprem büyüklüğü etki faktörünü temsil etmektedir. Güvenlik sayısınının 1.10 dan büyük olması durumunda sıvılaşma beklenmemektedir.

$$GS = \left( \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \right) * MSF \tag{10}$$

MSF değeri Denklem 11’de verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır. MSF değeri moment büyüklüğü 7.5’den büyük depremler için sıvılaşma riskini artırırken 7.5’den düşük değerlerde sıvılaşma riskini azaltmaktadır.

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \tag{11}$$

TBDY 2018’e göre sıvılaşma direnci ( $\tau_R$ ) Denklem 12’de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.

$$\tau_R = CRR_{M7,5} * C_M * \sigma_{Vo} \tag{12}$$

TBDY 2018, zeminde depremden sonra oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesini Denklem 13’de verildiği gibi tanımlamaktadır.

$$\tau_{deprem} = 0,65 * \sigma_{Vo} * (0,4 * S_{DS}) \tag{13}$$

Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu ise Denklem 14’te gösterilmektedir. Denklemde verilen  $FS_L$  değerinin 1.1’den büyük olması durumunda sıvılaşma beklenmemekte, 1.1’den küçük olması durumunda ise sıvılaşma riski oluşmaktadır.

$$FS_L = \frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1,1 \tag{14}$$

Andrus ve Stokoe (2000) yöntemine göre sıvılaşma analiz kayma dalgası hızı kullanılarak yapılmaktadır. Andrus ve Stokoe, kayma gerilme oranı ve yinelemeli gerilme oranlarını kayma

dalgası hızı yardımıyla hesaplanmaktadır. Kayma gerilme oranı Denklem 15’de, yinelemeli gerilme oranı ise Denklem 18’de verilmiştir.

$$KGO = (0,65) * \left( \frac{a \max}{g} \right) * \left( \frac{\sigma_{v_s'}}{\sigma_{v_s}} \right) * rd \quad (15)$$

Burada  $\sigma_{v_s}$  kayma dalgası hızı ve deprem periyodu kullanılarak incelenen derinlikteki toplam gerilmeyi,  $\sigma_{v_s}'$  ise aynı parametrelerle hesaplanan efektif gerilmeyi temsil etmektedir. Bağlıtıda kullanılan toplam ve efektif gerilme sırasıyla Denklem 16 ve Denklem 17’de gösterilmektedir.

$$\sigma_{v_s} = 2,45T \sum_{i=1}^n \gamma_i v_{si} \quad (16)$$

$$\sigma_{v_s}' = 2,45T \sum_{i=1}^n \gamma_i v_{si} - 9,81(z - z_w)(\gamma_{sa} - \gamma_i) \quad (17)$$

Burada  $\gamma_i$  , zeminin doğal yoğunluğu,  $\gamma_{sa}$  doygun yoğunluğu,  $T$ , deprem dalgasının periyodu(s),  $z$  incelenen tabaka derinliğini (m) ve  $z_w$  yeraltı su seviyesini göstermektedir.

$$KDO = \left( a * \left( \frac{V_{sc}}{100} \right)^2 + b * \left( \frac{1}{V_{smax} - V_{sc}} - \frac{1}{V_{smax}} \right) \right) * MSF \quad (18)$$

Denklem 18’de  $V_{sc}$ , düzeltilmiş kayma dalgası hızını,  $V_{smax}$ , sıvılaşma ihtimali olan düzeltilmiş kayma dalgası hızının üst sınırını, a ve b, regresyon parametrelerini temsil etmektedir. Düzeltilmiş kayma dalgası hızı bağıntısı Denklem 19’da,  $MSF$  değeri ise Denklem 20’de verilmiştir.

$$V_{sc} = V_s * \left( \frac{100}{\sigma_{v_s}'} \right)^{0,25} \quad (19)$$

$$MSF = \left( \frac{M_w}{7,5} \right)^n \quad (20)$$

## İnceleme Alanının Özellikleri

Çalışma kapsamında inceleme alanı olarak deprem etkisinde sıvılaşma riski yüksek olan Yalova ilinden bir arazi seçilmiştir. İnceleme alanına ait bir geoteknik rapor incelenerek zeminin geoteknik özellikleri, SPT değerleri ve zemine ait sismik veriler belirlenmiştir. İnceleme yapılan araziye ait bazı geoteknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sıvılaşma analizi yapılan zemin profili

Derinlik (m)	Zemin Sınıfı	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (°)	Plastisite İndisi
0 - 3.0	SM	7.23	25	NP
3.0 - 4.5	SM	3.95	23	NP
4.5 - 6.0	SM	3.95	23	NP
6.0 - 7.5	SM	9.72	23	NP
7.5 - 9.0	SM	10.47	23	NP
9.0 - 10.5	SM	6.48	24	NP
10.5 -12.0	SM	6.48	23	NP
12.0 - 13.5	SM	10.47	23	NP
13.5 - 15.0	SM	10.47	23	NP
15.0 - 16.5	SM	10.47	23	NP
16.5 - 18.0	SM	10.47	23	NP
18.0 - 19.5	SC	50.60	11	12
19.5 - 21.0	CH	50.60	11	28

21.0 - 22.5	CH	50.60	8	31
-------------	----	-------	---	----

Sıvılaşma analizinde kullanılmak üzere SPT ve sismik deneyler sonucunda elde edilen veriler derlenerek Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2.SPT ve sismik deneyler sonucunda elde edilen deney verileri

Derinlik (m)	$N_{1(60)}$	$N_{1(60)f}$	İnce Dane Oranları (%)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )
2.5	14	14	7.30	173	18.14
3.0	14	14	7.30	173	18.14
4.5	41	42	8.31	314	17.00
6.0	48	49	7.84	354	17.00
7.5	30	30	6.72	289	18.18
9.0	8	8	7.31	154	17.00
10.5	16	17	8.36	225	18.23
12.0	15	15	7.25	225	17.00
13.5	14	14	7.08	218	17.00
15.0	16	17	6.86	244	18.26
16.5	21	22	8.09	284	17.00
18.0	11	11	5.70	204	17.00
19.5	5	11	69.76	144	18.00
21.0	4	9	83.85	122	18.54
22.0	5	11	90.14	144	18.00

### Sıvılaşma Analizinde Kullanılan Yöntemler

İnceleme alanında TBDY 2018 kullanılarak elle, DeepSoil ve Novoliq programları kullanılarak bilgisayarla sıvılaşma analizleri yapılmıştır. İlk olarak Denklem 12-13 ve 14’te verilen bağıntılar kullanılarak TBDY 2018’e göre sıvılaşma analizi yapılmıştır.

TBDY 2018’e göre sıvılaşma analizi yapıldıktan sonra DeepSoil ve Novoliq programları birlikte kullanılarak sıvılaşma analizleri 11 farklı yöntemle yapılmıştır. İlk olarak DeepSoil programına zemin profilleri ve deprem kayıtları girilerek analiz yapılmıştır. DeepSoil analizleri sonucunda sıvılaşma analizlerinde kullanılmak üzere en büyük yatay yer ivmeleri elde edilmiştir. Novoliq programı ile en büyük yatay yer ivmesi, deprem büyüklüğü, SPT ve sismik kırılma deney verilerini kullanarak 11 farklı yöntemle sıvılaşma analizi yapılmıştır.

Tablo 3’de çalışma kapsamında kullanılan 12 farklı yöntem sıralanmıştır. Sonuçların sunulmasında kolaylık sağlanması amacıyla yöntemler kısaltma yapılarak Tablo 3’de görüldüğü şekli ile isimlendirilmiştir.

Tablo 3. Sıvılaşma analizinde kullanılan yöntemler ve isimlendirmeleri

Yöntem Adı	İsmlendirme
TBDY 2018	Y-1
Seed ve Idriss (1971)	Y-2
NCEER Workshop (1997)	Y-3
Boulanger ve Idriss (2014)	Y-4
Vancouver Task Force	Y-5
Chinese Code	Y-6
Seed vd. (1983)	Y-7
Japanese Highway Bridge Code	Y-8

Tokimatsu ve Yoshimi (1983)	Y-9
Shibata (1981)	Y-10
Kokusho vd. (1983)	Y-11
Andrus ve Stokoe, 2000	Y-12

Çalışmada 11 farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan depremlerin moment büyüklükleri 5.2 ile 7.6 arasında değişmektedir. Analizlerde kullanılan depremler ve bilgisayar programlarına girilen veriler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Sıvılaşma analizlerinde kullanılan depremler

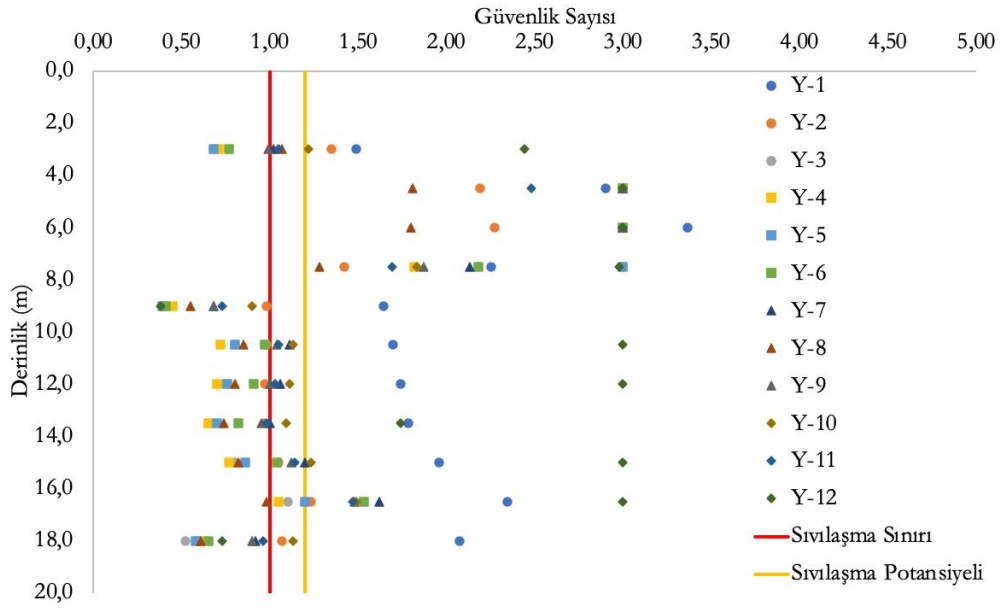
Deprem Adı / İstasyon Adı	Tarih	Derinlik (km)	Moment Büyüklüğü	Büyükölçölç Faktörü	PGA Değeri
Bursa Gemlik Depremi / Gemlik İstasyonu	24/10/2006	7.9	5.2	3.349	060
Saros Körfezi Depremi / Edirne/Enez İstasyonu	03/11/2010	28.9	5.3	3.145	0.15
Tekirdağ Süleymanpaşa Depremi / Merkez İstasyonu	06/07/2003	17.1	5.7	2.474	0.18
Afyonkarahisar Çobanlar Depremi / Merkez İstasyonu	03/02/2002	24.9	5.8	2.336	0.30
Denizli Bozkurt Depremi / Bozkurt İstasyonu	08/08/2019	10.9	6.0	2.088	0.37
İzmir Karaburun Depremi / Karaburun İstasyonu	12/06/2017	15.9	6.2	1.874	0.27
Afyonkarahisar Sultandağı Depremi / Merkez İstasyonu	03/02/2002	22.1	6.5	1.604	0.60
Muğla Bodrum Depremi / Bodrum İstasyonu	20/07/2017	19.4	6.5	1.604	0.47
İzmir Seferihisar Depremi / Kuşadası İstasyonu	30/10/2020	14.9	6.6	1.525	0.71
Düzce Depremi / Bolu İstasyonu	12/11/1999	10.4	7.1	1.198	0.64
Kocaeli Depremi	17/08/1999	17.0	7.4	0.957	0.78

### Seçilen Bir Alanda Yapılan Sıvılaşma Analizi Örneği

Ülkemizde deprem riski yüksek olan şehirlerden biri olan Yalova'da bir inceleme alanı seçilmiştir. Seçili alana ait zemin özellikleri ve analizlerde kullanılan deprem kayıtları bir önceki bölümde verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda farklı deprem kayıtları için zemin tabakalarında meydana gelen sıvılaşma riskleri hesaplanmıştır. Tüm deprem kayıtları için elde edilen grafik ve tablolar bu bölümde verilmiştir.

Grafik 1'de 5.2 moment büyüklüğüne sahip Bursa-Gemlik depremi kayıtları girilerek yapılan sıvılaşma analizi verilmiştir.





Grafik 1. Bursa-Gemlik deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

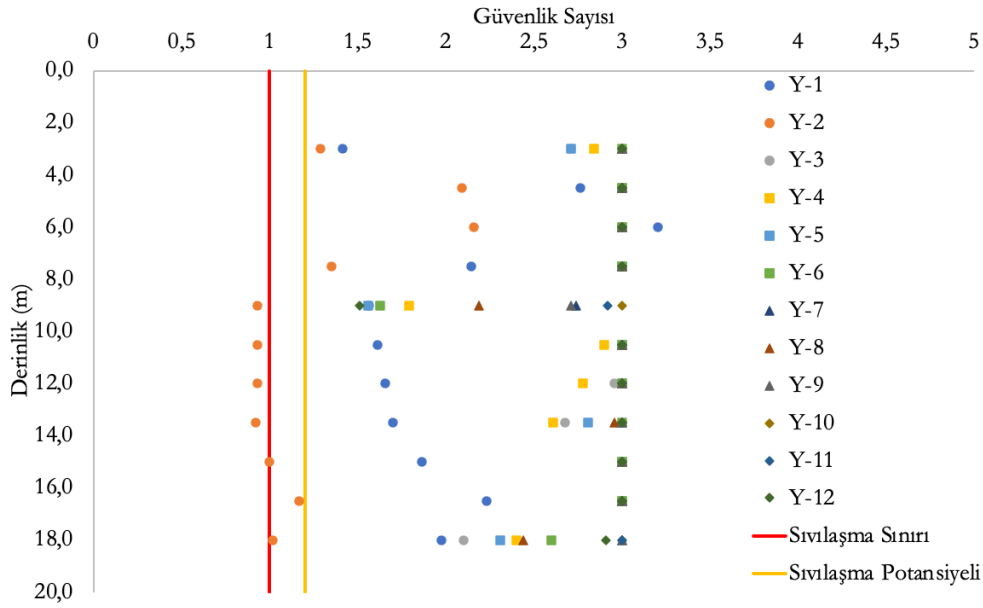
Grafik 1’de kırmızı ile çizilen çizginin sol tarafı sıvılaşma riski olduğunu, kırmızı ve turuncu çizginin arası sıvılaşma potansiyeli olduğunu, çizginin sağ tarafı ise sıvılaşma riski olmadığını göstermektedir. Buna göre ilk 9 metrede hemen hemen tüm yöntemlere göre sıvılaşma riski bulunmamaktadır sadece 3.metrede Y-3, Y-4, Y-5, Y-6 ve Y-9 yöntemlerinde sıvılaşma riski görülmüştür.

Tablo 5. Bursa-Gemlik depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Yok	Yok	Var	Var	Var	Var	Pot	Pot	Var	Yok	Pot	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
9.0	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
10.5	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Pot	Pot	Pot	Yok
12.0	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Var	Pot	Pot	Yok
13.5	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Yok
15.0	Yok	Pot	Var	Var	Var	Pot	Pot	Var	Pot	Yok	Pot	Yok
16.5	Yok	Yok	Pot	Pot	Pot	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
18.0	Yok	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Var

Tablo 5’de Bursa-Gemlik deprem kayıtlarına göre yapılan sıvılaşma analiz sonuçları gösterilmiştir. 12 farklı yöntemle hesaplanan sıvılaşma riskleri sıvılaşma var, sıvılaşma potansiyeli var, sıvılaşma yok olarak sırasıyla var, pot ve yok olarak isimlendirilmiştir. 9 metre derinlikte 11 yöntemle göre sıvılaşma riski varken Y-1’e göre sıvılaşma riski yoktur.

Saros Körfezi deprem kayıtlarına göre yapılan analiz sonucunda elde edilen sıvılaşma sonuçları Grafik 2’de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere Y-2 yöntemi hariç tüm yöntemler için sıvılaşma riski yoktur.



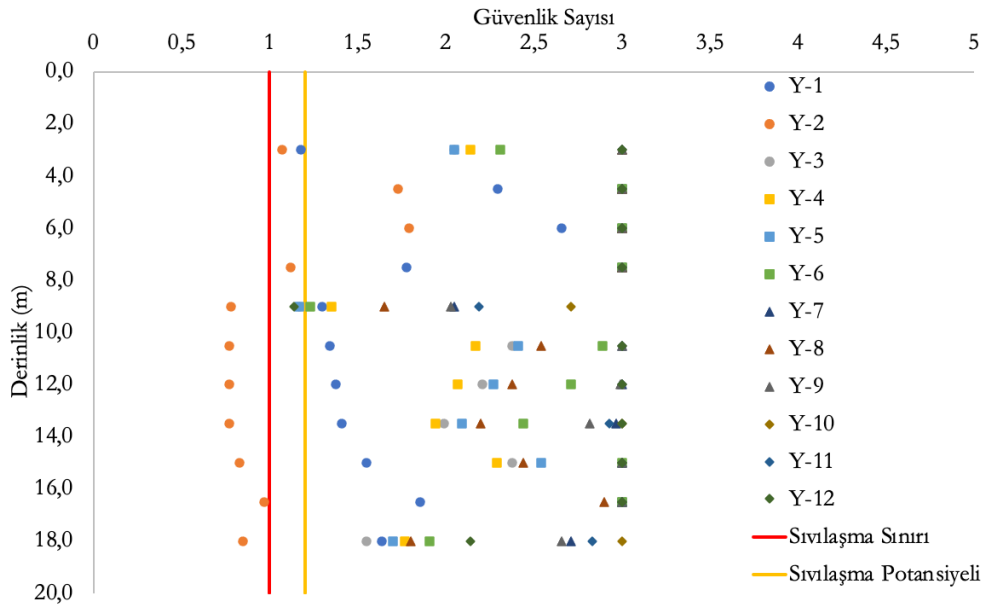
Grafik 2. Saros Körfezi depremi deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Saros Körfezi depremi için sıvılaşma analizi sonuçlarının derinlikle değişimi Tablo 6’da verilmiştir. Saros Körfezi deprem kayıtları ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak sıvılaşma beklenmediği görülmektedir.

Tablo 6. Saros Körfezi depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
9.0	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
10.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
12.0	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
13.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
15.0	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
16.5	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
18.0	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok

Tekirdağ Süleymanpaşa depremi için yapılan sıvılaşma analizi sonuçları Grafik 3 ve Tablo 7’de gösterilmiştir.



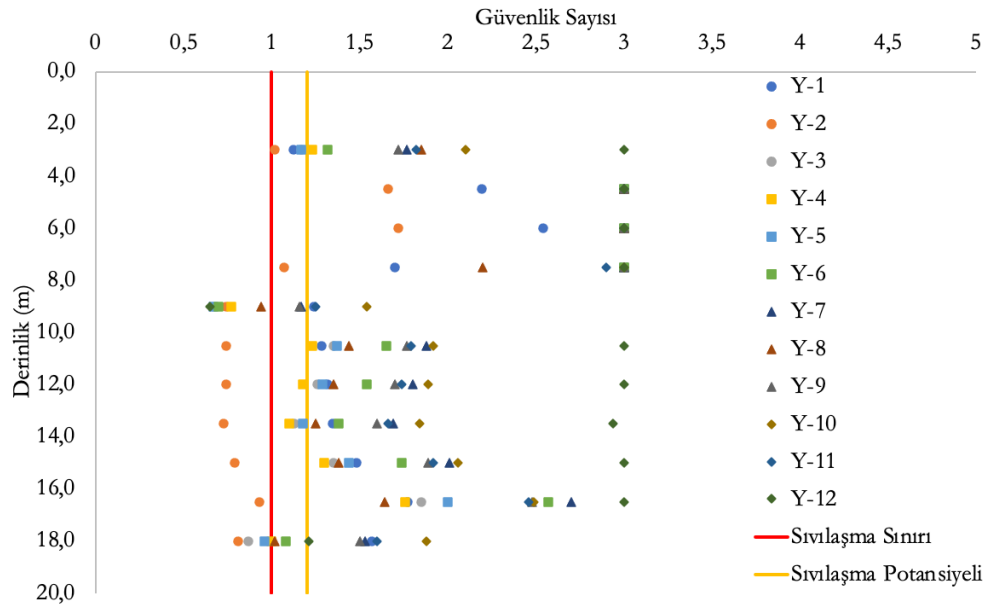
Grafik 3. Tekirdağ-Süleymanpaşa deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Tekirdağ-Süleymanpaşa depreminde de Saros Körfezi depremine benzer şekilde sadece Y-2 yönteminde sıvılaşma 9 m.- 15 m. aralığında sıvılaşma beklendiği görülmektedir.

Tablo 7. Tekirdağ Süleymanpaşa depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Pot	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
9.0	Yok	Var	Pot	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Pot
10.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
12.0	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
13.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
15.0	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
16.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
18.0	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok

Grafik 5 ve Tablo 8'de Afyonkarahisar Çobanlar depremi verileri kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonuçları verilmiştir. Afyonkarahisar Çobanlar deprem kayıtlarına göre yapılan sıvılaşma analizi sonuçlarına göre sıvılaşma riskinin en yüksek çıktığı derinlik 9 metre olarak görülmektedir. Tüm yöntemlere ayrı ayrı bakıldığında 4.5 m. ve 6 m. için sıvılaşma riski oluşmadığı görülmektedir.



Grafik 4. Afyonkarahisar Çobanlar deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

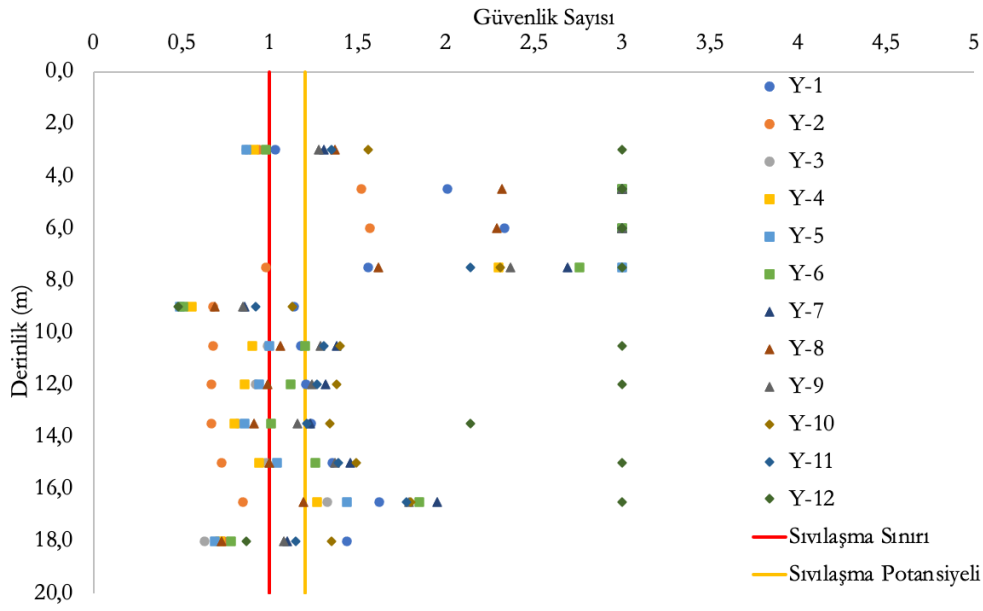
Tüm yöntemlere ayrı ayrı bakıldığında 4.5 m. ve 6 m. için sıvılaşma riski oluşmadığı görülmektedir. Y-2 yöntemine göre 9 m. ile 18 m. arasında sıvılaşma beklenmektedir. Y-1, Y-10 ve Y-11 yöntemine göre ise zemin profili boyunca sıvılaşma beklenmemektedir.

Tablo 8. Afyonkarahisar Çobanlar depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Pot	Pot	Pot	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
9.0	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Pot	Yok	Yok	Var
10.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
12.0	Yok	Var	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
13.5	Yok	Var	Pot	Pot	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
15.0	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
16.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
18.0	Yok	Var	Var	Var	Var	Pot	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok

Tüm yöntemlere ayrı ayrı bakıldığında 4.5 m. ve 6 m. için sıvılaşma riski oluşmadığı görülmektedir. Y-2 yöntemine göre 9 m. ile 18 m. arasında sıvılaşma beklenmektedir. Y-1, Y-10 ve Y-11 yöntemine göre ise zemin profili boyunca sıvılaşma beklenmemektedir.

Denizli Bozkurt Deprem kayıtlarını kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen sıvılaşma riskleri Grafik 5'te verilmiştir. Deprem büyüklüğünün artmasıyla birlikte sıvılaşma riskleri de beklendiği gibi artmaya başlamıştır. Tablo 9'da sıvılaşma riski ve sıvılaşma potansiyellerinin arttığı açık olarak görülmektedir.



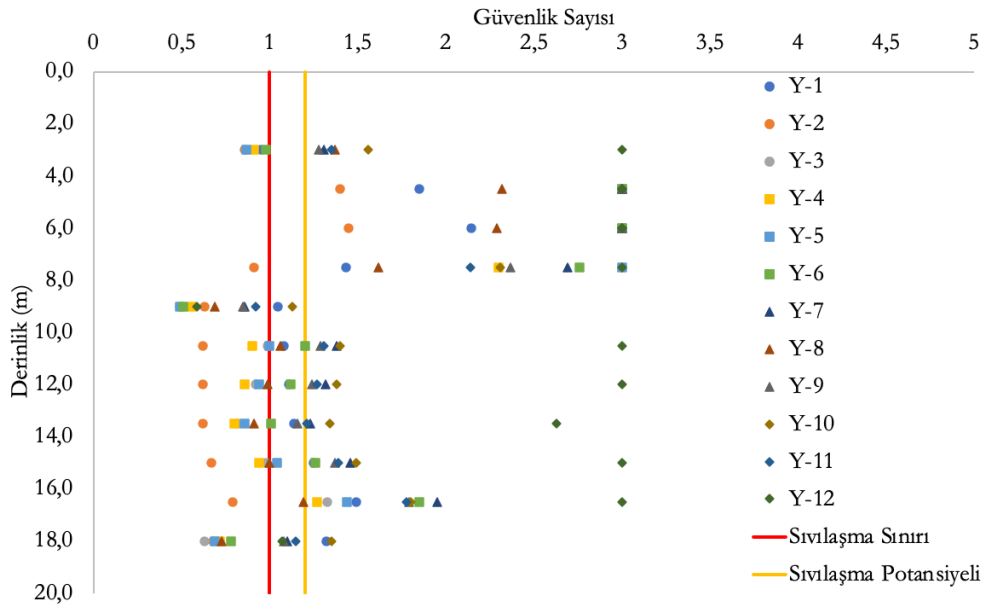
Grafik 5. Denizli Bozkurt deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Tablo 9 incelendiğinde Y-1 yöntemine göre 3, 9 ve 10.5 m. Y-10 yönteminde 9 m derinlikte sıvılaşma potansiyeli var diye görülürken diğer derinliklerde sıvılaşma riski bulunmamaktadır. Y-2 yöntemi için ise 4.5 ve 6.0 m. derinliklerde sıvılaşma analizi beklenmemekte diğer derinliklerde ise sıvılaşma beklenmektedir.

Tablo 9. Denizli Bozkurt depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
9.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Var
10.5	Pot	Var	Var	Var	Var	Pot	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
12.0	Yok	Var	Var	Var	Var	Pot	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
13.5	Yok	Var	Var	Var	Var	Pot	Yok	Var	Pot	Yok	Yok	Yok
15.0	Yok	Var	Var	Var	Pot	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
16.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
18.0	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Pot	Yok	Pot	Var

Grafik 6'da İzmir Karaburun deprem kayıtları kullanılarak yapılan sıvılaşma analizleri verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda özellikle 9. metreden sonra sıvılaşma riskinin arttığı ortaya koyulmuştur.



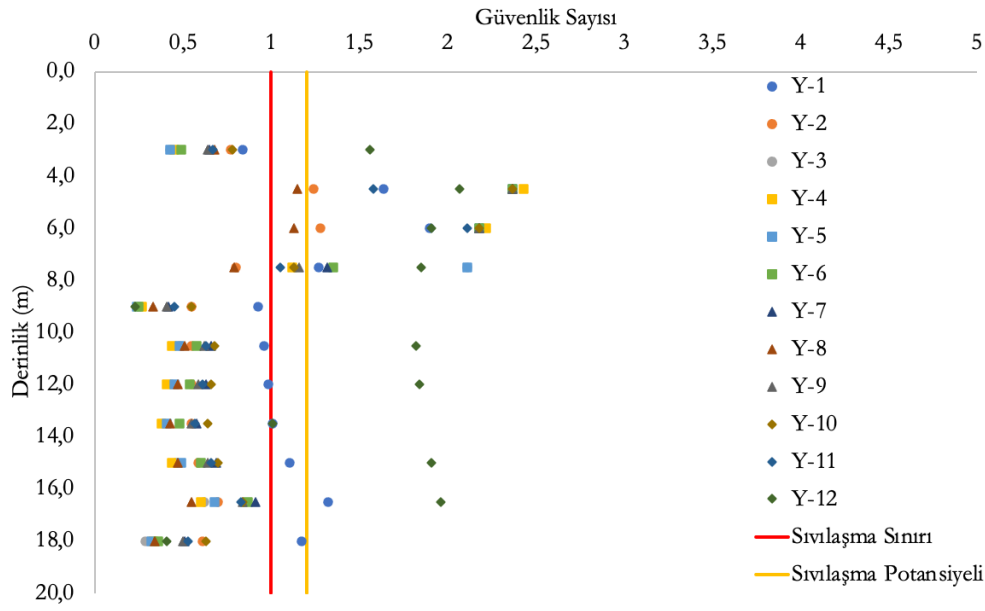
Grafik 6. İzmir Karaburun deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Tablo 10'da İzmir Karaburun deprem kayıtları kullanılarak yapılan analiz sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere 9. metreden sonra sıvılaşma riskinin arttığı görülmektedir.

Tablo 10. İzmir Karaburun depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
9.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Var
10.5	Pot	Var	Var	Var	Var	Pot	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
12.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Pot	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
13.5	Pot	Var	Var	Var	Var	Pot	Yok	Var	Pot	Yok	Yok	Yok
15.0	Yok	Var	Var	Var	Pot	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
16.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
18.0	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Pot	Var	Pot	Yok	Pot	Pot

Afyonkarahisar Sultandağı deprem verileri kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen sıvılaşma riskleri Grafik 7'de sunulmuştur. Derinliğe bağlı olarak tabakalarda meydana gelen sıvılaşma riskleri ayrıntılı olarak Tablo 11'de verilmiştir. 4.5 m ve 6.0 m. derinlikleri hariç diğer tüm derinlikler için en az bir yöntem sıvılaşma riski olduğunu göstermiştir. 9.0 m. derinlikte ise tüm yöntemler sıvılaşma gerçekleşeceğini göstermiştir.



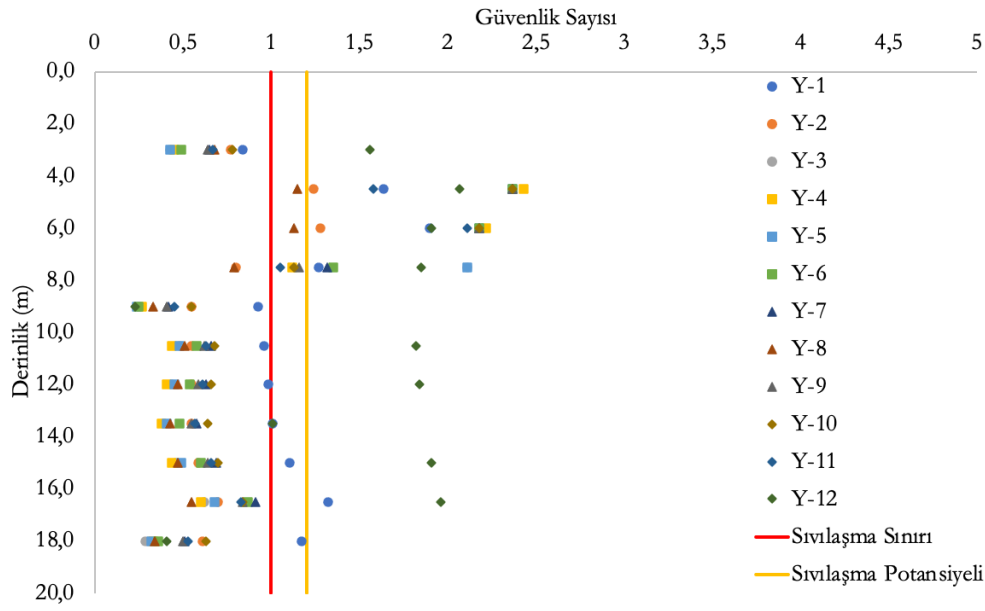
Grafik 7. Afyonkarahisar Sultandağı deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Tablo 11’de görüldüğü üzere Y-8 yöntemi için 4.5 m. ve 6.0 m derinliklerinde sıvılaşma potansiyeli var diğer tabakalarda ise sıvılaşma var çıkmıştır. Buradan da anlaşılacağı gibi sıvılaşma riski en yüksek Y-8 yöntemi ile belirlenmiştir. Risk oranını en düşük gösteren yöntem ise Y-12 yöntemidir.

Tablo 11. Afyonkarahisar Sultandağı depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Var	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Var	Pot	Pot	Pot	Yok
9.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
10.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
12.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
13.5	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Pot
15.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
16.5	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
18.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var

Muğla Bodrum deprem kayıtları kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonuçları Grafik 8’de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere sıvılaşma verilerinin büyük çoğunluğu sıvılaşma sınırının sol tarafında kalmıştır yani sıvılaşma riski vardır.



Grafik 8. Muğla Bodrum deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

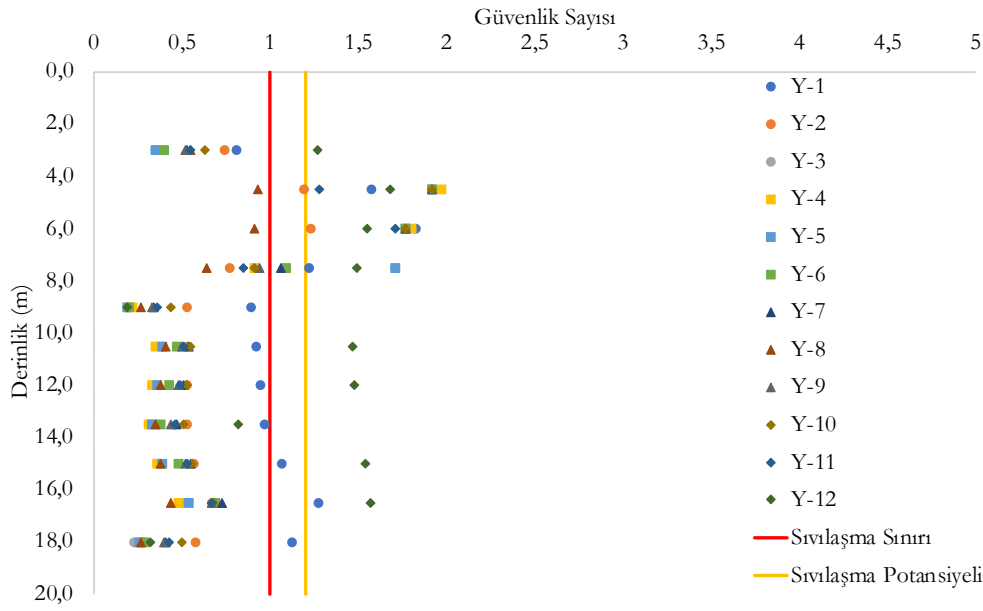
Tablo 12 incelendiğinde Y-12 yöntemi diğer yöntemlere nazaran sıvılaşma riski konusunda daha tutucudur. Sadece derinliğin 9 m. ve 18 m. olduğu seviyelerde sıvılaşma riski olduğunu diğer seviyelerde risk olmadığını belirlemiştir.

Tablo 12. Muğla Bodrum depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
4.5	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Var	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Var	Pot	Pot	Pot	Yok
9.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
10.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
12.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
13.5	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Pot
15.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
16.5	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
18.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var

Grafik 9'da İzmir Seferihisar deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen sıvılaşma riskleri gösterilmiştir. Sıvılaşma riski deprem büyüklüğü ve en büyük yer ivmesinin artması ile paralel olarak artmıştır.





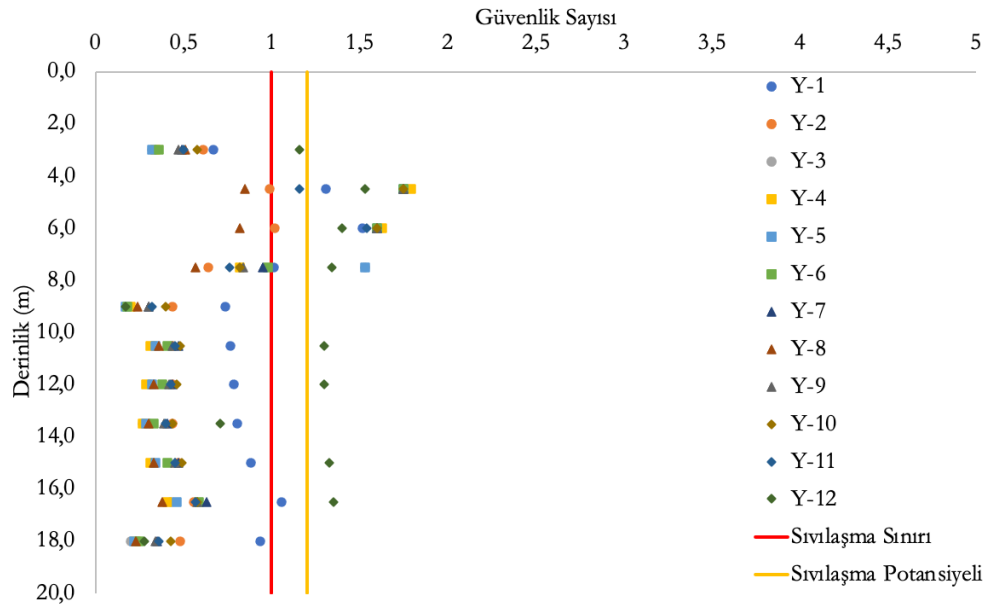
Grafik 9. İzmir Seferihisar deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Tablo 13 incelendiğinde 9 m. ile 13.5 m. arasında Y-12 yöntemi hariç tüm yöntemlere göre sıvılaşma riski bulunmaktadır. Y-12 yöntemine göre her ne kadar 9 m. ile 13.5 m. arasında tüm tabakalarda sıvılaşma gerçekleşirse de derinliğin 9 m. ve 13.5 m. olduğu derinliklerde sıvılaşma riski vardır.

Tablo 13. İzmir Seferihisar depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
4.5	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
6.0	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Pot	Pot	Var	Var	Var	Var	Yok
9.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
10.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
12.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
13.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
15.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
16.5	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
18.0	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var

Grafik 10'da yıkıcılığı oldukça yüksek olan Düzce deprem verileri kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonuçları verilmiştir. Moment büyüklüğü 7.1 olan bu deprem verileri kullanılarak yapılan analiz sonucunda bir çok noktanın sıvılaşma sınırının solunda kaldığı açık olarak görülmektedir.



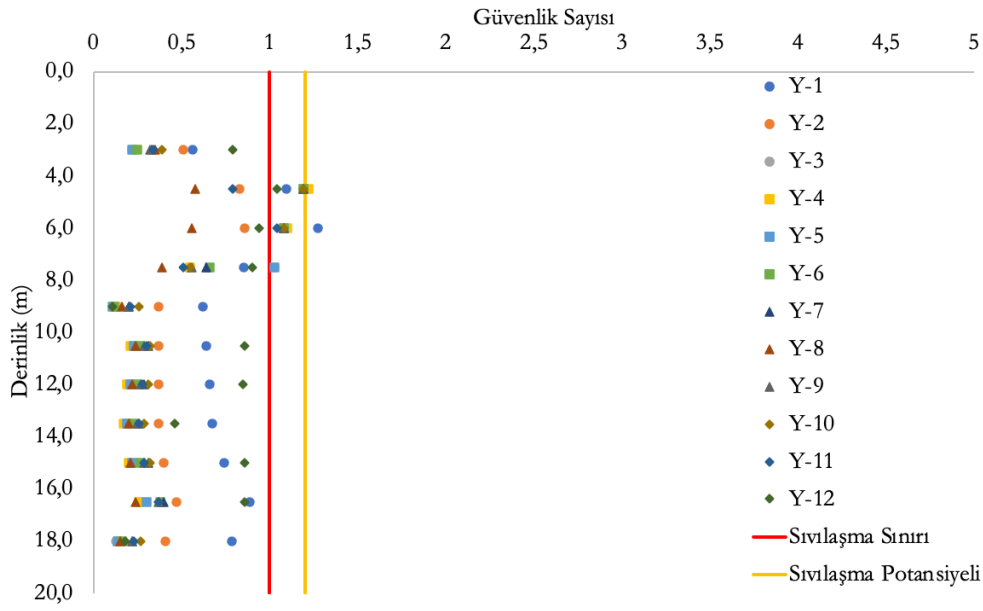
Grafik 10. Düzce (Bolu) depremi deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Tablo 14’de görüldüğü gibi hemen hemen tüm yöntemlere göre 9 m. ile 18 m. arasında sıvılaşma riski bulunmaktadır. Y-8 yöntemine göre yapılan hesaplar tüm derinlik boyunca sıvılaşma olacağını göstermektedir.

Tablo 14. Düzce (Bolu) depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Pot
4.5	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Pot	Yok
6.0	Yok	Pot	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok
7.5	Pot	Var	Yok	Var	Yok	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
9.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
10.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
12.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
13.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
15.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
16.5	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Yok
18.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var

Grafik 11’de Türkiye’de şimdiye kadar gerçekleşmiş en büyük depremlerden biri olan Kocaeli depremi verileri kullanılarak hesaplanan sıvılaşma analizi sonuçları gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi hemen hemen tüm noktalar sıvılaşma potansiyeli hatta sıvılaşma sınırı doğrusunun sol tarafında kalmıştır. Sol tarafında kalması bu deprem kaydından elde edilen veriler için sıvılaşma riskinin oldukça büyük olduğu anlamına gelmektedir.



Grafik 11. Kocaeli depremi deprem kayıtları kullanılarak yapılan analizler

Tablo 15’de sıvılaşma riskinin ne kadar yükseldiği daha net olarak görülmektedir. 4.5 m. ve 6 m. dışında her tabakada sıvılaşma riskinin olduğu görülmektedir.

Tablo 15. Kocaeli depremi kayıtlarına göre sıvılaşma riskleri

Derinlik (m)	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12
3.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
4.5	Pot	Var	Pot	Yok	Pot	Pot	Pot	Var	Pot	Pot	Var	Pot
6.0	Yok	Var	Pot	Pot	Pot	Pot	Pot	Var	Pot	Pot	Pot	Var
7.5	Var	Var	Pot	Var	Pot	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
9.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
10.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
12.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
13.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
15.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
16.5	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var
18.0	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var	Var

## Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Yalova ilinde bulunan bir sahanın farklı yöntemlerle sıvılaşma analizi yapılarak sıvılaşma potansiyelleri incelenmiştir. Bu amaçla çeşitli moment büyüklüklerine sahip 11 deprem seçilmiş ve seçilen bu depremlerin deprem kayıtları kullanılmıştır.

Sıvılaşma analizleri sonucunda aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara varılmıştır;

- Depremın moment büyüklüğü ve en büyük yer ivmesi değerleri arttıkça sıvılaşma riski de artmaktadır.

- Farklı yöntemlere göre analiz yapıldığında farklı sonuçlar alınmıştır. Bu nedenle sıvılaşma analizlerinin tek bir yöntem kullanılarak değil farklı yöntemlerde kullanılarak yapılmasının önemli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Sıvılaşma analizinde kullanılan deneysel verilerin detaylı ve doğru bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir. Örnek olarak ince dane oranı gibi basit bir parametrenin yanlış tespit edilmesi durumunda gerçekte bir sıvılaşma analizi yapılamamaktadır.
- Sıvılaşma analizi yapılacak bölgenin deprem tarihçesinin oldukça iyi araştırılması gerekmektedir.
- Yalova ili hem aktif deprem faylarına yakın olması hem de şehrin yapılaşma sınırlarında sıvılaşabilir zeminlerle sıklıkla karşılaşılmışından dolayı bölgesel çalışmalar yapılarak sıvılaşma risk haritalarının çıkarılması oldukça faydalı olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Andrus, R.D. & Stokoe II, K.H. (2000). Liquefaction Resistance of Soils from Shear-Wave Velocity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, (ASCE)* 126, 1015-1025.
- Boulanger, R., W. & Idriss, I., M. (2014). CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures. *Tech. Rep. UCD/CGM-14*.
- Esin, G., & Ceryan, Ş. (2015). Burhaniye (Balıkesir) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi. *Yerbilimleri, 36(2)*. Doi:10.17824/yrb.47475
- Keramatikerman, M. & Chegenizadeh, A. (2017). Effect of particle shape on monotonic liquefaction: Natural and crushed sand. *Experimental Mechanics, 57, 8*, 1341–1348.
- Lio, S. S. C., Veneziano, D., & Whitman, R. V. (1988). Regression models for evaluating liquefaction probability. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 114(4)*, 389-411.
- Orhan, M., & Ateş, A. (2012). Manisa (Saruhanlı) Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Kayma (S) Dalgası Hızı İle Araştırılması. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, (2)*, 9-24.
- Özocak, A., Tapan, M. (2014). Siltlerin Boşluk Boyutu Dağılımı ve Radyal Konsolidason Özelliğinin Sıvılaşma Potansiyeline Etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 29, (1)*, 35-47.
- Rouholamin, M., Bhattacharya, S. & Orense, R., P. (2017). Effect of initial relative density on the post-liquefaction behaviour of sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 97*, 25–36, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.02.007>.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(SM9)*, 1249- 1273.
- Seed, H. B., Idriss, I., M. & Arango, I. (1983). Evaluation of Soil Liquefaction Potential using Field Performance Data. *Journal of Geotechnical Engineering, 109, 3*, 458-482.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., & Chung, R. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12)*, 1425-1445.
- Timur, E., Sarı, C. (2020). Determination of Liquefaction Resistance and Allowable Bearing Capacity Soils Based on Shear Wave Velocity; Case Study: Isparta Süleyman Demirel Industrial Region Waste Treatment Facility. *International Journal of Computational and Experimental Science an Engineering, 6, (3)*, 180-188.
- Tokimatsu, K. & Yoshimi, Y. (1983). Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content. *Soils and Foundations, 23, 4*, 56-74.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY). (2018). T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Youd, T. L., Idriss I. M., Andrus R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Liam Finn, W. D., Harder Jr, L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson III W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., & Stokoe II, K. H. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127 (10)*, 817-833.

## Gemilerde Sevk Sistemlerinde Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Aleyna ULUCUTSOY<sup>1</sup>  
Erhan AKSU<sup>2</sup>  
Betül SARAÇ<sup>3</sup>

### Giriş

Denizyolu taşımacılığı, diğer hava ve kara ulaşım yöntemlerine göre daha ucuz olması, büyük tonajlara sahip yüklerin tek seferde taşınması ve yüklerin transfer güvenliğinin diğer taşıma yöntemlerine kıyasla daha güvenilir olması dolayısıyla her geçen gün dünya ekonomisindeki önemini arttırmaktadır. Deniz taşımacılığı yoluyla dünyadaki tüm bu ticari ve ekonomik faaliyetlerin gerçekleşmesinde başlıca rolü ise gemiler almaktadır. Artan yük transfer ihtiyacı, deniz taşımacılığında aktif olarak rol alan gemi sayısını her geçen gün arttırmaktadır. Fakat denizyolu taşımacılığında her geçen gün artan deniz aracı sayısı başka sorunları da beraberinde getirmektedir. Bunun sonucu olarak gemilerin kullandığı yakıt türünden dolayı egzoz emisyonlarını, yakıt sızıntılarının ve bunlarının hava ve deniz kirliliği üzerindeki olumsuz etkilerini önemli ölçüde arttırmıştır. Gemilerde deniz içerisinde hareketi ve operasyonları sağlamak için çeşitli fosil kökenli yakıtlar kullanılmaktadır. Bu yakıtlar olarak petrolün damıtılmasıyla elde edilen bir yakıt türü olup, ham petrolden elde edilebilecek en ağır ticari yakıttır. Temel enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların yanması sonucu çevre kirliliği için büyük tehlike arz eden kükürt oksit (SO<sub>x</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>), karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO) gibi çeşitli gaz emisyonları oluşur. Gemilerin oluşturduğu egzoz emisyonlarından kaynaklanan zararlı gazlar hava kalitesinin azalmasına ve küresel ısınmaya ve neden olarak çevre üzerinde geri dönüşü olmayacak tahribata sebebiyet verirler. IMO (İnternational Marine Organisation)'nun getirdiği emisyon düzenlemeleri ile, oluşan bu gazların atmosferde meydana getirdiği geri dönüşümsüz tahribatın kontrol altına alması hedeflenmiştir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemilerden kaynaklı deniz ve atmosfer kirliliğinin azaltılması amacıyla çeşitli önlemler almıştır. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ile gemilerin oluşturduğu CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılması hedeflenmiştir. Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) Ek-VI'ncı Maddesi ile belirlenen yönetmelik ile gemilerde kullanılan yakıtlardan kaynaklı oluşan sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>), nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>) ve ozon tabakasına zarar veren diğer zararlı gazlara emisyon kısıtlaması getirilerek neden olduğu deniz ve atmosfer kirliliğinin kontrol altına alınması amaçlanmaktadır. Deniz taşımacılığının küresel enerji tüketiminin yıllık %4'ünü oluştururken fosil yakıt tüketiminden kaynaklı zararlı emisyon oluşumlarını da beraberinde getirmektedir. Dünya üzerindeki yıllık küresel emisyonunun yaklaşık %3'ünü karbondioksit (CO<sub>2</sub>), %15'ini nitrojen oksit (NO<sub>x</sub>) ve %6'sını kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) gazları oluşturmaktadır (Samosir, Markert & Busse, 2017).

---

<sup>1</sup> Aleyna ULUCUTSOY1, Araş.Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi Makinaları İşletme Mühendisliği, 0000-0003-4304-7047

<sup>2</sup> Erhan AKSU2, Dr.Öğr.Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, 0000-0002-9333-8371

<sup>3</sup> Betül SARAÇ2, Doç.Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, 0000-0003-3876-7314

Bu bağlamda gemilerden çevreye olan zararı azami ölçüde tutmak ve deniz ticaretini aksamadan devam ettirmek için alternatif güç üretim metotları arama yoluna gidilmiştir. Ayrıca gemilerin kullandığı yakıt türlerinin büyük çoğunluğunu oluşturan fosil kökenli yakıtların birer yenilenemez enerji kaynağı olduğu ve bu kaynakların tükenme riskiyle karşı karşıya olunması dolayısıyla “gemilerde yenilenebilir enerji temelli alternatif sevk sistemleri” araştırma ve geliştirme çalışmalarının başlamasına sebep olmuştur.

Gemi sevk sistemlerinde fosil kökenli yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturan güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biyokütle enerjisi sevk sistemlerinde alternatif enerji girdisi olarak geliştirilmiştir.

Bu çalışmada fosil yakıtların sebep olduğu çevresel tahribatı azami düzeylerde tutmak ve bunlara çözüm olmak amacıyla geliştirilen gemilerdeki yenilenebilir enerji temelli alternatif sevk sistemlerine yönelik yapılan teorik ve deneysel çalışmaların örneklerine yer verilerek, bu çalışmalar doğrultusunda yapılan gemicilik sektöründeki örnek tasarım konseptlerinin tanıtımı yapılmıştır. Gemilerin tahrikinde kullanılan alternatif enerji sistemlere yönelik güncel bilgiler incelenmesiyle elde edilen bilgilerin gelecek alternatif gemi sevk sistemlerine yönelik araştırmalarda temel bir tanıtım oluşturması amaçlanmıştır.

### **Gemilerde kullanılan alternatif enerji kaynakları**

Günümüzdeki yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biyokütle enerjisi gemilerde en çok kullanılan alternatif enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar geminin sevk için gemi ana makinasına ek güç sağlayarak yakıt tasarrufu sağlamak amacıyla gütmemektedir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biyokütle enerjisi ayrı ayrı veya hibrit sistemler olarak günümüz teknolojik uygulamalarda alternatif enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan bu çalışmada birincil türde enerji kaynaklarından yararlanan gemi tahrik sistemleri ele alınmıştır.

### **Güneş enerjisi**

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan bir füzyon reaksiyonu hidrojen gazının helyuma dönüşmesi olayı ile açığa çıkan bir enerji türüdür. Bu reaksiyon sonucu açığa çıkan yüksek enerji ısı ve ışınım olarak dünyaya aktarılmaktadır. Füzyon reaksiyonu sonucu açığa çıkan  $3,9 \times 10^{26}$  W gücün düşük bir kısmı dünyaya ulaşır. (Anonim 2021)

Dünya atmosferinin dış yüzeyindeki her metrekareye ortalama 1.367 W güç düşmektedir. Güneşten atmosfere ulaşan bu enerjinin %6'sı yansıtılırken %16'sı sönümlenir. Güneş enerjisi dünyaya ışınım yolu ile iletilmektedir. (Anonim,2006)

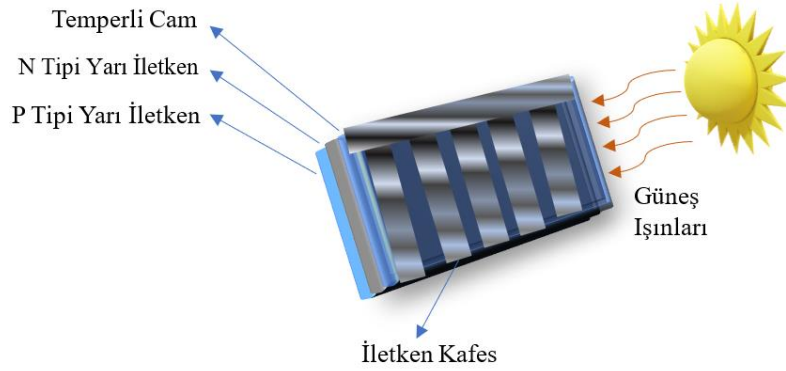
Temiz, yenilenebilir ve tükenmez bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi alternatif enerji türleri arasındaki en önemli kaynaklardan biridir. Güneş enerjisi teknolojide elektrik üretmek veya ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Gemi uygulamalarında güneş pillerinden elektrik enerjisi üretilerek, gemi ana makinasından üretilen gücün bir bölümünü karşılayarak enerji ihtiyacına katkı sağlamaktadır.

### **Güneş pilleri ve çalışma prensipleri**

Güneş enerjisinin kullanıldığı sistemler “fotovoltaik sistemler” olarak adlandırılır. Günümüzde binalarda ısıtma sisteminden gemilerde enerji üretimine kadar geniş kullanım alanına sahip olan bu fotovoltaik sistemler bilinen diğer adıyla “Güneş Pilleri” olarak adlandırılmaktadır. “PV” photovoltaic kelimesinin kısaltması olup “Photo” ışık ve “Voltaic” elektrik anlamına gelmektedir. İlk güneş pilinin tasarımı 19.yüzyıl başlarına dayanmaktadır. 1839 yılında Fransız fizikçi Henri Becquerel elektrolit sıvı içerisindeki elektrotlar arasında oluşan gerilimin, elektrolite düşen ışık ile olan bağlantısını gözlemleyerek fotovoltaik olayını bulmuştur. İlerleyen yıllarda bakır oksit ve seleniyuma yapılı foto diyotların fotoğraf çekim teknolojisinde kullanımı yaygınlaşmıştır.1954 yılı

itibariyle güneş enerjisinin %6 verimlilikle elektrik enerjisine çeviren fotovoltaiik diyotların geliştirilmesi fotovoltaiik sistemlerin gelişiminde bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir.1960ların başından itibaren fotovoltaiik güç sistemleri uzay araçlarından gemilere kadar çeşitli alanlarda enerji üretimi için kullanılmaya devam etmektedir (Karamanav, 2007).

Fotoelektrik olayı ışığın iletken bir yüzeyden elektron kopararak enerji açığa çıkmasıdır. Güneş pilleri genel elektron verici N ve genel elektron alıcı P olarak adlandırılan yarı iletkenlerin yüklü duruma geçip elektrik üretmesi prensibine dayanır. Şekil 1’ de bir fotovoltaiik panelin yapısı verilmiştir. Güneşten gelen fotonlar sistemin dış tabakasındaki P tipi yarı iletkene ulaşarak buradan elektronu kopararak bu elektronun N tipi yarı iletken tarafından alınmasını sağlar. Bu işlemler ile sistemde bir elektron hareketliliği sağlanmış olur. Oluşan bu elektron hareketliliğinin yoğunluğu sisteme gelen güneş ışınları ile doğru orantılı olarak değiştiğinden, güneşten gelen ışın miktarı arttıkça elektron hareketliliği artacağından üretilen elektrik enerjisi de artacaktır.



Şekil 1. Bir Fotovoltaiik Panelin Yapısı

Güneş pilleri çeşitli geometrik şekillerde tasarlanabilmekte olup alanları yaklaşık 100 m<sup>2</sup> olup ve panel kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasında değişmektedir. Bir fotovoltaiik sistem; fotovoltaiik modüller, invertörler, batarya ve şarj regülatöründen oluşur (Çelebi, 2002). Güneş pillinin şebekelerden bağımsız çalışması, uzun ömürlü olması, montaj kolaylığı sağlaması ve işletim maliyetinin olmaması nedeniyle tek seferli yatırımlar olup büyük oranda maliyet tasarrufları sağlayan donanımdır.

### Denizcilik alanında fotovoltaiik sistemler üzerine yapılmış çalışmalar

Literatürde fotovoltaiik sistemlerin gemilerde kullanımıyla ilgili olarak güneş enerjisinin mevcut faktörlerini enlem, açı ve saat farkları gibi parametreleri Zhu ve arkadaşları (Zhu & ark., 2017) tarafından ele alınarak gemi enerji üretimine etkisini inceleyerek IMO tarafından belirlenen egzoz emisyon kısıtlamalarının sağlanmasında güneş enerjisinin önemli bir alternatif enerji kaynağı olduğu önermişlerdir.

Yuan ve arkadaşları (Yuan ark., 2018) 5000 araç taşıma kapasiteli bir PTTC (Pure Car and Truck Carrie) tipi gemide bağımsız bir fotovoltaiik sistem olarak önerilen tasarım ile gemide deneysel testler gerçekleştirerek, güneş enerjisi kullanılmayla yıllık yakıt tüketiminde yaklaşık %4 oranında kazanç sağlanırken, fosil yakıt tüketimi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunun ise %8,5 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Lana ve arkadaşları (Lana & ark., 2015) dizel jeneratörlü ve enerji depolama sistemli bir gemide yakıt tüketimini ve oluşan emisyon miktarını düşürmek amacıyla optimum büyüklükteki fotovoltaiik devrenin nasıl olması gerektiğini belirlemek için, Çin ve



Yemen’de iki farklı şehir referans noktası alınarak bu iki şehir arasında belirlenen rotada güneş ışınlarının mevsimsel ve coğrafik etkilerinde değişim sonucu parametrelerdeki değişimi inceleyerek hibrid bir sistem olan PV/dizel/enerji depolama sisteminde üretilen gücün toplam maliyetinin, PV/dizel güç üretim sistemiyle kıyaslandığında daha ekonomik olduğunu bulmuşlardır. Aksu (Aksu, 2021) yenilenebilir enerji kaynaklarından fotovoltaik sistemlerin hem gemilerde hem de yüzer yapılarda kullanılmasına yönelik yapılmış uygulamaları incelemiştir.

Literatürde güneş enerjisinin gemilerde kullanımı ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalar güneş enerjisi tahrikli hibrit gemi konsept dizaynlarına da birer temel oluşturmaktadır.

“M/S Tûranor PlanetSolar” isimli tekne tahrik gücünün güneş panellerinden alan bir katamaran tekne konsept dizaynıdır. 2010 ve 2012 yılları arasında 584 gün sefer yaparak dünyanın etrafını dolaşan ilk güneş enerjili elektrikli araç olmuştur (Gieffers, 2017).

Her gövdede bir tane olmak üzere iki elektrik motoruna bağlanan 93 kW’lık 537 m<sup>2</sup> güneş panelleri ile kaplı 31 metrelik geminin iki gövdesinde 8,5 ton lityum-iyon pil bulunmakta ve 10 deniz miline (19 km/s) varan hızlara ulaşmaktadır.

2010 yılında inşa edilen Shangdeguosheng isimli yolcu gemisi dizel motor ve güneş enerjisini kullanarak çalışan 32 m uzunluğunda ve 10 m genişliğinde olan bu gemi hibrit tahrik sistemine sahip olmasından dolayı çevre dostu olmasıyla birlikte enerji tasarrufu da sağlamıştır Yoneda (Yoneda, 2021).

2016 yılında inşa edilen MV Cosco Tengfei isimli Ro-ro gemisi dünyanın en büyük güneş enerjisiyle çalışan gemisi olma unvanına sahip olan hibrit güç sistemli bir gemidir. Uygulanan sistemin, geminin dizel jeneratörünün enerji tüketimini 120 ila 143 KW arasında azaltabileceği, testlerde elektrik beslemesinin güneşli günde 16 saat olduğu, bunun günlük 0,46 ton yakıt tasarrufu sağlayacağı bildirilmiştir (Anonim, 2021). Başarılı sonuçlar elde eden bu konsept dizayn ile denizcilik sektöründeki alternatif enerji arayışında güneş enerjisinin önemi bir kez daha ispatlanmış olmuştur. Deniz taşımacılığının en büyük çevre tehditlerinden biri olan zararlı gaz emisyonlarının bu ve benzeri konsept dizaynlarına azaltılmasına yönelik araştırmaları destekleyecek nitelikte bir proje olmuştur.

M/V Auriga Leader gemisi 2008 yılında inşa edilen ve tahrik gücünün belirli bir kısmını güneş panellerinden karıştıran bir araç taşıma gemisidir. Hibrit güneş enerjisi ile çalışan ilk kargo gemisi unvanına sahiptir. Gemi 200 m uzunluğa, 32 metre genişliğe ve 60213 groston hacme sahiptir. Gemiye yerleştirilen 328 adet güneş paneli ile gemideki elektrik enerjisi ihtiyacının %10’na yakını karşılanabilmektedir. Ayrıca, fotovoltaik enerji sistemi uygulaması ile jeneratörler için harcanan yakıttan %0,5 ile 2 arasında bir tasarruf sağlanmıştır. Yıllık yakıt tüketim miktarından 13 ton ve yıllık CO<sub>2</sub> emisyonundan 40 tonluk bir azalma sağlanmıştır. (Anonim, 2018). 2006 yılında, gemi gövdesinde 65 m<sup>2</sup>’lik bir alanda güneş panelleriyle donatılmış Sun 21 gemisi Atlantik’i geçmeyi başaran ilk güneş pili ile çalışan gemi olmayı başarmıştır (Anonim, 2018).

2012 yılında inşa edilen 18334 DWT’a sahip 199,99 metrelik araç taşıma gemisi olan The Emerald Ace gücünün bir kısmını güneş enerjisinden alarak alternatif enerjiyle çalışan gemide yer alan 160 kW gücündeki 768 güneş paneli ile gemi enerji üretmektedir (Anonim, 2012).

## Rüzgar enerjisi

Atmosferde yüksek basınç ve alçak basınç farkından dolayı oluşan hava hareketiyle rüzgâr meydana gelir. Gemilerin icat edildiği antik dönemlerden günümüze kadar rüzgâr enerjisi gemi sevk için en eski güç kaynağı olarak görülmüştür. Rüzgâr enerjisi diğer yenilenebilir enerji türleri ile karşılaştırıldığında en ucuz, temiz ve verimli enerji kaynağı olarak değerlendirilir. Buhar, elektrik ve dizel sistemlerinin gelişmesinden önceki yıllarda gemilerin sevkini sağlayan yelken donanımlarının geliştirilmesiyle rüzgâr destekli tahrik sistemleri geliştirilmiştir. Son yıllarda özellikle egzoz

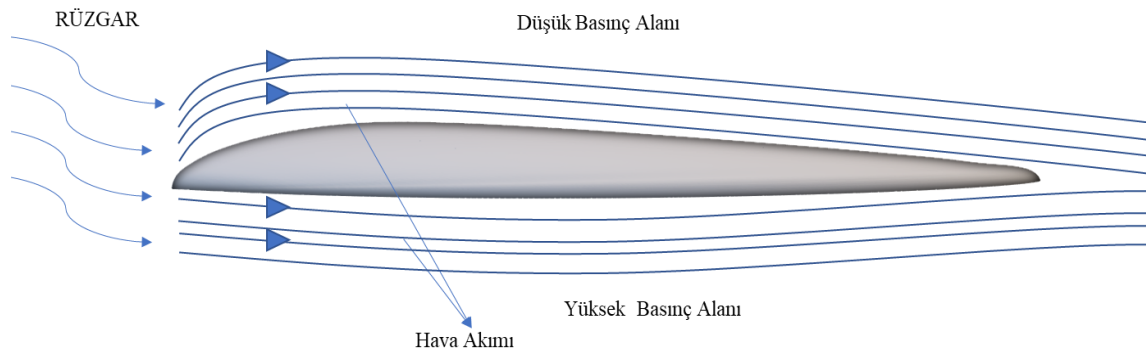
emisyonları, yakıt fiyatlarında meydana gelen artışlar ve buna bağlı olarak gemilerin seyir maliyetlerinin artması sonucu rüzgârın kinetik enerjisini gemi için itme kuvvetine dönüştürecek alternatif mekanik yöntemleri aramaya yönelmiştir. Çekme uçurtması sistemi, flettner rotorları ve modern yelken sistemi rüzgâr enerjisinin denizcilik alanında mekanik gemi sevk uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisinden faydalanarak hibrit sistemler haline getirilen gemiler, bu sayede yakıt tüketimini ve seyir maliyetlerini de azaltarak gemi faaliyetlerinden kaynaklı emisyonun da bu yolla azaltılmasını hedeflemektedir.

### Gemilerde rüzgâr enerjili alternatif uygulama sistemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisinin gemilerde kullanılmasındaki ana amaç gemilere ek bir itme kuvveti sağlayabilmektir. Rüzgârın kinetik enerjisini gemi için itme kuvvetine dönüştürecek alternatif mekanik yöntemler yelkenler, uçurtma sistemleri ve Flettner Rotorlarıdır.

### Yelkenlerin çalışma prensibi

Bir yelkenin gemideki çalışma prensibi akışkanlar mekaniğinin temel prensiplerinden biri olan akışkanların hızları ve basınçları arasındaki bağlantıyı açıklayan Bernoulli prensibine dayanır. Akışkanın hızının arttığı noktada yerel basınçlarda düşme meydana gelir ya da akışkanın basıncının arttığı noktada hız da azalma meydana gelir. Uçakların uçuşması ve gemi yelkenlerinin gemi hareketini sağlaması bu Bernoulli ilkesine dayanır. Diğer bir temel prensip olan Newton'un etki-tepki prensibinin bir sonucu olarak iki yüzeyde meydana gelen kuvvetler sonucu hareket sağlanmış olur. Şekil 2'de bir kanada hava akımı geldiği anda kanadın alt ve üst yüzeyleri olmak üzere iki farklı yol izler. Kanadın üst yüzeyindeki havanın hareket mesafesi alt yüzeyine göre daha kısadır. Üst taraftaki hava akımı hızlanırken alt taraftaki akım daha yavaştır. Oluşan bu hız farkından Bernoulli Prensibine göre bir basınç farkı oluşur. Kanadın üst yüzeyinde alınan hava akım mesafesinin uzun olmasından meydana gelen hız artışı beraberindeki basıncı düşürerek bir alçak basınç oluşturur bu alçak basınç beraberinde bir emiş kuvveti oluşturur. Alt tarafında ise mesafenin kısıllığından dolayı hız azalırken basınç artar ve yüksek basınç oluşur bu yüksek basınç ise beraberinde bir kaldırma kuvveti oluşturur. Gemi yelkenlerinin çalışma prensibi de aynı etkilere dayanır. Yelkenin rüzgârın altındaki tarafındaki mesafe rüzgâr üstü kısımdan daha uzundur. Oluşan bu mesafe farkından dolayı bir hız farkı meydana gelir meydana gelen bu hız farkı basınçlar arası da bir fark oluşturarak emiş ve kaldırma kuvvetleri oluşmasını sağlar. Yelkenli bir gemiye etki eden kuvvetler, ilerletici kuvvet ve bayıltıcı kuvvet (diğer bir adıyla yatırıcı kuvvet teknelerin yatmasına sebep olan kuvvet bileşenidir) olarak adlandırılır. Bayıltıcı kuvvet ve ilerletici kuvvetin bileşkesine ise toplam yelken kuvveti denilir.



Şekil 2. Yelkende oluşan basınç değişimleri

## Modern gemilerde kanat yelkenler

Geçmiş yelkencilik tecrübelerinin modern teknolojiyle harmanlanmasıyla kanat yelkenler olarak adlandırılan yeni tasarımlar ortaya çıkmıştır. 1980lerde yaşanan petrol krizinde alternatif bir sistem olarak Japon mühendisler tarafın “rijit yelkenler “olarak adlandırılan bir kanat yelken sistemi geliştirilmiştir.

Modern yelkenli gemilerin ilk uygulaması 1600 DWT’lık tanker Shin Aitoku Maru’ ya ve 26.000 dwt dökme yük gemisi Usuki Pioneer’e kurulmuştur. Japonya Makine Geliştirme Birliği rijit yelkenlerle donatılmış Shin Aitoku Maru ve Usuki Pioneer gibi Japon gemilerini tasarlayarak, rijit yelkenlerin yakıt tüketimini önemli ölçüde azalttığını kanıtlamıştır. Bu yelkenler sayesinde yakıt tüketiminin yaklaşık %10-30 oranında düştüğü görülmüştür. Çeşitli tasarımlardaki rijit yelkenler birkaç küçük gemiye uygulanmıştır, fakat yelkenlerin gemilerde işletme zorluluğu ve üretim maliyetlerinin fazla olması gibi nedenlerden dolayı büyük tonajlı gemilerde kullanımı yaygınlık gösterememiştir (Anonim, 2014).

Usuki Pioner gemisine ait performans verilerine göre Japonya’dan Seattle’a gidiş dönüş yaptığı ilk yolculuğundan elde edilmiştir. Geminin verilen temel özelliklerine göre; gemi, kumaştan yapılmış ve çelik bir çerçeve üzerine monte edilen birbirine paralel konumda yerleştirilen 320 m<sup>2</sup> alanlı iki adet yelkene sahiptir. Geminin ortalama hızı yaklaşık 12 deniz mili, ortalama motor yükü %63,4 ve 240 rpm’de her biri 2460 kW olan ve 88 rpm’de bir cp pervaneyi çalıştıran iki Hanshin 6EL40 ana motor vardır; yakıt tüketimleri yaklaşık 186 g/kWh’dir. Usuki Pioneer gemisiyle benzer tonaja sahip olduğu kabul edilen yaklaşık 26.000 DWT civarındaki geleneksel gemilerde yakıt tüketiminin 20-23 ton/gün olduğu hesaplandığında yelken sisteminin geminin yakıt tüketiminde azalma sağladığı görülmektedir (Anonim,1995).

Modern kanat yelkenli gemi tasarımlarından biri de Fransız firma Neptune Marine tarafından geliştirilen Canopée adlı kargo gemisi tasarımıdır. 21 metre uzunluğunda ve 23 metre genişliğinde açık güverteli Canopée adlı bir kargo gemisi 30 metre yüksekliğinde “Oceanwings” olarak adlandırılan 4 adet kanat yelkene sahiptir. Her biri 375 m<sup>2</sup> alana (toplam 1500 m<sup>2</sup>) sahip bu yelken panelleri, dizel tahrik sistemlerinin yakıt tüketimini olumlu yönde etkilemektedir (Anonim,2022).

“Wing sail (kanat yelken), rüzgârın kinetik enerjisinin itme hareketine dönüştürebilmek için tekneye birbirlerine paralel olacak biçimde yerleştirilen uçak kanadına benzer yapılarıdır. Üç boyutlu wing sail yani kanat yelkenlerin en genişliği dar olduğunda oluşan sürtünme çok düşüktür. Bu sebeple yüzey alanları geniş olan geleneksel yelkenlerden daha verimlidir. Gemilere yerleştirilen bu yelken kanatlar yakıt maliyetlerini ve oluşturduğu zararlı gaz salınımını ortalama %30 oranında azaltarak gemiye güç sağlar. Donanımlarının bir kısmının yapım aşaması hala devam etmekte olup test ve deneme çalışmalarının ardından 2022 yılından sonra geminin teslim edilmesi planlanmaktadır (Anonim, 2022).

Modern kanat yelken tasarımları içerisinde geliştirilen bir diğer konsept dizayn da ünlü Fransız lastik üretici Michelin in “şişme kanat yelken tasarımıdır. WISAMO (Wing Sail Mobility) olarak adlandırılan proje otomatik, teleskopik, şişirilebilir kanatlı bir yelken sistemidir. Rüzgar destekli tahrik gücü sayesinde emisyon oranlarını düşürmeyi hedefleyen proje test çalışmalarının ardından 2022 yılı sonrasında ticari gemiler için üretime geçirilmesi planlanmaktadır. WISAMO proje ekibi tarafından geliştirilen sistem sayesinde gemi türüne, geminin seyir yapacağı rota ve hava koşullarına bağlı olarak geminin yakıt verimliliğini %20’ye kadar arttırabileceği açıklanmıştır. Sistem, modüler yapısı sayesinde yeni inşa projelerinde gemilere direkt kurulmasının yapılmasına imkan verdiği gibi inşası tamamlanmış gemilere sonradan kurulmasının yapılmasına uygundur. Ayrıca yelkenlerin teleskopik yapısı sayesinde gemilerin liman girişlerinde ve köprülerin altından geçişlerinde boyutlardan kaynaklı sorun yaşamasının da önüne geçilmiş olur (Anonim,2021).

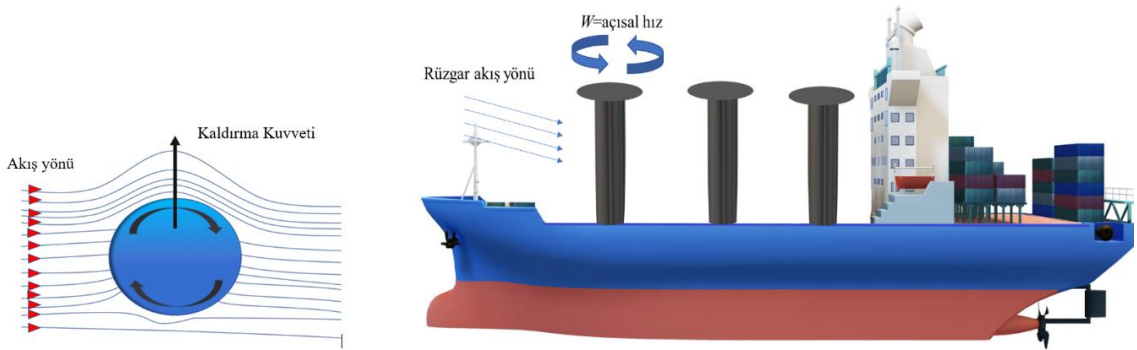
## Uçurtma sistemi

Uçurtma sistemi, dizayn ilhamını basit uçurtmalar ve paraşütlerden alan rüzgâr destekli tahrik sistemlerinden biridir. “Kite sails” uçurtma sistemi ilk kez Almanya’daki “SkySails” firması tarafından geliştirilmiştir. Şirket uçurtma sistemini kullanarak tasarladığı hibrit gemiler ile egzoz emisyon oranlarını azaltmayı ve ayrıca yakıt maliyetlerini düşürmeyi hedeflenmektedir. Skysails tasarımıyla büyük tonajlı kargo gemilerinin uçurtmalı rüzgâr sevk sistemi sayesinde kullandıkları yakıt miktarının düşürülmesi amaçlanmaktadır. Firma geliştirdiği teknoloji ile 320 m<sup>2</sup> yelken alanından 2MW’lık ana makine gücünün karşılayabilmektedir (Kükner & Kaplan, 2016). Gemiye yerleştirilen uçurtma yelkenleri ile rüzgârın hızından faydalanılarak geminin hareketine katkı sağlanır böylece motordaki yakıt tüketimi azaltılmış olur. Günümüzde bu yenilikçi rüzgâr destekli tahrik sistemi birkaç kargo gemisinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## Flettner Rotorları

Flettner rotorları çalışma prensibi Magnus Etkisine dayanan, rüzgârın yarattığı hava akımı ve manyetizma sonucu oluşan hareketi ile bir enerji üretim sistemidir. Magnus etkisi ilk kez “1850ler de Alman bilim insanı Heinrich Gustav Magnus tarafından keşfedilmiştir. Magnus bilimsel çalışmaları sırasında bir hava akımı içerisinde döndürülen silindirik cisme etkiyen bir kaldırma kuvveti oluştuğunu gözlemlemiştir. Oluşan bu kuvvet akışkanlar mekaniğinin temel prensiplerinden olan Bernoulli Prensibine dayanmaktadır. 1920’lerde ise Alman mühendis Antonio Flettner tarafından Magnus etkisi yardımıyla dönen bir silindirden elde edilen enerjisinin gemilerde sevk için kullanılabileceğini keşfederek flettner rotorlarının temellerini atmıştır (Kahyaoglu, tarih yok).

Bir akışkan içerisinde yer alan kendi ekseni etrafında bir dönme hareketi gerçekleştirirken aynı zamanda içinde bulunduğu akışkanın akış yönüne (akım hatlarına) ters yönde ilerleyen silindirik ya da küresel bir cisimde yukarı yönlü olacak şekilde içinde bulunduğu akışkanın akış hatlarına dik doğrultuda bir kaldırma kuvveti oluşur. Şekil 3’te bir akışkanın akış alanı içerisinde dönen silindir etrafında oluşan akış hatları ve silindirin hareketinden dolayı oluşan kaldırma kuvvetinin şekli verilmiştir.



Şekil 3. Akış içerisinde ekseni etrafında dönen cisimde oluşan kuvvetler ve gemideki yerleşim düzeni

Akış alanı içerisindeki cismin dönme hızı arttıkça dönme yönüne bağlı olarak cismin bir tarafındaki akış ile ortam akışının karıştığı bölgede basınç düşer, diğer tarafında ise artar. Böylece silindir etrafındaki simetrik olmayan bu hız alanı ve basınç dağılımı, akım hatlarına dik doğrultuda bir kaldırma kuvveti meydana getirir (Kahyaoglu, tarih yok). Oluşan bu etki yine yelkenlerin çalışma

prensibinde olduğu gibi Bernoulli prensibinin etkilerinin bir sonucu olarak oluşur. Rüzgâr dönen silindiri geçerken bir tarafta yüksek basınç, karşı tarafta karşılık gelen düşük basınç alanı ile oluşur. Bu basınç farkı, rüzgârın yönüne dik bir kaldırma kuvveti oluşturur. Ayrıca bir sürüklenme kuvveti de vardır. Bu kuvvetlerin ileri bileşenleri, gemiyi ileriye doğru itme kuvveti ile sonuçlanır .

Flettner rotorları ise gemilerde Magnus etkisinin kullanarak enerji üretmeye yarayan gemi güvertesine dikey olarak monte edilen dönen silindirik yapılardır. Bir motorun etkisiyle silindir hava akımı içerisinde döner ve bu dönme sonucu oluşan kaldırma kuvvetini geminin sevk gücüne yardımcı olan bir güç olarak katkı sağlar (Pearson, 2014).

Günümüzde büyük denizcilik firmaları başta olmak üzere artan yakıt maliyetlerinin yarattığı olumsuz koşullar ve sürdürülebilir lojistik kavramlarının ortaya çıkmasıyla birlikte, alternatif enerji kaynağı arayışının ortaya çıkmasıyla flettner rotorları bu arayışa yenilikçi bir çözüm olmuştur. Dünyada bir örnek de Norsepower tarafından geliştirilen Rotor Yelken Teknolojisidir. Kullanım ve kurulum kolaylığı sayesinde mürettebata sorunsuz bir operasyon imkânı sunan rotor yelkenlerin yaklaşık %5 ila %20 arasında yakıt tasarrufu sağladığı yapılan testler ile kanıtlanmıştır (Anonim, 2021).

Norsepower Rotor Yelken teknolojisi ticari gemiler başta olmak üzere birçok gemiye modüler yapısı sayesinde kolaylıkla entegre edilebilir. Rotor yelkenler magnus etkisini kullanan flettner rotorlarının geliştirilmiş bir versiyonudur. Gemilerde kullanılacak rotorun sayısı ve büyüklüğü geminin boyutu hızı ve çalışma prensibine bağlı değişim gösterebileceği gibi 18, 24, 28, 30 ve 35 metrelik yüksekliklere sahip beş farklı alternatif rotor boyutu sunmaktadır. Norsepower Rotor Yelkenlerinin kurulumundaki temel parçalar; döner hareketle itki kuvveti sağlayan silindirik Rotor Yelkenleri, Rotor Yelkenlerinin çalışması ve performansının kaptan tarafından kontrol edilmesini sağlayan kontrol paneli, Rotor Yelkenlerinin ileri atılımını optimize eden tam otomatik kontrol sistemi ve Her bir rotor yelkeni için düşük voltajlı elektrik güç kaynağından oluşmaktadır. Flettner Rotorlarını enerji üretiminde kullanan E-Ship I gemisi 10.000 DWT'lik bir kargo gemisidir. Güverteye yerleştirilen 27 m yüksekliğinde ve 4 m çapındaki dört adet Flettner rotor yelkeni ile uygun çalışma koşulları altında geminin enerji verimliliği %30 oranında arttırılabilir (Anonim, 2022). Başka bir Flettner rotorlu yelkenli gemi, "M / V Estraden" 2015 yılında inşa edilmiş, 18 m yüksekliğinde ve 3 m çapında iki adet Flettner rotor yelkeni ile donatılmıştır (Anonim, 2020). Flettner rotorları günümüzde gemilerde maksimum verimi elde edecek ve rüzgârın gücünden en yüksek oranda fayda sağlamak amacıyla geliştirilme çalışmalarına devam etmektedir.

### **biyokütle enerjisi**

#### **Biyokütle**

Biyokütle, bir veya farklı türlerden oluşmuş canlı organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam küttür. Fosil yakıtlar gibi güneş enerjisi sonucu depolanmış temiz, yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyoyakıtlar biyokütle enerjisinden elde edilen, bitki ve diğer canlı organizmaların ve onların metabolik çıktılarının yapılarındaki karbon atomlarının enerji dönüşüm çemberine dahil edilmesiyle enerji elde edilmesi amacıyla kullanılan yakıt türüdür. Biyoyakıtların yapısında yer alan karbon atomu bitkilerin havadaki karbondioksiti parçalamasının bir sonucu olan fotosentez reaksiyonu sonucu elde edildiğinden atmosferde karbondioksit artışına sebep olmaz mevcut karbondioksit miktarı enerji dönüşümünden dolayı korunmuş olur. Biyoyakıtlar bu eşsiz özelliklerinden dolayı günümüzde fosil yakıtların yarattığı egzoz emisyon artışından dolayı fosil yakıtlar yerine gelecek vaat eden bir alternatif enerji kaynağı olarak görülmektedir.

#### **Biyoyakıtların Sınıflandırılması**

Biyoyakıtlar işlenme durumuna göre birincil ve ikincil biyoyakıtlar olmak üzere iki sınıfta incelenir. Birincil biyoyakıtlar enerji üretimi için kullanılan işlenmemiş biyokütle hammaddesinden

oluşur. İkincil biyoyakıtlar ise biyokütle hammaddesinin işlenmesiyle elde edilen biyodizel etanol gibi yakıtlara dönüştürülen yakıt türüdür. Birincil biyoyakıtlar, ısı kaynağı olarak ısıtma sistemlerinde, elektrik üretimi ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda olarak doğrudan kullanılırlar. İkincil biyoyakıtlar, birincil biyoyakıtların çeşitli şekillerde işlenmesiyle elde edilen katı sıvı ve gaz formlardaki yakıtlar olup her türlü uygulamada kullanılmaktadır (Nigam & Singh, 2011). Birinci nesil biyoyakıtlar genellikle tahıllar, şeker üretilen bitkiler ve yağlı tohumların sıvı ürünlerinden elde edilmektedir. 2. nesil biyoyakıtlar ise tahıllar, şeker kamışı ve orman atıklarından üretilirler (Ralph & ark., 2010). Biyokütle ile biyoyakıt üretimi için üretim teknikleri Termo kimyasal Dönüşüm ve Biyokimyasal-Fiziksel dönüşüm olmak üzere iki gruba ayrılır. Termokimyasal dönüşümde Piroлиз veya gazlaştırma işlemlerinden oluşan sentez gazının da sentezinden Dizel, H<sub>2</sub>, Biyodimetil eter ve Biyometanol yakıtları elde edilir. Biyokimyasal-Fiziksel dönüşüm metodunda ise hidroliz veya fermentasyon yöntemleri ile Biyometanol, Biyometan ve Dizel yakıtları elde edilir (Işık & Yavuz, 2022). Biyoyakıtlar katı sıvı ve gaz formlarına göre sınıflandırılırlar. Biyometanol, bioetanol, biyoyağ, biyodizel ve biyobütanol sıvı yakıtlı biyoyakıtlardır. Biyogaz, biyohidrojen gaz yakıtlı biyokömür ve biriktirilmiş katı biyoyakıtlardır (Işık & Yavuz, 2022).

### **Biyo-Etanol**

Bioetanol yapısındaki etanolün alkol yapısından dolayı biyoalkol olarak da adlandırılan renksiz yanıcı bir sıvı biyoyakıttır. Bioetanol şeker ve nişasta kökenli karbonhidrat bakımından zengin olan bitkilerden elde edilen biyokütlenin fermantasyonu sonucu açığa çıkar. Bioetanol yakıt olarak ulaşım sektöründe, jeneratörlerde, kozmetikte ve ilaç üretiminde kullanılmaktadır. Etanol ve benzin karışımının alternatif bir motor yakıtı olarak kullanımı artmış ve yakıt olarak kullanılabilmesi petrole olan bağımlılığı ve hava kirliliğini azaltabilir, ayrıca kırsal alanlarda istihdam yaratabileceği belirtilmiştir (Demirbaş, 2005).

### **Biyo-Metanol**

Metanol geçmişte odunun damıtılmasıyla elde edildiğinden odun alkolü olarak da adlandırılan, renksiz ve uçucu en basit yapılı alkol formudur. Metanol doğalgaz kömür ve biyokütle gibi yakıtların yüksek basınç altındaki uzun reaksiyonları sonucu oluşan sentez gaz ile hidrojenin reaksiyonları sonucu üretilir. Bu yüksek basınç altındaki hidrojen ve sentez gazının reaksiyonu bu yöntemi geliştiren alman bilim adamlarının adıyla anılarak Fischer-Tropsch (hydrerungs verfahrnung) yöntemi olarak bilinir. Bu yöntem ile metanol karbondioksit ve hidrojenin 250-350 bar arası basınçta ve 320-450 °C derece sıcaklıkta reaksiyonlarından elde edilir (Tijm, Waller & Brown, 2001). Biyometanol ise bitki ve hayvan atıkları, evsel atıklar ve gıda atıkları gibi çeşitli biyokütle kaynaklarının reaksiyonları sonucu üretilen alternatif bir yakıt çeşididir (Tijm, Waller & Brown, 2001). Metanol gelişmekte olan bir yenilenebilir enerji olup denizcilik, otomotiv ve elektrik sektörlerinde kullanılmaktadır. Metanol (CH<sub>3</sub>OH) suda çözünebilir, temiz bir şekilde yanan, biyolojik olarak kolayca parçalanabilen, hidrojen, oksijen ve karbon içeren bir alkol türüdür. Metanol gemi ve diğer araçlarda yakıt olarak, evlerde ısınma amaçlı olarak kullanabilen gelecek vaat eden bir alternatif enerji kaynağıdır.

### **Biyodizel**

Biyodizel, egzoz emisyonlarında fosil yakıtlarına göre daha az hidrokarbon, karbon monoksit, kükürt dioksit ve partikül içermesi ve yenilenebilir olması alternatif yakıt olarak ele alınmaktadır. Büyük ölçekte üretilmesi durumunda, fosil yakıtlara olan talebi azaltıp, fosil yakıt bedellerini azaltacak olması ve tarımsal hammaddeler için yeni bir üretim ve istihdam oluşturacak olması da biyodizelin tercih edilme gerekçeleri arasında olduğu (Szulczyk, 2010) tarafından belirtilmiştir.

Biyodizel üretiminde bitkisel veya hayvansal yağlar kullanılmaktadır. Bitkisel yağlar, yüksek moleküllü yağ asitleri ile gliserin(gliserol) arasında oluşan trigliseritlerdir. Yağ asitlerinin esterleşme reaksiyonu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilir. (Aksoy, 2010) Yağlı tohum bitkilerinden ya da hayvansal yağların katalizör yardımıyla reaksiyona girmesi sonucunda biyodizel yakıt elde edilmektedir. Biyodizel genel olarak B5 (%5 Biyodizel+%95 Dizel), B20 (%20 Biyodizel+%80 Dizel), B50 (%50 Biyodizel+%50 Dizel) ve B100 (%100 Biyodizel) şeklinde isimlendirilmektedir. Biyodizelin 3 farklı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; FAME (Yağ asidi metil esteri), HVO (Hidroişlenmiş bitkisel yağ) ve BTL (Biyokütleden sıvılara)'dir. (Dağdelen, 2015) Artan yakıt maliyetleri ve fosil kökenli yakıtların yanması sonucu oluşan zararlı emisyonlar göz önünde bulundurulduğunda biyokütle kökenli bir yakıt olan biyodizel taşıt motorları ve dizel motorlar için uygun bir alternatif enerji kaynağıdır. Biyodizelin yakıt olarak kullanılması araçlarda güvenli enerji üretimi sağlarken emisyonları düşürerek çevreye olan zararı önler. Ayrıca dizel motorlarda zamanla motor parçalarının hareketinden kaynaklanan aşınma ve yıpranmaları önlemek için yağlamaya duyulan ihtiyaç, biyodizel yakıt kullanılmasıyla önlenmiş olur. Biyodizel yakıtın setan sayısını da yükseltmektedir. Biyodizelin parlama noktası dizel yakıtlar ile kıyaslandığında daha yüksek olduğundan yanıcılığı daha azdır. İşlenmesi, depolanması ve taşınması dizel yakıtla kıyasla daha güvenilirdir (Anonim, 2022).

### **Biyoyağ**

Biyoyağ diğer biyoyakıtlar gibi yanma sırasında zararlı gaz emisyonları oluşturmayan çevre kirliliğine sebep olmayan bir yakıt türüdür. Fakat yüksek viskozite ve yüksek aşındırıcılık gibi istenmeyen özelliklerinden dolayı doğrudan yakıt olarak kullanılamazlar (Xiu & Shahbazi, 2012).

### **Biyobütanol**

Biyobütanol hammaddesi şeker ve tahıl olan organik atıklardan elde edilen bir alternatif biyoyakıt türüdür. Biyobütanol biyogazolin olarak adlandırılan biyoetanol ile aynı enerji yoğunluğuna sahip bir yakıt türüdür. Bütanol yakıtı benzin ve dizel yakıtlarda çeşitli oranlarda karışımı sağlanarak kullanılan bir yakıt türüdür. Fakat biyobütanol benzin ile karışım bir yakıt olarak kullanıldığında biyoetanol ile karşılaştırıldığında benzindeki oktan sayısını biyoetanolden daha fazla arttırdığından daha iyi bir yanma performansı sunar (Stöcker, 2008).

### **Biyohidrojen**

Hidrojen enerjisi yakıt olarak kullanıldığında yanma reaksiyonu sonucu zararlı emisyon oluşturmadığından geleceğin enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Yanması sonucu fosil yakıtlarda oluşan karbondioksit yerine sadece su oluşur (Kotay & Das, 2008). Biyohidrojen elde etmek için tarımsal ürünler, odun ve odun atıkları, gıda atıkları, algler, kanalizasyon atıkları, insan ve hayvan atıkları gibi biyokütle kaynakları kullanılır. Ayrıca, farklı organik atıklar kullanılabileceğinden, hidrojen üretimi ile atıklar değerlendirilmiş olur (Veziroğlu, 2001),( Adessi & Philippis, 2014).

### **Biyogaz**

Organik atıklardan elde edilen biyogazın oluşumu anaerobik bir ortamda mikrobiyolojik floranın etkisi altındaki organik maddelerin karbondioksit ve metan gazına dönüşmesi işlemi olup enerji üretiminde kullanılan bir yakıt türüdür. Biyogaz üretimi temel olarak organik maddelerin ayrıştırılmasına dayandığı için temel madde olarak bitkisel atıklar ya da hayvansal gübreler kullanılabilir. Günümüzde biyogaz enerji kaynağı olarak ev ısıtma sistemlerinden jeneratörlerde elektrik üretimine kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Anonim 2020).

## Denizcilik alanında biyokütle enerjisi üzerine yapılmış çalışmalar

Biyoyakıtlar diğer alternatif enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanması yolculuğunda henüz yeni ve araştırma geliştirme çalışmaları hala devam eden bir enerji kaynağıdır. Bu alanda yapılan deneysel ve teorik çalışmalar çoğunlukla dizel motorlu güç sistemleri üzerine olup elde edilen veriler doğrultusunda biyoyakıtların gemi dizel makinelerine uygulanabilirlik çalışmaları hala devam etmektedir.

Kanada'da faaliyet gösteren "Canada Clean Fuels" ortaklığında ve "Sterling Fuels" iş birliğiyle gemilerde B100 olarak adlandırılan %100 biyo içerikli biyodizel yakıt deneme çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmalar doğrultusunda Kanada filosundaki 8 adet dökme yük gemisinde 14.000 ton MGO (Marine Gas Oil) yerine %100 biyo içerikli ikinci nesil biyoyakıt kullanıldığı, altı ay boyunca 30.000 çalışma saatini kapsayan testlerin, "Transport Canada" test protokolü kapsamında, firmanın Kanada filosundaki sekiz gemisinde gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Bu çalışmalar sonucunda gemilerde kullanılan geleneksel yakıtlara oranla biyoyakıt kullanımının, filonun toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarında %23'lük bir azalma elde edildiğini belirtmektedir. B100 biyodizelin, ana ve yardımcı makinalarda test edildiği ve mevcut motor donanımında herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek olmadan gemilerde doğrudan kullanılabilirliği belirtilmiştir. Emisyonda meydana gelen azalma oranının Kanada hükümetinin yaşam döngüsü emisyon aracı "GHGenius" aracılığıyla hesaplandığı bildirilmektedir. Çalışmalarda kullanılan Kuzey Amerika kaynaklı biyoyakıtın tamamen bitki/ağaç atıklarından üretildiği ifade edilmektedir (Anonim 2021).

Wagner ve arkadaşları (Wagner, Clark, & Schrock, 1984), soya yağından elde edilen etil, metil ve bütil esterlerini dizel makinada kullanarak makinarya ait motor performans değerlerinin incelemişlerdir. Biyoyakıt kullanılması sonucu elde edilen performans değerleriyle dizel yakıt kullanılması sonucu elde edilen değerler arasında önemli bir farkın olmadığı sonucuna varmışlardır.

Culshaw (Culshaw, 1993) dizel bir makinenin donanımı üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan doğrudan kolza yağına ait metil esteri yakıt olarak kullanarak makinenin performans verilerini incelemiştir. Biyoyakıt kullanılması sonucu elde edilen yakıt yoğunluğu, setan sayısı ısı değeri gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerin dizel yakıt kullanıldığında elde edilen değerlere çok yakın olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Özakaş ve arkadaşları (Özakaş, Cığazoğlu & Karaosmanoğlu, 1997) dizel bir motorda kullanmak amacıyla biyoyakıtları dizel yakıtla karıştırarak elde ettikleri verileri dizel yakıt kullanıldığı durumla karşılaştırmışlardır. Mısır yağı, soya yağı ve Ayçiçek yağını %20 ila %80 arasındaki oranlarda dizel yakıtla karıştırarak dizel makine kullanarak elde ettikleri veriler doğrultusunda biyoyakıtların karışım olarak dizel yakıt yerine kullanılması durumunda herhangi bir performans sorunuyla karşılaşmadığı sonucuna varmışlardır.

Altın (Altın, 1998), tek silindirli bir motorda biyoyakıtın ve dizel yakıtın kullanılmasıyla sonucu oluşan performans verilerini karşılaştırmıştır. Dizel yakıt ve biyoyakıtı farklı oranlarda kullanarak karışım yakıtlar oluşturmuştur. Karışım oranlarını; %50'ser soya yağı- dizel yakıt, %50'ser ayçiçek yağı- dizel yakıt, %50'ser soya yağı metil esteri – dizel yakıt ve %50'ser ayçiçek yağı metil esteri – dizel yakıt olarak belirlemiştir. Motoru farklı şartlar altında çalıştırarak elde ettiği performans verileri sonucunda soya ve Ayçiçek yağlarının kullanıldığı durumlarda gösterilen performans değerlerinin dizel yakıt kullanıldığı duruma yakın olduğu görülmüştür.

Silvio ve arkadaşları (Silvio, Prata & Teixeira, 2003) biyoyakıt ve dizel yakıtı karıştırarak elde ettikleri bu karışım yakıtı Volvo markalı bir otobüs motorunda kullanmışlardır. Ayçiçek yağı metil esterini, dizel yakıtla %5 ve %30 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım biyoyakıtın motorda kullanılmasıyla oluşan performans değerlerinin incelemişlerdir. Buna göre karışım yakıt içerisindeki



biyoyakıt miktarı arttıkça motordan üretilen güç değerinde düşme gözlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise önemli bir farklılık görülmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Çetinkaya ve arkadaşları (Çetinkaya & ark.,2005) biyoyakıt olarak atık yemeklik yağdan üretilmiş biyodizel yakıtı bir otomobil dizel motorunda kullanarak motorun performans değerlerinin incelemişlerdir. Elde edilen veriler doğrultusunda motorda biyodizel yakıt kullanıldığı durum ile dizel yakıt kullanıldığı durum karşılaştırıldığında motor gücünde %2 oranında bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca biyoyakıt kullanıldığı durumda enjektörde karbonlaşma meydana geldiği bildirilmiştir.

### **Sonuçlar ve tartışma**

Bu çalışmada birincil tür yenilebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve biyokütle ele alınarak, bunların denizcilik alanındaki teknolojik uygulamaları, teorik ve deneysel literatür çalışmaları örnek ve özetleri ele alınarak tanıtımlar yapılmıştır. Bu çalışma konsept tasarımlarının örneklerini tanıtmak amacıyla ve bu konuda çalışan kişilere genel bir bakış açısı vermek açısından özet olarak ele alınarak ekonomik analizi ve enerji verimliliği açısından verilere yer verilmemiştir. Özetlenen örnekler içinde yapılan çalışmalarda enerji kullanım önceliğinin güneş enerjisi olduğu sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKÇA

Adessi, A. & Philippis, R.D. (2014). Photobioreactor Design and illumination systems for H<sub>2</sub> production with anoxygenic photosynthetic bacteria: A Review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39: 3127-3141.

Aksoy L., (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri, *Teknolojik Araştırmalar: Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, (2), 45-52

Aksu E. (2021). Fotovoltaik Sistemlerin Gemilerde ve Yüzer Yapılarda Kullanımı. *2nd International Congress on Ship and Marine Technology*, İstanbul, Türkiye, 16- 18 Eylül 2021, ss.77-86

Altın, R. (1998). *Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Anonim (2010). PlanetSolar Unveils World's Largest Solar Boat Environment News Service. February 27, 2010”, <https://www.poweronline.com/doc/planetsolar-unveils-worlds-largest-solar-boat-0001>

Anonim 2012, <https://gizmodo.com/the-emerald-ace-japans-prius-of-the-sea-5921423>

Anonim 2018, NYK And Nippon Oil Corporation Joint Project Auriga Leader Completes Seven Months Of Voyages Using Solar Power, [https://www.nyk.com/english/news/2011/NE\\_110525.html](https://www.nyk.com/english/news/2011/NE_110525.html)

Anonim 2018, Transatlantic SUN 21. [http://www.solarnavigator.net/transatlantic\\_21.htm](http://www.solarnavigator.net/transatlantic_21.htm)

Anonim 2020 <https://biyogazder.org/biyogaz-enerjisi/>

Anonim 2020 Norsepower – your provider of auxiliary wind propulsion. <https://www.norsepower.com/>

Anonim 2021, Solar Power& Optoelectronic Application Project For M.V.COSCO TENGFEI [http://en.spe.coscoshipping.com/art/2017/1/16/art\\_12939\\_88526.html](http://en.spe.coscoshipping.com/art/2017/1/16/art_12939_88526.html), 2021.

<https://lines.coscoshipping.com/home/Services/ship/0>

Anonim 2022 AFDC Energy Retrieved. (2022). February 17, 2022, from Energy Efficiency and Renewable Energy, Biodiesel FuelBasics [https://afd.energy.gov/fuels/biodiesel\\_basics.html](https://afd.energy.gov/fuels/biodiesel_basics.html)

Anonim, 2014, <https://www.ecomarinepower.com/en/research/36-research?layout=blog>

Anonim,1995, Substantial Fuel Savings For Sail-Equipped "Usuki Pioneer" 1985 - British Maritime Technology <https://trid.trb.org/view/420788>

Anonim,2021,<https://www.denizbulten.com/haber-michelin-den-sisme-kanat-yelken-tasarimi-34939.html>

Anonim,2021,<https://www.denizticaretodasi.org.tr/tr/haberler/deniz-tasimaciliginda-biyoyakit-denemeleri-hk-1857-1>,

Anonim,2021, <https://www.eskomarine.com.tr/tr/urunler/norsepower>

Anonim,2021,<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes#:~:text=G%C3%BCne%C5%9F%20enerjisi%2C%20g%C3%BCne%C5%9Fin%20%C3%A7ekirde%C4%9Finde%20yer,az%20bir%20miktar%C4%B1%20D%C3%BCnyaya%20ula%C5%9Fmaktad%C4%B1r.>

Anonim,2006 <https://web.archive.org/web/20060901043314/http://marine.rutgers.edu/mrs/education/class/yuri/erb.html>

- Anonim,2022 [https://en.wikipedia.org/wiki/E-Ship\\_1](https://en.wikipedia.org/wiki/E-Ship_1)
- Anonim,2022, <https://www.neptunemarine.com/neptune-has-started-to-build-the-first-large-sailing-cargo-vessel-the-canopee-ever-made/>
- Culshaw, F. (1993). *The Potential of Biodiesel from Oil seed Rape*, IMechE., MEP, London, England.
- Çelebi, G., (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi*, 17/3,1 7-33.
- Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y. & Karaosmanoğlu, F., (2005). Engine and Winter Road Test Performances of Used Cooking Oil Originated Biodiesel, *Energy & Fuels*, 46, 1279-1291.
- Dağdelen D., (2015). *Küresel Biyoyakıt Politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirilmesi, AB Uzmanlık Tezi*, T.C. Gıda, Tarım Ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği Ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Das D. & Veziroglu T.N., (2001). Hydrogen Production By Biological Processes: A Survey Of Literature, *International Journal Of Hydrogen Energy*, 26: 13-28
- Demirbaş, A., (2005). Bioethanol From Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel From Biomass, *Energy Sources*, 27(4), 327-337.
- Gieffers, H., (2012). Ankunft In Monaco: Solarboot Schafft Weltumrundung In 584 Tagen, *Spiegel Online In German*, Retrieved 5 May 2012.
- Işık S. & Yavuz S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, 34, S. 193-201
- Kahyaoglu, N., (tarih yok), Magnus Etkisi ve Deniz Teknolojisinde Uygulama Alanları
- Karamanav, M., (2007). *Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kotay, S. M. & Das, D. (2008). Biohydrogen As A Renewable Energy Resource—Prospects And Potentials, *International Journal Of Hydrogen Energy*, 33(1), 258-263.
- Kükner, A. & Kaplan, C. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Alternatif Sevk Sistemlerinin Yatlarda Uygulanması, *Gemi Ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, (204), 73-88.
- Lana, H., Wena, S., Hongb, Y. Y., Yuc, D.C., & Zhanga, L., (2015). Optimal Sizing Of Hybrid PV/Diesel/Battery In Ship Power System, *Applied Energy*, 158, 26-34.
- Pearson D.R.,The Use Of Flettner Rotors In Efficient Ship Design Naval Engineer Bmt Defence Service 2014, Influence of EEDI on Ship Design, 24-25 September, London, UK
- Poonam Singh Nigam P.S., Singh A.,2011 Production Of Liquid Biofuels From Renewable Resources - Progress in Energy and Combustion Science 37 (2011) 52e68
- Ralph E.H., Sims E.H, Warren M., & Jack N. (2010). Saddler Michael Taylor , An Overview Of Second Generation Biofuel Technologies, *Bioresource Technology*, Volume 101, Issue 6, March 2010, Pages 1570-1580
- Samosir, D. H., Markert, M., & Busse, W. (2017). The Technical And Business Analysis Of using Shore Power Connection In The Port Of Hamburg, *Journal Teknik ITS*, 5(2).
- Silvio, F.N., Prata, A.S., & Teixeira, J.R., (2003). Technical Feasibility Assessment of Oleic Sunflower Methly Ester Utilisation in Diesel Bus Engine, *Energy Conversion and Management*, 44, 2857-2878.

Stöcker, M., (2008). Biofuels And Biomass-To-Liquid Fuels In The Biorefinery: Catalytic Conversion Of Lignocellulosic Biomass Using Porous Materials, *Angewandte Chemie International Edition*, 47(48), 9200-9211.

Szulczyk, K.R. & Mccarl B.A., (2010). Market Penetration Of Biodiesel, *Renewable And Sustainable -Energy Reviews*, 14, 2426–2433.

Tijmb P.J.A., Waller F.J & Brown D.M. (2001). Methanol Technology Developments For The New Millennium, Journal ISSN :0926-860X

Wagner, L.E., Clark, S.J., & Schrock, M.D. (1984). Effects of Soybean Oil Esters on the Performance, Lubricating Oil, Wear of Diesel Engines, SAE., 841385, 670-679.

Xiu, S., & Shahbazi, A. (2012). Bio-Oil Production And Upgrading Research: A Review, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4406-4414.

Yoneda, Y., (2021). World's First Cargo Ship Propelled By Solar Panels. <https://inhabitat.com/auriga-leader-cargo-ship-gets-power-from-solar-panels/>

Yuan, Y., Wang, J., Yan, X., Li, Q., & Long, T., (2018). A Design And Experimental Investigation Of A Large-Scale Solar Energy/ Diesel Generator Powered Hybrid Ship, *Energy*, 165, 965-978.

Zhu, Y., Zhou, S., Feng, Y., Hu, Z., & Yuan, L., (2017). Influences Of Solar Energy On The Energy Efficiency Design Index For New Building Ships, *International Journal Of Hydrogen Energy*, 42, 19389-19394.

## Temiz ve Portatif Güç Üretim Sistemleri: Termoelektrik Jeneratörler

Ahmet ÇAĞLAR<sup>1</sup>  
Sertaç GÖRGÜLÜ<sup>2</sup>

### 1.GİRİŞ

Fosil yakıt kullanan basit tip elektrik üretim santrallerinde enerjisi girdisinin neredeyse üçte ikisinin atık ısı olarak dışarı atıldığı, ancak kalan üçte birlik kısmın elektrik enerjisine dönüştürülebildiği bilinmektedir. Dolayısı ile bu tip sistemlerin %35-40 civarında verimlerle çalıştığı sıradır değildir. Bu düşük verimleri yükseltmek amacıyla atık ısının farklı şekillerde geri kullanımı (kazanımı), elektrik üreticilerinin başvurduğu yaygın bir yöntem olmuştur. Atık ısılarından faydalanmak ve hatta bilfiil tekrar elektrik üretiminde kullanmak için uygulanan yöntemlerden biri de termoelektrik jeneratör (TEG: Thermoelectric generator) kullanımınıdır. TEGler Seebeck etkisi vasıtasıyla ısı enerjisiyle direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürme kabiliyetine sahiptir. Yeşil enerji üretimi bakımından sahip olduğu avantajlar sayesinde son yıllarda umut vadeden alternatif bir yöntem olarak termoelektrik teknolojisi göze çarpmaktadır. Mekanik bir mekanizma olmadığından ve hareketli ya da dönen parçalar içermediğinden buna bağlı olarak bakım ve değişim gerektirmemesi ve sessiz olması, esnek ve portatif uygulamalara imkan vermesi, toplu ve yoğun uygulamalara elverişli olması, uzun çalışma ömrü, silikon, seramik ve polimer gibi birçok malzemeden üretilmesi, temiz ve çevreye duyarlı olması gibi birçok avantajı nedeniyle TEG kullanılmaya değer bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Endüstriyel proseslerden veya benzer şekilde atılan atık ısıdan doğrudan elektrik üretiminde TEGlerin kullanılabilmesi bu sistemlerin diğer bir önemli avantajıdır. Ancak TEGlerin verimleri düşük olup, üretim kapasiteleri MW-GW mertebesinde elektrik üretebilecek boyutlarda değildir ve oldukça sınırlıdır (Jouhara vd., 2021).

Termoelektrik malzemelerin görece düşük kalan performanslarının geliştirilmesinin önündeki bariyerler gün geçtikçe ortadan kalkmaktadır. TEG teknolojisinin gelişimi ile ilgili detaylara yazılmış bazı derleme makalelerden bakılabilir (Riffat & Ma, 2003; Mamur & Ahıska, 2014; Champier, 2017).

### 2.TEG ÇALIŞMA PRENSİBİ

TEGlerde 3 temel eleman bulunur (Jouhara vd., 2021):

Isı değiştiricisi; Isıyı kaynaktan alarak TEG modülüne iletir.

TEG modülü; İki tarafındaki sıcaklık farkı nedeniyle elektrik üretir. Bir modülde çok sayıda termoelektrik (TE) çift bulunmaktadır. Bu çiftler p ve n tipi yarıiletkenleri birbirine bağlar.

Isı kuyusu; TEG modülünden dışarı ısı atmak için kullanılır.

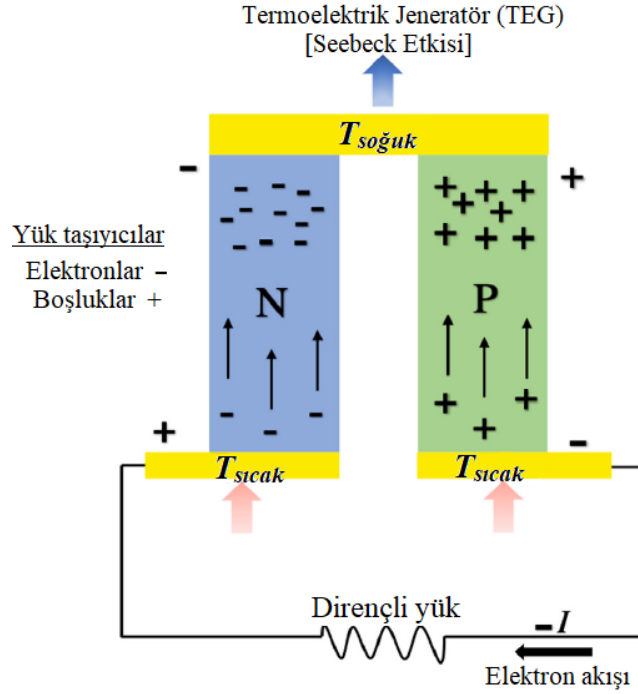
TEGlerin çalışma prensibi Şekil 1'de görüleceği gibi temel olarak jeneratörün sıcak/soğuk iki tarafındaki sıcaklık farkına dayanmaktadır. Bir metal parçasının bir tarafı ısıtılırken

---

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği 0000-0003-2788-2659

<sup>2</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği 0000-0002-8394-5362

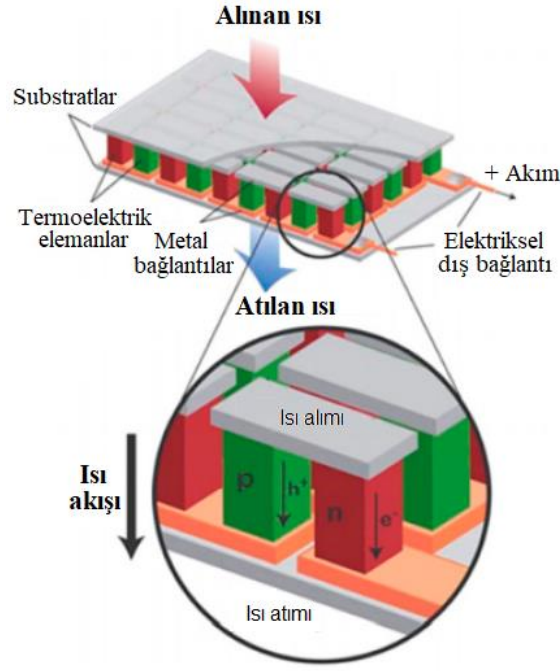
aynı anda diğer tarafı soğutulursa, sıcak tarafta metal atomlarını çevreleyen elektronlar soğuk taraftaki eşdeğer elektronlardan daha fazla enerjiye sahip olur. Böylece sıcak taraftaki elektronlar soğuk taraftakilerden daha yüksek bir kinetik enerjiye ulaşacaktır. Bu da sıcak elektronların soğuk tarafa doğru akışının, soğuk elektronların sıcak tarafa doğru akışından daha hızlı olmasını sağlar. TEGin soğuk tarafı negatif yüklenirken, sıcak tarafı pozitif yüklenecektir ve böylece elektrik üretilmiş olacaktır (Jouhara vd., 2018).



Şekil 1. TEG çalışma prensibi (Jouhara vd., 2021).

Ancak bu yolla üretilen voltaj oldukça düşüktür ve ayrıca metal parçalarını ard arda birbirine bağlayan teller de yine metalden yapılmış olduğundan bu teller ters yönde bir voltaj üreterek ana metallerde üretilen voltaja karşı koyarlar. Bu problemi çözmek için en iyi yolu elektronları değil de pozitif yüklü parçacıkları kullanarak elektriği iletebilen bir malzeme geliştirmektir. Bu malzemelerdeki elektronlar aynı zamanda sıcak taraftan soğuk tarafa doğru hareket ederek sürece katkı sağlayacaktır. Bu tür malzeme veya tellerin birbirine bağlanmasından oluşturulan bir zincir, işlevsel miktarda güç elde edecek kadar gerilim (voltaj) üretebilecektir. Bu tip pozitif iletkenlik özelliğine sahip olan malzemeler yarıiletken malzemelerdir (Jouhara vd., 2021).

Tipik bir termoelektrik jeneratör (TEG) modülü, Şekil 2'de gösterildiği gibi elektriksel olarak seri ve termal olarak paralel olarak bağlanmış ve iki seramik tabaka arasında yerleştirilmiş n tipi ve p tipi 10 ila 100 termoelektrik elemandan oluşur. p – n çiftleri düşük erime noktalı bir lehim (PbSn veya BiSn) vasıtasıyla elemanlara bağlanan iletken çıkıntılarla birleştirilir. İki bağlantı noktası arasında bir sıcaklık gradyanı oluştuğunda, TEG, Seebeck etkisi ilkesine göre ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür (Zoui vd., 2020).



Şekil 2. Tipik bir TEG modülü (Saidur vd., 2012).

### 2.1. Seebeck Etkisi

Sıcaklık farkının bir gerilim üretmesi olayına Seebeck etkisi denir. Bu olay ilk defa 1820'lerde Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck tarafından ortaya atılmıştır. Fakat bu etkinin daha önce Alessandro Volta tarafından gözlemlendiğine dair de işaretler vardır.

Elde edilen voltaj farkının uygulanan sıcaklık farkına oranı Seebeck katsayısı olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$S = - \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (1)$$

Seebeck katsayısının işareti, malzemenin p-tipi bir iletken mi yoksa n-tipi bir iletken mi olduğu gösterir, pozitif işaret p-tipi, negatif işaretse n-tipi malzemedir (Jouhara vd., 2021).

### 3. TEG MALZEMELERİ

TEGler güvenilir katı hal fizikini kullanarak enerji dönüşümüne imkan tanıyan cihazlardır. Gelişmiş malzemeler kullanılarak verimleri artırılabilir ve böylece özellikle de küçük kapasiteli sistemlerde geleneksel tip güç üreten ısı makinelerine alternatif olarak kullanılabilirler. TEGlerin maksimum verimi genellikle soğuk ve sıcak yüzey sıcaklıkları ile Figure of Merit (fayda ölçüsü) olarak ifade edilen  $zT$  cinsinden tanımlanır.  $zT$  değerindeki artış TEG verimini artırdığından, yüksek  $zT$  değerine sahip malzemelerin geliştirilmesi ve piyasaya arzı TEGlerin gelecekteki konumu açısından kritik öneme sahiptir.

TEGlerle ilgili önemli bir husus, elektronların elektrik üretmek için kolayca akmasını sağlayacak malzemenin ısı iletkenliğinin düşük olması gerekliliğidir. Genellikle elektriği iyi ileten malzemeler aynı zamanda ısıyı da iyi iletirler, ancak bu durumda elektrik üretim sürecini yürüten sıcaklık farkı hızlı bir şekilde yok olur ve üretilen elektrik miktarı oldukça azalır. Bu nedenle TEG üretiminde elektriksel iletkenliği yüksek, ancak ısı iletkenliği düşük malzemeler kullanmak gereklidir. Bu tür malzemeler nadir bulunur (Jouhara vd., 2021). TEG malzemelerden beklenen özellikler kısaca aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek elektrik iletkenliği
- İyi bir elektrik dönüşüm verimi için iyi bir Seebeck katsayısı
- Düşük ısı iletkenlik

Bunların üçü de bir TE cihazın toplam çıktısını simgeleyen tek bir metrikte, yukarıda da bahsedilen  $zT$  (Figure of Merit) değerinde birleşir.  $z$  değeri birim sıcaklık değeri başına bir birime sahip olup, ortalama sıcaklık ile çarpılarak boyutsuz bir büyüklük olan  $zT$  şeklinde ifade edilmektedir. TEG cihazının verimi doğrudan ve büyük ölçüde bu  $zT$  değerine bağlıdır.

İlk zamanlarda, TEG modülü yapımında kullanılan malzemeler yüksek maliyetleri nedeniyle sadece uzay uygulamalarında kullanılmıştı (Champier, 2017). Uzun yıllar ticari manada TEG üretiminde kullanılan tek malzeme farklı firmalar tarafından piyasa sürülen  $Bi_2Te_3$  (Bizmut Tellür) idi.  $zT$  değerleri  $Bi_2Te_3$  modüller için yaklaşık  $50^\circ C$ 'de 1 civarında olup, sıcaklık arttıkça bu değer düşmektedir.  $Bi_2Te_3$ 'ün p-tipi ve n-tipi malzemeler için  $zT$  değerleri ise sırasıyla 1,35 ve 0,9'dur. n-tipi malzemelerin bu düşük  $zT$  değeri  $Bi_2Te_3$ 'ün TE birim etkinliğini düşürmektedir ve uygulama alanını daraltmaktadır. Bu modüllerin maksimum çalışma sıcaklıkları üretici firmaya göre değişmekle birlikte en çok  $300^\circ C$  sıcaklıklara çıkılabilmektedir.  $180-450 K$  sıcaklık aralığında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ticari olarak piyasaya arz edilen TE modüllerin %70'e yakını Bi ve Te malzemelerden yapılmaktadır. Ancak Bi ve Te'nin yer kabuğunda ve okyanusta az miktarda bulunması ve ağır malzemeler olmaları, kullanımlarını sınırlamakta ve  $Bi_2Te_3$  bazlı TEGlerin geliştirilmesini kısıtlamaktadır. Sonradan geliştirilen PbTe ve SiGe malzemeler sırasıyla  $500-900 K$  ve  $800-1300 K$  sıcaklık aralıklarında, çoğunlukla uzay araçlarında güç üretiminde yaygın şekilde kullanılmıştır (Jouhara vd., 2021). Son 20 yıldır üretici firmalar ve araştırmacılar daha ucuz, çevre dostu ve ticari olarak daha yoğun miktarda kullanılacak TE malzemeleri araştırdılar. Bu çalışmalar sonunda, ticari olarak uygun olan skutterüditler, oksitler, magnezyum silisitler ve tetrahidritler geliştirildi (Champier, 2017). TE malzemeleri geleneksel ve yeni malzemeler olarak iki ana grupta sınıflandırmak mümkündür:

- Geleneksel TE malzemeler:  $150^\circ C$ 'nin altındaki uygulamalar için  $Bi_2Te_3$  bazlı malzemeler,  $150-500^\circ C$  arasındaki uygulamalar için TAGS  $[(AgSbTe_2)_{1-x}(GeTe)_x]$  ve PbTe bazlı malzemeler,  $500^\circ C$ 'nin üzerindeki uygulamalar için ise SiGe bazlı malzemeler kullanılır (Jouhara vd., 2021).

- Yeni malzemeler: Düşük ısı iletkenlik ve iyi elektronik karakteristikleri bakımından fonon-camı elektron kristali (PGEC) yeni tip TE malzemelerdendir. Klatratlar (kafes yapıları) ve skutterüditler bu sınıftandır. Yüksek Seebeck katsayıları, mekanik dayanımları, ısı kararlılıkları ve arzu edilen elektriksel taşıma özellikleri ile yarı-Heusler alaşımları da dikkat çeken malzemelerdendir. Seramik TE malzemelerin geliştirilmesiyle yüksek performanslı TE oksitler yüksek sıcaklığa dayanıklı ve çevresel olarak sürdürülebilir özellikleri ile ön plana çıkmıştır. TE metal kalkojenitler ise yüksek elektriksel ve zayıf ısı iletkenlik özelliklerine ilaveten kolay işlenebilirliği sayesinde gelişmiş nanoyapılar kullanılarak yüksek  $zT$  değerlerine çıkabilmektedir. Örneğin kurşun selenür (PbSe)  $800-900 K$  arasında 1,7  $zT$  değerine ulaşabilmektedir. İletken polimerler de organik TEGlerin geliştirilmesinde önemli rol alan yeni malzemelerdendir. Hafif ve kompakt olmaları ve diğer yarıiletkenlerle karşılaştırıldığında nazaran daha kolay işlenebilmeleri sayesinde tipik oda sıcaklığındaki uygulamalarda tercih edilebilecek ideal malzemelerdir. Ayrıca zehirsizdirler ve ince levhalar şeklinde üretilebildiklerinden dolayı esnek yapıya sahiptirler ve kolayca üretilebilirler. İletken polimerlerden yapılan organik TEG modülleri p-tipi yarıiletkende 0,42  $zT$  değerine kadar çıkabilmektedir (Champier, 2017). Ancak ideal bir ısı iletkenliğe sahip olmalarına rağmen, düşük elektriksel iletkenlik, düşük Seebeck katsayısı ve düşük kararlılıkları nedeniyle polimerlerin TEG üretiminde kullanımları sınırlı kalmıştır. Grafenler de eşsiz ısı ve termoelektriksel özellikleri nedeniyle son zamanlarda yoğun ilgi gören bir diğer TE malzeme olmuştur. 2'nin üzerinde  $zT$  değerine sahip grafen TE malzemeler mevcuttur (Jouhara vd., 2021).



#### 4. TEG PERFORMANSI

Figure of Merit olarak isimlendirilen  $zT$  aşağıdaki ifade ile bulunur:

$$zT = \frac{S^2 \sigma T}{K_{toplam}} \quad (1)$$

Burada  $S$  Seebeck katsayısını,  $\sigma$  elektriksel iletkenliği,  $T$  ortalama sıcaklığı ve  $K_{toplam}$  ise kafes ve elektronların ısı iletkenliklerinin toplamı olan toplam ısı iletkenliği göstermektedir.  $S^2 \sigma$  güç faktörü olarak tanımlanır ve  $zT$  değerini etkileyen en önemli parametredir. Güç faktörünün artması  $zT$  değerinde ve dolayısıyla TEG veriminde artışa sebep olacaktır. Diğer yandan toplam iletkenliğin ( $K_{toplam}$ ) düşmesinin TEG verimini artıracığı denklemden de anlaşılmaktadır.

TEG verimi üretilen elektriğin ( $W_{elek}$ ) sıcak yüzey tarafından alınan ısı enerjisine ( $Q_H$ ) oranıdır ve maksimum değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\eta_{TE,max} = \frac{W_{elek}}{Q_H} = \frac{\Delta T}{T_H} \frac{\sqrt{1+zT}-1}{\sqrt{1+zT} + \frac{T_C}{T_H}} \quad (2)$$

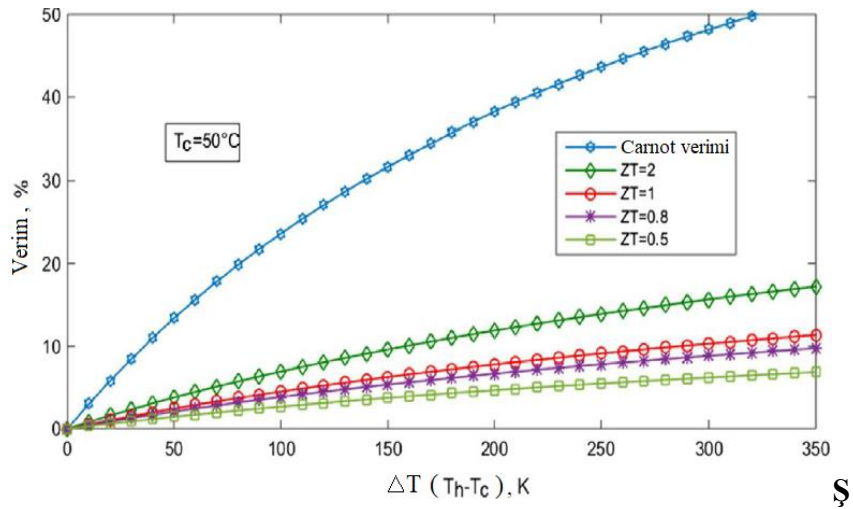
Denklemden  $T_H$  ve  $T_C$  sırasıyla sıcak ve soğuk tarafın sıcaklıklarını gösterirken  $\Delta T$  bu ikisinin farkını gösterir. TEGden üretilen maksimum güç ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_{maks} = \frac{\Delta T}{T_H} \dot{Q} \frac{\sqrt{1+zT}-1}{\sqrt{1+zT} + \frac{T_C}{T_H}} \quad (W) \quad (3)$$

Bu denklemden  $\dot{Q}$  W cinsinden TEGe yapılan ısı transferini gösterir ve aşağıdaki bağıntı ile bulunur:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{TEG}} \quad (W) \quad (4)$$

Şekil 3'te sıcak-soğuk taraf sıcaklık farkına ( $\Delta T = T_H - T_C$ ) bağlı olarak TE modül veriminin değişimi verilmektedir. Ortalama bir değer olarak  $zT$ 'nin 1 olduğu kabulüyle verimin yaklaşık %10 civarında olduğu görülmektedir. Daha yüksek verim için daha yüksek  $zT$  değerine ve daha yüksek sıcaklık farklarına ulaşmak gerekir.



Şekil 3.  $Bi_2Te_3$  için farklı  $zT$  değerlerinde tipik TE veriminin sıcaklık farkı ile değişimi (Champier, 2017)

## 5.TASARIM VE OPTİMİZASYON

Endüstriyel olarak TE modüllerden elektrik üretmek için modül ile sıcak/soğuk ısı depoları arasındaki ısı transferini artırıcı ısı değıştiricileri kullanmak ve sistemde kullanıcıya uygun seviyelerde gerilim sağlayacak bir elektrik dönüştürücüsü yerleştirmek gereklidir.

Sistemin performansı, depolanan veya kullanıcıya sunulan üretilmiş elektrik enerjisinin tüketilen veya sisteme verilen enerjiye oranı olarak tanımlanır. Sisteme verilen enerji sıcak kaynaktan alınan ısı enerjisi ile eğer kullanılıyorsa fan veya pompa tarafından tüketilen enerjinin toplamıdır.

TEGlerin verimleri düşük olduğundan olabildiğince yüksek verime ulaşmak için optimum tasarım çalışmalarında dikkate alınması gereken bazı hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çalışma sıcaklık aralığında mümkün olan maksimum  $zT$  değerlerini verecek TE malzemeler geliştirmek
- Isı değıştiricileri ve bunların modülle birleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmak
- Elektrik dönüştürücü ile modüller arasındaki elektriksel bağlantılar üzerine çalışmalar yapmak ve maksimum güç üretecek veya maksimum verimi verecek bir optimizasyon algoritması geliştirmek
- Tasarım ve çalışma parametrelerini optimize eden sayısal çalışmalar yapmak

## 6.SONUÇ

Yüksek maliyetleri ve düşük performansları nedeniyle TEGlerin kullanımları yıllarca uzay uygulamaları ve zor erişim alanları ile sınırlı kalmıştır. TEGlerin düşük verim probleminin çözümü için daha büyük  $zT$  değerlerine sahip modüllerin geliştirilmesi, daha büyük sıcaklık farkları ve böylece çalışma aralığının ve kullanım alanının genişletilmesi, düşük maliyetli malzemelerin araştırılması çalışmaları devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

Champier, D. (2017). Thermoelectric generators: A review of applications. *Energy Conversion and Management*, 140, 167–181. Doi:10.1016/j.enconman.2017.02.070.

Jouhara, H., Khordehgah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., & Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 268–289. Doi:10.1016/j.tsep.2018.04.017.

Jouhara, H., Żabnieńska-Góra, A., Khordehgah, N., Doraghi, Q., Ahmad, L., Norman, L., Axcell, B., Wrobel, L., & Dai, S. (2021). Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications. *International Journal of Thermofluids*, 9, 100063. Doi:10.1016/j.ijft.2021.100063.

Mamur, H., & Ahıska, R. (2014). A Review: Thermoelectric Generators in Renewable Energy. *International Journal of Renewable Energy Research-IJRER*, 4(1), 128-136. Doi:10.20508/ijrer.v4i1.1040.g6256.

Riffat, S. B., & Ma, X. (2003). Thermoelectrics: a review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, 23(8), 913–935. Doi: 10.1016/S1359-4311(03)00012-7.

Saidur, R., Rezaei, M., Muzammil, W. K., Hassan, M. H., Paria, S., & Hasanuzzaman, M. (2012). Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(8), 5649–5659. Doi:10.1016/j.rser.2012.05.018.

Zoui, M. A., Bentouba, S., Stocholm, J. G., & Bourouis, M. (2020). A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications. *Energies*, 13, 3606. Doi: 10.3390/en13143606.

## Fare 6-Fosfoglukonat Dehidrogenaz Enzimi İçin cDNA Primerlerinin Dizayn Edilmesi

Mehmet ÇİFTÇİ<sup>1</sup>

### 1. Giriş

Enzimler canlı metabolizmada kimyasal reaksiyonları hızlandıran ve hiç bir yan ürün olmaksızın %100 verim sağlayan biyolojik katalizörlerdir. Enzimler, proteinlerin en büyük ve özelleşmiş kısmıdır. Katalitik aktivite gösteren küçük bir RNA grubu dışında tüm enzimler protein yapısındadır. 6-fosfoglukonat dehidrogenaz enzimi (E.C.1.1.1.44; 6PGD), NADP<sup>+</sup> varlığında 6-fosfoglukonat bileşimini D-ribuloz-5-fosfata dönüştüren pentoz fosfat yolunun üçüncü enzimidir. Bu reaksiyon dizisi sonunda, birçok önemli biyomolekülün yapısına giren D-ribuloz-5-fosfat ve biyokimyasal reaksiyonlarda indirgeyici olarak kullanılan NADPH moleküllerinin sentezi gerçekleşmektedir. 6PGD enziminin en önemli fonksiyonu, metabolizmada NADP<sup>+</sup>'yi NADPH'ye dönüştürmektir. Bu enzim ayrıca glikolitik yollarla pentoz fosfat yolları arasındaki glukoz-6-fosfat dengesini korumak için de son derece önemlidir. Literatürdeki araştırmalar sonucu 6PGD enzim geninin PGDA, PGD-B, PGD-AB, PGD-C', PGD-AC gibi bazı mutasyonlara uğradığı tespit edilmiştir. Ayrıca 6-PGD-Lowell ve 6-PGD-Lombok şeklinde isimlendirilen varyantlar da tespit edilmiştir.

Yukarıda kısaca önemi belirtilen 6PGD enziminin bazı sebeplerden dolayı enzimin inhibisyona uğraması ve sonuçta oluşan NADPH eksikliği sonucu özellikle çekirdeksiz olan eritrositlerin kolayca hemolize uğrayabilmesi önemli bir metabolik problemdir. Bu bakımdan 6PGD enzimi için moleküler ve genetik çalışmaların (özellikle in sitü çalışmalar) yapılması son derece önemlidir. Ökaryotik canlıların kromozomlarında çok sayıda gen bölgesi bulunmaktadır. Örneğin drosophilada 15.000, insan ve farede ise yaklaşık olarak 30.000 civarında gen bölgesi mevcuttur. Ökaryotlar içinde genomu kolay çalışılabilir ve insan genomuna benzer genom taşıyan fare genomu olduğundan çalışmamızda fare cDNA kütüphanesi kullanılmıştır. İnsan genomu üzerinde bulunan genlerin önemli bir kısmı metabolik olaylarda görev alan ve proteinlerin özelleşmiş bir kısmı olan enzimlere ait genlerdir. Bu bakımdan söz konusu enzimlerin gen sekanslarının tespit edilmesi ve genin hangi dokuda ve hangi safhada aktifleştığının tespit edilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen primerlerin in sitü hibridizasyon ve benzeri çalışmalarda kullanılarak bu tespitler yapılabilmektedir. İlaveten hangi vücut fonksiyonunun hangi genden kaynaklandığının tespiti için yapılan gen susturma çalışmalarında da bu primerler kullanılabilir. Bilindiği gibi DNA zinciri üzerinde bulunan genetik şifreler mRNA'ya transkribe olur. Sentezlenen mRNA'lar da ribozomlarda kalıp görevi görerek içerdiği kodonlara göre enzimlerin doğru bir şekilde sentezlenmelerine sebep olurlar. Bir dokuda bulunan hücredeki tüm genler transkribe olmaz. Transkripsiyon dokunun ihtiyacına göre şekillenir. Dokunun ihtiyaçları çerçevesinde transkripsiyon olaylarında indüklemeye ve baskılamaları içeren çok hassas bir kontrol mekanizmaları mevcuttur. Bu bakımdan protein ekspresyonunun yeri ve zamanının tespiti son derece önemli olup ileri derecede in sitü çalışmalar gerektirmektedir. Bu çalışmada DNA ve RNA alanında yapılacak çalışmalarda kullanılması bakımından, fare 6PGD enzimi için web tabanlı bazı programlar kullanılarak enzimin cDNA'sı için spesifik primerler dizayn edildi. Primer çiftlerinin

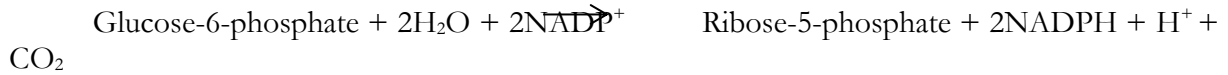
---

<sup>1</sup> Prof.Dr., Bingöl Üniversitesi, Veteriner Fakültesi,

dizaynı yapılırken sırasıyla; <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide>, <https://primer3.ut.ee/>, [https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE\\_TYPE=BlastSearch&LINK\\_LOC=blasthome](https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch&LINK_LOC=blasthome) ve <http://insilico.ehu.es/tm.php?primer=AATTCGGATCccggaatt&basic=1&NearestNeighbor=1&cp=200&cs=50&cmg=0> web tabanlı programlar kullanıldı. Çalışma sonunda 6PGD enzimi için, genetik çalışmalarda kullanılmak üzere bir çifti temel olmak üzere toplamda beş çift primer dizayn edildi.

### 1.1. Pentoz fosfat yolu reaksiyonları

Pentoz fosfat yolu, oksidatif ve oksidatif olmayan iki reaksiyon grubundan oluşur. Sitoplazmada meydana gelen bu metabolik yol, indirgeyici biyosentez olayları amacıyla NADPH ve birçok bileşiğin yapısında bulunan riboz-5-fosfat üretimine sebep olur. Oksidatif reaksiyonlar, glukoz-6-fosfat dehidrogenaz enzimi tarafından glukoz-6-fosfatın birinci karbonunun dehidrogenasyon sonucu 6-fosfoglukono-δ-laktona dönüştürülmesiyle başlar. İkinci basamak reaksiyonunda ise 6-fosfoglukono-δ-lakton, laktonaz enzimi tarafından 6-fosfoglukonata dönüştürülür. Oksidatif yolun son basamağında ikinci basamak sonunda oluşan 6-fosfoglukonat, 6-fosfoglukonat dehidrogenaz enzimi tarafından NADPH ve ribuloz-5-fosfata dönüştürülür. Daha sonra ribuloz-5-fosfat, fosfopentoz izomeraz enzimi tarafından D-riboz-5-fosfat ve CO<sub>2</sub>'ye çevrilir. NADPH, birinci ve üçüncü reaksiyonlarda oluşur. Oksidatif reaksiyonların net denklemi aşağıdaki gibidir.



### 1.2. Pentoz fosfat yolunun metabolik önemi

Pentoz fosfat yolunun, nükleotid sentezi için gerekli olan riboz-5-fosfat sentezi ve indirgeyici biyosentezde indirgeyici bir güç olan NADPH sentezi olmak üzere iki ana fonksiyonu vardır. Ayrıca aromatik amino asit ve bazı vitaminlerin sentezi için gerekli olan eritroz-4-fosfat gibi karbonhidratlar ve bakteri hücre duvarının bir bileşeni olan sedoheptuloz-7-fosfat bu yolda sentezlenir.

NADPH, hücrede yağ asidi, kolesterol, L-askorbik asit, nitrik oksit biyosentezinin indirgenmesinde, glutatyonun indirgenmesinde, ilaç ve ksenobiyotik detoksifikasyonunda ve peroksitlerin indirgenmesinde rol oynar. İndirgenmiş glutatyona (GSH) bağımlı enzimler, hücreyi iç ve dış toksik bileşiklerden ve reaktif oksijen türlerinden (ROS) korur. İlave olarak, NADPH, DNA sentezi için ribonükleotitlerin deoksiribonükleotitlere dönüştürülmesinde de kullanılır. Ayrıca pentoz fosfat yolu, kırmızı kan hücreleri ve beyin dokusu hücreleri gibi bazı hücrelerde ana enerji kaynağı olan glukozun oksidasyonu için kullanılan glikolize alternatif bir oksidatif yoldur. Bu sayede hücredeki glukozun %10'u kullanılmış olur.

## 2. Materyal ve yöntem

Primerlerin dizayn edilebilmesi için öncelikle 6PGD enziminin mRNA'sı Şekil 1'den görüldüğü gibi <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucleotide> web adresinde bulunan ve işaretli olan boşluklara "Nucleotide" ve "Mus Musculus Phosphogluconate Dehydrogenase" yazılarak "search" düğmesine basıldı. İşlem sonunda Şekil 1'den de görüldüğü gibi mus musculus 6-fosfoglukonat dehidrogenaz mRNA'sı ilk sıralarda ekrana gelmiş oldu. İlk sıralardaki sekanslar incelenerek özellikle sekansı daha uzun olan birinci sıradaki mus musculus phosphogluconate dehydrogenase mRNA dizisi tercih edildi.

# Çiftçi, Mehmet; Fare 6-Fosfoglukonat Dehidrogenaz Enzimi İçin cDNA Primerlerinin Dizayn Edilmesi

n=Mus+Musculus+Phosphogluconate+Dehydrogenase

Dr. Me... 2 Atatürk-e-posta EBYS YÖK Ana Sayfa Atatürk Üniversitesi e-Devlet Haber 7 En Son Haber Atatürk Üniversitesi... OSYM Anadolu Üniversite...

An official website of the United States government Here's how you know

NIH National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information Log in

Nucleotide Nucleotide Mus Musculus Phosphogluconate Dehydrogenase Search

Species Animals (55) Plants (2) Fungi (10) Bacteria (2) Customize ...

Molecule types genomic DNA/RNA (15) mRNA (53) Customize ...

Source databases INSDC (GenBank) (52) RefSeq (17) Customize ...

Sequence Type Nucleotide (48) EST (21)

Sequence length Custom range ...

Release date Custom range ...

Revision date Custom range ...

Clear all Show additional filters

Summary 20 per page Sort by Default order

Send to Filters: Manage Filters

Results by taxon Top Organisms [Tree] Mus musculus (38) Petromyzon marinus (4) Hydra vulgaris (4) Penicillium rubens Wisconsin 54-1255 (4) Ornithorhynchus anatinus (3) All other taxa (16) More ...

Find related data Database: Select Find items

Search details ["Mus musculus"[Organism] OR Mus Musculus[All Fields]] AND phosphogluconate dehydrogenase[All Fields] Search See more...

Recent activity Turn Off Clear Mus Musculus Phosphogluconate Dehydrogenase (69) Nucleotide Mus musculus 6PGD (24) Nucleotide ["Mus musculus"[Organism] OR Mus musculus[All Fields]] AND 6 phos... Nucleotide Mus musculus 6-Phosphogluconate

GENE Was this helpful? Pgd — phosphogluconate dehydrogenase Mus musculus (house mouse) Also known as: 0610042A05Rik Gene ID: 110208 RefSeq transcripts (4) RefSeq proteins (4) PubMed (55) Orthologs Genome Data Viewer BLAST Download

RefSeq Sequences +

Items: 1 to 20 of 69 << First < Prev Page 1 of 4 Next > Last >>

1. Mus musculus phosphogluconate dehydrogenase mRNA (cDNA clone MGC:18955) IMAGE:3984654 complete cds 2,180 bp linear mRNA Accession: BC011329.1 GI: 15030149 Protein PubMed Taxonomy GenBank FASTA Graphics

2. Mus musculus phosphogluconate dehydrogenase mRNA (cDNA clone MGC:11617) IMAGE:3155147 complete cds 2,163 bp linear mRNA Accession: BC008648.1 GI: 14250421 Protein PubMed Taxonomy

Şekil 1. 6-fosfoglukonat dehidrogenaz enziminin mRNA sekansı

İlk sıradaki 6-fosfoglukonat dehidrogenaz mRNA'sına tıkladığında Şekil 2 ve Şekil 3'teki sayfalar ekrana gelir. Burada spesifik bölgelerin bulunabilmesi için mRNA'nın CDS kısmına tıklanır.

NIH National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information Log in

Nucleotide Nucleotide Search

Advanced Help

GenBank Change region shown Customize view

Mus musculus phosphogluconate dehydrogenase mRNA (cDNA clone MGC:18955 IMAGE:3984654), complete cds

GenBank: BC011329.1 FASTA Graphics

Go to

LOCUS BC011329 2180 bp mRNA linear ROD 02-DEC-2006

DEFINITION Mus musculus phosphogluconate dehydrogenase, mRNA (cDNA clone MGC:18955 IMAGE:3984654), complete cds.

ACCESSION BC011329

VERSION BC011329.1

KEYWORDS MGC.

SOURCE Mus musculus (house mouse)

ORGANISM Mus musculus Eukaryota; Metazoa; Chordata; Craniata; Vertebrata; Euteleostomi; Mammalia; Eutheria; Euarchontoglires; Glires; Rodentia; Myomorpha; Muridae; Murinae; Mus; Mus.

REFERENCE 1 (bases 1 to 2180) Strausberg,R.L., Feingold,E.A., Grouse,L.H., Derge,J.G., Klausner,R.D., Collins,F.S., Wagner,J., Shenmen,C.M., Schuler,G.D., Altschul,S.F., Zeeberg,B., Buetow,K.H., Schaefer,C.F., Bhat,N.K., Hopkins,R.F., Jordan,H., Moore,T., Max,S.I., Wang,J., Hsieh,F., Diatchenko,L., Marusina,K., Farmer,A.A., Rubin,G.H., Hong,L., Stapleton,M., Soares,H.B., Bonaldo,H.F., Casavant,T.L., Scheetz,T.E., Brownstein,J., Usdin,T.B., Toshiyuki,S., Carninci,P., Prange,C., Raha,S.S., Loquellano,N.A., Peters,G.J., Abramson,R.D., Mullahy,S.J., Bosak,S.A., McEwan,P.J., McKernan,K.J., Halek,J.A., Gunaratne,P.H., Richards,S., Wooley,K.C., Hale,S., Garcia,A.M., Gay,L.J., Huily,S.H., Villalobos,D.K., Huang,D.H., Sodergren,E.J., Liu,X., Gibbs,R.A., Fahy,J., Helton,E., Kettman,J., Madan,A., Rodrigues,S., Sanchez,A., Whitting,M., Madan,A., Young,A.C., Shevchenko,V., Bouffard,G.G., Blakeley,R.W., Touchman,J.W., Green,E.D., Dickson,M.C., Rodriguez,A.C., Grimwood,J., Schmutz,J., Myers,R.H., Butterfield,Y.S., Krzywicki,M.I., Skalska,U., Smalios,D.E., Schnerch,A., Schein,J.E., Jones,S.J. and Marra,M.A. Mammalian Gene Collection Program Team Generation and initial analysis of more than 15,000 full-length

Analyze this sequence Run BLAST Pick Primers Highlight Sequence Features Find in this Sequence

Articles about the Pgd gene Oxidative pentose phosphate pathway controls vascular mural cell coverage b [Nat Metab. 2022] 6-Phosphogluconate dehydrogenase (6PGD), a key checkpoint in reprogramming of i [Elife. 2021] Blockade of 6-phosphogluconate dehydrogenase generates CD8<sup>+</sup> eff [Cell Rep. 2021] See all...

Reference sequence information RefSeq alternative splicing See 4 reference mRNA sequence splice variants for the Pgd gene.

More about the Pgd gene Enables phosphogluconate dehydrogenase (decarboxylating) activity. Acts upstream of or within pentose biosynthetic process. Predicted to be ... Also Known As: 0610042A05Rik

Şekil 2. 6-fosfoglukonat dehidrogenaz mRNA sekansının bazı özellikleri

# Çiftçi, Mehmet; Fare 6-Fosfoglukonat Dehidrogenaz Enzimi İçin cDNA Primerlerinin Dizayn Edilmesi

CONSRTH NIH HGC Project  
TITLE Direct Submission  
JOURNAL Submitted (25-JUL-2001) National Institutes of Health, Mammalian Gene Collection (MGC), Bethesda, MD 20892-2590, USA  
REMARK NIH-HGC Project URL: <http://mgc.nci.nih.gov>  
COMMENT Contact: HGC help desk  
Email: cgabps-r@mail.nih.gov  
Tissue Procurement: Lothar Hennighausen Ph.D., Robin Humphreys  
cDNA Library Preparation: Life Technologies, Inc.  
cDNA Library Arrayed by: The I.M.A.G.E. Consortium (LLNL)  
DNA Sequencing by: Baylor College of Medicine Human Genome Sequencing Center  
Center code: BCM-HGSC  
Web site: <http://www.hgsc.bcm.tmc.edu/cdna/>  
Contact: amg@bcm.tmc.edu  
Gumaratne, P.H., Garcia, A.M., Lu, X., Huliyk, S.W., Louiseged, H., Kowis, C.R., Sneed, A.J., Martin, R.G., Muzny, D.H., Nanavati, A.N., Gibbs, R.A.  
Clone distribution: HGC clone distribution information can be found through the I.M.A.G.E. Consortium/LLNL at: <http://image.llnl.gov>  
Series: IRAK Plate: 23 Row: 1 Column: 13.

FEATURES  
source  
1..2180  
/organism="Mus musculus"  
/mol\_type="mRNA"  
/strain="mix FVB/N, C57BL/6J"  
/db\_xref="taxon:10090"  
/clone="MGC:18995 IMAGE:3984654"  
/tissue\_type="Hammary tumor. NAP-TGF alpha model. 7 months old, gross tissue."  
/clone\_lib="NCI\_CGAP\_Ham5"  
/lab\_host="DH10B"  
/note="Vector: pCMV-SPORT6"  
gene  
1..2180  
/gene="Pgd"  
/db\_xref="GeneID:110208"  
/db\_xref="MGI:MGI:97553"  
CDS  
63..1514  
/gene="Pgd"  
/codon\_start=1  
/product="phosphoglucuronate dehydrogenase"  
/protein\_id="AAH11329.1"  
/db\_xref="GeneID:110208"  
/db\_xref="MGI:MGI:97553"  
/translation="MAQADIALIGLAVIGQLILNWDHGFVVCARNTVSKVDQFLA NFAKTKVVGQSLKFMVSKI KPRRVTI VKAGQAVDQDFTEKI VPI I DTGDTTDDG

Related information  
Protein  
PubMed  
Taxonomy  
BioSystems  
Full text in PMC  
Functional Class  
Gene  
OMIM  
Order cDNA Clone  
Probe  
PubMed (Weighted)  
GEO Profiles

LinkOut to external resources  
Ensembl [Ensembl]  
KOMP Repository [KOMP Repository]  
Pgd [Mouse Genome Informatics (MGI)]  
reagent reviews [ExactAntigen/Labome]  
reagents [ExactAntigen/Labome]  
Order full-length cDNA clone [GeneCopia Inc.]

Şekil 3. 6-fosfoglukonat dehidrogenaz mRNA'sının CDS kısmı

Şekil 3'teki mRNA'nın işaretli CDS kısmına girildiğinde 6-fosfoglukonat dehidrogenazın Şekil 4'deki koyu renkli mRNA spesifik kısım elde edilir.

N5EYRDTTRCRDLKAGILFVSGVSGGEEGARYPGLHPGKNKAIEMPHIKAIQAI  
AAKVGTEPCDDVGDGEGAFVVKVHMIEVGDQILICEAYHLKQVLRHEEMQ  
AFEEINKLELDSFLIEITANI LKYRDTDGKELPKIRDSAGQGTGKNTAISALEYM  
PVTLIGEA VFARCLSSLKERVAQSXLKPKVQVLEGSKSFLEDRKALYASKIIS  
YAQGFHLLQAATEFGHTLVNGAIALMRGGCIIRSVFLGKIKDAFERNPQLQLLDD  
DFKSAVNDQDNRWVSTVQAGIPIHPCFTLSTFYDGRYRHEIPANLIQAQRDYF  
GAHTYELLTKPGEFITHIMGHGGVSSSSVNA

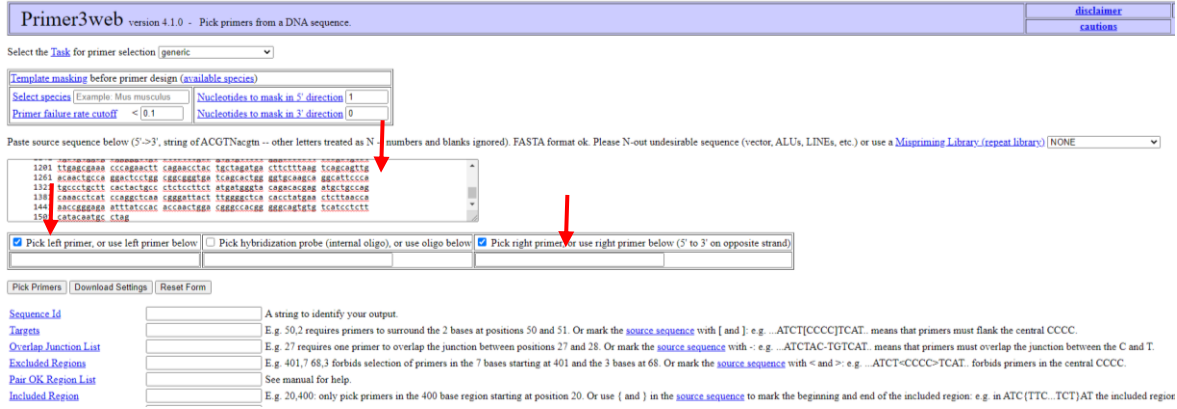
ORIGIN  
1 gctcggagc gctggctct tgggtt a tctctctga cctctcttg cctgctcgc  
61 cctggccca gctcaactt gactatgac gactgactt catggccag aacttaatt  
121 ggaacatgaa tpatcatgga ttgtggtct gctcttcaa tgggacatc tccaagctc  
181 atgactctt ggccaacgg ggaagggca ccaagtggt tgggacagc tcttaaagg  
241 acatggctc caaactaag aagccccc ggtctatct cttgtgaag gccggccaag  
301 cctggatga ttcatcag aaattagac cttgttga cagggatgac atcatctc  
361 atggggaaa ttctgaatc ggggacga caagaagat cgggacatc aagccaagg  
421 gcatctggt ttggggagc gggatcagc ggggggga agggctcag tggggcct  
481 tactcatgcc agggggaac aaaggactt gggccacat caaggatc tccaagcca  
541 tggctgaaa agtgggacc ggggaacct gctgactg gttgggat gggggggg  
601 ggcacttgt gaagatgag caaacggg tagagtatg agacatgag ctcatctgt  
661 gggctacca ttgatgag gatgtctg gcatcggca tgggagatg gctcagcat  
721 tgaagaatg gaacaagaa gactgact cttctgat tgaatcact gctcaatc  
781 ccaatgacc ggaactgac ggaagacc tttaccaaa gtcaggagc agtggggc  
841 ggaaggcac tgggaatg accgcatc cgggctga gtagggatg cctgacc  
901 ccatggaga gctgcttt gctgggctt gctctctct gaaaggagc ggggtcag  
961 cagcchaaa tggghatg ctgggtgg tccactgga ggcgthaa gctctctc  
1021 gggggacat cgttaggac ccttatctt ccagatcat cctcaagcc caaggttta  
1081 gctctcagc agggaccc actgattg gctgacct caattagc gcatcggc  
1141 gpatggag aggggctc atcatcga gttgttct ggaanaat aapagcat  
1201 tggagaaa cccgaact cagaacct gctgatga cttcttaag tcaagctg  
1261 acaactgca ggaactctg ggcggatg tcaagctg gttcaagca ggcattcca  
1321 tggctgctt tactatgccc ctctctct atgatggta cagacagag atgctgccc  
1381 aaactcat caggctcaa cgggactt tggggctca cacctatga ctttaacca  
1441 aaccggaga atttatcac accaactga cgggcaagg gggcagtg tcatctct  
1501 cacaactgc ctgtaggac tggctctg cctcctccc agcaataga cagccctg  
1561 gctctcaga cccccctt gctctgct cctctctg ccaagctg gctgctgt  
1621 ctgaagaat caccaggtc tatagtct gaaccacc atgctccc tccgtctg  
1681 tgcgcccag gactgacct tggctgca ctagctgac gacctctg cgcactgc  
1741 tgaccactc ctactgagc cgtgcatg gaccagaca agtgcagc cttagctac  
1801 agagggggt ggtgtggt atctaca ctagctgag acctgctg tggctctg  
1861 tggctccag tcaagtga gatatagtt acctctct ggtgctct gcaagcat  
1921 ctgactgag ttactatg caaatggt tttctctt tngctgtt cactttaac  
1981 tccgctctt ttaagacc caaataaa caggcaggt agtgaatga tctggagga  
2041 ggtcagagc cggagctg gtagcag gctctctgt cagatatt tctagcac  
2101 agtggatcc tggatgca caggacct ccccgctc acttgata aactttaga  
2161 ctggtaaaa aaaaaaaaa

Recent activity  
Turn Off Clear  
Mus musculus phosphoglucuronate dehydrogenase, mRNA (cDNA clone) Nucleotide  
Mus Musculus Phosphoglucuronate Dehydrogenase (69) Nucleotide  
Mus musculus 6PGD (24) Nucleotide  
["Mus musculus"]Organism OR Mus musculus[All Fields] AND 6 phos... Nucleotide  
Mus musculus 6-Phosphoglucuronate dehydrogenase (212) Nucleotide  
See more...

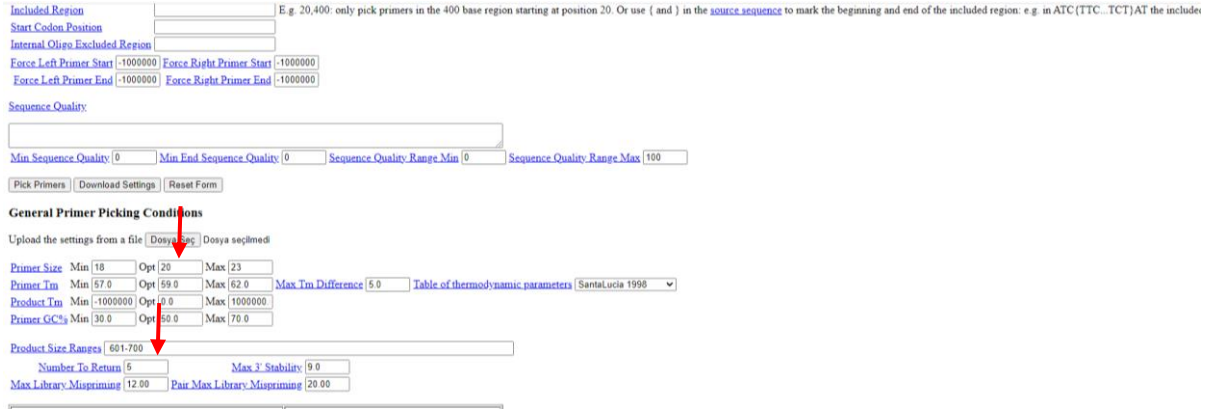
63..1514  
/gene="Pgd"  
/codon\_start=1  
/product="phosphoglucuronate dehydrogenase"  
/protein\_id="AAH11329.1"  
/db\_xref="GeneID:110208"  
/db\_xref="MGI:MGI:97553"  
/translation="MAQADIALIGLAVIGQLILNWDHGFVVCARNTVSKVDQFLA NFAKTKVVGQSLKFMVSKI KPRRVTI VKAGQAVDQDFTEKI VPI I DTGDTTDDG

Şekil 4. 6-fosfoglukonat dehidrogenazın spesifik mRNA lokusu

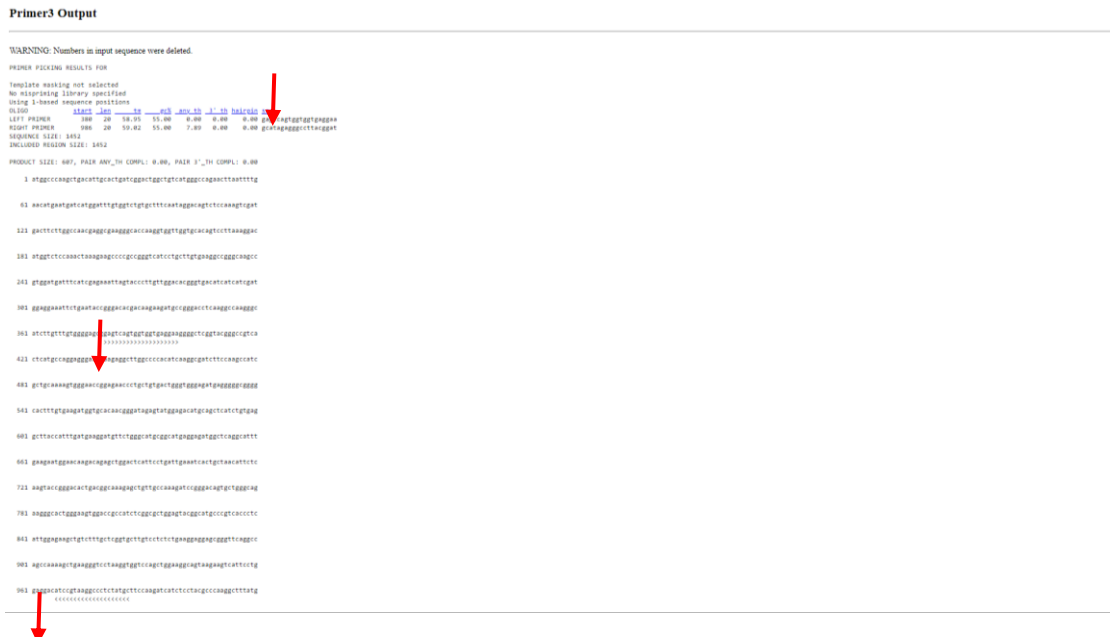
Alınan spesifik mRNA lokusu <https://primer3.ut.ee/> sitesindeki boşluğa yapıştırılıp ve pick primers tuşuna basıldığında Şekil 5 ve Şekil 6'daki sonuçlar elde edilir. Kırmızı okla işaretli ilk boşluğa spesifik mRNA lokusu yapıştırılır. ve primer uzunluğu, sentezlenecek bölgenin büyüklüğü gibi gerekli ayarlamalar yapılarak pick primer tuşuna basılır.



Şekil 5. Primer dizaynının yapıldığı web sitesi



Şekil 6. Dizayn edilecek primerlerin ve üreteceği cDNA bölgesinin büyüklüğü ile Tm sıcaklığının girildiği bölgeler



Şekil 7. Elde edilen spesifik temel primer çifti ve cDNA üzerindeki yerleşimleri



```

KEYS (in order of precedence):
>>>>> left primer
<<<<<< right primer

ADDITIONAL OLIGOS
      start len  tm  gc%  any_th  3'_th  hairpin  seq
1 LEFT PRIMER  719  20  59.04  55.00  21.66  0.00  0.00  tcaagtaccgggacactgac
  RIGHT PRIMER 1363  20  58.85  50.00  0.00  0.00  0.00  aggtgtgagccccaagttaa
  PRODUCT SIZE: 645, PAIR ANY_TH COMPL: 1.43, PAIR 3'_TH COMPL: 0.00
2 LEFT PRIMER  553  20  59.09  50.00  20.43  0.00  0.00  atgtgtcacaacggataga
  RIGHT PRIMER 1154  20  59.12  50.00  0.00  0.00  0.00  tctgggtctcctcaaatgc
  PRODUCT SIZE: 602, PAIR ANY_TH COMPL: 0.00, PAIR 3'_TH COMPL: 0.00
3 LEFT PRIMER  321  20  58.92  55.00  0.00  0.00  0.00  ggacacgacaaagaatgcc
  RIGHT PRIMER  993  20  59.16  55.00  5.25  5.25  0.00  cttggaagcatggaggcct
  PRODUCT SIZE: 673, PAIR ANY_TH COMPL: 0.00, PAIR 3'_TH COMPL: 0.00
4 LEFT PRIMER   15  20  58.99  55.00  9.00  0.00  0.00  cattgcactgacggactgg
  RIGHT PRIMER  634  20  59.26  55.00  6.36  0.00  0.00  gcatgcccaagacatccttc
  PRODUCT SIZE: 620, PAIR ANY_TH COMPL: 0.00, PAIR 3'_TH COMPL: 0.00

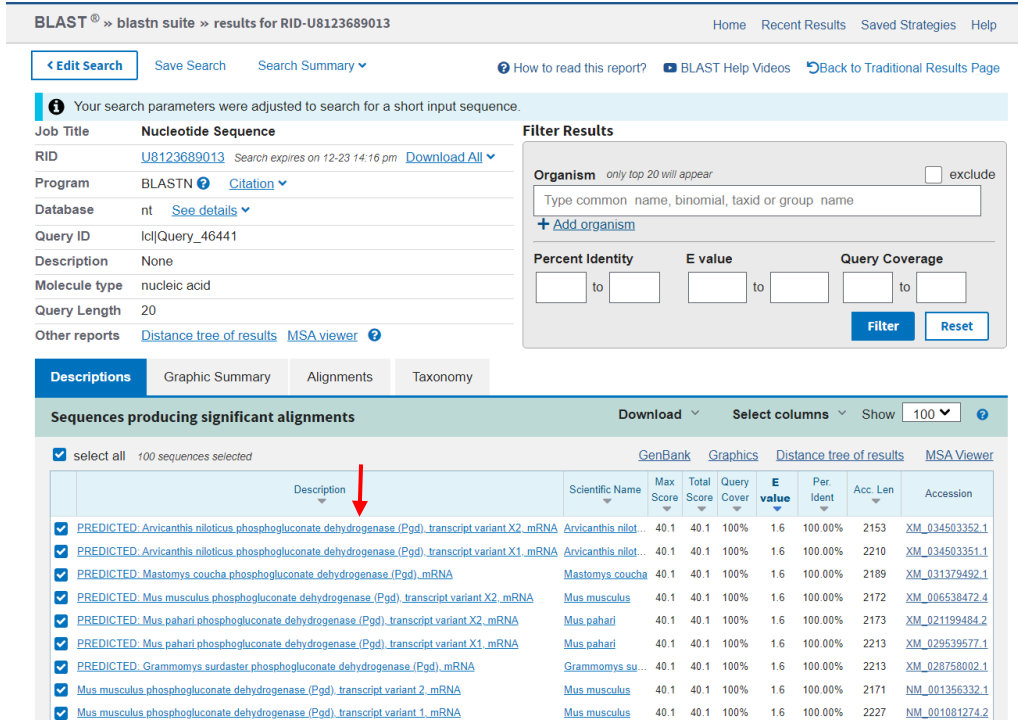
Statistics
con  too  in  in  not  no  tm  tm  high  high  high  high
sid  many  tar  excl  ok  bad  GC  too  too  any_th  3'_th  hair-  poly  end
ened  ns  get  reg  reg  GC%  clamp  low  high  compl  compl  pin  X  stab  ok
Left  5078  0  0  0  0  329  0  1413  1689  0  0  17  13  0  1617
Right 4942  0  0  0  0  262  0  1497  1426  0  0  17  43  0  1697
Pair Stats:
considered 458, unacceptable product size 450, primer in pair overlaps a primer in a better pair 144, ok 8
libprimer3 release 2.4.0
    
```

Şekil 8. Elde edilen dört çift spesifik yedek primerler ve bazı özellikleri

Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilen spesifik primer çiftleri için ayrı ayrı [https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE\\_TYPE=BlastSearch&LINK\\_LOC=blasthome](https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch&LINK_LOC=blasthome) web adresinden blastlama yapıldı ve temel spesifik çifti için elde edilen sonuçlar örnek olarak gösterildi (Şekil 9 ve Şekil 10).

The screenshot shows the BLAST search results for the query sequence U80Z1C1W016. The search parameters are: Program: BLASTN, Database: nt, Query ID: Icl|Query\_29009, Query Length: 20. The filter results section shows: Organism: only top 20 will appear, Percent Identity: [ ] to [ ], E value: [ ] to [ ], Query Coverage: [ ] to [ ]. The sequences producing significant alignments are listed in a table with columns: Description, Scientific Name, Max Score, Total Score, Query Cover, E value, Per. Ident, Acc. Len, and Accession. The first result is highlighted with a red arrow: PREDICTED: Arvicantis niloticus phosphogluconate dehydrogenase (Pgd) transcript variant X2 mRNA, Arvicantis niloticus, 40.1, 40.1, 100%, 1.6, 100.00%, 2153, XM\_034503352.1.

Şekil 9. Spesifik temel left primerin blastlama sonucu



Şekil 10. Spesifik temel right primerin blastlama sonucu

Daha sonra her bir primerin Tm değerinin bulunabilmesi için <http://insilico.ehu.es/tm.php?primer=AATCCGGATCccggaatt&basic=1&NearestNeighbor=1&cp=200&cs=50&cmg=0> web sitesi kullanıldı. Örnek olsun diye temel spesifik primer çifti için elde edilen Tm sonuçları Şekil 11 ve Şekil 12’de gösterildi.

## Melting Temperature (Tm) Calculation

Primer (6-50 bases):

GAGTCAGTGGTGGTGAGGAA

Compute Tm

LENGTH: 20  
C+G%: 55  
Molecular weight: 6382.805

**Basic Tm**

Degenerated nucleotides are allowed

Tm: 53.8 °C

**Base-Stacking Tm**

Degenerated nucleotides are NOT allowed

Primer concentration: 200 nM

Salt concentration: 50 mM

Mg<sup>2+</sup> concentration: 0 mM

Tm: 56 °C

Enthalpy: -153.3  
Entropy: -433.75

Source code is freely downloadable at [biophp.org](http://biophp.org)

Şekil 11. Spesifik temel left primerin Tm değeri sonucu

## Melting Temperature (T<sub>m</sub>) Calculation

**Primer (6-50 bases):**

GCATAGAGGGCCTTACGGAT	Compute T <sub>m</sub>
LENGTH	20
C+G%	55
Molecular weight:	6262.715

**Basic T<sub>m</sub>**  
Degenerated nucleotides are allowed  
T<sub>m</sub>: 53.8 °C

**Base-Stacking T<sub>m</sub>**  
Degenerated nucleotides are NOT allowed  
Primer concentration: 200 nM  
Salt concentration: 50 mM  
Mg<sup>2+</sup> concentration: 0 mM  
T<sub>m</sub>: 56 °C  
Enthalpy: -153.2  
Entropy: -433.35

Source code is freely downloadable at [biophp.org](http://biophp.org)

Şekil 12. Spesifik temel right primerin T<sub>m</sub> değeri sonucu

### 3. Sonuç ve tartışma

Görüldüğü yapılan primer dizaynı çalışması sonucu biri temel spesifik primer çifti ve dördü yedek primer çifti olmak üzere toplam beş çift spesifik primer elde edilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10, left ve right primeler için blastlama sonucunu göstermektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde tümünün mus musculus 6PGD enzimini lokusları oldukları görülmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8'den de görüldüğü gibi primer çiftlerinin tümü yirmişer bazdan oluşmakta ve saç tokası ve benzeri yapılar oluşturacak komplementer yapı bulundurmamaktadır. Ayrıca temel spesifik primer çifti için T<sub>m</sub> değerleri 56°C, olarak bulunmuştur (Şekil 11 ve Şekil 12). Görüldüğü gibi left ve right primerler için bulunan T<sub>m</sub> değerleri aşağı aynı değerde olup ideal T<sub>m</sub> (56°C) değerine sahiptirler.

## KAYNAKÇA

Baquer, N. Z. Hothersall, J.S. McLean, P. (1988). Function and regulation of the pentose phosphate pathway in brain, *Curr. Top. Cell. Regul.*, 29, 265-289.

Berg, J. M. Tymoczko, J.L. Stryer L. (2014). Çeviri Ed. A. Denizli, A.K. Ozden, *Biyokimya*. 7. Baskıdan Çeviri, Ankara, Palme Yayıncılık.

Borregaard, N. Schwartz, J.H. Tauber, A. (1984). Proton secretion by stimulated neutrophils, *J. Clin. Invest.*, 74, 455-459.

Gözükara, M. E. (1997). *Biyokimya*. 3. Baskı, İstanbul, Nobel Tıp Kitabevleri.

Grunewald, R.W. Weber, I.I. Kinne-Saffran, E. (1993). Control of sorbitol metabolismin renal inner medulla of diabetic rats, *Biochim. Biophys. Acta*, 1225, 39-47.

Hollenberg, P.F. (1992). Mechanisms of cytochrome p-450 and peroxidasecatalyzed xenobiotic metabolism, *FASEP J.*, 6, 686-694.

<http://insilico.ehu.es/tm.php?primer=ggcaactgtgttcgaagt&basic=1&NearestNeighbor=1&cp=200&cs=50&cmg=>

[https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE\\_TYPE=BlastSearch&LINK\\_LOC=blasthome](https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch&LINK_LOC=blasthome)

[https://primer3.ut.ee/cgi-bin/primer3/primer3web\\_results.cgi](https://primer3.ut.ee/cgi-bin/primer3/primer3web_results.cgi)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/BC057325.1>

Keha, E. E. Küfrevioğlu, Ö.İ. (2009). *Biyokimya*. 6. Baskı, Ankara, Aktif Yayınevi.

Kurosawa, Y. Tanaka, K. (1991). PGD variants in several wild pig populations of east Asia. *Anim. Genet.*, 22 (4), 357-60.

Lehninger, A. L. Nelson, D. L. Cox, M. M. (2004). Çeviri Ed. N Kılıç, *Biyokimyanın ilkeleri*. Üçüncü Baskıdan çeviri. Ankara, Palme Yayıncılık.

Medina-Puerta, M. M. Garrido-Pertierra, A. (1986). Purification and properties of the enzyme 6-phosphogluconate dehydrogenase from *Dicentrarchus labrax* L. Liver, *Comp Biochem Physiol B*, 83 (1), 215-220.

Nelson, M. S. (1982). Biochemical and genetic characterization of the Lowell variant. A new phenotype of 6-PGD. *Hum. Genet.*, 62 (4), 333-336.

Sofro, A. S. Kirk, R. L. (1986). Genetics variants of 6-PGD in the Indonesian populations. *Hum. Hered.*, 36 (2), 101-106.

Yoshida, Y. Nakano, Y. Yamashita, Y. Icoga, T. (1997). The *gnd* gene encoding a novel 6-PGDH and its adjacent region of *actinobacillus acinomycelemcomitans* chosomal DNA. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 230 (1), 220-225.

## Fine Kinney Metodu İle Tekstil Sektöründe Risk Değerlendirmesi: Konya İlinde Bir Uygulama

Hediye KIRLI AKIN<sup>1</sup>

### Giriş

Bu çalışma kapsamında emek yoğun bir sektör olan tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir konfeksiyon atölyesinde Fine-Kinney metodu ile risk değerlendirme çalışması yapılmıştır. İş kazaları sıralamasında ilk sıralarda yer alan ülkemizde tekstil sektörünün iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirmeye alınması özellikle çalışan sayılarının bu sektörde fazla olması, ergonomik olmayan çalışma koşullarına sahip olmaları ve çalışma saatlerinin uzun olması nedenleriyle. Bu bağlamda, Konya ilinde faaliyet gösteren bir hazır giyim fabrikasında incelemelerde bulunulmuştur. Öncelikle firmada mevcut durum ve geçmiş istatistiksel veriler incelenerek iş kazası veya meslek hastalığı oluşturabilecek potansiyel tehlikeler belirlenmiştir. Sonrasında bu tehlikelerin neden olabileceği riskler ile bu risklerin olasılık, şiddet ve frekansları tespit edilmiştir. Risk değerlendirmesinde son yıllarda yaygın olarak kullanılan Fine-Kinney metodu ile risk skorları hesaplanarak, çok yüksek riskler, yüksek riskler, orta düzeydeki riskler, düşük düzeydeki riskler ve önemsiz riskler gruplandırılmıştır. Risk skorlarının düşürülmesi ve iş kazalarının önüne geçilmesi amacı ile her bir risk için alınması gereken önlemler belirlenmiştir. Önlemlerin alınması durumunda firmanın risk skorlarının ne olacağı yeniden hesaplanarak yorumlanmıştır.

### İş sağlığı ve Güvenliği

İş Sağlığı ve Güvenliği kavramı meslek kollarının tamamını kapsamakta olup çalışanların sadece bedensel değil ruhsal açıdan da iyilik durumlarının ve sosyal refah seviyelerinin artırılması, iş yerlerinde karşılaştıkları riskler karşısında korunmalarının sağlanması ve sağlıklarında meydana gelebilecek olumsuzlukların önlenmesi, kendilerine uygun işlerde çalıştırılmaları ve çalışanın işe işin çalışana uyumunun sağlanması olarak tanımlanabilmektedir. İş sağlığı ve güvenliğitüm meslek kollarını kapsamaması, sağlık, mühendislik, hukuk, ekonomi ve çevre gibi farklı disiplinlerle ilişkili multidisipliner bir bilim alanıdır. (Tezcan M.C & Aktaş B.B)

İş sağlığı ve iş güvenliği çalışmalarının üç temel amacı bulunmaktadır. Bunlar:

- i- Çalışanları korumak; çalışanların gerek meslek hastalıklarından gerekse iş kazalarından korunduğu güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmalıdır. Çalışma ortamından kaynaklı riskler ortadan kaldırılarak çalışanların sağlık, güvenlik ve refahı sağlanıp geliştirilmelidir.
- ii- Üretimi korumak; İş kazası olma olasılığı hem çalışan sağlığı açısından risk oluşturmakta hem de üretimin aksamasına neden olmaktadır. Ayrıca çalışanların güvenli ve ergonomik olarak iyi koşullardaki iş ortamlarında verimleri de artmaktadır.
- iii- İşletmenin korunması; İş kazaları veya meslek hastalıklarının önlenmesi ile üretim kayıplarından kaynaklı zararlar ve hukuki açıdan doğacak zararlar da önlenebilmektedir. (Akıllı, H., & Aydoğdu, Ö.)

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü,

Küresel istatistiklere göre dünyada iş kazası ve meslek hastalıkları nedeniyle her 15 saniyede 1 çalışan hayatını kaybederken, aynı sürede 160 çalışan iş kazasına maruz kalmaktadır. Yıllık veriler ise, 317 milyonun üzerinde iş kazası yaşandığını ve her yıl 2,3 milyondan fazla çalışanın iş kazası ve meslek hastalıkları nedeniyle hayatını kaybettiğini göstermektedir (Kalkış, İ.) Türkiye ise dünya çapında iş kazaları bakımından üst sıralarda yer alırken her sekiz dakikada bir iş kazası, altı saatte bir ölümle sonuçlanan iş kazası, iki buçuk saatte bir sakatlıkla sonuçlanan iş kazası gerçekleşmektedir. (Ergin Esen, H. & Mergen, A.)

Yaşanan iş kazaları temelde üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar;

- i. Güvensiz davranışlar nedeniyle oluşan iş kazaları,
- ii. Güvensiz durumlar nedeniyle oluşan iş kazaları,
- iii. Sebepi tespit edilemeyen tabiattan kaynaklı iş kazalarıdır. (Seber, V.)

Güvensiz davranışlar, çalışanların yarattığı güvensizlikler, şakalaşmalar ve lakayit davranışlar olarak değerlendirilmektedir. Güvensiz durumlar ise fiziksel koşullar ya da çevresel koşullar nedeniyle oluşabilmektedir. Fiziksel koşullar, çalışma ortamında bakımları yapılmamış makineler, uygun olmayan koruyucu takılmış ekipmanlar, ek yapılmış kablolar gibi durumlardır. Çevresel koşullar ise gürültü, aydınlatma, hava akımı, iklimlendirme, ortamda bulunan toz gibi sıralayabileceğimiz fiziksel risk etmenlerinin meydana getirdiği güvensiz durumlardır (Cuscio, N. F.). İş kazalarının %80'i çalışanların güvensiz davranışlarından, %18'i ise güvensiz durumlardan kaynaklanmaktadır (Ergin Esen, H. & Mergen, A.). Yani bu durumda iş kazalarının %98'i önlenebilir.

### **Risk Analizi ve Değerlendirmesi**

6331 sayılı İş Sağlığı Ve Güvenliği Kanunu'na göre;

**Tehlike:** işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelini,

**Tehlike sınıfı:** İş sağlığı ve güvenliği açısından, yapılan işin özelliği, işin her safhasında kullanılan veya ortaya çıkan maddeler, iş ekipmanı, üretim yöntem ve şekilleri, çalışma ortam ve şartları ile ilgili diğer hususlar dikkate alınarak işyeri için belirlenen tehlike grubunu,

**Risk:** tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimalini,

**Risk değerlendirme:** İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmaları kapsamaktadır. (<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6331.pdf>)

İş Sağlığı ve Güvenliği'nde risk analizinde reaktif ve proaktif olmak üzere iki temel yaklaşım vardır. Reaktif yaklaşımda, riskler gerçekleştikten sonra kazanın tekrar olmaması için kaza nedenlerini tespit etme ve çözüm arama durumu, proaktif yaklaşımda ise kaza daha olmadan sistemin risklerini öngörme, mümkünse bu riskleri ortadan tamamen kaldırma, mümkün değilse kabul edilebilir risk düzeyine indirme yaklaşımı söz konusudur (Özkılıç, Ö.).

İş sağlığı ve güvenliği alanındaki çalışmaların en önemli aşaması, risk değerlendirme aşamasıdır. Bu aşamada risk analizinin yapıldığı yerde tespit edilen her bir tehlikenin, risk seviyeleri hesaplanarak bu seviyenin kabul edilebilir veya kabul edilemez olduğuna karar verilmektedir. (Kokangül, A., Polat, U. & Dağsuyu, C.)

Belli başlı risk değerlendirme yöntemleri şunlardır: Ön Tehlike Analizi, Birincil Risk Analizi, Güvenlik Fonksiyon Analizi, Risk Haritası, İş Güvenliği Analizi, Süreç/Sistem Kontrol Listeleri,

İşlemleri İnceleme Tekniği, Risk Analizi, Olursa Ne Olur? Analizi, Tehlike ve İşletebilirlik Analizi, Hata Türleri, Etkileri ve Kritiklik Analizi, Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Neden-Sonuç Analizi, İnsan Hatası Analizi, İnsan Güvenilirlik Değerlendirmesi, İnsan Hata Oranı Tahmini Tekniği, Hiyerarşik Görev Analizi, Yönetim Bakışı ve Risk Ağacı Analizi, Güvenlik Bariyer Diyagramları, Fine-Kinney Modeli, Zürih Tehlike Analizi, Makine Risk Değerlendirmesi, Ortalamalardan Sapma Tekniği, Ağırlıklandırılmış Ortalamalardan Sapma Tekniği, Risk Değerlendirme Tablosu (L Tipi Matris, X Tipi Matris). (Ceylan, H. & Başhelvacı, V.S.,)

Risk değerlendirme aşamasında pek çok yöntem olmasına karşılık uygulamada son zamanlarda Fine Kinney yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. (Kokangül, A., Polat, U. & Dağsuyu, C.)

### **Fine Kinney Metodu**

Fine-Kinney metodu diğer metotlarda yer alan kaza oluşma olasılığı, kazanın olması durumunda karşılaşılabilecek olayın şiddeti parametrelerine ek olarak tehlikeye maruz kalma sıklığını (frekansını) da içermektedir. Bu nedenle matris yöntemlerine göre daha güvenilir sonuçlar vermektedir. (Yığıtalp Rençber S & Ceylan A.)

Yöntem ilk olarak 1971 yılında Fine tarafından önerilmiş olup daha ayrıntılı olarak 1976 yılında Kinney ve Wiruth tarafından geliştirilmiştir.

Fine-Kinney metodunun uygulanmasında sıklıkla karşılaşılan problem olasılık ve frekans kavramlarının karıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu yöntemde bahsedilen olasılık, tehlike meydana geldiğinde bir kaza ya da hasarın olasılığı iken frekans tehlikenin oluşumunun sıklığını ifade etmektedir. Şiddet ise bir kaza durumunda sonuçların şiddetidir. (Birgören, B.)

Fine-Kinney metodunda kaza olasılığı Tablo1 de görüldüğü üzere 0,1 ila 10 puan arasında derecelendirilmektedir. Bir tehlike meydana geldiğinde herhangi bir kaza ya da hasarın oluşma olasılığı imkansızlıktan kesin beklenen duruma doğru kademeli olarak puanlanmaktadır. Tehlikenin oluşma sıklığı ise Tablo 2’de görüldüğü gibi çok seyrekten sürekliye olmak üzere 0,5 ila 10 puan arasında derecelendirilmektedir. Yöntemde olayın gerçekleşmesi durumundaki etki derecesi puanlanırken yaralanma, ölüm, sakat kalma, çoklu ölüm, çevresel etki gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Tablo3’te hafif yaralanmalardan, çoklu ölümlere neden olabilecek felaketlere kadar 1 ila 100 arasında şiddet derecelendirmesi yapılmıştır.

*Tablo 1. Fine Kinney Metodu Olasılık Skalası (Kinney G.F.& Wiruth A.D.)*

<b>Kesin beklenen</b>	<b>10</b>
<b>Oldukça mümkün</b>	<b>6</b>
<b>Mümkün</b>	<b>3</b>
<b>Mümkün ama düşük olasılıklı</b>	<b>1</b>
<b>Mümkün fakat beklenmeyen</b>	<b>0,5</b>
<b>Pratikte imkansız</b>	<b>0,2</b>
<b>Neredeyse imkansız</b>	<b>0,1</b>

Tablo 2. Fine Kinney Metodu Frekans Skalası (Kinney G.F.& Wiruth A.D.)

Sürekli	10
Sık (Günlük)	6
Ara Sıra (Haftalık)	3
Sık Değil (Aylık)	2
Seyrek (Yılda birkaç defa)	1
Çok Seyrek (Yılda bir veya daha seyrek)	0,5

Tablo 3. Fine Kinney Metodu Şiddet Skalası (Kinney G.F.& Wiruth A.D.)

Etki derecesi	Puan
Çoklu ölümle sonuçlanabilecek Felaket,	100
Birkaç kişinin Ölümüyle sonuçlanabilecek felaket	40
Ölümlle sonuçlanabilecek çok ciddi kaza	15
Ciddi yaralanma	7
Önemli yaralanma	3
İlk yardım gerektiren basit yaralanma	1

Her tehlikeli durum için, olasılık, frekans ve şiddet değerlendirilmesi ve puanlaması yapıldıktan sonra risk skoru hesaplanmalıdır. Bunun için;

**Risk Skoru = Olasılık x Şiddet x Frekans** formülü kullanılmaktadır. (Kinney G.F.& Wiruth A.D.)

Risk skorları bulunduğundan sonra Tablo 4'te görüldüğü gibi, acil müdahale gerektiren çok yüksek risk ve yüksek risk, önemli risk, olası risk ve kabul edilebilir risk düzeyi olan önemsiz riskler sınıflandırılmaktadır.

Tablo 4. Risk düzeyi sınıflandırması (Kinney G.F.& Wiruth A.D.)

Risk Skoru	Risk Durumu
> 400	Çok yüksek risk – düzeltme yapılana kadar iş durdurulmalıdır
200 – 400	Yüksek risk – acil düzeltme gereklidir
70 – 200	Önemli risk – düzeltme gereklidir
20 – 70	Olası risk – gözetim altında bulundurulmalıdır
< 20	Önemsiz risk – Kabul edilebilir risk düzeyidir.



## **Hazır Giyim Sektöründe Risk Analizi**

Hazır giyim, dünya çapında olduğu gibi Türkiye’de de çok büyük istihdam ve ekonomik gelir sağlayan sektörler içerisinde yer almaktadır. Türkiye ihracatının yaklaşık üçte birini kapsayan hazır giyim iş kolu, Türkiye’deki toplam istihdamın %20’sini oluşturmaktadır. (Ergin Esen, H.& Mergen, A.)

SGK tarafından sınıflandırılan 81 sektör arasında iş kazası ve ölümlü iş kazası sayısı olarak en yoğun işçi çalıştıran inşaat, tarım ve madencilik sektörlerinden sonra tekstil sektörü 4. sırada yer almaktadır. (Ağırhan, M.)

Tekstil ve Konfeksiyon sektöründe çalışanları bekleyen başlıca riskler şunlardır:

- i. Özellikle leke çıkarmada ve boyama işlemlerinde kullanılan tehlikeli kimyasallardan kaynaklanan meslek hastalıkları,
- ii. Tekstilde kullanılan elyaf, pamuk gibi malzemelerin çok kolay yanabilmesinden kaynaklı yangın,
- iii. Kumaşların kesilmesi esnasında çıkan kumaş tozlarından kaynaklanan meslek hastalıkları,
- iv. Gürültü kaynaklı işitme kayıpları, dikkat dağınıklıkları
- v. İş ekipmanları, endüstriyel ütüler ve makina parçalardan kaynaklı iş kazaları
- vi. Çok fazla eğilerek çalışma, tekrarlı hareketler, uzun süre oturma/ayakta kalma gibi olumsuz ergonomik koşullardan kaynaklı iskelet kas sistemi hastalıkları
- vii. İklimlendirmeden kaynaklanan riskler.
- viii. Ağır yük taşıma, kaldırmadan kaynaklı hastalıklar
- ix. Hazır giyim sektöründe hareketli makinelerle İğne kırılması, parmak delinmesi, kırılan iğnenin fırlamasıyla iğnenin parçası göze gelme durumlarının olması görme kaybı
- x. Kumaş parçalarından kaynaklı yangın (Ağırhan M.)

## **Uygulama Çalışması**

Gerek Türkiye’nin pamuk üretimindeki önemli konumu nedeniyle sektörün önümüzdeki yıllarda daha da gelişeceği beklentisi gerekse tekstil sektörünün iş sağlığı ve güvenliği açısından riskli bir sektör olması bu sektörün risk analizi açısından değerlendirmeye alınmasında etkili olmuştur.

Risk Analizi çalışması Konya ilinde faaliyet gösteren bir hazır giyim fabrikasında yapılmıştır. Firma çalışan sayısı 84’ tür. Çalışanların 25 tanesi kadın, 59 tanesi erkektir. Firma Zemin+3 kattan oluşmaktadır. Zemin katta, muhasebe, satış pazarlama, hammadde deposu, 1. Katta üretim planlama, pastal çizimi, model üretim işlemleri, 2. Katta kesim, dikim, ütü işlemleri yapılmakta olup nihai ürün deposu son kat olan 3. Katta yer almaktadır. Risk analizi çalışması yapılmadan önce firmanın istatistiksel verileri incelenmiş ve firmada gözlemlerde bulunularak tehlikeler, riskler, olasılıklar, şiddetler ve frekanslar belirlenerek Tablo5’te verilmiştir.

Tablo 5. Bir Hazır Giyim Firmasında Fine Kinney Metodu ile Risk Değerlendirmesi

Bölüm	Tehlike	Risk	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Seviyesi	
Risk-1	Genel	El aletlerinin bakımlarının yapılmamış olması	Elektrik çarpması	10	15	0,5	75
Risk-2	Genel	Hijyen	Salgın hastalıklar	3	7	3	63
Risk-3	Genel	İklimlendirme	Mevsimsel hastalıklar	6	3	2	36
Risk-4	Genel	Geniş kollu, sarkan kıyafetler	Uzuv kayıpları, sakatlanma	6	15	1	90
Risk-5	Genel	Yangın tüperinin rutin bakımlarının yapılmaması	Yangın çıkması durumunda müdahale edememe	6	100	0,5	300
Risk-6	Genel	İlk yardım dolabının yetersiz sayıda olması	Acil durumda müdahale edememe	6	3	1	18
Risk-7	Genel	Acil durumlar için tahliye planının hazır ve herkesin göreceği yerde asılı olmaması	Acil durumda karmaşa, izdiham, toplu ölümler	1	100	0,5	50
Risk-8	Genel	Uzun saatler boynu eğerek çalışma	Boyun fıtığı	10	7	10	700
Risk-9	Genel	Uzak mesafelere uzanma	İskelet kas sistemi bozuklukları	3	3	6	54
Risk-10	Genel	Kalabalık ve Sıkışık yerleşim düzeni	Kaza, yaralanma	3	3	2	18
Risk-11	Genel	Elektrik panolarında kumaş tozlarının/tüylerinin birikmesi	Yangın çıkması	3	100	0,5	150
Risk-12	Genel	Yetersiz aydınlatma	İş kazaları, görme problemleri	6	3	6	108
Risk-13	Genel	Uzun çalışma süreleri	İskelet kas sistemi bozuklukları	6	3	10	180
Risk-14	Depo	Nihai ürün kolilerinin katlar arasında elle taşınması	Bel fıtığı, iskelet kas sistemi hastalıkları	10	7	10	700
Risk-15	Depo	Nihai ürün kolilerini merdivenden indirirken takılma, düşme	Vücutta kırıklar, yaralanmalar, sakat kalma	6	15	1	90
Risk-16	Hammadde Depo	Stok sahası düzensizliği	Takılıp düşme	10	3	3	90
Risk-17	Hammadde Depo	Ağır kumaş toplarının merdivenlerden katlar arasında elle taşınması	Düşme, kafa travmaları, iskelet kas sistemi hastalıkları	10	15	6	900
Risk-18	Hammadde Depo	Kumaş topunun raflardan düşmesi	Kafa yaralanmaları, boyunda kırılma, ezilmeler	3	15	3	135
Risk-19	Hammadde Depo	Taşıma arabalarının yollarının ayrılmamış olması	Taşıma arabalarının diğer çalışanlara çarpması, düşürmesi, yaralaması	6	3	2	36
Risk-20	Hammadde Depo	Kumaş toplarının dik bir şekilde rastgele yerlere dayanmış olması	Yaralanma, ezilme	3	1	6	18
Risk-21	Hammadde Depo	Kumaş poşetlerinin ve ambalajların yerlerde atılı olması	Takılıp düşme, yaralanma	6	1	2	12
Risk-22	Kesimhane	Uçlarına ek yapılmış kablolar	Elektrik çarpması	1	15	6	90
Risk-23	Kesimhane	Kumaş tozu	Solunum problemleri, akciğer hastalıkları, astım, bisino	6	7	10	420
Risk-24	Kesimhane	Kumaş kesim makinesinde elin kesilmesi	Elde kesik, uzuv kaybı	10	7	1	70
Risk-25	Kesimhane	Kumaş kesim makinesinin elektrik kablосunu kesmesi	Elektrik çarpması, ölüm	10	15	0,5	75
Risk-26	Kesimhane	Kesim hızlarında el kesilmesi	Elde kesik, uzuv kaybı	10	7	0,5	35
Risk-27	Kesimhane	Sıcak telaya dokunma	Yanık	3	1	2	6
Risk-28	Kesimhane	Tela yapıştırma presi konveyör bandına sarkan kıyafet saç vs sıkışması	Yaralanma, sakatlanma	6	15	0,5	45

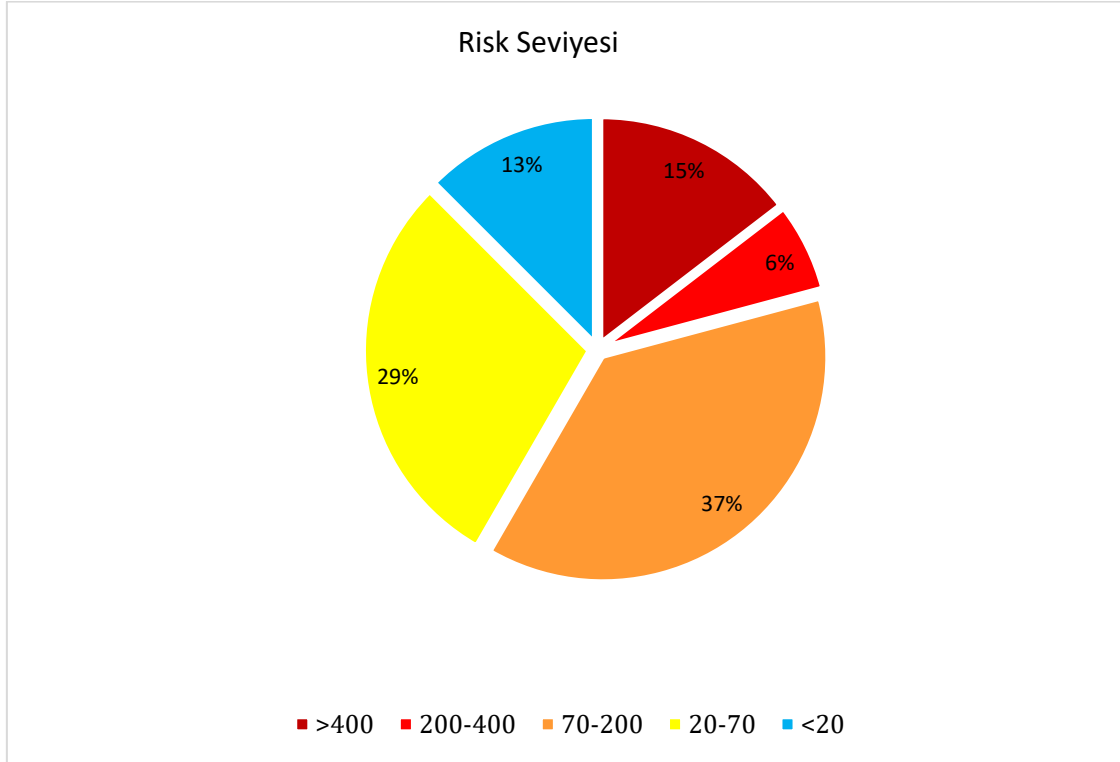
**Kırlı Akın, Hediye; Fine Kınney Metodu İle Tekstil Sektöründe Risk Değerlendirmesi: Konya İlinde Bir Uygulama**

<b>Risk-29</b>	Kesimhane	Tela presinde döner bantlara el sıkışması	Yaralanma uzuv kaybı	3	7	1	21
<b>Risk-30</b>	Kesimhane	Tela pres makinasında elektrik kaçağı olması	Elektrik çarpması, ölüm	10	15	0,5	75
<b>Risk-31</b>	Dikimhane	Makinelerin aralarında ev tipi uzatma ve çoklama kablolarının kullanılması	Elektrik çarpması	0,5	15	10	75
<b>Risk-32</b>	Dikimhane	Gürültü	İşitme kaybı	6	7	10	420
<b>Risk-33</b>	Dikimhane	Uzun saatler oturarak çalışma	Bel fıtığı,varis, vs.	10	7	10	700
<b>Risk-34</b>	Dikimhane	Çıtçıt makinasında el sıkışması	Yaralanma	10	3	2	60
<b>Risk-35</b>	Dikimhane	İğne kırılması	Görme kaybı, yüzde, vücutta yaralanmalar	6	7	2	84
<b>Risk-36</b>	Dikimhane	İğne batması	Yaralanma	10	1	3	30
<b>Risk-37</b>	Dikimhane	Titreşim	Beyaz el hastalığı	3	7	1	21
<b>Risk-38</b>	Dikimhane	Zeminde kırık iğne, makas vs. Atılı olması	Ayak yaralanmaları, düşme sonucu vücutta batıklar	6	3	10	180
<b>Risk-39</b>	Dikimhane	Dikiş makinesi ayak pres bölümü	Ayak sıkışması, yaralanma	6	3	10	180
<b>Risk-40</b>	Dikimhane	Dikiş makinelerinin bakımlarının yapılmaması	Ezilme sıkışma	0,5	3	10	15
<b>Risk-41</b>	Dikimhane	Uzun süre dirsekler makineyle temas etmeden dikim işleminin yapılması	Kol, dirsek, omuz ağrıları	6	1	10	60
<b>Risk-42</b>	Ütü	Uzun saatler ayakta çalışma	Bel fıtığı,varis, vs.	10	7	10	700
<b>Risk-43</b>	Ütü	Leke çıkarıcı kimyasallarla temas	Solunum problemleri, astım, ciltte tahriş	6	7	6	252
<b>Risk-44</b>	Ütü	Yüksek ısı	Yanık	6	7	2	84
<b>Risk-45</b>	Ütü	Ütü buharıyla temas	Yanık	6	7	2	84
<b>Risk-46</b>	Ütü	Yıpranmış ütü buhar kazanı hortumu	Yanık	6	7	1	42
<b>Risk-47</b>	Ütü	Ütünün düşmesi	Ezilme sıkışma	3	7	1	21
<b>Risk-48</b>	Ütü	Ütü buhar kazanında patlama	Ölüm, yaralanma	10	40	0,5	200

Tablo5'te de görüldüğü üzere firmanın çok acil müdahale etmesi gereken 7 adet çok yüksek tehlike bulunmaktadır. Gerekli önlemler alınıp risk skorları düşürülmeden firmanın bu alanlarda çalışmaya devam etmemesi gerekmektedir.

Firma için belirlenen örnek çalışmada 48 adet riskin büyük bölümü düzeltme gerektiren önemli risk grubuna girmektedir. Grafik 1' de görüldüğü gibi risklerin % 15'i kabul edilemez düzeyde işin durdurulmasını gerektirecek düzeyde çok yüksek risk düzeyine, %6'sı acil düzeltme gerektiren çok yüksek risk düzeyine, % 37 si düzeltme gerektiren yüksek risk düzeyine sahiptir. Yani toplamda %57 lik risk için gerekli önlemler biran önce alınmalı ve tamamlanmalıdır. Bu risklerin risk skorlarının acil olarak düşürülmesi gerekmektedir.

Çok yüksek düzeydeki risklerden başlanarak alınması gereken önlemler belirlenerek Tablo6' da gösterilmiştir.



Grafik 1. Firmanın risk skor dağılımı

Tablo 6. Fine-Kinney Metodu ile belirlenen risklerin önlenme faaliyetleri ve önlem sonrası risk seviyeleri

Önlem	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Seviyesi
<b>Risk-1</b> Kullanmaya başlanmadan önce ekipmanlar kontrol edilmeli sorun varsa yetkililere bildirilmelidir.	0,5	15	0,5	3,75
<b>Risk-2</b> Hijyen eğitimi verilecektir. Ortak kullanım alanlarının rutin kontrollerle temiz tutulması sağlanacaktır. Hastalık şüphesinde maske kullanılması sağlanacaktır.	1	3	2	6
<b>Risk-3</b> Isıtma ve soğutma sistemleri kurularak temiz hava girmesi sağlanacaktır.	3	3	2	18
<b>Risk-4</b> Kıyafet kollarını, ceket önlerini vs. Toplayacak şekilde çalışanlara iş kıyafetleri verilecektir.	1	15	1	15
<b>Risk-5</b> Yılda 2 kez yangın tüplerinin kontrolleri ve bakımları yapılarak bakım kartlarına işlenecektir. Dolum işlemleri ise 4 yılda bir tekrarlanacaktır.	0,2	100	0,5	10
<b>Risk-6</b> Görünür ve kolay ulaşılabilir bir yere 1 adet yeni ilk yardım dolabı eklenecektir.	6	3	1	18
<b>Risk-7</b> Acil durum tahliye planı hazırlanarak, çalışanlara eğitim verilecek ve acil çıkış yollarında herkesin görebileceği yerlere asılacaktır.	1	15	0,5	7,5
<b>Risk-8</b> Çalışanların dönüşümlü çalışmaları sağlanacak, periyodik kontrol muayeneleri yapılacak, fiziksel egzersiz konusunda eğitim verilecek.	1	3	10	30
<b>Risk-9</b> Çalışanların ergonomik ölçümleri alınarak uygun çalışma düzeni sağlanacak, periyodik kontrol muayeneleri yapılacak, ayarlanabilir ergonomik koltuklar tedarik edilecek	1	3	3	9
<b>Risk-10</b> Yeni tesis yerleşim planının hazırlanması	3	3	2	18
<b>Risk-11</b> Aylık olarak rutin elektrik panolarının temizlenmesi	0,2	100	0,5	10
<b>Risk-12</b> Çalışanların görüş alanını arttıracak ve gözü yormayacak şekilde aydınlatma artırılacaktır. Öncelikle, doğal aydınlatmadan daha fazla yararlanmak için pencereler genişletilecektir. Pencerelere ayarlanabilir perdeler takılacaktır.	0,5	3	6	9

## Kırlı Akın, Hediye; Fine Kinney Metodu İle Tekstil Sektöründe Risk Değerlendirmesi: Konya İlinde Bir Uygulama

<b>Risk-13</b>	Vardiyalı çalışma düzenine geçilerek çalışanların çalışma süreleri günlük 8 saate düşürülecek ve öğleden önce 1 kez öğleden sonra 1 kez olmak üzere 15 dk. ek dinlenme arası konulacaktır.	3	3	6	54
<b>Risk-14</b>	Katlar arası asansör sisteminin kurulması	1	3	1	3
<b>Risk-15</b>	Katlar arası asansör sisteminin kurulması	1	3	1	3
<b>Risk-16</b>	Stok sahasında uygun raf düzeninin kurularak düzenleme yapılması	0,5	3	3	4,5
<b>Risk-17</b>	Katlar arası asansör sisteminin kurulması	0,2	15	1	3
<b>Risk-18</b>	Raf düzeninin yeniden oluşturulması, raflar arası mesafelerin düşürülmesi, depo çalışanlarının baret kullanmaları	1	15	0,5	7,5
<b>Risk-19</b>	Yeni tesis tasarımında yürüyüş yolları ile taşıma araçlarının yolları çizgilerle belirlenerek birbirinden ayrılacaktır. Belirlenen yollar tabelalar ile gösterilecektir.	0,5	3	1	1,5
<b>Risk-20</b>	Kullanılmak üzere Kesimhaneye alınan kumaşların bekletilmesi için uygun bir alan oluşturulacak, rastgele yerlere bırakılmaları önlenecektir.	3	1	2	6
<b>Risk-21</b>	Gerekli birimlerde uygun yerlere atık alanları oluşturulacaktır.	1	1	2	2
<b>Risk-22</b>	Ekli kabloların kullanımının durdurulması ve kabloların değişiminin sağlanması	1	15	1	15
<b>Risk-23</b>	Ortam toz kontrolü, toz emiş mazgalları, periyodik muayeneler, yeteli havalandırma ve maske kullanımı	0,5	7	3	10,5
<b>Risk-24</b>	Çelik eldiven kullanımı	10	1	1	10
<b>Risk-25</b>	Kablunun sarkan kısmı tavana sabitlenecektir.	1	15	0,5	7,5
<b>Risk-26</b>	Çelik eldiven kullanımı	10	1	0,5	5
<b>Risk-27</b>	Çalışanların uyarılması sağlanacaktır.	3	1	2	6
<b>Risk-28</b>	Kıyafet kollarını, ceket önlerini vs. Toplayacak şekilde çalışanlara iş kıyafetleri verilecektir.	1	15	0,5	7,5
<b>Risk-29</b>	Çalışanlara konu ile ilgili eğitim verilecek, presin acil durum butonu ulaşılabilir yerde bulundurulacaktır.	1	7	1	7
<b>Risk-30</b>	Topraklama yapılarak, çalışanlara yalıtkan ayakkabı giydirilecektir. Presler rutin bakım ve kontrole tabii tutulacaktır.	1	15	0,5	7,5
<b>Risk-31</b>	Uygun saha tipi uzatma kabloları kullanılacaktır.	0,5	15	2	15
<b>Risk-32</b>	Çalışanlara eğitim verilecek ve kulak tıkacı kullanmaları sağlanacaktır. Ayrıca çalışanlar periyodik olarak odyometri testine tabi turulacaktır.	3	3	2	18
<b>Risk-33</b>	Çalışanların dönüşümlü çalışmaları sağlanacak, periyodik kontrol muayeneleri yapılacak, ayarlanabilir ergonomik koltuklar tedarik edilecek	3	3	6	54
<b>Risk-34</b>	Makinalara parmak algılayıcı sensör yerleştirilecektir.	0,2	3	2	1,2
<b>Risk-35</b>	Çalışanların gözlük kullanmaları sağlanacaktır.	6	1	2	12
<b>Risk-36</b>	Makinelerin iğne koruyucularının kullanılması sağlanacaktır. Korumasız makine çalıştırılmasına müsaade edilmeyecektir.	3	1	3	9
<b>Risk-37</b>	Titreşim için gerekli ölçümler yapılmalı, titreşimin iletildiği yüzeylerde sönümleyici malzeme kullanılmalıdır ve bu makinalarda çalışma süreleri azaltılmalıdır.	3	3	1	9
<b>Risk-38</b>	Zeminin temiz ve düzenli bırakılması hususunda çalışanlar uyarılacak ve uygun iş ayakkabıları tedarik edilecektir.	3	3	2	18
<b>Risk-39</b>	Dikiş makinalarının pres bölümü ayarın sıkışmasını önleyecek şekilde daraltılacaktır.	3	3	2	18
<b>Risk-40</b>	Makine ekipmanlarının periyodik kontrolleri ve bakımları yapılacaktır.	0,5	3	2	3
<b>Risk-41</b>	Çalışanların dönüşümlü çalışmaları sağlanacak, periyodik kontrol muayeneleri yapılacak, ayarlanabilir ergonomik koltuklar tedarik edilecek, fiziksel egzersiz konusunda eğitim verilecek.	3	1	6	18
<b>Risk-42</b>	Çalışanların dönüşümlü çalışmaları sağlanacak, periyodik kontrol muayeneleri yapılacak, fiziksel egzersiz konusunda eğitim verilecek.	3	3	6	54
<b>Risk-43</b>	Çalışanların, maske ve eldiven kullanmaları sağlanacaktır.	1	7	2	14
<b>Risk-44</b>	Isıya dayanıklı eldiven gibi KKD lar kullanılacaktır.	6	1	2	12
<b>Risk-45</b>	Isıya dayanıklı eldiven gibi KKD lar kullanılacaktır.	6	1	2	12
<b>Risk-46</b>	Periyodik olarak kontrolleri sağlanıp, en ufak deformasyonda hortum değiştirilecektir.	1	7	1	7
<b>Risk-47</b>	Ütü bölümündeki çalışanların çelik burun ayakkabı kullanmaları sağlanacaktır.	3	3	1	9
<b>Risk-48</b>	Periyodik kontrolleri ve bakımları yapılacaktır. Personele ilgili konuda eğitim verilecektir. Kazandaki su miktarı sürekli kontrol altında tutulacaktır.	0,5	40	0,5	10

## **Sonuç**

Sonuç olarak risk değerlendirme çalışmasının yapıldığı Konya ilinde faaliyet gösteren hazır giyim imalat firmasında en büyük problemlerin ergonomik koşullardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Özellikle, çalışanların uzun saatler boyunlarını eğerek, oturarak ve dikim esnasında dirsekleri boşlukta çalışmak zorunda olmaları bel fitiği, boyun fitiği, varis gibi çeşitli fiziksel hastalıklara neden olmaktadır. Bu durum sadece uygulamanın yapıldığı firma için değil aynı sektördeki diğer tüm firmaların ortak problemi olarak görülmektedir. Bunların dışında firmanın tek bir zemin üzerine kurulu olmaması çok katlı olması ve asansör bulunmaması kaynaklı da problemler yüksek risk skoru oluşturarak acil müdahale gerektirmektedir. Ağır kumaş topları veya nihai ürün kolilerinin katlar arası taşıma işlemlerinin çalışanlar tarafından omuz üstünde, elle vs. yapılıyor olması nihai ürün kolilerinin katlar arasında elle taşınması, iskelet kas sistemi açısından oldukça sakıncalı olup süreklilik arz etmesi de acil müdahale gerektirmektedir. Katlar arasında elle taşıma işlemleri asansör sisteminin kurulması ile kabul edilebilir risk düzeylerine indirilebilmektedir. Ancak oturarak dikmiş dikme, ayakta uzun süreler ütü yapma gibi problemler, hazır giyimde imalatın devamlılığı için olmak zorundadır. Bu riskler uygulama yapılan firma için dinlenme süreleri artırılarak, fiziksel egzersiz eğitimleri verilerek biraz azaltılabilmektedir ama kabul edilebilir risk düzeyine indirilememektedir.

## KAYNAKÇA

- Akıllı, H., & Aydoğdu, Ö., İş Sağlığı ve Güvenliğinin Önemi, [https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013\\_16/245.pdf](https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2013_16/245.pdf),
- Ağırhan, M., 2020. Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Farkındalık ve Uygulanabilirlik Araştırması: Trakya Örneği, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 19(37),57-68
- Birgören, B., 2017, Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Vol. 9, Sayı 1, 19-25
- Cuscio, N. F. (1995) Managing Human Resources. 5. Edition, Irwin Mc Graw Hill
- Ceylan, H. & Başhelveacı, V.S., 2011. Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama, International Journal of Engineering Research and Development, Vol.3, No.2, 25-33
- Ergin Esen, H. & Mergen, A., 2017. Hazır Giyim Mağazacılık Sektöründe İş Kazaları ve Çözüm Önerileri: Örnek Bir Uygulama. Marmara Fen Bilimleri Dergisi. 29. 11-11. 10.7240/marufbd.308547. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6331.pdf>
- Kılıç, İ., 2013. İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Yeni Dönem: 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK), "İş, Güç" Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi, Cilt: 15, Sayı: 1, 17-41
- Kinney, G.F. & Wiruth, A.D., 1976. Practical Risk Analysis for Safety Management, Naval Weapons Center, 1–20.
- Kokangül, A., Polat, U., Dağsuyu, C., 2017. A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies, Safety Science, Volume 91, 24-32, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.015>.
- Özkılıç, Ö., 2007. "İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Risk Değerlendirmesi", Tisk Yayınları, Yayın No:540
- Seber, V., 2012. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinde Risk Analizleri Nasıl Yapılır?. Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı 445, 30-34.
- Tezcan, M.C. & Aktaş, B.B., 2022. İş Sağlığı ve Güvenliği Performans Değerlendirmesi: Uçak Bakım Organizasyonu Üzerine Bir Araştırma, OHS Academy İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, 1-12
- YİĞİTALP RENÇBER, S. & CEYLAN, A., 2022. Bir Tekstil Fabrikasında Çalışan İşçilerin Karşılaştıkları Riskler ve İş Kazası Geçirme Durumlarının Değerlendirilmesi, Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 11(1): 748 – 759

## Ortopedik Uygulamalarda Kullanılan Matkap Uçlarının Farklı Kaplamalar Altında Delme, Sıcaklık ve Aşınma Performansının Araştırılması

Lokman YÜNLÜ<sup>1</sup>  
Ekrem OLÇAY<sup>2</sup>

### Giriş

Günümüzde ortopedik, medikal ve dental alanlarda meydana gelen operasyonlar sırasında kemik kısmın işlenmesi esnasında kesici takım- kemik temasında ısı oluşumu, korozyon aşınma gibi faktörler oluşmaktadır ve bu faktörleri minimize ederek doku kayıplarının da önüne geçebilmek takım ömründe uzama sağlayabilmek için bulunan yüzey üzerine veya kesici takım üzerine su vererek meydana gelebilecek hasarların önüne geçilebilir ya da daha etkili sonuçlar elde edebilmek için ise kesici takımlara kaplamalar yapılarak ısı oluşumu, korozyon, aşınma vb. faktörlerin önüne geçilerek takım ömrü uzatılır işlem konforu sağlanmış olur.

Delme ve kesme uygulamaları sırasında meydana gelen olumsuzlukların oluşmasında birden fazla faktör olabilir. Bunlara örnek verecek olursak kesici takımın kesme hızı, delme hızı, ilerleme hızı, ilk giriş hızı verilen yan adım miktarları uygulanan basınç, kesici takımın geometrik özellikleri, ortam sıcaklığı ortam nemi gibi bir çok faktör sayılabilmektedir. Bu faktörlerin önüne geçebilmek için CVD, DLC, PVD, Zr, kaplama türlerine göre kaplamalar yapılmaktadır. Ancak bu faktörlerin belirtilen yapılan kaplamalara etkilerini nasıl meydana getirdikleri henüz net olarak açıklanabilmiş değildir ve hâlâ günümüzde araştırma ve geliştirmeleri bilime konu olmaktadır.

### Kemik Anatomisi:

Kemik, insan vücudu içerisinde en sert olan dokudur. Vücudun destek birimidir. Vücudun en büyük kalsiyum deposudur. Depoladıkları kalsiyum miktarlarının çok fazla olmasından dolayı sert yapıya sahiptirler. Sert olmalarına rağmen kıkırdak dokuya göre kıyaslandığı zaman içerlerinde damar içermeleridir. Kemik doku içerisinde osteosit, osteoblast, osteoklast ve hücrelerarası madde (matrix) bulunmaktadır Şekil 1.gösterilmiştir.

Kemikten yan kesit alındığı zaman dış ve iç yüzeyler zar ile örtülüdür. Dıştaki zar; periosteum, içte bulunan zar; endosteumdur. Yetişkin bir insan iskeleti 207 kemikten oluşmaktadır.

- Kemik zarı: Kemik enine büyümesini sağlar.
- Sert kemik: Kemik orta kısmında yer alır. İçinde sarı ilik bulunur. Havers ve Volkmann kanalları bulunur.
- Süngerimsi kemik: Gözenekli bir yapısı vardır.
- Kırmızı ilik: Süngerimsi kemikte bulunur. Görevi alyuvarları üretmektir.
- Sarı ilik: Yağ depolar. Gerekli zaman da kan hücresi üretir.
- Kan damarları: Üretilen kanı vücut damarlarına taşır.

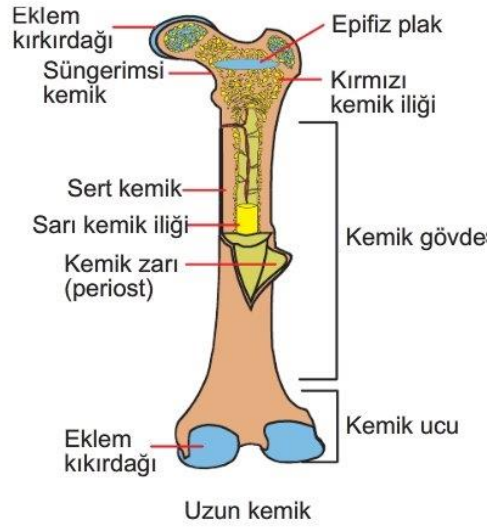
---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup> YL. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. ABD



- Eklem kırıkdağı: Kemiğin boyca uzamasını sağlar.

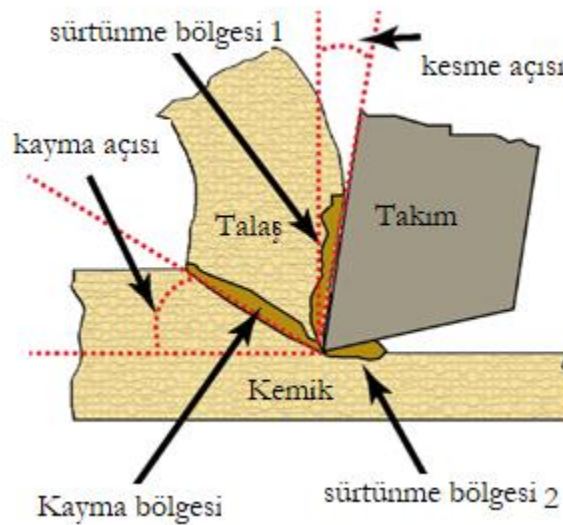


Şekil 1. Kemik yapısı (Eokul, 2013).

### Kemikte Termomekanik Hasar

Kesici takımlar kesme işlemi esnasında mekanik işi ısı enerjisine dönüştürürler. Kemiğin düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olmasından dolayı ısı delik bölgesine toplanır. Kesme işlemi kemik yüzeyinde kemik talaşların oluşmasına sebep olur ve bu artık talaş malzemeleri kesici takım yüzeyinden atılmaz ise delme işlemi bölgesinde delme kuvvetini, torkunu ve kemik sıcaklığını artırır (Akhbar & Sulong, 2021). Oluşan bu olaylar sonucunda matkap ucu kırılabilir meydana gelen ısınmadan dolayı kemik hücrelerini ve çevre dokularında nekros meydana getirebilir.

Delme işlemlerinde yüksek sıcaklığa maruz kalan kemik yapısı bozulur. Aşırı ısı kemik hücrelerinde ki kan akışını etkiler ve kanın pıhtılaşmasına sebep olabilir.



Şekil 2. Kemikte kesme işlemi (Akhbar & Sulong, 2021).

### **Kemik Delme İşlemlerinde Meydana Gelen Mekanik Hasarlar;**

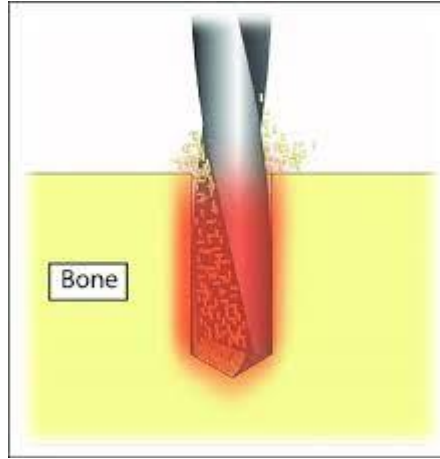
Kemik yapısında meydana gelebilecek mekanik hasarların optimize edilebilmesi için başlıca (iş mili hızı ve ilerleme hızı) itme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık değerlerine bakılması gerekmektedir. Delme işlemi boyunca delik yüzeylerinin yoğunluğu ve tasarımı mekanik hasarı etkiler, Şekil 2 de benzer bir delik delme operasyonu görülmektedir. Böylece minimum yüzey pürüzlülüğü kemiğe minimum mekanik hasar verdiği bulunmuştur (Lee, Chavez & Park, 2018).



Şekil 2. Kemik Yapısında Delme işlemi (Lee, Chavez & Park, 2018).

### **Kemik Delme İşlemlerinde Isı Faktörü**

Kemik delme işlemlerinde mekanik ve termal tepkime parametreleri üzerine kemik yapısının, delme koşullarının, matkap ucu geometrisinin, talaş oluşumunun ve delme tekniklerinin önemli ölçüde etkileri vardır (Lee, Chavez & Park, 2018).

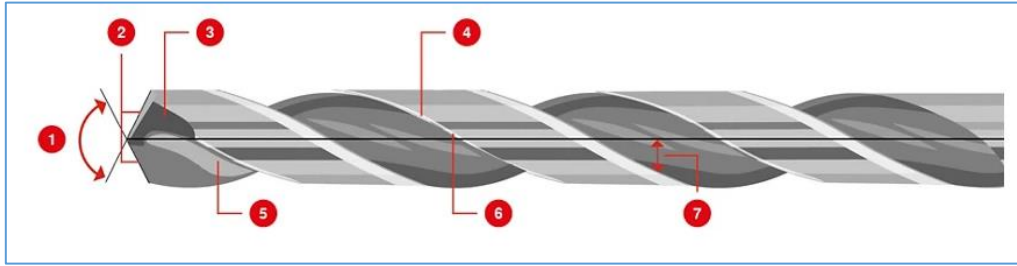


Şekil 3. Delme İşlemi Uygulanan Kemik (Lee, Chavez & Park, 2018).

### **Isı Üretimini Etkileyen Faktörler**

#### **Matkap Ucu Tasarımı;**

Bir matkap ucu 3 bölümden oluşmaktadır. Matkap ucu, gövde ve çeşitli arçalar. Teknik olarak "matkap ucu", matkabın, aralarında genellikle 118 derecelik açı olan iki kesme kenarının bulunduğu uç kısmını ("sivri" kısmını) ifade etmektedir aşağıda Şekil 4 de genel bir matkap ucu gösterilmektedir(URL 1).

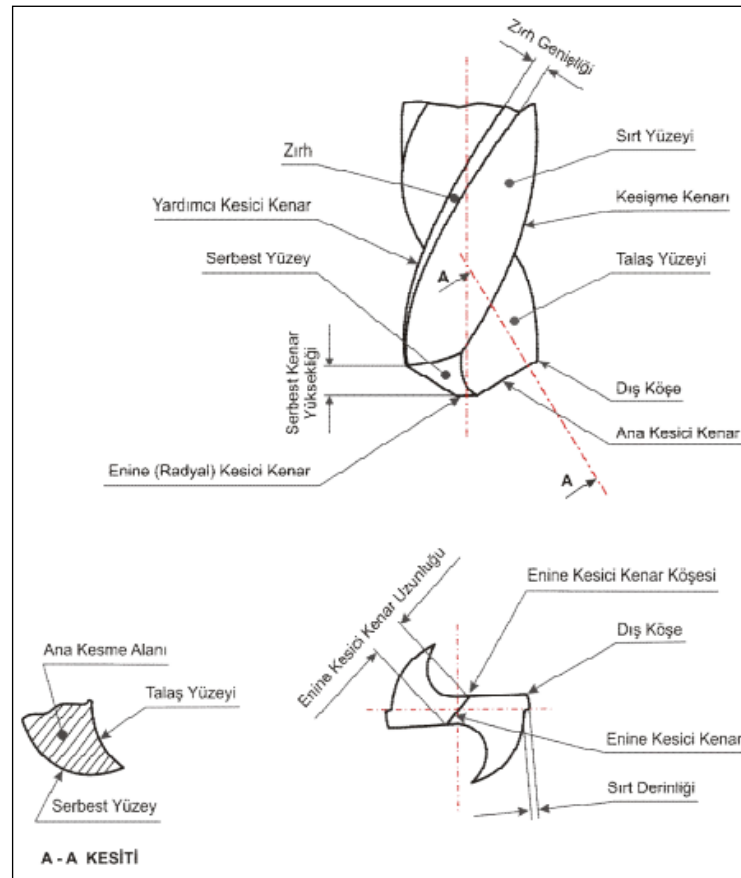


Şekil 4. Matkap ucu geometrisi ve tanımlamaları (URL 1).

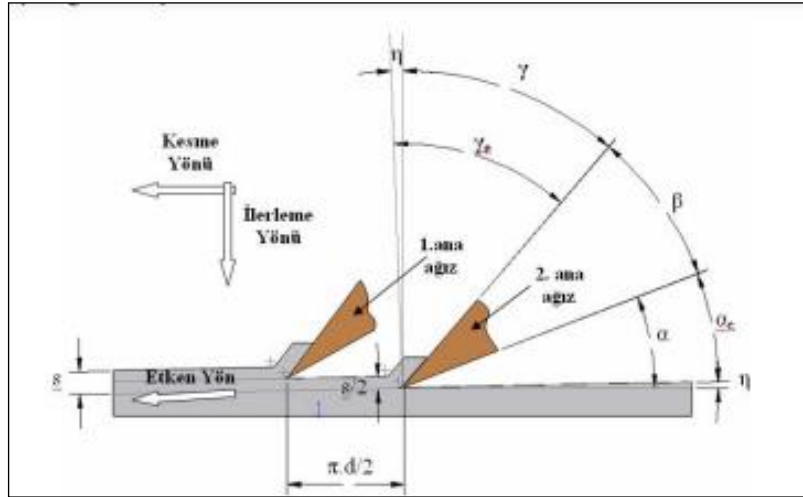
Bir matkap uç geometrisinde numaralandırılmış bölgeler takımın ayırt edici özelliklerini ifade etmektedir. Buna göre; 1-Nokta (Punta) açısı, 2-Ana kesme kenarları, 3-ana kanal, 4- İkincil kesme kenarı, 5- Talaş kanalı, 6- Kılavuz kenarı, 7-Yan talaş açısıdır.

### Matkap Ucu Geometrisi;

Matkap çekirdek etrafında helisel olarak sarılmış ikiden fazla kesici ağıza sahip delme ve deliğin genişletilmesi işlemlerinde kullanılan bir kesici takım türüdür. Kullanım alanları sanayiden, sağlık sektörüne, havacılık ve uzay endüstrisinden bir çok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde kesici kenarlarına farklı malzemelerden ve farklı şekillere sahip pek çok türü vardır. Tutturma için kullanılan sap kısmı konik veya silindirik şeklindedir. Sap ile kanal kısımları birbirlerine kaynaklanarak ya da tek parça olarak üretilmektedir (Çakır, A., Kavak, N., & Duran, A., 2014). Kesme matkap ucunda bulunan kesici kısımlar vasıtasıyla meydana gelir. Matkapta bulunan ağız sayılarına göre iki ya da üç ana kesici kenar, talaş yüzeyleri ve serbest yüzeyleri vardır.



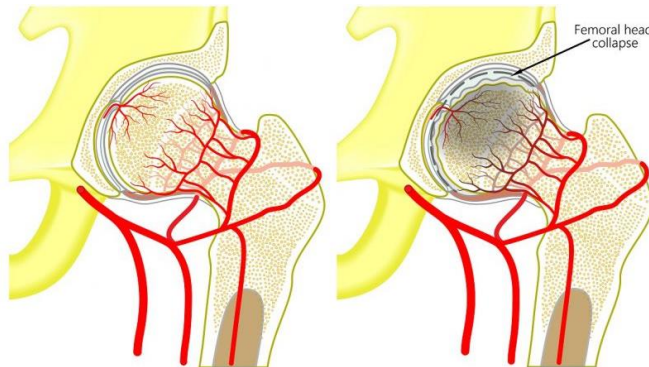
Şekil 5. Bir matkap ucundaki kesici kenar ve geometrileri (Çakır, A., Kavak, N., & Duran, A., 2014)



Şekil 6. Matkaptaki etken yön ve açıların kesitte görünüşü(Çakır, A., Kavak, N., & Duran, A., 2014).

### Kemik Nekrozu (Isıl Hasar)

Delme uygulaması gerçekleştirilirken meydana gelen sürtünmelerden dolayı matkap ucu ve kemik ara yüzü arasında ısınmalar meydana gelebilir. Bu ısınma kemikte belirli bir sıcaklığı geçtiği zaman kemik yapısında ve çevre dokularında hasarlara sebep olmaktadır (Gök, 2014). Meydana gelen bu hasar ile kemik kansız kalmaktadır ve böylece nekroz (kemik ölümü) gerçekleşmektedir. Bu sıcaklık değeri için farklı literatür taramalarına bakıldığında zaman zaman 47°-55° derecelerinin üzerine çıktığı zaman kemik dokularında kalıcı hasarlar meydana geldiği belirtilmektedir (Gök, 2014). Aşağıda şekil 7’de bir kalça femur kemiğinde meydana gelmiş nekroz hasarı görülmektedir.



Şekil 7. Matkaptaki etken yön ve açılarının kesitte görünüşü(URL 2).

### Takımlarda Kaplama Yöntemleri

#### Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD);

- Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi, vakum altında bulunan malzemelerin buharlaştırılarak veya saçtırılarak atomların yüzeyden kopartılması ve kaplanacak olan taban malzemesi yüzeyine atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanır.

- PVD yöntemi ile iletken, yarıiletken ve yalıtkan malzemeler, vakum altında kararlı olan her tür altlık malzeme üzerine kaplama yapılabilir.

- Fiziksel buhar biriktirme yöntemi kaplama sürecinde, aşağıdaki adımları izleyerek kaplama işlemi gerçekleştirilir,

- Buhar fazı, hedef malzemeden altlığa indirgenmiş basınç bölgesince taşınır.
- Kaplanacak malzeme fiziksel olarak buhar fazına dönüştürülür.
- Buhar fazı altlık üzerinde ince film formunda birikir.

#### Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)

• Kapalı bir kap içinde ısıtılmış malzeme yüzeyinin buhar halindeki bir taşıyıcı gazın kimyasal reaksiyonu

sonucu oluşan katı bir malzeme ile kaplanması kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi olarak tanımlanır.

#### **DLC (Elmas Benzeri Karbon) Kaplama;**

DLC, benzersiz özellikler sağlayan bir kaplama olan “Elmas Benzeri Karbon” anlamına gelir: düşük sürtünme, yüksek sertlik ve yüksek korozyon direnci. Aşınmaya karşı koruma ve iyi kayma özelliklerinin gerekli olduğu durumlarda, en iyi çözüm yolu DLC ve diğer karbon bazlı kaplamalardır (URL 3).



*Şekil 8. DLC kaplanmış matkap ucu (URL 3).*

#### **Zr Kaplama;**

Bir kaplama türü olan zirkonyum; element yapısı olarak metal özellikleri taşımasına rağmen beyaz renktedir, özel fırınlarda işlenir; estetik bölgelerde ve implant üstü kaplama olarak en sık tercih edilen diş kaplama maddelerindedir. Özellikle metal desteksiz zirkonyum porselen kaplamalar, doğal diş beyazlığına en yakın uygulama olmasıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Işığı geçirgen yapısı bu doğal görünümün oluşmasına imkan tanıyan faktördür. Metalin negatif özelliklerinden sıyrılmıştır ve metale yakın dayanıklıdır.

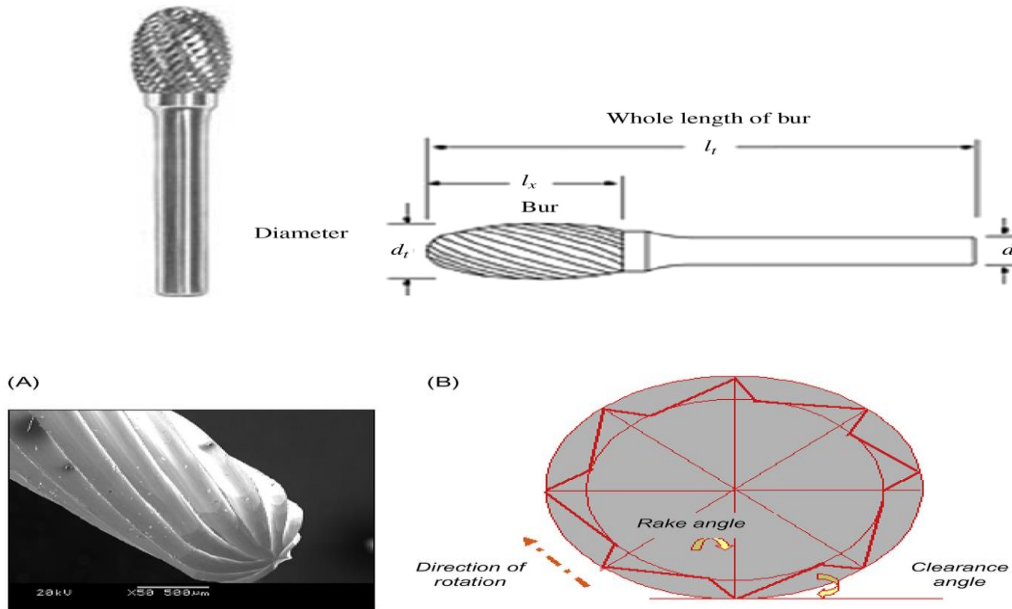
#### **TiN Kaplama;**

Titanyum nitrid (TiN) kaplamalar, yüksek sertlikleri, düşük aşınma oranları ve görünüşlerinden dolayı yıllardır, aşınma önleme ve dekoratif amaç ile yaygın olarak kullanılmaktadır. TiN kaplamanın, aşınmaya çok dayanıklı oldukları tespit edilmiştir. TiN kaplamalar genellikle korozyona karşı direnç ve keskin kenarların yapısının bozulmasını engelleyerek, kesici ve delici takımların ömrünü 3 katına kadar çıkarabilmektedir. TiN kaplamaların görüntüsü ve rengi altına benzer olduğu için dekoratif amaçlı olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kuyumculuk sektöründe, otomotiv sektöründe ve inşaat sektöründe uygulamaları bulunmaktadır. (URL 4).

## Takımların Kaplanması ve Delme İşleminin Uygulanması

Diş frezeleri ortopedi, medikal ve diş hekimliği bölümlerinde yeni bir devir açmıştır ve böylece sert dokuların işlenebilirliği için çok büyük önem arz etmektedir (Ahmed & ark. 2018). Kesici takımların kesme işlemleri esnasında meydana gelen olumsuzluklar aşınma, korozyon, ısı, kırılma vb. durumlar ile karşılaşabiliriz.

Delme ve kesme işlemlerin kesici takım uçları mekanik işi ısıya dönüştürür (Akhbar, & Sulong, 2021). Kesici takımların kullanılabilirlik sürelerini uzatabilmesi ve takımın talep edilen kalitede imal edilerek israfların önüne geçilebilmesi için simülasyonlar oluşturulabilmektedir. Bu simülasyonlar ile imalatla ki iyileştirmeler maliyetlerin düşürülmesini ve ekonomiklik derecesini arttırarak ve aynı zamanda rekabet edilebilirliği arttırmaktadır (Korkmaz & ark. 2019). Frezelerin ömürlerine etki eden etkenlerden birisi de freze bıçaklarının eğim açılarıdır bu açı çok dik olursa aynı zamanda diş etlerine kemik yapısına da zarar verebilir. Diş etlerin de meydana gelen hasarlar ilerleyen süreçlerde enfeksiyon riskini arttırmaktadır. Bu açı azaltılırsa diş etlerinde meydana gelebilecek hasarların önüne geçilebilir fakat takım ömründe azalmalar meydana gelir (Ahmed & ark. 2018).



Şekil 9. (A) Tipik bir tungsten karbür frezin geometrisi. (B) Kesme yönüne göre eğim açısını gösteren şematik diyagram Ahmed & ark. 2018).

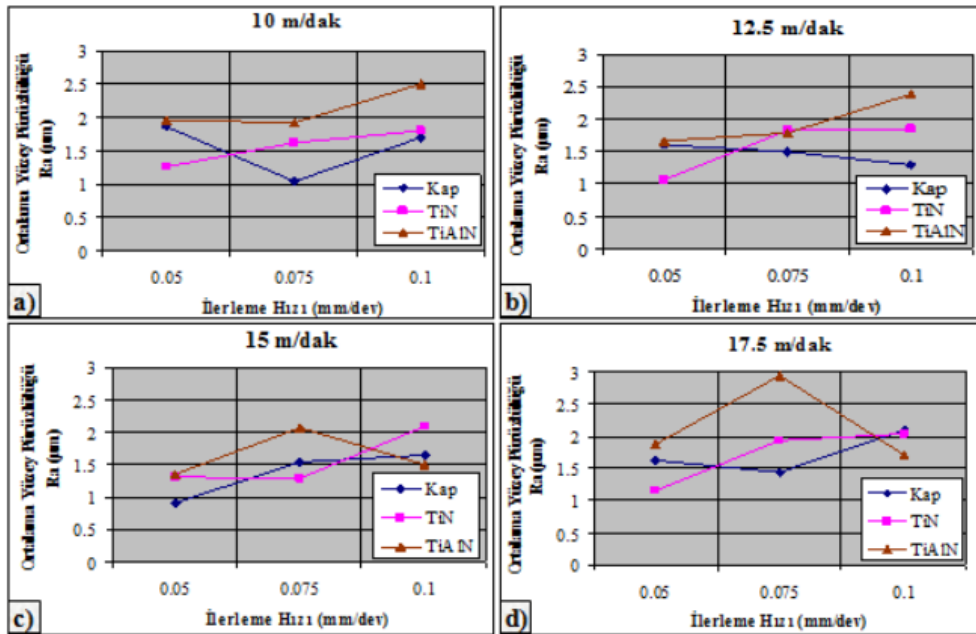
Takım ömrünü etkileyen bir diğer faktörlerden birisi de kesici takımlar üzerine yapılan kaplama türüdür. Kesici takımların daha uzun ömürlü olabilmesi için ve takımların istenilen özelliklerde ve kalitede tasarlanarak üretilmesi ile meydana gelebilecek gereksiz kayıpların önüne geçilebilmesi için kesici takımlar optimize edilmesi durumu meydana gelmiştir (Kurt & ark. 2009). Takımlar üzerinde meydana gelen sürtünme gibi parametreler sorun teşkil etmektedir. Bu aşınma sorunu takım masrafı, bakım-onarım masrafı, işçilik giderleri vb. giderleri de birbiri arkasına getirmektedir. Aşınmaya, ısıya, korozyona dayanıklı malzemelerin imal edilmesi, farklı uç geometrik tasarımları ile desteklenmesi yapılan çalışmaların en temel konu başlıkları arasındadır. Fakat bu temel konular kapsamında en belirgin olarak öne çıkan konu ise kaplamadır. Bu kaplamalar sonucunda takımlara ait olmayan özellikler, takımın tümüne kolay bir şekilde, daha az maliyet, işçilik, zaman gibi parametreler ile kazandırılmaktadır. Bu sayede takımlar istenilen özelliklere sahip takımlar olarak kullanıma girmiş olmaktadır Teber, M. (2015). Dünya üzerinde biyo-malzeme alanında implant harcamaları 2.3 milyar doların üzerindedir. Yılda yaklaşık olarak 450.000 kalça protezlerinin

kullanıldığı ve bir sonraki yıllarda yaklaşık olarak 90.000 adet arttığı belirtilmektedir. Bu sebeple bu biyo-malzemelerin talep edilen özelliklere hakim olması gerekmektedir. Ortopedik alanda da istenilen yüzey özelliklerine sahip olunması talep edilen en önemli konulardan birisidir ve her geçen gün önemi artmaktadır.

Bir örnekleme ile anlatacak olursak; DLC kaplama yapılmış bir diş telinin fizyolojik salya içinde bekletildikten sonra kaplamalıya göre Ni iyon yoğunluğunda önemli derecede azalmaların meydana geldiği gösterilmektedir (Işık, 2010).

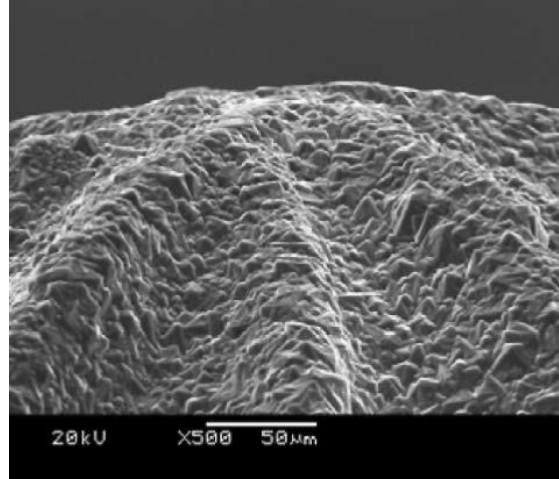
Kadavra kemikleri üzerinde yapılan çalışma 10 yıldan daha fazla deneyimli cerrahların kesici takımlar ile delme işlemleri esnasında düşük tepe kuvvetlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kesici takım 800 RPM'de çalıştırılmıştır. Bu işlem esnasında yapay kemiklerde ki aşınma insan kemiğinde ki aşınmaya göre daha düşük seviyede olduğu gözlemlenmektedir. Takım da aşınmalar, kesim yüzeyinde kopmalar, yan yüzeyde hasarlar ve öz bölgesin de ise düzleşme sorunlarının olduğu gözlemlenmiştir (Clement & ark. 2015), Klinik çalışmalarda sığır femoral kortikal kemiğine delme işlemi uygulanmıştır. Testler su vermeli ve su vermeden denerek yapılmıştır. Kaplamalı takım performansları ve dayanımları zirkonya, siyah elmadan yapılmış yüzeylere sahip takımlar ile denenmiştir. Bor nitür, titanyum bor nitür ve elmas benzeri karbon kaplamalı delme performansları ve dayanımlarını önemli ölçüde arttırmıştır. Özellikle belirtmek gerekirse bor nitür kaplı kaplamalar soğutma sıvısı uygulanmadığında bile 45 deneme için güvenli kemik sıcaklığı sınırlarına yakın derece performans göstermiştir. Isıya, aşınmaya, korozyona, kırılmaya, kopmaya vb. dayanımlı kaplamaların kullanılması yüzey değişiklikleri, cerrahi işlemler ve ameliyat sonrası iyileşme süresini iyileştirebilen, delme performansını ve dayanımını iyileştirmenin kolay ve oldukça etkili bir yoldur (Er & ark. 2018).

Kullanılan takımlarda işlem yapılan ortopedik, medikal, biyomedikal çalışmalarda kemik dokusuna etki eden ve dokulara hasar vermeden işlem yapılmasını ve yapılan işlem bölgesinin hızlı bir şekilde iyileşmesini sağlayacak olan diğer bir parametrelerden birisi de yüzey pürüzlülüğüdür.



Şekil 10. Kaplama malzemesi ve kesme hızına bağlı olarak ilerleme hızındaki artışla ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişimi (Er & ark. 2018).

Şekil 10' da görüldüğü üzere kesme hızının, ilerleme hızına bağlı olarak takımların yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kıyaslanması gösterilmektedir. Tabloda ki ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün artması beklenen bir durum olarak artış göstermektedir. Grafikte ki eğimler incelendiği zaman ilerleme hızlarının kırılmaları olduğu, kaplamasız takımın olduğu çizgi aşağıda yer alırken TiAlN kaplı takıma ait eğilim çizgisi en üstte bulunmaktadır. Buna bakarak takımların yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalama değerleri alındığı zaman, kaplamasız kesici takımlardan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri TiAlN kaplı takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerine doğru bir artış olduğu gözlemlenebilmektedir TiN kaplı takım ile TiAlN kaplı takıma istinaden düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmesinin sebebi TiN kaplamanın yüzey yağlama özelliğine ve düşük sürtünme katsayısına atfedilmiştir (Kıvak, Habalı, & Şeker 2010), PCD sinterlenmiş elmas frezeler aşınma işlemleri sırasında üzerinde ki elmas parçacıklarının bir çoğunu kaybetmişken CVD elmas kaplı takımlar ömrünün azalmasının söz konusu dahi olmadan ömürlerinin dayanımlarının uzaması dahi söz konusu olabilmektedir. Kesme yüzeylerinde daha kalın bir CVD elmas kaplamanın takım ömrünü uzatması, çok daha iyi delme kalitesi beklenmektedir. CVD kaplı dental takımların performansları ve ömürleri, sinterlenmiş freze takımları ve WC-Co freze takımlarından çok daha üstündür (Jackson & ark 2004).



Şekil 11. CVD Elmas Kaplı Diş Freze, (Jackson & ark 2004).

AISI T15 çeliği CVD TiCN+TiN ve PVD TiAlN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı karbür kesici takımlarla işlenmiş ve PVD TiAlN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlarla düşük ilerleme miktarı (0,1mm/dev) ve tüm kesme hızı kombinasyonların da CVD TiCN+TiN kaplamalı kesici takımlarla edinilen yüzey pürüzlülüğü yaklaşık %58 daha düşük veriler sonucuna ulaşmıştır. Düşük ilerleme miktarlarında PVD TiAlN+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplamalı kesici takımlar, yüksek ilerleme miktarlarında CVD TiCN+TiN kaplamalı kesici takımlar daha iyi performans sergilemişlerdir (Tekau, 2020). SEM fotoğraflarından gözlemlenen kesici takımlarda yaşanan aşınma, takımların iki grupta olumsuz olduğu sonucuna varılabilir (Ghani & ark 2016).

Bu makale çalışmamızda ortopedik, medikal ve biyomedikal alanlarda kullanılan kesici takımların üzerlerine yapılan kaplama türleri ile göstermiş oldukları: korozyon, aşınma, kırılma, ısı dayanımları gibi faktörlerin etkilerini inceleyerek günümüze kadar yapılan bir çok çalışmanın literatür çalışmasını da yaparak bu konuların günümüzde nerelerde kullanıldığı hangi amaçlar ile kullanımının geliştirilmesi konularında bilgi sahibi olduk fakat bu çalışmalar günümüzde ve gelecekte ilerlemesini devam ettirecek olup farklı konularda bilim insanları bu konu üzerinde kesici takımların ömür, dayanım ve ekonomiklikleri ilişkilerini arttırmak için çalışmalarına devam edeceklerdir. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda her ne kadar deneyler ve araştırmalar yapılsa da henüz gelişimini tamamlamamış bir araştırma konusu mevcut değildir. Bu çalışmamızda eksik ve



araştırılabilmesi olası olan bazı konulara değinecek olursak bunları şu şekilde sıralayabiliriz; sürtünmeyi ve aşınmayı minimize etmek için kesici takıma uygun alt tabaka materyali ve kaplama malzemesinin seçimi, biriktirme hızı ark akımı, sıcaklık değişimi, kullanılan maddeler, ve biriktirme yönteminin seçimi, sürtünme ve aşınmaları değerler bütünü olarak araştırarak bir sistemin belirlenmesi, uygun yük, kayma hızı, mesafe, zaman ve sıcaklık gibi deney ortamının bağıl nem ile kontrol edilmesi için sistemlerin geliştirilerek yeni bulgular ile birlikte kesici takımlarda kaplamalı ve kaplamasız parçaların dayanımlarını geliştirerek yeni bilgiler ile birlikte sanayi, endüstri, sağlık, uzay, ortopedi, medikal, biyomedikal, havacılık alanlarında katma değerli ve ekonomik takımların kazandırılarak uzun ömürlü parçaların elde edilmeleri çok önemlidir.

## KAYNAKÇA:

Eokul (2013). Destek ve Hareket Sistemleri, İnsan Fizyolojisi (10/12/2022 tarihinde <https://www.eokultv.com/destek-ve-hareket-sistemi-11-sinif-biyoloji/21793> adresinden ulaşılmıştır).

Akhbar, M. F. A., & Sulong, A. W. (2021). Surgical drill bit design and thermomechanical damage in bone drilling: A review. *Annals of biomedical engineering*, 49(1), 29-56.

Lee, J., Chavez, C. L., & Park, J. (2018). Parameters affecting mechanical and thermal responses in bone drilling: A review. *Journal of biomechanics*, 71, 4-21.

URL 1 (2020). Diameter of the twist drill. (10.11.2022 tarihinde <https://cuttingtools.cerazit.com/tr/en/machining-know-how/drilling/advisor/drill-geometry.html> adresinden ulaşılmıştır).

Çakır, A., Kavak, N., & Duran, A., (2014), Kesici Takım Geometrisinin Delik Delme Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2014), 23-25 Ekim 2014 Bursa.

Gök, K., (2014), Kemik Delme İşleminde Isıl Hasarın Önlenmesi İçin Matkap Tasarımı ve Prototip İmalatı, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 152 s.

URL 2 (2020) A Spike in Cases Of Avascular Necrosis Of Head Femur Among Youngsters (17.12.2022 tarihinde <https://www.wockhardthospitals.com/a-spike-in-cases-of-avascular-necrosis-of-head-femur-among-youngsters/> adresinden ulaşılmıştır).

URL 3 (2021) Oerlikon Balzers Coating (18.12.2022 tarihinde <https://www.oerlikon.com/balzers/tr/tr/portfoey/balzers-yuezey-coezuemleri/pvd-ve-pacvd-esasl%C4%B1-kaplamalar/balinit/karbon-bazl-balinit-kaplamalar/#:~:text=DLC%2C%20benzersiz%20%C3%B6zellikler%20sa%C4%9Flayan%20bir,ve%20di%C4%9Fer%20karbon%20bazl%C4%B1%20kaplamalard%C4%B1r> adresinden ulaşılmıştır).

URL 4 (2021) Titanyum Nitrür Kaplama (19.12.2022 tarihinde [https://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum\\_nitr%C3%BCr](https://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum_nitr%C3%BCr) adresinden ulaşılmıştır).

Ahmed, W., Sein, H., Jackson, M., Rego, C., Hassan, I. U., & Subramani, K. (2018). Surface engineering of dental tools with diamond for enhanced life and performance. In *Emerging Nanotechnologies in Dentistry* (pp. 251-288). William Andrew Publishing.

Akhbar, M. F. A., & Sulong, A. W. (2021). Surgical drill bit design and thermomechanical damage in bone drilling: A review. *Annals of biomedical engineering*, 49(1), 29-56.

Korkmaz, M E., Çakıroğlu, R., Yaşar, N., Özmen, R., & Günay, M. (2019). Al2014 alüminyum alaşımının delinmesinde itme kuvvetinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi. *El-cezeri*, 6(1), 193-199.

Kurt, M., Kaynak, Y., Bakır, B., Köklü, U., Atakök, G., & Kutlu, L. (2009). Al 2024-t4 alüminyumun elmas benzeri karbon (dlc) kaplanmış matkaplarla delinmesinde kesme parametrelerinin deneysel incelenmesi ve taguchi optimizasyonu. 5. Uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu (ıats'09), 13-15 mayıs 2009.

Teber, M. (2015). Yüzey kaplama ile Ti6Al4V alaşımının aşınma ve korozyon direncinin artırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Işık, G. (2010). *Biyomedikal uygulamalarda pvd kaplama tekniğiyle hazırlanan ince filmlerin temel karakteristiklerinin incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Clement, H., Zopf, C., Brandner, M., Tesch, N. P., Vallant, R., & Puchwein, P. (2015). Performance test of different 3.5 mm drill bits and consequences for orthopaedic surgery. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 135(12), 1675-1682.

Er, N., Alkan, A., Ilday, S., & Bengu, E. (2018). Improved dental implant drill durability and performance using heat and wear resistant protective coatings. *Journal of Oral Implantology*, 44(3), 168-175.

Kıvık, T., Habalı, K., & Şeker, U. (2010). Inconel 718'in delinmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerindeki etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*.

Jackson, M. J., Hyde, L. J., Ahmed, W., Sein, H., & Flaxman, R. P. (2004). Diamond-coated cutting tools for biomedical applications. *Journal of materials engineering and performance*, 13(4), 421-430.

Tekaüt, İ. (2020). AISI T15 Çeliğinin İşlenmesinde PVD TiAlN+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve CVD TiCN+ TiN Kaplama Performansının Araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 1084-1094.

Ghani, J. A., Haron, C. H. C., Kasim, M. S., Sulaiman, M. A., & Tomadi, S. H. (2016). Wear mechanism of coated and uncoated carbide cutting tool in machining process. *Journal of Materials Research*, 31(13), 1873-1879.

## Geosentetik Yapı Malzemeleri ve Özellikleri

Başak MESCİ OKTAY<sup>1</sup>

### Giriş

Geosentetik ürünler, çok sayıda inşaat mühendisliği yapılarında, geoteknik, ulaşım, çevre, kıyı, hidrolik mühendisliği vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Koerner, 2000). Takviyesiz yığma binalar, kırılğan ve çekmede zayıf olup, deprem ve kasırga nedeniyle yanıl kuvvetlere karşı büyük ölçekli hasar görmüştür. American Society for Testing and Materials (ASTM) tanımına göre geosentetik malzeme, proje, yapı veya sistem aşamasında inşaat mühendisliğinin ayrılmaz bir parçası olarak toprak, kaya, toprak veya diğer jeoteknik ilgili malzemelerle birlikte kullanılan polimerik bir malzemeden üretilen düzlemsel bir üründür.

Geosentetikler, inşaat mühendisliği uygulamalarında dünya çapında bulunabilen iyi bilinen bir geomalzeme sınıfıdır. Geosentetikler, günlük yaşamda yaygın olarak kullanılan polimerler (plastikler) içermektedir (Ingrassia vd., 2020). Polioleninler ve polyester en popüler olanlardır, ancak kauçuk, cam elyafı ve doğal malzemeler de kullanılmaktadır. Geosentetikler maliyeti, esnekliği, montajı ve özellikleri nedeniyle uygulama çeşitliliğine sahiptir. Geosentetikler, toprak oturmasını en aza indirirken, taşıma kapasitesini ve geçirgenliği artırmak açısından toprak stabilitesini güçlendirmek için kullanılan insan yapımı polimerlerdir. Geosentetik malzemeler düşey gerilmeleri azaltmanın yanı sıra taban tabakasındaki radyal gerilmeleri de arttırmalar (Sun vd., 2015). Geotekstil geliştirilmiş ve yol mühendisliğinde aynı anda kılcal su giderme ve toprak stabilizasyonu için kullanılmaktadır ve sıradan geosentetiklerden daha iyi bir performans göstermektedir (Zang vd., 2023). Günümüzde geosentetik malzemeler, dayanıklılıkları, yüksek sünek yapıları, korozyona uğramamaları ve düşük maliyetleri nedeniyle betonarme ve yığma yapılarda güçlendirme/güçlendirme veya güçlendirme malzemesi olarak araştırmacılar arasında birçok popülerlik kazanmıştır (Chidambaram, & Agarwal, 2015). Temel olarak geosentetik malzeme, zemini stabilize etmek ve çevre çalışmalarını korumak için bir takviye malzemesi olarak kullanılabilir. [20]. Geosentetik, alt zemin ile temel tabakası arasında veya temel tabakası içine yerleştirildiğinde üstyapıların taşıma kapasitesini artırır

Geosentetikler, çimento ve asfalt betonu dahil olmak üzere ek katmanları olmayan yol yapılarında veya sınırlanmamış katmanların taşıma kapasitesini etkileyen bir alt zemin katmanında kritik bir rol oynamaktadır. Trafik, deprem ve darbe yükleri ile dinamik yüklemeye karşı dayanıklı olması geosentetik kullanmanın geleneksel yöntemle göre avantajlarıdır. İncelenen çalışmalarda inşaat malzemesi olarak kullanılan geosentetik malzemelerin üst yapı ve alt yapı malzemesi olarak kullanıldığında yapının güçlendirilmesi ve mühendislik sorunlarına etkileri araştırılmıştır. Geosentetik malzemeler üzerine yapılan çalışmalar, kullanım alanları ve özellikleri incelenmiştir.

### Geosentetiklerin sınıflandırılması

Geosentetiklerin bazı ürünleri, alternatif ürün olarak hareket eden geotekstil, geomembran ve geogrid olup, uygulama çeşitliliği olan bağımsız inşaat yapı malzemesi olarak da işlev görmektedir. Özellikle zemin yüzeyinde kullanıldığında kompozit malzeme görevi görmektedir.

---

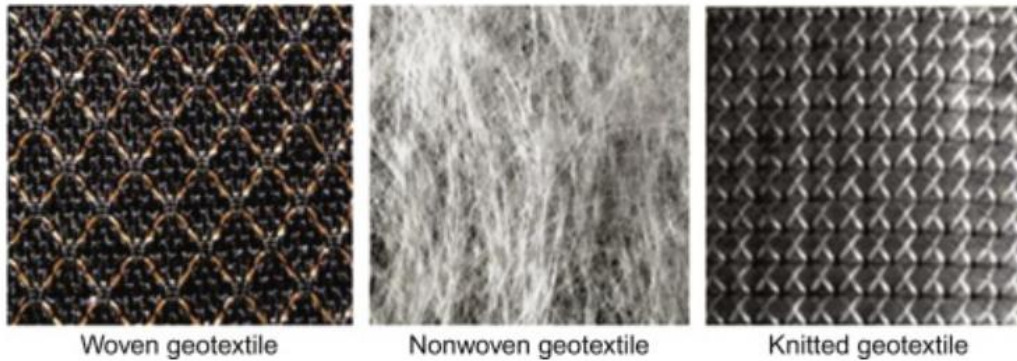
<sup>1</sup> Doç.Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,

Kireç taşı, granit, ve kuvars gibi kayalardan oluşan yol yapımında alt zemin malzemesi olarak topraklar kullanılmaktadır. Bu malzemelerin özelliklerin bazı uygun tekniklerle alt zemini iyileştirmek için modifiye edilmesi gerekmektedir. Bu durumda geosentetikler önemli bir rol oynamaktadır ve aynı zamanda kaplama için kullanıldığında ciddi sorunları çözmektedir (Kumar vd, 2022).

Bir geosentetik malzeme, jeotekstil, geogrid, geomembran veya geokompozit (örneğin, jeotekstil-geonetler, jeotekstil-geogridler, jeotekstil-geomembranlar, jeomembran-geonetler, jeotekstil-polimerik çekirdekler veya üç boyutlu polimerik hücre yapıları) olarak kategorize edilebilmektedir. Geotekstiller, polipropilen, polietilen veya polyester gibi tekstil malzemelerinden yapılan geçirgen sentetik malzemelerdir. Ayrıca, hazırlanışlarına bağlı olarak, Şekil 1'de gösterildiği gibi bir geotekstil dokunmuş, dokunmamış veya örülmüş olabilmektedir.

Geotekstiller, yol yapımında ve demiryolu işlerinde (ayırma, filtrasyon, drenaj ve toprak güçlendirme için) nehir kanallarında ve kıyı çalışmalarında erozyon kontrolü için; toprak barajda, istinat duvarlarının arkasında ve derin drenaj hendeklerinde drenaj için bir filtreleme ortamı olarak ve tarımda çamur kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır (Patel, 2019).

Geotekstiller, inşaat, çevre ve ziraat mühendisliğinde kullanılan geosentetik malzemelerin bir parçasını oluşturmaktadır. Geotekstil malzemelerinin ayırma, filtrasyon, drenaj ve güçlendirme olmak üzere dört ana fonksiyonel uygulaması vardır. Geotekstillerin son zamanlarda kullanımının artmasının sebep olarak birkaç örnek vermek gerekirse, delinme direnci, çekme mukavemeti, patlama direnci, sağlamlık ve sürtünme direnci, geçirgenlik gibi çeşitli özellikler sayılabilir. Geotekstillerin başarılı bir şekilde uygulanmasında, doğal elyaf esaslı geotekstillerin, sentetik geotekstillerle yeterince rekabet edebilmeleri için özelliklerinin iyileştirilmesine ihtiyaç vardır. (Kupolati, 2017)



Şekil 1. Geosentetik malzeme çeşitleri (Patel, 2019)

Şekil 1 geosentetik malzemelerin fiziksel biçimlerine göre genel bir sınıflandırmasını vermektedir. Belirtildiği gibi, bu malzemeler katı ve delikli plastik levhaları, plastik boruları, çeşitli tekstil yapılarını ve bunların kombinasyonlarını geokompozitler olarak adlandırılan bir alt kategori oluşturmak üzere içermektedir. Kesin olarak, geosentetik terimi, sentetik polimer bazlı malzemeleri ifade eder. Bununla birlikte, geotekstiller kategorisi göz önüne alındığında, doğal elyafların yanı sıra sentetik elyaflar da önemlidir ve bu nedenle "doğal geotekstil" alt kategorisi, genel sınıflandırmaya dahil edilmiştir.

Geogridler öncelikle takviye için kullanılmaktadır ve malzeme şeritlerinden (polyester, polietilen veya polipropilen gibi) ısıyla kaynaklanır veya daha sonra bir ızgara şeklinde gerilecek olan malzeme tabakalarında düzenli bir delik modelinin delinmesiyle üretilir. Dolgu geogridlerin üzerine yerleştirildikçe, ağ tasarımı kullanılan geogridin tipine bağlı olarak farklı seviyelerde stabilite sağlayarak toprağı yerinde kilitlemektedir. Farklı yönlerdeki çekme dayanımlarına bağlı olarak tek eksenli veya çift eksenli olabilir. Tek eksenli bir geogrid, bir yönde yüksek çekme dayanımına

sahiptir ve istinat duvarlarının, dik şevlerin ve yol setlerinin güçlendirilmesi ve heyelanların onarımı için kullanışlıdır. Öte yandan, çift eksenli bir geogridin her iki yönde de eşit çekme dayanımı vardır ve yolların stabilize edilmesi için kullanışlıdır. Alt zeminlerin yük taşıma kapasitesini maksimize ederken yükleri daha geniş bir alana dağıtarak pompalama ve kesme arızalarını azaltır. Geogrid takviyeli yapılar, yüksek çekme kapasiteleri nedeniyle, beton yapılar ile geleneksel çözümlere kıyasla giderek daha ekonomik, ekolojik ve güvenli çözümler olarak kullanılmaktadır (Kalali, 2012).

Geomembranlar, nispeten ince sürekli polimerik levhalardan (klorosülfonatlanmış polietilen (CSPE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), çok düşük yoğunluklu polietilen (VLDPE), polivinil klorür (PVC), vb.) ve geotekstillere asfalt, elastomer veya polimer ile empenye edilmesinden de yapılabilirler. Geomembranlar, kirleticileri ve diğer tehlikeli kimyasalların çevredeki ortama zarar vermelerini engelleyen geçirimsiz bir bariyer oluşturur. Geomembranlar genellikle arıtma çamuru astarı olarak, nükleer tesislerin güvenli bir şekilde kapatılması için, su ve çeşitli atık taşıma kanallarında, yeraltı depolama tanklarının ikincil muhafazası olarak, katı atık depolama alanlarında kapak olarak, çeşitli yapılarda su geçirmez kaplama olarak, su ve kirleticilerin hassas alanlara sızması vb. önlemek için kullanılmaktadır.

Geokompozitler, sahadaki belirli uygulamaları minimum maliyetle optimum şekilde ele almak için farklı geosentetik malzemelerin birleştirilmesiyle veya geosentetik malzemelerin bentonit kili gibi sentetik olmayan malzemelerle birleştirilmesiyle üretilmektedir. Geokompozit malzemeler arasında geotekstil-geonetler, geotekstil-geogridler, geotekstil-geomembranlar, geomembran-geonetler, geosentetik kil astar (GCL), geotekstil-polimerik çekirdekler veya üç boyutlu polimerik hücre yapıları bulunur. (Patel, 2019).

### **Geosentetik Malzemeler İle İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Moffat ve arkadaşları geotekstillere, üzerine yaptıkları testlerde, güçsüz beton betona göre (% 500 oranında) enerji emiliminde önemli bir artış olduğunu göstermesine rağmen, bu durumun sahada gerçek kurulumda kritik olacağını tespit etmişlerdir (Moffat & ark., 2017).

Contretas ve arkadaşları geosentetik malzemelerde kullanılan polimer lifleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, nano-mekanik testlerin, asfalt kaplamaların yapısal tasarımında takviye olarak geosentetikte fiberlerin mekanik özellikleri üzerine bir değerlendirme aracı olarak kullanılmasını desteklemektedirler (Norambuena-Contrerasa & ark., 2016).

Oyegbile ve arkadaşları kıyı şeridinin korunmasına vurgu yaparak, toprak stabilizasyonu ve kıyı alanlarının korunmasında geosentetiklerin uygulamalarını ve gelişmelerini gözden geçirmiştir. Geosentetiklerin toprak stabilizasyonu ve kıyı savunma yapılarında kullanımında mevcut ve muhtemel gelecekteki zorlukların yanı sıra ilgili ampirik araştırma verileri sunmuşlardır. Geosentetiklerin özelliklerindeki değişkenlik, çeşitli saha uygulamaları için standartların uyumlaştırılmasını gerektirmektedir. Geosentetiklerin üretimi ve uygulanması için bir kılavuz görevi görmesi gereken iyi yapılandırılmış teknik tasarım verilerinin geliştirilmesi ayrıca, kıyı savunma yapılarının inşası için geleneksel malzemelere göre geosentetiklerin çevresel faydalarının uygun şekilde araştırılması ve iyi belgelenmesi, çeşitli saha uygulamaları için ekolojik ayak izlerinin net bir şekilde araştırılması gerekir. Geosentetik kıyı yapılarının stabilitesi için ana parametreler olarak çekme dayanımı (kN/m) ve gerininim (%) kullanılması, gerçekçi bir kısa vadeli yapısal performansı en iyi şekilde verebileceğinden, fazla idealist görünmektedir. Özellikle uzun vadeli dayanıklılık performansı için, geosentetiklerin jeokimyasal özelliklerinin uygun şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç vardır ve bu, mevcut stabilite analiz yöntemlerine dahil edilmelidir. Gelecekteki araştırmalar aynı zamanda belirlenen gerçekleri ve rakamları kodlamayı düşünmeli ve kıyı korumadaki çeşitli geosentetik yapıların uygulanması için standart tasarım kılavuzları geliştirmelidir (Oyegbile & Oyegbile A., 2017).

Shi-JinFeng ve arkadaşları geosentetik takviyeli yapılarda kemer etkisini tahmin etmek için bir analitik yöntem önerilmiştir. Metot, toprak ve geosentetiklerin gerilmelerini ve deformasyonlarını ve üstte yer alan toprakta derinlik ile yerleşme çeşitliliğini bütüncül bir şekilde ele alır. Toprak ve geosentetiklerin gerilmeleri ve deformasyonları, üstteki toprağın denge ve çökme modelleri, geosentetiklerin membran etkisi ve altta yatan toprağın tek boyutlu sıkıştırma modeli dikkate alınarak elde edilebilir. Yöntem bir alan testi kullanılarak doğrulanmakta ve stres azaltma oranı (SRR) kesin olarak tahmin edilmektedir. Parametrik çalışmanın sonuçları, yöntemin kapsamlı uygulanabilirliğe sahip olduğunu ve geosentetik takviyeli yapıların rasyonel tasarımı için yararlı olduğunu göstermektedir (Shi-JinFeng & ark., 2017).

Punetha ve arkadaşları çalışmalarında, modifiye edilmiş büyük doğrudan kesme kutusu kullanılarak kum-geosentetik arayüz üzerinde yapılan kapsamlı bir deneysel araştırmanın sonuçlarını sunmaktadır. Burada deforme edilmiş geosentetik malzemelerin yüzeyleri incelenmiştir. Deforme olmuş jeotekstil numuneleri üzerine mikroyapısal çalışma, jeotekstil ara yüz için kesme mekanizmasının, jeotekstil elyaflarla kum parçacıklarının birbirine kenetlenmesi, jeotekstil liflerin gerilmesi ve yırtılması olduğunu ortaya koymaktadır. Deforme edilmiş jeotekstil numuneler, farklı ortalama parçacık büyüklüğüne (0,21 mm ile 0,44 mm arasında değişen) sahip kumlar içeren testler için benzer özellikler gösterir (gerdirme, liflerin yırtılması ve kum tanelerinin birbirine kenetlenmesi). Bu nedenle, 0.21 mm ile 0.44 mm arasında değişen ortalama parçacık büyüklüğüne sahip kumları içeren testler için benzer sonuçlar elde edilmiştir (Punetha, .Mohanty & Samanta, 2017).

Correia ve Zornberg yaptıkları çalışmalarında Hem geotekstil hem de geogrid içeren dokusuz jeotekstiller ve kompozitler incelenmiştir. Çekme özelliklerinde geosentetik değişikliklerin değerlendirilmesi, empenye edilmiş geosentetiklerin gerilme mukavemetini ve sertliğini arttırmak için optimum bir bitüm dozajının tanımlanması hakkında bilgi sağlamaktadır. Asfalt tutma kapasitesine eşit olan bir tack kaplama hızı, başlangıçtaki dozaj olarak özel olarak değerlendirilmiştir; bu, sonuç olarak, geosentetiklerin çekme davranışı üzerindeki tack kaplama oranının etkisi için mekanik özellikleri geliştirmek için optimum bir dozaj olduğu bulunmuştur (Correia & Zornberg, 2014).

Chantachot ve arkadaşları geosentetik takviyeli asfalt kaplamaların davranışlarını incelemek için bir dizi asfalt kaplama yapısının fiziksel modelleri yapılmıştır. Yeni kaldırım ve tamir edilen kaldırımın modellenmesi için iki tip kaldırım hazırlanmıştır (yani üstyapı kaplamaları). Kaldırım yüzeyi yerleşimi azaltılmış ve maksimum kesme gerilmesi takviye etkileri ile daha az lokalize edilmiştir; (ii) kullanılan asfalt çimentosunun iyileştirilmesi ile asfaltın bozulma kalıcı deformasyonu azalmıştır; ve (iii) asfalt kaplamanın altına monte edilmesi gerektiğinde jeo-kompozit uygunken, geogridin asfalt içine yerleştirilmesi tercih edilir, böylece açıklığı birbirine kenetlenerek kapatırlar (Chantachot & ark., 2016).

Han ve arkadaşları dokuma olmayan geotekstil ile güçlendirilmiş katı kil tuğla duvar panellerinin düzlem içi kuvveti sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Paneller bir tarafta farklı geometrik desenlerle güçlendirilmiştir. paralel, çapraz ve çapraz. Bu paneller çapraz sıkıştırmaya tabi tutuldu. Çalışmada, geosentetik kuvvetlendirmenin, çapraz taşıma durumunda daha iyi bir performansla, yük taşıma kapasitesi, kesme dayanımı, düzlem içi mukavemet ve sertliği artırdığı gözlenmiştir. Deney sonuçları da güçlendirilmemiş panel ile karşılaştırıldığında daha az kırılan davranışı göstermiştir (Han, Nanada & Das, 2017).

Mousavi yaptığı çalışmada toprak-geosentetik ara yüzeyin kesme dayanımı laboratuvar testleri ile sunulması amaçlanmıştır. Bir toprak-geosentetik ara yüzeyin kayma mukavemeti, potansiyel kayma yüzeyinin bir geosentetik boyunca ilerlediği durumlarda, eğim stabilitesinin birincil parametresi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, palm biyodizel kontaminasyonu , temel topraklarının geoteknik özelliklerini etkileyebildiğini bulmuştur.Sonuçlara göre güçlendirilmiş kumların jeosentetik C ile kesme dayanımının, test edilmemiş test numunesi ile karşılaştırıldığında yaklaşık

1,3 kat arttığı bulunmuştur. Göze çarpan bir keşif, jeosentetik C'ye sahip takviye edilmiş kumun, özellikle kum kumu üzerindeki sığ temelleri olmak üzere yamaçları korumak için toprak örneğinin kayma mukavemetini arttırabilmesidir (Mousavi, 2017).

Yarivand ve arkadaşları çalışmalarında, deneysel testler ve sonlu eleman analizleri kullanılarak yangının geosentetik takviyeli toprak köprü dayanaklarının performansına etkisi araştırılmıştır. Deneysel programlar, fiziksel bir model üzerinde gerçekleştirilen yüksek sıcaklıklarda ve yangın dayanımı testlerinde bir dizi gerilme mukavemeti testinden oluşmaktadır. Sonuçlar, yangından etkilenen dolgudaki derinliğin yaklaşık 50 cm olduğunu göstermektedir. 60 dakika altındaki sürelerde yangının etkisi dikkate değer olmadığını gözlemlemişlerdir (Yarivand & ark., 2017).

Schnaid ve arkadaşları çalışmalarında geosentetik ile kaplanmış kum kolonlarında(GEC) sıkıştırma dolgularına bitişik yapılara etki eden yatay toprak basınçlarının büyüklüğünü azaltmak için sütunların kullanımı incelemişlerdir. Sonuçlara göre toplanan veri tabanı, GEC'in, zorunlu olmayan zeminlerde öngörülen değerlerle kıyaslandığında, köprü sınırı temel kazıkları üzerindeki yatay toprak basıncını % 50'ye kadar azaltabildiğini ve çalışmanın kabul edilebilir davranış sınırlarına uyduğunu gösterecek şekilde yorumlanmıştır (Schnaid & ark., 2017).

Petriaev ve arkadaşları demiryolu altyapısında geogrid balast ve subgrade takviye uygulamaları üzerine çalışmışlardır. Balast tabakası üzerindeki geosentetik takviye etkisinin belirlenmesi için çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, ağır tonajlı trenlerin geçişleri esnasında balast ve yeraltı topraklarında meydana gelen dikey gerilmeler deneysel olarak incelenmiş ve bu inceleme Oktyabrskaya demiryolu üzerinde iki bölümde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada 25m. uzunluğundaki R65 tip ray, ahşap travers 1840 adet/km, çalışılan bölümde 1520 mm lik travers kullanılmıştır. Şeıl4. de görüldüğü gibi 40 cm. lik kırılmış balast ve ince kum taneli 1.9 m. dolguya sahiptir çalışılan yol. Gerilim ölçümleri basınç sensörleri kullanılarak ölçülmüştür. Test sonuçlarında görülmüştür ki alt yapıyı stabilize etmek için düşük maliyetli bir çözüm olarak geosentetik malzemeler kullanılarak alt yapı üstündeki taşıma kapasitesi arttırılmaktadır. Bu da yolun bakım maliyetlerini düşürebilecek etkili bir yapı malzemesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır (Petriaev & ark., 2017).

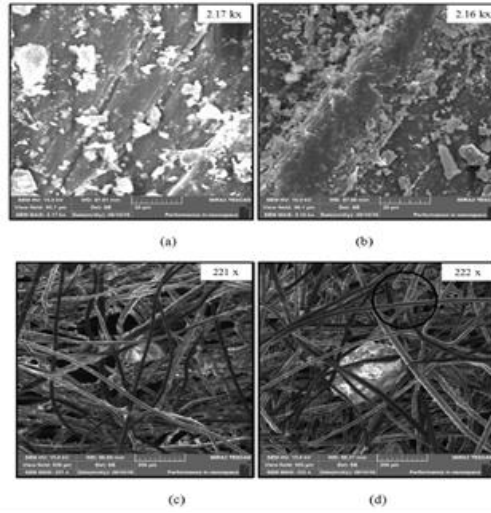
Aschauer ve Aklık geosentetikler ve toprak zeminler arasındaki ara yüzey kayma dayanımının belirlenmesi amacıyla yaptıkları laboratuvar çalışmasında 50x50 cm. kesme kutusu içerisinde kayma dayanımının değişik gerilme seviyelerinde incelemişlerdir. Geokompozit ve geomembranın ara yüzey sürtünme açısı büyük bir kayma kutusunda belirlemişlerdir. Çıkan sonuçlarda sürtünme açısı zirvede yaklaşık 19 derece, kalıntı durumda yaklaşık 17,4 derece olduğu ve yaklaşık 6 kPa lık küçük bir birleşme elde dılmıştır. Geogrid/kum ara yüzey kayma dayanımının kumun kayma dayanımından daha küçük olduğu ve bu önemli faktörün geogrid boşluklar arasına girerek kilitleme özelliği sağladığını belirtmektedirler (Aschauer & Aklık, 2008)

Moffat ve arkadaşları kaya tünelleri içerisinde kullanılan püskürtme betonlar ve püskürtme betonlar içerisine eklenen takviye malzemeleri üzerine çalışmışlardır. ASTM C 1550 ye göre yük deformasyon eğrileri oluşturmak için deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Takviyesiz ve geosentetik takviyeli olmak üzere püskürtme betonu numunesi hazırlanarak toplamda 35 adet test yapılmıştır. Elde edilen testlerde uygulanan yük deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Geosentetik takviyeli betonların takviyesiz betonlara kıyasla yüksek dayanım kuvvetlerine çıkabildiğini ortaya koymuşlardır (Moffat & ark., 2017).

Punetha ve arkadaşları, toprak-geosentetik ara yüzeylerin mekanik davranışlarını mikroyapısal olarak incelemişlerdir. Çalışma, kum-geosentetik ara yüzdeki kesme mekanizmasına ve farklı parametrelerin kesme mekanizması üzerindeki etkisine odaklanmaktadır. Bu çalışmada pürüzsüz HDPE geomembran, dokumasız iğneli geotekstil ve farklı ortalama partikül büyüklüğüne sahip iki tip kum kullanılmıştır. Çalışmada Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) ile deforme olmuş numunenin mikroyapısal incelemesi, kum-geomembran ara yüzü için sürgü, girinti



ve sürtünme sırasında kum-geotekstiller için kenetlenmeyi ve lif gerdirmeyi içeren kesme mekanizmasını ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda, kum-geomembran ara yüzünün kesme mekanizması, normal strese ve kumun doyma derecesine bağlı olduğu ve kum-geomembran arabirimi için kayan ve sürtünme mekanizmasını sınırlayan kritik normal stres kuru ve ıslak kum için farklılık gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Geomembran yüzeyinin sürtünme miktarı, kumun ortalama parçacık boyutunda artışla azalmıştır. FESEM görüntüleri, kum parçacıklarının ıslak kumları içeren testler için geotekstil liflere yapıştığını ortaya çıkarmıştır (Şekil 1). Mevcut mikro yapısal çalışma, kum-geosentetik ara yüzdeki makaslama mekanizmasının büyük ölçüde anlaşılmasına yardımcı olduğu ortaya koyulmuştur (Punetha & ark., 2017).



Şekil 2. FESEM görüntüleri (Punetha & ark., 2017)

## Sonuçlar

İncelenen çalışmalarda görülmüştür ki, demiryollarında alt yapıyı stabilize etmek için düşük maliyetli bir çözüm olarak geosentetik malzemeler kullanılarak alt yapı üstündeki taşıma kapasitesi arttırılmaktadır. Bu da yolun bakım maliyetlerini düşürebilecek etkili bir yapı malzemesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. İnşaat mühendisliğinde kullanılan şev donatısız durumda stabil durmadığı fakat donatılı durumda güvenlik donatı konfigürasyonuna bağlı olarak önemli bir artış gösterdiği görülmüştür. Geosentetik malzemeler toprak zeminler arasındaki ara yüzey kayma dayanımını arttırıcı olarak da kullanılan ucuz ve dayanıklı bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Püskürtme betonlar içerisinde takviye elemanı olarak yine geosentetik malzemelerin yüksek mukavemet sağladığı ve yüksek mukavemet ihtiyacı duyulan mühendislik tasarımlarında yüksek avantajlar sunduğu yapılan testler ile ispatlanmıştır. Ayrıca asitli maden atıklarının geomembran kaplamalı ve geomembran kaplamasız tabakalar üzerinde deneysel ve analitik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışmalar sonucunda atıkların, kimyasalların GCL geçirimsizliğini arttırdığını, bununla birlikte geomembran kaplamalı GCL'lerin geçirimsizliğini korudukları laboratuvar çalışmaları ile ortaya koymuşlardır. Kum-geosentetik ara yüzdeki makaslama mekanizmasının büyük ölçüde anlaşılmasına yardımcı olduğu ortaya koyulmuştur.

Sonuç olarak geosentetik malzemeler inşaat mühendisliği ve yapı malzemeleri alanında hem mukavemet arttırıcı özelliği hem de malzeme içerisinde takviye elemanı olarak kullanımı ile inşaat malzemelerine üstün özellikler katmaktadır. Ucuz maliyetleri ve üstün özellikleri sayesinde inşaat yapı malzemeleri içerisinde sıklıkla tercih edilebilen bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Akık, P. & Aschauer, F. (2008) Laboratory Tests On Interface Shear Strength Between Geosynthetics And Soil, *Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı*, İstanbul, 61-71.
- Chantachot, T., Kongkitkul, W., Youwai, S. & Jongpradist, P. (2016) Behaviours of geosynthetic-reinforced asphalt pavements investigated by laboratory physical model tests on a pavement structure. *Transportation Geotechnics*, 8, 103-118.
- Chidambaram, R.S. & Agarwal, P. (2015) Flexural and shear behavior of geo-grid confined RC beams with steel fiber reinforced concrete. *Const Build Mater*, 78, 271-280.
- Correia, N.S. & Zornberg, J.G. (2014) Influence of tack coat rate on the properties of paving geosynthetics. *Transportation Geotechnics*, 1, 45-54.
- Han, H.A., Nanda, R.P. & Das, D. (2017) In-plane strength of masonry panel strengthened with geosynthetic. *Construction and Building Materials*, 156, 351-361.
- Ingrassia, L.P. Virgili, A., Canestrari, F. (2010) Effect of geocomposite reinforcement on the performance of thin asphalt pavements: accelerated pavement testing and laboratory analysis. *Case Stud. Constr. Mater.*, 12, e00342.
- Kalali, A., Kabir, M.Z. (2012) Experimental response of double-wythe masonry panels strengthened with glass fibre reinforced polymers subjected to diagonal compression tests. *Eng. Struct.*, 39, 24-37.
- Koerner, R.M. (2000) Emerging and future developments of selected geosynthetic applications. *J. Geotech. Geoenviron.*, 126, 4, 293-306.
- Kumar, V.R., Vinoth, S., Yuvaraj, S., Nishaanth, K., Naveen, D. & Haribalan, S. (2022) A review on effects on CBR value by using geosynthetics. *MaterialsToday: Proceedings*, 68, 6, 2479-2483.
- Mousavi, S.E.(2017) Shear strength behavior in the interface of contaminated soil with bio-diesel oil and geosynthetics, *Transportation Geotechnics*, 10, 62-72.
- Moffat, R., Jadue, C., Beltran, F. & Herrera, R. (2017) Experimental evaluation of geosynthetics as reinforcement for shotcrete. *Geotextiles and Geomembranes*, 45, 161-168.
- Norambuena-Contrerasa, J., Gonzalez-Torrea, I. Vivanco, J.F. & Gacitúa, W. (2016) Nanomechanical properties of polymeric fibres used in geosynthetics. *Polymer Testing*, 54, 67-77.
- Oyegbile, B.O. & Oyegbile, B.A. (2017). Applications of geosynthetic membranes in soil stabilization and coastal defence structures. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6, 636-662.
- Palmeira, E.M. Tatsuoka, F. & Bathurst, R.J. (2008) Advances in geosynthetics materials and applications for soil reinforcement and environmental protection works. *Electron J Geotech Eng*, 13, 1-38.
- Patel, A. (2019) Soil reinforcement. *Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, 61-76 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817048-9.00007-X>.
- Petriaev, A., Konon, A. & Solovyov, V. (2017) Performance of ballast layer reinforced with geosynthetics in terms of heavy axle load operation. *Procedia Engineering*, 189, 654 – 659.

- Punethaa, P. Mohanty, P. & Samanta, M. (2017) Microstructural investigation on mechanical behavior of soil-geosynthetic interface in direct shear test. *Geotextiles and Geomembranes*, 45, 197-210.
- Schnaid, F., Winter, D., Silva, A.E.F, Alexiew, D. & Küster, V. (2017) Geotextile encased columns (GEC) used as pressure-relief system. Instrumented bridge abutment case study on soft soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 45, 227-236.
- Shi-JinFeng, Shu-GangAi & Chen, H.X. (2017). Estimation of arching effect in geosynthetic-reinforced structures, *Computers and Geotechnics*, 87,188-197.
- Sun, X., Han, J., Kwon, J. et al. (2015) Radial stresses and resilient deformations of geogrid-stabilized unpaved roads under cyclic plate loading tests. *Geotext. Geomembranes*, 43, 5, 440-449.
- Yarivand, A., Behnia, C., Bakhtiyari, & A. Ghalandarzadeh, A. (2017) Performance of geosynthetic reinforced soil bridge abutments with modular block facing under fire scenarios. *Computers and Geotechnics*, 85, 28-40.
- Zhang, W., Tanga, X., Sun, X., Yang, R., Tong, G., Guo, J. (2023) Analytical method for quantifying performance of wicking geosynthetic stabilized roadway. *Geotextiles and Geomembranes*, 51, 1, 259-274.

## Kahramanmaraş Koşullarında Yetiştirilen Bertiz Kabarcık Üzümünün Tane Kabuk Rengi, Organik Asit, Şeker ve Toplam Antosiyanin Kapsamının Belirlenmesi

Nazan BALBABA<sup>1</sup>

### Giriş

Üzüm, tüm Dünya ülkelerinde yaygın olarak yetiştirilen ve çok sevilerek tüketilen bir meyve olarak bilinmektedir.

Dünya üzüm üretim alanı son verilere göre; 6.950.930 ha alanda 78.034.332 ton olarak kaydedilmiştir (Fao, 2022).

Türkiye üzüm üretim alanı ve üretim miktarı ise; 400.998 hektar alanda 4.208.908 ton olarak bildirilmiştir (Fao, 2022). Ülkelere ait veriler incelendiğinde; Türkiye, üzüm üretim alanı ve üretim miktarı bakımından ülkeler arasında 5. sırada yer almaktadır. Buna göre, Türkiye'nin Dünya üzüm üretimindeki payı, yaklaşık % 5.40 olarak kaydedilmiştir.

Üzümün bileşiminde bulunan organik asitler, şekerlerle birlikte ürüne özgü karakteristik tat ve kokunun oluşumuna katkıda bulunurlar (Fuleki ve ark., 1993; Doty, 1976).

Meyve etinde bulunan organik asit içeriği, çevresel faktörlerden ve yetiştirme uygulamalarından (sıcaklık, ışık yoğunluğu, çeşit, anaç, beslenme, su varlığı, meyve yükü/budama) etkilenir (Etienne ve ark., 2013).

Tartarik ve malik asit; üzümdeki temel organik asitlerdir. Toplam asitliğin % 90'ını oluşturan tartarik ve malik asidin miktarı, üzüm çeşidi veya diğer faktörlere göre değişiklik gösterir (Esteban ve ark., 1999; Christensen, 2000; Liu ve ark., 2019).

Sofralık üzümde organik asit, üzüm tadını etkiler. Tartarik asit malik asitten daha kuvvetlidir. Malik asit pürüzsüz bir his verir ve daha kalıcı bir ekşiliğe sahiptir. Tartarik asit ise, sert bir ekşilik sağlar ve ağızda rahatsız edici bir his yaratır. Ayrıca, farklı kullanımlar farklı asit bileşimlerini gerektirir. Şarap çeşitlerinde, yüksek oranda tartarik/malik asit düzeyi, şarabın stabilitesini artırır. Bunun aksine, sofralık üzümün lezzeti için daha düşük bir tartarik/malik asit oranına sahip olması gerekir (Chadha and Shikhamany, 1999).

Organik asit ve şeker kapsamı üzerine çevresel ve kültürel faktörler önemli derecede etkindir (Tescic ve ark., 2002).

Üzüm çeşitlerinde baskın şekerler glikoz ve fruktoz olarak bilinir (Shiraishi, 1993).

Üzümde; olgunlaşma esnasında tanede şeker birikimi meydana gelir. Şeker kapsamı; çeşide, yetiştirme şekline ve çevresel koşullara bağlıdır. Üzümler yüksek oranda karbonhidrat içerir. Ayrıca, pek çok vitamin (B<sub>6</sub>, C, E ve K) ve mineral madde (potasyum, fosfor, kalsiyum ve magnezyum) kaynağıdır. Üzümde kalite özelliklerinden biri olan titrasyon asitliği, üzümde baskın organik asit olan tartarik asit oranı ile elde edilir. Üzüm suyunda bulunan hidrojen iyonlarının konsantrasyonu

---

<sup>1</sup> Dr. Öğretim Üyesi. Türkoğlu Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kahramanmaraş. [Orcid ID:0000-0003-2688-5452](https://orcid.org/0000-0003-2688-5452). Mail: dogar@ksu.edu.tr

pH olarak tanımlanır. pH düzeyi titrasyon asitliği ile bağlantılı olarak üzümde renk düzeyini de etkilemektedir (Creasy and Creasy, 2009).

Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), yüksek hassasiyeti ve analitik seçiciliği nedeniyle gıda bileşimi analizi için popüler bir yöntemdir. Organik asitler, şekerler ve fenolik bileşikler gibi birçok bileşenin hızlı kantitatif ayrılmasını sağlayabilmektedir. Pek çok araştırma ile, meyve sularındaki ana şekerleri ve organik asitleri belirleme ve ölçme kabiliyeti sayesinde HPLC tekniği kullanılarak meyve sularındaki şekerlerin ve organik asitlerin bileşimleri ortaya konulmuştur (Vereda ve ark., 1998; Nikolaou ve ark., 2017; Ivanova-Petropulos ve ark., 2020; Zielinski ve ark., 2014) .

Antosiyaninler; parlak rengi ve suda yüksek çözünürlüğü nedeniyle yapay gıda renklendiricilerinin yerini alacak potansiyel bir doğal pigment olarak kabul edilir (Garcia-Alonso ve ark., 2009).

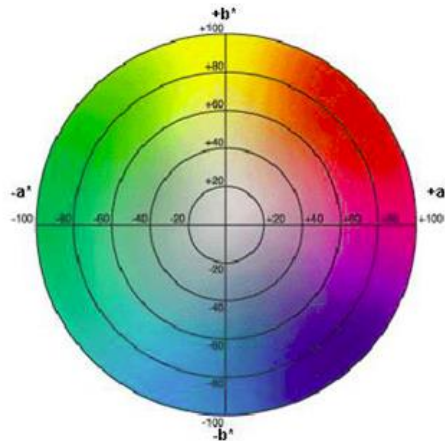
Üzüm kabuklarında bulunan antosiyaninler, ben düşme aşamasından itibaren olgunlaşma sırasında sentezlenir (Kennedy, 2008; Petroni ve Tonelli, 2011).

Antosiyaninlerin sıklıkla tüketilmesinin, koroner kalp hastalıkları riskinin azalması, anti-kanserojenik aktivite, antioksidan aktivite, felç riskinin azalması, anti-enflamatuar etki gibi sağlık için son derece önemli etkilerinin olduğu bildirilmektedir (Lila, 2004; Mazza ve Kay, 2009).

Üzüm; içerdiği fenolik bileşikler ile antosiyaninlerden dolayı doğal bir antioksidan kaynağıdır. Antioksidanlar vücudun serbest radikallere karşı savunma aracıdır (Ames ve ark., 1993; Conn ve ark., 2010).

Renk, tüm meyve ve sebzelerde en önemli özelliklerden biridir (Barret ve ark., 2010).

Commission Internationale de L'éclairage (CIE)'ye göre renk koordinatları ( $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$ ); meyvenin ekvatorial bölgesinde, kolorimetre ile yapılan ölçümle belirlenir.  $L^*$  değeri, 0 (siyah) ile 100 (beyaz) arasındaki açıklık anlamına gelir. Renk koordinat sisteminde;  $a^*$  değeri pozitif olduğunda kırmızı, negatif olduğunda yeşil olarak tanımlanır.  $b^*$  değeri, pozitif olduğunda sarı ve negatif olduğunda mavi olarak ifade edilir. Chroma ( $C^*$ ) ve hue açısı ( $h^\circ$ ) değerleri  $a^*$  ve  $b^*$  değerlerinden hesaplanır (Şekil 1) (McGuire, 1992; Fundo ve ark., 2019).



Şekil 1. CIE renk skalası

bazı fitokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla, organik asit (tartarik, malik ve sitrik asit) ve şeker (glukoz, fruktoz) ile toplam antosiyanin düzeyleri belirlenmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

**Bertiz Kabarcığı:** Bertiz Havzasında yetiştirilmekte, sofralık ve şıralık olarak değerlendirilmektedir. Salkımlar sık yapıda, salkım şekli konik, taneler homojen yapıda ve salkım ağırlığı yüksektir. Kabuk rengi yeşil-sarı renkte, tane yuvarlak ve orta irilikte, tane eti yumuşak ve sulu, tane şekli ve iriliği homojen, çekirdekli ve kuru madde miktarı yüksek düzeydedir (Balbaba ve Bağcı, 2017).

Bertiz Havzası: İl merkezinin kuzeyinde kalan, rakımı 600-2000 m arasında değişen, yaklaşık 30 mahalleyi kapsayan bir havzadır. Büyük çoğunluğu Dulkadiroğlu ilçesi olmak üzere Onikişubat ilçe sınırları içinde kalan ve köklü bir bağcılık kültürüne sahip olan havzada, üretilen üzümler bölgesel ve ulusal pazarlarda oldukça talep görmektedir. Üretimi yapılan havzadan ismini alan Bertiz Kabarcık üzümü büyük oranda sofralık olarak değerlendirilmektedir. Sofralık olarak pazarlanan kısmından arta kalan miktar ise pekmez, samsa, sucuk, ravanda gibi üzüm ürünlerine işlenerek şıralık olarak değerlendirilmektedir.

Örneklerin alındığı üzüm bağları; genellikle yerde serbest uzanan, yöresel olarak serpene olarak isimlendirilen terbiye şekillerinden oluşmaktadır. Genellikle dikim sıklığı 3\*3 m'dir. Çalışma için örnek alınan bağlarda ortalama bitki yaşı 15-25 yaş arasında değişmektedir.

Bertiz Kabarcığı üzüm örnekleri; Bertiz yöresinin, farklı köylerindeki üretici bağlarından alınmıştır. 27 Ağustos 2018 tarihinde hasat yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, 3 farklı köy, 14 üzüm bağı ve her bağdaki farklı omcalardan örnek alınmıştır. Her bağdan alınan genotip, örnek kodu 1'den başlamak üzere sıralandırılmıştır. İlk 11 örnek, Budaklı köyünden, 12, 13 ve 14 numaralı örnekler ise sırasıyla; Çobanlı, Maksutlu ve Sarıçukur köylerinden elde edilmiştir.

Çalışmaya konu olan Bertiz Kabarcık üzüm üretim alanlarından tesadüfi olarak, 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 10'ar adet salkım örneği olacak şekilde örnek alınmıştır. alınmıştır. Analizler için, asmalardan seçilmeden alınan üzüm örnekleri polietilen torbalara konarak analiz zamanına kadar -80 °C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir.

### Yöntem

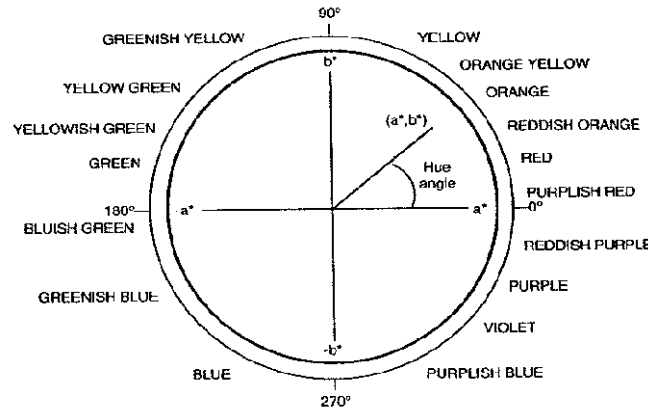
#### Tane kabuk rengi analizi

Üzüm örneklerinde kabuk rengi, üç tekerrürlü olarak ve her tekerrürde 5 üzüm tanesinin 2 farklı bölgesinde renk ölçer cihazıyla (Hunter-lab, ColorFlex) ölçüm yapılmıştır. CIE (International Commission on Illumination) Lab renk sisteminde; L\*, a\* ve b\*, C (Chroma) ve h° (hue açısı) değerleri ortaya konulmuştur (Şekil 2)(McGuire,1992). L\*, 0 ile 100 arasında parlaklığı, +a\* değeri kırmızı rengi -a değeri yeşili, +b değeri sarı rengi ve -b değeri mavi renk skalasını belirtir (Piccardo ve ark., 2019). Chroma renk yoğunluğunu, Hue renk tonu açısını ifade etmektedir. 0° kırmızı-mor rengi, 90° sarı, 180° mavi- yeşil, 270° mavi rengi belirtir. Hue açısı, aşağıdaki gibi hesaplanır.

Eşitlik 1:  $h^{\circ} = \arctan(b^*/a^*)$  (McGuire, 1992).

Chroma değeri, Eşitlik 2'deki formül ile belirlenir.

Eşitlik 2:  $C \text{ (chroma)} = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$  (McGuire,1992; Belafi Bako and Nemestothy, 2017).



Şekil 1. CIE renk koordinatları ( $a^*$ ,  $b^*$  ve hue açısı)

### Organik asit analizi

Üzümlerde organik asitlerin (tartarik, malik ve sitrik) analizleri Sturm ve ark. (2003)'na göre yapılmıştır. Analizler için 100 gram tane örneği alınarak ve mekanik bir parçalayıcı ile parçalandıktan sonra 12000 devir/dakikada 4°C'de santrifüj edilmiş ve üstteki berrak kısım alınıp 0.45 µm'lik filtrelerden geçirilerek süzölmüş ve elde edilen ekstrakt refraktif indeks dedektörlü HPLC (yüksek performanslı sıvı kromatografisi)'ye enjekte edilerek örneklerdeki organik asit miktarları belirlenmiştir.

### Şeker analizi

Üzümlerde şekerlerin (glüköz, fruktoz) analizleri Sturm ve ark. (2003)'na göre yapılmıştır. 100 gram tane örneği alınarak ve mekanik bir parçalayıcı ile parçalandıktan sonra 12000 devir/dakikada 4°C'de santrifüj edilmiş ve üstteki berrak kısım alınıp 0.45 µm'lik filtrelerden geçirilerek süzölmüştür. Daha sonra elde edilen ekstrakt refraktif indeks dedektörlü HPLC (yüksek performanslı sıvı kromatografisi)'ye enjekte edilerek örneklerdeki şeker miktarları belirlenmiştir.

### Toplam antosiyanin miktarının belirlenmesi

Üzüm çeşitlerinde toplam antosiyanin analizleri Wrolstad (1976)'ya göre diferansiyel pH farklılık yöntemiyle belirlenmiştir. Spektrofotometrede okumalar farklı dalga boylarında pH 1 ve pH 4.5 arasındaki renk farklılığına göre iki farklı pH derecesinde okunarak değerler malvidin-3-glikozit cinsinden mg L<sup>-1</sup> olarak kaydedilmiştir.

### İstatistiksel analiz

Deneme 3 tekerrürlü olarak düzenlenmiştir. Elde edilen verilerin standart sapma değerleri belirlenmiştir.

### Bulgular ve Tartışma

#### Tane kabuk rengi bulguları

Tablo 1 incelendiğinde, Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinde L\* değeri 41.58- 53.01, a\* değeri -2.44- (-5.89), b\* değeri 15.01-22.57, Chroma 15.39- 22.94, Hue açısının ise, 70.33- 84.24 değerleri arasında olduğu ifade edilmiştir.

Tane kabuk rengi bakımından CIELAB renk koordinat sisteminde, renk parametre değerleri incelendiğinde; Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinde tane kabuk renginin sarı renkte olduğu kaydedilmiştir.

Carreno ve ark. (1995); yeşil- sarı renkli üzüm çeşitlerinde L\*, a\*, b\*, Chroma ve Hue açısı değerlerini sırasıyla 41.97; -1.87; 8.39; 8.64; 102.06 olarak belirlendiğini ifade etmişlerdir.

Carreno ve ark. (1996), Italia ve Early Muscat üzüm çeşitlerinde, L\* değerini 43.34- 38.35, a\* değerini -4.31- (-3.79), b\* değerini 13.14-13.21, Chroma 13.82- 13.74 hue açısını ise 108.15-105.99 değerleri arasında belirlemişlerdir.

Brito ve ark. (2019), Brezilya’ da üretimi yapılan Arizul isimli üzüm çeşidinde L\* değerini 46.65-53.16, Chroma’yı 17.61- 24.38, hue açısını ise 110.40- 114.02 değerleri arasında belirlemişlerdir.

*Tablo 1. Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinde tane kabuk rengi değerleri*

Örnek Kodu	L *	a*	b*	Chroma	Hue açısı
1	41.93	-5.89	16.48	17.49	70.33
2	44.61	-5.52	17.57	18.38	72.55
3	41.58	-4.81	15.06	15.75	72.28
4	51.14	-3.42	21.17	21.44	80.82
5	44.48	-2.44	19.27	19.40	82.78
6	50.24	-2.57	21.01	21.16	83.02
7	43.04	-5.10	15.01	15.84	71.23
8	43.53	-5.21	16.87	17.80	72.83
9	45.64	-5.72	20.02	20.81	74.05
10	45.47	-5.81	16.50	17.48	70.60
11	49.02	-3.12	21.50	21.72	81.74
12	49.16	-3.44	22.41	15.39	81.27
13	40.09	-5.06	22.39	22.94	77.26
14	53.01	-2.28	22.57	22.68	84.23
Min	41.58	-2.44	15.01	15.39	70.33
Max	53.01	-5.89	22.57	22.94	84.24
Ort.	47.29	-4.16	18.79	19.16	77.28
Standart sapma	1.99	-0.89	0.94	1.02	1.71

### **Organik asit bulguları**

Bertiz Kabarcık üzüm tipinde, tartarik asit miktarı 3.056 g kg<sup>-1</sup> - 3.571 g kg<sup>-1</sup>, malik asit düzeyi 1.035 g kg<sup>-1</sup> - 1.396 g kg<sup>-1</sup>, sitrik asit düzeyi 0.118 g kg<sup>-1</sup> - 0.757 g kg<sup>-1</sup>, toplam asitlik miktarı 4.128 g kg<sup>-1</sup> – 4.911 g kg<sup>-1</sup> değerleri arasında belirlenmiştir. Bu değerler; Yinshan ve ark. (2017) ile Munoz-Robredo ve ark. (2011)’nın elde ettiği değerler ile benzerlik göstermektedir.

Lampir ve Zaludek (2018), Riesling üzüm çeşidinde farklı hasat dönemlerinde Kontrol grubu meyvelerinde tartarik asit düzeyinin 3.6 g L<sup>-1</sup>- 4.3 g L<sup>-1</sup> değerleri arasında, malik asit düzeyinin 3.3 g L<sup>-1</sup> ile 3.5 g L<sup>-1</sup> arasında değişmekte olduğunu ifade etmişlerdir.



*Tablo 2. Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinin organik asit düzeyi (g kg<sup>-1</sup> YA)*

Örnek Kodu	Tartarik asit (g kg <sup>-1</sup> YA)	Malik asit (g kg <sup>-1</sup> YA)	Sitrik asit (g kg <sup>-1</sup> YA)	Toplam asitlik (g kg <sup>-1</sup> YA)
1	3.487	1.396	0.237	4.883
2	3.388	1.235	0.139	4.623
3	3.192	1.152	0.238	4.344
4	3.004	1.196	0.239	4.200
5	3.586	1.325	0.408	4.911
6	3.115	1.394	0.239	4.509
7	3.056	1.139	0.640	4.195
8	3.087	1.247	0.237	4.334
9	3.288	1.174	0.420	4.462
10	3.192	1.078	0.359	4.270
11	3.082	1.046	0.709	4.128
12	3.109	1.127	0.757	4.236
13	3.571	1.253	0.220	4.824
14	3.422	1.035	0.118	4.457
Min	3.056	1.035	0.118	4.128
Max	3.571	1.396	0.757	4.911
Ort.	3.313	1.215	0.437	4.520
Standart sapma	0.133	0.074	0.001	0.157

\*YA: Yaş ağırlık

Munoz-Robredo ve ark., (2011), Sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinde organik asit ile şeker konsantrasyonlarını HPLC'de belirlemişlerdir. Buna göre tartarik asit 2.05 g L<sup>-1</sup>; malik 1.80 g L<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir.

Yinshan ve ark., (2017); 45 farklı üzüm çeşidinin tartarik, malik ve sitrik asit düzeylerini incelemişlerdir. Emerald Seedless üzüm çeşidinde tartarik, malik, sitrik asit ve toplam asit düzeyleri 6.82 mg ml<sup>-1</sup>, 1.70 mg ml<sup>-1</sup>, 1.17 mg ml<sup>-1</sup>, 9.808 mg ml<sup>-1</sup>; Thompson Seedless çeşidinde 4.77 mg ml<sup>-1</sup>, 1.89 mg ml<sup>-1</sup>, 0.84 mg ml<sup>-1</sup>, 7.676 mg ml<sup>-1</sup>; olarak belirlenmiştir.

Pavlušek ve Kumšta (2011), Müller Thurgau ve Semillion üzüm çeşidinde 3 yıl boyunca elde edilen tartarik asit miktarının ortalama olarak 7.16 g l<sup>-1</sup> ile 9.05 g l<sup>-1</sup>, ve malik asit düzeyinin 2.97 g l<sup>-1</sup> ile 5.04 g l<sup>-1</sup>, sitrik asit miktarının ise 0.19 g l<sup>-1</sup> ile 0.24 g l<sup>-1</sup> arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Organik asit profili, tane gelişimi sırasında değişir ve en kuvvetli değişim ben düşmeye yakın gerçekleşir (Munoz-Robredo ve ark. 2011).

Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinde glikoz miktarı 68.11 g kg<sup>-1</sup> -121.89 g kg<sup>-1</sup>, fruktoz düzeyi 64.75 g kg<sup>-1</sup> - 110.83 g kg<sup>-1</sup>, toplam şeker miktarı 132.86 g kg<sup>-1</sup> -232.73 g kg<sup>-1</sup> değerleri arasında kaydedilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinin şeker düzeyi ( $g\ kg^{-1}\ YA$ )

Örnek Kodu	Glikoz ( $g\ kg^{-1}\ YA^*$ )	Fruktoz ( $g\ kg^{-1}\ YA$ )	Toplam şeker ( $g\ kg^{-1}\ YA$ )
1	75.91	70.50	146.41
2	90.75	85.22	175.97
3	70.73	68.15	138.88
4	76.65	69.86	146.51
5	121.89	110.83	232.72
6	76.78	68.85	145.63
7	72.57	70.66	143.23
8	74.92	69.50	144.42
9	80.08	73.44	153.52
10	100.56	81.29	181.85
11	69.34	66.16	135.50
12	101.99	83.11	185.10
13	68.11	64.75	132.86
14	97.87	78.66	176.53
Min	68.11	64.75	132.86
Max	121.89	110.83	232.73
Ort.	95.00	87.79	182.79
Standart sapma	3.88	3.77	4.12

Glikoz ben düşmeye yakın erken dönemde en bol bulunan şekerdir. Glikoz derim dönemine kadar azalır, glikoz ve fruktoz miktarı her biri için ortalama % 47 oranında değişir. Genellikle, hasattan 5-6 hafta önce glikoz ile fruktoz arasında miktar farkı yoktur. Hasat döneminde SÇKM düzeyinde toplam şeker miktarı % 90'dan fazladır. Buna göre, şeker kapsamının bir belirteç ve bir hasat indeksi olarak kullanımı böylece teyit edilir. Üzümde en fazla tadı etkileyen şeker fruktoz olup onu glikoz ve sukroz takip eder. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, üzümde tatlılıktaki farklar tanede, mevcut şekerin oranından ziyade mevcut olan toplam şeker miktarına daha çok bağlıdır. (Munoz-Robredo ve ark. 2011).

Pavlušek ve Kumšta (2011), Müller Thurgau ve Semillion isimli beyaz üzüm çeşitlerinde 3 yıl boyunca elde edilen glikoz düzeyini  $102.12\ g\ L^{-1}$  ile  $95.73\ g\ L^{-1}$ , fruktoz düzeyini  $106.33\ g\ L^{-1}$  ile  $94.57\ g\ L^{-1}$ , toplam şeker miktarını ise  $208.44\ g\ L^{-1}$  ile  $190.31\ g\ L^{-1}$  arasında değişmekte olduğunu bildirmişlerdir.

Munoz-Robredo ve ark., (2011), Sultani çekirdeksiz üzüm çeşidinde organik asit ile şeker konsantrasyonlarını HPLC'de belirlemişlerdir. Bu çalışmaya göre, fruktoz düzeyi  $8.05\ g\ 100g^{-1}$  ile glikoz düzeyi  $8.71\ g\ 100\ g^{-1}$  olarak saptanmıştır.

Yinshan ve ark.,(2017); 45 farklı üzüm çeşidinin glikoz ve fruktoz düzeylerini incelemişlerdir. Emerald Seedless üzüm çeşidinde glikoz ve fruktoz ile toplam şeker düzeyini sırasıyla;  $86.41\ mg\ ml^{-1}$ ,  $78.81\ mg\ ml^{-1}$ ,  $165.22\ mg\ ml^{-1}$  olarak; Thompson Seedless üzüm çeşidinde ise  $92.75\ mg\ ml^{-1}$ ,  $89.14\ mg\ ml^{-1}$ ,  $181.89\ mg\ ml^{-1}$  olarak kaydetmişlerdir.

Üzümde farklı bileşiklerin konsantrasyonu genetik, çevresel, bağcılık faktörü ile, diğer faktörlere bağlıdır. Buna göre bazı sekonder metabolitlerin konsantrasyonu (antosiyaninler, flavanoller ve flavonoller gibi) bir dereceye kadar bitki verimi ile yaprak alanı ve bitki başına toplam meyve ağırlığı arasındaki orana bağlıdır. Bu nedenle, üzüm tane kalitesini artırmak amacıyla tarımsal uygulamalar yapılabilir. Bu uygulama ile, şeker kapsamı, pH, toplam asitlik, tane olgunlaşma esnasında renk ve tat oluşumu etkilenmektedir (Peña-Neira ve ark., 2007).

Şeker ve organik asit kapsamı üzerine çevresel ve kültürel faktörler önemli derecede etkindir (Tescic ve ark., 2002).

Üzümün bileşiminde bulunan organik asitler, şekerlerle birlikte ürüne özgü karakteristik tat ve kokunun oluşumuna katkıda bulunurlar (Fuleki ve ark.,1993).

Hasat dönemi üzümde şeker ve organik asidin yoğun düzeye ulaşması ile karar verilen dönemdir. Üzümlerin olgunlaşmasını sağlayan faktörlerden en önemlisi toplam polifenol ve antosiyaninlerdir (Fragosa, 2010).

Üzüm meyvesinde dikkate alınan tat metabolitleri arasında, SÇKM ve titrasyon asitliğinin ölçümü, şeker ve organik asit kompozisyonu vardır. Tüketicinin damak tadına göre, sofralık üzümde kalite şeker kapsamı, organik asit ve bunlar arasındaki dengeye bağlıdır. Şeker kapsamına göre, glikoz ve früktoz aynı miktarda olup, sükroz % 1' den daha düşük seviyededir. Organik asitler şeker miktarına kıyasla daha düşük miktardadır. Ancak üzümün tadını önemli derecede etkiler. Genellikle organik asitler, toplam meyve suyunun % 1' i civarındadır. Tartarik asit en önemli asit olup, onu malik, sitrik, süksinik ve diğer asitler takip eder. Genellikle malik asit kapsamında azalmayı takiben malik ve tartarik asit birikimi, ben düşmeden öncedir. Tartarik asit, hasada kadar az bir değişim gösterir. Ancak, tartarik ve malik asit oranı, tür, çeşit ve genetik yapıya bağlı olarak değişir. Derim döneminde sofralık üzümdeki asitlikteki farklılıklar çeşide, çevresel koşullara, depo koşullarına ve diğer faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Tadı etkileyen titrasyon asitliğinin önemine rağmen SÇKM (tatlılık) olgunlaşmanın bir göstergesidir. Pek çok ticari çeşitte olgunlaşma döneminde SÇKM düzeyi % 15-18 arasında değişir. Ayrıca, üzümlerin kimyasal kompozisyonu olgunlaşma, genotip ve büyüme koşulları gibi bazı faktörlerden etkilenir (Munoz-Robredo ve ark., 2011).

Gün ışığının antosiyanin birikimini artırdığı bilinmektedir. Sıcaklığın tane kabuğunda antosiyanin birikimini ışıktan daha fazla etkilediği ifade edilmektedir. Ayrıca sıcaklığın etkisi olgunlaşma safhalarında farklı şekilde değişiklik gösterir. İklim koşullarına göre, solar radyasyon tane sıcaklığını artırmaktadır (Chorti, 2016).

Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinde toplam antosiyanin miktarı  $0.137 \text{ mg L}^{-1}$  ile  $0.661 \text{ mg L}^{-1}$  değerleri arasında elde edilmiştir (Tablo 4). Yeşil-sarı renkte bir üzüm çeşidi olmasından dolayı Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinde toplam antosiyanin değeri oldukça düşük düzeyde elde edilmiştir.

*Tablo 4. Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinin toplam antosiyanin düzeyi (mg L<sup>-1</sup>)*

Örnek Kodu	Toplam antosiyanin (mg L <sup>-1</sup> )
1	0.204
2	0.162
3	0.260
4	0.137
5	0.660
6	0.137
7	0.287
8	0.204
9	0.177
10	0.139
11	0.196
12	0.661
13	0.293
14	0.308
Min	0.137
Max	0.661
Ort.	0.399
Standart sapma	0.100

Kök ve Bal (2017), bazı sofralık ve şaraplık üzüm çeşitleriyle yaptıkları çalışmada Italia, Tekirdağ misketi, Chardonnay ve Riesling üzüm çeşitlerinde toplam antosiyanin miktarının saptanmadığı bildirilmiştir.

Göktürk Baydar ve ark., (2005), Italia, Hafızali, Çavuş, Kozak Beyazı gibi beyaz çeşitlerde toplam antosiyanin miktarını belirlememiştir.

Karaca Sanyürek ve ark., (2018), Hasani isimli beyaz üzüm çeşidinde toplam antosiyanin düzeyini 0 olarak bulmuştur.

Özden ve Özden (2014), Chardonnay üzüm çeşidinde toplam antosiyanin düzeyini 8.81 mg kg<sup>-1</sup> olarak bildirmiştir.

### **Sonuçlar**

Bu çalışma ile, Kahramanmaraş ili Bertiz Havzasında üretim potansiyeli oldukça yüksek olan, hem sofralık hem de şıralık olarak değerlendirilen Bertiz Kabarcık üzüm örneklerinde organik asit, şeker ve toplam antosiyanin içerikleri belirlenmiştir. Buna göre; Bertiz Kabarcık üzüm örnekleri; renk özellikleri bakımından hue açısı değerlerine göre incelendiğinde, renk koordinat sisteminde sarı rengin öne çıktığı görülmektedir. Üzümlerde önemli organik asitler olan tartarik, malik asit ve toplam asitlik düzeyi bakımından; 5 ve 6 numaralı Budaklı ve 13 numaralı Maksutlu köylerinden örnek alınan Bertiz Kabarcık üzümünde diğer örneklerle göre daha yüksek değerler kaydedilmiştir. Şeker miktarı açısından incelendiğinde; 5 numaralı Budaklı ve 12 numaralı Çobanlı'dan elde edilen üzüm örneklerinde glikoz, fruktoz ve toplam şeker miktarı diğer örneklerle göre daha üst sıralarda yer almaktadır.

Bertiz Kabarcık üzümünde; renk, organik asit ve şeker kapsamının belirlenmesi son derece önemlidir. Böylelikle, Kahramanmaraş ili Bertiz yöresinde üretimi yapılan Bertiz Kabarcık üzümünün coğrafi işaret alabilmesi ve çeşit tescil aşamalarının gerçekleşmesi sağlanabilecektir. Yürütülen çalışmalar ile; yüksek düzeyde kalite değerlerine sahip ve pazarlanma olasılığı fazla olan bir üzüm çeşidi ülkemize kazandırılmış olacaktır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 2018/3-32 M.

## Kaynaklar

Ames, B.N., Shigenaga, M.K., Hagen, T.M. (1993). Oxidants, Antioxidants, and the Degenerative Diseases of Aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 90, pp. 7915-7922, September 1993. [Doi: 10.1073/pnas.90.17.7915](https://doi.org/10.1073/pnas.90.17.7915)

Balbaba, N. ve Bağcı, S. (2017). Kahramanmaraş Bertiz Yöresinde Yetiştirilen Bertiz Kabarcığı Üzüm Tipinin Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Multi disciplinary studies-3 (health and natural sciences)*, (9-10 October, 2018), 187- 204, Ankara.

Barrett, D.M., Beaulieu, J.C. and Shewfelt, R. (2010) Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50, 369-389. [Doi: 10.1080/10408391003626322](https://doi.org/10.1080/10408391003626322)

Belafi-Bako, K., Nemestothy, N. (2017). *Food Biosynthesis*. Chapter 9. 277-292. [Doi: 10.1016/B978-0-12-811372-1.00009-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811372-1.00009-9)

Brito, A.L., Danoa Bonfim, W.M., Andrade Neto, E.R., Lima, M.A.C. (2019). Quality and antioxidant potential of ‘BRS clara’ and ‘Arizul’ grapes influenced by rootstocks in a tropical region. *Ciência e Agrotecnologia*, 43:e000219, 1-13. [Doi: 10.1590/1413-7054201943000219](https://doi.org/10.1590/1413-7054201943000219)

Carreno, J., Martinez, A., Almela, L., Fernandez- Lopez, J.A. (1995). Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes. *Food Research International*, 28, (4), 373-311.

Carreno, J., Martinez, A., Almela, L., Fernandez-Lopez, J.A. (1996). Measuring the Color of Table Grapes. *Color Research and Application*. 21(1): 50-54. [Doi: https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6378\(199602\)](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6378(199602)21:1<50::AID-COL1002>3.0.CO;2-1)

Chadha, K.L. and Shikhamany, S.D. (1999). The grape, improvement, production and post-harvest management. *Molbotra Publishing House, New Delhi*, pp 343–346

Canals, R. Llaudy, M.C. Valls, J. Canals, J.M., Zamora, F. (2005). Influence of Ethanol Concentration on the Extraction of Color and Phenolic Compounds from the Skin and Seeds of Tempranillo Grapes at Different Stages of Ripening. *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 53, No. 10, 4019-4025. [Doi: 10.1021/jf047872](https://doi.org/10.1021/jf047872)

Chorti, E., Kyraleou, M., Kallithraka, S., Pavlidis, M., Koundouras, S., Kanakis, I., Kotseridis, Y. (2016). Irrigation and Leaf Removal Effects on Polyphenolic Content of Grapes and Wines Produced from cv. ‘Agiorgitiko’ (*Vitis vinifera* L.). *Not Bot Horti Agrobo*, 2016, 44(1):133-139. [DOI:10.15835/nbha44110254](https://doi.org/10.15835/nbha44110254)

Christensen, L.P. (2000). Raisin Production Manual. Agriculture and natural resources. University of California, Oakland.

Conn S., Franco C. and Zhang W. (2010). Characterization of anthocyanic vacuolar inclusions in *Vitis vinifera* L. cell suspension cultures. *Planta*. 231(6) 1343-1360. [Doi: 10.1007/s00425-010-1139-4](https://doi.org/10.1007/s00425-010-1139-4)

Creasy, G.L. and Creasy, L.L. (2009). *Grapes*. CABI. 331 pp.

Delagoda-Vargas, F., Jimenez, A.R., Perades-Lopez, O. (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains- characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Crit Rev. Food Sci Nutr*. 40 (3), 173-289. [Doi: 10.1080/1040869009118925710.1080/](https://doi.org/10.1080/1040869009118925710.1080/)

Doty, T.E. (1976) Fructose sweetness: a new dimension. *Cereal Foods World* 21:62–63

Esteban, M.A., Villannueva, M.J., Lissarrgue, J.R. (1999). Effect of irrigation on changes in berry composition of Tempreanillo during maturation, sugars, organic acids and mineral elements. *American Journal of Enology and Viticulture* 50:418– 434

Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbéguié-A-Mbéguié, D., & Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 64(6), 1451-1469. Doi: 10.1093/jxb/ert035

Fao (Food and Agriculture Organization) (2022). (10.12.2022 tarihinde <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> adresinden erişilmiştir).

Fragosa, S., Mestrelere, M., Busto, O., Guasch, J. (2010). Comparison of Three Extraction Methods Used to Evaluate Phenolic Ripening in Red Grapes. *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58, 4071–4076. Doi: 10.1021/jf9040639

Fuleki, T., Pelayo, E., Palabay, R. (1993). Carboxylic Acid Composition Of Authentic Varietal and Commercial Grape Juices. *Journal of AOAC International*, 76(3), 591- 600.

Fundo, J.F.; Miller, F.A.; Mandro, G.F.; Tremarin, A.; Brandão, T.R.; Silva, C.L. (2019). UV-C light processing of Cantaloupe melon juice: Evaluation of the impact on microbiological, and some quality characteristics, during refrigerated storage. *Food Science and Technology*, 103, 247–252. Doi: 10.1016/j.lwt.2019.01.025

Garcia-Alonso M, Minihane AM, Rimbach G, Rivas-Gonzalo JC, Pascual-Teresa S. (2009). Red wine anthocyanins are rapidly absorbed in humans and affect monocyte chemoattractant protein 1 levels and antioxidant capacity of plasma. *J. Nutr. Biochem.* 2009;20:521–529. Doi: 10.1016/j.jnutbio.2008.05.011

Göktürk Baydar, N., Çetin, S., Hallaç, F., Babalık, Z. (2005). Üzümlerde Fenolik Madde İçeriklerinin Spektrofotometrik Yöntemlerle Belirlenmesi. *Türkiye 6. Bağcılık Sempozyumu*, Cilt 1, 329-334, Tekirdağ

Guidoni, S. Hunter. J.J. (2012). Anthocyanin Profile in Berry Skins and Fermenting Must/Wine, As Aected By Grape Ripeness Level of *Vitis vinifera* cv. Shiraz/R99. *Eur Food Res Technol* 235:397–408. Doi: 10.1007/s00217-012-1744-5

Ivanova-Petropulos, V., Petruševa, D., Mitrev, S., (2020). Rapid and simple method for determination of target organic acids in wine using HPLC-DAD analysis, *Food Analytical Methods*, 13, 5, 1078–1087. Doi: 10.1007/s12161-020-01724-4

Karaca Sanyürek, N., Tahmaz, H., Çakır, A., Söylemezoğlu, G., (2018). Tunceli İlinde Yetiştirilen Bazı Şaraplık Üzüm Çeşitlerinde Antioksidan Aktivitenin ve Fenolik Bileşiklerin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Derg* 5(4): 551-555. Doi: 10.30910/turkjans.471340

Kennedy, J.A. 2008. Grape and wine phenolics: Observations and recent findings. *Cien. Inv. Agr.*, 35, 107-120. Doi:10.4067/S0718-16202008000200001

Kök, D., Bal, E. (2017). Compositional Differences in Phenolic Compounds and Anthocyanin Contents of Some Table and Wine Grape (*V. Vinifera* L.) Varieties from Turkey. *Oxidation Communications* 40, No: 2, 648–656.

Lampir, L., Zaludek, J. (2018). Influence of summer management practices and date of harvesting on organic acids concentration and sugar concentration in grapes of *Vitis vinifera* L., cv. Riesling. *Hort. Sci. (Prague)*, 45, (4): 213–218. Doi: 10.17221/213/2017-HORTSCI

Lila M. A. (2004). *Plant pigments and human health*. In: K Davies (Ed.) *Plant Pigments and their Manipulation*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. pp248–274

Liu, Q., Tang, G.-Y., Zhao, C.-N., Gan, R.-Y., Li, H.-B. (2019). Antioxidant activities, phenolic profiles, and organic acid contents of fruit vinegars. *Antioxidants* 8, 78. [Doi: 10.3390/antiox8040078](https://doi.org/10.3390/antiox8040078)

Mazza G., Kay, C.D. (2009). *Bioactivity, absorption and metabolism of anthocyanins*. In: Daayf, F., Lattanzio, V. (Ed). Recent Advances in Polyphenol Research. Wiley-Blackwell. 228-262. Doi: 10.1002/9781444302400.ch10

McGuire RG (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *Hortscience* 27 (12): 1254-1255. Doi: 10.21273/HORTSCI.27.12.1254

Munoz-Robredo, P., Robledo, P., Manriquez, D., Molina, R., Defilippi, B.G. (2011). Characterization of Sugars and Organic Acids in Commercial Varieties of Table Grapes. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(3): 452-458. [Doi: 10.4067/S0718-58392011000300017](https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000300017)

Nikolaou, N., Karabagias, I.K., Gatzias, K., Kontakos, S., Badeka, A., Kontominas, M.G. (2017). Differentiation of fresh greek orange juice of the merlin cultivar according to geographical origin based on the combination of organic acid and sugar content as well as physicochemical parameters using chemometrics. *Food Analytical Methods*, 10, 7, 2217–2228. Doi: [10.1007/s12161-016-0757-2](https://doi.org/10.1007/s12161-016-0757-2)

Özden M., Özden A.N. (2014). Farklı Renkteki Meyvelerin Toplam Antosiyanin, Toplam Fenolik Kapsamlarıyla Toplam Antioksidan Kapasitelerinin Karşılaştırılması. *Teknolojik Araştırmalar: GTED* (9),1-12.

Pavloušek, P., Kumšta, M. (2011). Profiling of Primary Metabolites in Grapes of Interspecific Grapevine Varieties: Sugars and Organic Acids. *Czech J. Food Sci. Vol. 29*, 2011, No. 4: 361-372. [Doi: 10.17221/257/2010-CJFS](https://doi.org/10.17221/257/2010-CJFS)

Peña-Neira, A., Cáceres, A., Pastenes, C. (2007). Low Molecular Weight Phenolic and Anthocyanin Composition of Grape Skins from cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) in the Maipo Valley (Chile): Effect of Clusters Thinning and Vineyard Yield *Food Sci Tech Int.* 13(2):153–158. Doi: 10.1177/1082013207077920

Petroni, K. ve Tonelli, C. (2011). Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductive organs. *Plant Science*. 181, 3, 219-229. Doi:10.1016/j. Plantsci.05.009.

Ruiz-García, Y., Gil-Muñoz, R., López-Roca, J.M., Martínez-Cutillas, A., Romero-Cascales, I., Gómez-Plaza, E. (2013). Increasing the Phenolic Compound Content of Grapes by Preharvest Application of Abscisic Acid and a Combination of Methyl Jasmonate and Benzothiadiazole. *J. Agric. Food Chem.* 2013, 61, 3978–3983. Doi: 10.1021/jf400631m

Shiraishi, M. (1993). Three descriptors for sugars to evaluate grape germplasm. *Euphytica* 71:99–106

Sturm, M., Perovich, D.K., Serreze, M. (2003). Meltdown in the North. *Scientific American*, October, 60-67.

Tanaka, Y., Sasaki, N., Ohmiya, A. (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal*. 54 (4), 733-749. Doi: 10.1111/j.1365-313X.2008.03447

Tesic, D., Woolley, D. Hewett, E., Martin, D. (2002). Environmental Effects on cv. Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) Grown in Hawke's bay, New Zeland 2. Development of a site index. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 8: 27-35. [Doi: 10.1111/j.1755-0238.2002.tb00208.x](https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2002.tb00208.x)

Vereda, E., De Torres, G., Rivero, A., Cano, J.M. (1998): Determination of organic acid in wines. *Química Analítica*, 17: 167–175.



Wrolstad, R.E. (1976). Color and pigment analyses in fruit products. Oregon Agr. Expt. Sta. Bul. 624. 17p.

Yinshan, G., Zaozhu, N., Kai, S., Jia, Z., Zhihua, R., Yuhui, Z., Quan, G., Hongyan, G., Xiuwu, G. (2017). Composition and content analysis of sugars and organic acids for 45 grape cultivars from Northeast region of China. *Pak. J. Bot.*, 49(1): 155-160.

Zielinski, A. A. F., Braga, C. M., Demiate, I. M., Beltrame, F. L., Nogueira, A., Wosiacki, G. (2014). Development and optimization of a HPLC-RI method for the determination of major sugars in apple juice and evaluation of the effect of the ripening stage,” *Food Science and Technology*, 34, 1, 38–43. Doi: 10.1590/S0101-20612014005000003

**DOĞA VE MÜHENDİSLİK  
BİLİMLERİNDE GÜNCEL  
TARTIŞMALAR**

**6**

