

# MÜHENDİSLİK

ALANINDA TEORİ VE ARAŞTIRMALAR

*Ekim 2022*

EDİTÖR

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana**  
**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi**  
**Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2022**  
**ISBN • 978-605-4517-85-5**

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing.

Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Yalı Mahallesi İstikbal Caddesi No:6

Güzelbahçe / İZMİR

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.seruvenyayinevi.com

**e-mail:** seruvenyayinevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# Mühendislik Alanında Teori ve Araştırmalar

Ekim 2022

Editör

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP



# İÇİNDEKİLER

## Bölüm 1

TÜRKİYE’NİN SINIR AŞAN SULAR PROBLEMİNE İKİ ÖNEMLİ HAVZA OLAN FIRAT-DİCLE HAVZASI İLE MERİÇ HAVZASI İNCELENEREK ÇÖZÜM ÖNERİLERİ SUNULMASI

Murat BATAN..... 1

## Bölüm 2

TAHİL BAZLI FERMENTE ÜRÜNLERDE LAKTİK ASİT BAKTERİLERİNİN KULLANIMI İLE İLGİLİ GENEL BAKIŞ

Ramazan Ülkü Çetin ..... 27

## Bölüm 3

TÜRKİYE’DE EN ÇOK ÜRETİLEN TAHİL BAZLI FERMENTE ÜRÜNLER VE ÖNEMİ

Ramazan Ülkü Çetin ..... 47

## Bölüm 4

MÜHİMMATLARDA KULLANILAN BAŞLICA YÖNLENDİRME MEKANİZMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bülent ÖZKAN..... 63

## Bölüm 5

TAZE ETİN MİKROBİYOLOJİSİNİ KORUMAK/İYİLEŞTİRMEK AMACIYLA UYGULANAN YÖNTEMLER

Sabire YERLİKAYA ..... 79

## Bölüm 6

YAPAY SINIR AĞLARIYLA TÜRKİYE’NİN DOĞALGAZ TALEP TAHMİNİ

Zehra BİLİCİ ..... 93

Durmuş ÖZDEMİR ..... 93

Celal Onur GÖKÇE..... 93

## Bölüm 7

### TRAFİK CEZALARININ YAYA GÜVENLİĞİNE ETKİSİNİN YAPAY ZEKÂ ALGORİTMASI İLE İNCELENMESİ

Emre KUŞKAPAN .....	105
Muhammed Yasin ÇODUR .....	105

## Bölüm 8

### ULUSLARARASI SU ÇALIŞMALARI, HAVZA YÖNETİMİ VE KURAKLIK

Çağla Melisa KAYA.....	115
Mert ONUR .....	115

## Bölüm 9

### ÇOK AMAÇLI META-SEZGİSEL ALGORİTMA KULLANARAK KARAYOLU KIRMIZI ÇİZGİ OPTİMİZASYONU

Sina ASHERLOU, .....	135
Aref YELGHİ, .....	135
Erhan Burak PANCAR .....	135

## Bölüm 10

### AKIŞKANLAR MEKANİĞİ UYGULAMALARINDA AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ

Doğan Burak SAYDAM .....	155
Cemre POLAT.....	155
Coşkun ÖZALP.....	155

## Bölüm 11

### İZMİR BARAJLARININ SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Davut Yılmaz .....	177
Murat Emre Kartal .....	177

## Bölüm 12

### ORMAN YANGINLARINA HAVADAN MÜDAHALE İÇİN HAVA ARACI MEKATRONİK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa SOYLAK .....	205
Ali YENİEL .....	205

## Bölüm 13

### INCONEL 718 ALAŞIMININ TORNALANMASINDA KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Mahmut ÇELİK .....	221
--------------------	-----

## Bölüm 14

### NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALARIN GIDA MUHAFAZASINDA KULLANIMI

Halil YALÇIN .....	235
Ali SOYUÇOK .....	235

## Bölüm 15

### PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TABANLI PI DENETLEYİCİ PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ VE SİSTEM TASARIMI

Münevver Mine ÖZYETKİN .....	249
Hasan BİRDANE.....	249

## Bölüm 16

### TÜRKİYE’NİN KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Soner KORKMAZ.....	279
--------------------	-----

## Bölüm 17

### ŞİŞEN ZEMİNLERİN TANIMLANMASINA VE İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YÖNTEMLER

Nurdan BAYKUŞ .....	293
---------------------	-----





“

## Bölüm 1

**TÜRKİYE’NİN SINIR AŞAN SULAR  
PROBLEMİNE İKİ ÖNEMLİ HAVZA  
OLAN FIRAT-DİCLE HAVZASI İLE  
MERİÇ HAVZASI İNCELENEREK  
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ SUNULMASI**

*Murat BATAN<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Dr.Öğretim Üyesi Murat BATAN, Batman Üniversitesi, Mühendislik-  
Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ORCID ID: 0000-0002-  
9207-4730

”

## 1.GİRİŞ

Su hayatın devamı için olmazsa olmaz bir temel ihtiyaç olduğundan tarihte Mısır, Çin, Hindistan ve daha bir çok devlet akarsuların kenarında kurulmuştur. Suyun enerji, tarım ve dolayısıyla ekonomi üzerinde büyük etkileri olması nedeniyle tarihte ve günümüzde bir çok devlet anlaşmazlıklar yaşayıp sınır aşan suların paylaşılabilmesi nedeniyle savaşın eşiğine gelmiştir. Son yıllarda artan nüfus ve meydana gelen iklim değişikliğinden dolayı kuraklık olaylarının artması suya olan talebi daha da artırmıştır(Batan, 2014; Batan, 2020; Batan, 2021). Artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için sanayi tesislerinde daha fazla üretim yapılmış ve bu sanayi tesislerinden yapılan atık su tahliyeleriyle akarsu ve göllerimiz kirlenmeye başlamıştır. Dünyada çok sınırlı olan tatlı su kaynaklarımız kirlenince suya olan talep daha da artmıştır.(Batan, 2021) Gelişmiş ülkelerde hayat standardı arttıkça su tüketimi de artmaktadır. Bu da su kaynakları israfına neden olup su sorununu daha da kronik bir hale getirmektedir.

Bu kadar değerli olan su kaynaklarının paylaşımı üzerine ülkeler kendi aralarında ikili anlaşmalar yapmışlar, ancak her geçen gün artan talep ve iklim değişikliği nedeniyle azalan yağışlar sonucu kuraklık olaylarının görülmesi nedeniyle su yetersiz kalmış (Batan & Toprak, 2017) ve siyasi anlaşmazlıklar gibi başka nedenlerden dolayı da bu anlaşmalar da çoğu havzada çözüm olamamıştır.

Dünyada su sorununun çözümü için 1992 Helsinki, 1997 Birleşmiş Milletler sözleşmesi ve Avrupa Birliğince hazırlanan Su Çerçeve Direktifi (SÇD) gibi çok taraflı anlaşmalar da yapıp sınır oluşturan, sınır aşan sularla ilgili bir takım düzenlemeler getirilmiştir. Ancak suların yetersiz olması, sınır aşan havzaların kendine özgü özellikleri ve politik nedenler gibi daha başka nedenlerle de bu anlaşmalar da kesin çözüm olamamış ve su paylaşım sorunları yarım yüzyıldır devam etmektedir. Bu nedenle su paylaşım ya da kullanım sorunları havza bazında tüm tarafların katılımıyla bütüncül bir yaklaşımla, her havzada farklı çözüm önerileri geliştirilerek çözülebileceği düşünülmektedir.

Dünyada bir çok sınır aşan havzada sorunlar yaşanmıştır. Bu havzalardan bazıları; Lanoux gölü(Fransa-İspanya), Columbia nehri(Uruguay-Arjantin), İndus nehri(Hindistan-Pakistan), Colorado ve Tijuana nehirleri(ABD-Meksika),Çad gölü ve havzası(Kamerun-Çad-Nijer-Nijerya),Nil Nehri(Mısır-Sudan), Dicle-Fırat havzası(Türkiye-Suriye-Irak), Meriç havzası(Bulgaristan-Yunanistan-Türkiye)'dir (İnan, 1994).

Bu çalışmada da dünyada sorun yaşanan havzalardan olan ve Türkiye'nin en fazla sorun yaşadığı havzalardan olan Fırat-Dicle havzası ve Meriç havzası ayrı ayrı incelenmiş, bu havzalardaki kıyıdaşların yaşadıkları problemlere uluslararası sözleşmeler, uluslararası kabul görmüş doktrinler, ilkeler ve su çerçeve direktifi(SÇD) kapsamında ve yeni değerlendiril-

dirmelerle söz konusu havzalara özgü çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bu incelenen havzalardan Fırat-Dicle havzasında Türkiye memba ya da yukarı kıyıdaş ülke konumunda iken, Meriç havzasında mansap ya da aşağı kıyıdaş ülke konumunda bulunmaktadır. Bu nedenle bu iki havzada sunulan çözüm önerileri diğer havzalarda problem yaşayan memba ve mansap ülkeleri için de örnek teşkil edeceği düşünülmektedir.

Ayrıca bu çalışmayla Türkiye'nin en fazla sorun yaşadığı 2 havza hakkında çözüm önerilerinin yanında sınır aşan sular konusundaki doktrinler, sözleşmeler ve direktiflerin tümünün bir arada incelenebileceği bir kaynak elde edilmiştir.

## **2. SINIR AŞAN SULAR İLE İLGİLİ ULUSLARARASI METİNLER**

Sınır aşan sular konusu; su kaynaklarının yetersiz olması, su kaynaklarının farklı amaçlarla kullanılıyor olması, her havzanın kendine özgü özelliklerinin olması, kıyıdaş ülkelerin kendi aralarındaki siyasi anlaşmazlıkların tümü göz önünde bulundurulduğunda belli teknik kurallara bağlanması çok zor bir konu olup, hala üzerinde tam uzlaşma sağlanan uluslararası bir metin oluşturulmamıştır.

Bu çalışmada konunun daha iyi anlaşılması için önce kıyıdaş ülkeler arasındaki anlaşmazlıklar için öne sürülen çözüm önerilerinde referans alınan doktrinler hakkında bilgi verilmiş, daha sonra katılımın az olması nedeniyle uluslararası arenada kısmen kabul görmüş önemli anlaşmalar ve direktifler hakkında bilgi verilmiştir.

### **2.1.Sınır aşan Sular ile İlgili Uluslararası Doktrinler**

Bu doktrinler ülkelerin kendi menfaatleri doğrultusunda ortaya çıkardıkları ya da benimsedikleri ve bu doktrinleri öne sürerek sınır aşan sular konusunda çözüm önerileri sundukları için önem arz etmektedir ve bu nedenle bu çalışmada yer verilmiştir. Genellikle bu doktrinler yukarı kıyıdaş ülkelerin menfaatleri doğrultusunda ya da aşağı kıyıdaş ülkelerin yararına ortaya atılan görüşler içermektedir.

#### **2.1.1.Mutlak Ülke Egemenliği Doktrini**

Amerikalı bir hukukçu olan Judson Harmon tarafından ortaya atılan bu doktrin ülkelerin kendi topraklarındaki sular üzerinde egemenlik hakkı olduğu ve uluslararası toplum tarafından bu hakkın sınırlandırılmayacağı savunur (Hızlı, 2009).

Tek bir ülkenin egemenliğini kabul eden bu doktrin son derece katı ve uluslararası ortamda pek kabul görmeyen bir görüştür. Yukarı kıyıdaş ülkelerin yararına bir doktrin olduğundan memba ülkeleri zaman zaman referans göstermiştir (Hızlı, 2009).

### **2.1.2.Doğal Durumun Bütünlüğü Doktrini**

Bu doktrine göre yukarı kıyıdaş ülkeler sınır aşan suların miktarını değiştirecek hiçbir faaliyette bulunamaz (Burak, 2009). Herhangi bir kıyıdaş ülke, memba tarafında suyun kalitesi ve miktarında değişiklik yapılmamasını talep edebilir.

Aşağı kıyıdaş ülkelerin yararına olan bir doktrindir (Kaya, 2003). Bir havzada yukarı kıyıdaş olan bir ülke herhangi bir projeyi hayata geçirmek için aşağı kıyıdaş ülkelerle anlaşmak zorundadır. Bu görüş de mutlak ülke egemenliği doktrini gibi uluslararası mecrada pek kabul görmemiştir (Hızlı, 2009).

### **2.1.3.Ön Kullanım Üstünlüğü Doktrini**

Bu doktrine göre bir sınır aşan sudan hangi ülke daha önce faydalanmaya başladıysa o suyun kullanım hakkı o ülkeye aittir (Bilgiç, 2006). Genellikle ilk yerleşimler akarsuyun aşağı kısmında olduğundan aşağı kıyıdaş ülkelerin yararına olan bir görüş olarak yorumlandığı için uluslararası mecrada pek kabul görmemektedir (Kapan, 2006).

### **2.1.4.Makul ve Hakça Kullanım Doktrini**

Bu doktrine göre her kıyıdaş ülke kendi topraklarından geçen bir sınır aşan sudan makul ölçüde, hakkaniyet ilkesine uygun ve aşağı kıyıdaş ülkelere ciddi zarar vermeyecek şekilde yararlanabilir (İnan, 1993).

Bu doktrin suyun miktarından ziyade suyun kullanımının hakça olmasını savunur. Yukarı kıyıdaş ülke suyun kalitesi ve miktarını değiştirecek faaliyetlerde, aşağı kıyıdaş ülkeler bu durumdan etkileneceği için bilgi verilmesi istenir (Acer, 2006).

Uluslararası toplumda genel kabul gören bir görüş olsa da hakça ve makul kullanımın nasıl sağlanacağı ya da aşağı kıyıdaş ülkelere zarar vermeme sınırının nasıl belirleneceği hususları net değildir. Bu görüşün uygulanabilmesi ancak kıyıdaş ülkelerin birbirine güvenmesi ile mümkün gözükmektedir (Hızlı, 2009).

### **2.1.5.Diğer Görüşler**

Yukarıda açıklanan doktrinler dışında bir takım kaynaklarda “kullanımda öncelik ilkesi”, “sınırlı ülke egemenliği ilkesi” ve “yarar birliği ilkesi” olarak çeşitli ilkeler de sınır aşan sular konusunda diğer görüşler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kullanımda öncelik ilkesi, memba ülkelerinin suyun kaynağına sahip olmalarından ötürü suyun kullanımında öncelik sahibi olduğu görüşüdür. Ancak bilimsel kaynaklar bu önceliğin kazanılmış bir hak olmadığını belirtir (Hızlı, 2009).

Sınırlı ülke egemenliği ilkesi, her ülke diğer kıyıdaş ülkelerin haklarına zarar vermemek kaydıyla sınırları içerisinde bulunan sınır aşan suların faydalanabilir görüşünü savunur (Wildberg, 2002). Mutlak ülke egemenliği ve doğal bütünlüğün korunması doktrinlerine göre daha ılımlı olarak kabul edilse de zarar vermeme hususu net olmadığı için tartışmalara neden olmaktadır. Ayrıca yukarı kıyıdaş ülkelerini yükümlülük altına koyması nedeniyle tereddütlerle yaklaşmaktadır (Hızlı, 2009).

Yarar birliği ilkesi sınır aşan sularla ilgili en son ortaya konulan görüşlerdendir (Burak, 2009). Bu ilke ulusal sınırlar gözetmeden bir sınır aşan suda en iyi şekilde yararlanılmasını amaçlar. Avrupa Birliği tarafından ortaya konan Su Çerçeve Direktifi de bu yöntemi benimseyerek havzadaki kıyıdaş ülkelerin sınır aşan sularının idaresini entegre havza yönetimi ile yapmasını ister (Hızlı, 2009).

## **2.2.Sınır Aşan Sular ile İlgili Uluslararası Sözleşmeler ve AB Direktifi**

### **2.2.1.BM-AEK Sınır Aşan Boyutta Çevresel Etki Değerlendirmesi(Espoo) Sözleşmesi**

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu(BM-AEK) tarafından 1991'de kabul edilip, 1997'de yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşme sınır aşan etkilere sahip bir faaliyete ilişkin karar alma aşamasında bütün ilgili tarafların hak ve görevlerini tanımlayan ilk çok taraflı sözleşmedir. Bu sözleşme doğrudan sınır aşan sularla ilgili değildir. ÇED raporu talep edilen baraj ve hidroelektrik santralleri içermesi nedeniyle dolaylı olarak sınır aşan sular üzerine etkisi bulunmaktadır. Bir ülke diğer ülkelere etki edebilecek bir proje yapmadan önce etkilenmesi muhtemel ülkelere proje hakkında bilgi vermek ve bu ülkelerin cevaplarını beklemek zorundadır (Hızlı, 2009).

### **2.2.2.BM-AEK Sınır Aşan Su Yolları ve Uluslararası Göllerin Korunması ve Kullanımı(Helsinki) Sözleşmesi**

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu(BM-AEK) tarafından 1992'de kabul edilip, 1996'da yürürlüğe girmiştir. Sözleşme çeşitli faaliyetler ile ortaya çıkan ve sınır aşan etkisi olan olumsuz çevre kirliliğinin önlenmesi, kontrolü ve azaltılması için kıyıdaş ülkeler arasında işbirliğini amaçlamaktadır (Hızlı, 2009).

Daha çok mansap ülkelerinin haklarını savunan bir sözleşmedir. Hem bu yönüyle hem de imza atan tüm ülkelerin mevzuatları ve ekonomik gücü aynı olmadığı için uygulanması zor bir sözleşmedir (Bilen, 2009; Hızlı, 2009).

### **2.2.3.BM-AEK Çevresel Konularda Bilgiye Erişim, Karar Alma-da Halkın Katılımı ve Yargıya Başvuru(Aarhus) Sözleşmesi**

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu(BM-AEK) tarafından 1998’de kabul edilip, 2001’de yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşme ile nerede ikamet ettiğine bakılmaksızın yerli ve yabancı herkes bir projenin çevresel etkileriyle ilgili bilgi talep etme hakkına sahip olup, gerekli bilgilerin verilmemesi ya da yeterli bulunmaması durumunda yargıya başvurma hakkına sahiptir (Hızlı, 2009).

### **2.2.4.BM Uluslararası Su Yollarının Ulaşım Dışı Amaçlarla Kullanımlarına İlişkin Sözleşme**

1997 yılında BM genel kurulunda kabul edilmiş, ancak 17 yıl sonra 2014 yılında yürürlüğe girebilmiştir. Türkiye sözleşmeye imza atmamıştır. Sözleşmede “makul ve hakça kullanım” ve “diğer ülkelere ciddi zarar vermeme” prensiplerine göre bazı maddeler bulunmaktadır. Bazı maddelerinde de planlanan projelerle ilgili kıyıdaş devletlerin birbirlerini bilgilendirmesi gerektiği belirtilmiştir. Sözleşmede ülkeler arasında ihtilaf olması durumunda hakem kuruluna ve Uluslararası Adalet Divanı’na başvuru yapılabileceği yazılmıştır (Hızlı, 2009).

### **2.2.5.Sulak Alanların Korunması (Ramsar) Sözleşmesi**

1971 yılında kabul edilip, 1975 yılında yürürlüğe girmiştir. Sulak alanların korunması üzerine bir sözleşmedir. Direk sınır aşan sularla ilgili olmasa da sınır aşan sulak alanlar kapsamında sınır aşan sular kapsamına kısmen girmektedir. Sınır aşan sulak alanların korunmasına yönelik kıyıdaş ülkelerin birbirleriyle istişare etmesini tavsiye etmektedir (Hızlı, 2009). Dünyada 172 ülkenin imzasıyla en fazla katılım sağlanan sözleşmedir (<https://www.ramsar.org>).

### **2.2.6.Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi(SÇD)**

Avrupa Birliği’nin su kirliliği konusunda bölünmüş mevzuatını tek çatı altında birleştiren ve su yönetiminde entegre havza yönetim metodunu benimseyen bir direktiftir. SÇD 2000 yılında yürürlüğe girmiştir (Hızlı, 2009). Su sektöründe bütüncül anlayışı benimser ve kirletenin ödeyeceği, halkın katılımının sağlanacağı gibi ilkeleri bulunmaktadır (Burak, 2009). SÇD ile su kaynaklarının yönetimi idari sınırlara göre değil, nehir havzasının sınırlarına göre, yani entegre havza yönetim sistemi ile yapılması gerektiği kabul edilmiştir (Kaya, 2009). Ayrıca, SÇD’ye göre üye devletlerin kendi “nehir havzası yönetim planlarını” hazırlaması gerekmektedir (Karadağ & Uzun, 2009).

### 3.DEĞERLENDİRMEYE KONU HAVZALAR HAKKINDA BİLGİ

#### 3.1. Fırat-Dicle Havzası

Fırat-Dicle havzası Türkiye’de bulunan 25 hidrolojik havzadan en büyüğüdür. Fırat-Dicle havzası Türkiye’deki potansiyelin %28’ini oluşturur (Kaya, 2019). Dicle ve Fırat nehirlerinin her ikisi de Türkiye kaynaklı olup, Dicle Nehri 523 km, Fırat Nehri 971 km yol kat ettikten sonra Suriye ve Irak sınırlarına girerler. Fırat Nehri 600 km Suriye topraklarında akarak Irak topraklarına girer. İki nehir İran Körfezi’nden 190 km önce birleşip Şatt-ül Arap Nehri’ni oluşturmaktadır (Burak, 2009).

Karasu Nehri ve Murat Nehri, Fırat Nehri’nin en önemli 2 ana koludur. 2 nehir Keban Barajına ulaşmadan birleşip Fırat Nehri’ni oluşturur. Keban Barajı’ndan sonra Kuruçay, Tohma suyu, Kahta, Göksu ve Nizip suyu nehirlerini kendine bağlayan Fırat Nehri Birecik’ten Suriye topraklarına girer (Demir, 2006).

Dicle Nehri’ni oluşturan kaynaklardan biri Elazığ yakınlarındaki Hazar Baba Dağı’ndan doğar, diğeri ise Maden Dağı’ndan doğan Maden Çayı’dır. Dicle Nehri, Türkiye sınırları içerisinde Dipni, Deve Geçidi, Ambar, Göksu, Aşağı Hanık, Kuruçay, Batman, Garzan, Botan ve Ilısu gibi akarsularla beslenir (Hızlı, 2009). Dicle Nehri, 30 km Türkiye-Suriye sınırını oluşturup Irak topraklarına girmektedir (Tiryaki, 2008).

Bu iki nehir üzerinde enerji ve sulama amaçlı bir çok baraj bulunmaktadır. Şekil 1’de Fırat ve Dicle Nehirleri üzerinde bulunan irili ufaklı bir çok baraj gösterilmiştir. Türkiye’de Fırat-Dicle havzası üzerinde kurulan Keban, Karakaya, Atatürk barajları kıyıdaş ülkelerle sorun oluşturan önemli barajlardır. 13 farklı su geliştirme projesini kapsayan GAP projesinin büyük bölümü de Fırat-Dicle havzası sınırları içerisinde kalmaktadır (Hızlı, 2009).



Şekil 1. Fırat-Dicle nehirleri üzerinde bulunan barajlar (<http://topraksuenerji.org>)

Fırat nehrinin ortalama yıllık akış miktarı 35,38 milyar m<sup>3</sup> olup, Türkiye'nin katkısı 31.58 milyar m<sup>3</sup> (%88,70), Suriye'nin katkısı 4 milyar m<sup>3</sup> (%11,30)'dur. Irak'ın katkısı yoktur. Dicle nehrinin ise, ortalama yıllık akış miktarı 48,67 milyar m<sup>3</sup> olup, Türkiye'nin katkısı 25.24 milyar m<sup>3</sup> (%51,90), Irak'ın katkısı 23,43 milyar m<sup>3</sup> (%48.10)'dur. Suriye'nin katkısı yoktur (Erdağ, 2015).

Bu verilere göre Fırat ve Dicle Havzasının yıllık ortalama akım potansiyeli 84,25 milyar m<sup>3</sup> 'tür. Bu miktarın yaklaşık %67'si Türkiye'de, %6'sı Suriye'de, %27'si de Irak'ta bulunmaktadır. Ancak, iki havza için 3 ülkenin talep ettiği toplam su miktarı ise 107,39 milyar m<sup>3</sup> 'tür. Türkiye'nin talebi 25,29 milyar m<sup>3</sup>, Suriye'nin talebi 14,10 milyar m<sup>3</sup>, Irak'ın talebi 68 milyar m<sup>3</sup> 'tür. Yani toplam su potansiyeli 84,25 milyar m<sup>3</sup> iken, talep edilen su daha fazladır. Bu nedenle su yetmemekte ve 3 ülke arasında gerginlikler ortaya çıkmaktadır (Erdağ, 2015).



### 3.2. Meriç Havzası

Türkiye, Yunanistan ve Bulgaristan Meriç havzasında kıyıdaş ülkelerdir. Bulgaristan'da doğan Meriç ve Tunca Nehri ile yine Bulgaristan'da doğup Yunanistan topraklarından geçip Meriç Nehri ile birleşen Arda Nehri, Edirne'de birleşmektedirler. Yunanistan'dan gelen Kızılçay ve Türkiye'deki Ergene nehri de Meriç nehriyle birleşip Türkiye'de Ege Denizi'ne dökülmektedir. Meriç nehri 490 km uzunluğunda olup, bunun Edirne'den denize döküldüğü yere kadar olan 187 km 'lik kısmı Türkiye-Yunanistan sınırını oluşturmaktadır (Kibaroğlu, 2008).

Meriç havzası 53.475 km<sup>2</sup> 'lik bir alanı kapsamakta, bu alanın 35.230 km<sup>2</sup>'lik kısmı Bulgaristan'da, 14.560 km<sup>2</sup>'lik kısmı Türkiye'de, 3685 km<sup>2</sup>'lik kısmı da Yunanistan'da bulunmaktadır (UN, 2011).

Meriç köprüsündeki ölçüm istasyonu verilerine göre Meriç'in yıllık ortalama debisi 182 m<sup>3</sup>/s'dir(Kibaroğlu, 2008). Meriç havzası toplam su potansiyeli 8 milyar m<sup>3</sup>/ yıl'dır. Bu potansiyelin büyük bir kısmı Bulgaristan'daki alt havzalardan kaynaklanmaktadır. (Öziş & Baran, 2002).

Meriç sularından Yunanistan ve Türkiye daha çok tarımsal faaliyetler için yararlanmakta iken, Bulgaristan Meriç sularından daha çok barajlar ile enerji üretimi için yararlanmaktadır (Kimençe, 2015). Bulgaristan'da Meriç nehri ve alt havzalarında bulunan barajlar Şekil.2'de görülmektedir.



Şekil 2. Bulgaristan'da Meriç nehri üzerinde ve alt havzalarda bulunan barajlar  
 (<https://www.hedefgazetesi.com.tr>)

## 4.SÖZ KONUSU HAVZALARDA ÜZERİNDE ANLAŞMAYA VARILAMAYAN KONULAR

### 4.1.Fırat-Dicle Havzasındaki Sorunlar

Fırat-Dicle havzasında kıyıdaş ülkeler arasındaki problemler, özellikle su paylaşımı konusundaki anlaşmazlıklar Meriç havzasına göre daha büyüktür. Ayrıca su kirliliği üzerine de anlaşmazlıklar vardır. Ortadoğu'daki su sorunu ve yağış azlığından dolayı Fırat-Dicle nehirlerinde de akım rejimi düzensiz akmakta ve özellikle yaz aylarında kıyıdaş ülkeler su sıkıntısı çekmektedir.

Yukarıda da açıklandığı üzere kıyıdaş ülkeler olan Türkiye, Irak ve Suriye'nin ihtiyacı olan su miktarı 107,39 milyar m<sup>3</sup> iken, Fırat-Dicle havzasının yıllık ortalama akım potansiyeli 84,25 milyar m<sup>3</sup>'tür. Bu nedenle su yeterli olmadığı için ülkeler arasında suyun tahsisi konusunda büyük gerginlikler yaşanmaktadır (Erdağ, 2015).

Fırat-Dicle Havzası'nda havza genelinde organik kirlilikte bir gösterge olan KOİ ve azot parametrelerinden NH<sub>4</sub>-N'e göre nehir suları Sınıf I (temiz su) ve Sınıf II (az kirli su)'da yer almaktadır. 2012 yılında yapılan araştırmaya göre noktasal KOİ yükünün yaklaşık %79'u kentsel, %20'si endüstriyel ve %1'i katı atık kaynaklıdır. Yine aynı yıl yapılan çalışmaya göre toplam noktasal kirlilik yükleri içerisinde toplam azot (TN) oranı

%19 ve toplam fosfor (TP) ise %39 olarak belirlenmiştir. TN yükü açısından kullanım %89 kentsel, %10 endüstriyel kullanımdır. TP yükünün ise yaklaşık %96'sı kentsel atık sularından, %4'ü de endüstriyel faaliyetlerden kaynaklıdır (Kaya, 2019). Görüldüğü üzere Fırat-Dicle havzası suları Meriç havzası suları kadar kirli olmasa da bazı parametrelerde az kirli su seviyesindedir.

#### 4.2.Meriç Havzasındaki Sorunlar

Meriç nehri sınır aşan su olması nedeniyle kıyıdaş ülkeler olan Yunanistan, Bulgaristan ve Türkiye arasında bazı konularda problemler yaşanmaktadır. Bu problemlerin en önemlileri su akımında azalma, su kalitesinde azalma ve taşkınlardır (ORSAM, 2011).

Havzaya fazla yağış düştüğünde Bulgaristan'da bulunan bir çok barajın dolması nedeniyle baraj kapaklarının açılmasıyla Türkiye ve Yunanistan topraklarında taşkınlık meydana gelmektedir. Özellikle Edirne ilinde yıllardır meydana gelen taşkınlık, can kaybı ve maddi zarara neden olan önemli bir sorundur. Bu taşkınlık, toprak erozyonuna da neden olmaktadır ve çevre kirliliği de yaratmaktadır (Tombul, 2014).Türkiye ile Yunanistan Meriç nehrinin sınır oluşturduğu bölümde seddeler yaparak nispeten bu probleme çözüm geliştirmişlerse de bu yeterli olmamıştır (Özdemir, 2015). Şekil 3'te Edirne ilinde meydana gelen taşkın sonucu şehrin su altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.Edirne ilinde meydana gelen taşkından görünüm (<https://www.hidropolitikakademi.org/tr>)

Meriç havzasındaki bir problem de kirlilik problemidir. Meriç Nehri'nin Bulgaristan sınırı bölgesinde 2008 yılında yapılan analizlerde kurşun, mangan ve toplam kjeldahl azotu değerleri bakımından II.Sınıf, fosfor ve demir bakımından III.Sınıf, alüminyum, civa, gres ve yağ bakı-

mından IV.Sınıf akarsu özelliği taşıdığı belirlenmiştir. Su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre II.Sınıf su az kirli, III.Sınıf su kirli, IV.Sınıf su çok kirli sınıfa girmektedir Bu analizler göstermektedir ki, Meriç Nehri suları kirlidir. Türkiye'ye girdikten sonra da evsel atıklar, sanayi atıkları ve tarımsal atıklarla daha da kirlenmektedir (Tombul, 2014).

Meriç havzasındaki en önemli problemlerden biri de su tahsisi sorunudur. Bulgaristan'ın Şekil 2.'de gösterilen bir çok barajda su tutması nedeniyle Meriç nehrinde su akımı azalmaktadır. Meriç sularıyla tarımsal sulama yapan mansap ülkeleri Türkiye ve Yunanistan bu durumdan zarar görmektedir. Hatta Türkiye Bulgaristan'dan su satın almak zorunda bile kalmıştır(Özdemir, 2015).

## **5.DEĞERLENDİRME VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

### **5.1.Fırat-Dicle Havzası için Çözüm Önerileri**

Fırat-Dicle havzasında kıyıdaş ülkeler olan Türkiye, Irak ve Suriye'nin anlaşamadığı en büyük sorun suyun paylaşımı konusudur. Bunun dışında suyun kalitesi üzerine de zaman zaman anlaşmazlıklar çıkmaktadır. Bu havzada Türkiye memba ülkesi, yani suyun kaynağının olduğu ülkedir. Irak ve Suriye de mansap ülkesi, yani aşağı kıyıdaş ülkelerdir.

1960'lara kadar Fırat-Dicle havzasında kıyıdaş ülkelerin su kaynakları üzerine projeleri olmadığı için su paylaşımı üzerine aralarında sorun çıkmamıştır. 1960 'lardan sonra 3 ülkede de enerji ve sulama amaçlı barajlar yapılmaya başlanınca problemler de ortaya çıkmıştır. Özellikle Keban ve Karakaya barajları yapılmaya başlanınca problemler çıkmıştır. 1980'lerde GAP projesinin hayata geçmesiyle gerginlikler had safhaya ulaşmıştır (Hızlı, 2009).

Fırat-Dicle havzasının suyun yetersiz olduğu Ortadoğu'da olması ve bu üç ülkenin aralarında siyasi ve askeri bir takım anlaşmazlıkların olması problemin çözümünü zorlaştırmaktadır (Valvis, 2011). Nil nehrinde çözüme ulaşılmamasının nedeni havza ülkelerinin birbirleriyle siyasi, ekonomik ve askeri bakımdan çatışma halinde olmaması ve Mısır'ın ekonomik ve siyasal açıdan diğer ülkelere ağırlığını koyabilecek bir ülke olmasıdır (Öz, 2006).

Fırat-Dicle havzasında Türkiye nispeten diğer kıyıdaş ülkelere göre ekonomik ve siyasal açıdan ağırlığı olan bir ülke olmasına rağmen ülkeler arasında bir takım siyasi ve askeri çatışmaların olması problemin çözümünü zorlaştırmıştır. Dünyadaki diğer sınır aşan sular incelendiğinde siyasi ve askeri sorunlar ayrı tutulmadan yapılan görüşmelerin bir sonuç vermediği görülmüştür (Öz, 2006).

Geçmişe bakıldığında bu üç ülke arasında problemin çözümüne yö-

nelik birçok anlaşma yapılmıştır. Ancak bu anlaşmalar hep iki ülke arasında yapılmış, üçüncü ülke dışlanmıştır. Bu da göstermektedir ki havza ülkeleri arasında problemin bütüncül bir yaklaşımla çözümüne yönelik bir işbirliği yoktur (Hızlı, 2009).

AB ülkelerinin çıkardığı SÇD’de havza planlamasının bütüncül olarak yapılması gerektiği belirtilmiştir. Devlet sınırları değil, havza sınırları dikkate alınarak planlamalar yapılmalıdır(Özdemir, 2015).

Türkiye problemin çözümü için bazı çözüm önerileri geliştirmiştir. Bunlardan biri, sunmuş olduğu 3 kademeli çözüm önerisidir. Bu 3 aşamadan oluşan plan;

-Tüm kıyıdaşların kullanılabilir su ihtiyacını belirleme

-Havzadaki her bir ülkenin sulanabilir arazilerinin tespiti

-Mevcut suyun elde edilen bu verilere göre akılcıl bir şekilde paylaşılmasıdır (D.Kırkıcı, 2014).

Bu plana göre, Fırat ve Dicle havzası bir bütün olarak düşünülecek ve ihtiyaç ona göre belirlenecektir. Tarıma uygun olmayan, verimi düşük tarım arazileri belirlenip, su tasarrufu yapan yağmurlama, damlama gibi sistemlerle sulama yapılması sağlanacaktır (Hızlı, 2009).

Bu planda Türkiye, AB üyesi olmamasına rağmen, SÇD’nin havzayı bir bütün olarak ele almak gerektiği prensibine uymuş ve akılcıl yöntemler ile çözüm önerileri getirmiştir. Ancak, diğer kıyıdaş ülkeler olan Suriye ve Irak bu planı uygulamaya yanaşmamıştır.

Bu plan dışında Türkiye bölgedeki su sorununu çözmek için Barış suyu planını önermiştir. Bu planla Seyhan ve Ceyhan nehirlerinden denize dökülen su iki ayrı boru hattı ile Arap yarımadasındaki ülkelere ulaştırılması planlanmıştır. Bu plan maliyeti yüksek bulunduğu için ve de Arap ülkelerinin plan kapsamında İsrail’in olmasını istemedikleri için uygulanmamıştır. Ayrıca Arap ülkelerinin suda Türkiye’ye bağımlı olunacağı yorumları da yapılmıştır (Hızlı, 2009).

Türkiye Fırat-Dicle havzasında 2 nehir tek havza ilkesini savunur. BM 1997 sözleşmesinde de bulunan “suyun hakça ve makul kullanımı” ile “diğer kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme” prensiplerini savunmakla beraber suyun hakça ve makul kullanımı prensibinden, önerdiği 3 aşamalı planda da görüleceği üzere suyun en fazla yarar sağlayacak şekilde kullanılmasını kasteder (Özdemir, 2015).

Türkiye diğer kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme prensibi aşağı kıyıdaş ülkeler için çıkarılmış bir prensip olmasına rağmen iyi niyetli ve çözüm odaklı olduğunu göstermek için bu prensibe göre hareket etmektedir. Çünkü, akarsular akım yönü itibariyle yukarı, memba ülkesine doğru aka-

mayacağı için sadece aşağı kıyıdaş ülkelerin yararına çıkarılmış ve genel kabul görmüş bir prensiptir. Bu prensibin isminin “aşağı kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme olarak değiştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Türkiye bir çok memba ülkesinin yapmamasına rağmen Fırat nehrinde rakamsal olarak ne kadar su bırakacağını taahhüt etmiştir (Hızlı, 2009). Türkiye'nin Fırat ve Dicle havzasında iyi niyetli olduğunun bir başka göstergesi de Suriye ve Irak tarafından talep edilen bilgi ve verileri paylaşmasıdır (Yakış, 2009).

Ancak, buna karşın Fırat-Dicle havzasında mansap ülkeleri olan Suriye ve Irak uluslararası arenada birlikte hareket edip memba ülkesi olan Türkiye'ye baskı kurmuşlardır (Hızlı, 2009). Bunun sonucunda da biraz da Türkiye'nin iyi niyet göstermesiyle sürekli mansap ülkelerine bırakılan su artırılmıştır.

Mansap ülkesi olan Suriye ve Irak, Fırat-Dicle sularının eşit paylaşılmasını istemektedirler. Ancak, Suriye memba ülkesi konumunda olduğu Asi nehri için bunu kabul etmemektedir. Irak Dicle nehrinden kendisine az su bırakıldığını savunmaktadır. Ancak, buna karşın Dicle'den Suriye'ye su bırakılmasına da karşı çıkmaktadır. Hatta Suriye'nin içinde olduğu üçlü toplantılara da karşı çıkmaktadır (Hızlı, 2009).

Eşit paylaşım ilkesi uluslararası arenada ülkeler arasında sınır oluşturan ve su taşımacılığı yapılan uluslararası sular için genel kabul görmektedir. Fırat-Dicle sularında su taşımacılığı yapılmadığı için ve ülkeler arasında sınır oluşturmadığı için Türkiye, bu iki nehrin uluslararası su tanımına uymadığını ve sularının eşit paylaşılamayacağını ifade etmektedir (Hızlı, 2009).

Ayrıca, Türkiye yaptığı barajların mansap ülkelerini sel ve taşkınlardan koruyacağını, akım rejimini düzenleyerek kuraklığı azaltacağını, mansap ülkelerindeki HES'lere düzenli su ulaşacağı için enerji üretimlerinin artacağını, mansap ülkelerindeki baraj göllerinde rusubatın azalacağını, savunmaktadır (Hızlı, 2009).

Türkiye arazi alanları ile ilgili paylaşılan verilerin doğru olduğunu düşünmemektedir. Mansap ülkelerinin daha fazla su alabilmek için sulanamaz alanları da sulu tarım arazisi olarak gösterdiğini düşünmektedir (Hızlı, 2009). Mansap ülkeleri olan Irak ve Suriye, Türkiye'nin yaptığı projelerin kendilerine bir baskı aracı olarak kullanılacağını düşünmektedirler (Hızlı, 2009). Bu yaklaşımlar da göstermektedir ki, kıyıdaş ülkeler birbirine güvenmemektedir.

Tüm bunlar göstermektedir ki, üç ülke havzada ki suyun paylaşımı ve su kirliliği problemini çözmek için siyasi ve askeri anlaşmazlıkları bir yana bırakıp, iyi niyet çerçevesinde iş birliği yapmalı ve ortak çalışma

gruplarıyla yerinde inceleme ve ölçümler yapılarak, veriler şeffaf bir şekilde elde edilip çözüm yolları geliştirilmelidir.

Üç ülke arasındaki işbirliği tüm tarafların yararına olacaktır. Örneğin ortak baraj yapılmasıyla maddi yetersizlikten dolayı tek başına yapılamayan barajlar yapılarak enerji üretilip kıyıdaş ülkeler arasında paylaşılabilir. Ya da yağışlı dönemlerde baraj haznesinde su depolanıp kurak dönemlerde sulama amaçlı kullanılabilir. Ve bu sayede boşa akan sudan hem enerji elde edilip, hem de sulamada kullanılarak tüm kıyıdaş ülkeler uzun vadede ekonomik kazanç sağlayabilir. Ya da ortak arıtma tesisleri yapma gibi suyun kalitesi için yapılacak işbirlikleri de suyun kalitesindeki iyileşmeler ile balık ve benzeri biyolojik çeşitlilik artırılarak ya da turizm geliri artırılarak yine ekonomik kazanç sağlanabilir ve çevreye de olumlu katkıları olur. Hatta sınır aşan sular konusundaki iyi niyetli bir işbirliğinin diğer alanlara yansımaları da olabilir.

Su havzalarında yukarıda bahsedilen uluslararası sözleşmelerde entegre havza yönetimi benimsenmekte, yani devlet sınırları gözetilmeksizin havzayı bir bütün olarak ele alıp işbirliği yapılması, bu bağlamda kıyıdaş ülkeler arasında bilgi alışverişi yapılması istenmektedir. Fırat-Dicle havzasında da entegre havza yönetimi yapılması gerektiği düşünülmekte, ancak bu işbirliği yukarıda da bahsedildiği gibi güven ve iyi niyet çerçevesinde olmalıdır. Örneğin, Türkiye, masap ülkelerinin daha fazla su alabilmek için sulanabilir tarım arazilerini yüksek gösterdiğini düşünmektedir. Yine Suriye ve Irak Türkiye'nin paylaştığı bilgi ve belgelere güvenmemektedir.

Üç ülke arasında geçmişten gelen siyasi ve askeri çatışmalar bu güven sorununu aşmalarını engellemektedir. Bunun için, öncelikle kıyıdaş ülkeler karşılıklı iyi niyet adımları atıp, ortak komisyon ya da çalışma grupları kurarak havza ile ilgili ölçümleri beraber şeffaf bir şekilde yapmalı ve bir denetim mekanizmasının da olması gerekmektedir (Özdemir, 2015). Ancak bu denetim mekanizması kıyıdaş olmayan ülke temsilcilerinden ya da uluslararası kurumların müdahil olmasıyla olmamalıdır (Köle, 2017). Çünkü, kıyıdaş olmayan taraflar o anki siyasi gündeme göre taraflı davranabilmektedirler. Ya da siyasi ve ekonomik açıdan güçlü olan ya da uluslararası arenada güçlü bağlantıları olan taraf, bu ülke veya kurumlara baskı yapıp avantaj sağlayabilir. Fırat-Dicle havzasında geçmişte yapılan anlaşmalara bakıldığında, Fransa kıyıdaş ülke pozisyonunda olmamasına rağmen anlaşmalara müdahil olmuştur. Aynı şekilde Dünya Bankası da bir hakem ya da mahkeme pozisyonunda görev almıştır.

Her ne kadar uluslararası toplumda Hakça kullanım ilkesi kabul görse de memba ülkeleri tarafından bu ilkenin kabul görmediği, kabul görse de uygulamada çeşitli bahaneler ileri sürülerek hayata geçirilmediği görül-

mektedir. Bu nedenle akarsuyun kaynağının bulunduğu memba ülkesine ve ülkelerin suya katkısı da dikkate alınarak, katkısı fazla olana sudan daha fazla kullanım hakkı verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu oranın ne olacağı her havza için ayrı olmakla beraber kıyıdaş ülkeler kendi aralarında görüşüp ya da uluslararası arenada tartışılıp karar verilebilir. Suyun fazla olduğu dönemlerde bu oran mansap ülkesi lehine artırılabilir. Ancak, inisiyatif memba ülkesinde olması gerektiği düşünülmektedir.

SÇD gereği AB üyesi olan ülkelerden nehir havzası yönetim planı(N-HYP) hazırlaması istenmektedir (Meriç tezi). Türkiye AB aday ülkesi olup, müzakerelere devam etmektedir. Türkiye'nin AB'ye üye yapılması problemin çözümüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir. SÇD'ye göre, AB üyesi ülkelerden, her havza için NHYP hazırlaması istenmekte, bu planlara göre nehir havzası yönetim yapıları (NHYY) yapmaları gerekmektedir. Bu yapıları yapmak için de kıyıdaş ülkelerle işbirliği içinde olma ve bilgi alışverişi yapma zorunluluğu getirilmektedir. Ayrıca, AB üyesi ülkelere bu projelerini hayata geçirebilmesi için hibe ve krediler verilmektedir. Türkiye, AB üyesi yapılırsa bu kredi ve hibe fonlardan daha fazla yararlanıp kıyıdaş ülkelerle ortak barajlar yaparak suyun paylaşımı konusunda mesafe kat edilebilir ya da arıtma tesisleri yaparak su kirliliğini azaltabilir.

Son yıllarda su, gıda ve enerji üçlü ilişkisi ile havza yönetimi ve bu 3 sektör için gerekli su kaynaklarının bütüncül bir yaklaşımla yönetilmesi fikri ön plana çıkmış ve uluslararası arenada kabul görmeye başlamıştır. Su kaynakları insan ve çevre için temel ihtiyaç olmaktan çıkıp, ekonomik getirisi olan bir varlık halini almıştır. Fırat-Dicle havzasında enerji üreten barajların memba ülkesi Türkiye'de kalması ya da sulu tarım yapılan arazilerin daha çok mansap ülkeleri olan Suriye ve Irak'ta kalması su, gıda, enerji dengesini bozup, çözümü zorlaştırmakta ve anlaşmazlıkların çözümü için kıyıdaş ülkeler arasında sınır aşan iş birliğinin daha sıkı olmasını gerektirmektedir. Bunun üç ülkenin de yararına olacağı düşünülmektedir (Özdemir, 2015).

Bu yapılan değerlendirmeler ışığında Fırat-Dicle havzasındaki su problemine dair çözüm önerileri; havza yönetimi, suyun paylaşımı, diyalog ve iletişim ve diğer hususlar ana hatlarıyla Tablo 1'de verilmiştir.



*Tablo 1.Fırat-Dicle Havzası'nda ana hatlarıyla çözüm önerileri (Valvis, 2011; Özdemir, 2015; Hızlı, 2009)*

Havza Yönetimi	-Havza alanını dikkate alan su, gıda ve enerji yaklaşımı
	-3 kıyıdaş ülkenin beraber yaptığı anlaşmalar
	- Geçmişteki siyasi ve askeri çatışmalardan arındırılarak çözüm üretme
	- Bilgi ve belge paylaşımı
	- Havzadaki ölçüm ve analizlerin ortak çalışma gruplarıyla ve şeffaf yapılması
	- Denetim mekanizması (ortak komisyon ile yapılacak)
Suyun Paylaşımı	-Memba ülkesi ve suya katkısı fazla olan ülkenin sudan daha fazla yararlanma hakkı olmalı (Suyun fazla olduğu dönemde mansap ülkesi lehine artırılabilir).
	-Diğer kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme prensibinin, "aşağı kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme" olarak değiştirilmesi. (Yukarı kıyıdaşlara zarar verme gibi bir durum söz konusu olmadıgından)
Diyalog ve İletişim	- İyi niyet ve güven temelli yaklaşım
	-3 kıyıdaş ülkenin beraber diyalog kurması
	-Kıyıdaş ülkeler dışındaki ülke veya uluslararası kuruluşların müdahale etmemesi
	-Su alanındaki iyi niyet ve güvenin tesis edilmesinin diğer alanlara da yansımalarının olacağı ve tüm kıyıdaşların bundan karlı çıkacağı bilinci
Diğer Hususlar	-Türkiye'nin AB üyesi olması (Kredi ve hibelerden yararlanma imkanı artacak)
	-Teknoloji ve Teknik bilgi transferi (Az su tüketen sulama sistemleri, kaliteli tohum gibi)
	-Ortak proje yapma (Baraj yapıp suyu biriktirip ortak kullanma ya da arıtma tesisi yapıp suyun kalitesini yükseltme gibi)

## 5.2.Meriç Havzası için Çözüm Önerileri

Meriç Havzası'nda yukarıda bölüm 4.2'de de ayrıntılı bir şekilde açıklandığı üzere en büyük problemler taşkın, su kirliliği ve suyun paylaşımı konularında yaşanmaktadır. Meriç Havzası'nda Bulgaristan memba ülkesi, Türkiye ve Yunanistan ise mansap ülkesidir.

Meriç havzasındaki en büyük problemler havzada memba ülkesi olan Bulgaristan'ın sulama ve enerji amaçlı birçok barajda suyu tutması ve yağışların fazla olduğu dönemlerde baraj kapaklarını birden açmasıyla mansap ülkelerinde taşkınlar yaşanmasıdır. Yağışların az olduğu özellikle yaz aylarında da yine barajlarda suyu tutarak mansap ülkelerine yeteri kadar su bırakmamaktadır. Ayrıca havzanın memba tarafında sanayi tesisleri atıklarının nehir sularına bırakılması ya da tarım ilaçları nedeniyle tarlaların drenaj kanallarında kirlenmiş suyun nehre akıtılmasıyla mansap ülkelerine ulaşan su kirlenmektedir.

Bu problemler açıkça göstermektedir ki mansap ülkeleri olan Türkiye ve Yunanistan'ın bir çok ortak etkilendiği ve zarar gördüğü konu vardır. Bu nedenle Türkiye ve Yunanistan Meriç Havzası'nda geçmişteki askeri ve siyasi problemleri bir tarafa bırakıp, beraber hareket etmelidirler (Valvis, 2011; Özdemir, 2015). Bu sayede memba ülkesi olan Bulgaris-

tan'a uluslararası arenada daha fazla baskı kurabilirler. Bu her iki ülkenin menfaatine olur. Türkiye ve Yunanistan anlaşamadığı için Bulgaristan bu durumdan karlı çıkmaktadır. Fırat-Dicle havzasında bu yaklaşım açık bir şekilde Türkiye aleyhine sonuç vermiştir. Mansap ülkeleri olan Suriye ve Irak ortak hareket edip Türkiye'ye baskı kurmuşlar ve kendilerine tahsis edilen su miktarını sürekli artırmışlardır.

Meriç Havzası'nda çözümü engelleyen en büyük sorunlardan bir tanesi de kıyıdaş ülkeler arasında birçok ikili anlaşma yapılmış olmasına rağmen uygulamada bunların hayata geçmemesidir. Havzada tüm kıyıdaş ülkelerin beraber karar almadığı, 3 ülkenin ortak imzasıyla anlaşmalar yapılmadığı sürece çözüm üretilmesi imkansızdır (Özdemir, 2015). Çünkü sınır aşan sular tüm kıyıdaş ülkeleri ilgilendirmektedir. Örneğin su kirliliği konusunda 2 ülke aralarında anlaşıp kirliliği azaltıcı önlemler olsa da üçüncü ülke bu önlemlere uymadığı takdirde nehirin tamamen temizlenmesi mümkün değildir. Nitekim, Türkiye taşkın sorununun çözülmesi için Bulgaristan ile işbirliği yapmış, ancak bu yeterli olmamıştır (Özdemir, 2015).

SÇD'ye göre ve diğer bir takım uluslararası sözleşmelerde havza planlamasının entegre havza yönetimine göre; yani devlet sınırları değil, havza sınırları esas alınarak yapılması gerektiği belirtilmiştir. SÇD de ayrıca kıyıdaş ülkelerin ortak hareket etmesi, bilgi ve belge paylaşımı yapması istenmekte ve havza planlarının kıyıdaş ülkeler arasında koordineli bir şekilde "hakça ve makul kullanım" ve "kıyıdaş ülkelere zarar vermeme" prensipleri çerçevesinde yapılmasını istemektedir (Sağlam, 2014; Özdemir, 2015). Ancak, kredi ve hibe fonları hakça dağıtılmamaktadır. AB üyesi olan ülkelere daha fazla kredi ve hibe verilmektedir. Bu nedenle Türkiye, AB üyesi olan Yunanistan ve Bulgaristan kadar Avrupa Birliği'nden maddi destek alamamaktadır (Özdemir, 2015). Halbuki entegre havza yönetimiyle havza ülkelerinin birlikte hareket etmesini, birlikte proje yapmasını isteyen AB, maddi desteklerde eşit paylaşım yapmamaktadır. Bu da havzada kalıcı çözümü engellemektedir. Buna çözüm olarak müzakerelere devam eden Türkiye'nin bir an evvel AB üyesi yapılması ve bu sayede kredi ve hibelerin eşit paylaşımı konusunda engelin kaldırılması gerekmektedir. Ayrıca, Türkiye AB üyesi olunca üye ülkelerden istenen Nehir Havzası Yönetim Planları (NHYP)'ni yapması gerekecektir (Özdemir, 2015). Bu da sürecin çözümüne ve diğer kıyıdaş ülkelerle işbirliğine katkı sağlayacaktır. Türkiye henüz AB üyesi olmamasına rağmen müzakereler çerçevesinde ve problemlerin çözümü ile kıyıdaş ülkelerle diyaloga katkı sağlamak için bazı havzalarda NHYP gereği, Nehir Havzası Yönetim Yapıları (NHYY)'leri hazırlamaya başlamıştır. Yunanistan ve Bulgaristan havza yönetim planlarını hazırlamadıkları için ya da kıyıdaş ülkelerle yeterince iş birliği yapmadıkları için uluslararası toplantılarda

kınanmışlardır (Özdemir, 2015). Türkiye, havzadaki problemlerin çözümü için bu durumu fırsat bilip, uluslararası toplantılarda Yunanistan ve Bulgaristan'ı iş birliğine ve ortak NHYP planları hazırlamaya ve ortak projeler yapmaya zorlamalıdır.

Tüm AB üyesi ülkeler SÇD'yi kabul etmemişlerdir. Ancak gelecekte tüm ülkeler tarafından kabul edilebilecek bir su sözleşmesi SÇD temelinde olacağı beklenmektedir (Özdemir, 2015). Bu yüzden şimdiden SÇD'ye uyumlu planlar yapmak yararlı olacaktır. Türkiye'nin de bu planları yapmaya başlaması ileriki süreçlerde kendisine avantaj sağlayacaktır.

SÇD'ye göre AB havza yönetimi kapsamında bilgi ve belge paylaşımı yapılmasını istemektedir. Ancak, Yunanistan su kalitesi konusunda bilgi paylaşmamaktadır (Özdemir, 2015). Türkiye ile Yunanistan havza mansap ülkeleri olmalarına ve birçok sorundan beraber zarar görmelerine rağmen siyasi ve askeri anlaşmazlıklar yüzünden birbirine güvenmemekte ve beraber hareket etmeyerek her geçen gün ciddi çevresel hasarlara ve büyük ekonomik kayıplara katlanmaktadır. 1930'lardan sonra sınır aşan sularla ilgili ikili anlaşmalar yapılsa da 1960'lardan sonra Kıbrıs sorunu ile birlikte Türkiye'nin, Yunanistan ile ilişkileri gerilmiş ve sınır aşan sular konusunda da süreç zorlaşmıştır (Özdemir, 2015).

Meriç Havzası'nda da Fırat-Dicle Havzası'nda olduğu gibi enerji üretim amaçlı barajların memba ülkesinde, tarım yapılan arazilerin mansap ülkelerinde kalması su, gıda, enerji dengesini bozmakta ve çözümü zorlaştırmaktadır. Yine bu nedenle kalıcı çözüm için kıyıdaş ülkelerin daha sıkı sınır aşan iş birliği içinde olması, karşılıklı güven ve iyi niyet çerçevesinde ortak hareket etmesi gerekmektedir. Bu üç ülkenin de her bakımdan yararına olacaktır (Özdemir, 2015).

Meriç havzasında 3 kıyıdaş ülke havza planlamasını tek başına yapmaktadır. Bu da kıyıdaşlar arasında işbirliğinin çok düşük olduğunu göstermektedir. SÇD' de bütüncül olarak ve diğer kıyıdaş ülkelerle beraber ortak projeler geliştirilerek yapılması gerektiği belirtilmiştir. Meriç havzasında yapılan ikili anlaşmalarla sedde inşaatları tamamlanmış ve taşkın erken uyarı sistemi kurulmuştur (Özdemir, 2015). Ancak, zaman zaman meydana gelen taşkınlar göstermektedir ki bu çabalar yeterli olmamıştır. Üçlü anlaşmalarla havzadaki problemlere kalıcı çözüm getirilebilir.

Meriç havzasında iş birliğinin sağlanıp taşkın koruma yapıları, barajlar, erken uyarı sistemleri, akım ölçüm istasyonları, arıtma tesisleri gibi yatırımların yapılmaya başlanması, başlangıçta tüm kıyıdaş ülkelere maddi yük getirirse de havzadaki problemlerden kaynaklı zararlar düşünüldüğünde uzun vadede ekonomik kazanç sağlayacağı çok açıktır. Ayrıca havzalarda bu işbirliklerini AB teşvik ettiği için iyi projelerle AB hibelerinden yararlanılabilir. Türkiye AB üyesi olmadığı için tek başına yaptığı

hibe başvurularına sınırlı destek verildiğinden AB üyesi olan Yunanistan ve Bulgaristan ile beraber yapacağı hibe başvurularına daha fazla destek alınabilecektir. İşbirliği yapılmadan geçen her günün ekonomik açıdan tüm kıyıdaş ülkelere büyük zararı olmaktadır. Bu nedenle bir an evvel kurumsal iş birliğinin sağlanması gerekmektedir.

Tüm kıyıdaşların bir araya gelerek iş birliği yapması, özellikle geçmişte askeri ve siyasi problemlerin olduğu kıyıdaşlar arasında çok zordur. Bu nedenle bir takım kaynaklarda problemin çözümü için 4 aşamadan oluşan kademeli iş birliği önerilmektedir. Bu aşamalardan birincisi “farklı görüşler süreci”, ikincisi “dönüşümsel süreç”, üçüncüsü “bütüncüleyici süreç” dördüncüsü “eylem süreci”dir. Anlaşmaların uygulanması için kurumsal yapı kurulup, denetim yapılması gerektiği belirtilmiştir (Özdemir, 2015).

Türkiye, Meriç havzasında birçok problemle karşı karşıyadır. Alınan tüm önlemlere rağmen taşkınlardan çok fazla etkilenmekte, yazın tarımsal sulamada su eksikliği ve su kirliliği nedeniyle sıkıntılar yaşamaktadır. Hatta Türkiye, Meriç havzasında Bulgaristan’dan su satın almak zorunda bile kalmıştır. Bu problemlerin üçlü iş birliği ile uzun vadede çözülebileceğini yukarıda bahsedilmişti. Ancak, bu problemlerin bir kısmının kısa vadede çözülebilmesi için Türkiye’nin Tunca Barajı’nı bir an evvel faaliyete geçirmesi gerekmektedir. Bulgaristan- Türkiye sınırında yapılması planlanan barajda su tutularak taşkınlar azaltılabilir ya da yağışlı sezonda depolanan su yazın tarımsal sulamada kullanılabilir. Ayrıca, Türkiye sanayi faaliyetin yoğun olduğu Trakya bölgesinde doğalgazdan elektrik üretmektedir. Tunca barajı faaliyete girerse sudan elektrik üreterek enerji maliyetini düşürebilir ve enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilir. Tunca barajının rezervuarının büyük kısmının Bulgaristan da kalması nedeniyle Bulgaristan ile anlaşamadığı için yapılamamıştır. Tunca Barajı da kıyıdaşlar arasındaki iş birliği ve ortak proje üretiminin önemini göstermektedir. Ayrıca, Türkiye’nin baraj inşaatı gibi projelerini bir an evvel tamamlaması gerekmektedir. Çünkü, Türkiye AB üyesi olursa, yapılacak projelere; SÇD’ye uyması gerekeceğinden, SÇD’nin diğer kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme prensibi gereği kısıtlama gelebilecektir. Bu durum memba ülkesi konumunda olduğu için daha çok Fırat- Dicle havzasında Türkiye aleyhine sonuçlar doğurabilecektir (Hızlı, 2009).

Bu açıklamalar ışığında havzadaki problemlerin çözümü için öncelikle kıyıdaş ülkelerin geçmişteki askeri ve siyasi problemleri bir tarafa bırakıp, iyi niyet ve güven çerçevesinde bir araya gelerek her bir kıyıdaşın suyu hangi amaçla kullandığı belirlenmeli, bu faaliyetlere yönelik problemleri çözmek için ortak çalışma grupları ya da komisyonlar kurup, şeffaf bir şekilde ölçümler alınmalı ve ortak projeler geliştirilmelidir. Bu başarıldığı takdirde, kıyıdaşlara olan ekonomik getirisi bu işbirliğinin sür-

dürülmesini sağlayacaktır. Ayrıca, bu işbirliğinin diğer alanlara da olumlu yansımaları olacağı düşünülmektedir.

Meriç havzasındaki problemlere dair çözüm önerileri Fırat-Dicle Havzası'ndaki çözüm önerileriyle büyük oranda aynı olsa da bazı farklılıklar da mevcuttur. Meriç havzasındaki çözüm önerileri aşağıda çeşitli başlıklar altında ana hatlarıyla Tablo 2'de verilmiştir.

*Tablo 2.Meriç Havzası'nda Ana Hatlarıyla Çözüm Önerileri (Valvis, 2011; Özdemir, 2015; Hızlı, 2009)*

Havza Yönetimi	-Havza alanını dikkate alan su, gıda ve enerji yaklaşımı yönetim ve maddi desteklerin kıyıdaşlar arasında eşit paylaşımı (Türkiye AB üyesi olmadığı için kredi ve hibelerden daha az yararlanıyor)
	-3 kıyıdaş ülkenin beraber yaptığı anlaşmalar
	-Geçmişteki siyasi ve askeri çatışmalardan arındırılarak çözüm üretme(Özellikle Türkiye ve Yunanistan için)
	-Bilgi ve belge paylaşımı(Örneğin Yunanistan su kalitesi konusunda veri paylaşmıyor)
	-Havzadaki ölçüm ve analizlerin ortak çalışma gruplarıyla ve şeffaf yapılması -Denetim mekanizması (ortak komisyon ile yapılacak)
Suyun Paylaşımı	-Mamba ülkesi ve suya katkısı fazla olan ülkenin sudan daha fazla yararlanma hakkı olmalı (Suyun fazla olduğu dönemde mansap ülkesi lehine artırılabilir).
	-Diğer kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme prensibinin, “aşağı kıyıdaşlara ciddi zarar vermeme” olarak değiştirilmesi. (Yukarı kıyıdaşa zarar verme gibi bir durum söz konusu olmadığından)
Diyalog ve İletişim	- İyi niyet ve güven temelli yaklaşım
	-3 kıyıdaş ülkenin beraber diyalog kurması
	-Kıyıdaş ülkeler dışındaki ülke veya uluslararası kuruluşların müdahale etmemesi
	-Su alanındaki iyi niyet ve güvenin tesis edilmesinin diğer alanlara da yansımalarının olacağı ve tüm kıyıdaşların bundan karlı çıkacağı bilinci
Diğer Hususlar	-Türkiye'nin AB üyesi olması (Kredi ve hibelerden yararlanma imkanı artacak)
	-Teknoloji ve Teknik bilgi transferi (Az su tüketen sulama sistemleri, kaliteli tohum gibi)
	-Ortak proje yapma (Baraj yapıp suyu biriktirip ortak kullanma ya da arıtma tesisi yapıp suyun kalitesini yükseltme gibi)
	-Türkiye-Yunanistan'ın beraber hareket edip Bulgaristan'a baskı kurup, anlaşmaya zorlaması. Mansap ülkeleri uluslararası toplantılarda haklılıklarını daha iyi ifade etmeli, havzadaki zararlarını talep etmeli
	-Türkiye, AB üyesi olan Yunanistan ve Bulgaristan'ı ŞÇD gereği, uluslararası toplantılarda ortak hareket etmeye zorlaması

## 6.SONUÇLAR

Dünyada birçok havzada olduğu gibi sınır aşan sular problemlerinin yaşandığı iki havza olan ve her ikisinde de 3 kıyıdaşın olduğu Fırat-Dicle Havzası ve Meriç Havzası'nda yaşanan problemlerin çözümü için bu çalışmada çeşitli kaynaklardan tespitler ve yeni çözüm önerileri sunulmuştur.

Fırat-Dicle Havzası'nda daha çok su paylaşımı ve biraz da su kalitesi konularında anlaşmazlıklar yaşanmaktadır. Meriç Havzası'nda ise taşkınlar, su paylaşımı ve su kirliliği konularında anlaşmazlıklar yaşanmaktadır.

Bu çalışmada bu iki havza için aşağıda verilen çözüm önerileri sunulmuştur:

-Havza sınırlarının dikkate alındığı, su, gıda, enerji yaklaşımına göre yönetim

-Projeler için verilen maddi desteklerin eşit dağıtılması

-3 kıyıdaş ülkenin aracı olmadan beraber aralarında anlaşmalar yapması

-Problemin çözümünde geçmişteki askeri ve siyasi çatışmaları bir tarafa bırakma

-Kıyıdaşlar arasında bilgi ve belge paylaşımı

-Ortak komisyonlar ya da çalışma grupları ile şeffaf ölçüm ve analizler yapılması

-Ortak komisyonlar tarafından yapılan çalışmaların denetlenmesi

-Membra ülkesinin ve suya katkısı fazla olan ülkenin sudan daha fazla yararlanmasını sağlama

-İyi niyet ve güven temelli yaklaşım

-Sınır aşan sular iş birliğinin diğer alanlara da yansımalarının olacağını bilincinin yaratılması

-Türkiye'nin AB üyesi yapılması

-Kıyıdaşlar arasında teknoloji ve bilgi transferi

-Problemlerin çözümüne yönelik kıyıdaşlar arasında ortak proje geliştirilmesi

-Mansap ülkelerinin beraber hareket edip, memba ülkesine baskı kurup anlaşmaya zorlaması

Bu öneriler dışında Meriç Havzası için Türkiye havzadaki problemlerin çözümüne katkı sağlamak için AB üyesi olan Yunanistan ve Bulgaristan'a ŞÇD'ye göre hareket etmeleri hususunda baskı yapılmalıdır. Türkiye

SÇD'nin kıyıdaşların ortak hareket edip, bütüncül havza yaklaşımına göre ortak plan ve projeler yapılması taleplerini gerekçe göstererek diğer kıyıdaşlara diyalog ve iş birliği çağrısını daha kuvvetli yapmalıdır.

Bu çözüm önerilerinden özellikle memba ülkelerine ve suya katkısı fazla olan ülkeye sudan daha fazla yararlanma hakkının verilmesi tartışmalara neden olacağı düşünülmektedir. Ancak, hakça ve makul kullanım prensibinin uluslararası direktif ve sözleşmelerde kabul edilmesine rağmen uygulamada çeşitli bahaneler ileri sürülerek bir sonuç alınamaması göstermektedir ki bu şekilde sınır aşan problemlerin çözümü imkansızdır. Suyun kaynağına sahip olan ya da sınır aşan suya daha fazla katkı yapan ülkenin yararlanma hakkının fazla olması diğer ülkelere bir haksızlık anlamına gelmemektedir. Bu prensip de aslında hakça kullanım prensibini desteklemekte, ancak suyun az olduğu dönemde eşit paylaşım karşı çıkmaktadır. Ayrıca, yetki memba ülkesinde olmakla beraber suyun fazla olduğu dönemde mansap ülkesine bırakılan su miktarı da artırılabilir, hatta bu dönemde eşit paylaşım yapılması da düşünülebilir.

Her iki havzada da bu çözüm önerileri çerçevesinde kıyıdaş ülkeler sınır aşan sularla ilgili hidro politikalar geliştirmeli ve en kısa zamanda uygulamaya geçirmelidirler.

## KAYNAKLAR

- Acer, Y., (2006), Sınır Aşan Sular, Hukuksal Çerçeve ve Türkiye, Karizma Dergisi, 27.
- Batan M., (2014), Küresel İklim Değişikliği ve Beklenen Sonuçları, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Batan M., & Toprak Z.F., (2017), Financial Comparison of the Kyoto Protocol Obligations and the Natural Disaster Losses, Batman University Journal of Life Sciences, 7(2/2), 180-189.
- Batan M., (2021), Çeşitli Kuraklık İndisleri ile Batman İlinin Kuraklık Analizi ve Kontur Haritalarının Çıkarılması, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 252-265.
- Batan M., & Toprak Z.F., (2020), İklim Değişikliğinde Etkenler ile Sonuçların Birbirini Tetiklemesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 11(2), 759-769.
- Bilen, Ö., (2009), Türkiye'nin Su Gündemi Su Yönetimi ve AB Su Politikaları, DSİ, İMİ Daire Başkanlığı, Ankara.
- Bilgiç, E., (2006), Su Sorunu: Fırat, Dicle ve Asi Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Ana-bilim Dalı, Ankara.
- Burak, S., (2009), Su Gündemi, Su Kaynakları, Yönetimi, Sınır Aşan Sular, Beta, İstanbul.
- Demir, A., (2006), Türkiye-Suriye-Irak Arasındaki Sınır Aşan Sular Sorunu Çerçevesinde Türkiye'nin Su Politikası, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü
- D.Kırkıcı, D., (2014), Sınır Aşan Sular Bağlamında Türkiye, Suriye ve Irak İlişkileri, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Erdağ, R., (2015), Türkiye'nin Sınır Aşan Sular Sorunu, Yalova Sosyal Bilimler Dergisi, Yıl:5, Sayı:9.
- Hızlı Ş., (2009), Türkiye'nin Sınır Aşan Suları ve Bu Suların Kullanımı ile İlgili Politikaları Uzmanlık Tezi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara.
- İnan, Y., (1993), Sınır Aşan Suların Hukuksal Boyutları (Fırat ve Dicle), Water as an element of Cooperation and Development in the Middle East, Uluslararası Toplantı, 4-8 Ekim, Ankara, s. 243-253.
- İnan Y., (1994), Sınır Aşan Suların Hukuksal Boyutları (Dicle ve Fırat), Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 49(1-2), 243-253.
- İnternet Kaynağı, (<https://www.hedefgazetesi.com.tr/bu-ilimize-buyuk-mujde-27769-haberi>), Erişim Tarihi: 18.07.2022.



- İnternet Kaynağı, <https://www.hidropolitikakademi.org/tr>, Erişim Tarihi: 20.07.2022.
- İnternet Kaynağı, <https://www.ramsar.org.>, Ramsar resmi web sitesi, Erişim tarihi: 22.07.2022.
- İnternet Kaynağı, <http://topraksuenerji.org/?p=330>, Erişim Tarihi: 15.07.2022.
- Kapan, İ., (2006), Türkiye ile Suriye ve Irak Arasında Su Anlaşmazlığı, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, İstanbul.
- Karadağ, A.A. & Uzun, O., (2009), Havza Yönetimi ve Türkiye'nin Sınır Aşan Su Politikalarına Etkisi.
- Kaya F., (2019), Fırat-Dicle Havza Koruma Eylem Planı Çerçevesinde Karasu Nehri'nin Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kaya, İ., (2003), The Law of the Non- Navigational Uses of International Watercourses, Ashgate Publishing, Limited, England.
- Kaya, İ., (2009), AB Su Çerçeve Direktifi, Sınır Aşan Akarsular ve Türkiye, Edit: Karpuzcu, M. Vd., Sınır Aşan Sular ve Türkiye, s.129-140.
- Kıbaroğlu, A., (2008), Meriç Nehri Havzası Sınır Aşan Su Politikaları, Taşkın Konferansı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, s.1-11, Edirne.
- Kimençe T., (2015), Çevre ve İklim Değişikliği AB Üyeleri ile İşbirliği Meriç Havzası, 6.Alt Komite Toplantı Sunumu, 5-6 Mayıs, Ankara.
- Köle, M.M., (2017), 1954-2016 Dönemi Türkiye Sınır Aşan Sular Politikası, Marmara Coğrafya Dergisi, 35, s.122-133.
- ORSAM (Ortadoğu Araştırmaları Merkezi), (2011), Meriç Nehri Havzası Su Yönetiminde Uluslararası İşbirliği Zorunluluğu, Su Araştırmaları Programı, Ankara.
- Öz, D.E., (2006), Sınır Aşan Su Kavramı ve Bazı Örnekler Işığında Fırat ve Dicle İçin Bir Paylaşım Planı, TMMOB Su Politikaları Kongresi, 21-23 Mart, s.538-549, Ankara.
- Özdemir, O., (2015), Dünyada Sınır aşan Su Politikaları: Meriç Havzası Değerlendirmesi, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Öziş, Ü., & Baran, T., (2002), Türkiye'nin Sınır Aşan Sularının Su Hukuku ve Su Siyaseti Açısından Durumu, Sınır Aşan Sularımız, Su Vakfı, s.27-65, İstanbul.
- Sağlam, S., (2014), Meriç Nehir Havzası'nın Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi Açısından Değerlendirilmesi, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Tiryaki, M., (2008), Sınır Aşan Sular ve Fırat ile Dicle Nehirlerinin Durumu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

- Tombul, F., (2014), Uluslararası Antlaşmalar Çerçevesinde Meriç Havzasında Su Yönetimi, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Cilt:15, Sayı:2, s.147-155.
- UN, (2011), Second Assesment of Transboundary Rivers, Lakes and Groundwaters, United Nations, Geneva.
- Valvis, A., (2011), Environmental Security and Trans-Boundary Water Management. Political and Economic Dimensions of River Evros “Mis Management”, Journal of University of Peloponnese.
- Wildberg, E.S., (2002), The 1997 International Watercourses Convention- Background and Negotiations. Technical University of Berlin, Germany.
- Yakış, Y., (2009), Türkiye'nin Su Konularının Uluslararası Boyutu, Edit: Karpuzcu M. Vd., Sınır Aşan Sular ve Türkiye, s.15-22.

“

## Bölüm 2

**TAHİL BAZLI FERMENTE ÜRÜNLERDE  
LAKTİK ASİT BAKTERİLERİNİN  
KULLANIMI İLE İLGİLİ GENEL BAKIŞ**

*Ramazan Ülkü Çetin<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> \*Corresponding author: Ramazan Ülkü ÇETİN, Department of Food Processing, Bandırma Onyedİ Eylöl University, 10600 Susurluk, Balıkesir, Turkey, rctin@bandirma.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9968-4988

## 1. Giriş

Tahıl bazlı gıdalar, tüm dünyada diğer gıdalara göre daha ucuz olmasından dolayı diyet enerjisi ve besin maddelerinin temel kaynağı olarak tüketilmektedir. Besinsel olarak, tahıllar önemli bir diyet proteinleri, karbonhidratlar, E ve B vitaminleri, mineraller ve lif kaynağı olarak da tercih edilmektedir. Tahıl taneleri, su ve hidrolitik enzimlerin yeterli seviyede olmasından dolayı, laktik asit bakterileri de dahil olmak üzere mikroorganizmaların gelişmesinde kolaylık sağlar. Son zamanlarda tahıllar, prebiyotikler ve/veya probiyotik laktik asit bakteri suşları içeren fonksiyonel gıdalar için piyasada uygun substratlar haline gelmiştir.

Gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan laktik asit bakterileri, yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmek için karbonhidratları fermente eder. Son yıllarda laktik asit bakterilerinin probiyotik fonksiyonlarının yanı sıra mikrobiyal metabolik özellikleri de dikkat çekmeye ve gıda endüstrisindeki önemleri artmaya başlamıştır. Laktik asit fermentasyonu, gıdanın sadece lezzet gelişimini ve besin değerini artıran bir reaksiyon olarak değerlendirilmemelidir; aynı zamanda gıdaların raf ömrünü uzatmakta, toksik ve beslenmeyi olumsuz etkileyen faktörleri ortadan kaldırmakta ve tüm bunlarla birlikte gıda kalitesini iyileştirmektedir.

## 2.Tahıl ve Tahıl Ürünlerinde Kullanılan Laktik Asit Bakterilerinin Özellikleri

Gıda ve Tarım Örgütünün (FAO) son istatistiklerine göre (2015) gelişmekte olan ülkelerdeki yaklaşık 146 milyon çocuk normalin altında ağırlığa sahiptir ve her yıl 5.9 milyon çocuk (günde 16.000 çocuk) beş yaşını göremeden ölmektedir. Bu ölümlerin yarısından çoğu yetersiz beslenme ve yetersiz protein alımına bağlı olarak gelişmektedir. Bu noktada sadece yeterli miktarda gıdanın ulaştırılması değil halihazırdaki gıdaların besinsel bileşiminin de zenginleştirilmesine yönelik çalışmalar önerilmektedir (Nale, 2021a).

Son yıllarda, laktik asit bakterilerinin metabolizmasına olan ilgi giderek artmaktadır. Laktik asit bakterileri (LAB), tek veya ana karbon kaynağı olarak karbonhidratları kullanan bir çeşit gram pozitif bakteri türüdür (George ve ark., 2018). Laktik asit bakterileri genellikle kok veya çubuk şeklinde olup düşük pH değerlerine karşı güçlü toleransları vardır. Modern bakteri taksonomisi, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus* ve *Streptococcus* dahil olmak üzere geçerli 6 LAB familyası ve 39 cinsini ifade eder. LAB morfolojisi, uzun ve ince çubuklardan (*Lactobacillus* ve *Carnobacterium*) koklara, genellikle bir zincire (*Aerococcus*, *Alloiococcus*, *Pediococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus*, *Leuconostoc*, *Weissella*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Globicatella* ve *Lactosphaera*) kadar değişir (Petrova ve Petrov, 2020). Ancak yakın

zamanda *Lactobacillaceae* ve *Leuconostocaceae* familyasında birleştirilmesi önerilmiştir. *Lactobacillus* cinsi ile 25 cins yeniden sınıflandırılmıştır (Zheng ve ark., 2020). LAB ayrıca glikoz fermantasyonu sırasında oluşan son ürünlere göre de temel olarak iki gruba ayrılabilirler. Homofermentatif LAB (*Streptococcus*, *Pediococcus*, *Lactococcus* ve bazı laktobasiller) gerçekleştirdiği fermantasyon reaksiyonunda laktik asit, glikoz fermantasyonunun son ana ürünü olup Embden-Meyerhof-Parnas yolu ile her mol glikoz için 2 mol laktat sentezlenir. Heterofermentatif LAB (*Weissella*, *Leuconostoc* ve bazı *Lactobacillus* türleri) ise heksoz monofosfat veya pentoz yolu ile glikozdan eşmolar miktarlarda laktat, CO<sub>2</sub> ve etanol üretir. Bu nedenle, fermantasyon sürecinde laktik aside ek olarak, farklı LAB suşları, laktik fermentasyonlar sırasında etanol, diasetil, ekzopolisakaritler, hidrojen peroksit, zayıf organik asitler çeşitli enzimler ve bakteriyosinler veya bakterisidal proteinler gibi çeşitli bileşikler üretebilir. Bu metabolitler fermente gıdalara karakteristik doku, renk, tat ve aromalarını sağlarken LAB'ye antioksidan, fibrinolitik aktivite ve probiyotik etkiler gibi fonksiyonel özellikler sağlar (Kavıtak ve ark., 2018). Laktik asit bakterilerinin ayrıca asit, aroma ve viskoz ekzopolisakaritler üretme yeteneği ile proteini hidrolize etme ve bakterileri inhibe etme yeteneği gibi birkaç önemli metabolizma özelliğine sahip olması gerekir (Ogunremi ve ark.,2022). LAB'nin çok sayıda metaboliti sentezleme yeteneği, bunların diğer mikroorganizmalarla etkileşimleri bağlamında büyük öneme sahiptir (Kogno ve ark., 2016).

LAB açısından karışık floraya sahip bir fermantasyon ortamında ortamın asitlik gelişiminin hızlı olması homofermentatif LAB grubunun baskın duruma gelmesini sağlasa da, son ürünlerin duyu kalitesi üzerinde daha büyük etkiye sahip olmaları sebebiyle bazı gıda uygulamaları için özellikle heterofermentatif LAB tercih edilmektedir (Adebo ve ark., 2022).

Tahıl işlevselliği temelde tohumun genetik yapısına ve çevresel faktörlerin karbonhidratlar, proteinler, vitaminler, mineraller ve fenolik fitokimyasallar gibi tahılın temel bileşenleri üzerindeki etkisine bağlıdır. Bu nedenle tahıl tanesi bir bileşen açısından çok zengin olabilirken diğer bileşenler açısından yetersiz bileşime sahip olabilmektedir (Nale, 2021b). Bu durumun üstesinden gelebilmek için tahıllara fermantasyon işlemi uygulanması sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Fermente tahıl bazlı gıdaların diğer avantajları şunlardır:

- Geliştirilmiş besin değeri
- Anti besinsel bileşiklerin uzaklaştırılması
- Yüksek biyoyararlanım

- Mikotoksinlerin uzaklaştırılması
- Endojen toksinlerin, siyanojenik bileşiklerin uzaklaştırılması
- Pişirme için gereken enerjide azalma

### 3. Tahıl Bazlı Ürünlerin Fermantasyonu Sırasında Laktik Asit Bakterilerinin Starter Kültür Olarak Kullanımı

Modern gıda endüstrisi son yıllarda daha ucuz ve daha sağlıklı gıda ürünleri geliştirilmesine odaklanmış durumdadır. Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA'lar) ve antioksidan pigmentleri gibi fonksiyonel özellikler üzerinde yüksek etki sergileyen doğal bileşenlerin gıdalarda kullanımıyla kronik hastalıkların görülme sıklığının azaldığını gösteren çalışmalar sadece sağlık değil ekonomi alanında da dikkat çekmektedir. Özellikle Avrupa Birliği ülkeleri gibi yaşlı nüfusun yüksek yüzdeye sahip olduğu yerlerde nüfusun yaşının artmasıyla birlikte kişilerde görülen sağlık problemlerinin ve bu problemlerin çözümüne yönelik hastane harcamalarının artması, kamu kaynaklarının harcandığı önemli bir gider kalemi olarak göze çarpmaktadır. Beslenmenin sağlık üzerindeki etkisinin çok daha net bir şekilde anlaşıldığı günümüzde özellikle gelişmiş ülkeler gıdaların sağlık üzerine olumlu etkilerini artırmaya yönelik çalışmaları titizlikle takip ve teşvik etmektedir (Nale, 2021c).

Yıllar içinde gıda endüstrisinde yaşanan gelişmeler starter kültür kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. En eski fermente ürünleri, hammaddede bulunan mikrobiyota yoluyla doğal fermantasyona dayanıyordu. Hammaddeyi dolduran mikroorganizmaların yükü ve spektrumu, nihai ürünün kalitesi üzerinde kesin bir etkiye sahiptir. Ham maddenin önceden gerçekleştirilen başarılı bir fermentasyonun bir miktarı ile aşılanması, spontan fermantasyonu optimize etmek için kullanılmıştır. Örneğin yoğurt, kefir ve boza gibi çeşitli fermente gıda ürünlerinin ev ölçekli üretiminin temeli olmaya devam etmektedir (Todorov ve Holzapfel, 2015).

Çevreden, hammaddelerden ve proses aparatlarından kaynaklanan LAB, geleneksel olarak fermente edilmiş gıdaların çoğu için starter olarak hizmet eder. Son çalışmalar, gelişmiş teknolojik, faydalı ve fonksiyonel özelliklerin bir kaynağı olarak başlangıç kültürleri olarak kullanım için geleneksel ürünlerden izole edilen vahşi tip suşların kullanımına odaklanırken, ilgili araştırmalarda aşağıdaki faktörlerin dikkate alınması gerekir (Ashaolu ve Reale, 2020):

(1) Seçim yapılırken fermantasyonla aynı öneme sahip LAB cinslerinden tercih edilmesi,

(2) Genel olarak geleneksel fermente gıdalarda bulunan LAB cinsleri *Lactobacillus* cinsi (*Lb. fermentum*, *Lb. plantarum*, *Lb. reuteri*, *Lb. rham-*

*nosus, Leuconostoc, Lactococcus, Enterococcus, Pediococcus* ve *Weisella spp.*) olarak belirtilebilir. Geleneksel fermente gıdalardan izole edilebilecek türler söz konusu cinslerin içerisinde yer alma ihtimali yüksektir,

(3) Spontan olmalarına rağmen çeşitli endüstriyel ölçekte laktik asit fermentasyon prosesleri iyi kontrol edilir. Bu LAB'lerden bazıları, gıda güvenliğine, duyuşal özelliklere ve diğer beslenme avantajlarından dolayı fonksiyonel ve faydalı başlangıçlar olarak sınıflandırılabilir. Ancak aynı türün tüm suşlarının starter kültür olarak kullanımının uygun olmayabilir.

LAB'nin antimikrobiyal maddeler, polimerler, şekerler, tatlandırıcılar, nutrasötikler, aromatik bileşikler ve çeşitli enzimler ürettiği bilinmektedir. Bu, LAB'nin starter olarak daha fazla esnekliğe ve uygulanma alanına yol açar. Aynı zamanda, kimyasal katkı maddelerinin doğal bileşiklerle değiştirilebileceği ve böylece tüketiciye yeni, çekici gıda ürünleri sağlayabileceği bir yol olur (Houngbédji ve ark., 2018). Bununla birlikte, asitlenmeyi arttırmamaları ve dolayısıyla ürünün raf ömrünü azaltmama-ları ve aroma veya tat üzerinde olumsuz etkilerinin olmaması da önemlidir (Dongmo ve ark., 2017).

#### **4. Tahıl Bazlı Ürünlerin Fermantasyonu İçin Laktik Asit Başlan-gıç Kültürlerinin Gelişimini Sağlayan Faktörler**

Tahıllar çok düşük seviyelerde organoleptik aktif bileşikler içerir ve bu formda düz, “yeşil” ve hoş olmayan koku ve tat verir. Tahılların dış katmanlarında bulunan fenolik bileşiklerin taşıdığı acılık ve burukluk da kötü olarak yorumlanır. Kaynatma, kızartma gibi diğer hazırlama adımlarıyla birlikte, tahıl substratlarının duyuşal ve dokusal özelliklerini geliştirmek için fermantasyon kullanılmıştır (Peyer ve ark., 2016). Ferman-tasyon, bakteriyel kontaminasyonunu azaltmak için en az beş yol vardır (Karovičová, ve Kohajdova, 2007).

1. Çeşitli tatlar, aromalar ve dokular geliştirerek insan beslenmesinin zenginleştirilmesi.

2. Laktik asit, asetik asit ve alkali fermentasyonlarla önemli miktarda gıdanın korunması.

3. Substratların protein, vitamin, esansiyel amino asit ve yağ asitleriyle zenginleştirilmesi.

4. Gıda fermantasyon işlemi sırasında detoksifikasyon.

5. Pişirme sürelerinde ve yakıt gereksinimlerinde azalma

LAB için uygun şartlar sağlanmazsa, gıda raf ömrünün azalacak do-layısıyla gıdada bulunması istenmeyen mikroorganizmalar için zararlı maddeler çoğalacaktır. Sıcaklık ve kuluçka süresi, antimikrobiyal mad-delerin üretimini modüle eden ana faktörlerdir (Khubber ve ark., 2022).

LAB fermantasyonunun ana ürünü çoğunlukla laktik asittir. Ancak aerobik koşullar altında oksidatif disimilasyon sonucunda karbondioksit ve asetik asit oluşurken, ara ürün olarak hidrojen peroksit de oluşur. LAB tarafından üretilen izole edilmiş ve tanımlanmış antimikrobiyal maddelerin çoğu, organik asitler, hidrojen peroksit, hidroksil yağ asitleri, fenolik ve proteinli bileşiklerden oluşan düşük moleküler ağırlıklıdır (Liptáková ve ark., 2017).

Depolama sırasında tahıllar, 0,6'dan daha düşük su aktivitesi ( $a_w$ ) değeri ve % 9 -12 nem içeriği ile metabolik olarak aktif değildir. Bu düşük  $a_w$  mikroorganizmaların büyümesini engeller. Tahıldaki enzimlerin aktif olmadığı dönem tahılın dinlenme aşamasıdır. Tanelere su eklenmesi, suyu emmelerini sağlar, bu da enzimi harekete geçirmeye ve mikroorganizmaların büyümesine neden olur. Bu işlem fermantasyonun başlamasını sağlar. Bunu öğütme, bazı mikroorganizmaların kullanımını ve enzim eylemleri takip eder (Achi ve Asamudo, 2019).

Su ilavesi birçok ekolojik faktörü hızla etkiler. Tahılın  $a_w$ , redoks potansiyelini ve pH'ı düşüren solunuma yol açar. Mikroorganizmaların amiloz, lipoliz ve fizyolojik aktiviteleri gibi birleşik endojen hidrolitik aktiviteler fermentasyonu oluşturur. Bundan sonra tane matrisinde bir dizi değişiklik oluşur. Ekolojik bir mikroorganizma nişi oluşur ve fermantasyon sırasında mikrobiyal ardılığa yol açan çeşitli çevresel faktörlerden etkilenir (Achi ve Asamudo, 2019).

Tahılların fermantasyonu, çeşitli değişkenlerden etkilenir. Bunlar:

- Fermantasyon süresinin uzunluğu
- Fermantasyonun sıcaklığı ve ortam pH'ı
- Tahılın nem içeriği
- Tane boyutu küçültme kapsamı
- Aktivite derecesi / alkol seviyesi
- Tahıl türü
- Büyüme faktörü gereksinimleri
- Tahıl besinleri
- Enzim kaynakları
- Fermantasyon substratına eklenen malzemeler
- Arabelleğe alma kapasitesi
- Hijyen ve sanitasyon seviyesi
- Marş kalitesi



Bu parametrelerin, özellikle ev ve küçük ölçekli işletmelerde kontrol edilmesi bazen zordur. Bu değişkenler fermantasyonda önemli rol oynar. Örneğin azot, vitaminler gibi diğer büyüme faktörleri tahıl tanelerinde farklılık gösterir. Mikroorganizmalar, karbonhidratları %0,5–3 arasında değişen basit şekerlere bölerek etki eder. Bu, nişastalı endospermi bozan ve serbest şeker tedarikine yol açan amilolitik enzimlerin aktiviteleri ile mümkün olur. Aynı zamanda proteolitik aktivite peptitleri ve amino asitleri serbest bırakır. Tahıl inhibitörleri mikroorganizmaların hidrolitik aktivitelerini etkiler (Achi ve Asamudo, 2019).

Gıdalarda küflerin sebep olduğu bozulmaları ertelemek veya engellemek için en yaygın olarak  $a_w$  hafif azalmalar (NaCl, şeker ilavesi gibi), pH değerinin düşürülmesi ve antimikrobiyel maddelerin ilavesi kullanılır. Bu faktörlerle fermantasyon ve depolama süreçlerinde küflerin gelişmesini etkili bir şekilde kontrol edebilmektedir (Küçükata, 2019). Tuz da gıdaların korunmasında önemli katkı maddelerinden olduğundan, yüksek tuzlu ortamlarda büyüme, starter kültürler için arzu edilen başka özelliktir (Salvucci ve ark., 2016).

### **5. Tahıl Bazlı Ürünlerin Fermantasyonu İçin Laktik Asit Bakteri Başlangıç Kültürlerinin Seçim Kriterleri**

Laktik asit bakterileri, spontan fermantasyondan daha kaliteli ürünler üretmek için fermantasyon sürecini hızlandırma yeteneğine sahiptir (Handayani ve ark., 2022). Daha hızlı, verimli, kontrol edilebilir ve büyük ölçekli fermantasyon talebi, fermentasyonun endüstriyel ölçekte tekrarlanabilirliğini garanti etmek ve belirli özelliklere sahip bir ürün elde etmek için dikkatli bir başlangıç mikroorganizma seçimi ile sonuçlanmıştır (Mardini ve ark., 2016).

Mikrobiyal starter kültürleri seçmek için kullanılan ana kriterler, arzu edilen teknolojik, duyuusal ve beslenme yönleridir. Fermentasyon için ilgili teknolojik faktörler, büyüme ve asitleşme hızı, antimikrobiyal bileşiklerin sentezi, antifungal aktivite ile ekzo polisakkarit üretimidir (Galle ve Arendt, 2014). Beslenme özellikleri arasında, beslenme karşıtı faktörlerin (fitik asit gibi) bozulması ve fonksiyonel bileşiklerin (serbest fenolik asitler, biyoaktif peptitler gibi) artan kullanılabilirliği arzu edilir (Katina ve Poutanen, 2013). Teknolojik olarak potansiyel başlangıç suşları, genellikle kullanılan gıda matrisinden seçilir. Starter kültürlerin seçimi, fermente ürünlerin lezzeti, işlenebilirliği ve besleyiciliği üzerinde kritik etkiye sahiptir.

Tahıllı gıdalar genellikle düşük biyoyararlanım ve protein içeriğinin yanı sıra bazı temel amino asitlerin eksikliğine sahiptir. Bununla birlikte, tahılın fermantasyonu sırasında belirli LAB ve maya suşlarının esansiyel amino asitler ürettiğine ve dolayısıyla tahıl gıdalarının besin değerini

artırdığına dair kanıtlar vardır. Daha da önemlisi, proteolitik mikroorganizmalar kompleks proteinleri daha basit proteinlere, peptitlere ve serbest esansiyel amino asitlere indirger böylece biyoyararlanımı ve sindirilebilirliği artırır (García-Cano ve ark. 2020).

Genel olarak, spontan fermantasyon, gıdalarda öngörülemez hijyenik, besleyici ve duyu kalitesi ile sonuçlanır. Otokton mikrofloralardan çok işlevli ve güvenli suşların dikkatli seçimi ve başlangıç kültürü olarak kullanımları, fermente tahıl gıdalarının güvenlik, beslenme kalitesi ve tekrarlanabilir şekilde iyileştirilmesinin katkıda bulunabilir (Ogunremi ve ark., 2017).

Tahıl fermantasyonu için LAB için seçim kriterleri, nihai ürünün istenen özelliklerine, istenen metabolik faaliyetlere, hammaddelerin özelliklerine ve uygulanan teknolojiye bağlıdır. Bir başka deyişle, başlangıç kültürü olarak seçilecek ve kullanılacak mikrobiyal suşlar; yüksek asitlendirme performansı göstermeli ayrıca fermente gıdaların besinsel ve hijyenik kalitesinin önemli ölçüde iyileştirilmesine katkıda bulunmalıdır (Houngbédji ve ark., 2021).

### **5.1. Hızlı Asitleştirme ve Antimikrobiyal Bileşik Üretimi Gerçekleştirme Yeteneği**

LAB, organik asitler, etanol, aroma bileşikleri, bakteriyosinler, ekzopolisakkaritler gibi teknolojik açıdan önemli maddeler üreterek substratların hızlı asitlenmesine neden olur (Adesulu-Dahunsi ve ark., 2020). Fermantasyon süreci içerisinde oluşan bazı aromatik zayıf organik asitlerin son üründe aroma gelişimine de yardımcı olduğu belirtilmektedir (Kilci ve Çetin, 2022). Biyokoruyucu rolü ise esas olarak, organik asitler (laktik, asetik, formik, propiyonik ve bütirik asitler) veya karbon dioksit, etanol, hidrojen peroksit, yağ asitleri gibi bileşikler içeren çok çeşitli aktif metabolitlerin sentezinden kaynaklanmaktadır (Azam ve ark., 2017). Buna ek olarak, LAB suşları, anti-mikotoksinojenik metabolitler üreterek veya onları absorbe ederek mantar mikotoksinlerini azaltma yeteneğine de sahiptir. LAB antimikrobiyal bileşiklerinin üretimi, seçilen suşa, büyüme koşullarına, mantar ve bakteri metabolitleri arasındaki etkileşime bağlıdır (Oliveira ve ark., 2015).

Laktik asit fermantasyonu yoluyla gıdaların korunması, fermente olabilen karbonhidratların uzaklaştırılmasına, oksijen tüketimine, organik asitlerin oluşumuna ve buna eşlik eden pH düşüşüne dayanır (Soro-Yao ve ark., 2014). Organik asitlerin üretimi ile pH 4.0'a düştüğünden, tahıllardaki bozulma bakterilerinin hayatta kalması zorlaşır (Ahmed ve ark., 2013). Organik asitler üretme yeteneklerine rağmen, LAB aynı zamanda indirgenmiş nikotin-amid adenin dinükleotidin (NADH) oksijenle hızla reaksiyona giren flavin nükleotidleri tarafından oksidasyonu yoluyla hid-

rojen peroksit de üretebilir. LAB'de gerçek katalaz bulunmadığından hidrojen peroksit bazı mikroorganizmaları biriktirebilir ve inhibe edebilir. Bu bileşiklerin hızlı üretimi, patojenik veya bozulmaya yol açan floranın inhibisyonuna katkıda bulunabilir, böylece fermente ürünün raf ömrünü ve mikrobiyal güvenliğini artırabilir (Ekwem, 2014).

LAB'nin antifungal etkisini açıklamaya yönelik önerilen mekanizmalar, mevcut besinler ve alan üzerinde rekabet, patojenin matristeki yolunu tıkaması ve viskozite ile geçirgenliğe neden olan spor zarının manipülasyonudur (Nasrollahzadeh ve ark., 2022). Organik asitlerin ve LAB'nin diğer antifungal metabolitlerinin üretiminden kaynaklanan pH düşüşü arasındaki sinerjistik etki, daha etkili bir nihai antifungal aktivite de ortaya koymaktadır (Albayrak, 2017).

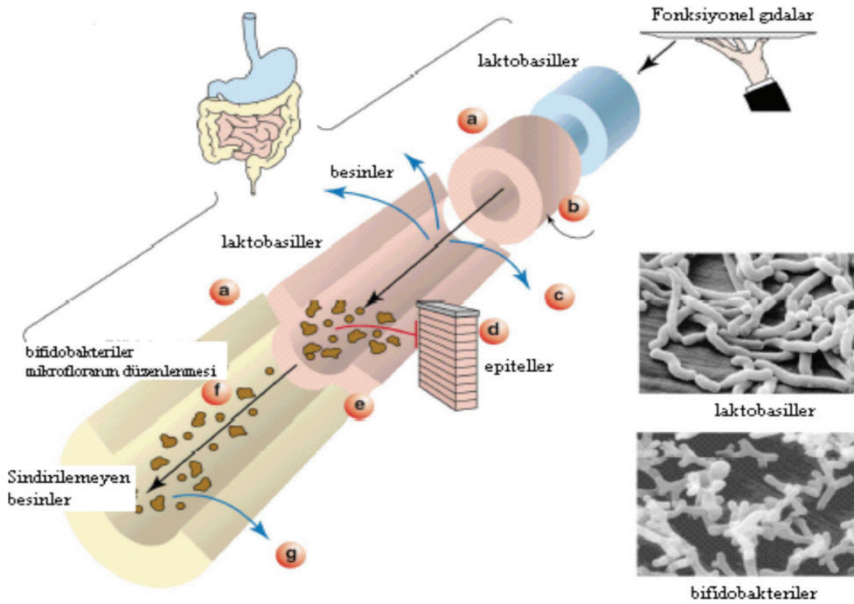
## 5.2. Yerli Mikrobiyotaya Hakim Olma Yeteneği

Tahıl fermantasyonu sırasında LAB'nin yerli nüfusa hakim olma yeteneği, başlangıç kültürünün bir diğer önemli özelliğidir. Starter kültürün baskınlığı, fermentasyon koşulları altında hızlı ve baskın büyümesi ve/veya bakteriyosinler gibi antagonistik maddeler üretme kabiliyeti ile ortaya çıkmaktadır (Němečková ve ark., 2012). Fermente ürünlerin üretiminde başlangıç maddelerinin ortak hareketi, her bir nihai ürünün karakteristik özelliklerinden sorumludur. Ancak mikroorganizmalar arasında kurulabilecek farklı türde ilişkiler vardır. İlk olarak, etkileşimler doğrudan veya dolaylı olabilir. İkincisi, etkileşimin ilgili mikroorganizmalar üzerindeki etkileri pozitif, nötr veya negatif olabilir. Doğrudan etkileşimler, yırtıcılık ve parazitliği ifade ederken; dolaylı etkileşimler ise karşılıklılık ve rekabet (her iki suşu da etkiler), kommensalizm ve amensalizm (iki suştan sadece birini etkiler), nötralizm (her iki suşa etkilenmez) ifade eder (García ve ark., 2019).

## 5.3. Probiyotik Etkiler Uygulama Yeteneği

Probiyotik, yeterli miktarda alındığında konakçıya değerli bir sağlık yararı sağlayan canlı bir mikroorganizma olarak tanımlanır (FAO/WHO, 2002). Probiyotik ürünler genellikle kültür canlılığının probiyotik aktivitenin makul bir ölçüsü kabul edildiğinden standardize edilir ve bu nedenle suşun yüksek hücre popülasyonu elde etme yeteneği birincil öneme sahiptir (Tamang ve Lama, 2022). Yaklaşık bir konsantrasyon değeri olarak  $10^7$  hücre/ml<sup>-1</sup> tüketim anında işlevsel olarak kabul edilir. Yüksek hücre büyümesi ve asitleştirme oranları, aynı zamanda, hammaddede bulunan istenmeyen mikroorganizmaların büyümesini önleyerek, fermentasyon sürelerinin azalmasına ve spesifik suşun canlılığının artmasına neden olmaktadır.

Probiyotik formülasyonlarla tedavi edilmiş veya iyileşme potansiyeli olan hastalıklar arasında diyare, gastroenterit, kanser, depresif bağırsıklık fonksiyonu, yetersiz laktaz bulunmasına bağlı sindirim problemleri, gelişme geriliği, hiperlipidemi, karaciğer hastalıkları, *Helicobacter pylori* enfeksiyonları ve gıda alerjileri gösterilmektedir (Salmerón ve ark., 2015). Gıda alerjisi toplam çocuk nüfusunun yaklaşık %6'sı kadarını etkilemektedir. Hem gıda alerjisine sahip çocukların hem de bu çocuklarla ilgilenen kişilerin yaşam kalitelerinin alerjiden yüksek oranda etkilendiği göz önünde bulundurulursa probiyotik nitelikte gıdaların tüketiminin önemi daha da iyi anlaşılmaktadır (Nale, 2021d). Probiyotik ve prebiyotiklerin sindirim sistemindeki fonksiyonları Şekil 1'de gösterilmiştir (German ve ark., 1999).



Şekil 1: Fonksiyonel gıdalarla alınan probiyotik ve prebiyotiklerin sindirim sistemindeki fonksiyonları (German ve ark., 1999). Probiyotikler tarafından kolayca asimile edilen besinleri içerdiklerinden tahıllar da potansiyel canlı alt tabakalardır. Tahıl substratlarının, gastrointestinal sistemin laktobasil toleransını iyileştirebildiği ve farklı fermentasyonlarının destekleyebildiğini göstermiştir. Probiyotiklerin gelişimi için tahıl substratlarının kanıtlanmış potansiyeline ek olarak, bunlar obezite, kardiyovasküler hastalık, diyabet ve bazı kanserler gibi kronik hastalıkların riskinin azaltılmasıyla ilişkilendirilmiştir (Wang ve ark., 2022).

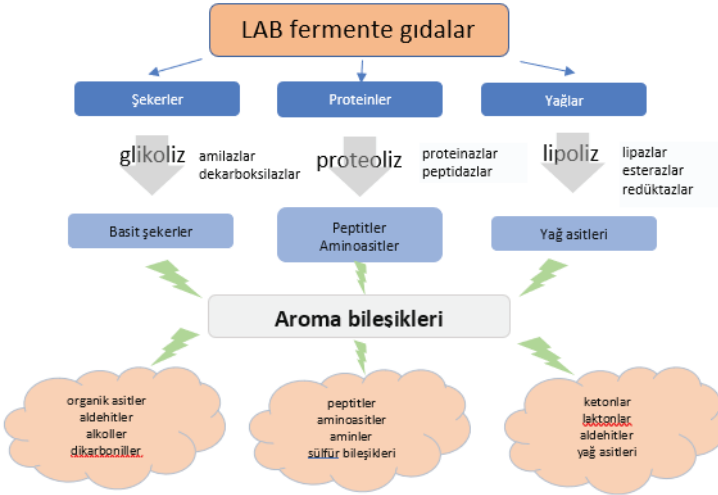
Tahıllar mikrobiyal fermentasyon için mükemmel bir substrattır (Achi ve Asamudo, 2019). Probiyotiklerin büyümesi için substrat olarak kullanımlarını etkileyen faktörler arasında;

- Tahıl substratının bileşimi
- İşleme metodu
- Substrat fermantasyonu
- Organizmaların büyüme yeteneği
- Başlangıç kültürünün verimlilik oranı
- Depolama sırasında probiyotik suş stabilitesi
- Ürünün duyuşal özellikleri
- Ürünün besin değeri gösterilebilir

#### **5.4. Fermente Gıdaların Besin ve Lezzet Kalitesini İyileştirme Yeteneği**

Tahılların besinsel kalitesini arttırmak için uygulanabilecek en ekonomik ve en etkili yolun fermantasyon olduğu bildirilmiştir (Ciesarová ve ark., 2017). Tahılların fermantasyonu sırasında toplam protein miktarında az bir artış kaydedilmesine rağmen, protein kalitesindeki değişimlerin oldukça önemli düzeyde gerçekleştiği rapor edilmiştir (Yalçın ve ark., 2018). Besleyici özellikler üzerindeki etkisinin yanı sıra, fermantasyon işlemi, muhtemelen uçucu bileşiklerin nicel ve nitel bileşimindeki değişikliklerden dolayı genel organoleptik kaliteyi iyileştirebilir (Wronkowska ve ark., 2022).

Lezzet, bir bileşik tarafından indüklenen ve ağızda algılanan aroma ve tat kombinasyonu olarak tanımlanabilir. LAB, fermente gıdalarda bulunabilecek lezzet çeşitliliğinden sorumludurlar (Thierry ve ark., 2015). Aroma geliştirme, öncü moleküllerin oluşumunu ve ardından bunların gerçek aroma bileşiklerine dönüştürülmesini içeren iki aşamalı bir süreçtir. Tat ile ilişkili farklı gıda metabolitleri, LAB fermente gıdalarda ortaya çıkar ve beş temel tat veya duyuşal nitelikten dördünden, yani tatlılık, umami (amino asitler), acılık (oligopeptidler) ve ekşilikten (basit organik asitler) sorumludur. Laktik asit bakterilerinin metabolizmasında, tat oluşumuna yol açan, şekerlerin (glikoliz), proteinlerin (proteoliz) ve lipidlerin (lipoliz) dönüşümleri olmak üzere üç ana enzimatik yol Şekil-2'de tanımlanmıştır.



Şekil 2 : Doğal florada bulunan LAB'nin lezzet gelişiminde izlediği metabolik yollar (Grujovic ve ark.,2022)

Amilazlar, glikosidazlar ve diğer polisakkarit parçalayıcı enzimler şekerlerin parçalanmasından sorumludur. Proteoliz ile ilgili olarak, farklı proteazlar ve peptidazlar müdahale eder. Ayrıca, glutamat dehidrojenaz, aminotransferazlar ve ketoasit dekarboksilaz, lezzet oluşumu için anahtar laktik asit bakteri enzimlerinden bazılarıdır. Glutamat dehidrojenaz ve aminotransferazlar, aroma gelişiminde anahtar rol oynayan amino asit katabolizmasının ilk adımlarında yer alan iki ana enzim türüdür (Sharma ve ark., 2020).

Gıda aromasından, alkoller, aldehitler, ketonlar, yağ asitleri, esterler ve kükürt bileşikleri gibi çeşitli kimyasal bileşik sınıfları sorumludur (Zarzecka ve ark., 2022). LAB ile fermente edilmiş gıdalar, hammaddelerinin yanı sıra otokton ve eklenen starter mikrobiyotalarına bağlı olarak, her bir fermente gıda türüne özgü, başta uçucular olmak üzere farklı aroma ve tat bileşiklerine atfedilebilecek karakteristik tatlar barındırır (Grujovic ve ark., 2022).

### 5.5. Nişastayı Hidrolize Etme Yeteneği ((Amilolitik Laktik Asit Bakterileri (ALAB) ile Nişasta Fermantasyonu)

Amilolitik LAB (ALAB) sıklıkla tahıllardan izole edilir ve yüzyıllardır fermente gıdaların üretiminde yer alır. *L. amilovor*us, diğer probiyotik karbonhidratlarla birlikte nişastayı parçalayabilen ilk tanımlanmış yeni LAB türlerinden biridir (Cardarelli ve ark., 2016). Bununla birlikte, şimdiye kadar sadece dört LAB cinsinin (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus* ve *Streptococcus*) temsilcileri, tek karbon kaynağı olarak

nişastadan doğrudan laktik asit ürettikleri için, ALAB'ler nispeten nadirdir. ALAB'ın metabolik ve genetik özellikleri göz önüne alındığında, birkaç izolat yeni türleri temsil etmektedir, ve bunlar: *L. amylophilus*, *L. amilovorvus*, *L. amylolyticus*, *L. amyloτροφικus* ve *L. manihotivorans*'tır. Bu yeni türlerin çoğu yalnızca bir veya iki soydan oluşur; bunlardan birkaçı yeniden sınıflandırmaya tabi tutulmuştur. Amilolitik olarak bilinen farklı LAB'ler arasında ise; *L. acidophilus*, *L. fermentum*, *L. plantarum*, *L. pentosus*, *L. paracasei*, *P. acidilactici*, *Lc bulunur. laktis*, *Str. bovis*, *Leuc. mesenteroides* ve *W. confuse* bulunmaktadır (Petrova ve Petrov, 2020).

Ortak kültür, büyümeyi teşvik etmek ve belirli bir ürün üretmek için iki veya daha fazla popülasyonun birlikte kültürlendiği yeni bir fermantasyon tekniğidir (Eş ve ark., 2017). Çoğunlukla homofermentatif LAB, şekerleri laktik aside dönüştüremezken, heterofermentatif LAB, şekerleri kolayca laktik aside dönüştürebilir. Bu heterofermentatif suşlar ayrıca çok fazla etanol ve asetik asit üretir. Üçüncü en belirgin form fakültatif heterofermentatiftir, Embden-Meyerhof yolu yoluyla laktik asit üretmek için glikoz kullanırlar. Bu nedenle, diğer bakteri veya suşlarla rekabet edebilecek ortak kültür, ürün birikimini azaltır (Yaqoob ve ark., 2022).

### 5.6. Üretim ve Depolama Sırasında İyi Kararlılık Sağlayabilme

Mikroorganizmalar, gıda ürünlerinde, özellikle depolama ve işleme sırasında ikili rol (faydalı ve zararlı) oynarlar. Fermente ürünler, kullanılan mikroorganizmaların türü, yaşı ve bileşiminin bir sonucudur. Bununla birlikte, mikrobiyal popülasyonlar ve çeşitlilik, fermantasyon ürünlerinde rol oynamaktadır (Umokaso ve ark., 2022). pH ve dolayısıyla ortam asitliği, hidrojen peroksit üretimi, oksijen seviyesi, sıcaklık, gıda matriksi ve starter organizmalarla etkileşim gibi önemli faktörler canlılığını etkiler (Soro-Yao ve ark., 2014).

Gıdanın fiziksel yapısı, depolama sırasında LAB hücrelerinin olumsuz bir ortamdaki korunmasında rol oynar. Katı ve jel matrislerin, hidrojen iyonları ve organik asitler gibi zararlı faktörlere fiziksel ve kimyasal olarak bağlandığı ve dolayısıyla bakterilerin bu faktörlere maruz kalmasını azalttığı bulunmuştur. Ayrıca, hidrojen iyonlarının matris tarafından kompleksleşmesi, bakteri zarının geçirgen olduğu ayrışmamış organik asitlerin miktarını azaltır, dolayısıyla müteakip bakteri öldürücü etkinin azalmasına neden olur (Mortazavian ve ark. 2012). Gıda yapısındaki değişikliklerin belirli bir üretim sürecinde uygulanması daha zor olduğundan ve tüketicinin kabulünü etkilemesi daha olası olduğundan, gıda yapısına karşı gıda bileşimine daha fazla dikkat edilir. Bu nedenle, yoğun bir matris tarafından sağlanan depolama sırasında korumanın ne kadarının, örneğin diğer fizikokimyasal faktörlerden bağımsız olarak yoğunluğundan kaynaklandığını tespit etmek zordur (Gomand ve ark., 2019).

## 6. Sonuç

Laktik asit fermentasyonu ile birlikte aroma, tat, yapı ve sağlık açısından birçok fayda sağlamaktadır. Tahıl fermentasyonunda LAB seçiminde ve kullanılmasında, hızlı asitleşmeyi gerçekleştirme ve antimikrobiyal bileşikler üretme, yerel mikrobiyotaya hakim olma, probiyotik etkiler gösterme, besin kalitesini iyileştirme yeteneği, nişastayı hidrolize etmesi (Amilolitik Laktik Asit Bakterileri ile Nişasta Fermentasyonu) ile üretim ve depolama sırasında iyi kararlılık sağlayabilmesi dikkate alınmalıdır. Ayrıca tahıl bazlı fermente ürünler üzerine yapılmış araştırmalar bulunmakla birlikte yakın zamanda bu çalışmaların sayısının ve çeşitli LAB kullanılarak daha farklı ürünlerin sayısının artması beklenmektedir.



## KAYNAKLAR

- Achi, O. K., & Asamudo, N. U. (2019). Cereal-based fermented foods of Africa as functional foods. In *Bioactive molecules in food* (pp. 1527-1558). Springer, Cham.
- Adebo, J. A., Njobeh, P. B., Gbashi, S., Oyedeji, A. B., Ogundele, O. M., Oyeyinka, S. A., & Adebo, O. A. (2022). Fermentation of Cereals and Legumes: Impact on Nutritional Constituents and Nutrient Bioavailability. *Fermentation*, 8(2), 63.
- Adesulu-Dahunsi, A. T., Dahunsi, S. O., & Olayanju, A. (2020). Synergistic microbial interactions between lactic acid bacteria and yeasts during production of Nigerian indigenous fermented foods and beverages. *Food Control*, 110, 106963.
- Ahmed S., Dora K.C., Sarkar S., Chowdhury S. and Ganguly S. (2013). Quality analysis of shidal-a traditional fermented fish product of Assam, North-East India. *Indian J. Fish.*, 60(1): 117-123.
- Albayrak, Ç. B. (2017). Antifungal aktivite üreten laktik asit bakterileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(1), 79-85.
- Ashaolu, T. J., & Reale, A. (2020). A holistic review on Euro-Asian lactic acid bacteria fermented cereals and vegetables. *Microorganisms*, 8(8), 1176.
- Azam, M., Mohsin, M., Ijaz, H., Tulain, U. R., Ashraf, M. A., Fayyaz, A., & Kamran, Q. (2017). Lactic acid bacteria in traditional fermented Asian foods. *Pakistan journal of pharmaceutical sciences*, 30(5).
- Cardarelli, H. R., Martinez, R. C. R., Albrecht, S., Schols, H., Franco, B. D. G. D. M., Saad, S. M. I., & Smidt, H. (2016). In vitro fermentation of prebiotic carbohydrates by intestinal microbiota in the presence of *Lactobacillus amylovorus* DSM 16998. *Beneficial Microbes*, 7(1), 119-133.
- Ciesarová, Z., Mikušová, L., Magala, M., Kohajdová, Z., & Karovičová, J. (2017). Nonwheat cereal-fermented-derived products. In *Fermented foods in health and disease prevention* (pp. 417-432). Academic Press.
- Dongmo, S. N., Sacher, B., Kollmannsberger, H., & Becker, T. (2017). Key volatile aroma compounds of lactic acid fermented malt based beverages—impact of lactic acid bacteria strains. *Food chemistry*, 229, 565-573.
- Ekwem, O. H. (2014). Isolation of antimicrobial producing lactobacilli from akamu (a Nigerian fermented cereal gruel). *African Journal of Microbiology Research*, 8(7), 718-720.
- Eş, I., Khaneghah, A. M., Hashemi, S. M. B., & Koubaa, M. (2017). Current advances in biological production of propionic acid. *Biotechnology letters*, 39(5), 635-645.
- Galle, S., & Arendt, E. K. (2014). Exopolysaccharides from sourdough lactic acid bacteria. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(7), 891-901.

- García, C., Rendueles, M., & Díaz, M. (2019). Liquid-phase food fermentations with microbial consortia involving lactic acid bacteria: A review. *Food Research International*, 119, 207-220.
- García-Cano, I., Rocha-Mendoza, D., Kosmerl, E., Zhang, L., & Jiménez-Flores, R. (2020). Technically relevant enzymes and proteins produced by LAB suitable for industrial and biological activity. *Applied microbiology and biotechnology*, 104(4), 1401-1422.
- García-Cano, I., Rocha-Mendoza, D., Ortega-Anaya, J., Wang, K., Kosmerl, E., & Jiménez-Flores, R. (2019). Lactic acid bacteria isolated from dairy products as potential producers of lipolytic, proteolytic and antibacterial proteins. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(13), 5243-5257.
- George, F., Daniel, C., Thomas, M., Singer, E., Guilbaud, A., Tessier, F. J., Revol-Junelles, A. M., Borges, F. & Foligne, B. (2018). Occurrence and dynamism of lactic acid bacteria in distinct ecological niches: a multifaceted functional health perspective. *Frontiers in microbiology*, 2899.
- German, B., Schiffrin, E. J., Reniero, R., Mollet, B., Pfeifer, A., Neeser, J.R. (1999). The development of functional foods: lessons from the gut. *Tibtech* December 17: 492-499.
- Gomand, F., Borges, F., Burgain, J., Guerin, J., Revol-Junelles, A. M., & Gaiani, C. (2019). Food matrix design for effective lactic acid bacteria delivery. *Annual review of food science and technology*, 10, 285-310.
- Grujović, M. Ž., Mladenović, K. G., Semedo-Lemsaddek, T., Laranjo, M., Stefanović, O. D., & Kocić-Tanackov, S. D. (2022). Advantages and disadvantages of non-starter lactic acid bacteria from traditional fermented foods: Potential use as starters or probiotics. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 21(2), 1537-1567.
- Handayani, B. R., Hartiwi, N., & Ariyana, M. D. (2022, January). Study on the Quality of Fermented Tapioca with Variation of Lactic Acid Bacteria (LAB) Types. In 6th International Conference of Food, Agriculture, and Natural Resource (IC-FANRES 2021) (pp. 283-288). Atlantis Press.
- Houngbédji, M., Johansen, P., Padonou, S. W., Akissoé, N., Arneborg, N., Nielsen, D. S., ... & Jespersen, L. (2018). Occurrence of lactic acid bacteria and yeasts at species and strain level during spontaneous fermentation of mawè, a cereal dough produced in West Africa. *Food Microbiology*, 76, 267-278.
- Houngbédji, M., Padonou, S. W., Parkouda, C., Johansen, P. G., Hounsou, M., Agbobatinkpo, B. P., ... & Hounhouigan, D. J. (2021). Multifunctional properties and safety evaluation of lactic acid bacteria and yeasts associated with fermented cereal doughs. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(2), 1-15.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Meeting, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, & World Health Organiza-

- tion. (2002). Evaluation of certain mycotoxins in food: Fifty-Sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (Vol. 56). World Health Organization.
- Karovičová, Z. K. J., & Kohajdova, J. (2007). Fermentation of cereals for specific purpose. *Journal of Food and Nutrition Research*, 46(2), 51-57.
- Katina, K., & Poutanen, K. (2013). Nutritional aspects of cereal fermentation with lactic acid bacteria and yeast. In *Handbook on Sourdough biotechnology* (pp. 229-244). Springer, Boston, MA.
- Kavitake, D., Kandasamy, S., Devi, P. B., & Shetty, P. H. (2018). Recent developments on encapsulation of lactic acid bacteria as potential starter culture in fermented foods—A review. *Food Bioscience*, 21, 34-44.
- Khubber, S., Marti-Quijal, F. J., Tomasevic, I., Remize, F., & Barba, F. J. (2022). Lactic acid fermentation as a useful strategy to recover antimicrobial and antioxidant compounds from food and by-products. *Current Opinion in Food Science*, 43, 189-198.
- Kilci, Z., & Çetin, R. Ü. (2022). Determination of Some Physicochemical Properties of Milk Procured from Dairy Farms and Different Milk Collectors in Susurluk Region. *The European Journal of Research and Development*, 2(2), 539-552.
- Kogno, E., Soncy, K., Taale, E., Anani, K., Karou, S. D., & Ameyapoh, Y. (2016). Molecular characterization of lactic acid bacteria involved in Togolese traditional fermented cereal foods.
- Küçükata, Y. Ş. (2019). Laktik asit bakterilerinin antifungal etkisi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Liptáková, D., Matejčková, Z., & Valík, L. (2017). Lactic acid bacteria and fermentation of cereals and pseudocereals. *Fermentation processes*, 10, 65459.
- Manini, F., Casiraghi, M. C., Poutanen, K., Brasca, M., Erba, D., & Plumed-Ferrer, C. (2016). Characterization of lactic acid bacteria isolated from wheat bran sourdough. *LWTdFood Science and Technology*, 66, 275e283.
- Mortazavian, A. M., Mohammadi, R., & Sohrabvandi, S. (2012). Delivery of probiotic microorganisms into gastrointestinal tract by food products. *New advances in the basic and clinical gastroenterology*, 10, 47946.
- Nale, Z. (2021a). Yenilikçi gıda ürünlerinin geliştirilmesinde alternatif bir kaynak: Mikroalgler. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 80-90.
- Nale, Z. (2021b). Glütensiz gıda ürünlerinin geliştirilmesinde alternatif bir kaynak: Yalancı tahıl (Pseudocereal) tohumları (Ed.) *Doğal Kaynakların Yenilikçi Ürünlere Sürdürülebilir Dönüşümü* (309-335 s.s.), Ankara: İKSAD Yayınevi
- Nale, Z. (2021c). Mikroalglerin süt ürünlerinde kullanım imkânlarının değerlendirilmesi (Ed.) *Scientific Developments For Natural And Engineering Sciences* (197-210 s.s.), Ankara: Duvar Yayınları

- Nale, Z. (2021d). Çocukların ve gençlerin yeterli ve dengeli beslenme alışkanlıklarının değerlendirilmesi: Covid-19 pandemi örneği (Ed.). *COVID-19'a Akademik Bakış* (105-129 s.s.) Ankara: İKSAD Yayınevi
- Nasrollahzadeh, A., Mokhtari, S., Khomeiri, M., & Saris, P. E. (2022). Antifungal preservation of food by lactic acid bacteria. *Foods*, 11(3), 395.
- Němečková, I., Dragounova, H., Pechačová, M., Rysova, J., & Roubal, P. (2012). Fermentation of vegetable substrates by lactic acid bacteria as a basis of functional foods. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(Special Issue), S42-S48.
- Ogunremi, O. R., Banwo, K., & Sanni, A. I. (2017). Starter-culture to improve the quality of cereal-based fermented foods: trends in selection and application. *Current Opinion in Food Science*, 13, 38-43.
- Ogunremi, O. R., Leischtfeld, S. F., & Schwenninger, S. M. (2022). MALDI-TOF MS profiling and exopolysaccharide production properties of lactic acid bacteria from Kunu-zaki-A cereal-based Nigerian fermented beverage. *International Journal of Food Microbiology*, 366, 109563.
- Oliveira, P. M., Brosnan, B., Furey, A., Coffey, A., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2015). Lactic acid bacteria bioprotection applied to the malting process. Part I: Strain characterization and identification of antifungal compounds. *Food Control*, 51, 433-443.
- Petrova, P., & Petrov, K. (2020). Lactic acid fermentation of cereals and pseudocereals: Ancient nutritional biotechnologies with modern applications. *Nutrients*, 12(4), 1118.
- Peyer, L. C., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016). Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages. *Trends in Food Science & Technology*, 54, 17-25.
- Salmerón, I., Thomas, K., & Pandiella, S. S. (2015). Effect of potentially probiotic lactic acid bacteria on the physicochemical composition and acceptance of fermented cereal beverages. *Journal of Functional Foods*, 15, 106-115.
- Salvucci, E., LeBlanc, J. G., & Pérez, G. (2016). Technological properties of lactic acid bacteria isolated from raw cereal material. *LWT*, 70, 185-191.
- Sharma, A., Lee, S., & Park, Y. S. (2020). Molecular typing tools for identifying and characterizing lactic acid bacteria: a review. *Food science and biotechnology*, 29(10), 1301-1318.
- Soro-Yao, A. A., Kouakou Brou, G. A., Thonart, P., & Djè, K. M. (2014). The use of lactic acid bacteria starter cultures during the processing of fermented cereal-based foods in West Africa: a review. *Tropical life sciences research*, 25(2), 81.
- Tamang, J. P., & Lama, S. (2022). Probiotic properties of yeasts in traditional fermented foods and beverages. *Journal of Applied Microbiology*, 132(5), 3533-3542.

- Thierry, A., Pogacic, T., Weber, M., & Lortal, S. (2015). Production of flavor compounds by lactic acid bacteria in fermented foods. *Biotechnology of lactic acid bacteria: novel applications*, 314-340.
- Todorov, S. D., & Holzapfel, W. H. (2015). Traditional cereal fermented foods as sources of functional microorganisms. In *Advances in fermented foods and beverages* (pp. 123-153). Woodhead Publishing.
- Umokaso, M. M., Efiuvwevwere, B. J., & Ire, F. S. (2022). Microbiological dynamics involved in cereal-porridge production using maize and sorghum. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 18(1), 014-026.
- Wang, Y., Zhang, C., Liu, F., Jin, Z., & Xia, X. (2022). Ecological succession and functional characteristics of lactic acid bacteria in traditional fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-15.
- Wronkowska, M., Rostek, D., Lenkiewicz, M., Kurantowicz, E., Yaneva, T. G., & Starowicz, M. (2022). Oat flour fermented by *Lactobacillus* strains—Kinetics of volatile compound formation and antioxidant capacity. *Journal of Cereal Science*, 103, 103392.
- Yalçın, E., Yalçın, S. K., & Karademir, E. (2018) Tahıl ve Bakliyat Esaslı Gıdalarda Fermantasyon İşleminin Besinsel Özellikler ve Biyoaktif Bileşenler Üzerine Etkisi. *Gıda*, 43(1), 163-173.
- Yaqoob, S., Liu, H., Liu, M., Zheng, M., Awan, K. A., Cai, D., & Liu, J. (2022). The effect of lactic acid bacteria and co-culture on structural, rheological, and textural profile of corn dough. *Food Science & Nutrition*, 10(1), 264-271.
- Zarzecka, U., Chajęcka-Wierzchowska, W., & Zadernowska, A. (2022). Microorganisms from starter and protective cultures—Occurrence of antibiotic resistance and conjugal transfer of tet genes in vitro and during food fermentation. *LWT*, 153, 112490.
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H., Mattarelli, P., ... & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*.



“

## Bölüm 3

**TÜRKİYE’DE EN ÇOK ÜRETİLEN  
TAHİL BAZLI FERMENTE ÜRÜNLER VE  
ÖNEMİ**

*Ramazan Ülkü Çetin<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> \*Corresponding author: Ramazan Ülkü ÇETİN, Department of Food Processing, Bandırma Onyedi Eylül University, 10600 Susurluk, Balıkesir, Turkey, rcetin@bandirma.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9968-4988

## 1. Giriş

Tahıl bazlı fermente ürünlerin, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de her geçen gün değeri artmaktadır. Tahıllardan fermente edilen gıdalar, laktik asit bakterilerinin büyümesi için mükemmel bir matristir ve laktik asit fermantasyonu, yalnızca fermente gıdaların lezzetinde ve besinlerin biyolojik kullanılabilirliğinde arzu edilen değişiklikleri üretmekle kalmaz, aynı zamanda fonksiyonel bileşiklerin oluşumuna da katkıda bulunur. Ayrıca tahıllar, laktik asit bakterileri için prebiyotik ve/veya probiyotik substratlar oluşturabilmektedir.

## 2. Türkiye’de Fermente Tahıl Bazlı Gıdaların Önemi

### 2.1. Sağlıklı ve Güvenli Ürünler

Pazar büyümesi ve yüksek marjlardan etkilenen gıda şirketleri, modifiye edilerek bazı özellikleri geliştirilmiş yenilikçi gıdalar ile ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesine yönelik uygulamalara yatırım yapmaya başlamıştır (Nale, 2021a). Epidemiyolojik çalışmalar, tam tahıl tanelerinin tüketiminin kanser, diyabet ve obezite gibi kardiyovasküler ve kronik hastalıklara yakalanma riskini azalttığını göstermiştir. Tahılların sağlığa faydaları, yüksek miktarda lipid, protein, diyet lifi, tokoferol, Vitamin B ve E içeriğine bağlanmıştır (Galanakis, 2022).

Tahıl işlevselliği temelde tohumun genetik yapısına ve çevresel faktörlerin karbonhidratlar, proteinler, vitaminler, mineraller ve fenolik fitokimyasallar gibi tahılın temel bileşenleri üzerindeki etkisine bağlıdır. Bu nedenle tahıl tanesi bir bileşen açısından çok zengin olabilirken diğer bileşenler açısından yetersiz bileşime sahip olabilmektedir (Nale, 2021b). Islatma, çimlenme, fermantasyon gibi farklı işleme tekniklerinin, polifenollerin ve diğer biyoaktif bileşenlerin stabilitesini, biyoyararlanımını ve biyoaktivitelerini etkileyen fizikokimyasal değişiklikleri indüklediği ve böylece olumlu yönde etkilediği bildirilmektedir. Biyoaktif bileşenler, fizyolojik aktiviteleri etkileyen ikincil metabolitlerdir. Biyoaktif bileşenler, karbonhidrat, protein ve yağ gibi canlının büyüme ve gelişmesi için olmazsa olmaz bileşenlerinden değildir. Ancak canlının zorlu yaşam koşullarına dayanma gücünü artıran bileşenlerdir. Biyoaktif bileşenler gıdalarda genellikle az miktarlarda bulunsalar da sağlık üzerinde ciddi etkilere sahiptirler (Nale, 2021c). Dolayısıyla tahıllarda biyoaktif bileşence zenginleşme sağlanması tahılın beslenme kalitesi ve fonksiyonel özellikleri üzerinde etkisini arttırmaktadır (Debelo ve ark., 2020; Rashwan ve ark., 2021). En eski geleneksel gıda işleme yöntemlerinden biri olan fermantasyonun, tahılların ve diğer gıdaların protein sindirilebilirliğini ve amino asit profilini iyileştirdiği rapor edilmiştir (Ofosu ve ark., 2022).

Probiyotiklerin çoğu, *Lactobacillus* cinsine ait LAB içerir, ancak



bunlarla sınırlı değildir. *Bifidobacterium* ve *Lactobacillus* suşlarının bağışıklık sisteminin işleyişini etkileme yeteneklerinde farklılıklar olmasına rağmen, bazı probiyotikler doğal ve edinilmiş bağışıklık tepkisini düzenleyebilir. Bu probiyotikler gastrointestinal ve bağışıklık sistemi modülasyonunu kolonize etme yetenekleri için kritik öneme sahiptir (Mokoena ve ark. 2016).

LAB suşlarından gelen asitler, diasetil, yağ asitleri, karboksilik asitler, bakteriyosinler ve alkoller gibi antifungal metabolitler, son zamanlarda tahıl bazlı ürünler de dahil olmak üzere çeşitli fermente edilmiş/edilmemiş ürünlerde fungal büyümesinin önlenmesinde kullanılmıştır (Russo ve ark., 2017; Waters ve ark., 2015). Şimdiye kadar fermente gıdalardan ve yemlerden, dışkı yoluyla gastrointestinalsistemden, meyve ve sebzeler de dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan çok sayıda LAB tanımlanmış bununla birlikte geniş bir mantar yelpazesine karşı antifungal aktiviteleri olduğu bildirilmiştir (Gajbhiye ve Kapadnis, 2016; Sadiq ve ark., 2019).

LAB, gıdada kullanım için çok güvenli oldukları, insan bağırsağında doğal olarak çoğaldıkları ve mikotoksinleri uzaklaştırmada iyi işlev görmelerini sağladığı için diğer mikroorganizmalara göre tercih edilirken kolayca kültürlenip muhafaza edilebilen çok sayıda suşa sahip olması da önemli bir avantajdır (Wafula ve ark., 2022; Dawlal ve ark., 2019). LAB ile gıda detoksifikasyonu, mikroorganizmaların canlı hücreleri kullanılarak ve/veya belirli LAB suşları tarafından üretilen enzimler kullanılarak gerçekleştirilir (Muhialdin ve ark., 2020).

LAB'nin alerji, dermatit, rinit, oral tolerans, kanser ve inflamatuvar kalp hastalıkları gibi sağlık komplikasyonlarını iyileştirdiği gösterilmiştir. Çalışmalar ayrıca fermente gıda ürünlerinin tüketiminin kardiyovasküler hastalıkların kontrolünü ve ruh sağlığının iyileşmesini sağlayabileceğini göstermiştir. Antibiyotiğe bağlı ishalin önlenmesi, laktoz intoleransının azaltılması, konjuge linolik asit üretimi, fitik (bağırsakta mineral absorpsiyonunun bir inhibitörü) asitlerin parçalanması ve bağırsak mikrobiyal dengesinin iyileştirilmesi, LAB ile fermente edilmiş gıdaların tüketiminin artmasıyla da ilişkilendirilmiştir (Gao ve ark., 2022).

## 2.2. Probiyotik ve Prebiyotik Potansiyeller

LAB, doğada yaygın olarak bulunmalarının yanı sıra olumlu ya da olumsuz bir etkiye sahip olabilecekleri çeşitli geleneksel ve endüstriyel fermantasyon süreçlerinde kullanılmaları açısından da iyi bilinmektedir (Mollendorff ve ark., 2016). *Lactobacillus* spp. ve *Bifidobacterium* spp. probiyotik suşları içeren cinsler olarak kabul edilir (Herbel ve ark. 2013). Probiyotikler, “yeterli miktarlarda uygulandığında bağırsak mikrobiyal dengesini geliştirerek konakçıya fayda sağlayan canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanabilir (FAO/WHO 2002).

Probiyotiklerin avantajları, suşların seçimi ve hayatta kalmalarıyla bağlantılıdır. Probiyotiklerin işlevselliği suşa bağlıdır. Suşlar mide asidi ve safraya karşı dirençli ve insan tüketimi için de güvenli olmalıdır (Zielińska ve ark., 2019). Bir gıdanın probiyotik olması için yeterli sayıda canlı bakteri bulunmalıdır (Aspri ve ark., 2020). Probiyotik gıda üretiminin aşamaları, probiyotik mikroorganizmaların canlılığını ve stabilitesini doğal olarak etkiler. Ayrıca gıdadaki mikroorganizmalar, işleme, depolama, nakliye ve raf ömrü boyunca da yaşamlarını devam ettirmelidir (Küçükgöz ve Trzaskowska, 2022).

Tam tahıllar, probiyotik açıdan giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bunun başlıca nedeni, tam tahıl ile probiyotik formülasyonunun tüketicilere hem probiyotikler hem de çözünür lif, fitokimyasallar ve diğer biyoaktif bileşenler gibi tam tahıl faydaları sunmasıdır (Khubber ve ark., 2022). Bu, yalnızca ürünün diyet değerini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda yükselen bir tüketici yaşam tarzına da hitap etmektedir. Probiyotik mikroorganizmaları büyütmek için suda çözünen ve çözünmeyen  $\beta$ -glukan ve arabinoksilanlar, oligosakkaritler dirençli nişasta vb. gibi çeşitli tahıl bileşenleri kullanıldığında, hem probiyotiklerin hem de prebiyotik etkilerin yararlı etkilerini gerçekleştirmek mümkün olmaktadır (Galankis, 2022).

Prebiyotikler, gastrointestinal sistemdeki probiyotik bakterilerin büyümesini sağlayan glikanlardır. Bir lifi prebiyotik olarak nitelendirmek için en az üç şartın karşılanması gerekir:

- I. Üst GIT (gastrointestinal tract) bölümlerinde (mide veya ince bağırsak) hidrolizasyona veya absorpsiyona direnmek
- II. Kolondaki faydalı bakteriler tarafından büyümelerinin ve aktivitelerinin indüklenerek seçici olarak sindirilmek
- III. Tüketicinin sağlığı üzerinde faydalı bir etki yaratmak (Petrova ve Petrov, 2020).

Diyet liflerinin sağlık üzerindeki olumlu etkisi, kolondaki probiyotik türlerle sinbiyotik etkileşimden kaynaklanır. Bu süreçte prebiyotikler, karbon kaynağı olarak görev yapan probiyotik bakterilerin aktivitesini olumlu etkiler (bifidojenik etki). LAB tarafından üretilen asetat, propiyonat ve butirat, bağırsak mukozasının hücrelerine ek enerji kaynakları sağlarken, laktat dirençli nişasta (RS) miktarını artırma yeteneğine sahiptir (Wang ve ark., 2019).

### 2.3. Beslenme ve Sağlık Faydaları

Günümüz tüketicisi daha bilinçli olmasının yanı sıra fiziksel, kimyasal, duyuusal ve mikrobiyal açıdan mükemmel gıda talep etmekte ve talep-

lerine yaklaşan gıdaları tüketme eğiliminde davranmaktadır. Dolayısıyla standart ve yüksek kalitede bir ürünü sürekli piyasaya sunmak işletmeler için günden güne zorunluluk halini almaktadır (Kilci ve Çetin, 2022).

Laktik asit fermantasyonu, nişasta içeren gıdaları işlemenin yaygın, kolay ve ucuz bir yoludur. Fermantasyon, gıda ürünlerinin besinsel ve organoleptik değerini artırır. İlk gelişme, gıdaların duyuşsal özelliklerinde olur. Tahıl substratının fermantasyonuyla, ekmeş, şekerleme, hamur, erişte ve yulaf lapası gibi tipik ekşi-tatlı ürünler veya bebekler ile çocuklar için yarı sindirilmiş içecekler ve tamamlayıcı gıdalar elde edilir (Carrizo ve ark., 2020).

Fonksiyonel gıdalar, temel besin maddelerine ek olarak, yeterli miktarda biyolojik olarak aktif bileşenler içeren ve tüketicinin sağlığı üzerinde olumlu etkisi olabilecek gıdalar olarak tanımlanmaktadır (Lopes–Varela ve ark., 2002). Çeşitli hastalıklar için risk faktörlerinin önlenmesine ve azaltılmasına katkıda bulunmalı veya besinsel etkilerin ötesinde belirli fizyolojik işlevleri geliştirmelidir. Son yıllarda tahıllar diyet lifi, protein, vitamin ve antioksidanları sağladıkları için fonksiyonel gıdalar olarak kabul edilir (Özcan ve ark., 2013). Tahıllar ayrıca E vitamini, folatlar, fenolik asitler, çinko, demir, selenyum, bakır, manganeş, karotenoidler, betain, kolin, kükürt amino asitler, fitik asit, ligninler ve lignanlar gibi mikrobensinler içerir. Potansiyel antioksidan etkilere sahiptir. Ayrıca dirençli nişasta karbonhidratları, galakto ve frukto-oligosakkaritler de içerir. Fermente tahıl bazlı gıdaların diğere avantajları şunlardır:

- Gelişmiş besin değeri ve biyoyararlanım,
- Anti-besinsel bileşiklerin uzaklaştırılması,
- Mikotoksinlerin uzaklaştırılması,
- Endojen toksinlerin, siyanojenik bileşiklerin uzaklaştırılması,
- Pişirme için gereken enerjide azalma (Antognoni ve ark., 2019)

### **3. Türkiye’de Üretilen Geleneksel Fermente Tahıl Bazlı Gıdalar**

Tahıl ürünlerinden hazırlanan geleneksel fermente gıdalar Türkiye’nin birçok bölgesinde sıklıkla tüketilmektedir. Bu ürünlerin çoğı ekmeş veya içecek olarak, kahvaltıda ya da atıştırmalık olarak tüketilirken, bir kısmı da temel gıda olarak kullanılmaktadır. Bu tahıl bazlı gıdalar, kullanılan tahıl malzemelerine veya fermente ürünün dokusuna göre sınıflandırılabilir.

#### **3.1. Ekşi Hamur Üretim Teknolojisi**

Temel gıda olarak ekmeğın tüm dünyada besinleri ve diyet ihtiyaçlarını sağlamadaki hayati rolü uzun zaman önce aydınlatılmıştır. Ancak, bu

ürünün raf ömrü ve kalitesi, fiziko-kimyasal veya mikrobiyal bozulmalar nedeniyle sınırlıdır (Rahman ve ark., 2022). Bu nedenle, fırıncılık endüstrisi bu sorunun üstesinden gelmek için çözüm aramaktadır. Ekmeğin bayatlamasını geciktirmek ve kalitesini artırmak için en iyi bileşenlerden biri fermantasyonla hazırlanan ekşi hamurdur. Fermente edilmiş ekşi hamurun, ürünün duyuşal, fonksiyonel ve besinsel özelliklerini iyileştirme gibi çeşitli faydaları da bulunmaktadır (Ebrahimi ve ark., 2020).

Ekşi hamur, eski zamanlardan beri tahılların fermantasyonu için biyoteknolojik bir strateji olarak kullanılmaktadır. Ekşi hamur, mikrobiyotasına dayalı olarak, esas olarak un tipinden ve kullanılan bileşenlerden kaynaklanan çok karmaşık bir mikrobiyal konsorsiyum barındırır (Minervini ve ark., 2018). Ek olarak, uygulanan teknolojik parametreler, sırayla unlu mamullerin duyuşal, besleyici, doku ve raf ömrü özelliklerini etkileyen ekşi maya mikro biyotasını sürekli olarak etkiler. Un, özellikle spontan ekşi hamur fermentasyonunda otokton laktik asit bakterilerinin (LAB) ana kaynağını temsil eder ve rolü LAB ve mayalar arasında dengeli bir mikrobiyal konsorsiyum oluşturmak için gereklidir. Genellikle bu mikrobiyal konsorsiyum, mayalardan ve zorunlu veya fakültatif laktobasillerden oluşur (Pino ve ark., 2022). Ekşi hamur LAB genellikle *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* veya *Weissella* cinsine aittir. *Lactobacillus* cinsinin türlerinin yarısından fazlası (yaklaşık 100) ise ekşi hamurlarda veya ilgili fermentasyonlarda meydana gelir (De Valdez ve ark., 2010).

Modern fırıncılıkta ekmek mayasının ortaya çıkışı, mayalı fırınlanmış ürünlere sağlayabileceği duyuşal, yapısal, besleyici ve raf ömrü özellikleri üzerindeki birçok avantaj sayesinde, ekşi hamur fermentasyonunun önemini azaltmamıştır (Gobbetti ve ark., 2014). Ekşi hamur kullanımı, LAB metabolizmasının etkileri sayesinde hamurun işlenebilirliğini, ekmek yapısını ve ham maddelerin organoleptik ve besleyici özelliklerini iyileştirir; ayrıca biyojenik bileşiklerin içeriğini artırır (Katina ve ark., 2013). Bununla birlikte, fermantasyon süreçleri, standartlaştırılmış ve kabul edilebilir ürünler elde etmek için sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gereken belirli belirleyicilere bağlıdır. Bu belirleyiciler arasında, dahil olan mikroorganizmaların özellikleri, çevre, unun türü, fermantasyon parametreleri ve ekşi maya yayılımının yöntemi büyük önem taşımaktadır (Wang ve ark., 2022). Ayrıca, tahıl fermantasyonu için endüstriyel starter kültürlerin kullanımı sınırlıdır ve kullanıldıklarında, starterler genellikle ürünleri farklılaştıracak ve çeşitli un matrislerinin potansiyelinden faydalanacak biyokimyasal özelliklerden yoksundur (Houssni ve ark., 2022).

Uygulanan teknolojiye bağlı olarak 3 tür ekşi hamur tanımlanmışken, son dönemlerde dördüncü bir tür eklenmiştir (Yıldırım, 2020).

I. Tip I : Bir önceki fermentasyondan parça alınıp kullanılarak hazırlanan ekşi hamurdur.

II. Tip II : Genellikle yarı akışkan formdaki hamur ekşiticilerdir.

III. Tip III : Kurutulmuş ekşi hamurdur

IV. Tip IV : Tip I, II ve III türlerinin karışımıyla oluşturulan hamurdur. (Kezer, 2019).

### 3.1.1. Tip I

Bir önceki fermentasyondan parça kullanılarak üretilen oda sıcaklığı koşullarında (20-30 °C) yayılım gösteren ekşi hamur prosesidir. Ortamda bulunan LAB ve mayalarla fermentasyon gerçekleştirilir (Yıldırım, 2020). Genel olarak baskın olan mikroorganizmalar *L. brevis*, *L. paralimentarius*, *L. plantarum*, *L. rossiae* 13 ve *L. sanfranciscensis* olup bu mikroorganizmalar düşük sıcaklıklarda inkübe olabilmeye ve sürekli çoğalabilme özellikleri ile karakterize edilirler (Kezer, 2019). Tip I'in mikrobiyal kompozisyonu oldukça geniş olup, mikrobiyotayı etkileyen faktörler kullanılan un çeşidi, inoküle edilen ekşi hamur miktarı, fermentasyon süresi ve sıcaklık olarak belirtilebilir (Papadimitriou ve ark., 2019).

### 3.1.2. Tip II

Tip I ile karşılaştırıldığında daha yüksek sıcaklıkta (30°C) ve daha yüksek hamur verimiyle (sıvı ekşi hamur) fermentasyon sağlanır. Tip II ekşi hamuru, hamur ekşitici ve aroma olarak kullanılır. (Yıldırım, 2020). Genel olarak baskın olan mikroorganizmalar *L. pontis*, *L. reuteri*, *L. johnsonii*, *L. fermentum*, *L. delbrueckii*, *L. acidophilus*, *L. brevis*, *L. amylovorus* ve *L. frumentii*'dir. Cinslere bağlı olarak *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus* ve *Weissella* cinslerine ait türler daha az izole edilmektedir (Kezer, 2019).

### 3.1.3. Tip III

Tip II ekşi hamurların dehidrasyonla üretilen, toz formuna getirilen ve asitlendirici, aroma verici vb. olarak kullanılan ürünlerdir. Tip III diğer hamur türlerine göre daha kaliteli, daha uzun dayanabilme, kullanım kolaylığı, taşıma ve depolamada avantajlar sağladığı gibi standart bir ürün de elde edilmiş olunur (Papadimitriou vd., 2019). Bu gruptaki mikrobiyota içerisinde genellikle kurutmaya dayanıklı olabilen formda yaşayabilen LAB bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak heterofermentatif *Lactobacillus brevis*, fakültatif heterofermentatif *Pediococcus pentosaceus* ve *Lactobacillus plantarum* türü mikroorganizmalar gösterilebilir (Kezer, 2019)

### 3.1.4. Tip IV

Tip IV ekşi hamuru özel koşullar altında ya da diğer türlerin karışım prosesleriyle elde edilmektedir. Starter kültür kullanılır ve bu kültürün ortamdaki doğal mikrobiyotaya göre daha az rekabetçi olmasından dolayı veya ortama adaptasyonu gerçekleşmemesinden dolayı baskın tür olamamaktadır. Bu tür ekşi hamurlarda oluşan LAB ve maya türleri, kullanılan unun türüne ve kalitesine, uygulanan fermentasyon koşullarına, starter kültürün LAB ve mayalarla etkileşimlerine bağlıdır (Yıldırım, 2020).

### 3.2. Çavdar Ekmeği Üretim Teknolojisi

Çavdar, dünyada üretilen tahılların %1'ini bile oluşturmazken ve tüketiminin kişi başına yaklaşık 10-30 kg/yıl olan Rusya, Polonya, Danimarka, Finlandiya gibi sürekli çavdar tüketimine sahip ülkelerde bile küçük bir tahıl olarak kabul edilir. Bununla birlikte, çavdar ekmeği, eşsiz lezzeti, tadı ve LAB suşları aktivitesinin sağladığı uzun raf ömrü nedeniyle birçok ülkede yapılır, aranır ve sevilir (Juodeikiene ve ark., 2016).

Çavdar, tuz ile su karıştırılır ve çavdar ununun otokton LAB mikroflorasının büyümesini geliştirmek ve starter kültür elde etmek için 48 saat fermente edilir. Starter kültür olarak *L. plantarum*, *L. delbrueckii*, *L. farciminis*, *L. casei*, *L. acidophilus*, *L. johnsonii*, *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. buchneri*, *L. pontis*, *L. panis*, *P. pentosaceus*, *P. acidilactici* kullanılır (De Vuyst ve ark., 2014). Çavdar unu ve su karıştırılarak ekşi hamur elde edilir. Hamur çavdar unu, ekşi hamur, buğday unu ve glikoz şurubu içerir. Çoğu durumda, mayalar, hamur hazırlamadan önce fermente edilmiş haşlanma ve ekşi hamur karışımına eklenir (El-Mahis ve ark., 2022).

### 3.3. Tarhana

Tarhana, buğday unu, yoğurt, maya ve çeşitli sebzelerin (domates, soğan, yeşil biber vb.), tuz ve baharatın (nane, kırmızı biber) birleştirilmesinden sonra bir ila yedi gün arasında fermente edilmesiyle yapılır. Karışım güneşte kurutulur ve fermentasyondan sonra 1 mm granül boyutuna kadar ezilir. Karışıma yoğurt girse de tarhana fermente edilmiş bir tahıl (bitki) ürünü olarak kabul edilmektedir (Yarış, 2022).

Tarhananın her coğrafyada farklı olmasının nedeni, fermantasyonda kullanılan LAB ve maya çeşitliliğidir. Fermantasyondaki mikrobiyotanın farklı olması doğal olarak koku ve tatlarda farklı ürünler üretmesine neden olmaktadır. Fakat genellikle ekmek mayası (*S. cerevisiae*) ile yoğurt bakterileri (*L. delbrueckii subsp. bulgaricus* ve *S. thermophilus*) kullanılarak tarhananın kendine özgü ekşi ve asitlik tadı kazandırılır. Tarhanayı oluşturan besin bileşenleri, fermantasyonla birlikte LAB'lerinin etkisi ile büyük moleküllü bileşikler parçalanarak sindirilebilirliği uygun bir gıda elde edilir. Tarhana fermantasyonu ile pH'nın 3.8 ile 4.2 arasına

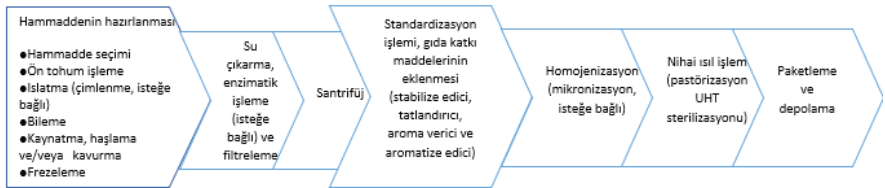
düşmesi ve kurutulmuş tarhananın neminin % 6 ile % 9 arasında olması, üründe bozulma etmeni küf ve bakterilerin gelişmesini baskılayacak bir ortam oluşturur ve bu şekilde tarhana bozulmadan uzun süre saklanabilir (Ateş, 2019).

Tarhana prebiyotik ve probiyotik içeriğine ek olarak, protein, vitamin ve mineral açısından da zengin bir besindir. Hem besinsel değerinin yüksek olması hem de doyurucu ve zengin lif içeriğine sahip olmasının yanı sıra bağırsak hareketlerini ve sindirim sistemini düzenleyici özellikleri mevcuttur. Ölçülü bir enerji tüketimiyle obeziteyi önleyici bir rol de oynar. Çünkü obezite sağlıklı diyet alışkanlıkları ve sedanter hayat şeklinin (fiziksel aktivitenin düzensiz olduğu veya hiç olmadığı yaşam modeli) yoğun şekilde benimsenmiş olmasıyla kendini gösteren bir rahatsızlıktır (Nale, 2021d).

Tarhana, sindirilemeyen karbonhidratlar, B vitamini, organik asit ve serbest aminoasit içeriğinden kaynaklanan fizyolojik ve prebiyotik etkilerinden dolayı fonksiyonel bir gıdadır. Hububat kaynaklı fermente ürünlerin de aminoasitlerin biyoyararlılığını, protein sindirilebilirliğini ve besinsel kaliteyi geliştirdiği belirtilmiştir (Karahana ve ark., 2019). Geleneksel gıdalarda sağlık, güvenlik, maliyet, raf ömrü ve endüstriyel boyutta üretim gibi yeniliklerin geliştirilmesi bu ürünün sadece bölgesinde değil ulusal ve uluslararası pazarlarda yerlerini almaları için fırsat yaratmaktadır (Altun,2015).

### 3.4. Tahıl Bazlı Fermente İçecekler

Kullanılan hammaddenin türüne bağlı olarak içecek üretimi için uygulanan teknoloji farklılık göstermektedir (Cichonska ve Ziarno, 2020). Tahıl bazlı içecekler, tohumlar veya kapaksız tohumlar kullanılarak elde edilir. Tahıl bazlı fermente içeceklerinin üretimi de benzer bir prensibe dayanmaktadır (Şekil 1). Genel olarak, üretimde yer alan adımlar; bitki materyalinin (önceden ezilmiş) sulu ekstraksiyonu, katı kısımların çıkarılması ve son olarak elde edilen sıvıya ısıtma işlemi uygulanmasıdır (Vasudha ve Mishra, 2013).



Şekil 1: Tahıl bazlı fermente içecek üretiminin temel basamakları (Ziarno ve Cichonska,2021)

İlk aşama, işleme için hammaddenin hazırlanmasıdır. Örneğin, tohumlar hammadde ise, kirleticilerin uzaklaştırılmasının ardından ıslatılır, süzülür ve yıkanır. Tahıllar söz konusu olduğunda, önce kavislenir, sınıflandırılır ve yıkanır. Ön tohum işleme sırasında, fiziksel engeller kaldırılarak hidrolitik enzimlere erişmek ve hidroliz hızını artırmak için lif içeriği değiştirilir (Ziarno ve Cichońska, 2021). Bazı hammaddeler için ıslatma ve öğütme öncesinde ek haşlama ve/veya kavurma işlemi yapılır. Haşlama genellikle 1-5 dakika kaynar suda gerçekleştirilir ve amacı daha sonraki işlem sırasında içeceğin üzerinde köpük oluşmasını önlemektir. Kavurma, 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, sıcak havada yapılır. Kullanılan hammaddenin cinsine ve sıcaklığa bağlı olarak kavurma süresi değişmektedir. Bu işlem, nihai ürünün tadı ve aromasının iyileştirilmesine izin verir, ancak protein çözünürlüğünü ve ekstraksiyon verimliliğini azaltabilir (Pswarayı ve Ganzle., 2022). Islatma ve öğütme, ham maddeyi daha sonraki aşamalar için hazırlar ve içindeki malzemede bulunan besinlerin salınmasını kolaylaştırır. Su, bazı inhibitörleri etkisiz hale getirerek besinlerin emilimini ve biyoyararlanımını artıran fitik asit miktarını azaltır (Nawaz ve ark., 2020).

Tahıllardan hazırlanan tohumlar veya taneler ekstraksiyon ve filtrasyona tabi tutulur. Filtrasyon, santrifüjleme ve homojenizasyon işlemleri neticesinde kararlı kıvam ile karakterize edilen nihai içecek üretimi gerçekleşir. Tahıl içecekleri için enzimatik işlem, dekantasyon ve homojenizasyon gibi işlemler de uygulanabilir. Tahıl içeceği üretiminde enzimatik işlem; içeceklerin ideal kıvamından sorumlu olan oligosakkaritlerin ve nişasta olmayan polisakkaritlerin dağılımı ile nişasta dağılımını sağlamak için gerçekleştirilir (Cichońska ve Ziarno, 2020). Bazı bitkisel hammaddeler söz konusu olduğunda, nişasta veya diğer polisakkaritlerin enzimatik hidrolizini aktive etmek için bu aşamada enzimler de eklenir. Bu; nişastada  $\alpha$ -1,4-glikozidamiloz ve amilopektinin hidrolizini katalize eden ve başta dekstrinler olmak üzere daha kısa zincirli bileşikler üreten alfa-amilaz gibi bir enzim olabilir. Protein çözünürlüğünü ve ekstraksiyon etkinliğini artırabilen ve su süspansiyonunun stabilitesini iyileştirebilen proteolitik enzimler de kullanılabilir (Yafetto ve ark., 2022). Alternatif olarak, ham maddeler önceden öğütülür ve sonra yükseltilmiş bir sıcaklıkta sulu ekstraksiyona tabi tutulur. Su ile temas sırasında, düzen, nişasta hidrolizini indüklemek için ek olarak ısıtılır. Nişasta jelatinizasyonu, fermantasyon öncesi bileşenlerinin viskozitesini arttırır ve faz ayrılmasını önler (Pontonio ve ark., 2020).

Türkiye'de tahıl bazlı içecek olarak en çok boza tüketilmektedir. Boza, Balkan Yarımadası'ndaki birçok ülkede popüler olan, Osmanlı İmparatorluğu tarafından Orta Doğu bölgesine yayılan geleneksel bir fermente tahıl ürünüdür. Boza buğday, mısır veya pirinç/irmik ununun LAB ve maya ile



doğal bir fermantasyon süreciyle fermente edilen son derece viskoz ve düşük alkollü, süt ürünü olmayan ve tahıllı bir içecektir (Ucak ve ark.,2022). Koyu kıvamlı ve açık sarı renkte olan Boza'yı belirgin bir tatlı-ekşi tat ile asit ve alkol aroması karakterize eder (Bozdemir ve ark., 2022).

Boza'nın mikrobiyolojik bileşimi maya ve LAB gibi çeşitli fermentatif mikroorganizma türlerini içerir. Boza'dan izole edilen bazı türler; *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida tropicalis*, *Candida glabrata*, *Lactobacillus acidophilus*, *Levilactobacillus brevis*, *Lactobacillus coprophilus*, *Loigolactobacillus coryniformis*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Lacti-caseibacillus paracasei*, *Lactiplantibacillus pentosus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Fructilactobacillus sanfranciscensis*, *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc mesenteroides subsp. dextranicum*, *Leuconostoc rafnolactis*, *Leuconostoc lactis*, *Enterococcus faecium*, *Pediococcus pentosaceus*, *Oenococcus oeni*, *Weissella confusa* ve *Weissella paramesenteriodes*'tır. Bu LAB türlerinin birçoğu, probiyotikler olarak, başlangıç kültürleri olarak ve gıdaların biyolojik olarak korunması için kullanılan faydalı suşlar içerir (Queiroz ve ark., 2022).

Boza'nın üretimi altı aşamadan oluşur. Bunlar; hammaddelerin hazırlanması, kaynatma, soğutma, süzme, şeker ilavesi ve fermantasyon. Üretimi için bir diğer seçenek ise önceden fermente edilmiş bozanın aşı olarak kullanılmasıdır (Tofană ve ark., 2021). Fakat, farklı tür ve miktarlarda hububat ve/veya tahıl ürünlerinin hammadde olarak kullanılması ve kontrolsüz fermantasyon koşulları boza içeceklerinde farklı bileşimler meydana gelmesine neden olabilir (Aladeboyeje ve Sanli, 2021).

#### 4. Sonuç ve Gelecekte Beklentiler

Laktik asit fermantasyonu, Türkiye'de fermente edilmiş tahıl bazlı gıdalarının güvenlik, sağlık, organoleptik, teknolojik ve beslenme özelliklerine katkıda bulunur. Buradaki zorluklar, fermantasyonların stabilitesi, tekrarlanabilirliği ve üretkenliği ile ilgilidir. Bugüne kadar, Türkiye'de fermente edilmiş tahıl bazlı gıdaların sağlıkla ilgili özelliklerini ve probiyotik gıdalar olarak potansiyel kullanımlarını inceleyen yeteri kadar çalışma bulunmamaktadır. Fermente tahıl bazlı gıdalar, Türkiye'deki tüketicilerin diyetlerine probiyotikleri, prebiyotikleri ve lifleri dahil etme fırsatları sunar. Tahıl taneleri ve tahıl bileşenleri, sağlıklı biyoaktif bileşenler ve lifler sağlama avantajıyla birlikte probiyotik taşıyıcılar olarak kullanılabilir. Ayrıca, hem tanımlanmış hem de potansiyel probiyotik gıdaların probiyotik araştırmalarına in vivo veya in vitro denemelerine yönelik taahhütlerde bulunulmalı ve takip edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Aladeboyeje, O. T., & Sanli, N. O. (2021). Fermented Traditional Probiotic Beverages of Turkish Origin: A Concise Review. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 4(3), 546-564.
- Altun, İ. (2015). Kahramanmaraş-Elbistan'da geleneksel olarak yapılan tarhana ve tarhana çorbası. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 45-49.
- Antognoni, F., Mandrioli, R., Potente, G., Saa, D. L. T., & Gianotti, A. (2019). Changes in carotenoids, phenolic acids and antioxidant capacity in bread wheat doughs fermented with different lactic acid bacteria strains. *Food chemistry*, 292, 211-216.
- Aspri, M., Papademas, P., & Tsaltas, D. (2020). Review on non-dairy probiotics and their use in non-dairy based products. *Fermentation*, 6(1), 30.
- Ateş, K. (2019). Tarhana örneklerinden laktik asit bakterilerin izolasyonu ve bazı probiyotik özelliklerinin karakterizasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bozdemir, M., Gümüş, T., & Altan Kamer, D. D. (2022). Technological and beneficial features of lactic acid bacteria isolated from Boza A cereal-based fermented beverage. *Food Biotechnology*, 36(3), 209-233.
- Carrizo, S. L., de LeBlanc, A. D. M., LeBlanc, J. G., & Rollán, G. C. (2020). Quinoa pasta fermented with lactic acid bacteria prevents nutritional deficiencies in mice. *Food Research International*, 127, 108735.
- Cichońska, P., & Ziarno, M. (2020). Production and Consumer Acceptance of Millet Beverages. In *Milk Substitutes-Selected Aspects*. IntechOpen.
- Dawlal, P., Brabet, C., Thantsha, M. S., & Buys, E. M. (2019). Visualisation and quantification of fumonisins bound by lactic acid bacteria isolates from traditional African maize-based fermented cereals, ogi and mahewu. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(2), 296-307.
- Debelo, H., Li, M., & Ferruzzi, M. G. (2020). Processing influences on food polyphenol profiles and biological activity. *Current Opinion in Food Science*, 32, 90-102.
- De Valdez, G. F., Gerez, C. L., Torino, M. I., & Rollán, G. (2010). New trends in cereal-based products using lactic acid bacteria. *Biotechnology of Lactic acid Bacteria: Novel Applications*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 273-287.
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Harth, H., Huys, G., Daniel, H. M., & Weckx, S. (2014). Microbial ecology of sourdough fermentations: diverse or uniform?. *Food microbiology*, 37, 11-29.
- Ebrahimi, M., Sadeghi, A., & Mortazavi, S. A. (2020). The use of cyclic dipeptide producing LAB with potent anti-aflatoxigenic capability to improve

- techno-functional properties of clean-label bread. *Annals of microbiology*, 70(1), 1-12.
- El-Mahis, A., Baky, M. H., & Farag, M. A. (2022). How Does Rye Compare to other Cereals? A Comprehensive Review of its Potential Nutritional Value and Better Opportunities for its Processing as a Food-Based Cereal. *Food Reviews International*, 1-24.
- Gajbhiye, M. H., & Kapadnis, B. P. (2016). Antifungal-activity-producing lactic acid bacteria as biocontrol agents in plants. *Biocontrol science and technology*, 26(11), 1451-1470.
- Galanakis, C. M. (2022). Sustainable Applications for the Valorization of Cereal Processing By-Products. *Foods*, 11(2), 241.
- Gao, B., Wang, J., Wang, Y., Xu, Z., Li, B., Meng, X., ... & Zhu, J. (2022). Influence of fermentation by lactic acid bacteria and in vitro digestion on the biotransformations of blueberry juice phenolics. *Food Control*, 133, 108603.
- Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., & De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food microbiology*, 37, 30-40.
- Herbel, S. R., Vahjen, W., Wieler, L. H., & Guenther, S. (2013). Timely approaches to identify probiotic species of the genus *Lactobacillus*. *Gut Pathogens*, 5(1), 1-13.
- Houssni, I. E. L., Zahidi, A., Khedid, K., & Hassikou, R. (2022). A Review of Spontaneous Sourdough as a Functional Ingredient for Improving the Sensory and Nutritional Quality of Wheat Bread.
- Juodeikiene, G., Klupsaite, D., Zadeike, D., Cizeikiene, D., Vidziunaite, I., Bartkiene, E., & Cernauskas, D. (2016). Bioconversion of agro-industrial by-products to lactic acid using *Lactobacillus sakei* and two *Pediococcus* spp. strains. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(12), 2682-2691.
- Karahan, A. M., Köten, M., Karahan, L. E., & Yazman, M. M. (2019). Tarhananın besinsel önemi ve fonksiyonel bileşenlerce zenginleştirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(3), 120-129.
- Katina, K., & Poutanen, K. (2013). Nutritional aspects of cereal fermentation with lactic acid bacteria and yeast. In *Handbook on Sourdough biotechnology* (pp. 229-244). Springer, Boston, MA.
- Kezer, G. (2019). Doğal Ekşi Hamurlardan Laktik Asit Bakterilerinin İzolasyonu ve Tanımlanması ile Bazı Probiyotik Özelliklerinin Saptanması. Hacettepe üniversitesi, doktora tezi.
- Khubber, S., Marti-Quijal, F. J., Tomasevic, I., Remize, F., & Barba, F. J. (2022). Lactic acid fermentation as a useful strategy to recover antimicrobial and

antioxidant compounds from food and by-products. *Current Opinion in Food Science*, 43, 189-198.

Kilci, Z., & Çetin, R. Ü. (2022). Determination of Some Physicochemical Properties of Milk Procured from Dairy Farms and Different Milk Collectors in Susurluk Region. *The European Journal of Research and Development*, 2(2), 539-552.

Küçükgöz, K., & Trzaskowska, M. (2022). Nondairy Probiotic Products: Functional Foods That Require More Attention. *Nutrients*, 14(4), 753.

Lopes-varela, S; Gonzalez-Gross, M and Marcos, A (2002). Functional foods from buchweat. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 41(6): 451 – 464

Minervini, F., Dinardo, F. R., Celano, G., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2018). Lactic acid bacterium population dynamics in artisan sourdoughs over one year of daily propagations is mainly driven by flour microbiota and nutrients. *Frontiers in microbiology*, 9, 1984.

Mokoena, M. P., Mutanda, T., & Olaniran, A. O. (2016). Perspectives on the probiotic potential of lactic acid bacteria from African traditional fermented foods and beverages. *Food & Nutrition Research*, 60(1), 29630.

Mollendorff, J. W. V., Vaz-Velho, M., & Todorov, S. D. (2016). Boza, a traditional cereal-based fermented beverage: a rich source of probiotics and bacteriocin-producing lactic acid bacteria. In *Functional properties of traditional foods* (pp. 157-188). Springer, Boston, MA.

Muhalidin, B. J., Saari, N., & Meor Hussin, A. S. (2020). Review on the biological detoxification of mycotoxins using lactic acid bacteria to enhance the sustainability of foods supply. *Molecules*, 25(11), 2655.

Nale, Z. (2021a). Mikroalglerin süt ürünlerinde kullanım imkânlarının değerlendirilmesi (Ed.) *Scientific Developments For Natural And Engineering Sciences* (197-210 s.s.), Ankara: Duvar Yayınları

Nale, Z. (2021b). Glütensiz gıda ürünlerinin geliştirilmesinde alternatif bir kaynak: Yalancı tahıl (Pseudocereal) tohumları (Ed.) *Doğal Kaynakların Yenilikçi Ürünlere Sürdürülebilir Dönüşümü* (309-335 s.s.), Ankara: İKSAD Yayınevi

Nale, Z. (2021c). Yenilikçi Gıda Ürünlerinin Geliştirilmesinde Alternatif Bir Kaynak: Mikroalgler. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(1), 80-90.

Nale, Z. (2021d). Çocukların ve gençlerin yeterli ve dengeli beslenme alışkanlıklarının değerlendirilmesi: Covid-19 pandemi örneği (Ed.). *COVID-19'a Akademik Bakış* (105-129 s.s.) Ankara: İKSAD Yayınevi

Nawaz, M. A., Tan, M., Øiseth, S., & Buckow, R. (2020). An emerging segment of functional legume-based beverages: A review. *Food Reviews International*, 1-39.

- Ofosu, F. K., Elahi, F., Daliri, E. B. M., Han, S. I., & Oh, D. H. (2022). Impact of thermal treatment and fermentation by lactic acid bacteria on sorghum metabolite changes, their antioxidant and antidiabetic activities. *Food Bioscience*, 45, 101502.
- Özcan, T., Kurtuldu, O., & Delikanlı, B. (2013). Tahıl içerikli süt ürünlerinin geliştirilmesinde  $\beta$ -glukan kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 87-96.
- Papadimitriou, K., Zoumpopoulou, G., Georgalaki, M., Alexandraki, V., Kazou, M., Anastasiou, R., & Tsakalidou, E. (2019). Sourdough bread. In *Innovations in traditional foods* (pp. 127-158). Woodhead Publishing.
- Pino, A., Russo, N., Solieri, L., Sola, L., Caggia, C., & Randazzo, C. L. (2022). Microbial Consortia Involved in Traditional Sicilian Sourdough: Characterization of Lactic Acid Bacteria and Yeast Populations. *Microorganisms*, 10(2), 283.
- Pontonio, E., Raho, S., Dingeo, C., Centrone, D., Carofiglio, V. E., & Rizzello, C. G. (2020). Nutritional, functional, and technological characterization of a novel gluten-and lactose-free yogurt-style snack produced with selected lactic acid bacteria and Leguminosae flours. *Frontiers in microbiology*, 1664.
- Pswarayi, F., & Gänzle, M. (2022). African cereal fermentations: A review on fermentation processes and microbial composition of non-alcoholic fermented cereal foods and beverages. *International Journal of Food Microbiology*, 109815.
- Queiroz, L. L., Hoffmann, C., Lacorte, G. A., de Melo Franco, B. D. G., & Todorov, S. D. (2022). Genomic and functional characterization of bacteriocinogenic lactic acid bacteria isolated from Boza, a traditional cereal-based beverage. *Scientific reports*, 12(1), 1-13.
- Rahman, M., Islam, R., Hasan, S., Zzaman, W., Rana, M. R., Ahmed, S., ... & Sunny, A. R. (2022). A Comprehensive review on bio-preservation of bread: An approach to adopt wholesome strategies. *Foods*, 11(3), 319.
- Rashwan, A. K., Yones, H. A., Karim, N., Taha, E. M., & Chen, W. (2021). Potential processing technologies for developing sorghum-based food products: An update and comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 168-182.
- Russo, P., Arena, M. P., Fiocco, D., Capozzi, V., Drider, D., & Spano, G. (2017). *Lactobacillus plantarum* with broad antifungal activity: A promising approach to increase safety and shelf-life of cereal-based products. *International journal of food microbiology*, 247, 48-54.
- Sadiq, F. A., Yan, B., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H., & Chen, W. (2019). Lactic acid bacteria as antifungal and anti-mycotoxigenic agents: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1403-1436.

- Tofană, M., Mudura, E., Coldea, T. E., Bors, A., & Pasqualone, A. (2021). Current Functionality and Potential Improvements of Non-Alcoholic Fermented Cereal Beverages. *Qualitative and Nutritional Improvement of Cereal-Based Foods and Beverages*, 19.
- Ucak, S., Yurt, M. N. Z., Tasbasi, B. B., Acar, E. E., Altunbas, O., Soyucok, A., ... & Sudagidan, M. (2022). Identification of bacterial communities of fermented cereal beverage Boza by metagenomic analysis. *LWT*, 153, 112465.
- Wafula, E. N., Muhonja, C. N., Kuja, J. O., Owaga, E. E., Makonde, H. M., Mathara, J. M., & Kimani, V. W. (2022). Lactic Acid Bacteria from African Fermented Cereal-Based Products: Potential Biological Control Agents for Mycotoxins in Kenya. *Journal of Toxicology*, 2022.
- Wang, X., Pan, Y., Liu, X., Liu, H., Li, N., Liu, C., ... & Shen, C. (2019). Facile fabrication of superhydrophobic and eco-friendly poly (lactic acid) foam for oil–water separation via skin peeling. *ACS applied materials & interfaces*, 11(15), 14362-14367.
- Wang, Y., Zhang, C., Liu, F., Jin, Z., & Xia, X. (2022). Ecological succession and functional characteristics of lactic acid bacteria in traditional fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-15.
- Waters, D. M., Mauch, A., Coffey, A., Arendt, E. K., & Zannini, E. (2015). Lactic acid bacteria as a cell factory for the delivery of functional biomolecules and ingredients in cereal-based beverages: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(4), 503-520.
- Vasudha, S., & Mishra, H. N. (2013). Non dairy probiotic beverages. *International Food Research Journal*, 20(1), 7.
- Yafetto, L., Nsiah-Asamoah, C. N. A., Birikorang, E., & Odamtten, G. T. (2022). Biotechnological Application of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus* for Protein Enrichment of Fermented Unmalted and Malted Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *International Journal of Food Science*, 2022.
- Yarış, A. (2022). Turkish Traditional Fermented Plant-Products as Functional Food. *Eurasian Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 42-51.
- Yildirim, R.M. (2020) Ekşi hamurdan izole edilen laktik asit bakterileri ve mayaların fitaz aktivitelerinin belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Zielińska, D., Długosz, E., & Zawistowska-Deniziak, A. (2019). Functional properties of food origin *Lactobacillus* in the gastrointestinal ecosystem—in vitro study. *Probiotics and antimicrobial proteins*, 11(3), 820-829.
- Ziarno, M., & Cichońska, P. (2021). Lactic Acid Bacteria-Fermentable Cereal-and Pseudocereal-Based Beverages. *Microorganisms*, 9(12).

“

## Bölüm 4

MÜHİMMATLARDA KULLANILAN  
BAŞLICA YÖNLENDİRME  
MEKANİZMALARININ  
DEĞERLENDİRİLMESİ

*Bülent ÖZKAN<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3112-9723>

## 1. Giriş

Teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak otonom sistemler ve güdümlü mühimmat tasarımı sağlanan ilerleme, bahsedilen sistemlerin daha etkin bir şekilde denetiminin (kontrolünün) yapılabilmesi amacıyla uygulanabilecek çeşitli yöntemlerin ortaya konulmasının da önünü açmıştır. Söz konusu yöntemler yalnızca uygun denetim kurallarını değil bu doğrultuda üretilen komutların fiziksel hareketlere çevrilebilmesi için kullanılması gereken mekanizmaları da kapsamaktadır. Genellikle “yönlendirme mekanizmaları” olarak adlandırılan bu uç elemanları, öngörülen hareket planının fiziksel olarak gerçekleşmesini sağlayan ana unsurlardır.

Hava platformlarında kullanılacak yönlendirme mekanizmaları tasarlanırken, temel başarımlar (performans) isterlerinin yanında güvenilirlik, uygulanabilirlik, çevresel koşullara uygunluk, kütle, hacim ve maliyet gibi ana gereksinim unsurlarının da karşılanması hususu göz önünde bulundurulmaktadır. Sıralanan başlıklardan başarımlar isterleri, geliştirme aşamasında öncelikle ele alınması gereken isterleri içermekte olup esas olarak ilgili mühimmatın denetlenebilirliği (kontrol edilebilirliği) ve manevra yapabilme yeteneğini kapsamaktadır. Bu bağlamda yönlendirme mekanizmasının bütünleneceği hava platformunun manevra ve yönelim yeteneği, yönlendirme mekanizması seçiminde önemli ağırlığa sahip niteliklerdir. Bilhassa hedef olarak belirlenen unsurların hareketli olması veya manevra kabiliyeti içermesi durumunda, mühimmatın atıcı platformdan fırlatılması yahut bırakılmasını müteakiben, planlanan rotayı izleyerek hedefe ulaşabilmesi için zorlu manevraları kısa süre içerisinde gerçekleştirmesi gerekebilecektir. Özellikle önceden öngörülmemiş ancak yol güzergahı üzerinde bulunan “fırsat hedefleri” için icra edilecek ani yönelimlerde, mühimmatın çevik ve aynı zamanda da kararlı olması gerekmektedir. Belirtilen çerçevede, belirlenen hedef noktasına olabildiğince kısa sürede ve en düşük sapma ile ulaşabilme gereksinimleri de mühimmat yönlendirme sistemlerinin tasarımında göz önüne alınması gereken unsurlardır.

Genel anlamda füze, örnekleri sırasıyla Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilen akıllı bomba ve güdümlü mermilerden oluşan güdümlü mühimmatlar incelendiğinde, temelde üç farklı tip yönlendirme mekanizması ile karşılaşılmaktadır (Özören, 1991; Martin Marietta-A, 1993):

- i. Aerodinamik denetim yüzeyleri,
- ii. İtme vektörü saptırıcıları,
- iii. Tepki jetleri.

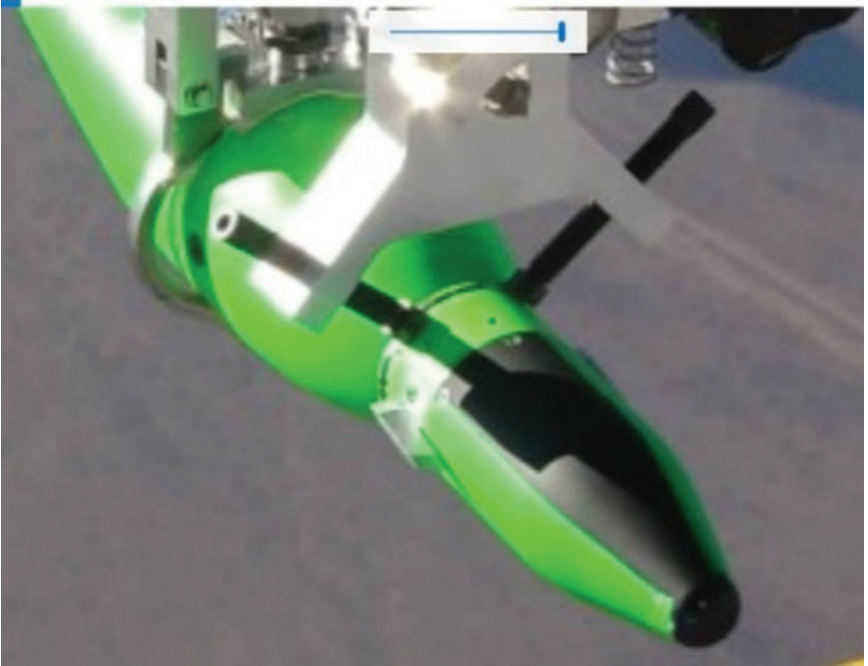




Şekil 1. Satha Atılan Orta Menzilli Mühimmat (SOM) (TÜBİTAK SAGE İnternet Sayfası-SOM, 2022)



Şekil 2. Kanatlı Güdüm Kiti (KGK) (TÜBİTAK SAGE İnternet Sayfası-KGK, 2022)



Şekil 3. İki Kanatçıklı 81 mm Havadan Atılan Hassas Gdümlü Precision Havan Mermisi

Gezegen ve uydular gibi gök cisimleri üzerine uzay araçlarının yumuşak ve denetimli bir şekilde indirilmeye çalışıldığı atmosfer dışı platform yönlendirme uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan tepki jeti denetiminin yanında genellikle seyir şeklinde olan uzun atmosfer için uçuş durumlarında aerodinamik denetim denetim yüzeylerinin kullanımı tercih edilmektedir (Bernacchia, 2019; Kamath, 2021; Sutton ve Biblarz, 2001). Diğer taraftan, bilhassa yerden fırlatılan ve kısa zaman zarfı içerisinde değişken genlik ve yönlü manevra isterlerinin karşılanmasının söz konusu olduğu mühimmatta itki vektörü saptırıcılarının öne çıktığı görülmektedir (Sutton ve Biblarz, 2001). Bilhassa hava araçlarının hız vektörlerinin çok kısa süre içerisinde değiştirilmesinin gerektiği keskin manevralar, itki vektörü saptırıcıları kullanımını en uygun seçenek haline getirmiştir (Jerin vd., 2013).

Mühimmat geliştirme çalışmalarında, bahsedilen yönlendirme mekanizmalarından çoğunlukla yalnız birinin kullanılması kararlaştırılırken, havadan havaya atılan füzeler gibi yüksek manevra isterinin hedefte doğruluk gereksinimine eşlik ettiği ve bir örneği Şekil 6’te verilen bazı uygulamalarda, aerodinamik denetim yüzeyleri ve itki vektörü saptırıcılarının birlikte ele alındığı birden fazla yönlendirme sistemini içeren mühimmatlara rastlanmaktadır.



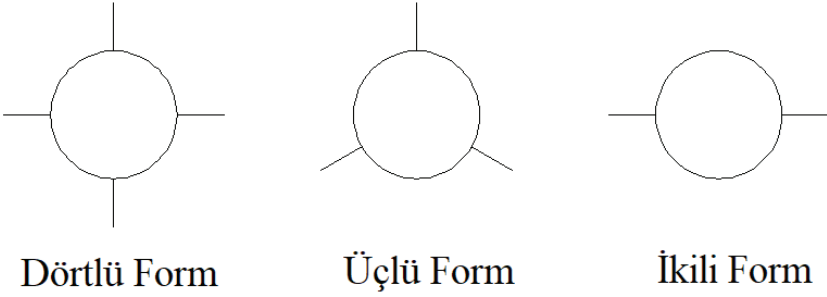
Şekil 4. Görüş İçi Hava-Hava Füzesi (Bozdoğan) (TÜBİTAK SAGE İnternet Sayfası-Bozdoğan, 2022)

## 2. Aerodinamik Denetim Yüzeyleri

Genel yapı olarak, bir mil etrafında dönüsel harekete sahip olan plakalar olarak tanımlanabilecek kanatçıklar, mühimmatlarda kullanılan aerodinamik denetim yüzeylerini oluşturmaktadır. Kanatçığa dönüş serbestisini sağlayan ve “kanatçık bağlantı mili” olarak adlandırılan millerin bağlantı konumları, uçuş esnasında kanatçık üzerine etkiyen aerodinamik menteşe momentini asgari düzeye indirecek şekilde belirlenmektedir. Bahsedilen konum belirleme sürecinde, mühimmatın toplam uçuşu süresince en fazla bulunduğu uçuş hızı ve irtifası dikkate alınmaktadır.

Mühimmat denetiminde kullanılan kanatçıklar genellikle özdeş ya-

pıda olup gövde etrafında eşit açılarla yerleştirilmiş halde, Şekil 5'te gösterildiği gibi dörtlü, üçlü veya ikili formda bulunabilmektedir. Mevcut mühimmatlarda en çok dörtlü formdaki kanatçıklara rastlanırken, NACE füzesi gibi seyir füzelerinde genellikle ikili kanatçık konfigürasyonları tercih edilmektedir. Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 4'te gösterilen SOM ve Bozdoğan füzeleri ile KGK akıllı bombası, dörtlü kanatçık formunun uygulandığı güncel mühimmatlardandır. Diğer taraftan, yüksek aerodinamik kaldırma kuvveti oluşturmalarına karşın, ikili kanat formları manevra esnasında büyük gecikmeye neden olmaktadır. Bir diğer geometri olan üçlü kanat formu diğer iki seçeneğe nazaran en az tercih edilen yapı olup tipik örneği Pershing füzesinde görülmektedir (Martin Marietta-A, 1993).



Şekil 5. Aerodinamik Denetimli Mühimmatta Kullanılan Kanatçık Düzenleri  
(Özkan, 2005)

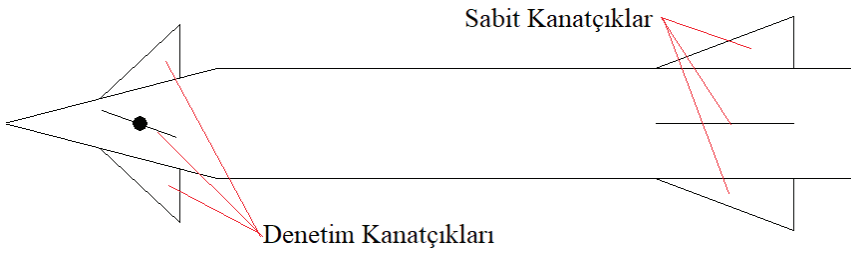
Denetimin aerodinamik denetim yüzeyleri vasıtasıyla gerçekleştirildiği mühimmatlarda, bahis konusu yüzeylerin sağlaması gereken açısal yerdeğiştirme komutlarını fiziksel hareketlere çevirmek için denetim eyletim sistemleri (DES'ler) kullanılmaktadır (Martin Marietta-A, 1993; Chwa ve Choi, 2001; Frarr, 1979). Ele alınan mühimmatın maruz kalacağı aerodinamik kuvvet ve momentlerin mertebesi ile ivme, hız ve manevra gereksinimlerine bağlı olarak, DES güç iletim mekanizmaları hidrolik, pnömatik veya elektromekanik özellikte olabilmektedir. Belirtilen alternatiflerden hidrolik eyletim yüksek moment isterinin söz konusu olduğu durumlarda tercih edilirken, sınırlı moment kapasitelerine karşın basitlik ve düşük maliyetin öncelikli olduğu sistemlerde pnömatik eyletim öne çıkmaktadır. Öte yandan elektromekanik eyletim, düşük moment ve yüksek açısal hız talebinin ön planda olduğu mühimmatlar için en uygun seçenek şeklinde gözükmemektedir (Frarr, 1979; Martin Marietta-B, 1993).

Konuyla ilgili çalışmalar incelendiğinde, mühimmatlarda kullanılan aerodinamik denetim yüzeylerinin, mühimmat gövdesi üzerindeki konumlarına göre burun, orta gövde ve kuyruk kanatçıkları şeklinde üç farklı grupta ele alındığı görülmektedir (Özgören, 1991; Martin Marietta-A, 1993).

## 2.1. Burun Kanatçıkları

Burun kanatçıklı mühimmatlarda dönel serbestlik derecesine sahip kanatçıklar, Şekil 6'da şematik olarak gösterildiği üzere, mühimmatın burun kısmında konumlandırılmaktadır. Burundan kanatçıklı mühimmatlar genellikle hafif ve kolay paketlenabilir yapıda olmaktadır. Burun kanatçıkları, mühimmatın ortası ve kuyruk kısmında konumlandırılan kanatçıklara nazaran daha küçük olan yüzey alanları sayesinde mühimmeta etkiyen sürüklenme kuvvetini önemli ölçüde azaltmaktadırlar. Görece küçük yapıları, burun kanatçıklarının açısız hareketleri sonucunda aerodinamik akışta meydana gelen bozulmaları da düşük seviyelere çekmektedir. Diğer taraftan, küçük yüzey alanları nedeniyle, burun kanatçıklarının, büyük kısmı mühimmat hücum açısından kaynaklanan toplam kaldırma kuvvetine katkısı asgari düzeyde gerçekleşmektedir (Martin Marietta-A, 1993).

Burundan denetim kanatçıklı mühimmeta örnek olarak, Şekil 7'de gösterilen Amerika Birleşik Devletleri (ABD) menşeli Raytheon firması tarafından üretilen AIM-9L serisi Sidewinder havadan havaya füzesi verilebilir.



Şekil 6. Burundan Kanatçıklı Füze (Özkan, 2005)

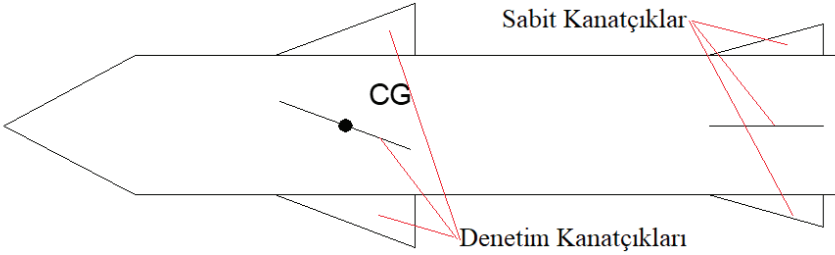


Şekil 7. Burundan Denetim Kanatçıklı AIM-9L Sidewinder Füzesi (ABD Hava Kuvvetleri İnternet Sayfası-AIM-9L Sidewinder, 2022)

## 2.2. Orta Gövde Kanatçıkları

Orta gövde kanatçıklı konfigürasyonda denetim kanatçıkları, Şekil 8'de gösterildiği gibi mühimmat gövdesinin orta kısmına; CG harfleri ile gösterilen kütle merkezi yakınlarına bütünlenmektedir. Belirtilen geometride denetim kanatçıklarının yüzey alanı burun ve kuyruk kanatçıklarından daha büyük olup bu sayede daha yüksek kaldırma kuvveti elde edilebilmektedir. Ayrıca orta gövde kanatçıklı mühimmatlar, diğer seçeneklere nazaran daha kararlı bir uçuşa sahip olmaktadır. Bahis konusu konfigürasyonun en önemli zayıflığı, yüksek yanal ivme gereksinimi nedeniyle mühimmatın manevra yeteneğinin burun ve kuyruk kanatçıklı alternatiflerine nazaran görece düşük oluşudur (Martin Marietta-A, 1993).

Halen kullanılmakta olan fazla örneği olmamakla birlikte, ortadan denetim kanatçıklı mühimmatlar arasında en bilinenlerden birisi, havadan karaya sesüstü hız bölgesinde fırlatılan ve forotografı Şekil 9'da görülen AGM-88 kodlu HARM füzesidir.



Şekil 8. Orta Gövde Kanatçıklı Füze (Özkan, 2005)

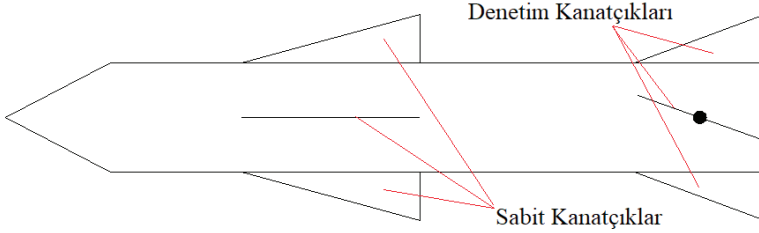


Şekil 9. Orta Gövdeden Denetim Kanatçıklı AGM-88 HARM (FAS Military Analysis Network, 2022)

## 2.3. Kuyruk Kanatçıkları

İsminden de anlaşılacağı üzere kuyruk kanatçıklı mühimmatların denetimi, gövdelerinin kuyruk kısmına bütünlenen denetim kanatçıklarının açılma hareketleri ile sağlanmaktadır. Şematik görüntüsü Şekil 10'da verilen kuyruk bölgesindeki denetim kanatçıklarının en önemli üstünlüğü,

üzerinde buldukları mühimmatın aerodinamik karakteristiğini daha doğrusal hale getirmeleridir. Bahsedilen durum, kuyruk kanatçıklarının neden olduğu aerodinamik akış bozulmasının neredeyse yok hükmünde gerçekleşmesidir. Diğer taraftan, arka tarafındaki kullanılabilir hacmin motor ve lülenin varlığı yüzünden oldukça küçük kalması nedeniyle, Şekil 1 ve Şekil 4'te gösterilen seyir ve hava-hava füzeleri gibi itkili mühimmatın (füzelerin) kuyruk kısmına ilgili DES'yi yerleştirmek kolay olmamaktadır. Bu durum, mühimmatın sağlaması istenen yüksek hız ve ivme değerlerini elde etmek için küçük boyut ve hacimli, dolayısıyla da maliyeti yüksek eyleticilerin (motorların) kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bunun yanında, kuyruktan denetimli mühimmatların önemli bir zayıflığı da, denetim komutlarına karşılık gelen ilk hareketin istenen yönün zıttına doğru olmasıdır (Martin Marietta-A, 1993). İşaret edilen olgu, kuyruktan denetimli mühimmat dinamiğinin asgari (minimum) fazlı olmasından kaynaklanmaktadır (Chwa ve Choi, 2001).

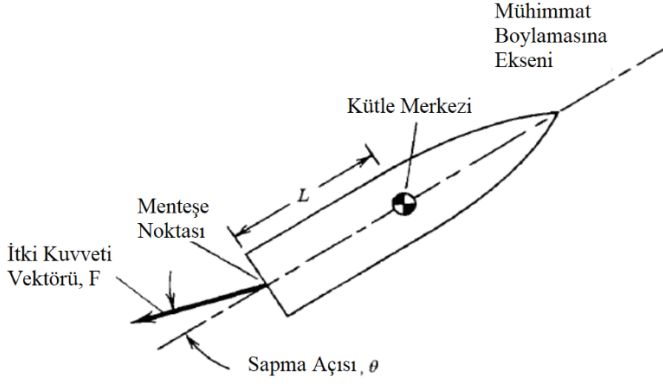


Şekil 10. Kuyruktan Kanatçıklı Füze (Özkan, 2005)

### 3. İtki Vektörü Saptırıcıları

Yüksek manevra yeteneği gerektiren, elden fırlatılan tanksavar silahları gibi aerodinamik denetimi zor olan, dik fırlatılabilecek ve fırlatıldıktan sonra ani manevralar yapabilen ve denizaltıdan fırlatılan roketler, uç elemanı olarak itki vektörü saptırıcılarının kullanıldığı itki vektörü denetimi (İVD) yaklaşımının hayat bulduğu başlıca uygulamalar olarak gösterilebilir. Aerodinamik denetimde kullanılan denetim yüzeylerinin (kanat ve kanatçıkların) mühimmata getireceği ek sürüklenme kuvveti etkisi ile tepki jeti ile denetiminin doğasından kaynaklanan düşük denetim hassasiyetinin neden olacağı olumsuzlukları haiz olmaması, bahsedilen kısa süreli ivmelenme durumları için İVD'yi daha uygulanabilir kılmaktadır.

İVD yöntemi, Şekil 11'de de gösterildiği gibi, ana itki vektörü yönünün uygun itki vektörü saptırıcıları vasıtasıyla mühimmat kütle merkezinden geçmeyecek şekilde saptırılması ve bu şekilde kütle merkezi etrafında manevrayı sağlayacak bir moment oluşturulması esasına dayanmaktadır (Jerin vd., 2013).



Şekil 11. İtici Vektörünün Oluşturduğu Döndürme Momenti (Sutton ve Biblarz, 2001)

Şekil 4'te verilen görüş içi havadan havaya füze de aerodinamik denetime destek olarak kullanılan itici vektörü saptırıcıları, deniz platformlarından fırlatılan Evolved Sea Sparrow Missile (ESSM) isimli füze de de Şekil 12'de gösterildiği şekilde uygulanmıştır.



Şekil 12. İtici Vektörü Saptırıcı Denetimli Füze (ESSM) (BAE Systems İnternet Sayfası, 2022)

İVD ile ilgili olarak yapılan çalışmalara bakıldığında, itici vektörü saptırıcısı olarak, hareketli ve sabit lüle olmak üzere temelde iki farklı geometrideki mekanizmaların esas alındığı gözlenmektedir.

### 3.1. Hareketli Lüle

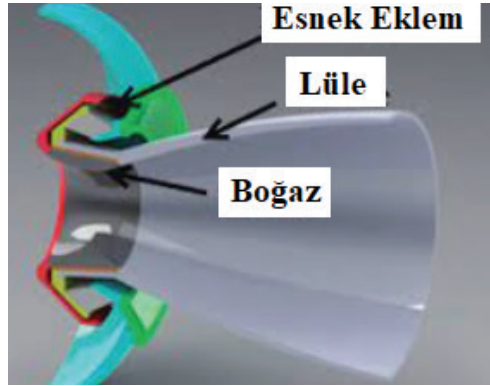
Mühimmatın kuyruk bölümünde yer alan lüleye yaptırılan açılabilir hareket sayesinde lüle içinden geçen itici kuvvetinin yönünün değiştirilmesine dayanan bu yaklaşımda, hidrolik veya elektromekanik güç iletimli eyleticiler kullanılmaktadır. Genel anlamda, hareketli lüle sistemlerinin

tamamı çoklu lüle uygulamaları ile kısıtlandırılmıştır. Bunun sebebi, tek başlarına uygulanmaları durumunda, lülenin hareketinden dolayı meydana gelecek yunuslama, yandönme ve yuvarlanma düzlemlerinde maruz kalınacak kuvvet ve moment bileşenlerini etkili bir şekilde denetleyebilmektir.

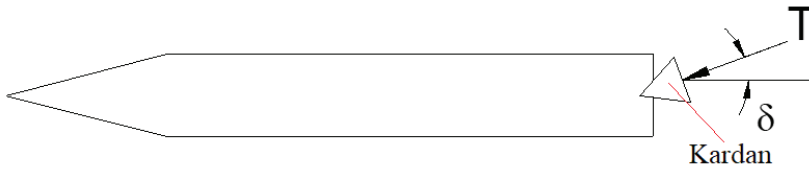
Uydu fırlatma roketleri, çapları büyük balistik füzeler ve hava savunma sistemlerinde karşılaşılan hareketli lüle mekanizmaları, genel anlamda dört farklı yapıda uygulanmaktadır:

- Esnek eklemli lüle,
- Kardanlı lüle,
- Bilya-yuva tipi lüle,
- Mentşeli lüle.

Esnek eklem, lüle ve boğaz ana kısımlarından oluşan esnek eklemli lülenin yapısı Şekil 13'te verilmekte olup kardanlı lülenin şematik görünümü de, "T" harfi, mühimmat içerisinde üretilen itki kuvvetini temsil etmek üzere Şekil 14'te sunulmaktadır.



Şekil 13. Esnek Eklem Yapısı (Ramezani, Yousefi ve Fouladi, 2018)



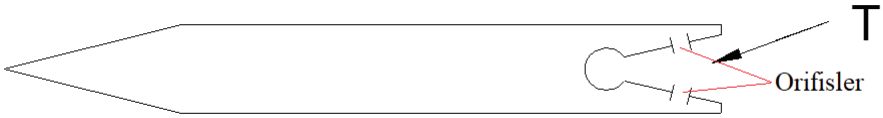
Şekil 14. Kardanlı Lüle Denetimli Füzeye (Özkan, 2005)

### 3.2. Sabit Lüle

Sabit lüleli sistemlerde itkinin yönlendirilmesi, lüle hareketi yerine ikincil bir akışkan, lüle dışına yerleştirilmiş hareketli kanatçıklar ya da saptırıcılar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



İkincil akışkan püskürtmeli sistemlerde sıvı veya gaz formundaki ikincil akışkan, Şekil 15'teki gösterimde işaret edildiği gibi lüle duvarının bir tarafından verilerek mevcut akış bozulmakta ve böylelikle ilgili itki birimi (roket) yönlendirilmektedir. Bu yöntemde lüle çıkış konisi içerisinde geçen akışa çıkış konisi duvarı üzerinden yeni bir akışkanın eklenmesi suretiyle lülenin sesüstü bölgesinde şok dalgaları oluşturulmakta ve bu sayede lüle iç duvarındaki basınç değişiminin simetrisi bozularak püskürtme parametrelerine bağlı bir yan kuvvet elde edilmektedir (Sutton ve Biblarz, 2001). Bahsedilen uygulama esnasında, ikincil akışkandan kaynaklı olarak itki biriminin boylamasına eksenini doğrultusunda da ilave bir itki kuvveti ortaya çıkmaktadır (Jerin vd., 2013). Belirtilen yaklaşım sayesinde uçuş yörüngesine müdahale edilerek uçuş sırasında yörüngenin düzeltilmesi veya değiştirilmesi sağlanmaktadır. Hareketli parça gerektirmeden ve aksenal itki kaybına yol açmaksızın denetim sağlayabildiğinden, ikincil akışkan püskürtmeli sistemler, diğer İVD yöntemlerinden daha güvenilir bir yapıya sahip olup özellikle balistik füze sistemlerinde geniş kullanım alanları mevcuttur (Sutton ve Biblarz, 2001).



Şekil 15. İkinci Akışkan Püskürtmeli Denetim Sistemli Füze (Özkan, 2005)

Ana akışın momentum vektörünün değiştirilmesi prensibine göre görev yapan ve başlıca uygulamaları Şekil 16'da betimlenen jet vanası, jet saptırıcı ve "jetevator" formunda olan mekanik yönlendiriciler, tıpkı aerodinamik denetim yüzeyleri gibi lülenin çıkışına konarak roket motorunun ateşlenmesinden sönmeye kadar olan süre boyunca çalışmaktadır (Sutton ve Biblarz, 2001).



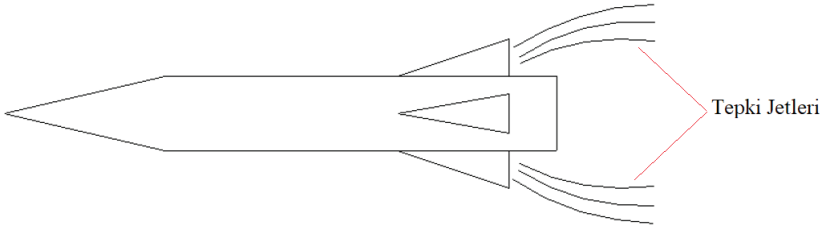
Şekil 16. Jet Vanası Denetimli Füze (Özkan, 2005)

#### 4. Tepki Jetleri

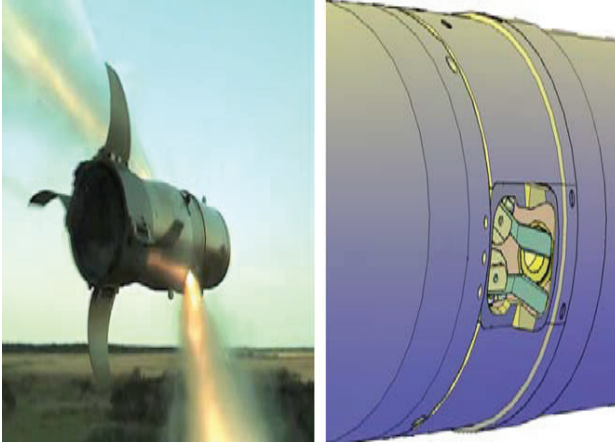
Şekil 17'deki şematik çizimde resmedilen tepki jetleri esaslı denetimde, mühimmat gövdesinin arka kısmına çepeçevre yerleştirilen küçük roketlerin ateşlenmesi sayesinde mühimmat yönelimi değiştirilerek güdüm-denetim şemasından gelen komutlar fiziksel harekete dönüştürülmektedir. Bahsedilen "roketçik"lerin ürettiği gazın doğrusal denetimi

oldukça zor olduğundan, genellikle “açık-kapalı” veya “bang-bang” tipinde bir denetim stratejisi uygulanmaktadır. İtki yönlendiren jet lülelerinin mühimmat gövdesinin burun kısmına yerleştirilmesi durumunda, mühimata yuvarlanma eksenini etrafında da açısal hareket sağlamak mümkün olur (Martin Marietta-A, 1993). Ayrıca, yüksek hücum açısı gereksiniminin söz konusu olduğu durumlarda, yalnızca aerodinamik denetim yüzeylerini kullanmak yerine denetim şemasına tepki jetlerinin de dahil edilmesi daha etkin bir yol olmaktadır (Blakelock, 1965; Lee, Choi-YS ve Choi-JW, 2004).

Tepki jeti denetimi yaklaşımının uygulandığı bir antitank füzesine ait olan fotoğraf Şekil 18’de verilmektedir.



Şekil 17. Tepki Jeti Denetimli Füze (Özkan, 2005)



Şekil 18. Tepki Jeti Denetimli Antitank Füzesi (Živković vd., 2016)

## 5. Ele Alınan Yönlendirme Mekanizmalarının Karşılaştırılması

Füze, akıllı bomba ve güdümlü mermi gibi güdümlü mühimmatın yönlendirilmesinde kullanılan başlıca mekanizmalar olan aerodinamik denetim yüzeyleri, itki vektörü saptırıcıları ve tepki jetlerinin, uygulama düzeyinde belirli üstünlük ve zayıflıkları bulunmaktadır. Söz gelimi, ele alınan operasyon durumuna göre anılan yöntemlerden biri veya birkaçı beklenen sonuçlara ulaşma potansiyelini haizken, diğer yöntemler sistem başarımında önemli düşüşlere neden olmaktadır. Bu bağlamda, incele-

nen yönlendirme mekanizmalarının denetlenebilirlik, ilgili mühimmatın manevra kapasitesi, sistem güvenilirliği, uygulanabilirlik, toplam kütle, hacim, çevresel koşullar ve ömür devri maliyeti kıstaslarına göre göreceli karşılaştırması Tablo 1’de verilmektedir. Tablo 1’de yapılan değerlendirilmede düşük, orta ve yüksek şeklinde üç farklı düzey göz önüne alınmış olup, daha düşük seviyenin olumlu olarak değerlendirildiği kütle, hacim ve maliyet parametreleri dışındaki kıstaslar için en iyi durum “yüksek” derecesi ile ifade edilmiş olup diğer seçeneklere nazaran daha üstün olan kısımlar gri ile renklendirilmiştir.

*Tablo 1. Mühimmat Yönlendirme Mekanizmalarının Karşılaştırılması*

Kıstas	Yönlendirme Mekanizması		
	Aerodinamik Denetim Yüzeyleri	İtki Vektörü Saptırıcıları	Tepki Jetleri
Denetlenebilirlik	Yüksek	Orta	Düşük
Manevra Kapasitesi	Orta	Yüksek	Yüksek
Güvenilirlik	Yüksek	Orta	Orta
Uygulanabilirlik	Yüksek	Orta	Orta
Kütle	Düşük	Yüksek	Orta
Hacim	Orta	Orta	Orta
Çevresel Koşullar	Orta	Yüksek	Yüksek
Maliyet	Orta	Yüksek	Düşük

## 6. Değerlendirme ve Sonuç

Mühimmat sistemlerinin yönlendirilmesinde göz önüne alınan başlıca yaklaşımlar olan aerodinamik denetim yüzeyleri, itki vektörü saptırıcıları ve tepki jetleri kullanımının genel özellikler ile üstünlük ve zayıflıkları bazında değerlendirildiği çalışma sonucunda, denetlenebilirlik, güvenilirlik, uygulanabilirlik ve kütle açısından diğer iki seçenekten daha iyi durumda gözüken aerodinamik denetim yüzeyleri, özellikle manevra kapasitesi, çevresel koşullara dayanım ve toplam maliyet kıstaslarına göre daha olumsuz bir durum ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın, özellikle mühimmata sağlayabilecekleri yüksek manevra yeteneği ve olumsuz çevre koşullarına karşı uyumluluk bakımından bakıldığında, itki vektörü saptırıcıları ve tepki jetlerinin öne çıktığı görülmektedir. Toplam maliyet açısından göreceli olarak en ucuz seçeneğin tepki jetleri kullanımı şeklinde gözüktüğü karşılaştırmada, mühimmat içerisindeki hacim gereksinimi bakımından incelenen yönlendirme alternatiflerinin birbiri üzerinde üstünlük kuramadığı değerlendirilmektedir.

## KAYNAKÇA

- ABD Hava Kuvvetleri İnternet Sayfası-AIM-9L Sidewinder. (2022). Erişim tarihi: 05.10.2022, <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104557/aim-9-sidewinder/> .
- BAE Systems İnternet Sayfası. (2022). Erişim tarihi: 05.10.2022, <https://www.naval-technology.com/news/thrust-vector-controller-technology/> .
- Bernacchia, D. (2019). *Design of thrust vectoring attitude control system for lunar lander flying testbed*. Bitirme Tezi, Universita' Di Bologna, İtalya.
- Blakelock, J. H. (1965). *Automatic control of aircraft and missiles*. John Wiley & Sons Inc.
- Chwa, D. K. ve Choi, J. Y. (2001). New parametric affine modeling and control for skid-to-turn missiles. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 9(2), 335-347.
- FAS Military Analysis Network. (2022). Erişim tarihi: 05.10.2022, <https://man.fas.org/dod-101/sys/smart/agm-88.htm> .
- Frarr, D. J. (1979). *Control of missile airframes*. British Aerospace Dynamics Group Raporu, İngiltere.
- General Dynamics İnternet Sayfası. (2022). Erişim tarihi: 05.10.2022, <http://defense-studies.blogspot.com/2010/04/air-dropped-mortar-successfully.html> .
- Jerin, J., Subanesh, S. R., Aravind, K. T. R., Naveen, N., Vignesh, R., Krishna, G. B. ve Sanal, K. V. R. (2013). Numerical studies on thrust vectoring using shock induced supersonic secondary jet. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 7(8), 1714-1720.
- Kamath, A. G. (2021). *Robust thrust vector control for precision rocket-landing*. Yüksek Lisans Tezi, University of California, ABD.
- Lee, H. C., Choi, Y. S. ve Choi, J. W. (2004). Autopilot design for agile missile using time-varying control technique. *Proceedings 16<sup>th</sup> IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace*. Saint-Petersburg, Russia, 2, 103-108.
- Martin Marietta Firması-A. (1993). *Control actuation system workshop/system analysis reference*. Eğitim Notları.
- Martin Marietta Firması-B. (1993). *Control actuation system design*. Eğitim Notları.
- Özgören, M. K. (1991) *Seminar notes on dynamics and control of guided missiles*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sürekli Eğitim Merkezi. Ankara, Türkiye.
- Özkan, B. (2005). *Dynamic modeling, guidance, and control of homing missiles*. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Ankara, Türkiye.

- Ramezani, M. A., Yousefi, S. ve Fouladi, N. (2019). An experimental and numerical investigation of the effect of geometric parameters on the flexible joint nonlinear behavior for thrust vector control. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 233(8), 2772-2782.
- Sutton, G. P. ve Biblarz, O. (2001). *Rocket propulsion elements*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- TÜBİTAK SAGE İnternet Sayfası-Bozdoğan. (2022). Erişim tarihi: 05.10.2022, <https://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/haber/ucak-avcisi-bozdogan-testi-basariyla-gecti> .
- TÜBİTAK SAGE İnternet Sayfası-KGK. (2022). Erişim tarihi: 05.10.2022, <https://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/urunler/kanatli-gudum-kiti-kgk> .
- TÜBİTAK SAGE İnternet Sayfası-SOM. (2022). Erişim tarihi: 05.10.2022, <https://www.sage.tubitak.gov.tr/tr/urunler/satha-atilan-orta-menzilli-muhimmat-som> .
- Živkovič, S. Ž., Milinovič, M. M., Stefanovič, P. L., Pavlovič, P. B. ve Gligorijević, N. I. (2016). Experimental and simulation testing of thermal loading in the jet tabs of a thrust vector control system. *Experimental and Simulation Testing of Thermal Loading in Thermal Science*, 20(1), 275-286.



“

## Bölüm 5

**TAZE ETİN MİKROBİYOLOJİSİNİ  
KORUMAK/İYİLEŞTİRMEK AMACIYLA  
UYGULANAN YÖNTEMLER**

*Sabire YERLİKAYA<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Ü. , Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye, [sabirebattal@kmu.edu.tr](mailto:sabirebattal@kmu.edu.tr) Orcid ID: 0000-0001-9842-5848

## 1. Giriş

Gıda kaynaklı problemler tüm dünyada insanların sağlığını ilgilendiren en önemli sorunlardan biri olarak görülmektedir. Teknolojik muameleler, iyi üretim uygulamaları, kalite kontrol ve sanitasyon, Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları (HACCP) ile risk değerlendirmesi gibi alınan güvenlik önlemlerine rağmen 2000'li yılların başlarında gıda kaynaklı hastalık ve zehirlenme sayısında artış gözlenmiştir. Avrupa Birliği'nde sıklıkla tespit edilen gıda kaynaklı infeksiyonlar *Campylobacter*, *Salmonella* ve *Listeria* cinsi bakterileri ile çeşitli virüslerden kaynaklanmaktadır (Seçkin ve ark., 2010).

Gıda piyasasının küreselleşmesi ile tüketicilerin yeni gıdalara olan talebi artmış ve bu durum yeni fonksiyonel ürünlerin üretimi ile sonuçlanmıştır. Yeni üretim teknolojilerinin ve tüketicilerin minimal işlenmiş veya işlenmemiş hazır gıdalara karşı olan taleplerinin artması ile mikrobiyolojik bulaşma riskini arttıracabilecek daha uzun ve karmaşık gıda zincirine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle yeni koruma teknolojileri devamlı olarak araştırılmaktadır (Dinçer ve ark., 2009).

Özellikle yaşanan bölgede nüfusun artması, daha büyük hacimli işletmelerin kurulması ve daha uzun raf ömrüne sahip gıdalara olan ihtiyacın artması ile bu gıdaların üretim süreçlerine olan ilgi de artmıştır. Gıdaların temel ihtiyaçlar arasında yer alması, üretimlerinin her zaman ilgi odağı haline gelmesine sebep olmuştur. Özellikle dünya nüfusundaki artış da gıda sektörüne olan bu ilginin artmasına neden olmuştur. Gıda sektörü açısından düşünüldüğünde ise, kolay ve seri üretime uygun teknikler ile yüksek besinsel değeri olan, güvenilir, uzun raf ömrüne sahip gıdaların üretilmesi esastır. Ayrıca çeşitli kimyasalların katkı maddesi olarak ilavesi ile gıdaların raf ömrünün uzatılması, mümkün olduğunca tercih edilmektedir (Dinçer ve ark., 2009).

Yüksek ısı işlem, asidifikasyon, tuzlama, kimyasal koruyucu kullanımı, kurutma geleneksel muhafaza teknikleridir. Günümüzde tüketiciler kaliteli, besin değeri yüksek, doğal ve az işlenmiş gıdalar için artan bir talep gösterir. Bu nedenle alternatif muhafaza yöntemlerine bir eğilim vardır. Ürünün uzun raf ömrüne ve yüksek hijyenik kaliteye sahip olmasını sağlayan biyokoruma, sözü edilen alternatif gıda muhafaza teknolojileri arasında yer almaktadır. Güvenilerek kullanılabilceği belirtilen biyokoruma gıdalarda doğal olarak oluşan mikroorganizmanın patojen potansiyelini ortadan kaldırmaktadır. Gıdaların korunmasında kullanılan sterilizasyon, dondurma, kurutma gibi bilinen yöntemlerin yanında laktik asit bakterilerinin ürettiği organik asitler, reuterin, bakteriyosin gibi metabolitlerin kullanımıyla da gıda maddelerinin raf ömrü uzatılmakta ve güvenliği artırılmaktadır (Fiorentini ve ark., 2001).



## 2. Taze Etin Mikrobiyolojisi

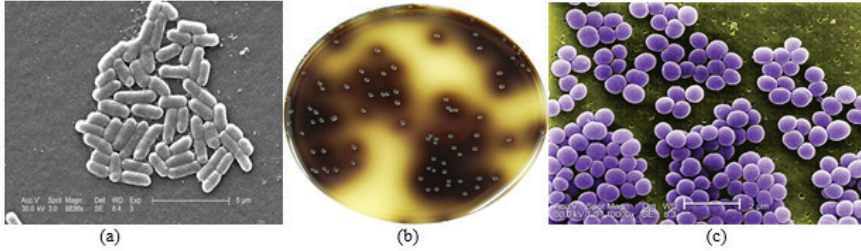
Taze et zengin bir gıdadır ve mikrobiyal aktiviteyle bozulma eğilimindedir. Koruma metodları kullanılmazsa raf ömrü kısalmır (Hugas, 1998). Et kalitesinin devamlılığı ve raf ömrü, birbiriyle ilişkili olan birkaç faktör tarafından etkilenir (Olaoye ve ark., 2010; 2011). Bunlar iç ve dış faktörler olarak iki grup altında toplanabilir. Dış faktörler depolama ve işlem şartlarıyla ilgiliyken, iç faktörler gıdanın kimyasal özelliğiyle (konsantrasyon, pH, redoks potansiyeli, tampon kapasitesi, su aktivitesi, etin yapısı) ilgilidir. Dış faktörler et ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için sıklıkla ayarlanabilir.

Etin ilk mikrobiyal yükü değişkenlik gösterir ve genellikle mezofilik ve psikrotrofik bakterileri içerir. Buzdolabı sıcaklığı etin bozulmasını geciktirmesine karşın psikrofil ve psikrotrof mikroorganizmalar bu sıcaklıkta gelişmeye başlayarak bozulmaya sebep olurlar (Leroy ve ark., 2002). Bu bakteriler içerisinde hem bozulma hem de patojen olanları mevcut olduğu için insan ve hayvanlarda çeşitli infeksiyonlara neden olurken, etin de bozulmasına sebep olur. Bu nedenle mikrobiyal gelişimi engellemek için iyi üretim uygulamalarına ve uygun koruma yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Psikrotrofik patojenlerin gelişimini kontrol etmek için yetersiz olsada, buzdolabında muhafaza et endüstrisinde en çok kullanılan koruma metodudur (Fiorentini ve ark., 2001).

Et besin içeriği açısından zengin bir gıda olduğu için et kökenli bozulma ve patojen mikroorganizmaların gelişmesi için mükemmel bir ortam oluşturduğundan, güvenliğini ve kalitesini arttırmak için uygun muhafaza yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir (Aymeric ve ark., 2008; Biswas ve ark., 2008). Karkaslara muhtemel mikrobiyal bulaşma sebebi olarak; ülkemizdeki mezbahaların çoğunun teknolojiye yoksun olması, karkasların uygun olmayan alanlarda depo edilmesi ve taşınması sırasında hijyen kurallarına uyulmaması gösterilebilir (Biswas ve ark., 2008).

Normal koşullarda, sağlıklı bir hayvan etinin iç dokularında mikroorganizma bulunmaz veya çok az sayıda bulunabilir. Ancak, etlerin kesimi, yüzülmesi, parçalanması, taşınması, depolanması ve işlenmesi sırasında büyük ölçüde mikrobiyal kontaminasyona maruz kaldığı bilinmektedir. Yüksek oranda mikroorganizma içeren, hayvan bağırsağı, derisi kesim sırasında kontaminasyona neden olabilmektedir. Canlı hayvanda mikroorganizmalar lenf nodüllerinde lokalize olmuştur. Bundan dolayı lenf nodülleri kesimden sonra mikrobiyolojik bozulmalarda önemli rol oynar. Kesim sırasında hijyen ve sanitasyona dikkat edilmezse bu mikroorganizmalar kan akıtma sırasında kana karışarak etin iç dokularına kadar girebilir. Kesim sırasındaki mikrobiyal bulaşma kaynakları hayvan derisi ve bağırsağı, personel, alet ve ekipmanlar, hava şeklinde sıralanabilir (Fiorentini ve ark., 2001).

Kesim ile birlikte et mikroorganizmalarla karşılaşır. Esas kontaminasyon kesim, yüzme ve parçalama sırasında olmakta ve bu kontaminasyona hayvan, deri, ayak, kürk, boynuzunun ve bağırsağın taşıdığı mikroorganizmalar neden olmaktadır. Personelin ellerinde ve elbiselerinde, kesim işleminin yapıldığı ortamdan da mikroorganizma kontaminasyonu söz konusudur. Ayrıca kesim sırasında kullanılan aletlerdeki mikroorganizma ve kesim yerlerine kontamine olmuş mikroorganizmalar lenf sıvısı ve kanla etin iç dokularına kadar taşınmaktadır (Sofos ve Geornaras, 2010). Ete bulaşan mikroorganizmalar 3 grup altında incelenebilir, bunlar patojen mikroorganizmalar, saprofit mikroorganizmalar ve indikatör mikroorganizmalardır. Enterobakteriler, toplam koliform, fekal koliform ve *E. coli* indikatör bakteriler olup ette bunların varlığı genel kontaminasyon olduğunun göstergesi olarak kabul edilir (Fiorentini ve ark., 2001).



**Şekil 1.** Ette gözlenen mikroorganizmalar a) *E.coli* O157:H7, b) *L.monocytogenes*, c) *Staphylococcus aureus*

*Salmonella* spp., *E.coli* O157:H7, *L.monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium perfringenes*, *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila* ette bulunan başlıca patojenlere örnek olarak gösterilebilir (Şekil 1). Bu mikroorganizmalar hızla çoğalarak et ürünlerinin gerçek florasını oluştururlar. Böylece halk sağlığını tehlikeye atabilmekte ve hatta ölümlerle sonuçlanan vakalara neden olabilmektedirler (Biswas ve ark., 2008). Ette bulunan bozulma etmeni organizmalar; bakteriler (*Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alteromonas*, *Lactobacillus* spp, *Brochotrix thermosphacta*), küfler (*Penicillium*, *Cladosporium*, *Thamnidium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*), mayalar (*Torulopsis*, *Candida*, *Rhodotorula*) olarak sıralanabilir (Kotula ve Kotula, 2000; Doyle ve Erickson, 2006). Bu mikroorganizmalar ette renk değişikliği ve küf oluşumu gibi sorunlara neden olmaktadır (Şekil 2).



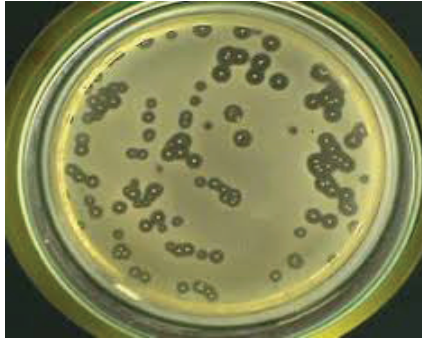
(a)

(b)

**Şekil 2.** Et renginin değişmesi (a) ve ette küf oluşumu (b)

### 3. Taze Ete Uygulanan Yöntemler

Etinin mikrobiyolojik kalitesi ve güvenliği üretici ve tüketici için oldukça önemli olduğundan mikrobiyal yükünü azaltmak amacıyla değişik muhafaza yöntemleri uygulanmaktadır. Ete uygulanan dekontaminasyon yöntemlerinde temel hedef patojen ve bozulma etmeni mikroorganizmaları elemine etmek veya Gıda Kodeksinde belirtilen kabul edilebilir düzeye indirmektir. Etin dekontaminasyonu için kullanılan yöntemler termal yöntemler ve termal olmayan yöntemler olarak iki grup altında toplanabilir. Termal yöntemler sıcak suyla veya buharla pastörizasyon, buharla karkasın vakumlanması, ohmik ısıtma, yüksek frekanslı ısıtma (iyonize olmayan radyasyon: mikrodalga ve radyofrekans enerji); termal olmayan yöntemler kimyasallar (organik asitler, trisodium fosfat, asitli sodyum klorit vb. ), gazlar (ozon, CO<sub>2</sub>), yüksek hidrostatik basınç, vurgulu elektrik alanı, iyonize ve UV radyasyon, aktif/akıllı paketleme, doğal koruyucular (laktoferrin, uçucu yağ asitleri, bitki ekstraktları, bakteriyosin), biyokoruma olarak sıralanabilir (Şekil 3) (Kotula ve Kotula, 2000; Huffman, 2002).



**Şekil 3.** *Bakteriyosin uygulaması*

Tüketiciler az işlenmiş, kimyasal koruyucu içermeyen, güvenli gıdalara talep gösterirler. Bu durum biyokoruyucuların kullanımına olan ilgiyi arttırmıştır. Bunun nedeni ise biyokoruyucuların gıda güvenliğini tehlike-

ye atmadan, gıdanın besin ve vitamin değerini organoleptik özellikleriyle birlikte koruyarak raf ömrünü uzatmasından kaynaklanır.

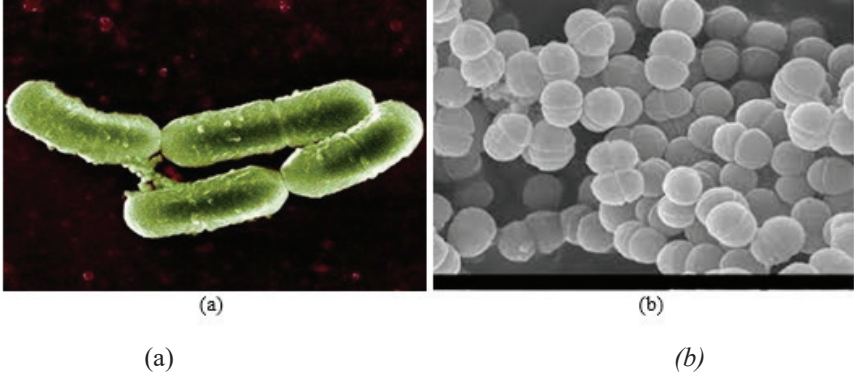
#### 4. Biyokoruma

Biyokoruma yöntemi, antagonistik mikroorganizmaları ve/veya bunların metabolitlerinin gıdalarda istenmeyen mikroorganizmaları yok etmek veya inhibe etmek amacıyla kullanılması olarak tanımlanabilir (Somra ve ark., 2002; Devlieghere ve ark., 2004). Biyokoruma gıdalarda mevcut olan potansiyel patojenleri ve bozulma etmeni bakterileri inhibe etmek için alternatif gıda muhafaza yöntemidir (Martinis ve ark., 2011). Biyokoruma; gıda kaynaklı patojenleri ve bozulma etmeni mikroorganizmaların gelişimini kontrol etmede doğal bir yöntem olduğu için yaygın bir şekilde kullanılan bir koruma yöntemidir (Fiorentini ve ark., 2001). Biyokoruma amacıyla en çok kullanılan mikroorganizmalar laktik asit bakterileridir.

#### 5. Laktik Asit Bakterileri

Fermente gıdaların çoğunda fermantasyon işleminde rol oynamaktadırlar (Thevenot ve ark., 2006). Laktik asit bakterilerinin antimikrobiyal etkileri gıdaların raf ömrünü arttırmak amacıyla yüzyıllar boyunca kullanılmıştır. Geleneksel olarak laktik asit bakterileri, farklı gıdalarda doğal fermantasyonda rol oynadıkları gibi starter kültür olarak da fermente gıdaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Budde ve ark., 2003). Laktik asit bakterileri GRAS statüsüne sahip olduğu için biyokoruyucu olarak büyük bir kullanıma sahiptir. Bu durumun nedeni olarak, taze etin depolama şartları boyunca ve insan tüketimi için güvenli olması gösterilebilir. Buzdolabı sıcaklığında laktik asit bakterileri taze domuz, kümes hayvanları ve balıkta bulunan bozulma etmeni mikroorganizmalara karşı antagonistik etki gösterir (Castellano ve ark., 2008). Antagonistik kültürler sadece patojenleri öldürmek ve raf ömrünü uzatmak amacıyla gıdaya katılır. Bu sırada gıdanın duyuşal özelliklerinde mümkün olduğunca az değişikliğe neden olmaktadır (Lücke, 2000). Laktik asit bakterilerinin faydalı özellikleri arasında yer alan bakteriyosin, reuterin, organik asit üretmeleri önemlidir. Bu metabolitler *Listeria monocytogenes* gibi patojen mikroorganizmaları inhibe ederek gıdanın mikrobiyal güvenliğini ve stabilitesini arttırmaktadır (Budde ve ark., 2003).

Et ve et ürünlerinde izole edilen laktik asit bakteri cinsleri; *Lactobacillus* (dominant) (*Lactobacillus sakei*, *Lb. curvatus* ve *Lb. plantarum*), *Pediococcus* (*P. acidolactici*, *P. pentosaceus*), *Leuconostoc* (*Leu. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*, *Leuc. gelidum*, *Leu. carnosum*), *Carnobacterium* (*C. piscicola*, *C. divergens*), *Weissella*, *Enterococcus* (*E. faecalis*, *E. faecium*) olarak sıralanabilir (Şekil 4) (Hugas, 1998).

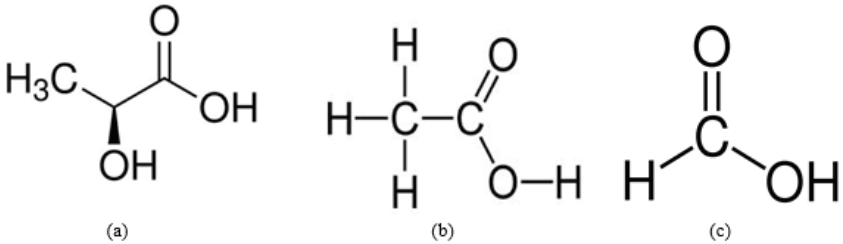


Şekil 4. *Lactobacillus sakei* (a) ve *P. Pentosaceus* (b)

### 5.0.1. Organik Asitler

Antimikrobiyal bileşiklerin kullanımını istenilen etkinlik, yasal sınırlamalar ve gıda üzerindeki etkisi gibi faktörlere bağlıdır. Antimikrobiyal olarak organik asitlerin inhibitör aktiviteleri konsantrasyon, pH, molariteye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Beth ve ark., 2004).

Laktik asit, asetik asit ve formik asit LAB'leri tarafından üretilen başlıca organik asitlerdir (Şekil 5). Lipofilik özelliğe sahip olduklarından membrandan kolayca geçerler. Bakteriyel gelişmeyi önlemenin en etkili yollarından biri etin asitliğini arttırmaktır. Organik asitlerin antimikrobiyal etkisi; iyonlaşmamış moleküllerin sitoplazmaya taşınmalarına ve burada iyonize olup sitoplazma pH'sını düşürmelerine, sonuçta da enzim ve proteinleri denatüre etmelerine, proton itici gücü bozmalarına ve membrandan besin elementlerinin aktif transportunu engellemelerine dayanmaktadır. Bunun sonucunda sellüler metabolizma durmakta veya biyolojik aktivite azalmaktadır (Cherrington ve ark., 1991).



Şekil 5. *Laktik asit (a), asetik asit (b) ve formik asit (c)*

Etin mikrobiyal yükünü azaltmak için kullanılan gıda asitleri tek başlarına veya kombine olarak kullanıldıklarında hem patojen hem bozulma etmeni mikroorganizmaların sayılarının azaltılmasında etkili ol-

dukları ortaya konulmuştur. Yüzeyde bakterisidal ve bakteriyostatik inhibisyon etkisi yaratan organik asitler aynı zamanda bakterilerin özellikle Gram-negatif bakterilerin yüzeye tutunmasını da önlemektedir (Bolder, 1997; Dorsa ve ark., 1997). Yaygın olarak kullanılan organik asitlerden asetik asit ve laktik asit kullandıkları konsantrasyon ve ortam sıcaklığı arttırıldığında mikroorganizmaları etkili bir şekilde inhibe ettiği gözlenmiştir. Ancak, yüksek konsantrasyonlarda uygulandıklarında etin renginde açılmaya, etin tat ve kokusunu olumsuzluklara neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca organik asitler kombine olarak kullanıldıklarında antimikrobiyal aktivitelerinin de arttığı bildirilmektedir. %1.5-2.5 düzeyinde kullanıldıklarında etin kalitesini olumsuz yönde etkilemeksizin bakteriyel yükü 0.8-2.0 log azalttığı belirlenmiştir (Bolder, 1997; Cherrington ve ark., 1991).

Yapılan bir çalışmada koyun/keçi karkası sadece %2 laktik asit ve %1.5 asetik asit + %1.5 propiyonik asit kombinasyonu ile muamele edildiğinde toplam bakteri sayısında sırasıyla 0.52 ve 1.16 log azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Bozulma etmeni mikroorganizmaların laktik aside kıyasla asit kombinasyonuna karşı daha fazla duyarlı olduğu ve buna paralel olarak da sadece laktik asitle muamele edilen etin muhafaza süresinin asit uygulanmayan kontrol örneğine göre 5 gün, asetik asit ve propiyonik asitle muamele edilen etin ise raf ömrünün 8 gün arttığı tespit edilmiştir (Dubal ve ark., 2003).

### 5.0.2. Bakteriyosinler

Birçok LAB'sinin bakteriyosin üretme yeteneğine sahip olduğu bulunmuştur. Bunlara örnek olarak Lactococcus, Lactobacillus, Streptococcus, Pediococcus, Carnobacterium, Enterococcus, Leuconostoc verilebilir (Fiorentini ve ark., 2001). Uzun tarihe ve güvenli kullanıma sahip olduğu için ticari anlamda en önemli bakteriyosin nisindir. Yaklaşık 50 ülkede güvenli gıda koruyucusu olarak kullanılmaktadır (Zhu ve ark., 2005).

Bakteriyosinler temel olarak 4 ana grupta incelenebilir. Sınıf I lantibiyotikler; anormal aminoasit (lanthionin) içerir ve ribozomda sentezlendikten sonra sitoplazmada dehidrasyon gibi reaksiyonlara uğrar. Ayrıca lantibiyotikler düşük molekül ağırlığına sahip olup ısıya karşı hassas değildirler. Nisin lantibiyotiklere verilebilecek en önemli bakteriyosindir. Sınıf II bakteriyosinleri; sınıf I'e benzer ancak ribozomda sentezlendikten sonra post-modifikasyona uğramadıkları için anormal aminoasitleri içermezler. Molekül ağırlığı Sınıf I'e göre fazladır. Güçlü antilisteria aktivitesine sahip pediocin benzeri bakteriyosinler örnek olarak gösterilebilir. Üç alt gruba sahiptir; bunlar sınıf IIa, grup IIb ve grup IIc olarak sıralanmaktadır. Sınıf III bakteriyosinleri büyük moleküldürler ve ısıya karşı değişkendirler. Sınıf IV bakteriyosinleri proteine ilave olarak esansiyel

lipid ve karbonhidrat içerir, komplekstirler, halkalı peptidleridir (Klaenhammer 1993; Hugas, 1998; Cleveland ve ark., 2001; McAuliffe ve ark., 2001; Chen ve Hoover 2003; Rodriguez ve ark., 2003; Cotter ve ark., 2005; Heng ve Tagg 2006 ).

Gıdalarda kullanılan bakteriyosinler; toksik olmamalı, stabil ve yüksek oranda aktif olmalı, inhibitör spektrumu geniş olmalı, gıdanın duyuşal özelliklerini etkilememeli, kullanımı basit olmalı ve maliyeti yüksek olmamalıdır (Fiorentini ve ark., 2001).

### 5.1.2.1. Bakteriyosinlerin Gıdalarda Kullanımına Örnekler

Yapılan bir çalışmada sığır etine *L. monocytogenes* inoküle edilmiş, nisin ve nisin ile EDTA kombinasyonu ile muamele edilmiştir. 4°C'de depolama sonucunda *L. monocytogenes* konsantrasyonu 7 log kob/ml'den 2.01 ve 0.99 log kob/ml'ye düşmüştür (Zhu ve ark., 2005).

Laktosin 705'in 20°C'de 24 saat inkübasyonu sonunda ette *L. monocytogenes* gelişimini inhibe ettiği belirlenmiştir. Laktosin 705'in konsantrasyonu arttıkça *L. monocytogenes* sayısındaki azalma oranı da artmıştır (Vignolo ve ark., 1996).

Kuzey Afrika orjinli merguez sosislerine *L. monocytogenes* ATCC 7644 ilave edilmiş, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* M tarafından üretilen bakteriyosinin inhibitör aktivitesi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda *L. monocytogenes* ATCC 7644 sayısında azalma gözlemlenmiştir (Benkerroum ve ark., 2003).

*Lactobacillus sakei* tarafından üretilen sakasinin *L. monocytogenes* üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada sakasinin *L. monocytogenes*'i farklı ürünlerde farklı oranlarda inhibe ettiği gözlemlenmiştir. En fazla etkinliği vakum paketlenmiş tavuk göğsü ve pişmiş domuz etinde; modifiye atmosferde paketlenmiş çiğ domuz kıymasında göstermiştir (Hugas ve ark., 1998).

*Pediococcus acidilactici*'nin ürettiği bir bakteriyosinin taze ette *L. monocytogenes* üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada bakteriyosinle etin 2 dakikalık muamelesinden sonra patojen sayısında bakteriyosin konsantrasyonuna bağlı olarak 0.5-2.2 log'luk bir azalma gözlemlenmiştir (Nielsen ve ark., 1990).

*L. monocytogenes* Scott A ile inoküle edilen (7 log kob/ml) taze inek eti nisin ve nisin+EDTA içeren çözeltiye daldırılıp 10 dk bekletildiğinde bakteri sayısında 2 ile 0.99 log kob/ml düzeyinde azalma olduğu gözlemlenmiştir (Zhang ve Mustapha 1999).

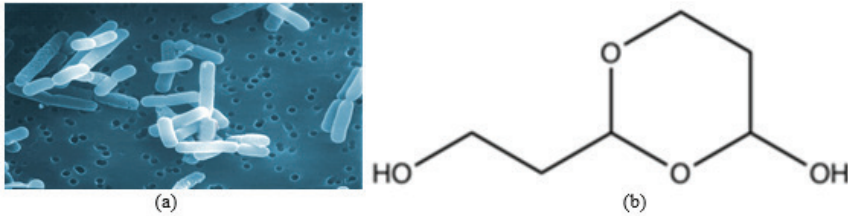
Nisin (400 IU/ml) ve laktik asit (%2) tek başlarına ve kombine olarak inek etine uygulanıp vakum ambalajlandıklarında *L. monocytogenes* Scott

A'ya karşı hemen bakterisidal etki gösterdiği belirlenmiştir (Ariyapitipun ve ark., 2000).

LAB bakteriyosinlerin et ürünlerinde kullanımını etkileyen birçok faktörler söz konusudur. Bu faktörle; ette inhibe edilmek istenen mikroorganizmanın tipi, sayısı, bakteriyosine duyarlılık, fizyolojik durumu (geleşme fazı, endospor), etin pH'sı (bakteriyosinler düşük pH'da daha iyi çözünmekte), etin bileşimi (yağ, fosfat ve tuz içeriği (yağ fazına adsorpsiyon)), etin matriksiyle interaksiyonu, etin bileşiminde doğal olarak bulunan proteolitik enzimler, bakteriyosine dayanıklı patojen veya bozulma etmeni bakterilerin ortaya çıkmasıdır. LAB bakteriyosinler diğer muhafaza yöntemleri ile birlikte et sistemine uygulandığında bu olumsuz etkilerin azaldığı ve daha etkin sonuç alındığı birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. Kimyasal maddeler ve doğal antimikrobialların (NaCl,  $\text{NO}_2^-$ , organik asitler, şelatlaştırıcı maddeler, etanol, reuterin, esansiyel yağlar (fenolik bileşikler)), diğer bakteriyosinlerin, enzimlerin (lisozim, laktoperoksidaz sistemi) modifiye atmosferde paketleme, vurgulu elektrik, yüksek hidrostatik basınç vb. gibi uygulamalar ile birlikte kullanılması antimikrobial aktiviteyi arttırmaktadır (Zhang ve Mustapha 1999).

### 5.0.3. Reuterin

Reuterin *Lactobacillus reuteri* tarafından üretilen bir metabolittir (Şekil 6). Reuterin direkt olarak gliserol metabolizması ile ilişkili olan suda çözünen, protein yapısında olmayan, nötral bir metabolittir. Kimyasal yapısı beta-3-hidroksi propiyonaldehit'tir. *Lb. reuteri* anaerobik koşullarda fermantasyonla gliserölü, 1,3-propanediol,  $\beta$ -hidroksipropiyonik asid ( $\beta$ -HPA) ve reuterine dönüştürmektedir. Reuterin doğal bir sterilant olup antimikrobial spektrumu oldukça geniş ve etkili olduğu organizmalar Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteriler, mayalar, küfler, protozooldur (el-Ziney ve Debevere, 1998).



Şekil 6. *Lactobacillus reuteri* (a) ve reuterin kimyasal yapısı (b)

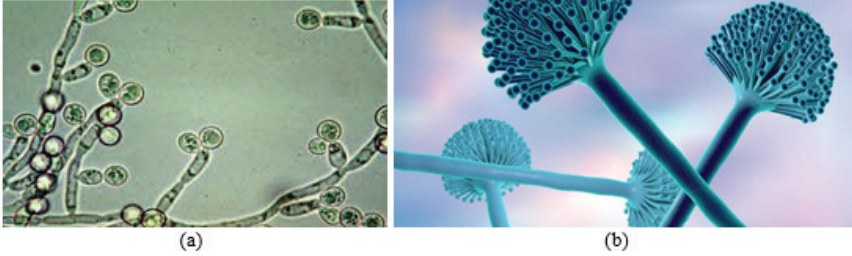
#### 5.0.3.1. Reuterinin Antimikrobial Etki Mekanizması

Reuterinin etki mekanizması DNA sentezinde rol oynayan ribonükleotit redüktaz enzimi ve thioeredoksinin aktivitesini inhibe etmesine dayanmaktadır. Ribonükleotitlerin deoksiribonükleotitlere dönüşümünü



sağlayan enzimin aktivitesini inhibe ederek göstermektedir. Geniş inhibitör spektrumunun temel kaynağının da bu etkiden kaynaklandığı ifade edilmektedir. Ayrıca reuterinin antimikrobiyal aktivitesinin sülfidril enzimlerini inaktif etmesinden de kaynaklanmaktadır. Reuterinin hidroksil ve aldehit grupları redüktaz enzimi ve thioeredoksinin thiol grupları ile reaksiyona girerek inhibitör aktiviteyi sergilediği belirlenmiştir. Reuterin suda çözünebilir, geniş pH aralığında (2-8) aktivite gösterebilen, proteolitik ve lipolitik enzimlere dayanıklı olduğundan gıdalar için uygun bir biyokoruyucudur (Dobrogosz ve ark., 1989).

Reuterinin inhibitör aktivite gösterdiği mikroorganizmalar; bakteriler (*L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumonia*, *Helicobacter pylori*, *Streptococcus mutans*), mayalar (*Candida albicans* ve diğer türleri, *Saccharomyces cerevisiae*), küfler (*Aspergillus* ve *Fusarium* spp.), protozoalar (*Trypanosoma cruzi*, *Trypanosoma brucei*, *Cryptosporidium parvum*)'dir (Şekil 7). Reuterinin (100-500 AU/g) taze etin yüzeyine uygulandığında *Listeria monocytogenes* ve *Escherichia coli* O157:H7'nin gelişimini inhibe ettiği bulunmuştur (El Ziney et al. 1999).



Şekil 7. *Candida albicans* (a) ve *Aspergillus* spp.(b)

## 6. Sonuç

Tüketicilerin doğal veya geleneksel yöntemler ile üretilen, kimyasal katkı maddesi içermeyen, hazırlaması kolay, taze görümlü, sağlık üzerinde olumlu etkileri olan gıdaları tercih ettiği yadsınamaz bir gerçektir. Bu sebeple laktik asit bakterileri potansiyel gıda koruyucusu olarak önemini halen sürdürmektedir. Antagonistik aktiviteye sahip et ve ürünlerine uygun LAB'ler veya bakteriyosin gibi antimikrobiyal bileşikler saf veya saflaştırılmadan kullanıldıklarında; et ve ürünlerinin duyuşal özellikleri korunarak raf ömrü uzamakta ve güvenliği artmaktadır. Uygun olmayan sıcaklık koşullarında ekstra koruma sağlamaktadır. Gıda zincirinde, gıda kaynaklı patojenlerin taşınma riskini, ekonomik kayıpları, kimyasal koruyucuların kullanımını azaltmaktadır. Endüstri ve tüketicilerin talepleri karşılamaktadır. Taze etin mikrobiyal kalitesinin artırılması amacıyla bakteriyosin, reuterin ve çeşitli organik asitler kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Ariyapitipun, T., Mustapha, A., Clarke, A.D. 2000. Survival of *Listeria monocytogenes* Scott A on vacuum-packaged raw beef treated with polylactic acid, lactic acid, and nisin. *J Food Prot*, 63:131–6.
- Aymerich, T., Picouet, P.A., Monfort, J.M. 2008. Decontamination technologies for meat products. *Meat Science* 78, 114-129.
- Benkerroum, N., Daoudi, A., Kamal, M., 2003. Behaviour of *Listeria monocytogenes* in raw sausages (merguez) in presence of a bacteriocin-producing lactococcal strain as a protective culture. *Meat Science* 63 (4), 479-84
- Beth, A., Mark, C., Zuoxing, Z. 2004. An overview of antimicrobial ingredients. *J. Food Safety* 10, 24-25.
- Biswas, S., De, A., Patra, D., Bhattacharya, D., 2008. Meat Microbiology vis-à-vis Food safety –A Retrospective. Animal Products Technology and Marketing, Faculty of Veterinary and Animal Sciences, West Bengal University of Animal and Fishery Sciences, Kolkata-37.
- Bolder, N.M. 1997. Decontamination of meat and poultry carcasses. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 221-227.
- Budde B.B., Hornbæk T., Jacobsen T., Barkholt V., Koch A.G., 2003. *Leuconostoc carnosum* 4010 has the potential for use as a protective culture for vacuum-packed isolation, bacteriocin identification, and meat application experiments. *Int J Food Microbiol* 83 (2), 171-84
- Castellano, P.H., Holzapfel, W.H., Vignolo, G.M., 2004. The control of *Listeria innocua* and *Lactobacillus sakei* in broth and meat slurry with the bacteriocinogenic strain *Lactobacillus casei* CRL705. *Food Microbiology* 21 (3), 291-298
- Castellano, P.H., Belfiore C., Fadda S., G. Vignolo, 2008. A review of bacteriocinogenic lactic acid bacteria used as bioprotective cultures in fresh meat produced in Argentina. *Meat Science*, 79 (3), 483-499
- Chen, H. ve Hoover, D.G., 2003. Bacteriocins and their food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 82-100.
- Cherrington, C.A., Hinton, M., Person, G.R., Chopra, I.J. 1991. Organic acids as microorganisms decontaminators. *J. Applied Bacteriol.*, 70, 156-172.
- Cleveland, J., Montville, T.J., Nes, I.F. ve Chikindas, M.L., 2001. Bacteriocins: safe Naturel antimicrobials for food preservation. *International Journal of Food Microbiology*, 71, 1-20.
- Cotter, P.D., Hill, C. ve Ross, R.P., 2005. Bacteriocins: developing innate immunity for food. *Nature Reviews Microbiology*, 3, 777-788.
- Devlieghere, F., Vermeiren, L., ve Debevere, J., 2004. New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal*, 14, 273-285.

- Dinçer, E., Kıvanç, M., Karaca, H., 2009. Biyokoruyucu olarak laktik asit bakterileri ve bakteriyosinler. *Gıda* 31(1)
- Dorsa, W.J., Cutter, C.N., Iragusa, G.R. 1997. Bacterial profile of ground beef made from carcass tissue experimentally contaminated with pathogenic and spoilage bacteria before being washed with hot water, alkaline solution, or organic acids and then stored at 4 or 12°C. *J. Food Prot.*, 6: 1109-1118.
- Doyle, M.P., Erickson, M.C. 2006. Emerging microbiological food safety issues-related to meat. *Meat Science*, 74, 98–112.
- Dubal, B.Z., Paturkar, M.A., Waskar, S.V., Zende, J.R., Latha, C., Rawool, B.D., Kadam, C. 2003. Effect of food grade acids on inoculated *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *E. coli* and *S. Typhimurium* in sheep/goat meat stored at refrigerated temperature. *J. Meat Sci.*, 51: 142-147.
- El-Ziney, M.G., van den Tempel, T., Debereve, J., Jacobsen, M., 1999. Application of reuterin produced by *Lactobacillus reuteri* 12002 for meat decontamination and preservation. *J Food Prot*, 62(3):257-261.
- Fiorentini, A.M., Sant’Anna, E.S., Porto, A.C.S., Mazo, J.Z., Franco, B.D.G.M. 2001. Influence of bacteriocins produced by *Lactobacillus plantarum* BN in the shelf-life of refrigerated bovine meat. *Brazilian Journal of Microbiology*, 32:42-46
- Heng, N.C., K. ve Tagg, J.R., 2006. What’s in a name? Class distinction for bacteriocins. *Nature Reviews Microbiology* 4, doi: 10.1038/nrmicro1273-c1.
- Huffman, R.D. 2002. Current and future technologies for the decontamination of carcasses and fresh meat. *Meat Science*, 62, 285–294.
- Hugas, M., Pagés, F., Garriga, M., Monfort, J.M., 1998. Application of the bacteriocinogenic *Lactobacillus sakei* CTC494 to prevent growth of *Listeria* in fresh and cooked meat products packed with different atmospheres. *Food Microbiology*, 15(6), 639-650
- Klaenhammer, T.R., 1993. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEM Microbiology*, 12, 39-86.
- Kotula, K.L., Kotula, A.W. 2000. Microbial ecology of different types of food—fresh red meats. In B.M. Lund, T.C. Baird-Parker, G.W. Gould (Eds.), *The microbiological safety and quality of food* (pp. 359–388). Gaithersburg, MD: Aspen Publishers, Inc.
- Leroy F., Verluyten J., Messens W., De Vuyst L., 2002. Modelling contributes to the understanding of the different behaviour of bacteriocin-producing strains in a meat environment. *Int. Dairy Journal*, 12 (2-3), 247-253
- Lücke Friedrich-Karl, 2000. Utilization of microbes to process and preserve meat. *Meat Science* 56 (2), 105-115
- De Martinis E.C.P., Alves V.F. ve Franco B.D.G.M., 2011. Fundamentals and perspectives for the use of bacteriocins produced by lactic acid bacteria in meat products. *Food Reviews International*, 18 (2-3), 191-208

- McAuliffe, O., Ross, R.P., ve Hill, C., 2001. Lantibiotics: structure, biosynthesis and mode of action. *FEMS Microbiology Reviews*, 25, 285-308.
- Nielsen, J.W., Dickson, J.S., Crouse, J.D. 1990. Use of a bacteriocin produced by *Pediococcus acidilactici* to inhibit *Listeria monocytogenes* associated with fresh meat. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 2142-2145.
- Olaoye A.O. ve Idowu, O.A., 2010. Features and functional properties of lactic acid bacteria used as biological preservatives of meat processing: A review article. *Journal of Agricultural Technology* 6(3): 449-460.
- Olaoye A.O., Ntuen I.G., 2011. Spoilage and preservation of meat: a general appraisal and potential of lactic acid bacteria as biological preservatives. *International Research Journal of Biotechnology* (ISSN: 2141-5153) Vol. 2(1) pp.033-046
- Rodriguez, J.M., Martinez, M.I., Horn, N. ve Dodd, H.M., 2003. Heterologous production of bacteriocins by lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 80, 101-116.
- Rozbeh, M., Kalchaynand, N., Field, R.A., Johnson, M.C. ve Ray, B., 1993. The influence of biopreservatives on the bacterial level of refrigerated vacuum packaged beef. *Journal of Food Safety*, 13, 99-111.
- Seçkin, A. Kemal ve Baladura Emrah, 2010. Gıdaların muhafazasında bakteriyosin ve bakteriyofaj uygulamaları. *Gıda* 35 (6) 461-467
- Sofos, J.N., Geornaras, I., 2010. Overview of current meat hygiene and safety risks and summary of recent studies on biofilms, and control of *Escherichia coli* O157:H7 in nonintact, and *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat, meat products. *Meat Science* 86, 2-14.
- Soomro, A.H., Masud, T. ve Anwaar, K., 2002. Role of lactic acid bacteria (LAB) in food preservation and human health – A Review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 1(1), 20-24.
- Thevenot, D., Delignette-Muller, M.L., Christeans, S., Leroy, S., Kodjo, A., ve Vernozy-Rozand, C., 2006. Serological and molecular ecology of *Listeria monocytogenes* isolates collected from 13 French pork meat salting-curing plants and their products. *International Journal of Food Microbiology*, 112: 153-161.
- Vignolo G., Fadda S., de Kairuz M.N., de Ruiz Holgado A.A.P., Oliver G., 1996. Control of *Listeria monocytogenes* in ground beef by 'Lactocin 705', a bacteriocin produced by *Lactobacillus casei* CRL 705. *Int. J. Food Microbiology* 29 (2-3), 397-402
- Zhang, S., Mustapha, A. 1999. Reduction of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 numbers on vacuum-packaged fresh beef treated with nisin or nisin combined with EDTA. *J Food Prot* 62: 1123-7.
- Zhu M., Du M., Cordray J., ve Ahn D.U., 2005. Control of *Listeria monocytogenes* contamination in ready-to-eat meat products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 4 (2), 34-42

“

## Bölüm 6

### YAPAY SİNİR AĞLARIYLA TÜRKİYE’NİN DOĞALGAZ TALEP TAHMİNİ

*Zehra BİLİCİ<sup>1</sup>*

*Durmuş ÖZDEMİR<sup>2</sup>*

*Celal Onur GÖKÇE<sup>3</sup>*

”

---

1 Arş. Gör. Zehra BİLİCİ; Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü. zbilici@aku.edu.tr ORCID No: 0000-0002-5417-428X

2 Dr. Öğr. Üyesi Durmuş ÖZDEMİR; Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. durmus.ozdemir@dpu.edu.tr ORCID No: 0000-0002-9543-4076

3 Dr. Öğr. Üyesi Celal Onur GÖKÇE; Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü. cogokce@aku.edu.tr ORCID No: 0000-0003-3120-7808

## GİRİŞ

Doğal gaz, petrol ve kömür gibi fosil kaynaklar enerji ve elektrik üretiminin birincil kaynaklarıdır (Zou vd., 2016). Doğal gazın, en temiz fosil yakıt olmasının sebeplerinden birisi kömür ve petrol gibi kaynaklara göre daha az karbon salınımı yapması ve çevreye zarar vermemesidir. Bu nedenle doğalgaz petrol ve kömüre göre daha fazla tercih edilmektedir. Doğal gaz, elektrik üretimi, sanayi ve ulaşımda kullanılmaktadır (Man vd., 2018). Tüm bu kullanım alanlarının yanında doğal gaz konut sektöründe yemek pişirmek ve sıcak su için kullanılmasına rağmen en büyük talebinin nedeni ısınmada kullanılmasıdır. Enerji ihtiyacının her geçen gün artmasıyla birlikte doğal gaz tüketiminde artmaktadır. 2017 yılında doğal gaz küresel birincil enerji tüketiminin yaklaşık olarak %23'ünü oluşturmuştur (by fuel type-Exajoules ve Emissions, 2006). Bu artışın temel sebeplerinden biri Amerika Birleşik Devletleri'ndeki kaya gazı devrimi iken bir diğeri ise sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) pazarlarındaki hızlı büyümedir. Doğal gazın çevresel bozulma risklerini azaltırken yaşam standartlarını iyileştirmeye yönelik birleşik sorunlarını karşılamak için birçok veri kaynakları veya metodolojiler kullanılmıştır (IEA, 2019; OPEC 2020, 2021).

Türkiye, stratejik konumu gereği Ortadoğu, Hazar Denizi ve Avrupa tüketim piyasasının doğal gaz üretim bölgeleri arasında bir köprü görevi görmektedir (Bilgin 2009). Türkiye, dünyanın en verimli petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip ülkelerle çevrili olmasına rağmen, yerli gaz rezervlerinin çok sınırlı olduğu Türkiye için doğal gaz ithal bir enerji kaynağıdır. Ayrıca Türkiye, petrol ve doğal gaz üreten ülkeler için önemli bir pazar ve geçiş ülkesidir. Özellikle enerji ihtiyacını ithalat yoluyla karşılayan ülkeler için geleceğe yönelik talep, arz, iletim, dağıtım ve fiyatlandırma planlaması açısından doğru bir doğal gaz talep tahmini yapmak önemlidir (Austvik ve Rzayeva, 2016; Özdemir ve Dörterler, 2022). Talep tahminlerindeki minimum hatalar ve ithal edilecek enerji kaynakları için yapılacak erken anlaşmalar sayesinde enerji kaynağının satın alma maliyeti düşürülür. Doğal gaz talep tahminini doğru bulabilmek için birçok farklı algoritma, yöntem ve veri seti kullanılarak bir tahmin modeli oluşturulmuştur (Wadud vd., 2011).

Azadeh vd. (2010) kısa süreli doğal gaz talep tahmini yapmıştır ve uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistem (ANFIS) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanmıştır. Rodger (2014), YSA ile regresyon, bulanık mantık ve en yakın komşu modelleri kullandı. Çalışma, enerji maliyet tasarruflarını gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Khotanzad vd. (2000) YSA tahmin edicilerini birleştirerek gaz santrallerinin ihtiyaç duyduğu günlük doğal gaz tüketimini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Szoplik (2015), Polonya'nın günlük doğalgaz talep tahminini MLP (çok katmanlı algılayıcı modeli) kullanarak tahmin etmiştir. Qian vd. (2015), YSA kullanılarak saatlik doğal gaz talep tahmini yapmıştır.

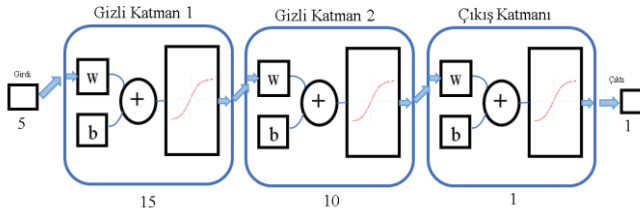
## MATERYAL VE YÖNTEM

### Yapay Sinir Ağları

Tablo, Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin yeni bilgiler üretme, yeni bilgiler üretme ve yardım almadan yeni bilgiler bulma gibi kapasitelerini taklit etmek için tasarlanmış bilgisayar sistemleridir (Öztemel 2003). Beynin tüm hareketlerini yeterince modellemek için beynin fiziksel bileşenlerinin tam olarak modellenmesi gerektiği varsayımıyla birkaç yapay hücre ve ağ modeli oluşturulmuştur. Sonuç olarak günümüz bilgisayarlarının kullandığı algoritmik hesaplama yaklaşımından farklı olarak Yapay Sinir Ağları olarak bilinen yeni bir disiplin ortaya çıkmıştır.

YSA'nın birçok temel özelliği, verilerden öğrenmeyi, genellemeyi ve sonsuz sayıda değişkenle uğraşmayı içerir. Mühendislik biliminde yapay sinir hücreleri, proses elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere 5 temel elemanı vardır. YSA, çeşitli şekillerde birbirine bağlanan ve genellikle katmanlar halinde bağlanan yapay sinir hücrelerinden (düğüm) oluşur. Bir YSA genellikle, düğümler ve birkaç katmandan oluşur. Her düğüm, diğer düğümlerden veya harici girdilerden bir girdi sinyali alır ve daha sonra, sinyalleri bir transfer fonksiyonu kullanarak yerel olarak işledikten sonra, değiştirilmiş bir sinyali diğer düğümlere veya nihai sonuca gönderir (Pachepsky, Timlin, and Varallyay 1996).

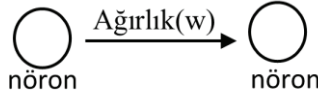
Bu çalışmada iki gizli katmanı olan geri yayımlı çok katmanlı ağ yapısı kullanılmıştır. Şekil 1'de ağ yapısının genel mimarisi verilmiştir.



Şekil 1: Yapay Sinir Ağ Yapısının Genel Mimarisi

Yapay sinir ağına girdi (input) değerlerini gösteren girdi kümesi girdi katmanında bulunmaktadır. Girdi katmanıyla çıkış katmanı arasında iletişimin sağlandığı bir veya daha fazla gizli ara katman bulunur. Bir katmanda bulunan her bir nöron, bir üst katmanda bulunan her bir nörona farklı ağırlıklarla ( $w$ ) bağlanmaktadır. Yani ağırlıklar( $w$ ), birincil katmandaki nöronların, üst katmandaki nöron üzerindeki etki büyüklüğünü belirlemektedir. Ağırlık

değerlerinin pozitif olması destek, negatif olma durumu engel belirtmektedir (Gallant and Gallant 1993).



**Şekil 2:** Nöronların Bağlantısı

Ağda bulunan her bir düğüm, alt seviyeden gelen girdi değerine göre ağırlık değerini de kullanarak ağırlıklı toplamı hesaplamaktadır. Bağlantı ağırlıkları, ağ üzerinden gönderilmeden önce giriş verileriyle çarpılmaktadır. Sistemin başlangıçta takılıp kalmaması için öncelikle ağırlıklar rastgele ayarlanmaktadır (Baxter 2001). İlk gizli katman, çarpmanın sonuçlarını içermektedir. Çıktı bir transfer fonksiyonu aracılığıyla iletilir ve doğrusal sigmoid fonksiyonu kullanılarak 0 ve 1 arasında değişiklik gösteren bir örnek çıktı(output) elde edilebilmektedir (Deboeck 1994). Gizli katmanlarına ve çıktı katmanına sinyaller aynı şekilde ulaştırılmaktadır.

Rastgele bir tahmin işlevi kuramsal olarak tek bir gizli katmanla çözülebilir, fakat iki katman daha hızlı bir çözüm elde edilebilir (Elmolla, Chaudhuri, and Eltoukhy 2010; Eng et al. 2008). Genellikle gizli katmanda bulunan nöron sayıları deneme ve yanılma yapılarak belirlenmektedir (Karasu et al. 2017; Kaynar and Taştan 2009).

Doğal gaz tüketimi tahmininde meteorolojik veriler oldukça önemlidir. Bu çalışmada Türkiye'nin tüm şehir merkezlerinden alınan aylık ortalama sıcaklık, basınç, nem, rüzgar ve yağış verileri alınmıştır. 81 farklı şehrin verilerinin ortalaması alınarak Türkiye'nin ortalama verileri elde edilmiştir. Veriler Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim değişikliği Bakanlığında alınmıştır. Doğalgaz tüketim verileri ise Jodidata.org sitesinden alınmıştır. Modelde kullanılan veriler iki gruba ayrılmıştır. Eğitim sürecinde toplam verinin yaklaşık %70'i (ilk 92 ay) verileri, test verisi olarak ise toplam verinin yaklaşık %30'u (son 40 ay) verileri kullanılmıştır.

**Tablo 1:** Veri Kümesinden Örnek

Ortalama Sıcaklık	Basınç	Nem	Rüzgar	Yağış	Doğalgaz
4,86	940,78	76,84	1,87	2,88	3985
6,94	936,56	73,40	1,95	2,79	3286
9,14	941,02	65,35	2,00	1,67	3441
...	...	...	...	...	...
18,28	940,49	49,34	1,18	0,83	3572
9,21	943,46	68,08	1,42	1,46	5413
6,67	942,01	73,62	1,37	1,34	6341
4,86	940,78	76,84	1,87	2,88	3985
6,94	936,56	73,40	1,95	2,79	3286
9,14	941,02	65,35	2,00	1,67	3441



Tablo 1’de verilerin bir kısmı verilmiştir, tablodaki veriler virgülden sonra 7 basamak olarak modelde işlenmiştir. Tablo 1’de verilen verilerin birimleri Tablo 2’de belirtilmiştir.

**Tablo 2:** Meteorolojik Parametrelerin Birimleri

Meteorolojik Parametreler	Birim
Ortalama Sıcaklık	°C
Basınç	hPa
Nem	%
Rüzgar	m/sn
Yağış	mm=kg/m <sup>2</sup>
Doğalgaz	MScM

Çalışmada kullanılan nem, ortalama sıcaklık (OS), yağış, basınç ve rüzgar verileri geniş değer aralıklarına sahip olduğundan aşağıda gösterildiği gibi giriş parametreleri olarak kullanılmak üzere normalize edilmiştir.

**Tablo 3:** Meteorolojik Parametrelerin Normalizasyon Formülleri

Meteorolojik Parametreler	Normalizasyon Formülü
Ortalama Sıcaklık (OS)	$\frac{OS - OS_{min}}{OS_{max} - OS_{min}} = \frac{OS - 0.127}{27.289 - 0.127}$
Basınç	$\frac{Basınç - Basınç_{min}}{Basınç_{max} - Basınç_{min}} = \frac{Basınç - 45.632}{80.775 - 45.632}$
Nem	$\frac{Nem - Nem_{min}}{Nem_{max} - Nem_{min}} = \frac{Nem - 0}{4.378 - 0}$
Rüzgar	$\frac{Rüzgar - Rüzgar_{min}}{Rüzgar_{max} - Rüzgar_{min}} = \frac{Rüzgar - 932.187}{947.491 - 932.187}$
Yağış	$\frac{Yağış - Yağış_{min}}{Yağış_{max} - Yağış_{min}} = \frac{Yağış - 1.137}{2.304 - 1.137}$

### **Algoritma**

Çalışmada uygulanan algoritma, Algoritma 1’de verilmiştir. Uygulama için kullanılan input değişkeni sinir ağıнын (neural network) girdi verisini temsil etmektedir. Giriş verisi olarak Tablo 1’de de sunulan ortalama sıcaklık, basınç, nem, rüzgar ve yağış meteorolojik verileri verilmiştir. Target olarak ifade edilen değişken ise gerçekleşen değerleri temsil eder ve doğal gaz tüketim değer verileri kullanılmıştır. Veriler YSA gereğiyle training (eğitim) ve validation (doğrulama) olarak ayrılmıştır. Eğitim için veri kümesinin %70 (ilk 92 ay)’lik bir kısmı ayrılmış ve validation için %30(son 40 ay)’luk kısmı kullanılmıştır. Çalışmada girdi verileri -1 ve 1 arasında normalize edilerek ağa sokulmuştur. Uygulamada kullanılan ps değişkeni normalizasyon bilgisini tutmaktadır. Denormalizasyon yapabilmek için kullanılmıştır. İleri beslemeli sinir ağı oluşturulmuştur.

## Algoritma 1:

```

function [net validation_validation_hedef MAPE R2] = neuralnetwork
(input,target,eğitim_orani,n1,n2,ogrenme_orani)
verisayisi=size(input,1);
egitimverisayisi=round(verisayisi *egitim_orani);

egitim_girdi=input(1:ntd,:);
validation_girdi=input(ntd+1:end,:);

egitim_hedef=target(1: egitimverisayisi);
validation_hedef=target(egitimverisayisi +1:end);

egitim_girdi = egitim_girdi ';
validation_girdi = validation_girdi ';
egitim_hedef = egitim_hedef ';
validation_hedef = validation_hedef ';

normalize_egitim_girdi =mapminmax(eğitim_girdi);
normalize_validation_hedef =mapminmax(validation_girdi);

[normalize_egitim_target,ps]=mapminmax(yt);
net=newff(normalize_egitim_girdi, normalize_egitim_target,[n1,n2], {}, 'traingdx'
);
net.trainParam.lr= ogrenme_orani;
net.trainParam.epochs=1000;
net.trainParam.max_fail=1000;
net.trainParam.goal=1e-10000000000000;
net.trainParam.show=NaN;

net=train(net, normalize_egitim_girdi, normalize_egitim_target);
normalize_validation_cikti=sim(net, normalize_validation_hedef);
validation_cikti=mapminmax('reverse', normalize_validation_cikti,ps);

validation_cikti = validation_cikti ';
validation_hedef = validation_hedef ';

MAPE=mean(abs(validation_cikti - validation_hedef)./ validation_hedef);
SStotal=sum((validation_hedef -mean(validation_hedef)).^2);
SSerror=sum((validation_cikti - validation_hedef).^2);
R2=1-SSerror/SStotal;

```

Uygulamadaki n1 değişkeni 1.gizli katmanda bulunan nöron sayını, n2 ise 2.gizli katmanda bulunan nöron sayısını temsil etmektedir. Bu değerler deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Uygulamada transfer fonksiyonu olarak ‘sigmoid’ kullanılmıştır. Training fonksiyonu olarak ise ‘traingdx’ fonksiyonu kullanılmıştır. Uygulama 1000 iterasyon kullanılmıştır. Çalışma MATLAB R2018a programı üzerinde function olarak kodlanmış ve Intel i7 ve 2.60 GHz işlemcili ve 8 GB belleğe sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Algoritmada kullanılan diğer parametrelerin değerleri Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 4:** Algoritma 1’in Parametre Değerleri

Parametre	Değer
ogrenme_oranı	0,85
n1	15
n2	10
egitim_oranı	0,70
ogrenme_oranı	0,85
n1	15

Uygulama modelinin performansı mutlak varyans oranı ( $R^2$ ) (6) ve ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) (7) ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

### ***Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage Error - MAPE)***

MAPE hata ölçütünün değerleri %10’un altında olduğu durumlarda modelin verdiği sonuç “çok iyi” olarak değerlendirilir. MAPE hata ölçütünün değeri %10 ve %20 arasında ise sonuç “iyi” olarak ifade edilir. MAPE hata ölçütünün değeri %20 ve %50 arasında kalan sonuç değerleri “kabul edilebilir”dir. %50’nin üzerinde hata veren değerler ise “hatalı ve yanlış” olarak sınıflandırılabilir. MAPE’nin formülü Eş. 6’da verilmiştir.

$$MAPE = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \left| \frac{E_{obs} - E_{pre}}{E_{obs}} \right| \quad (6)$$

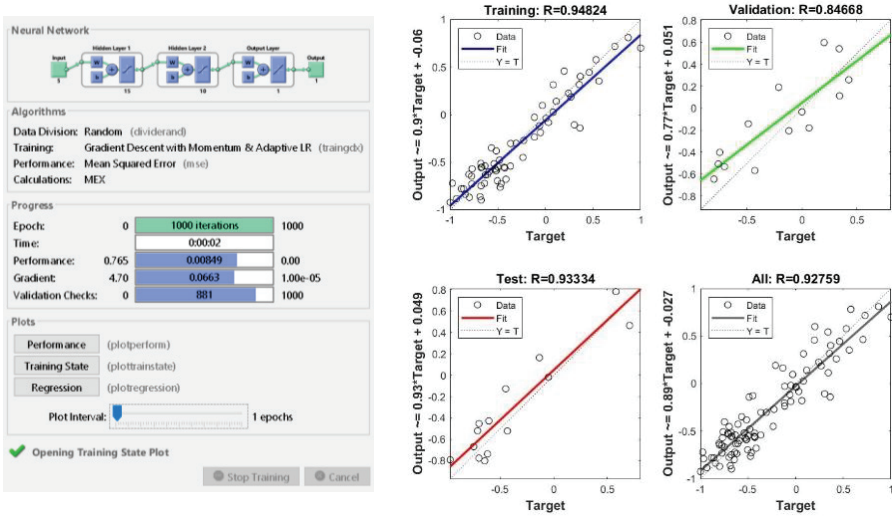
### ***Mutlak Varyans Oranı (An Absolute Fraction of Variance – R<sup>2</sup>)***

R<sup>2</sup>, bir değişken veya değişkenler ile açıklanabilir bağımlı değişken için istatistiksel açıdan fark veya varyans oranını temsil eden bir regresyon modeli olan önemli bir istatistiksel ölçüsüdür. Kısacası, verilerin regresyon modeline ne kadar iyi uyacağını belirler. R<sup>2</sup> hata ölçütü için, sonuç değeri 1’e ne kadar yakın olursa sonucun o kadar doğruya yakın olduğunu temsil etmektedir. R<sup>2</sup>’nin formülü Eş. 7’de verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{i=1}^N |E_{obs} - E_{pre}|)^2}{\sum_{i=1}^n (E_{obs} - \bar{E}_{obs})} \quad (7)$$

## BULGULAR VE SONUÇ

Yapılan denemeler sonucunda, iki gizli katmanlı, gizli katmanlardaki nöron sayısı 15 ve 10 olan, gizli katmanların aktivasyon fonksiyonları sigmoid olan ağ mimarisinin performansının en başarılı sonucu verdiği belirlenmiştir. Oluşturulan YSA mimarisi için 1000 iterasyon çözümleme neticesinde, performans fonksiyonunu temsil eden MSE değeri 0.0849, R değeri ise tüm verilerin işlendiği eğitim grafiğinde 0.92759 bulunmuştur. R (Regresyon) parametresi işlemin başarısını ve hata oranını belirlemektedir. Bunun yanında iki ya da daha fazla değişkenin ilişkilerini ölçmek için de regresyon analizi kullanılmaktadır. Sonuç ne kadar iyi olursa, regresyon grafiğindeki hedef değer 1'e o kadar yakın olur. MATLAB R2018a programında yapılan YSA eğitimine ait program sonuç ekranı ve regresyon grafikleri Şekil 3'te gösterildiği gibi R değerinin %92'nin üzerinde olması eğitimi başarılı kılmıştır.



Şekil 3: Regresyon Grafikleri

MSE, çıktı değerleri ve hedef değerleri arasındaki ortalama kare farkını ifade etmektedir. Genel formülü Eş. 8'de verilmiştir. MSE, bir makine öğrenimi modelinin veya tahmin edicisinin ne kadar iyi performans gösterdiğini ölçtüğü için, MSE değerleri sıfıra yakın olan tahmin edicilerin daha iyi performans gösterdiği iddia edilebilmektedir.

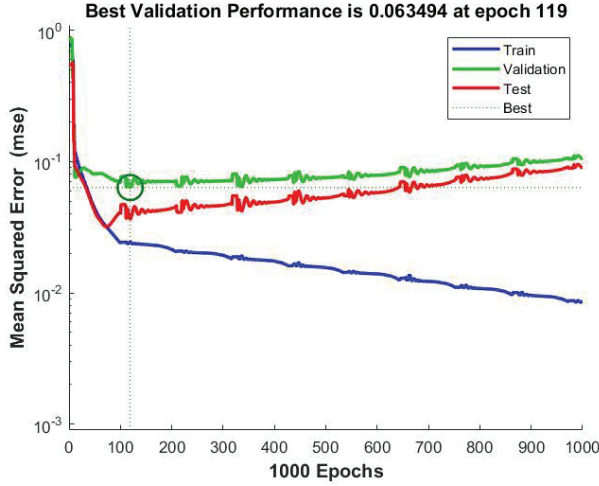
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in D} (y - tahmin(x))^2 \quad (8)$$

MSE değerleri ve performans grafiği, Şekil 4'teki grafiğin her aşamasında görüntülenmektedir. Şekil 4 eğitimin ardından sonuç olarak, her iteryondaki eğitim, doğrulama ve test setlerine göre hata değerlerinin nasıl

değiştirdiğini göstermektedir. Şekil 4'te gözüktüğü gibi eğitim 1000 iterasyonda tamamlanmıştır ve eğitim sonucunda en düşük MSE değerine 119. iterasyonda ulaşılmıştır.

Uygulama sonucunda MAPE değerinin sonucu 0.121955 çıkmıştır. Bu sonuçta MAPE değerinin sonuç olarak “iyi” seviyesinde bir yanıt verdiğini göstermektedir.

R2 hata metriğinin değeri ise 0.771945 çıkmıştır. R2 değerine göre oluşturulan sinir ağı %77'den daha doğru bir sonuç verdiğini göstermektedir.



Şekil 4: Yapay Sinir Ağı Performans Grafiği

Genel olarak, halihazırda mevcut olan verileri tahmin etmeye çalışırken yapay sinir ağları başarılı performans göstermiştir. Fakat geleceği tahmin etmek için bağımsız değişkenlerin gelecekteki değerlerinin bilinmesi önemli olduğundan dolayı, yapay sinir ağının bu değerleri tahmin etmek için kullanılan regresyon sonuçlarından etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, gelecekteki tahmin araştırmalarında çeşitli alternatif metodolojileri entegre ederek yapay sinir ağı tahmin performanslarını karşılaştırmanın daha faydalı bulgular üreteceğine inanılmaktadır.

## REFERANSLAR

- Austvik, Ole Gunnar, and Gulmira Rzayeva. 2016. "Turkey in the Geopolitics of Natural Gas." *M-RCBG Associate Working Paper Series* 66:9–16.
- Azadeh, A., S. M. Asadzadeh, and A. Ghanbari. 2010. "An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System for Short-Term Natural Gas Demand Estimation: Uncertain and Complex Environments." *Energy Policy* 38(3):1529–36. doi: 10.1016/j.enpol.2009.11.036.
- Baxter, C. W. 2001. "Modelling Heuristics from Literature, CIV E 729 Course Notes, Dept. of Civil and Environmental Engineering."
- Bilgin, Mert. 2009. "Geopolitics of European Natural Gas Demand: Supplies from Russia, Caspian and the Middle East." *Energy Policy* 37(11):4482–92.
- by fuel type-Exajoules, Consumption, and Carbon Dioxide Emissions. 2006. "Bp Statistical Review of World Energy June 2020."
- Deboeck, Guido J. 1994. *Trading on the Edge: Neural, Genetic, and Fuzzy Systems for Chaotic Financial Markets*. Vol. 39. John Wiley & Sons.
- Elmolla, Emad S., Malay Chaudhuri, and Mohamed Meselhy Eltoukhy. 2010. "The Use of Artificial Neural Network (ANN) for Modeling of COD Removal from Antibiotic Aqueous Solution by the Fenton Process." *Journal of Hazardous Materials* 179(1–3):127–34.
- Eng, Ming Hao, Yang Li, Qing-Guo Wang, and Tong Heng Lee. 2008. "Forecast Forex with ANN Using Fundamental Data." Pp. 279–82 in *2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*. Vol. 1. IEEE.
- Gallant, Stephen I., and Stephen I. Gallant. 1993. *Neural Network Learning and Expert Systems*. MIT press.
- IEA, I. E. A. 2019. "World Energy Statistics and Balances." IEA Paris, France.
- Karasu, Seçkin, Aytaç Altan, Zehra Saraç, and Rifat Hacıoğlu. 2017. "Prediction of Wind Speed with Non-Linear Autoregressive (NAR) Neural Networks." Pp. 1–4 in *2017 25th signal processing and communications applications conference (SIU)*. IEEE.
- Kaynar, Oğuz, ve Serkan Taştan. 2009. "Zaman Serisializinde Mlp Yapay Sinir Ağları ve Arima Modelinin Karşılaştırılması." *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* (33):161–72.
- Khotanzad, Alireza, Hassan Elragal, and T. L. Lu. 2000. "Combination of Artificial

- Neural-Network Forecasters for Prediction of Natural Gas Consumption.” *IEEE Transactions on Neural Networks* 11(2):464–73.
- Man, Yi, Yulin Han, Yusha Hu, Sheng Yang, and Siyu Yang. 2018. “Synthetic Natural Gas as an Alternative to Coal for Power Generation in China: Life Cycle Analysis of Haze Pollution, Greenhouse Gas Emission, and Resource Consumption.” *Journal of Cleaner Production* 172:2503–12.
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) 2020. 2021. *2020 Annual Report*. Vienna.
- Özdemir, Durmuş, and Safa Dörteler. 2022. “An Adaptive Search Equation-Based Artificial Bee Colony Algorithm For transportation Energy Demand Forecasting.” *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences* 30(4):1251–68.
- Öztemel, Ercan. 2003. “Yapay Sinir Ağları.” *PapatyaYayincilik, Istanbul*.
- Pachepsky, Ya A., Dennis Timlin, and G. Y. Varallyay. 1996. “Artificial Neural Networks to Estimate Soil Water Retention from Easily Measurable Data.” *Soil Science Society of America Journal* 60(3):727–33.
- Qian, Dongmin, Patrick H. Fox, and Bernard L. See. 2015. “Accurate Natural Gas Load Hourly Forecasting Using ANN Model Trained with Multiple Parameters.” in *PSIG Annual Meeting*. OnePetro.
- Rodger, James A. 2014. “A Fuzzy Nearest Neighbor Neural Network Statistical Model for Predicting Demand for Natural Gas and Energy Cost Savings in Public Buildings.” *Expert Systems with Applications* 41(4):1813–29.
- Szoplik, Jolanta. 2015. “Forecasting of Natural Gas Consumption with Artificial Neural Networks.” *Energy* 85:208–20. doi: 10.1016/j.energy.2015.03.084.
- Wadud, Zia, Himadri S. Dey, Md Ashfanoo Kabir, and Shahidul I. Khan. 2011. “Modeling and Forecasting Natural Gas Demand in Bangladesh.” *Energy Policy* 39(11):7372–80.
- Zou, Caineng, Qun Zhao, Guosheng Zhang, and Bo Xiong. 2016. “Energy Revolution: From a Fossil Energy Era to a New Energy Era.” *Natural Gas Industry B* 3(1):1–11. doi: 10.1016/j.ngib.2016.02.001.





“

## Bölüm 7

### TRAFİK CEZALARININ YAYA GÜVENLİĞİNE ETKİSİNİN YAPAY ZEKÂ ALGORİTMASI İLE İNCELENMESİ

*Emre KUŞKAPAN<sup>1</sup>*

*Muhammed Yasin ÇODUR<sup>2</sup>*

”

---

1 Arş. Gör.; Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. emre.kuskapan@erzurum.edu.tr ORCID No: 0000-0003-0711-5567

2 Doç. Dr.; College of Engineering and Technology, American University of the Middle East, Kuwait. Muhammed.Codur@aum.edu.kw ORCID No: 0000-0001-7647-2424

## 1- GİRİŞ

Dünya üzerinde karayolları üzerinde ölen insanların 1/5'inden fazlasını yayalar oluşturmaktadır. Yaya ölümleri ve yaralanmaları genellikle önlenemez olup bu konuda kanıtlanmış müdahaleler mevcuttur. Fakat birçok bölgede yaya güvenliği gerekli önemi görmemektedir. Yayaları korumak ve güvenli yürüyüşü geliştirmeye yönelik başarılı müdahaleler yaralanma ve can kayıplarının önüne geçebilir. Yaya güvenliği önlemleri; şehrin yenilenmesine, yerel ekonomik büyümeye, sosyal uyuma, yüksek hava kalitesine ve trafik gürültüsünün zararlı etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Birçok gelişmiş ülke, bireyleri yürüyüşe teşvik eden çalışmalar yapmaktadır. Bireysel araç kullanımının azaltılması ve toplu taşımanın daha cazibeli hale getirilmesi trafiği ciddi ölçüde rahatlatmaktadır. Toplu taşımayı tercih eden bireyler durak noktalarına yürüyerek vardıkları için toplu taşımanın tercih edilmesi yürüyüşe de teşvik etmektedir. Bununla birlikte kentlerdeki yürüyüş imkânlarının geliştirilmesi yürünebilir şehirler meydana getirmektedir.

Yürünebilir kentlerin en önemli avantajlarından birisi yayalar için özel alanlar oluşturmalarıdır. Yayalar trafiğin savunmasız kullanıcıları oldukları için kaza anında darbeye direkt maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple ölüm veya ciddi yaralanmalara sıkça rastlanılabilmektedir. Yaralanmaların ciddiyeti, şu faktörlere göre değişiklik göstermektedir:

- Arabanın darbe hızı
- Araç türü
- Aracın sağlamlığı ve şekli
- Ön tarafın yapısı (tampon yüksekliği, kafa yüksekliği ve uzunluğu vb.)
- Yayanın yaşı ve boyu
- Öndeki araca göre yayanın ayakta durma pozisyonu (Yang, 2015:8).

Kaza sonucu oluşan yaralanmalar kalıcı sakatlıklara sebep olabilmektedir. Bu nedenle oluşabilecek kazaların önüne geçebilmek tüm insanlık adına önemli fayda sağlayacaktır. Yaya yollarında yapılan denetimler ve birtakım ceza uygulamaları sürücülerin daha hassas davranmasına neden olabilmektedir. Fakat bu denetimlerin sürücülerde olumlu etki bırakması önemlidir.

Yapılan bu çalışmada Türkiye'nin Erzurum ilinde son 22 ayda yapılan trafik denetimleri ve yayalara yol vermeme istatistikleri incelenmiştir. Her bir ay için trafik cezalarının o aydaki yayalara yol vermeme durumu

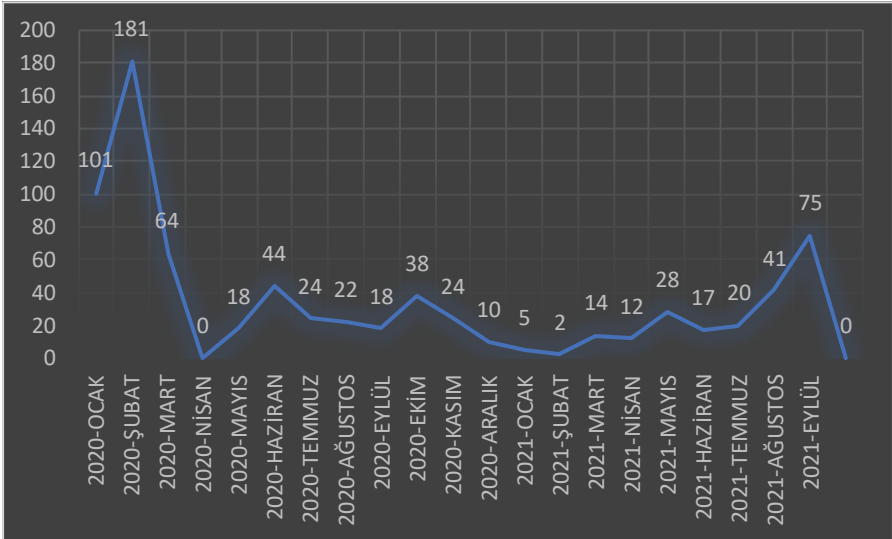
bir yapay zekâ algoritması olan çok katmanlı algılayıcı algoritması ile incelenmiştir. Algoritma ile oluşturulan sınıfların performans hata ölçekleri analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre trafikteki denetim ve ceza uygulamalarının, sürücülerin yayalara yol verme üzerindeki etkileri yorumlanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

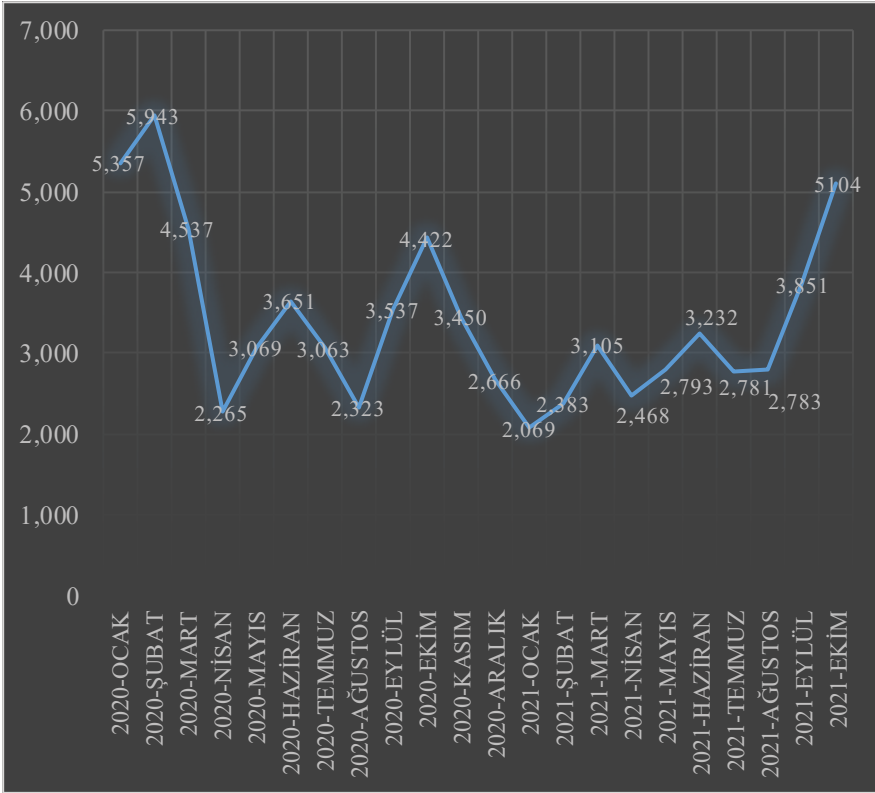
### Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak belirlenen Erzurum ili, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Yaklaşık 750 bin nüfusa sahip kentte kayıtlı motorlu taşıt sayısı ise yaklaşık 124 bindir (Türkiye İstatistik Enstitüsü, 2022:3). Kentte iki adet üniversite bulunmakla birlikte bölgenin önemli kamu binaları ve özel işletmeleri yer aldığı için yaya hareketliliği fazladır. Kent bulunduğu alanda önemli bir geçiş noktası olduğu için kentsel ve kırsal yollar gelişmiştir. Kent içi ulaşımında herhangi bir raylı sistem yapısı yer almamaktadır. Kent içi karayolu ulaşımı ise otomobil, minibüs ve otobüsler ile sağlanmaktadır.

Erzurum İl Emniyet Müdürlüğü tarafından her ay belirli istatistiksel veriler kayıt altına alınmaktadır. Bu veriler sayesinde trafik ile ilgili birçok durum yorumlanabilmekte ve çeşitli çalışmalar yapılabilmektedir. Şekil 1'de verilen grafikte son 22 aya ait çeşitli zamanlarda yapılan denetimlerde sürücülerin yayalara yol vermeme sayıları yer almaktadır (Erzurum İl Emniyet Müdürlüğü, 2022:15). Şekil 2'de ise yine aylara göre yapılan denetimler sonucu sürücülere yazılan trafik ceza sayıları yer almaktadır.



Şekil 1: Sürücülerin yayalara yol vermeme sayıları



**Şekil 2:** Yazılan trafik ceza sayıları

Şekil 1 incelendiğinde bir ayda genellikle 0 ile 100 değeri arasında yayalara yol vermeme durumuna rastlanmıştır. Buna karşın 2020 yılının ilk iki ayında bu değerlerin üzerine çıkmıştır. Daha sonra zamanla düşük seviyelere gelmiş olsa da son aylarda yayalara yol vermeme sayılarında artış görülmüştür. Şekil 2 incelendiğinde ise trafik ceza sayılarında dalgalanmalar görülmektedir. Grafikselsel olarak bazı aylarda doğru orantı varken bazı aylarda ise ters orantı vardır. Bu ilişkinin incelenmesi için yapay zekâ tercih edilmiştir.

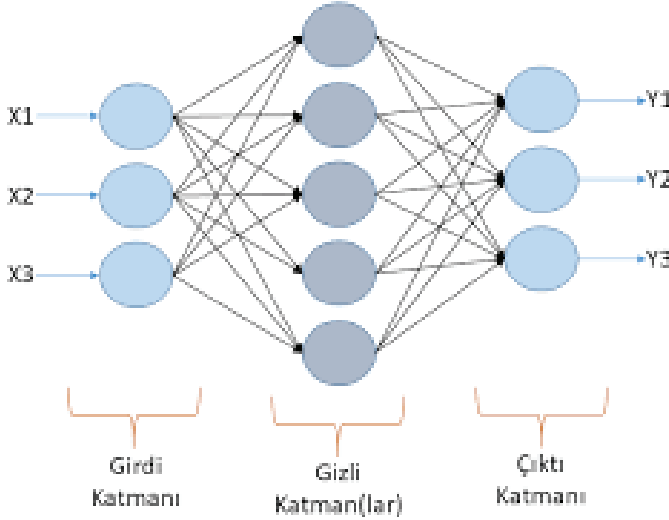
### **Yapay Zekâ**

Genel bir ifadeyle yapay zekâ, görevleri yerine getirmek için insan zekâsını taklit eden ve topladıkları bilgilere göre yinelemeli olarak kendilerini iyileştirebilen sistemler veya makineler anlamına gelir. Yapay zekâ, herhangi bir özel biçim veya işlevden ziyade süper güçlendirilmiş düşünce ve veri analizi yeteneği ve süreciyle ilgilidir. Yapay zekânın amacı insanların yerini almak değildir. Amaç insan yeteneklerini belirgin şekilde geliştirmek ve bunlara katkıda bulunmaktır. Bu nedenle oldukça değerli bir ticari varlıktır (Sundaresan, 2021:22).

Yapay zekânın önemli bir amacı da insanlarda bulunan beş duyuyu makinelerin de yapmasını sağlamaktır. Günümüzde makineler bilgisayarlı görme sayesinde görme duyusunu, ses tanıma sayesinde duyma duyusunu kazanmışlardır.

Yapay zekâ derin öğrenme ve makine öğrenmesi kavramlarını içerisinde barındırmaktadır. Bu kavramlar sahip oldukları algoritmalar sayesinde verilerin yüksek başarı ile analiz edilmesini sağlamaktadır. Bu algoritmalarından birisi ise çok katmanlı algılayıcı algoritmasıdır.

Çok katmanlı algılayıcı algoritması yapay sinir ağlarına benzer bir çalışma prensibine sahiptir. Yapay sinir ağlarında olduğu gibi giriş, çıkış ve gizli (ara) olmak üzere en az 3 katmandan oluşmaktadır. Çalışmalarında genellikle sınıflandırma analizlerinde tercih edilmektedir. Bu algoritmanın veri setini daha iyi öğrenebilmesi için eğitim setine mutlaka ihtiyaç duyulmaktadır (Kuşkapan ve Çodur, 2021:15), (Kuşkapan ve Çodur, 2022:8). Şekil 3'te çok katmanlı algılayıcının öğrenme yapısı aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 3: Çok katmanlı algılayıcı için öğrenme yapısı

Algılayıcı ile sınıflandırma genel olarak 1 numaralı denklemdeki formülasyon ile temsil edilmektedir. Burada  $\omega$  ağırlıkların vektörünü,  $x$  girdilerin vektörünü,  $b$  sapmaları ve  $\varphi$  doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedir (Tang vd. 2015:8).

$$y = \varphi \left( \sum_{i=1}^n \omega_i x_i + b \right) = \varphi(w^T x + b) \quad (1)$$

## Araştırma Bulguları ve Tartışma

Çalışmada yapılan trafik denetimlerinin yayalara yol verme konusunda sürücülerini hangi yönde etkilediği araştırılmak istenmiştir. Bu amaçla aylara göre sürücülerin yayalara yol vermeme durumunun o ay içerisindeki yazılan trafik cezaları oranlanmıştır. Bu oranlara göre beş farklı sınıf oluşturulmuştur. Bu sınıflar içerisinde yüksek ve çok yüksek durumu trafik denetlemeleri olduğu halde sürücülerin yayalara yol vermediği ayları ifade etmektedir. Düşük ve çok düşük durumu ise yapılan denetimlerin sürücülerin yayalara yol verme sayılarını artırdığını ifade etmektedir. Her bir sınıf için belirlenen oranlar aşağıdaki Tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo 1:** *Yayalar için belirlenen risk sınıfları*

Renk	Risk Sınıfı	Aralık
	Çok düşük	0<0.00279
	Düşük	0.00279-0.00745
	Orta	0.00745-0.01098
	Yüksek	0.01098-0.01252
	Çok yüksek	>0.01252

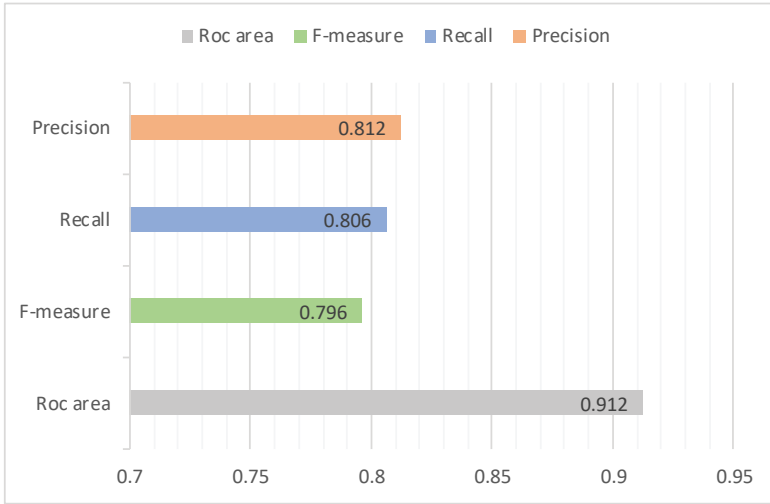
Oluşturulan bu beş sınıf içerisinde yüksek ve çok yüksek durumu; trafik denetlemeleri olduğu halde sürücülerin yayalara yol vermediği ayları ifade etmektedir. Düşük ve çok düşük durumu ise yapılan denetimlerin sürücülerin yayalara yol verme sayılarını artırdığını ifade etmektedir. Yapılan sınıflandırma için her bir aydaki risk durumu belirlenmiştir. Bu renklendirmede koyu mavi renkte olan aylarda risk durumunun yüksek olduğu görülmektedir. Veriler neticesinde ayların bulunmuş olduğu sınıflar ve çok katmanlı algılayıcı ile tahmin edildiği sınıflar aşağıdaki Tablo 2'de gösterilmektedir.

**Tablo 2:** *Aylara göre gerçek ve tahmin edilen sınıflar*

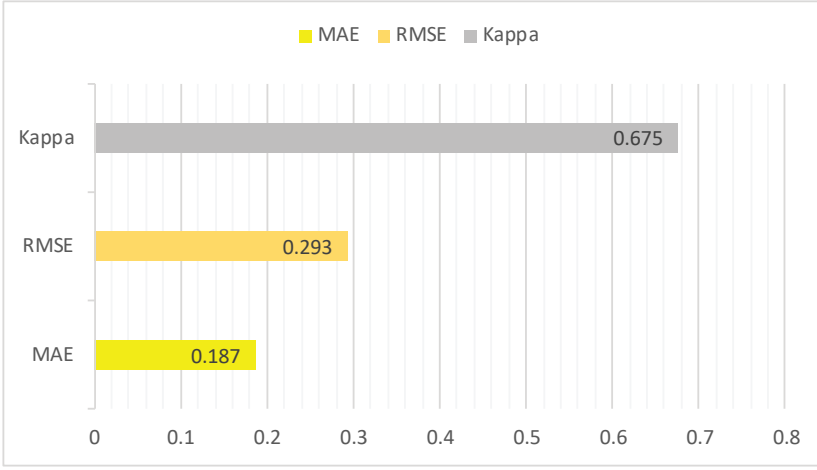
Aylar	Gerçek	Tahmin
2020-Ocak		
2020-Şubat		
2020-Mart		
2020-Nisan		
2020-Mayıs		
2020-Haziran		
2020-Temmuz		
2020-Ağustos		

2020-Eylül		
2020-Ekim		
2020-Kasım		
2020-Aralık		
2021-Ocak		
2021-Şubat		
2021-Mart		
2021-Nisan		
2021-Mayıs		
2021-Haziran		
2021-Temmuz		
2021-Ağustos		
2021-Eylül		
2021-Ekim		

Bu algoritma ile elde edilen doğruluk ve hata değerleri ise Şekil 4 ve 5'te yer almaktadır.



Şekil 4: Algoritmanın doğruluk değerleri



Şekil 5: Algoritmanın hata değerleri

Çok katmanlı algılayıcının performans değerleri incelendiğinde mevcut veri kümesinde başarılı performans sergilediği görülmektedir. Performans değerinin en önemli kriteri olan precision (kesinlik) 0.812 çıkmıştır. Bu değer algoritmanın yaklaşık %80 doğruluğa sahip olduğu anlamına gelmektedir. Benzer şekilde diğer performans ölçütleri de yüksek çıkmıştır. Hata değerleri olan MAE ve RMSE ise düşük çıkmıştır. Diğer bir hata ölçütü olan Kappa değerinin de yüksek çıkması algoritmanın hata oranının düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bu algoritma benzer veri kümelerinin sınıflandırılmasında tercih edilmesi önerilmektedir. Bu duruma ilaveten veri kümesi incelendiğinde yapılan trafik denetimlerinin ve trafik cezalarının sürücülerin davranışı üzerindeki etkisinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Trafik denetimlerinin ve trafik cezalarının artmış olduğu birçok ayda yayalara yol vermeme durumunda önemli bir azalma görülmemiştir. Buna göre yapılan trafik denetimlerinin anlık ve geçici çözümler olduğu ortaya konmuştur. Kalıcı çözümler olması için insanların bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için de politika yapıcılar ilkokul döneminden itibaren insanların trafik konusunda bilinçlenip daha hoşgörülü davranış sergilemeleri hususunda verilen eğitimlere ağırlık göstermesi faydalı olacaktır.

## SONUÇ

Yapılan bu çalışmada trafik cezalarının, sürücülerin yayalara yol verme davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Erzurum ilinde son 22 ayda yazılan trafik cezaları ve sürücülerin yayalara yol vermeme sayıları kullanılmıştır. Bu iki verinin birbirine oranı ile beş farklı sınıftan oluşan risk durumları oluşturulmuştur. Daha sonra bu sınıflandırma bir yapay



zekâ algoritması olan çok katmanlı algılayıcı ile yapılan sınıflandırma ile karşılaştırılmıştır. Algoritmanın performans değeri ve hata ölçekleri başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu durum da benzer veri kümelerinin sınıflandırma işlemlerinde yapay zekâ algoritmalarının kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Öte yandan trafikte yapılan denetimlerin ve trafik cezalarının sürücü davranışını çok etkilemediği ortaya konmuştur. Trafik cezaları ve denetimler artmış olsa bile sürücülerin yasalara yol vermeme alışkanlığı devam etmiştir. Bu sorunun önüne geçilebilmesi için insanların bilinçlendirilmesi önemlidir. Özellikle ilkokul döneminden başlamak kaydı ile insanlara trafikte daha hoşgörülü olması ve bilinçli davranılması öğretilmesi faydalı olacaktır. Bu durum ise politika yapıcıların eğitim sisteminde güncelleme yapabilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte ceza uygulamalarının daha caydırıcı olmasının da insanların cezalardan kaçınmasına sebep olduğu bilinmektedir.

## REFERANSLAR

- Yang, J. (2005). Review of injury biomechanics in car-pedestrian collisions. *International journal of vehicle safety*, 1(1-3), 100-117.
- Türkiye İstatistik Enstitüsü. (2022). *Kentlerde kayıtlı motorlu taşıt sayıları*. <https://www.tuik.gov.tr/Home/Index> adresinden 10 Ağustos 2022 tarihinde alınmıştır.
- Erzurum İl Emniyet Müdürlüğü. (2022). *Kent genelindeki trafik denetimleri ve trafik cezaları*. <https://www.erzurum.pol.tr/> adresinden 22 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- Sundaresan, S., Kumar, K. S., Nishanth, R., Robinson, Y. H., ve Kumar, A. J. (2021). Artificial intelligence and machine learning approaches for smart transportation in smart cities using blockchain architecture. *In Blockchain for Smart Cities* (pp. 35-56). Elsevier.
- Kuşkapan, E., ve Çodur, M. Y. (2021). Examination of Aircraft Accidents That Occurred in the Last 20 Years in the World. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(1), 174-188.
- Kuşkapan, E. ve Çodur, M. Y. (2022). Trafik Kazalarının Sınıflandırılmasında Çok Katmanlı Algılayıcı, Regresyon ve En Yakın Komşuluk Algoritmalarının Performans Analizi. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 373-380.
- Tang, J., Deng, C., ve Huang, G. B. (2015). Extreme learning machine for multilayer perceptron. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 27(4), 809-821.

“

## Bölüm 8

**ULUSLARARASI SU ÇALIŞMALARI,  
HAVZA YÖNETİMİ VE KURAKLIK**

*Çağla Melisa KAYA<sup>1</sup>*

*Mert ONUR<sup>2</sup>*

”

---

1 Sorumlu yazar Çağla Melisa KAYA, Dr. Öğretim Üyesi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, <https://orcid.org/0000-0002-2664-7510>

2 Mert ONUR, Coğrafya Bölümü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, 0000-0002-4342-3228

Su en önemli doğal kaynaklarından biri olmasının yanısıra yaşamın sürdürülebilirliğinin temel bileşenidir. Yer yuvarında değişen iklim koşullarının su üzerindeki etkileri arasında sıklıkla suyun yoksunluğu ile ifade ettiğimiz kuraklık ve doğal olarak su olmayan alanlarda taşıma kapasitesini aşacak oranlarda suyun fazlalaşması sonucu meydana gelen taşkın olayları olsa da, iklimsel etkilerle birlikte insan ve faaliyetleri ile oluşan kirlilik, kuraklık gibi felaketlerde su kaynakları üzerindeki önemli baskılardır. Kentsel alanlardaki hızlı büyümenin oluşturduğu baskı ve hızla artan nüfusun kaynaklar üzerinde oluşturduğu basınç son yirmi yılda ülkelerin ortak gündeminde önemli bir yer tutmaktadır. Bu açıdan su kaynağı üzerindeki atmosferik etkiler ve insan faaliyetlerinin yönetiminin bir açıdan ele alınması yerine holistik bir bakış açısının benimsendiği yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Coğrafya ve çevreye dair bileşenler bir makine iskeletindeki çarklara benzer yapıda bir bütün içerisindedir. Bir bileşende meydana gelen problem tüm mekanizmayı etkilenmekte ve işleyişi bozulmaktadır. Bu mekanizmaya basit bir örnek hava kirliliği ve kuraklık ilişkisidir. Atmosferde karbon salınımında artışa neden olan her faktör su kaynaklarını da dolaylı olarak etkilemektedir. Karbon salınımı ile zarar gören ozon tabakası güneş ışınlarını atmosferden yer yuvarına daha fazla geçirerek yeryüzündeki toplam su kütleisindeki azalmaya neden olmaktadır.

Su çalışmaları ülke politikaları çerçevesinde kurum ve kuruluşlara dağıtılmıştır ve bazı iş ve sorumluluklar belirli bir kurumun görev alanına girmekte iken bazı iş ve sorumluluk alanları farklı kurumların ortak görev alanına girmektedir. Uluslararası platformlarda da su politikalarının bir kısmı ülkelerin kendi iç politikaları dahilinde iken bir kısmı uluslararası sözleşmeler ile ortak politik kararlara ve yönetime dayanmaktadır. Özellikle 1970’li yılların başından başlayarak birçok ülkenin taraf olduğu ortak çerçeve yaklaşımlar benimsenmeye başlamıştır. Bu açıdan su yönetimini anlamak için uluslararası su politikalarının anlaşılması oldukça önemlidir. Dünya genelinde birçok çalışma olmakla birlikte ulusların ve devletler üstü yönetimde su politikalarına yön veren uluslararası su çalışmalar belli başlıdır. Bu çalışmalara aşağıda kronolojik sırayla değinilmiştir.

### **Stockholm Konferansı (1972, Haziran)**

1972 yılının birinci yarısının sonunda gerçekleştirilen Stockholm Konferansında (Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı) birçok ülke bir araya gelmiş ve konferans neticesinde Birleşmiş Milletler (BM) İnsan Çevresi Bildirisi oluşturularak kabul edilmiştir. Konferansta “İnsan ve Çevresi için Harekât Planı» kapsamında 109 önerinin sunulduğu bildirge ile yol haritası belirlenmiştir. İnsan Çevresi Konferansı (Stockholm

Konferansı) BM'nin çevre konularının uluslararası ölçekte ele alındığı ilk büyük önemli konferanstır, bu açıdan bir dönüm noktası niteliğindedir.

Konferansta özellikle;

1. İnsan yerleşimleri
2. Doğal kaynakların yönetimi
3. Kirlilik
4. Çevresel konuların eğitsel, bilgi edinme, sosyal ve kültürel yönle-ri
5. Deniz kirlenmesi
6. Sürdürülebilir kalkınma konuları ön plana çıkmıştır.

Konferans sonucunda merkezi Nairobi'de BM Çevre Programı (United Nations Environment Programme - UNEP) kurulmuştur. Stockholm Konferansı'nın konuları arasında denizlerle ilgili konular geniş bir yer tutmakta olup konferans sonucunda bazı programlar faaliyete geçirilmiştir. İlk olarak Baltık Denizi üzerinde başlamış olan çalışmaları programın üçüncü ayağında yer alan Akdeniz takip etmiştir. Birleşmiş Milletlere bağlı hükümetlerin deniz kirliliğinin araştırılması üzerine çalışmalar yapılması konusundaki öneri yine bu konferansta alınmıştır.

Uluslararası çerçevede yapılan anlaşmalar arasında en erken düzenleme olarak "*Ramsar Anlaşmasını (1971)*" yer alsa da, Ramsar daha çok su kuşları üzerinde durduğu için ilk çalışma olarak değerlendirilmemiştir.

Stockholm Konferansı ilk çalışma olması nedeniyle oldukça önemlidir. Daha sonra Rio'ya kadar uzanacak olan çalışmaların temelleri bu konferansta atılmıştır. Birleşmiş Milletler'e bağlı ülkeler "*çevre*" konusunda ilk kez bu konferansta bir araya gelmiştir ve taraf ülkelerce 26 maddelik bir deklarasyona imza atılmıştır. Deklarasyonda su ile ilgili en önemli madde 7. maddedir;

*"Denizlerin, insan hayatını tehlikeye atabilecek maddelerle kirlenmesini önleyecek, canlı yaşama, denizde hayata zarar verecek, güzellikleri bozacak veya denizlerin diğer yasal kullanımını olumsuz etkileyecek şekilde kirlenmesini önlemek için ülkeler bütün olanaklarını kullanacaklardır."* (Aktan, 2021).

### **Barcelona Sözleşmesi (1976)**

UNEP 'in 1974 yılında Bölgesel Denizler Programı (Regional Seas programme, RSP) kapsamında Akdeniz öncelikli hedefler arasına dahil edilmiştir, Akdeniz Eylem Planı (Mediterranean action Plans (MAP)), 1975. MAP faaliyetlerinin yürütülmesine ilişkin uluslararası hukuki söz-

leşme 1976 yılında Barselona’da kabul edilmiştir. Barselona sözleşmesi olarak anılan “Akdeniz’in Kirliliğe Karşı Korunması Sözleşmesi” 12 Şubat 1978 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Sözleşme Akdeniz’deki mevcut kirliliği azaltmak ve bölgenin tabii özelliklerini iyileştirerek çevresel mirasın gelecek nesillere aktarılması için sürdürülebilirliğinin sağlanmasıdır.

Avrupa Birliği ve 21 Akdeniz ülkesi dahil olmak üzere yapılan sözleşme amaçları arasında öncelikli olarak :

1. Deniz kirliliğinin kontrol edilmesi,
2. Deniz, kıyı ve limanlarda sürdürülebilirliği arttırmak,
3. Deniz çevresi ve kıyı bölgelerinde kirliliği azaltmak ve deniz nedenli kirliliği önlemek ve
4. Hayat kalitesinin artışı sağlamak yer almaktadır.

Bu amaçla sözleşme kara faaliyetleri neticesinde ve karasal kökenli kaynaklardan oluşan kirlenmeden korunması, olağanüstü hallerde zararlı bileşenlerden meydana gelecek kirlilikten korunma, gemilerden ve uçaklardan boşaltmayla oluşan kirliliğe karşı önlemler, doğal kaynakların rasyonel kullanımının dikkate alındığı bütünleşik kıyı yönetimi, kirliliğin izlenmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması, bilim ve teknolojiye iş birlikleri, kıyı alanlarının yönetimi, deniz tabanının keşfi, çevresel mevzuatın uygulanması vb. konularını içermektedir.

Akdeniz ile alakalı diğer bazı bildirimler;

- Akdeniz’in İkinci On yılı Deklarasyonu (1985)
- Akdeniz Havzasında Çevre Alanında Avrupa-Akdeniz İşbirliğine İlişkin Lefkoşa Şartı (1990)
- Akdeniz Havzasında Çevre Alanında Avrupa-Akdeniz İşbirliğine İlişkin Kahire Deklarasyonu ve Spesifik Faaliyetler Programı (1992)
- Akdeniz’de Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı, Tunus Deklarasyonu (1994)
- Akdeniz Havzasında Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Hakkında Barcelona Kararı’dır (1995).

Rio Konferansı (1992) II. Dünya Çevre Zirvesi, Rio de Janeiro 1992, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı

BM, insanlığın ortak problemi olarak karşı karşıya kaldığı hava ve su kirliliği, çevresel bozulmalar, küresel ısınma gibi global sorunların bütün ülkelerin katılımıyla oluşturulacak ortak eylem programları çerçevesinde ele alınması gerektiği ön görüşüyle 1989 yılında Rio konferansının düzenlenmesi kararını almıştır. Haziran 1992 de gerçekleştirilen konferans’a

60'dan fazla devlet başkanı, 50'den fazla hükümet başkanı ve yardımcısı ile bir çok delege katılmıştır. BM Çevre ve Kalkınma Konferansında beş temel konu üzerinde durulmuştur:

- Gündem 21
- Rio deklarasyonu
- İklim Değişikliği sözleşmesi
- Ormanların korunması ve geliştirilmesine ilişkin prensip listesi ve
- Biyolojik çeşitlilik sözleşmesi (Alada,1993).

Konferansta belirlenen hususların takibi ile BM Binyıl Kalkınma Hedeflerine (Resmileşmesi; Birleşmiş Milletler'in New York Binyıl Zirvesi, 2000) ulaşma hedeflerinin uyumunun sağlanması amacıyla "Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi", (2002) gerçekleştirilmiştir. 2012 yılında Rio+20 BM Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte 2015 yılında "Gündem 2030: BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Sustainable Development Goals, SDG)" kapsamında iklim değişikliği, kuraklıkla mücadele, sürdürülebilir şehirler, gibi çevresel konularda önemli gündem konuları arasına alınmıştır. Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinde yer alan 6,11, 13, 14 ve 15 numaralı hedefler sırasıyla,

SKH 6: Suyun sürdürülebilir yönetimi ve sıhhi koşulları (SDG 6), Su kaynakları, denizlerin ve okyanusları koruma ve sürdürülebilirliği (SDG 13) doğrudan su ve su kaynakları kapsamındadır (T.C Dışişleri Bakanlığı, 2022).

### **Bükreş Sözleşmesi (1992)**

Karadeniz Çevre Programı ve Baltık Deniz'i programından 20 yıl kadar gecikmeli olarak gündeme gelmiştir. Bu amaçla karadenize kıyı ülkelerce hazırlanan Bükreş Sözleşmesi 1992 yılında imzalandıktan iki yıl sonra 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Sözleşme'nin tarafı beş ülkenin görev paylaşımında temel alanlar aşağıdaki Tablo.1'de verilmiştir.

*Tablo.1 Bükreş Anlaşması görev dağılımı*

<b>ÜLKE</b>	<b>GÖREV</b>
TÜRKİYE	Kara kökenli kirleticiler gözlenmesi
BULGARİSTAN	Denizciliğin çevresi güvenlik yönleri faaliyetleri
UKRAYNA	Kirliliğin izlenmesi ve denetlenmesi
RUSYA FEDERASYONU	Entegre kıyı alanları yönetimi
GÜRCİSTAN	Biyolojik çeşitliliğin korunması
ROMANYA	Balıkçılık ve Deniz canlıları Faaliyet Merkezi

Protokolün amacı yukarıda da değinildiği üzere Karadeniz ekosistemini tabi özelliklerine uygun şekilde muhafaza etmek, kaynakları koruyup zenginleştirirken sürdürülebilir yönetimini sağlamak amacıyla oluşturulacak politika, strateji ve yönetim çalışmaları için yasal çerçeve oluşturmaktır (Gazete, R. 2004). Böylelikle bölgenin doğal özellikleri korunurken gelecek nesillere tarihsel ve kültürel mirasının aktarılması sağlanabilecektir. Sözleşme de oluşturulan protokol başlıkları aşağıdaki şekildedir:

- Karadan kaynaklanan kirlenmeye karşı deniz çevresinin korunması
- Petrol ve diğer zararlı kirleticilere karşı deniz çevresinin korunması ile acil durumlarda işbirliğine,
- Boşaltmalar ile kirlenmesinin engellenmesine karşı deniz çevresinin korunması,
- Biyolojik Çeşitlilik ve Peyzaj Korunması.

### **Kyoto Protokolü (1997)**

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) niteliğinin güçlendirilmesi maksadıyla iki buçuk yıl boyunca müzakereler yapılmıştır. Küresel ısınma ve İklim eğikliği ile ilgili olarak uluslararası alandaki tek çerçeve protokolü olan Kyoto Protokolü 1997 yılında müzakereler sonucunda imzalanmış ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Protokolün imzalandıktan sekiz yıl sonra yürürlüğe girmesinin nedeni imzalayan ülkelerin karbon emisyon miktarının yeryüzünde salınan toplam karbon emisyonunun %55 'ine denk gelmesi gereğidir, bu koşul Rusya'nın protokole imza atmasıyla sağlanmıştır. Protokole Rusya ile birlikte 191 ülke ve AB taraftır. Ülkemiz protokole 2009 yılı Şubat ayında Resmi Gazetede yayımlanan 5836 Sayılı Kanun ile protokolün taraflarından bir olmuştur.

Protokolün birinci taahhüt dönemi 2008-2012 arasında taraf ülkelerin sera gazı emisyon oranlarını 1990 yılındaki seviyenin %5'in altına, ikinci taahhüt dönemi 2013-2020 yılları arasında 2020 yılında 1990 yılına göre en az %18 oranında düşürülmesi olarak belirlenmiştir. İkinci protokole Doha Genişliği de denilmektedir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (BMİDÇ) devamı niteliğinde görülen Kyoto Protokolü zararlı gazları azaltarak beklenen sıcaklık ortalamasını artışıını mümkün olduğunca aşağıya çekmek için gerekli önlem ve politikaları uygulayarak iklim değişikliğinin kontrole alınması ve iklim değişikliğine bağlı gelişecek olumsuz etkilerin azaltılması/engellenmesi amaçlamaktadır. Bununla birlikte, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesinin tarafı olmayan Türkiye Cumhuriyeti (TC) Devleti, Kyoto Protokolün Ek-B listesine dahil edilmemiştir. Bu nedenle, Türkiye'nin



sayısallaştırılmış emisyon sınırlandırma / azaltım taahhüdü yoktur (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2022).

## **DİĞER ULUSLARARASI SU YÖNETİMİ ÇALIŞMALARI:**

- Dublin Konferansı
- 1992 Sınırtaşan Sular ve Uluslararası Göllerin Korunması ve Kullanılması Sözleşmesi
- Natura 2000 Ağı
- BM 1998 Milenyum Zirvesi
- 2002 Johannesburg Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi
- BM 2006 Küresel İnsani Gelişme Raporu
- COP Deklarasyonları'dır.

Yalnızca su alanındaki bazı çalışmalar ise;

- 1997 yılı Fas (Marakeş) ilk ve en büyük Dünya Su Forumu olup, her iki yılda bir düzenli olarak yapılmaktadır. Beşinci forum Türkiye'de yapılmıştır.
- 2003 yılından itibaren her yıl Birleşmiş Milletler (UN) "*Dünya Su Gelişme Raporları*" yayınlanmaktadır. Dikkati arttıracak bazı söylemler şu şekildedir: "İnsanlar için su, hayat için su", "Su: Paylaşılan Sorumluluk", "Kullanılmayan Kaynak: Atıksu"...
- 2000 yılı Aralık ayında Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ile havza bazlı yönetim planları ortaya konulmuştur.
- 2007 yılında yürürlüğe giren "Taşkın Risklerinin Değerlendirilmesi ve Yönetimi" başlıklı Taşkın Direktifi oluşturulmuştur.
- Ülkemizin de uyum politikalarını yürüttüğü AB Su Müktesabati; Su Çerçeve Direktifi, Taşkın Direktifi, Deniz Stratejisi Direktifi, Kentsel Atıksu Direktifi, Çevresel Kalite Standartları Direktifi, Nitrat Direktifi, Yüzme Suyu Direktifi, İçme Suyu Direktifi ve Yeraltı Suyu Direktifi'dir.

## **HAVZA YÖNETİMİ**

### **Havza**

Havza en temel anlamıyla yağışı akıma çeviren bir transfer sistemidir. Sistemde atmosferden yer yüzeyine düşen sular su ayırım çizgisiyle (orografik su ayırım çizgisi) ayrılmış bölgenin topografik yapısına göre

hareket etmektedir. Su ayırım çizgisi havzanın sınır ayırımını oluşturan sırt çizgisidir. Havza yüzeyine düşen su kütesinin sistem içerisindeki dağılımı ve hızı havzanın topografik özellikleriyle birlikte jeolojik yapısı ve arazi örtüsüne göre değişmektedir. Teknik bir söylem ile havza sistemine düşen yağış hiyetografı (mm/s) havzanın özelliklerine göre çıktı ürünü olarak akıma ( $m^3/s$ ) dönüşmektedir. Havzalar bu açıdan hidrolojik bir birimdir. Bununla birlikte, fiziksel ve biyolojik özellikleri açısından topografik bir birim olmasının yanısıra yerel yönetim ve politikalar açısından da aynı zamanda sosyo-ekonomik bir birim olarak değerlendirilmektedir. Havzalar tek bir noktadan deşarj olur ve içbükey bir topoğrafik yapı göstermektedirler. Bu yapı düze yakın olabileceği gibi çok sarp bir yapıda olması da mümkündür. Bununla birlikte havzadaki arazi kullanımları da değişkenlik göstermektedir, bir ya da birden fazla olması mümkündür. Bu durum kısmen havzanın büyüklüğüyle ilişkilidir.

Havzalar büyüklüğüne göre küçük havzalar, orta büyüklükteki havzalar, çok büyük havzalar ve büyük havzalar olarak dörde ayrılmaktadır;

Küçük havzalar	< 1 km <sup>2</sup>
Orta büyüklükteki havzalar:	1-10 km <sup>2</sup> arası
Çok büyük havzalar:	10 - 100 km <sup>2</sup> arası
Büyük havzalar	> 100 km <sup>2</sup> (Turan, 2022).

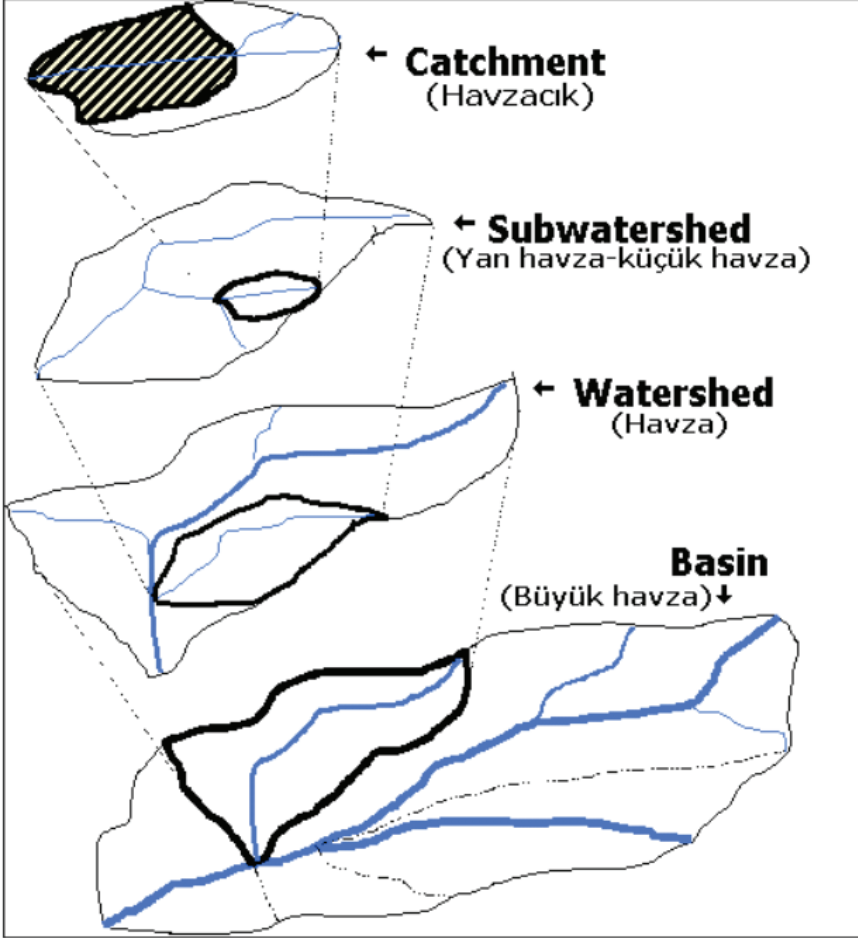
Ancak literatürde havzalar büyüklüklerine göre farklı terimlerle de ifade edilmektedir :

Catchment (Havzacık) :	0.1 – 2.5 km <sup>2</sup>
Sub-watershed (Yan Havza-Küçük Havza)	2.5 – 25 km <sup>2</sup>
Watershed (Havza)	25 – 250 km <sup>2</sup>
Sub-basin (Alt Havza)	250 – 2500 km <sup>2</sup>
Basin (Havza)	> 2500 km <sup>2</sup> , Şekil 1.

Büyüklik havzaların hidrolojik karakteristiğini belirleyen temel özelliklerden biri olup havzanın şekli (oval, yassı, uzun, ince vb.), eğimi, çıkış noktasının havza alanına olan uzaklığın dağılımı ve ortalama yükseklik diğer parametrelerdir. Havzanın jeomorfoloji karakteristiğini ise zeminin cinsi-jeomorfolojik yapısı (yeraltı akışını da etkilemektedir) ve bitki örtüsü belirlemektedir. Bununla birlikte, havzaların önemli süreçlerinden birisi de drenajdır ve havza drenaj tipleri centripetal (merkezcil), parallel (paralel), annular (halkalı), dendritic (dallantılı), trellised (kaf-

esli), rectangular (dikdörtgensel), tadial (ışınsal), ve deranged (karışık) olarak sınıflandırılmaktadır.

Şekil 1. Yabancı literatürlerde farklı terimlerle ifade edilmekte olan catchment, sub-watershed, watershed, sub-basin, basin kavramlarının şematik gösterimi (Kara, 2007)



## Havza Yönetimi

Havzalar insanları, doğal yaşamı, kent ve kırsal yerleşimleri, sanayi ve ticaret alanlarını, ormanlık alanları, tarımsal arazileri, doğal kaynakları, iletim hatları, turizm bölgeleri, kültürel varlıkları vb. içine alan ekonomik, sosyal ve biyolojik bir sistemdir. Bu açıdan havza içerisinde varlığını sürdüren sistemler birbirleriyle sürekli etkileşim halindedir. Her sistemin havza üzerinde oluşturduğu etkiler mevcuttur. Su kaynakları havzaların

bir anlamda varlık nedeni olmakla birlikte havzada varlığını sürdüren bütün sistemlerle doğrudan ilişkilidir. Bu açıdan su kaynakları ile ilgili çalışmalar salt kaynağın özellikleri ve konumu üzerinden değerlendirmek yerine su kaynaklarının ve sucul sistemlerin bütüncül hali olan havzalar üzerinden yürütülecek planlamalar ile ele almak doğru yaklaşımlardandır. Artan nüfus baskısı ve insan faaliyetlerinin çevre ve su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri su kaynaklarının azalmasına ve kirletilmesine neden olmuştur. Bu bağlamda ulusal ve uluslararası sürdürülebilir su yönetimi çalışmaları birçok ülkenin gündemini oluşturmaktadır. Bu alanda özellikle 23 Ekim 2000 tarihli ve 2000/60/EC sayılı “Su Çerçeve Direktifi” geniş bir yelpazede su kaynakları üzerindeki olumsuz gidişatı değerlendirmiş ve çözüm süreçlerinde bütüncül havza yönetiminin gereğini vurgulayan önemli bir çerçevedir. 2000 yılında Avrupa Birliği’nce yayınlamış olan Su Çerçeve Direktifi (SÇD) bu konuda sadece Avrupa Birliği’ne üye ülkelere değil bu örgüt dışısındaki ülkelere de yol göstericidir. Belirli dönemlere ayrılmış denetim modeli ile uzun vadede sonuç elde etme odaklı olan SÇD, ülkelerin yalnız kendi su kaynaklarından sorumlu olmadığı bir projedir. Çalışmalar belirli periyodik aralıklarla takip edilerek kaynaklar hakkında ön gürüleri oluşturulmakta ve tahmin edilen senaryolara göre hazırlık yapılmasını sağlamaktadır.

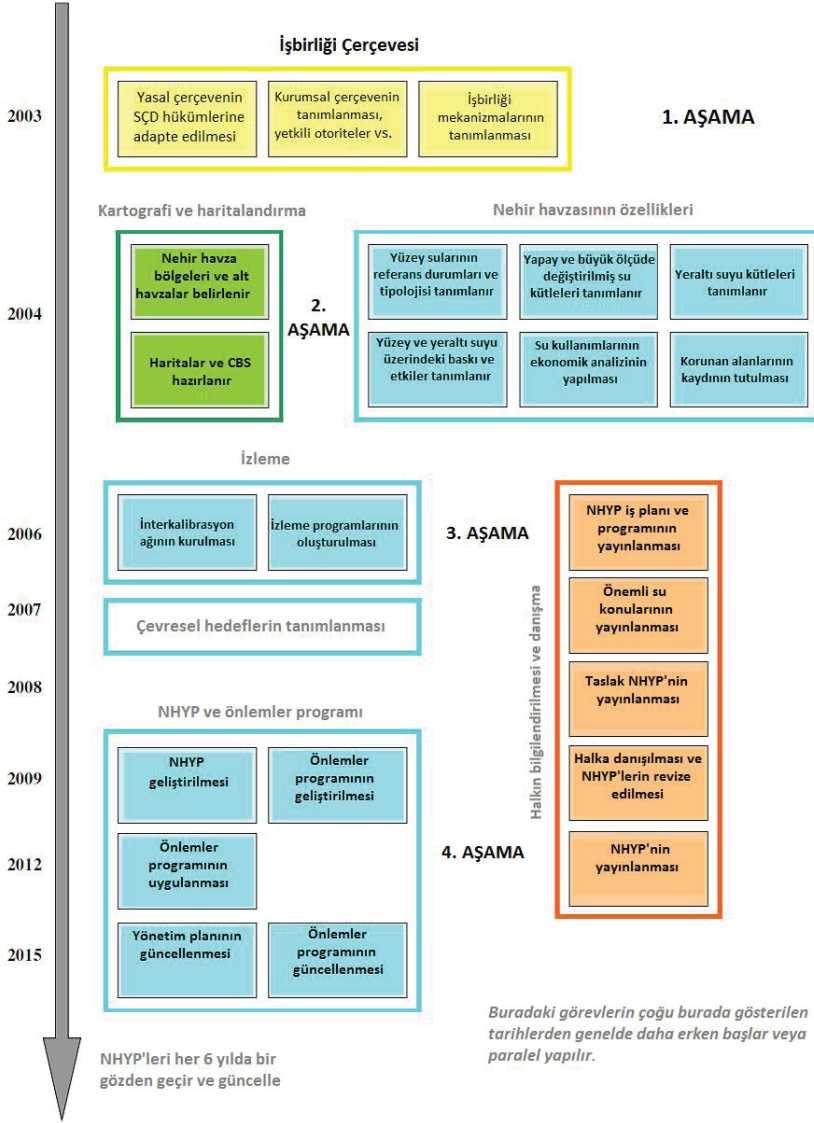
Direktife göre anlaşmalı ülkeler “Nehir Havza Yönetim Planı” (NHYP) oluşturmak zorundadır. Sınır aşan sularda ise paydaş ülkeler iş birliği ile NHYP hazırlaması gereği belirtilmiştir. Planlama çalışmalarında havza da karşılaşılabilecek sayısız ekonomik, fiziksel, sosyal, biyolojik vb. farklılıklar söz konusu olduğundan planlama süreçleri de farklılık göstermektedir. Toprak ve kayaç yapısı, suyun mineral değerleri, havzanın büyüklüğü, havzanın zoolojisi gibi pek çok faktöre göre planlama süreçleri değişkenlik göstereceğinden standart bir zaman ile sınırlandırılması pek mümkün değildir. Bununla birlikte SÇD’ye göre tüm su kaynakları belirli değerlerdeki ölçütlere ulaşmadığı sürece tüm su kaynakları risk altındadır.

Literatürde havzaların yönetilmesine yönelik birçok havza yönetim modeli (bütüncül, klasik, ekosistem servislerine dayalı, morfometrik analizlere dayalı, süreç modeli vb.) yaklaşımı mevcuttur. Su Çerçeve Direktifi tamamen bütüncül bir yaklaşım planı sunarak, taraf ülkelere sorumluluk yüklemiştir. Birliğin amacı ilerleyen yıllarda gelecek risklerinden biri olarak ön görülen su kıtlığını azaltmak, yeraltı suyu kirliliğinin azaltmak ve kirlenmesinin engellemek, sucul ekosistemleri korumak ve iyileştirmek, havzaların ekosistemini korumak, su kalitesini arttırmak, sosyo ekonomik beşeri faaliyetler, doğal kaynakların korunması, sel-kuraklık etkilerini azaltmak, sürdürülebilir su politikaları yaklaşımlarının benimsenmesi ve su kirliliğinin önüne geçmektir. Bu kapsamda SÇD’ye göre oluşturulacak

Nehir Havzası Yönetim Planı oluşturulması için aşağıdaki unsurlar gerekmektedir;

- Havza karakteristiğinin analizi
- Yetkili kurum ve kuruluşların listesinin oluşturulması
- Toplumsal faaliyetlerin oluşturduğu etkiler
- Havzanın ekonomisinin analiz edilmesi ve özeti
- Korunan alanların tanımlanması ve haritalama çalışmaları
- Önlem programlarının özetinin oluşturulması
- İzleme ağının haritaların oluşturulması
- Planlanan önlemlerin daha detaylı belirtilmesi
- Bölgede yaşayan vatandaşların bilgilendirilmesi .

Nehir Havza Yönetim Planlarının uygulanması süreci Şekil.2’de gösterilmektedir.



Şekil.2 Nehir Havza Yönetim Planlarının uygulanması süreci (Çavuş, 2014)

## Kuraklık

Kuraklık yer yüzünün büyük bir kesiminde yavaş yavaş etkisini göstermeye başlamış olan, yağış ortalamalarının düşmesi ve sıcaklıkların artması ile yayılan bir çevre sorunudur. Kuraklık su kaynağının kuruması olarak meydana geldiği gibi bazı kesimlerde çölleşme olarak da kabul edilmektedir. Dönemsel olarak da meydana gelen yağışların yetersizliğine

eşlik eden uzun süreli yüksek sıcaklık seyrinin olduğu alanlarda kuraklık riski oluşmaktadır. Kuraklığı etki alanı bakımından üç ana başlıkta sınıflandırmak mümkündür:

### 1. Meteorolojik Kuraklık,

Genel olarak atmosferik süreçlerin aşırılıkları (yağış ortalamalarındaki uzun süreli düşüşler, yüksek sıcaklık vb.) yeraltı suları ve yerüstü sularında azalmaya neden olmaktadır. Özellikle meteorolojik etkiler müdahale edilemeyen süreçler olduğundan kuraklığa neden olan önemli süreçlerdir ve bu açıdan meteorolojik kuraklık tarımsal ve hidrolojik kuraklığa etki eden yağâne unsurlardan birisidir. Meteorolojik kuraklığa sebep olan etmenler:

- Yağış azlığı
- Sıcaklık
- Nem
- Yüksek Hızlı Rüzgar
- Bulutluluk.

### 2. Tarımsal Kuraklık,

En temel anlamıyla bitkinin büyümesi için ihtiyaç duyduğu nemi toprağın kaybetmesidir. Tarım ürünleri topraktaki suyu bünyelerine alarak gelişim göstermekte ve böylece tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği sağlanmaktadır. Bu açıdan meteorolojik kuraklık nedeniyle oluşan toprak nemindeki azalma sonucunda oluşan tarımsal kuraklık tipik bir durumdur. Meteorolojik etkiler arasında düşük ortalama yağışları takip eden yüksek sıcaklık, kurutucu rüzgarlar gibi hava olayları yağış kıtlığının tabiat üzerindeki olumsuz etkilerini katlayarak arttırmaktadır.

### 3. Hidrolojik Kuraklık,

Hidrolojik kuraklık uzun süren yetersiz yağış ortalamalarının neden olduğu yeraltı ve yerüstü sularında azalma ve/veya yok olmayı ifade etmektedir. Hidrolojik kuraklığın kabul edilmesi için uzun süreli kayıtlara ihtiyaç olup dönemlik azalmalar hidrolojik kuraklık olarak kabul edilmektedir. Meteorolojik kuraklığın devamlılık gösterdiği bölgelerde hidrolojik kuraklığın meydana gelmesi mümkündür. Uzun süren yağış kıtlığı su kaynakları, toprak nemi, yüzeysel akış gibi hidrolojik döngünün ana aktörleri üzerine etki etmektedir. Bu durumda hidrolojik kuraklığa neden olan durumlara yol açmaktadır. Basit bir örnek ile akarsu kenarında bulunan topraklarda nem oranının azalması sonucunda, toprak akarsudaki suyu bünyesine katmaktadır ve bunun sonucunda akarsulardaki su miktarında azalmaya neden olabilmektedir. Bu durumun yıllarca devam etmesi akarsularda, göllerde, yeraltı sularında kuraklıklara neden olabilmektedir.

Bununla birlikte, meteorolojik kuraklığın son bulması, hidrolojik kuraklığında son bulacağına anlamına gelmemektedir. Hidrolojik kuraklık daha çok toprak nemi ile bağlantılı olup hidrolojik kuraklığın son bulması için toprağın doygunluğa ulaşmasına ihtiyaç vardır.

Kuraklığı, fiziki süreçlerin yanı sıra ekonomik ve sosyo-politik yetersizliklerin bir arada olduğu bölgeler de meydana gelmiş su ve sucul alan yoksunluğu olarak nitelendirmek mümkündür. Genel olarak yavaş gelişim gösteren bir doğal afettir. Yavaş gelişim göstermesi indeksler ile sürecin önceden ön görülmesi yoluyla tedbir alınmasına ve hazırlıklı olmaya olanak sağlamaktadır. Bu açıdan kuraklıkta kırılmalıya neden olan koşulların belirlenmesine oldukça önemlidir. Kuraklık ile ilgili hassasiyeti işaret eden duyarlılık koşullarını altı ana başlığa ayırmak mümkündür; (1) Fiziksel çevre, (2) Zayıf ekonomi, (3) Kurumsal faktörler (4) Çevresel süreçler (5) Sosyal etkiler ve (6) Demografik faktörler (Kaya, 2018).

Kuraklığa sebep olan etmenler literatürde çeşitli açılardan yorumlanmıştır. Walter, kuraklığa neden olan nem bilançosu ve buharlaşmanın yağıştan fazla olduğu yerlerde görülebileceğini belirtmiştir. Shantz ise kuraklığın nedenlerini yağış azlığı ve yüksek sıcaklıkla açıklamıştır. Tümertekin kuraklığın meydana gelmesinde iklimden ziyade yağış miktarını vurgulamıştır. Bununla birlikte, kuraklığa yol açan etmenler arasında beşerî faaliyetlerin etkisi göz ardı edilemeyecek oranda büyüktür; tarımsal faaliyetlerde sıklıkla uygulanan sürdürülebilir yaklaşıma uygun olmayan sulama nedeniyle birçok göl kururken ve kuraklık açısından önemli bir parametrelerden biri olan yeraltı suyu seviyeleri de azalmıştır. Konya'da meydana gelen obruklar bu nedenle oluşmuş çöküntülerdendir. Bununla birlikte yanlış arazi kullanımı da su kaynakları üzerindeki önemli bir diğer baskıdır. Tarih boyunca insanlığın iklim, ulaşım, tarım gibi avantajları nedeniyle su yakınlarında yerleşim göstermesi buradaki su kaynakları etrafında çoğu zaman su kaynaklarını da etkileyecek oranda kentsel büyümeye neden olmuş, sanayi faaliyetlerini beraberinde getirmiştir. Arazi örtüsünün tahribinin yanı sıra suyun beslenme kaynakları üzerinde ve etrafındaki arazi kullanım faaliyetleri, kirletici unsurlar vb. kuraklığa neden olan beşerî faaliyetler olarak kendini göstermiştir.

## **Kuraklık İndeksleri**

### **Standart Yağış İndeksi (Standardized Precipitation Index -SPI)**

McKee vd., (1993) tarafından geliştirilen Standardize Yağış İndeksi meteorolojik kuraklıkları tespit etmek ve karakterize etmek için dünya genelinde en yaygın kullanılan göstergedir. Belirli bir yerde n aylık (örn. 1, 3, 12, 48 ay) bir süre boyunca alınan toplam yağış miktarını, o yerde aynı süre için uzun vadeli yağış dağılımıyla karşılaştıran istatistiksel



bir göstergedir. SPI değerleri herhangi bir coğrafi konum ve herhangi bir sayıda zaman ölçeği için yağış anormalliklerini karşılaştırmak için kullanılabilir (Hayes, Alvord ve Lowrey, 2002). Dünya Meteoroloji Organizasyonu, meteorolojik kuraklıkları karakterize etmek için SPI'nin dünyadaki tüm Ulusal Meteoroloji ve Hidroloji Servisleri tarafından kullanılmasını tavsiye etmiştir (WMO, 2012), .

$$SPI = (X_i - X) / \sigma$$

SPI: Standart Yağış İndeksi

$X_i$ : Aktüel Yağış Miktarı

X: Ortalama yağış miktarı

$\sigma$ : Standart sapma değeri

Belirli bir zaman aralığında yağışın ortalamadan çıkarılıp standart sapmaya bölünmesi ile elde edilen indekstir.

Belirlenen dönem için hesaplanan indeksin sürekli olarak negatif değerler aldığı süreç kuraklık dönemi olarak kabul edilmektedir. İndeksin sıfırın altına düştüğü ilk değer kuraklık başlangıcı olarak tanımlanırken SPI değerinin pozitif değerleri aldığı süreçteki ilk ay kuraklığın bitimi olarak tanımlanmaktadır (WMO, 2012). SPI metoduna göre yapılan sınıflandırma ve indis değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo. 2 SPI metoduna göre yapılan sınıflandırma (NOAA, 2022)

SPI İNDİS DEĞERİ	SINIFLANDIRMA
2>	Olağanüstü nemli
1,60 – 1,99	Aşırı nemli
1,30 – 1,59	Çok nemli
0,80 – 1,29	Orta nemli
0,51 – 0,79	Hafif nemli
0,50 – -0,50	Normale yakın
-0,51 – -0,79	Hafif kurak
-0,80 – -1,29	Orta kurak
-1,30 – -1,59	Şiddetli kurak
-1,60 – -1,99	Çok şiddetli kurak
-2<	Olağanüstü kurak

Standart indis değeri (SPI) pozitif ise kuraklık mevcut değildir, ancak

SPI değeri negatif olarak hesaplandığında kuraklık kendini göstermektedir. Bununla birlikte -0,50'ye kadar olan SPI indisi de normale yakın olarak sınıflandırılmaktadır.

### **PALMER Kuraklık Şiddet İndeksi (PDSI)**

Wayne Palmer'in (Amerika Birleşik Devletleri) 1965 yılında geliştirdiği indeks, kuraklık hesaplamalarına yağış ve sıcaklık üzerinden su dengesini de dahil etmiş, su miktarını emilme şeklini dikkate alarak hesaplama yapmaktadır. İndiste sıcaklık, yağış ve toprağın bünyesinde su tutma kapasitesi parametre olarak ele alınmıştır. İndis hesabının sonucuna göre pozitif değerler nemliliği, negatif değerler ise kuraklığa işaret etmektedir.

$$X_i = X_{i+1} + \frac{Z_i}{3} - 0.103 * X_{i-1}$$

$X_i$  :  $i$ 'nci ay için hesaplanan PDSI değeri.

PDSI yaklaşımında kurak veya nemli dönemlerin başlangıcının belirlenmesi için 3 indise ayrılmıştır, Tablo 3.

$X_1$  = Nemli bir dönemin başlangıcını sağlayan şiddet indisi,

$X_2$  = Kurak bir dönemin başlangıcını sağlayan şiddet indisi,

$X_3$  = Herhangi bir kurak ya da nemli dönemin başladığını belirleyen indis (Dikici, İpek ve Topçu, 2018).

*Tablo.3 PDSI metoduna göre yapılan sınıflandırma ve eşik değerleri (Palmer, 1965)*

PDSI İndis Değeri	Sınıflandırma
4 >	Aşırı nemli
3 - 3,99	Çok nemli
2 - 2,99	Orta nemli
1 - 1,99	Az nemli
0,50 - 0,99	Nemli dönemin başlangıcı
0,49 - -0,49	Normale yakın
-0,50 - -0,99	Kurak dönemin başlangıcı
-1 - -1,99	Az kurak
-2 - -2,99	Orta Kurak
-3 - -3,99	Çok kurak
-4 <	Aşırı Kurak

## Normalin Yüzdesi İndeksi (Percent of Normal Index - PNI)

Belirli bir zamanda gerçekleşen yağışın ortalamasına bölünmesi ile edilen kuraklık analizleri arasındaki en basit indeks türüdür. Hesaplanan PNI değerinin sürekli olarak eşik değer altında hesaplandığı dönem kurak dönemi olarak tanımlanmaktadır. Kuraklığın eşik değer altına düştüğü ilk ay kuraklık başlangıcı olarak tanımlanırken eşik değer üzerinde değerler elde edildiği ilk ayda kuraklık birimi olarak kabul edilmektedir. PNI farklı zaman ölçekleri (aylık, mevsimlik ve yıllık) için hesaplanabilmektedir ve PNI'nin tek bir bölge ve/veya tek bir mevsim için kuraklığı tanımlamada oldukça etkili olduğu bulunmuştur (McKee et al., 1993). PNI metoduna göre indeks değerleri ve sınıflandırma Tablo 4'de verilmiştir.

$$PNI = (P_i / P) * 100$$

$$PNI = (P_i / P_i) * 100$$

$P_i$  = Aktüel yağış miktarı

P = Ortalama yağış miktarı

Tablo.4 Normalin Yüzdesi İndeksine göre indeksler ve sınıflar (MGM, 2022)

	NORMAL	AZ KURAK	ORTA DERECE KURAK	ŞİDDETLİ KURAK
1	%75'ten büyük değer	%65 - %75	%55 - %65	%55'ten küçük değer
3	%75'ten büyük değer	%65 - %75	%55 - %65	%55'ten küçük değer
6	%80'den büyük değer	%70 - %80	%60 - %70	%60'dan küçük değer
9	%83,5'dan büyük değer	%73,5 - %83,5	%63,5 - %73,5	%63,5'dan küçük değer
12	%85'den büyük değer	%75 - %85	%65 - %75	%65'den küçük değer

## Aydeniz Yöntemi

Aydeniz (1975) mevcut indekslerin hesaplanmasında kullanılan parametrelerin kuraklık göstergesi olarak hesaplanmasında yetersiz kalacağı bu nedenle güneşlenme süresi, ortalama nem değerleri gibi parametrelerinde dahil edilmesinin gerektiğini vurgulamış ve Aydeniz yöntemini geliştirmiştir. Aylık ve yıllık hesaplamalara uygun bir yöntem olup yıllık ve aylık hesaplama yöntemleri aşağıda verilmektedir:

Aylık:

$$N_{ks} = \frac{YN12}{SGs+15} \quad K_{ks} = \frac{1}{Nks}$$

$N_{ks}$ : Nemlilik katsayısı

Y: Aylık toplam yağış (cm)

S: Aylık ortalama sıcaklık (°C)

$G_s$ : Güneşlenme süresi (%)

N: Aylık ortalama nem (%)

15: sabite

$K_{ks}$ : Kuraklık katsayısı

**Yıllık:**

$$N_{ks} = \frac{YN}{SGs+15} NP \quad K_{ks} = \frac{1}{Nks}$$

$N_{ks}$ : Nemlilik katsayısı

Y: Yıllık toplam yağış (cm)

S: Yıllık ortalama sıcaklık (°C)

$G_s$ : Yıllık Güneşlenme süresi (%)

N: Yıllık ortalama nem (%)

15: sabite

$K_{ks}$ : Kuraklık katsayısı

NP: 12 aylık hesaplanan Nks değerleri için 0.40'dan az olanların sayısı 12 den çıkarılmakta ve kalan ayların sayısı 12 ye bölünerek Np hesaplanmaktadır. Yöntemde hesaplanan değerlere göre yedi sınıf belirlenmiştir, Tablo 5 (MGM, 2022)

Tablo.5 Aydeniz yöntemine göre indis değerleri ve sınıflandırma (MGM, 2022)

$N_{ks}$	$K_{ks}$	SINIFLANDIRMA
>0,40	2,50 <	Çöl
0,40 – 0,67	1,50 – 2,50	Çok kurak
0,67 – 1,00	1 – 1,50	Kurak
1 – 1,33	0,75 – 1	Kurakça
1,33 – 2	0,50 – 0,75	Nemlice
2 – 4	0,25 – 0,50	Nemli
<4	0,25 >	Islak

## KAYNAKÇA

- Aktan, C. 2021. Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı, Stockholm Deklarasyonu, <https://hukukbook.com>, Son Erişim Tarihi: 3.10.2022
- Alada, A. , Gürpınar, E. & Budak, S. (2012). Rio Konferansı Üzerine Düşünceler . İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi , 0 (3-4-5) , 0-0 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iusiyasal/issue/624/6250>
- Gazete, R. (2004). Resmi Gazete. *Resmi Gazete*: <https://www5.tbmm.gov.tr/kanunlar/k5212.html> Son Erişim Tarihi: 30.09.2022
- Hayes, M. J., Alvord, C., & Lowrey, J. (2002). *Drought indices*. National drought mitigation center, University of Nebraska.
- Kara, 2007. [https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/15\\_01\\_07\\_d7311.pdf](https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/15_01_07_d7311.pdf) Son Erişim Tarihi: 16.09.2022.
- Kaya, Y. (2018). İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE KARŞI KENTSEL KIRILGANLIK: İSTANBUL İÇİN BİR DEĞERLENDİRME. *International Journal of Social Inquiry* , 11 (2) , 219-257 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijsi/issue/41585/502488>
- MGM, 2022. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/kuraklik-analizi.aspx?d=yontemsinif> Son Erişim Tarihi: 27.09.2022
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- NOAA, 2022. <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/prelim/drought/spi.html>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2022
- Palmer, W. C. (1965) *Meteorological Drought*, Weather Bureau Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.
- T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2022. <https://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa#:~:text=3%2D14%20Haziran%201992%20tarihleri,a%3%A7%-C4%B1s%C4%B1ndan%20%C3%B6nemli%20bir%20ad%C4%B1m%20olmu%C5%9Ftur>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2022
- T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2022. <https://www.mfa.gov.tr/bukressozlesmesi.tr.mfa#:~:text=Bu%20kapsamda%2C%20k%C4%B1y%C4%B1da%C5%9F%20%C3%BClkeler%20taraf%C4%B1ndan,Federasyonu%2C%20Ukrayna%20ve%20%C3%BClkemiz%20taraf%C4%B1r>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2022
- T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2022. <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa>, Son Erişim Tarihi: 02.10.2022
- Turan G., 2022. <https://avys.omu.edu.tr/app/public/gturan>. Son Erişim Tarihi: 11.10.2022
- NOAA, 2022. <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/prelim/drought/spi.html>, Son Erişim Tarihi: 01.10.2022
- World Meteorological Organization. (2012). Standardized precipitation index user guide. *World Meteorological Organization*, (1090).

## Bölüm 9

### **ÇOK AMAÇLI META-SEZGİSEL ALGORİTMA KULLANARAK KARAYOLU KIRMIZI ÇİZGİ OPTİMİZASYONU**

*Sina ASHERLOU<sup>1</sup>,*

*Aref YELGHİ<sup>2</sup>,*

*Erhan Burak PANCAR<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Öğr. Gör., Avrasya Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, (Orcid: 0000-0002-3950-2636).

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi., İstanbul Topkapı Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (Orcid:0000-0003-0683-7218).

<sup>3</sup> Doç. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, (Orcid:0000-0002-7958-3434).

## 1. Giriş

Tüm mühendislik alanlarının tasarımdan uygulamasına kadar optimizasyonun her yerde olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Matematiksel optimizasyon veya programlama tüm tasarım planlama problemlerinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda tüm faktörleri göz önünde bulundurarak en ekonomik veya en yüksek erişilebilir performansa sahip bir sonuç elde edilmektedir. Bir optimizasyonun kullanım amacı, üretim verimliliğini en üst düzeye çıkarmaktır [1].

Karayolu uygulaması sırasında projenin denetimi için bilgisayar yardımıyla bazı çözümler üretilmiştir. Bu çözümler sayesinde karayolu projelerinin uygulaması daha hızlı yapılmaktadır. Bir karayolu tasarımı, inşaat maliyetini doğrudan etkilemektedir. 1960'lardan beri optimum tasarım çalışmaları başlatılmıştır [2].

Teorik olarak, optimizasyon problemi üzerinde sonsuz sayıda alternatifler bulunmaktadır. Bazı önceki uygulamalar optimizasyon problemlerini formüle ederek gerçekleştirmişlerdir [3].

Finans ve yazılım mühendisliği alanında, karmaşık problemleri çözmek için optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Başka bir deyişle, bu problemlerin çözülmesi ile diğer gerçek problemlerin daha istikrarlı ve hızlı bir şekilde çözülmesi mümkün olmaktadır [4-5]

Chew ve diğerleri [6] enkesit üzerindeki toprak işleri miktarlarının hesaplamasını sayısal araştırmalar yaparak gerçekleştirmişlerdir. Kim ve arkadaşları [3,7,8] ve Jha ve Schonfeld [9] genetik algoritmalar ve sadece boykesit görünümünü kullanarak arazi hacimlerinin alanlarını hesaplamışlardır. Easa [10] arazi hacimlerini hesaplamak için lineer programı kullanarak bir enkesit şablonu oluşturup ve arazi hacimlerini hesaplamıştır.

Goh ve diğerleri [11] doğrusal programlama ile dinamik programlama, Moreb [12] doğrusal programlama, FWA ve diğerleri [15] Genetik algoritmalar ve Göktepe ve arkadaşları [14] dinamik programlama kullanarak kırmızı çizgi optimizasyonu üzerinde araştırmalar yapmışlardır.

Daha verimli sonuçlar elde etmek için, Göktepe ve arkadaşları [15-18] kırmızı çizgi optimizasyon çalışmalarında "Ağırlıklı Zemin Hattı Yöntemi" geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, kesitlerin hacim merkezlerinden geçirilen kırmızı çizgiyi bularak, hafriyat miktarlarının hesaplanmasını gerçekleştirmişlerdir.

Özkan çalışmalarında, Seçilen bir yatay güzergâh için tasarım kriterlerine uygun sonsuz sayıda düşey güzergâh olabileceğinden, en ekonomik tasarıma ulaşmak için tasarımcı tarafından bir optimizasyon metodu oluş-



turularak düşey güzergahı optimize etmeye odaklanmıştır [2].

Bosurgi ve arkadaşları Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemi kullanarak çalışma alanının topografyasını yeniden oluşturmuşlardır [19].

Al-sobky ve arkadaşı hafriyat miktarını göz önünde bulundurarak düşey kurbanın konumunun tespiti için çalışmalar yapmışlardır [20].

Ghanizadeh ve Heidarabadizadeh [21], hafriyat maliyeti hesabı için Cost Based Optimizer (CBO), PSO ve genetik algoritma (GA) yöntemleri kullanarak some noktasının yüksekliği ve düşey kurp uzunluğu üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Min-Wook Kang ve arkadaşları genetik algoritmayı bir coğrafi bilgi sistemi (GIS) ile bütünleştirerek karayolu boykesitinde alternatif güzergahlar tesbit etmişlerdir [22].

Razieh Babapour ve arkadaşları üst sezgisel (GA ve PSO) algoritmaları kullanarak kırmızı çizgi tasarımı ve maliyet değerlendirmesiyle birlikte optimale yakın bir orman yolu profil tasarımı yapmışlardır [23].

Asherlou ve arkadaşları [24], boykesit üzerinde toprak işlerini göz önünde bulundurarak optimum bir kırmızı çizgi tasarımı elde etmek için üst sezgisel yöntemlerinden PSO, FA ve ABC yöntemlerini kullanmışlardır ve bu yöntemler sayesinde çok tatmin edici bir sonuçlar elde etmişlerdir.

Literatürden de görüldüğü gibi, bir karayolu projesinin tasarımı yapıldığında hafriyat maliyeti en önemli problemlerden biri olmaktadır. Bu bağlamda, kırmızı çizgi tasarımı için hafriyat miktarının en az olması ve yarma-dolgu miktarının eşit çıkarılabilmesi amacıyla bazı optimizasyon yöntemler kullanılmıştır.

Bu kapsamda **some noktaların otomatik olarak ekleme ve çıkartılması aynı zamanda kırmızı çizginin eğim sınır şartlarına da uyumlu olması ve en önemlisi hafriyat miktarı hesaplama sırasında arazi üzerinde siyah kotların otomatik bulunması** minimum maliyete neden olan optimum kırmızı çizgi tasarımında yadsınamaz bir gerçektir. Ancak bu şekilde bir kırmızı çizgi tasarımının çok aşamalı bir optimizasyon tekniği ile çözülmesi mümkün olabilecektir. Ama, şimdiye kadar kırmızı çizgi ile ilgili yapılan çalışmalarda, üst sezgisel algoritmalarından sadece tek amaçlı olan yöntemler kullanılmıştır. Ancak, çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinden NSGAIİ yöntemi [25] ile daha detaylı analizler yapıp ve kırmızı çizgi optimizasyon algoritması geliştirilerek hesaplamaların anında yapılabilmesi mümkün olacaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Bir karayolu projesi tasarım ve uygulamadan ibarettir. Karayolu projelerinin uygulaması ne kadar ince detaylardan oluşuyorsa bir o kadar da tasarım aşamasına dikkat edilmelidir. Başka bir deyişle uygulama sırasında nasıl ki yanlış uygulamalar kabul edilmeyecek sonuçlar oluşturuyorsa, proje tasarım aşamasında da gerekli şartnamelere göre uygun tasarlanmayan projelerinde, uygulama maliyetleri artacak ve ekonomik olmamasına neden olacaktır. Bu bağlamda çok amaçlı optimizasyon algoritmalarından bir tanesi seçilip ve mevcut yazılımına ek olarak bazı kodlamalar ekleyerek bu algoritmayı daha ekonomik kırmızı çizgi tasarımı için geliştirmiş olacağız. Böylece, yarma ve dolgu miktarını en az miktara indirerek en optimum kırmızı çizgi tasarlanmış olacaktır.

### 2.1. Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi NSGA II (Bastırılmamış Sınıflandırmalı Genetik Algoritma)

NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) çok amaçlı, doğrudan çözen optimizasyon algoritması olarak popülasyon elemanlarını bu yöntem ile sıralayabilmektedir. Bu yöntemde kıyaslama işlemi için bir kriter vardır yani  $x$  ve  $y$  arasında seçim yapılırsa galip olan seçilir ve mağlup olan elenir. Çok amaçlı optimizasyon yöntemleri genel olarak iki veya üzeri faktör üzerinde optimizasyon işlemini gerçekleştirmektedir. İyi bir algoritma bulunduğu cevaplarda önce kalite ve sonra düzen faktörlerini aramaktadır. NSGA'nın birinci versiyonunda yani NSGA-I algoritmasında düzen kriteri kullanılmamıştır. Daha etkin bir yöntem için NSGA-II uygun ve güçlü bir algoritma olarak tasarlanmıştır [25-27].

### 2.2. Boykesit Tasarımı

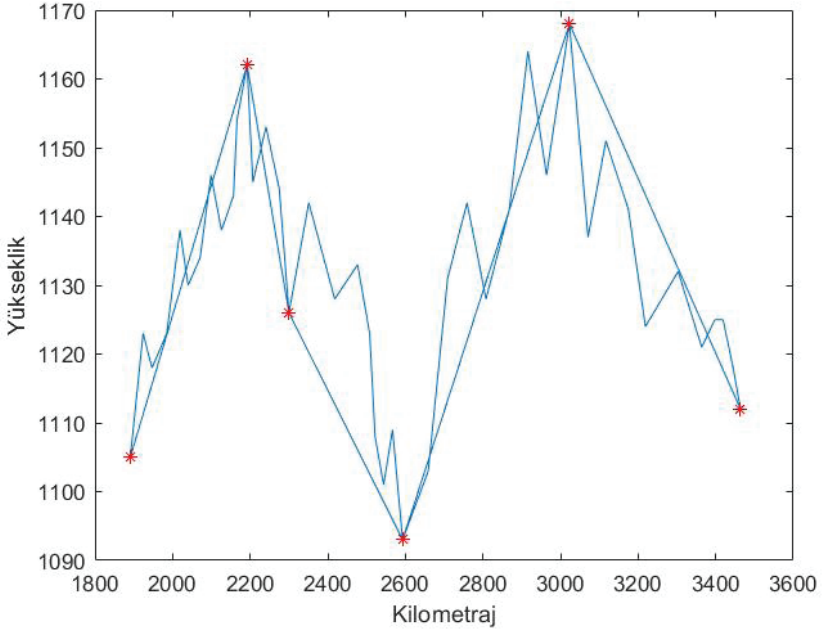
Karayolları projelerinde boykesit tasarımının en önemli aşaması kırmızı çizginin belirlendiği kısımdır. Aslında boykesit tasarımı siyah çizgi ve kırmızı çizgiden ibarettir. Bu bağlamda, maliyeti düşürmek için hafriyat miktarını en aza indirmeliyiz. Başka bir deyişle, boykesit tasarımında kırmızı çizginin her parametresine ayrı ayrı optimizasyon yapılarak, direkt maliyetin düşürmesinde önemli bir etki sağlayacaktır. Böylece, boykesit elemanlarının optimum tasarımı, hafriyat miktarını doğrudan etkileyeceği yadsınamaz bir gerçektir.

#### 2.2.1. Siyah Çizgi ve Kırmızı Çizgi

Boykesit tasarımında öncelikle, eksen hattının zemin kotları ve enkesit kilometreleri belirlenecektir. Boykesitin X ekseninde mesafe ve Y ekseninde yüksek gösterilecektir. Bu bağlamda örnek bir siyah ve kırmızı çizgi tasarımı şekil 1'de gösterilmektedir.

Günümüzde boykesit tasarımında some noktaları belirlenerek kırmızı

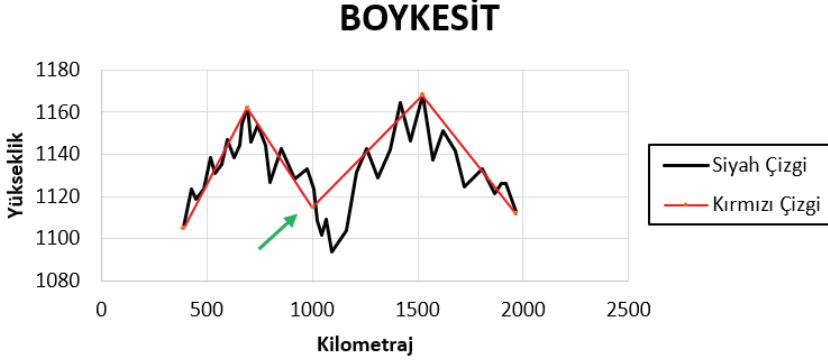
çizgi geçirilmektedir. Ancak, kırmızı çizgi tasarımında en önemli faktör, kırmızı çizginin pik noktalarıdır. Zemin hattı ve kırmızı çizgi arasında kalan yarma ve dolgunun miktarının en az olması ve aynı zamanda eşit olması gerekmektedir. Kırmızı çizgi tasarımı, örnek siyah çizgi üzerinde yani şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Boykesit tasarımı

### 2.2.2. Some Noktalarının Ekleme ve Çıkartılması

Yukarıda da gösterildiği gibi yol boyunca some noktalarının sadece yazılım tarafından otomatik seçilmesi tam olarak doğru olmayacaktır yani bazı projelerde proje işleyişi kapsamında zorunlu some noktaları da şekil 2'de görüldüğü gibi bulunması gerekmektedir veya da tam aksine proje işleyişi için belli mesafelerde hiç some noktası bulunmamalıdır. Bu bağlamda yazılımın eksik kalmaması adına tasarımın belli aşamasında yazılım tarafından tasarlayan kişiye sabit some noktalarının olup olmadığı sorulacaktır ve sınırsız bir şekilde some noktaları eklenip ve çıkartılarak yazılıma müdahale edilecektir.



Şekil 2. Some noktaların ekleme ve çıkartılması

Şekil 3'te bu kodlamadan sadece bir kısmını gösterilmektedir. Bu kodlama sayesinde önce yazılım tarafından kırmızı çizginin some noktalarıyla ilgili bulunan otomatik some noktalarına ek olarak eklenmesi gereken zorunlu some noktasının olup olmadığı sorulmaktadır. Eklenmesi gereken some noktası sorusuna evet cevabi verildiği takdirde proje kapsamında toplam eklenmesi gereken some noktasının sayısı yazılım tarafından sorulmaktadır. Toplam eklenmesi gereken some noktalarının sayısı girildikten sonra o some noktalara ait koordinatlar istenmektedir. Tabi ki X eksen sorulduğunda some noktasının bulunduğu kilometrajı ve Y eksen sorulduğunda o some noktasına ait yükseklik kodu istenmektedir. Böylece ekstradan eklememiz gereken some noktalarının koordinatları yazılıma verilerek artık otomatik bulunan some noktalarına ek olarak zorunlu some noktaları da eklenmiş olacaktır.

```

prompt = 'Do you want to insert peak Y/N: ';
yesno = input(prompt, "s");
if yesno=='y'
number_range = input('Please input the insert number :', "s");
number_range=str2num(number_range);
user_range_insert=[];
for i=1:number_range
prompt = "please input x "+num2str(i)+" :";
number_range = input(prompt, "s");
number_rangex=str2num(number_range);
user_range_insert(i,1)=number_rangex;
prompt = "please input y "+num2str(i)+" :";
number_range = input(prompt, "s");
number_rangey=str2num(number_range);
user_range_insert(i,2)=number_rangey;
end
else
user_range_insert=[];
end

```

Şekil 3. Zorunlu some noktası eklenmesinin yazılım kodlaması

Yazılım tarafından Şekil 4’te görüldüğü gibi önce kaldırılması gereken some noktalarının olup olmadığı tasarımcıya sorulacaktır. Bu sayede proje gereği some noktalarının bulunmaması gereken aralıkları var ise tasarımcı tarafından girilecektir. Tabi ki bu aşamada yazılım, some noktası bulunmaması gereken aralıkların başlangıç ve bitiş kilometrajlarına ihtiyaç duyacak ve bu aralıklar girildiği takdirde some noktası bulunuyorsa kaldırılmış olacaktır.

```

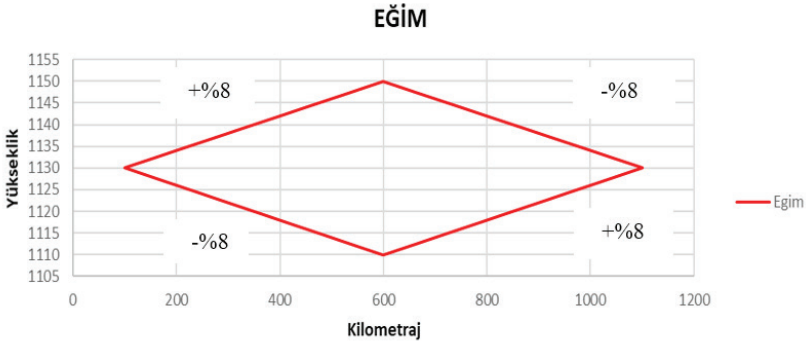
prompt = 'Do you want to remove the range data for peak Y/N: ';
yesno = input(prompt, "s");
if yesno=='y'
number_range = input('please input the number of Range:', "s");
number_range=str2num(number_range);
user_range=[];
for i=1:number_range
prompt = "please input x start "+num2str(i)+" : ";
number_range = input(prompt, "s");
number_rangex=str2num(number_range);
user_range(i,1)=number_rangex;
prompt = "please input x end "+num2str(i)+" : ";
number_range = input(prompt, "s");
number_rangey=str2num(number_range);
user_range(i,2)=number_rangey;
end
else
user_range=[];
end
end
end

```

Şekil 4. Some noktası kaldırımı için gereken yazılım kodlaması

### 2.2.3. Kırmızı Çizgi Eğimleri

Karayolu şartnamesinde her yol sınıfı için eğim sınırları belirlenmiştir. Bu bağlamda, kırmızı çizginin yukarı ve aşağı yönündeki maksimum ve minimum eğimleri Şekil 5’te gösterildiği gibi belirlenmelidir. Başka bir deyişle, bir yol projesi maksimum ve minimum eğimlere göre tasarlanıp ve proje boyunca kırmızı çizginin eğimi bu sınırları geçmemelidir.



Şekil 5. Maksimum ve minimum eğimler

Tasarlanan yazılım tarafından maksimum ve minimum eğimler Şekil 6'da gösterildiği gibi tasarlayıcıdan sorulacaktır. Bu çalışma kapsamında projenin maksimum eğimi için %8 ve minimum eğim içinde %0,5 kabul edilerek kırmızı çizgi tasarımı belirlenen eğim sınırları arasında gerçekleştirilecektir. Buna bağlı olarak da eğim sınırları dışında kalan kırmızı çizgi parçaları devre dışı bırakılarak hesaplamalara dahil edilmeyecektir.

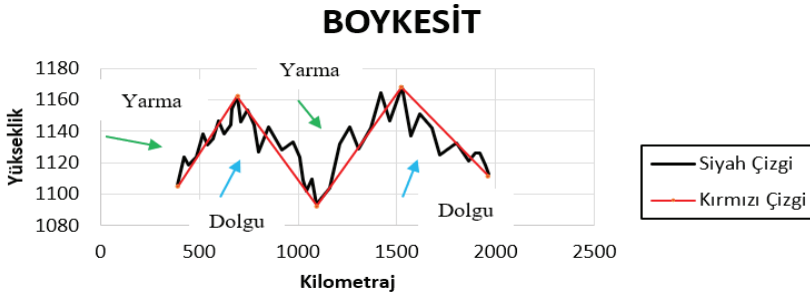
```
slope_valuemax = input('please input the max slope:', "s");
% slope_valuemax=0.08;
slope_valuemax=str2num(slope_valuemax);

slope_valuemin = input('please input the min slope:', "s");
% slope_valuemin=0.005
slope_valuemin=str2num(slope_valuemin);
```

Şekil 6. Maksimum ve minimum eğimlerin yazılım kodlaması

#### 2.2.4. Yarma-Dolgu Alanları

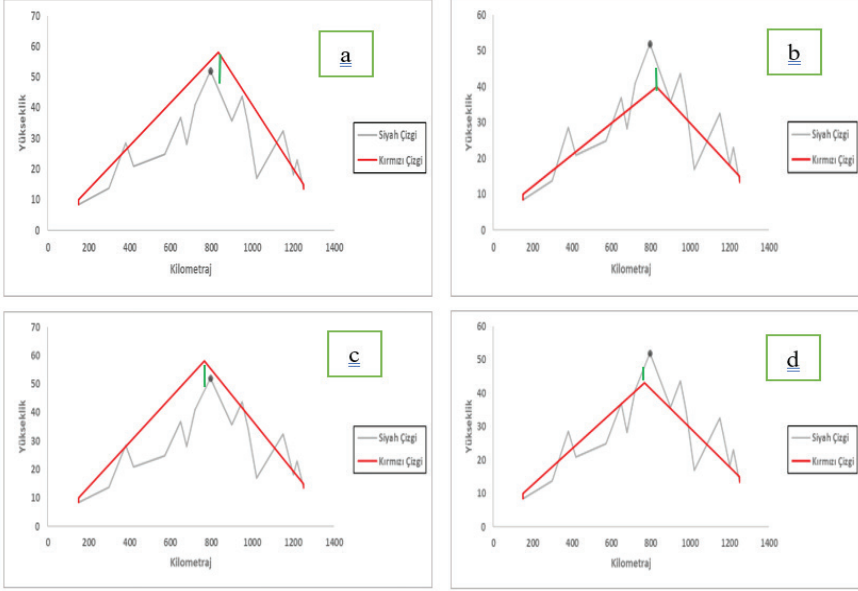
Kırmızı çizgi genel olarak düz çizgilerden ve düşey kurplardan oluşmaktadır. Yukarıda anlatıldığı gibi eğer kırmızı çizginin her elemanı optimize edilerek tasarlanırsa hafriyat miktarı en aza indirilebilir. Bu kapsamda kırmızı çizginin doğru parçaları zeminin durumuna göre geçirilerek yarma-dolgu miktarlarının eşit olmasına çalışılacaktır. Kırmızı çizgi tasarımında önce kırmızı çizginin doğru parçaları siyah çizginin aşağı ve yukarısında kalan bölgelerini eşitleyecek bir şekilde geçirilecektir. Ancak bu aşamada geçirilecek olan doğru parçalar her ne kadar da dikkat edilerek yapılırsa bile yine de yarma dolgu miktarını tam olarak eşitlememiz neredeyse imkansızdır. Buna bağlı olarak, yazılım sayesinde kırmızı çizginin yukarısında (Yarma) ve aşağısında (Dolgu) bulunan bölgelerin alanları hesaplanıp ve eşitlenecektir. Aynı zamanda bu alanların miktarlarını da minimum seviyede tutturarak hafriyat miktarını en aza indirmiş olacağız. Şekil 7'de gösterilen alanların eşit olması halinde en uygun kırmızı çizgi tasarımı gerçekleştirilmiş demektir.



Şekil 7. Yarma – dolgu alanları

### 1.1.5. Some noktalarının siyah çizgi üzerindeki koordinatı

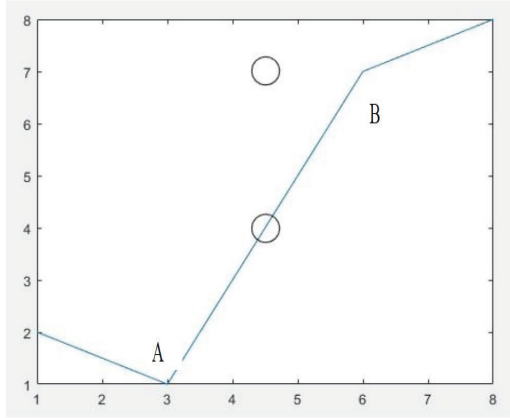
Boykesit tasarımında some noktalarının yerleri tasarlanan yazılım sayesinde şekil 8'de görüldüğü gibi hem X hem de Y ekseninde binlerce yer değiştirmektedirler. Bu bağlamda some noktalarının her değişiminde siyah çizgi üzerinde farklı yerlere denk gelecekleri yadsınamaz bir gerçek haline gelmektedir. Bu durumu özetleyeceksek her some noktası için farklı siyah kot bulunmaktadır. Bu bağlamda yol boyunca farklı some noktaları için siyah kotun bulunmasında formül 1'den yardım alınacaktır.



Şekil 8. Some noktasının arazi üzerindeki durumu

Aşağıdaki formül 1'in sayesinde herhangi bir some noktasının koordinatı siyah çizgi üzerinde bulunacaktır. Böylece Şekil 9'da gösterildiği gibi some noktasının arazi üzerindeki koordinatı hesaplanmış olacaktır. A (a, b) ve B (c, d) noktalarının koordinatları arazi kotları olduğundan proje başından bilinmektedir. Some noktasının siyah çizgi üzerinde nereye denk geleceği yani X ve Y koordinatları aşağıdaki Formülden bulunmaktadır. Tabi ki bu aşamada X koordinatı boykesit üzerinde kilometrajı göstermektedir. Başka bir değişle, X koordinatı her some noktası için siyah çizgi ve kırmızı çizgi için aynıdır.

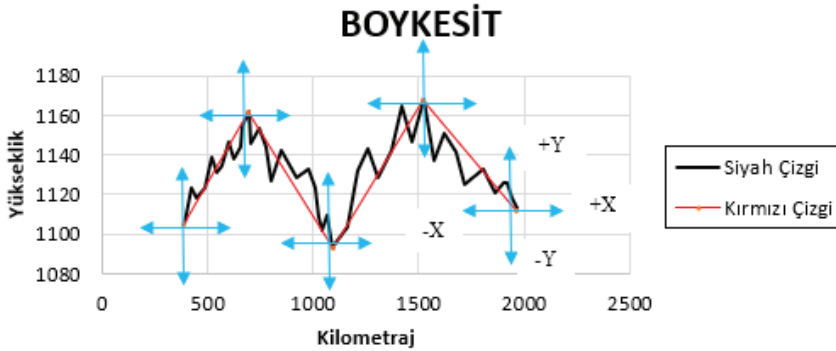
$$Y = \frac{X(d-b) - ad + cb}{c-a} \quad (1)$$



Şekil 9. Some noktasının arazi üzerindeki durumu

### 2.2.6. Kırmızı Çizgiye Ait Some Noktaların Optimizasyonu

Yukarıda anlatılan alanlar üzerinden optimizasyon, yarma-dolgulara ait alanlar farkının sıfır olduğu durumunu incelemektedir ki bu da hafriyatın en önemli noktası, yani kazılan yarma miktarını, dolgu alanlarında kullanarak ve geride yaklaşık sıfır fazla malzemeyle yapılmasıdır. Bu çalışma kapsamında, tasarlanan kırmızı çizgiye ait some noktaları, Şekil 10'da görüldüğü gibi koordinat sisteminin X ve Y ekseninde incelenmiştir.



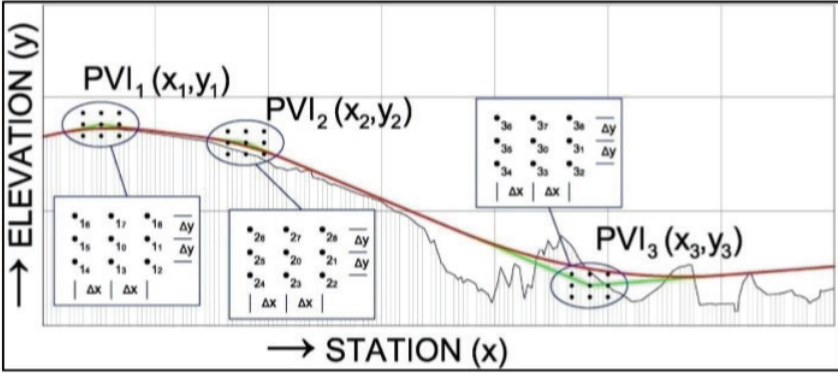
Şekil 10. X ve Y ekseninde denetleme

Some noktalarının optimizasyonu için her some noktasına ait bir matris oluşturarak koordinat sisteminin X ve Y yönünde incelemeler yapılmaktadır. Başka bir deyişle, some noktasını yukarıya veya aşağıya doğru hareket ettirdiğimiz takdirde belki de yarma dolgu miktarları değişmiş olacaktır ve hatta daha optimum bir kırmızı çizgi geçirmemize neden olabilecektir. Bu bağlamda, etrafında oluşabilecek binlerce değişken olduğundan, algoritma tarafından rastgele some noktaları seçilerek kabul edilmektedir. Tabiki bu



rastgele noktaların sayısı ne kadar fazla olursa o kadar kırmızı çizgimiz daha optimize edilmiş olarak tasarlanmış olacaktır. Bu X ve Y yönünde değişmekte olan some noktaları her bir değişim yapıldığında yarma-dolgu alanları ona göre değiştiği için tekrar bu alanlar hesaplanacaktır. Böylece, bu yöntemin gerçekleşmesinde fazlasıyla matematiksel işlem olduğundan, bu karmaşık hesaplamaların yapılması için bir optimizasyon yönteminin kullanılması yadsınamaz bir gerçek haline gelmektedir.

Genel olarak proje boyunca tasarlanmış bir kırmızı çizgi, çok fazla sayıda some noktasından geçebilmektedir. Bunun yanı sıra bu some noktalarının her birine ayrı ayrı matrisler oluşturularak ve her some noktasını binlerce değişken hale getirdiğimiz takdirde aslında projenin her yerine hâkim olacak sonsuzca some noktası ortaya çıkacaktır. Şekil 11'de örnek olarak some noktaları PVI ile gösterilmiş ve bu some noktalara ait oluşturulan matris sayesinde her some noktasının yeri 9 değişken hale getirilerek kırmızı çizgi tasarımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11. Some noktaları için yer değiştirme [2]

Some noktalarına ait matrislerin yatay ve dikey yönünde ne kadar bir açıklığı kapsayacağı yazılıma tanımlanmalıdır. Başka bir deyişle some noktalarına, yer değiştirme konusunda bir aralık belirtilmelidir. Bu koordinat sisteminde her some noktası için X ve Y ekseninde hangi aralıklarda değişken olması Şekil 12'de yazılım kodlaması ile gösterilmiştir. Yazılım kodlamasında görüldüğü gibi başlangıç-bitiş ve orta some noktalarında değişkenlik aralığı ayrı ayrı girilmektedir. Bu bağlamda, yazılım tarafından otomatik bulunan her some noktasının X ve Y koordinatına belirli bir mesafe ekleyerek, o mesafe kadar sağ, sol, yukarı ve aşağı tarafa bir açıklık tanımlanıp ve bu aralıklar içerisinde some noktasının yer değiştirmesine imkân sağlanacaktır.

```

VarMin(1)=y(1)-10;           % Lower Bound of Variables
VarMax(1)=y(1)+10;          % Upper Bound of Variables
VarMin(2)=y(cutterpeak_idx)-10; % Lower Bound of Variables
VarMax(2)=y(cutterpeak_idx)+10; % Upper Bound of Variables
VarMin(3)=y(end)-10;         % Lower Bound of Variables
VarMax(3)=y(end)+10;         % Upper Bound of Variables

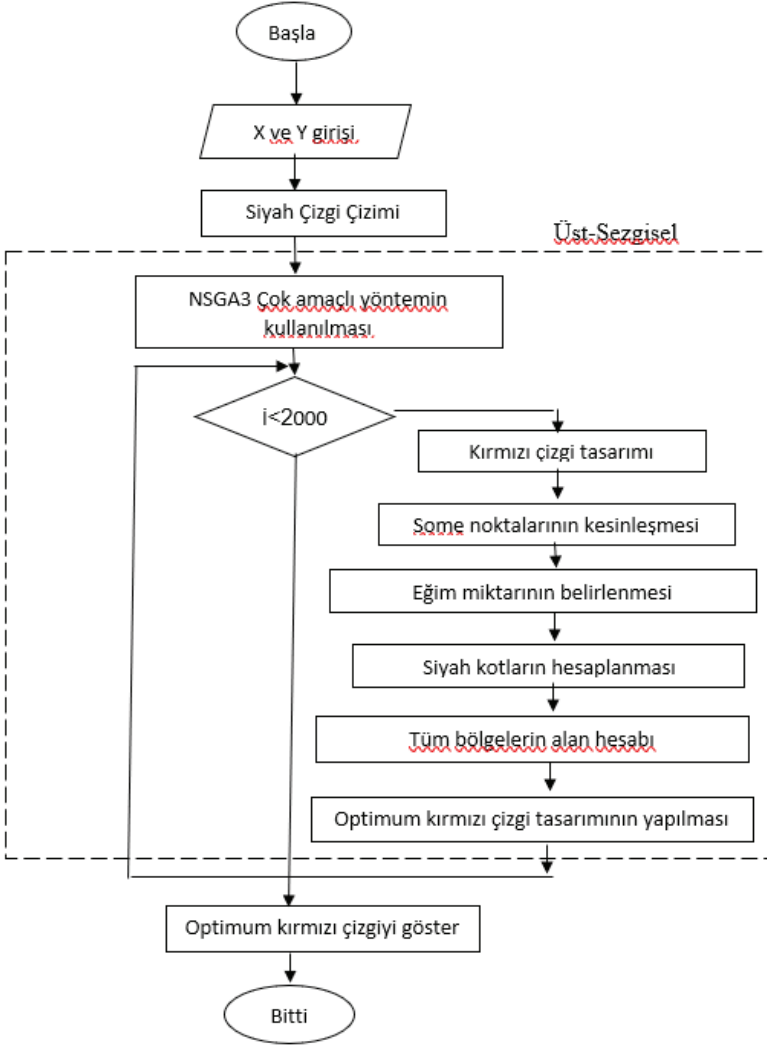
VarMin(4)=x(1)-10;           % Lower Bound of Variables
VarMax(4)=x(1)+10;          % Upper Bound of Variables
VarMin(5)=x(cutterpeak_idx)-10; % Lower Bound of Variables
VarMax(5)=x(cutterpeak_idx)+10; % Upper Bound of Variables
VarMin(6)=x(end)-10;         % Lower Bound of Variables
VarMax(6)=x(end)+10;         % Upper Bound of Variables

```

Şekil 12. Her some noktası için değişim aralığının kodlaması

## 2. Bulgular ve İrdeleme

Çalışma kapsamında, hafriyat miktarını en aza indirip ve aynı zamanda yarma-dolgu miktarını da eşitlemek mümkün olacaktır. Bu sayede maliyet miktarının en aza düşürülmesini sağlayabilmek amacıyla kırmızı çizgi algoritması tasarlanmıştır. Tasarlanan kırmızı çizgi hesaplama algoritmasına ilişkin doğru parçaların akış şeması Şekil 13'te verilmektedir. Daha sonra ise, Bu algoritma sayesinde karayolu projesinin tüm verileri some noktalarına göre parçalara ayrılarak herhangi bir some noktasını binlerce değişik nokta arasından bulunabilmesinin en önemli adımlarından biri ortaya konulmuş ve böylece optimum bir kırmızı çizgi yapılmasına olanak sağlayacak düzenlemenin altyapısı (akış şeması) gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma, NSGA3 yöntemine entegre edilip ve 30 kez tekrarlanarak deneme yapılmıştır.



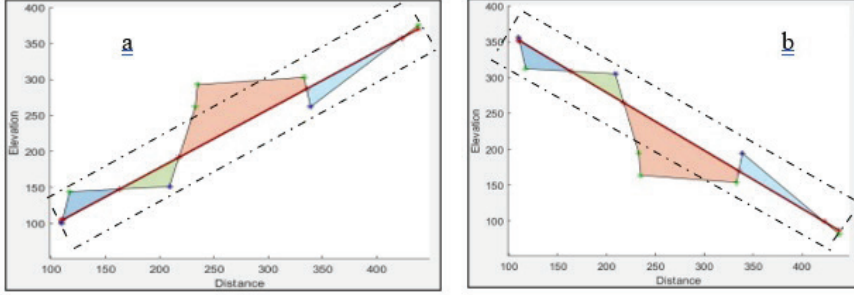
Şekil 13. Algoritmaya ilişkin akış şeması

## 2.1. Çok Amaçlı Optimizasyon Algoritmaları ile İlgili Bulgular

Günümüzde kullanılan karayolu tasarım programları, optimum bir kırmızı çizgi tasarımı ile ilgili bir yöntem sunmamaktadır. Bu çalışmada, tasarlanan algoritma sayesinde optimum kırmızı çizgi tasarımına ilişkin ön adımlar atılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, örnek olarak bir karayolu projesinin bir kısmı göz önünde bulundurularak alınan bu karayolu projesi tamamen rastgele mesafelerden ve yükseklik kotlarından oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, sadece doğru parçaların optimizasyonu parçalar (a ve b) halinde

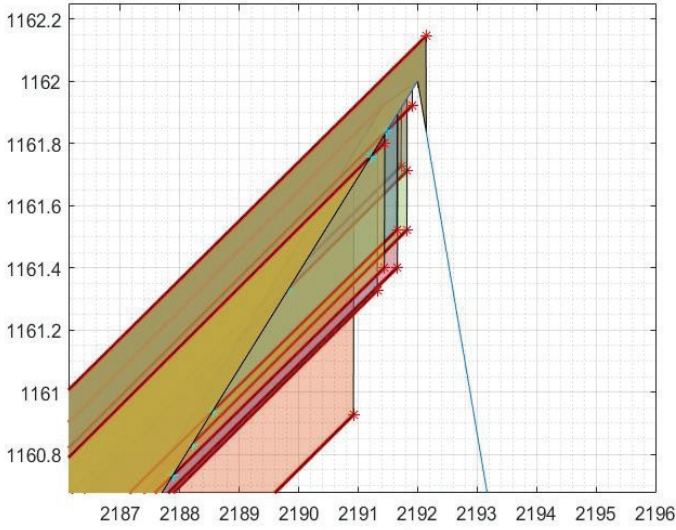
şekil 14'te gösterildiği gibi gerçekleşmiştir. X eksenini mesafeyi ve Y eksenini yükseklik kotlarını göstermektedir.



Şekil 14. Doğru parçaların ayrı ayrı optimizasyonu

Örnek proje üzerinde kırmızı çizginin some noktalarını zemin hatının pik noktaları olarak varsayarak tüm verileri bu pik noktalara göre parçalar haline getirerek algoritmamız daha az veri üzerinden en optimum kırmızı çizginin bulunmasına yardımcı olmakla birlikte daha az bir süre içinde yarma-dolgu alanları eşitlenebilmektedir. Sonuç olarak some noktaları hazırlanan yazılım sayesinde X ve Y yönünde binlerce değişiklik yapacağına göre ve yazılım sayesinde yer değiştirme kabiliyetine sahip olduğuna göre, some noktasının seçildiği yerin çokta önemli olmadığı yadsınamaz bir gerçektir.

Tasarlanan algoritma çok amaçlı optimizasyon yöntemi ile denenecek sonuçlar kaydedilmiştir. Bu çalışma kapsamında hazırlanan yazılım, NSGA3 yöntemi ile entegre edilerek X ve Y ekseninde yapılan uygulama şekil 15'te gösterilmektedir.



Şekil 15. X-Yekseni üzerinde uygulama yapılması

### 3.2. NSGA3 Optimizasyon Yöntemini Kullanarak Kırmızı Çizgi Optimizasyon Sonuçları

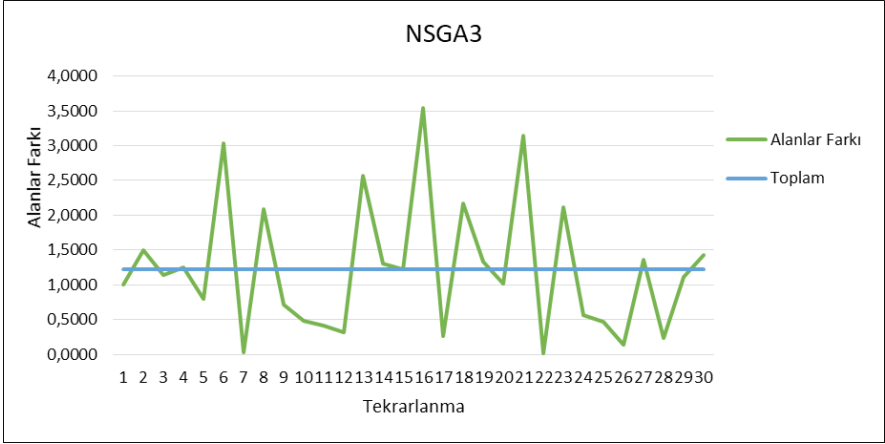
X ve Y ekseninde NSGA3 yöntemi ile denemeleri yapılan örnek proje sonuçları aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu tabloda gözüktüğü gibi örnek bir karayolu projesi üzerinde uygulanmış kırmızı çizgi optimizasyon sonuçları daha gerçekçi ve güvenilir olması gerektiğinden bu deneme işlemi 30 kez yapılmıştır. Tabi ki bu yöntemde, örnek proje iki parça halinde incelendiği için buna bağlı olarak, tabloda önce her parçanın sonuçları yani yarma-dolgu farkı ayrı ayrı verilmektedir. Buna bağlı olarak, en son bu projeyi tek bir parça düşünerek bu ayrı ayrı yapılmış olan incelemenin toplamı alınarak tablonun son sütünün de gösterilmiştir.

Tablo 1. NSGA3 yöntemi ile yarma-dolgu miktarlarının alanlar farkı

NO	1'inci Parçanın Değerleri	2'inci Parçanın Değerleri	Toplam
1	0,0147	0,9862	1,0009
2	0,6520	0,8472	1,4992
3	0,1423	0,9964	1,1387
4	0,5680	0,6749	1,2429
5	0,4586	0,3369	0,7955

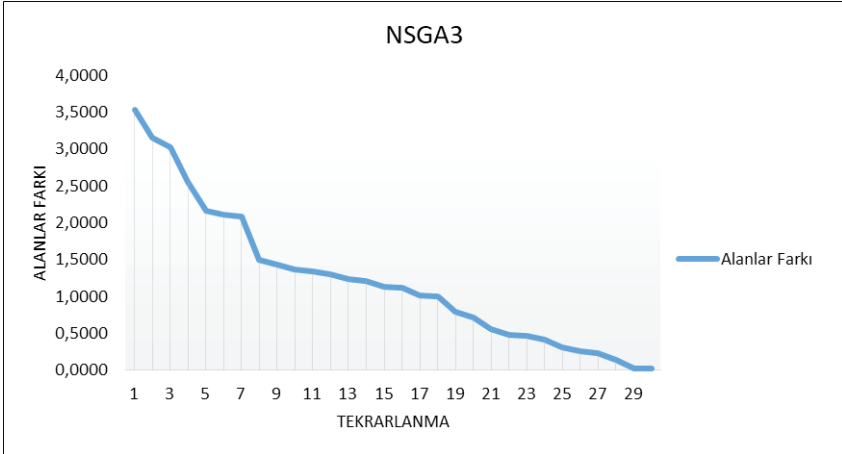
6	1,9856	1,0457	3,0313
7	0,0125	0,0170	0,0295
8	1,5748	0,5128	2,0876
9	0,3865	0,3329	0,7194
10	0,2853	0,1967	0,4820
11	0,1742	0,2448	0,4190
12	0,2351	0,0751	0,3102
13	0,1422	2,4186	2,5608
14	0,4589	0,8459	1,3048
15	0,4587	0,7582	1,2169
16	1,5228	2,0124	3,5352
17	0,2455	0,0160	0,2615
18	0,2144	1,9547	2,1691
19	0,7580	0,5789	1,3369
20	0,6652	0,3455	1,0107
21	2,1211	1,0288	3,1499
22	0,0066	0,0133	0,0199
23	1,3649	0,7453	2,1102
24	0,2742	0,2854	0,5596
25	0,1148	0,3568	0,4716
26	0,0599	0,0758	0,1357
27	1,0254	0,3384	1,3638
28	0,1670	0,0610	0,2280
29	0,4510	0,6641	1,1151
30	0,5489	0,8800	1,4289

Tablo 1’de gözüktüğü gibi tüm veriler NSGA3 yönteminin 2000 ite-rasyonla ve 30 kez deneme yapılarak elde edilen sonuçlarıdır. Bu çalışmada arazi verileri iki parça haline getirilerek incelemesi yapılmıştır. Bu sayede yarma-dolgu alanlarının dengelemesi için her parçaya ait ayrı bir değer bulunduğundan bu değerlerin toplamı alınarak denetim sonlandırılmıştır. Bu sonuçlar kapsamında elde edilen diyagramlar NSGA3 yöntemi için şekil 16’da gösterilmiştir. Bu defalarca deneme sonuçlarına göre NSGA3 yönteminde toplam alanlar farkı 1.22 birim olarak gözükmektedir.



Şekil 16. NSGA3 yönteminin sonuçları

Bu bağlamda, kırmızı çizgi optimizasyonu ile ilgili hazırlanan yazılım, çok-amaçlı meta-sezgisel algoritma optimizasyonuna entegre edilmiştir. Daha sonra ise, X-Y eksenini üzerinde, 30 kez tekrarlayarak değerlendirip ve karşılaştırması yapılmıştır. Başka bir deyişle, bu 30 defa tekrardan, 30 tane sonuç oluşturulmaktadır. Tabii ki bu sonuçlar içinden en az miktarı gösteren değer en optimum yarma-dolgu miktarını göstermektedir. Böylece, tasarlanan algoritma tekrarlandığı takdirde daha verimli sonuçlar sunmaktadır. Bu karşılaştırma kapsamında, X-Y eksenini üzerinde kullandığımız NSGA3 yöntemi ile elde ettiğimiz diyagram Şekil 17'de gösterilmektedir.



Şekil 17. NSGA3 ile ilgili karşılaştırma grafiği

Yukarıdaki diyagramda gösterildiği gibi örnek üzerinde kullandığımız NSGA3 yöntemi ile tasarlanan kırmızı çizgide toprak işleri dengelemesi gayet iyi sonuçlanmaktadır. Başka bir deyişle, bu yöntem kullanıldığında, toplam yarma-dolgu farkı neredeyse sıfır denilecek kadar bir değere ulaşmaktadır. Ancak, bu diyagramdan da gözüktüğü gibi bu yöntem 30 defa tekrarlanmıştır ve en son sıfır değere ulaşmıştır. Bu yöntemin maksimum bulduğu alan farkı 3.53 olduğu halde 28'inci denemesinden itibaren sıfır değere ulaşmıştır.

### 3. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, tasarlanan algoritma sayesinde optimum kırmızı çizgi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak dikkate alınan bu karayolu projesi tamamen rastgele mesafelerden ve yükseklik kotlarından oluşmaktadır. Başlangıç, bitiş ve ayrıca bir tepe düşey kurbası bulunan bu çalışmada sadece iki doğru parça yer almaktadır. Optimizasyonun gerçekleştirilmesi için önce tasarım kriterlerinden, some noktası tayini, eğim sınır koşulları ve arazi üzerindeki yükseklik kotlarının bulunmasına ilişkin bir algoritma geliştirilmiş ve böylece meta sezgisel algoritmasına entegre edilmiştir. Tasarlanan algoritma kodlamasında sonuçların daha detaylı incelenmesi için, çok-amaçlı meta-sezgisel optimizasyon algoritması (NSGA3) ile denenerek sonuçları kaydedilmiştir. Bu yöntemle elde edilen veriler 30 kez program tarafından denenerek karşılaştırılmış ve daha güvenilir ve istikrarlı olan sonuçlar elde edilmiştir.

Bu yöntem X ve Y ekseninde 30 kez tekrarlanmış ve NSGA3 yönteminde toplam alanlar farkı 1.22 birim olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, NSGA3 yöntemi her ne kadar da tüm denemelerde genel olarak 4 birim altında bir fark bulabilse bile genel olarak sadece iki denemesinde sıfır denilecek kadar az bir değere ulaşmıştır. Böylece, istikrarlı ve güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

Gelecekte bu çalışmanın devamında çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinden birkaç tanesinin kullanılması ve gereken karşılaştırmaların yapılması, daha verimli sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır. Bu bağlamda hâlihazırda tasarlanan algoritma, gelecekteki optimum toprak hacmi dengelemesine ilişkin önemli bir adım olmuştur.

### Teşekkür

Bu çalışmanın hazırlanmasında destek olan, bilgi ve tecrübelerini bizimle paylaşan saygı değer Prof. Dr. Şeref ORUÇ hocamıza tüm katkıları ve destekleri için teşekkür ediyoruz.



## KAYNAKLAR

- Yang, X.S., (2010). Nature-inspired metaheuristic algorithms, Second Edition, Luniver press, United Kingdom.
- Özkan, E. (2013). Optimization of highway vertical alignment by direct search technique (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Kim, E., Jha, M. K., & Son, B. (2005). Improving the computational efficiency of highway alignment optimization models through a stepwise genetic algorithms approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(4), 339-360.
- YELGHİ, A., GÜRSOY, M., & YELGHİ, A. (2021). Bankacılık piyasasında kredi türüne göre belirlenen faiz oranlarının enflasyon ve döviz kuru ilişkisi. *Journal of Empirical Economics and Social Sciences*, 3(1), 21-42.
- Yelghi, A., & Tavangari, S. (2022). Features of metaheuristic algorithm for integration with ANFIS model (No. 7594). *EasyChair*.
- Chew, E. P., Goh, C. J., & Fwa, T. F. (1989). Simultaneous optimization of horizontal and vertical alignments for highways. *Transportation Research Part B: Methodological*, 23(5), 315-329.
- Kim E, Jha K.M, Son B. A Stepwise Highway Alignment Optimization Using Genetic Algorithms. *Transportation Research Board 2002; Paper No 03: 4150-4158*.
- Kim, E., Jha, M. K., Schonfeld, P., & Kim, H. S. (2007). Highway alignment optimization incorporating bridges and tunnels. *Journal of Transportation Engineering*, 133(2), 71-81.
- Jha, M. K., & Schonfeld, P. (2004). A highway alignment optimization model using geographic information systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(6), 455-481.
- Easa, S. M. (1988). Selection of roadway grades that minimize earthwork cost using linear programming. *Transportation Research Part A: General*, 22(2), 121-136.
- Goh, C. J., Chew, E. P., & Fwa, T. F. (1988). Discrete and continuous models for computation of optimal vertical highway alignment. *Transportation Research Part B: Methodological*, 22(6), 399-409.
- Moreb, A. A. (1996). Linear programming model for finding optimal roadway grades that minimize earthwork cost. *European Journal of Operational Research*, 93(1), 148-154.
- Fwa, T. F., Chan, W. T., & Sim, Y. P. (2002). Optimal vertical alignment analysis for highway design. *Journal of transportation engineering*, 128(5), 395-402.

- Goktepe, A. B., Lav, A. H., & Altun, S. (2005). Dynamic optimization algorithm for vertical alignment of highways. *Mathematical and Computational Applications*, 10(3), 341-350.
- Goktepe, A. B., & Lav, A. H. (2003). Method for balancing cut-fill and minimizing the amount of earthwork in the geometric design of highways. *Journal of transportation engineering*, 129(5), 564-571.
- Goktepe, A. B., & Lav, A. H. (2004). Method for optimizing earthwork considering soil properties in the geometric design of highways. *Journal of surveying engineering*, 130(4), 183-190.
- Goktepe, A. B., Lav, A. H., & Altun, S. (2005). Dynamic optimization algorithm for vertical alignment of highways. *Mathematical and Computational Applications*, 10(3), 341-350.
- Göktepe, A. B., Altun, S., & Ahmedzade, P. (2010). Optimization of vertical alignment of highways utilizing discrete dynamic programming and weighted ground line. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 33(2), 105-116.
- Bosurgi, G., Pellegrino, O., & Sollazzo, G. (2013). A PSO highway alignment optimization algorithm considering environmental constraints. *Advances in Transportation Studies*, (31).
- Al-Sobky, A. S. (2014). An optimization approach for highway vertical alignment using the earthwork balance condition. *World Applied Sciences Journal*, 29(7), 884-891.
- Ghanizadeh, A. R., & Heidarabadizadeh, N. (2018). Optimization of vertical alignment of highways in terms of earthwork cost using colliding bodies optimization algorithm. *دانشگاه علم و صنعت ایران*, 48(4), 657-674.
- Kang, M. W., Jha, M. K., & Schonfeld, P. (2012). Applicability of highway alignment optimization models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 21(1), 257-286.
- Babapour, R., Naghdi, R., Ghajar, I., & Mortazavi, Z. (2018). Forest road profile optimization using meta-heuristic techniques. *Applied Soft Computing*, 64, 126-137.
- Asherlou, S., Yelghi, A., Pancar, E. B., & Oruç, Ş. (2022). An optimization approach for highway alignment using metaheuristic algorithms. *Meta-heuristic Optimization Techniques: Applications in Engineering*, 10, 11.
- Deb, K. (1999). Multi-objective genetic algorithms: Problem difficulties and construction of test problems. *Evolutionary computation*, 7(3), 205-230.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., & Van Veldhuizen, D. A. (2007). *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems* (Vol. 5, pp. 79-104). New York: Springer.

“

# Bölüm 10

## AKIŞKANLAR MEKANİĞİ UYGULAMALARINDA AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ

*Doğan Burak SAYDAM<sup>1</sup>*

*Cemre POLAT<sup>2</sup>*

*Coşkun ÖZALP<sup>3</sup>*

”

1 Doğan Burak SAYDAM, Öğretim Görevlisi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye, ORCID: 0000-0001-8453-2917

2 Cemre POLAT, Düziçi Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Bölümü, Osmaniye, ORCID: 0000-0002-7001-1042

3 Coşkun ÖZALP, Profesör Doktor, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye, ORCID: 0000-0003-2249-7268

## 1. GİRİŞ

Küt cisimler bir akışa maruz kaldığında yüzeyinin bir kısmında ayrı bir akış yapısı meydana gelir. Silindirin hem üst hem de alt yüzeylerinden dökülen ardışık girdaplar Reynolds (Re) sayısına bağlı olarak belirli bir frekansta salınımlı bir akış yapısı (Karman girdap caddesi) oluşturur (W. L. Chen et al., 2022; Oruç, 2012).

Bir cisim akışa maruz kaldığında, akış ayrılması ve ayrılma bölgesinde aşağı yukarı yönde değişen girdap dökülmeleri meydana gelmektedir (Gao et al., 2017). Akış ayrılması ve girdap atma gibi kararsız akış özellikleri, daldırılmış cisimler üzerinde akustik gürültü, yapısal titreşimler ve rezonans gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkarmakta ve aynı zamanda cisme etki eden sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinde düzensizlikler meydana getirmektedir. Bu etkilerin ortadan kaldırılması veya sıklığının azaltılması, akış ayrılma noktasının ötelenmesi veya bastırılması, cisimler etrafındaki akışın kontrolü ile sağlanmaktadır (Karasu, 2020; Shams-Ul-Islam et al., 2018; X. Zhang et al., 2019). Küt cisimler ile karayolu taşıtları, binalar, farklı teknolojilerde kullanılan yükselticiler ve köprüler dahil olmak üzere birçok mühendislik uygulamasında karşılaşılmaktadır. Küt cisimlerin art iz bölgesinde oluşan girdap yapıları küt gövdesinin yapısında bazı ciddi hasarlara neden olan büyük kararsız kuvvetler üretebilir. Ayrıca karayolu taşıtlarının arkasında oluşan akış yapısından kaynaklı olarak açığa çıkan sürüklenme kuvveti ve büyük genlikli salınımlar bu araçların yakıt tüketiminin artmasına neden olabilmektedir (Sarioğlu, 2017). Küt cisimler etrafındaki ayrılmış akış bölgesini kontrol etmek, bilimsel ve mühendislik açısından büyük önem taşımaktadır. Bir küt cismin arkasında oluşan iz bölgesi karmaşıktır çünkü bu bölge üç tip kesme tabakasının (sınır tabaka, bir ayırıcı kesme tabakası ve bir iz tabakası) etkileşimi altındadır (Muddada & Patnaik, 2010).

### 1.1. Silindir Etrafındaki Akış

Silindire yaklaşan akış, silindir etrafında kollara ayrılır ve silindiri çevreleyerek silindir etrafını saran bir sınır tabaka oluşturur. Orta düzlemdeki akışkan parçacıkları durma noktasında silindire çarpar ve akışkanı tam durma haline getirerek bu noktada basıncı artırır. Akış yönünde akışkanın hızı artarken basıncı azalır. Bu durumda silindirin akış yapısını belirler (Cengel, 2006). Akış içerisine daldırılmış dairesel cisimler etrafındaki akış yapısı ve ısı geçişi teorik ve pratik mühendislik uygulamaları ile doğrudan ilişkilidir (Oesterle et al., 1998). Isı geçişinin belirlenmesi, özellikle yüzeye erişimin her zaman mümkün olmadığı yanma odaları, endüstriyel kazanlar, döküm uygulamaları, ayrıca binaların termal yönetimi, havacılık mühendisliği gibi farklı teknoloji ve



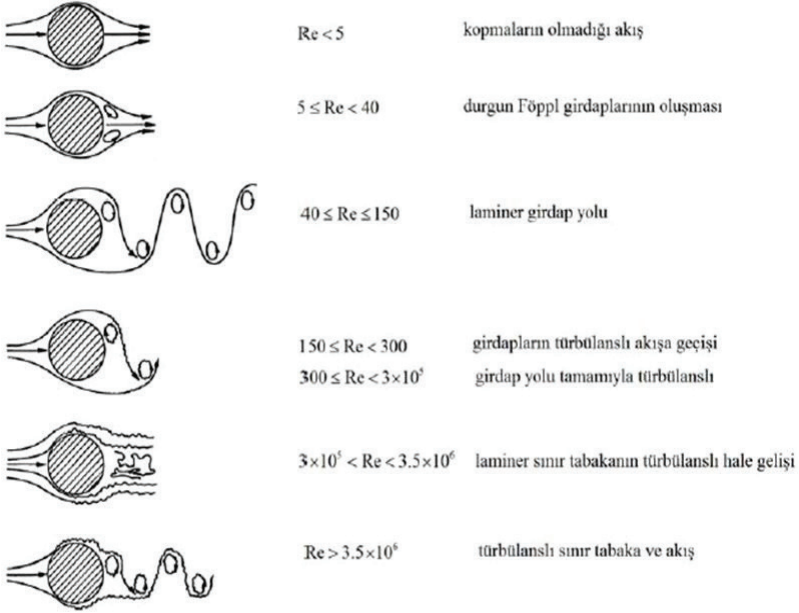
Burada  $U_0$  silindirden uzaktaki serbest akış hızı,  $D$  silindirin çapı ve  $\nu$  kinematik viskozitedir.  $Re$  sayısı belli bir değere ulaştıktan sonra, silindirden kopan girdaplar silindir art izi bölgesinde periyodik girdaplar oluşturur, bu bölgeye, “Kármán girdap caddesi” denir (Şekil 1.2).



Şekil 1.1.  $Re=140$ 'ta bir silindirin arkasında bir Kármán girdap caddesi, Van Dyke'den S. Taneda'nın fotoğrafı (Van Dyke, 1988)

Sürünen akışlardan ( $Re \ll 1$ ) tamamen türbülanslı akışlara ( $Re=10^7$ ) kadar sınıflandırılabilen farklı akış rejimleri vardır (Şekil 1.3): 1'in altındaki Reynolds sayılarında, ayrılma meydana gelmemektedir. Akım çizgilerinin şekli, viskoz olmayan bir sıvıda bulunanlardan farklı olmaktadır. Visköz kuvvetler, akım çizgilerinin, silindirin yukarı akış tarafına göre aşağı akış tarafında daha fazla ayrılmasına neden olmaktadır.  $5 \leq Re \leq 40$  aralığında, akış silindirin arka tarafından ayrılmakta ve yakınlarda simetrik bir girdap çifti oluşturmaktadır. Girdap kopma rejimi laminerdir. Reynolds sayısı daha da arttıkça, art iz bölgesi kararsız hale gelmekte ve girdap kopmaları başlamaktadır. Reynolds sayısı  $150 \leq Re < 300$  aralığında, geçiş meydana gelmekte ve laminer girdap kopması, türbülanslı girdap kopmasına dönüşmektedir. Akış geçişlidir ve Reynolds sayısı arttıkça kademeli olarak türbülanslı hale gelmektedir. Sınır tabakası laminerdir ancak girdap caddesi  $300 < Re < 3 \times 10^5$  aralığında tamamen çalkantılıdır. Bu akış rejimi genellikle kritik altı akış rejimi olarak adlandırılmaktadır. Laminer sınır tabakası, ön durgunluk noktasının yaklaşık  $80^\circ$  derece akış aşağısında ayrılmakta ve girdap kopması güçlü ve periyodik olmaktadır. Sürüklenme tamamen basınçtan kaynaklanmakta ve sürüklenme katsayısı yaklaşık 1 değerinde ve  $10^3 < Re < 10^5$  aralığında sabit kalmaktadır.  $3 \times 10^5 < Re < 3 \times 10^6$  aralığındaki Reynolds sayısı, laminer sınır tabakası türbülanslı hale gelmekte ve ayrılma noktası silindirin arka tarafında daha ileriye doğru hareket etmekte, bu nedenle sürüklenme katsayısında ani bir düşme meydana gelmektedir. Art izi daha da daralmakta ve girdap caddesi

kaybolmaktadır. Bu ani azalmadan sonra, Şekil 1.3'te görüldüğü gibi yüksek Reynolds sayılarında sürüklenme katsayısında bir artış meydana gelmektedir. Bu, sürüklenme katsayısındaki artışla, yani ayrılma açısı  $140^\circ$  gibi daha büyük değerler aldığı anda akışkanın daha geniş yüzey alanına sahip olmasıyla açıklanabilir.  $Re > 3 \times 10^6$  Reynolds sayısında, girdap caddesi yeniden oluşmakta, sınır tabakası tamamen çalkantılı ve art izi daha ince olmaktadır.

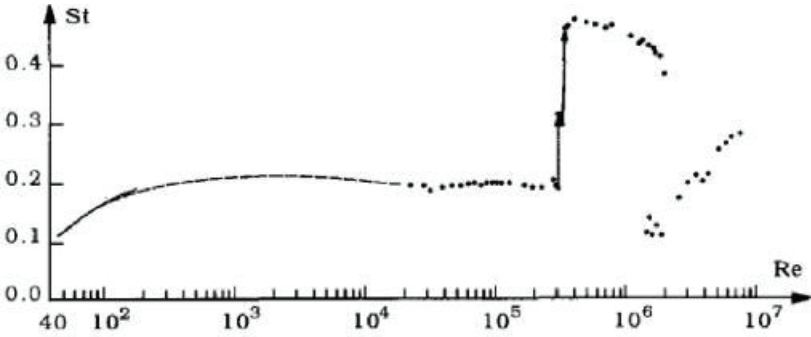


Şekil 1.2. Reynolds sayısına bağlı olarak dairesel silindirin akış rejimleri (Lienhard, 1966)

Strouhal'ın 19. yüzyılın sonlarındaki deneyinden bu yana, dairesel bir silindir etrafındaki akış araştırmalara konu olmuştur. Strouhal, dairesel bir silindir tarafından üretilen girdap kopma sıklığının hızının silindir çapı olan  $f \sim U/D$  bölünmesiyle orantılı olduğunu bulmuştur. Rayleigh onu takiben Strouhal sayısı olarak bilinen boyutsuz bir sayı tanımlamıştır. von Kármán tarafından formüle edilen idealleştirilmiş girdap caddesi, girdap kopma periyodu  $T$ 'yi tahmin etmek için kullanılmaktadır. Girdap kopma periyodu  $T$ , girdap kopma frekansını bulmak için tekrar kullanılmaktadır. Frekans  $1/T$  olarak tanımlanmakta ve salınımlı akış mekanizmasını tanımlayan boyutsuz Strouhal sayısının önemli bir bileşenidir. Girdapların frekansı ( $f$ ) boyutsuz Strouhal sayısı  $St$  ile şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$St = \frac{fD}{U} \quad (1.2)$$

Strouhal sayısı, akışkanın bir noktasından diğer bir noktasının hızındaki değişiklikler nedeniyle yerel atalet kuvvetlerinin ivmesini temsil etmektedir. Strouhal sayısı 0.1 ila 0.3 arasında olduğunda Reynolds sayısına bağlı olmaktadır. Çoğunlukla, Re sayısı arttıkça Strouhal sayısı artmaktadır. Geniş bir Reynolds sayısı aralığı için, Strouhal sayısı 0.18 ila 0.22 arasında kalmakta; bu, birçok akış durumunda, özellikle kritik altı akışta ortak bir Strouhal sayı aralığıdır. Bu, Şekil 1.4'te görülmektedir (Sumer & Fredsøe, 1997).



Şekil 1.3. Re'nin fonksiyonu olarak dairesel silindir için Strouhal sayısı.

Düz çizgi: Williamson (Williamson, 1988), Kesikli çizgi: Roshko (Roshko, 1961), Noktalar: Schewe, Sumer ve Fredsøe (Schewe, 1983; Sumer & Fredsøe, 1997)

Gelen akışta bir cisimden salınan girdap kopmasının sonucu olarak, akış yönünde ve akış yönüne dik olan kuvvetler oluşmaktadır. Bu kuvvetlere sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri denilmektedir. Kuvvetler, küt cismi çevreleyen basınç dağılımında salınımlara neden olan girdap kopmasının kararsız doğasının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kuvvetler sıvı yoğunluğu  $\rho$ , serbest akış hızı  $U$  ve cismin şekli, boyutu ve yönü gibi parametrelere bağlıdır. Hem kaldırma hem de sürüklemeye bağlı parametreleri açıklamak için boyutsuz katsayılar kullanılmaktadır.

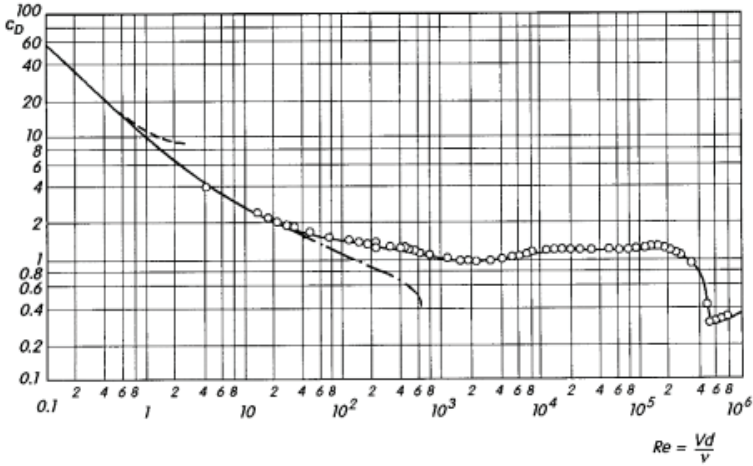
$$\text{Sürüklenme katsayısı: } C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} \quad (1.3)$$

$$\text{Kaldırma katsayısı: } C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} \quad (1.4)$$



Denklem 1.3 ve 1.4’deki  $F_D$  ve  $F_L$  ortalama sürüklenme ve kaldırma kuvvetini temsil etmektedir. A, üç boyutlu düz bir silindir için, silindir çapının silindirin açıklıklı uzunluğu ile çarpımına eşit olan referans alanını tanımlamaktadır.  $1/2\rho U^2$  dinamik basıncı ifade etmektedir. Hem sürüklenme hem de kaldırma kuvvetleri, özellikle laminer ve türbülanslı akış arasındaki geçiş bölgesinde Reynolds sayısına bağlıdır. Bir silindirin sürüklenme kuvvetini, kopan girdapların ayrılma noktasının yeri ve art iz bölgesinin genişliği etkilemektedir. Girdapların ayrılma noktası geciktikçe, silindir art iz bölgesi daralmakta ve silindirin akışa karşı direnci düşmektedir. Şekil 1.5, dairesel bir silindirin etrafındaki akış için  $Re$  ve  $C_D$  değişimini göstermektedir.

Serbest akış hızında kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri, girdapların dönüşümlü kopmaları nedeniyle her ikisi de salınım yapmaktadır. Kaldırma kuvveti yönü, girdabın silindirin hangi tarafından koptuğuna bağlıdır. Girdap kaynaklı titreşimler (Vortex Induced Vibration-VIV) salınım kuvvetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. VIV ısı değiştiricilerinin, nükleer santrallerin soğutma ünitelerinin yorulma hasarının önemli bir kaynağı olduğundan, girdap kaynaklı titreşimler oldukça önemlidir. En kötü durumda yapılar, salınan nesnenin doğal frekansına kilitlenen girdap kopma frekansının bir sonucu olarak meydana gelen büyük uyarım hareketleri (rezonans) yaşayabilmektedir.

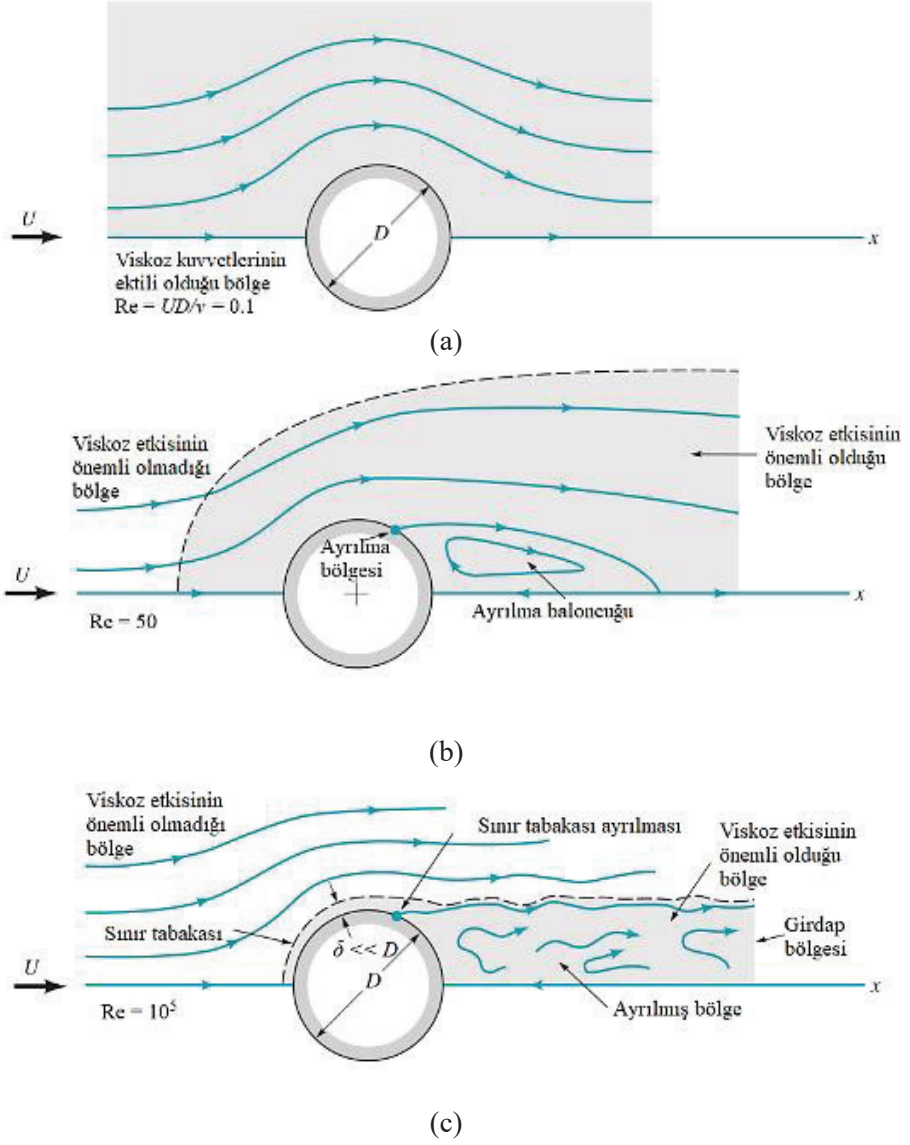


Şekil 1.4. Sürüklenme katsayısı ve Reynolds sayısı grafiği (Schlichting & Gersten, 2017)

## 1.2. Akış Ayrılması

Akış ayrılması, içsel ve dışsal akışlarda akışın doğası gereği (doğal olarak) ortaya çıkar ve kayıplara neden olur. Basınç düşüşü veya sürüklenme gibi akışın bağımsız etkilerinin bastırılması, akışkanlar

dinamiği analizlerinin ve tasarımının ortak bir hedefi haline gelmiştir (Moulinos et al., 2022). Basınç gradyanı akışı son derece etkileyen önemli bir faktördür. Viskoziteye bağlı kayma gerilmesinin akış üzerinde geciktirici bir etkisi vardır. Olumsuz basınç gradyanı olarak belirtilen pozitif basınç gradyanının akış üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu etkilerden biri de akış ayrılmasına neden olmaktadır. Şekil 1.5'te bir plaka üzerine yerleştirilen dairesel bir silindir ve üzerinden geöen akışın farklı Reynolds sayılarındaki durumları yer almaktadır. Cisimler üzerindeki akışın yapısı temelde cismin geometrik yapısına bağlı olarak Reynolds sayısı ile değişir. Şekil 1.5-a'da düşük Reynolds sayısında cisim üzerinde oluşan akım çizgileri yer almaktadır. Şekil 1.5-b'de ise Reynolds sayısının artması ile cismin üzerinde sınır tabakası ayrılma bölgesi ve akış art iz bölgesinde ayrılma baloncukları oluşmaktadır. Şekil 1.5-c'de ise Re sayısının daha da artması ile cisimden akış ayrılması geröekleşmekte ve art iz bölgesinde girdapların oluşmaya başladığı görölmektedir. Akışkan, cisim üzerinden ayrıldığında cisim ve akışkan akımı arasında bir ayrılmış bölge oluşur. Cismin arka tarafında sürekli, dolanımlı ve geriye doğru akışların meydana geldiği bu düşük basınç bölgesine ayrılmış bölge denir. Ayrılmış bölge ne kadar büyükse basınç direnci de kadar büyük olacaktır. Dolayısıyla Reynolds sayısı artmaya devam ettiköe, yüzey boyunca nispeten ince bir sınır tabakası oluşmaya başlayacaktır ve bunun sonucunda cisim üzerinden sınır tabakası ayrılması ve sonucunda akış ayrılması meydana gelecektir. Küt cisimler etrafında akış ayrılması genelde istenmeyen bir durumdur ve akış ayrılmasının oluşumu engellenmeye öalışılır. Bunun nedeni ise ayrılmayı izleyen akımda sınır tabakasının kalınlaşması, hızın azalması, ters akımların oluşması ve sürüklenmenin atmasının yanı sıra cisim ve akış üzerinde olumsuzlukların meydana gelmesidir. Ek olarak akış ayrılması sonucunda meydana gelen ve cisme yakın girdapların oluşturulduğu titreşimler ile aöığa öıkan girdap kopma frekansı eğer cismin doğal frekansına yakın ise cisim üzerinde bir rezonans meydana getirecek ve bu da uygulamalarda ve öalışmalarda istenmeyen bir durum olacaktır (Salınımlar sonucu oluşan rezonans ile Tacoma Narrows köprüsünün yıkılması) (Cengel, 2006).

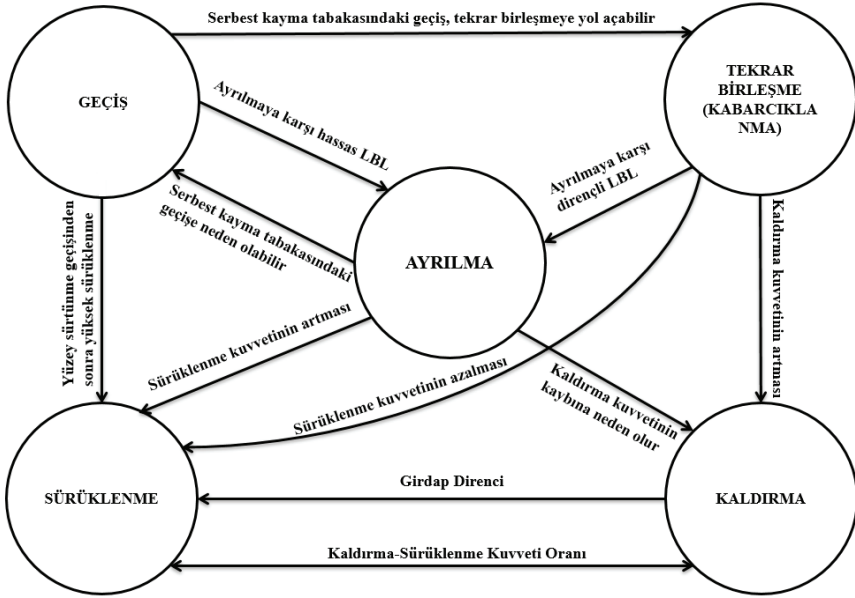


Şekil 1.5. Dairesel bir silindirden geçen sabit bir viskoz akışın (a) düşük Reynolds sayısında, (b) orta büyüklükte Reynolds sayısında, (c) büyük Reynolds sayısında akış karakteristiklerinin görseli (Munson et al., 2009)

## 2. AKIŞ KONTROL YÖNTEMLERİ

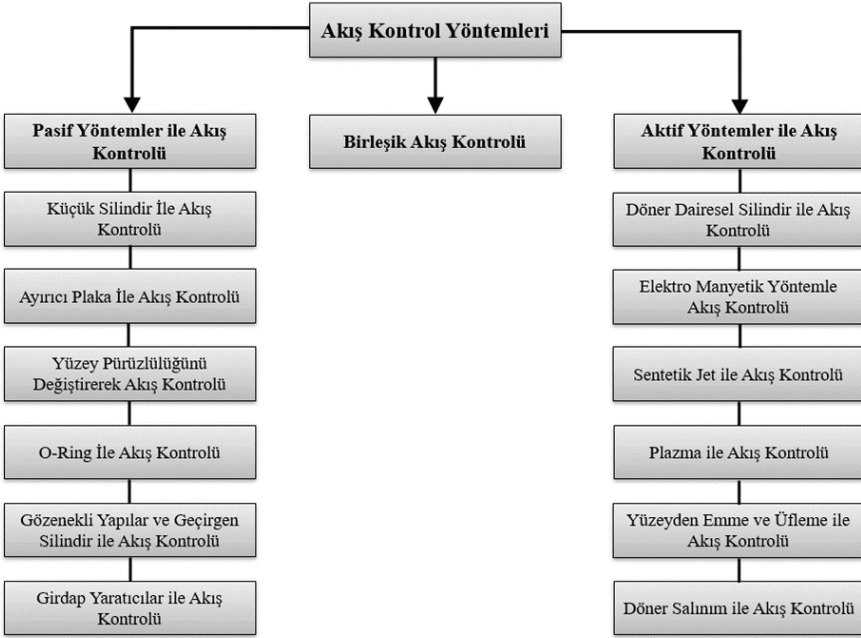
Küt cisimler etrafında oluşan girdaplar genellikle akustik gürültüye, yapısal titreşimlere ve rezonansa neden olmakta ve aynı zamanda cisme etki eden sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinde düzensizlik meydana getirmektedir. Yapısal titreşimlerin, rezonansın ve akustik gürültünün azaltılmasının yanı sıra sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin azaltılması ve akış ayrılma noktasının ötelenmesi veya bastırılması cisimler etrafındaki akışın kontrolü ile sağlanmaktadır. Bu nedenle akış kontrolünün sağlanması mühendislik uygulamaları için önemli bir hale gelmiştir (X. Zhang et al., 2019). Akış kontrolü, kontrol teorisi, akışkanlar mekaniği, Navier Stokes matematiği ve sayısal yöntemlerin temel ve önemli unsurlarını bir araya getiren disiplinlerin kesişim noktasında yer alır ve akış kontrol yöntemlerinin araştırmaları, 20. yüzyılın başında Prandtl tarafından sınır tabakanın keşfine kadar uzanmaktadır (Collis et al., 2004). Kaldırma kuvvetini artırmak veya sürüklenmeyi azaltmak amacıyla sınır tabakasının yapısının değiştirmek için geliştirilen teknikler sınır tabakası kontrolü veya akış kontrolü genel başlığı altında sınıflandırılır (Shehata et al., 2017).

Bir akış alanının kontrol edilmesinin aerodinamik tasarımlara büyük faydası vardır. Verimli akış kontrol sistemleri, kara taşıtlarının, deniz taşıtlarının, uçakların, otomobillerin, yüksek katlı binaların, köprülerin vb. birçok cismin performansını artırabilir aynı zamanda verimli tasarımlar neticesinde tasarruf sağlanabilir. Bunun yanı sıra daha ekonomik, çevreye uyumlu ve rekabetçi endüstriyel üretim süreci elde edebilir (L. Wang et al., 2012). Akış kontrol yöntemleri hem iç hem de dış akışlarda istenen hedeflere ulaşmak için mühendisler, bilim adamları ve ürün geliştiriciler için güçlü araçlar sağlar (Firat et al., 2017). Şekil 2.1'de akış kontrol hedefleri arasındaki ilişkiyi gösteren şematik akış diyagramı yer almaktadır. Kontrol hedefleri ile akış ayrılmasının, kaldırma-sürüklenme kuvveti ve cisim etrafında meydana gelebilecek girdap direncinin değişimi üzerine olan etkisi ve birbirleri arasındaki bağlantı görülmektedir. Geçiş ertelenirse, düşük yüzey sürtünmesi ve daha düşük akış kaynaklı gürültü meydana gelecektir ve tüm bunların sonucunda, kaldırma-sürüklenme oranını artırarak küt cisimlerin akış performansını artırılabilir.



Şekil 2. 1. Akış kontrol hedefleri arasındaki ilişki (Gad-el-Hak, 2000)

Akış kontrolü araştırmaları, 1904'te sınır tabaka teorisi ile tanınan Prandtl'a kadar uzanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı ve soğuk savaş döneminde, askeri talep nedeniyle akış kontrolü kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve bu dönemden sonra da akış kontrolü her zaman daha fazla dikkat çekmiştir (Gad-el-Hak, 2000). Küt cisimler etrafında oluşan girdapları kontrol etmek için kontrol mekanizmasının enerji harcamasına bağlı olarak, pasif akış kontrolü ve aktif akış kontrolü yöntemi üzere akış kontrol yöntemleri iki temel kategoriye ayrılmıştır. Pasif akış kontrol yöntemlerinde, kontrol mekanizması dışarıdan ek bir enerji ihtiyacı duymaksızın girdapları cisim ya da akış alanı içerisinde yapısal değişiklikler yaparak gidermeyi amaçlamaktadır. Aktif akış kontrol yöntemleri ise cisim etrafında oluşan girdapları ana akışa dışarıdan farklı yöntemler ile enerji vererek kontrol etmeyi hedeflemektedir (Feng et al., 2019; Shi et al., 2020). Aktif ve pasif akış kontrol yöntemlerinin yeterli gelmediği veya akış kontrolünde daha etkin sonuçlar elde edebilmek istenildiğinde aktif ve pasif akış kontrol yöntemlerinin, farklı aktif akış kontrol yöntemlerinin veya farklı pasif akış kontrol yöntemlerinin birleştirilerek kullanılması da mümkündür. Şekil 2.2'de aktif, pasif ve birleşik akış kontrol yöntemlerini içeren şematik görsel yer almaktadır.



Şekil 2. 2. Akış kontrol yöntemlerinin şematik gösterimi (Saydam, 2020)

Silindirik cisimler etrafındaki akış, akademik çekiciliği ve aynı zamanda ilgili teknik problemlerin (enerji tasarrufu, yapısal tasarım) pratikte birçok uygulamada karşılığının olması nedeniyle yoğun araştırmalara konu olmaktadır (Firat et al., 2017). Silindir üzerinde akış yönünde direnç kuvvetini (engelleme kuvveti) azaltmak için çeşitli aktif ve pasif akış kontrol yöntemleri uygulanarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemler arasında pasif yöntemler olarak pürüzlü yüzeyler (Bao & Zhang, 2020), ayırıcı plaka uygulamaları (Shukla et al., 2013), O-ring uygulamaları (Ozgoren et al., 2012), gözenekli yapılar (Mimeau et al., 2017; Ozkan et al., 2017; Sanli & Akilli, 2018), girdap yaratıcılar (Jeong et al., 2019; R. Wang et al., 2019; Zhai et al., 2019; H. Zhang et al., 2019), çoklu küçük silindir uygulamaları (Song et al., 2017) örnek verilebilir. Aktif kontrolde yapılan etki istenilen zamanda değiştirilmesine ve ortadan kaldırılmasına imkân sağlar. Aktif kontrol yöntemleri kontrol stratejilerinde esneklik sağlar. Silindir üzerindeki akışın kontrolünde aktif ve pasif olmak üzere birçok teknik uygulamış olup sıklıkla karşılaşılan aktif kontrol teknikleri akustik kontrol, silindire dönme hareketi uygulanması (Cheng & Luo, 2007; Oesterle et al., 1998) veya döner salınım uygulamaları (Lee & Lee, 2006; Muralidharan et al., 2013; Ozalp et al., 2022) ile silindirde titreşim meydana getirme, akış ayılmalarının olduğu kısımlarda emme-üfleme (Muralidharan et al., 2013), elektromanyetik yöntemler (Akar, 2008; Kim & Lee, 2002), jet

aktüatörü (Feng et al., 2019), dielektrik bariyer deşarjlı plazma aktüatörleri (Benard & Moreau, 2014; Hao et al., 2014) gibi teknikler sıralanabilir.

Akış kontrol yöntemleri mevcut literatür doğrultusunda incelendiğine ise (Triyogi et al., 2009) tarafından akışın üst akış yönünde çok daha küçük bir silindir konulması ile silindirin akış yönü direnç kuvvetinde %48'lik bir azalma olduğu belirtilmiştir. Küçük silindirden gelen kayma tabakası, büyük silindirin etrafındaki basınç dağılımını, engelleme katsayısını etkili bir şekilde düşürdüğü ifade edilmiştir. (Takayama & Aoki, 2005), oluk derinliğinin silindir çapına oranının  $3.75 \times 10^{-3}$  olduğu dairesel oluklara sahip bir silindirin engelleme kuvvetinde net bir azalma olduğunu göstermişlerdir. (Gad-el-Hak & Bushnell, 1991) dönen silindir ile hareketli yüzey sınır tabaka ile akış kontrolünü içeren farklı yöntemleri içeren bir derleme çalışması yapmışlardır. (Lecoite et al., 1987; S. Mittal et al., 1999; Sanjay Mittal & Tezduyar, 1992; Ongoren & Rockwell, 1988a, 1988b; Williamson & Roshko, 1988), çalışmalarında öteleme salınımlarının etkisi ile çok daha fazla ayrıntı bulunabilir. (Tokumaru & Dimotakis, 1991, 1993), silindir arkasında oluşan ölü akış bölgesinde deneysel olarak silindire dönem halinde salınımlar vererek kontrol tekniği uygulamışlardır. (Strykowski & Sreenivasan, 1990), sınırlı Reynolds sayılarında daha küçük bir silindiri optimum mesafeye yerleştirerek ana silindir arkasında oluşan girdap kopmalarının kontrolünü gerçekleştirmişleridir. (Kumar et al., 2013; Thiria et al., 2006), çalışmalarında kendi eksenine etrafında döner salınımlar gerçekleştiren bir silindirin art iz bölgesi ve sürüklenme katsayısı deneysel olarak incelemişlerdir. Yüksek dönme hızlarında vorteks kopmaları deneysel olarak (Kumar et al., 2011) tarafından çalışılmıştır. Bir düzlem duvarı yakınında dönen bir silindiri geçen akışta boşluk genişliği, silindir üzerinde kuvvetlerin, vorteks kopmalarının (Cheng & Luo, 2007) ve üç boyutlu kararsızlıkların (Rao et al., 2011, 2013) belirlenmesinde önemli bir parametredir. (Guo et al., 2009),  $T/d=1,11$  boşluk aralığında, (T ve d sırasıyla iki silindirin merkezleri arasındaki mesafe ve silindir çapıdır)  $425 \leq Re \leq 1130$ ,  $0 \leq \alpha \leq 4$  ( $\alpha$  dönme hızı) aralığında dönme ve Reynolds sayısının kombine etkileri ile akışın, iki döner silindiri aşan akış üzerindeki etkilerini PIV kullanılarak deneysel bir çalışma gerçekleştirmişleridir. Sonuçlar, dönme hızı arttıkça girdap dökülmesinin bastırıldığını göstermektedir. Her iki silindirin vorteks kopmaları kritik dönme hızında tamamen bastırıldığında akış sürekli bir duruma gelmektedir. (Lam, 2009)  $3600 \leq Re \leq 5000$  ve  $\alpha \leq 2.5$ 'te dönen bir silindirdeki akışı PIV ile deneysel olarak araştırmıştır. Vorteks şekli sabit bir silindirin arkasındaki vorteks yoluna çok benzemekle birlikte, silindirin dönüş hızının artması ile girdabın artarak daraldığı ve yanlara doğru yuvarlandığı görülmektedir. Vorteks oluşum uzunluğunu,  $\alpha$

arttikça azaldığı bulunmuştur. İz akışı titreşim önleyiciler olarak dönen paralel plakaların etkinliğini araştırmak için bir çift silindir üzerinde denemeler yapılmış ve vorteks kaynaklı ve iz akışına bağlı titreşimi pratik olarak ortadan kaldırmış ve aynı Re sayısındaki sabit silindir çiftlerine kıyasla önemli bir engelleme azalması ile titreşim önlenmiştir (Assi et al., 2010). (W.-L. Chen et al., 2014), bir emme akış kontrol yöntemi ile girdap kaynaklı titreşimin önlenmesi için  $Re=3 \times 10^4$  değerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. Emme delikleri arasında daha yüksek bir emme debisi ve daha küçük aralık mesafesi emme akış kontrolünün etkililiği için yararlı olduğu bulunmuştur. PIV kullanılarak deneysel çalışması yapılan hareketli yüzey sınır tabakası kontrolü ile bir silindir etrafına konumlanmış iki küçük döner silindir, sınır tabakanın ayrılmasını geciktirmekte ve iz akışı alanı daraltmaktadır bu da vorteks oluşumunu önlemektedir (Korkischko & Meneghini, 2012; Schulmeister et al., 2017).



## KAYNAKÇA

- Akar, M. A. (2008). *Vortex Control In Side By Side Circular Cylinders In Shallow Waters*. Çukurova Üniversitesi.
- Assi, G. R. S., Bearman, P. W., & Meneghini, J. R. (2010). On the wake-induced vibration of tandem circular cylinders: the vortex interaction excitation mechanism. *Journal of Fluid Mechanics*, 661, 365–401.
- Bao, R., & Zhang, A. (2020). Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *The Science of the Total Environment*, 731. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139052>
- Benard, N., & Moreau, E. (2014). Electrical and mechanical characteristics of surface AC dielectric barrier discharge plasma actuators applied to airflow control. *Experiments in Fluids*, 55(11). <https://doi.org/10.1007/s00348-014-1846-x>
- Cengel, Y. A. (2006). *Heat and Mass Transfer A Practical Approach*.
- Chen, W.-L., Li, H., & Hu, H. (2014). An experimental study on a suction flow control method to reduce the unsteadiness of the wind loads acting on a circular cylinder. *Experiments in Fluids*, 55(4), 1–20.
- Chen, W. L., Huang, Y., Chen, C., Yu, H., & Gao, D. (2022). Review of active control of circular cylinder flow. *Ocean Engineering*, 258, 111840. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2022.111840>
- Cheng, M., & Luo, L. S. (2007). Characteristics of two-dimensional flow around a rotating circular cylinder near a plane wall. *Physics of Fluids*, 19(6). <https://doi.org/10.1063/1.2738608>
- Collis, S. S., Joslin, R. D., Seifert, A., & Theofilis, V. (2004). Issues in active flow control: theory, control, simulation, and experiment. *Progress in Aerospace Sciences*, 40(4–5), 237–289. <https://doi.org/10.1016/J.PAEROSCI.2004.06.001>
- Einian, M., Bergstrom, D. J., & Sumner, D. (2010). Numerical simulation of the flow around a surface-mounted finite square cylinder. *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FEDSM*, 3(PARTS A AND B), 103–110. <https://doi.org/10.1115/FEDSM-ICNMM2010-30394>
- Feng, J., Lin, Y., Zhu, G., & Luo, X. (2019). Effect of synthetic jet parameters on flow control of an aerofoil at high Reynolds number. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 44(8), 1–10. <https://doi.org/10.1007/S12046-019-1173-2/TABLES/4>

- Firat, E., Ozkan, G. M., & Akilli, H. (2017). PIV measurements in the near wakes of hollow cylinders with holes. *Experiments in Fluids* 2017 58:5, 58(5), 1–19. <https://doi.org/10.1007/S00348-017-2334-X>
- Gad-el-Hak, M. (2000). *Flow Control*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529535>
- Gad-el-Hak, M., & Bushnell, D. M. (1991). *Separation control*.
- Gao, D. L., Chen, W. L., Li, H., & Hu, H. (2017). Flow around a circular cylinder with slit. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 82, 287–301. <https://doi.org/10.1016/J.EXPTHERMFLUSCI.2016.11.025>
- Guo, X. hui, Lin, J. zhong, Tu, C. xu, & Wang, H. li. (2009). Flow Past Two Rotating Circular Cylinders in a Side-by-side Arrangement. *Journal of Hydrodynamics*, 21(2), 143–151. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60131-6](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60131-6)
- Hao, J. N., Tian, B. L., Wang, Y. L., Song, Y. H., Pan, S. C., & Li, W. F. (2014). Dielectric barrier plasma dynamics for active aerodynamic flow control. *Science China: Physics, Mechanics and Astronomy*, 57(2), 345–353. <https://doi.org/10.1007/s11433-013-5164-8>
- Jeong, M., Ha, M. Y., & Park, Y. G. (2019). Numerical investigation of heat transfer enhancement in a dimpled cooling channel with different angles of the vortex generator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 144, 118644. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118644>
- Kahraman, A., Sahin, B., & Rockwell, D. (2002). Control of vortex formation from a vertical cylinder in shallow water: Effect of localized roughness elements. *Experiments in Fluids*, 33(1), 54–65. <https://doi.org/10.1007/s00348-002-0467-y>
- Karasu, İ. (2020). Flow control over a diamond-shaped cylinder using slits. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 112(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2019.109992>
- Kim, S. J., & Lee, C. M. (2002). Numerical investigation of cross-flow around a circular cylinder at a low-reynolds number flow under an electromagnetic force. *KSME International Journal*, 16(3), 363–375. <https://doi.org/10.1007/BF03185234>
- Korkischko, I., & Meneghini, J. R. (2012). Suppression of vortex-induced vibration using moving surface boundary-layer control. *Journal of Fluids and Structures*, 34, 259–270.
- Kumar, S., Cantu, C., & Gonzalez, B. (2011). Flow Past a Rotating Cylinder at Low and High Rotation Rates. *Journal of Fluids Engineering*, 133(4).

<https://doi.org/10.1115/1.4003984>

- Kumar, S., Lopez, C., Probst, O., Francisco, G., Askari, D., & Yang, Y. (2013). Flow past a rotationally oscillating cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 735, 307–346. <https://doi.org/10.1017/jfm.2013.469>
- Kuo, C. H., & Chen, C. C. (2009). Passive control of wake flow by two small control cylinders at Reynolds number 80. *Journal of Fluids and Structures*, 25(6), 1021–1028. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2009.05.007>
- Lam, K. M. (2009). Vortex shedding flow behind a slowly rotating circular cylinder. *Journal of Fluids and Structures*, 25(2), 245–262.
- Lecoq, Y., Piquet, J., & Plantec, J. (1987). In Forum on Unsteady Flow Separation (KN Ghia, editor), FED-52, 147-157. *American Society of Mechanical Engineers. Flow Structure in the Wake of an Oscillating Cylinder*.
- Lee, S. J., & Lee, J. Y. (2006). Flow structure of wake behind a rotationally oscillating circular cylinder. *Journal of Fluids and Structures*, 22(8), 1097–1112. <https://doi.org/10.1016/J.JFLUIDSTRUCTS.2006.07.008>
- Lienhard, J. H. (1966). *Synopsis of lift, drag and vortex frequency data for rigid circular cylinders*. Washington State University College of Engineering Research Division Bulletin.
- Mimeau, C., Mortazavi, I., & Cottet, G. H. (2017). Passive control of the flow around a hemisphere using porous media. *European Journal of Mechanics, B/Fluids*, 65, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2017.03.002>
- Mittal, S., Kumar, V., Mittal, S., & Kumar, V. (1999). Finite element study of vortex-induced cross-flow and in-line oscillations of a circular cylinder at low Reynolds numbers. *IJNMF*, 31(7), 1087–1120. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0363\(19991215\)31:7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0363(19991215)31:7)
- Mittal, Sanjay, & Tezduyar, T. E. (1992). A finite element study of incompressible flows past oscillating cylinders and aerofoils. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 15(9), 1073–1118.
- Moulinos, I., Manopoulos, C., & Tsangaris, S. (2022). Computational Analysis of Active and Passive Flow Control for Backward Facing Step. *Computation 2022, Vol. 10, Page 12, 10(1)*, 12. <https://doi.org/10.3390/COMPUTATION10010012>
- Muddada, S., & Patnaik, B. S. V. (2010). An active flow control strategy for the suppression of vortex structures behind a circular cylinder. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 29(2), 93–104. <https://doi.org/10.1016/J.EUROMECHFLU.2009.11.002>

- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2009). Elementary Fluid Dynamics - The Bernoulli Equation. *Fundamental of Fluids Mechanics*, 93–146.
- Muralidharan, K., Muddada, S., & Patnaik, B. S. V. (2013). Numerical simulation of vortex induced vibrations and its control by suction and blowing. *Applied Mathematical Modelling*, 37(1–2), 284–307. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.02.028>
- Oesterle, M., Lauster, M., Waibel, R., Lippig, V., & Straub, D. (1998). Topological structures near a heated rotating cylinder in cross flow. *Experiments in Fluids*, 24(4), 308–322. <https://doi.org/10.1007/s003480050178>
- Ongoren, A., & Rockwell, D. (1988a). Flow structure from an oscillating cylinder Part 1. Mechanisms of phase shift and recovery in the near wake. *Journal of Fluid Mechanics*, 191(1). <https://doi.org/10.1017/S0022112088001569>
- Ongoren, A., & Rockwell, D. (1988b). Flow structure from an oscillating cylinder Part 2. Mode competition in the near wake. *Journal of Fluid Mechanics*, 191(1). <https://doi.org/10.1017/S0022112088001570>
- Oruç, V. (2012). Passive control of flow structures around a circular cylinder by using screen. *Journal of Fluids and Structures*, 33, 229–242. <https://doi.org/10.1016/J.JFLUIDSTRUCTS.2012.05.002>
- Ozalp, C., Saydam, D. B., Polat, C., Soyler, M., & Hürdoğan, E. (2022). The effect of a high-speed rotational oscillating cylinder on a heated cylinder. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 95, 108971. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEATFLUIDFLOW.2022.108971>
- Ozgoren, M., Okbaz, A., Dogan, S., Sahin, B., & Akilli, H. (2012). Turbulent shear flow downstream of a sphere with and without an o-ring located over a plane boundary. *EPJ Web of Conferences*, 25. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20122501066>
- Ozkan, G. M., Firat, E., & Akilli, H. (2017). Passive flow control in the near wake of a circular cylinder using attached permeable and inclined short plates. *Ocean Engineering*, 134, 35–49. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2017.02.014>
- Rao, A., Stewart, B. E., Thompson, M. C., Leweke, T., & Hourigan, K. (2011). Flows past rotating cylinders next to a wall. *Journal of Fluids and Structures*, 27(5–6), 668–679.
- Rao, A., Thompson, M. C., Leweke, T., & Hourigan, K. (2013). The flow past a circular cylinder translating at different heights above a wall. *Journal of*

*Fluids and Structures*, 41, 9–21.

- Roshko, A. (1961). Experiments on the flow past a circular cylinder at very high Reynolds number. *Journal of Fluid Mechanics*, 10(3), 345–356. <https://doi.org/10.1017/S0022112061000950>
- Sanli, B. G., & Akilli, H. (2018). Effects of Permeable Cylinder on the Flow Structure in Deep Water. *Fluid Dynamics*, 53(5), 711–721. <https://doi.org/10.1134/S0015462818050130>
- Sarioglu, M. (2017). Control of flow around a square cylinder at incidence by using a splitter plate. *Flow Measurement and Instrumentation*, PB(53), 221–229. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2016.06.024>
- Saydam, D. B. (2020). *Aktif Akış Kontrol Tekniği Uygulanan bir Silindir Etrafında Sıcaklık ve Hız Dağılımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi*. Osmaniye Korkut Ata University.
- Schewe, G. (1983). On the force fluctuations acting on a circular cylinder in crossflow from subcritical up to transcritical Reynolds numbers. *Journal of Fluid Mechanics*, 133, 265–285. <https://doi.org/10.1017/S0022112083001913>
- Schlichting, H., & Gersten, K. (2017). *Boundary-Layer Theory* (9th ed.). Springer.
- Schulmeister, J. C., Dahl, J. M., Weymouth, G. D., & Triantafyllou, M. S. (2017). Flow control with rotating cylinders. *Journal of Fluid Mechanics*, 825, 743–763. <https://doi.org/10.1017/jfm.2017.395>
- Shams-Ul-Islam, Manzoor, R., Khan, U., Nazeer, G., & Hassan, S. (2018). Drag Reduction on a Square Cylinder using Multiple Detached Control Cylinders. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(5), 2023–2034. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0239-0>
- Shehata, A. S., Xiao, Q., Saqr, K. M., Naguib, A., & Alexander, D. (2017). Passive flow control for aerodynamic performance enhancement of airfoil with its application in Wells turbine – Under oscillating flow condition. *Ocean Engineering*, 136, 31–53. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2017.03.010>
- Shi, Y., Su, D., & Xu, G. (2020). Numerical investigation of the influence of passive/active flow control on ship/helicopter dynamic interface. *Aerospace Science and Technology*, 106, 106205. <https://doi.org/10.1016/J.AST.2020.106205>
- Shukla, S., Govardhan, R. N., & Arakeri, J. H. (2013). Dynamics of a flexible splitter plate in the wake of a circular cylinder. *Journal of Fluids and*

- Structures*, 41, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2013.03.002>
- Song, Z., Duan, M., & Gu, J. (2017). Numerical investigation on the suppression of VIV for a circular cylinder by three small control rods. *Applied Ocean Research*, 64, 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2017.03.001>
- Strykowski, P. J., & Sreenivasan, K. R. (1990). On the formation and suppression of vortex ‘shedding’ at low Reynolds numbers. *Journal of Fluid Mechanics*, 218, 71–107.
- Sumer, B. M., & Fredsøe, J. (1997). *Hydrodynamics Around Cylindrical Structures* (Vol. 12). WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/3316>
- Takayama, S., & Aoki, K. (2005). Flow characteristics around a rotating grooved circular cylinder with grooved of different depths. *Journal of Visualization*, 8(4), 295–303.
- Thiria, B., Goujon-Durand, S., & Wesfreid, J. E. (2006). The wake of a cylinder performing rotary oscillations. *Journal of Fluid Mechanics*, 560, 123–147. <https://doi.org/10.1017/S0022112006000656>
- Tokumar, P. T., & Dimotakis, P. E. (1991). Rotary oscillation control of a cylinder wake. *Journal of Fluid Mechanics*, 224. <https://doi.org/10.1017/S0022112091001659>
- Tokumar, P. T., & Dimotakis, P. E. (1993). The lift of a cylinder executing rotary motions in a uniform flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 255, 1–10.
- Triyogi, Y., Suprayogi, D., & Spirda, E. (2009). Reducing the drag on a circular cylinder by upstream installation of an I-type bluff body as passive control. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 223(10), 2291–2296.
- Van Dyke, M. (1988). *An Album of Fluid Motion*, 4th ed. Parabolic Press Inc.
- Wang, L., Luo, Z., Xia, Z., Liu, B., & Deng, X. (2012). Review of actuators for high speed active flow control. *Science China Technological Sciences*, 55(8). <https://doi.org/10.1007/s11431-012-4861-2>
- Wang, R., Xin, D., & Ou, J. (2019). Experimental investigation on suppressing circular cylinder VIV by a flow control method based on passive vortex generators. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 187(January), 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.01.017>
- Williamson, C. H. K. (1988). Defining a universal and continuous Strouhal-Reynolds number relationship for the laminar vortex shedding of a circular cylinder. *Physics of Fluids*, 31(10), 2742–2744. <https://doi.org/10.1063/1.866978>

- Williamson, C. H. K., & Roshko, A. (1988). Vortex formation in the wake of an oscillating cylinder. *Journal of Fluids and Structures*, 2(4). [https://doi.org/10.1016/S0889-9746\(88\)90058-8](https://doi.org/10.1016/S0889-9746(88)90058-8)
- Zhai, C., Islam, M. D., Simmons, R., & Barsoum, I. (2019). Heat transfer augmentation in a circular tube with delta winglet vortex generator pairs. *International Journal of Thermal Sciences*, 140(February), 480–490. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.03.020>
- Zhang, H., Xin, D., & Ou, J. (2019). Wake control using spanwise-varying vortex generators on bridge decks: A computational study. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 184(May 2018), 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.11.031>
- Zhang, X., Choi, K.-S., Huang, Y., & Li, H. (2019). Flow control over a circular cylinder using virtual moving surface boundary layer control. *Experiments in Fluids*, 60(6). <https://doi.org/10.1007/s00348-019-2745-y>





“

# Bölüm 11

## İZMİR BARAJLARININ SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ\*

*Davut Yılmaz<sup>1</sup>*

*Murat Emre Kartal<sup>2</sup>*

”

---

\* Sorumlu Yazar: Dr. Öğr. Üyesi, Davut Yılmaz; [dyilmaz@ybu.edu.tr](mailto:dyilmaz@ybu.edu.tr), [yilmazdavut1967@gmail.com](mailto:yilmazdavut1967@gmail.com)

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Orcid ID: [orcid.org/0000-0002-9981-7875](https://orcid.org/0000-0002-9981-7875), Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06010 Etlik, Keçiören, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Prof. Dr., Orcid ID: [orcid.org/0000-0003-3896-3438](https://orcid.org/0000-0003-3896-3438), İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35140 Üçkuyular, Karabağlar, İzmir, Türkiye

## 1. GİRİŞ

İzmir İlinde bulunan barajlardan Çaltıkoru ve Yortanlı Barajları, Gördes Barajı ve Beydağ Baraj projeleri kapsamında bazı problemler içerdiği bilinmektedir. Bu bölümde seçilen bu barajların maruz kaldığı sorunları ve bunların çözümlerine yönelik önerdiğimiz çözüm önerileri detaylıca anlatılmaktadır.

Uzun yıllar süren hidrolojik ölçümler, jeolojik ve jeoteknik araştırmalar ve alternatif baraj tiplerinin değerlendirilmesinden sonra barajlar projelendirilmektedir. Yeterince jeolojik araştırma yapılmaması nedeniyle Çaltıkoru barajı inşaatında büyük bir heyelanın meydana geldiği, bu durumun baraj yeri ve tipi değişikliğini beraberinde getirdiği ve sonuçta ortaya çıkan maliyetin ilk maliyetin 3 katına çıktığı anlatılmıştır.

Yortanlı barajında ise ortaya konulan alternatifle Allianoi Antik kentinin su altında kalmaktan kurtarılabilceği ve bu alternatifin maliyetinin Yortanlı barajının 5 yıl geç kalması nedeniyle ortaya çıkan ürün geliri kaybından çok daha az olduğu vurgulanmıştır.

Gördes barajının projelendirilmesinde, dünyada yaşanan tecrübelerin dikkate alınmadığı anlatılmış, sorunun çözümünde de Türkiye’de ve dünyadaki başarılı uygulamalarda elde edilen bilgilerden de yararlanılmamıştır. Sorunun Muratlı barajında inşa edilen beton perde duvarla çözülebileceğine işaret edilmiştir.

Projelerin Yatırım Programına alınması, inşaatlarına başlanması ve tamamlanması da ekonomik imkanlara bağlı olarak çok uzun sürebilmektedir. Değişen iklim koşulları yağışları azaltmakta ve buharlaşma kayıplarını ise artırmaktadır. Baraj projelerinin inşaatlarına başlanılmadan planlamadaki verilerinin geçerliliği kontrol edilmesi gerektiği Küçük Menderes havzasında yaşanan sorunlarla ortaya konulmuştur.

## 2. ÇALTIKORU VE YORTANLI BARAJLARI

Bakırçay Kınık Projesi kapsamında inşaatı tamamlanan Çaltıkoru ve Yortanlı Barajlarıyla Gökbeyli ve Kınık Ovalarında toplam 11.985 hektar alanının sulanması hedeflenmiştir (DSİ, 1981). Çaltıkoru Barajı temelden 75.5m yüksekliğinde planlanmış ve baraj ile 46 hm<sup>3</sup> su depolanması hedeflenmiştir. Yortanlı barajı ise temelden 48 m yüksekliğinde öngörülmüş ve baraj gölünde 58 hm<sup>3</sup> suyun depolanacağı hesap edilmiştir. Çaltıkoru barajı yağış havzası büyüklü-

ğü 119 km<sup>2</sup> iken Yortanlı barajı yağış toplama alanı ise 157 km<sup>2</sup>'dir. Ancak her iki baraja da gelmesi beklenen ortalama su ise 61 milyon m<sup>3</sup>'tür. Barajlar toprak dolgu olarak projelendirilmiştir.

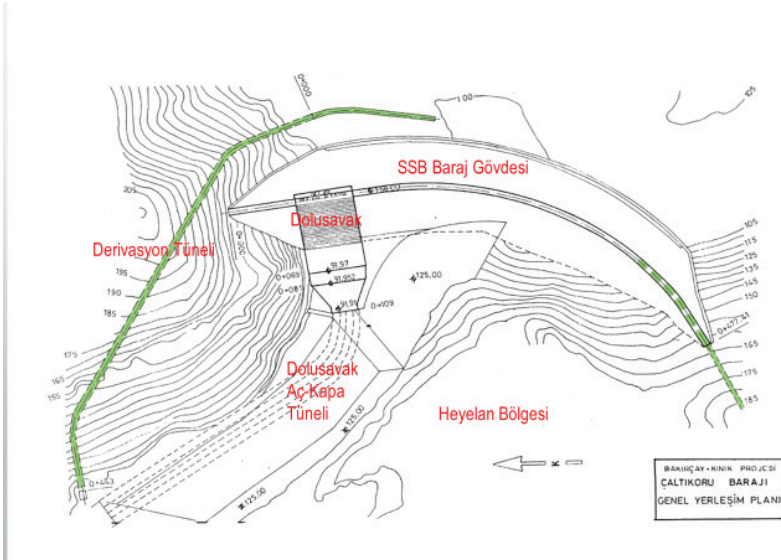
İzmir Bergama'da 1996 yılında inşasına başlanılan Çaltıkoru Barajı'nda temel sıyırma kazıları sırasında sol sahilde yaklaşık 5,5 milyon m<sup>3</sup> hacminde bir heyelan meydana gelmiştir (Şekil 1). Bu heyelan üzerine baraj aksı membaya doğru kaydırılarak heyelan bölgesi dışına çıkarılmış ve barajın tipi silindire sıkıştırılmış beton (SSB) tipine dönüştürülmüştür (Şekil 2). Barajın tipinin değiştirilmesinden sonra dolusavağı baraj gövdesi üzerine inşa etme imkânı doğmuştur. Ancak dolusavaktan deşarj edilecek taşkın sularının heyelan bölgesinden geçerek dere yatağına verilmesi için 5mx9m boyutlarında 295m uzunluğunda dört gözlü bir aç kapa tüneli (konduvi) inşa edilmesi gerekmiştir (Şekil 3).

Konduvi inşaatının yapılabilmesi için heyelanın topuk bölgesinde yeni kazıların yapılması gerekmiştir. Bunun yanında heyelan etmiş bölgenin de kayma güvenliğinin artırılması gerekmiştir. Bu iki amaca matuf olarak heyelan etmiş kütlede taç kısmında yaklaşık 500.000 m<sup>3</sup>'lük yük hafifletme kazısı yapılmakla yetinilmemiş, heyelan kütlede içerisine yer altı suyu seviyesini düşürecek drenaj galerileri inşa edilmiştir. Söz konusu yük hafifletme kazısı ve galeriler inşa edildikten sonra topuk kısmında kazılar yapılmış ve aç kapa tüneli inşa edilmiştir. Bu konduvinin yanlarına ve üstüne dolgu yaparak heyelan bölgesinin kayma güvenliğini artıracak bir topuk inşa edilmiştir.

Çaltıkoru barajı tipinin değiştirilmesi ve membaya kaydırılması sonucu barajın temelden yüksekliği 65 metreye, biriktirme hacmi ise 42 hm<sup>3</sup>'e düşmüştür (URL-1). Meydana gelen heyelan için alınan tedbirler, baraj tipi değişikliği ve ilave konduvi yapımı; barajın başlangıç maliyetinin 3'e katlanmasına yol açmıştır. Çaltıkoru barajında yaşanan sorunlar baraj projelerinin öngörülen zamanda ve maliyette tamamlanabilmesi için inşa öncesi zemin ve jeolojik araştırmalarının ne derece önemli olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Çaltıköy barajı sağ sahil heyelan bölgesi.



Şekil 2. Heyelandan sonra Çaltıköy barajı genel yerleşimi.



Şekil 3. Heyelan bölgesinden taşkın sularını geçirecek konduvi inşaatı.



Şekil 4. Çaltıkoru Barajının tamamlanmış hali.

Yortanlı Barajı, Çaltıkoru Barajına yaklaşık 3 km mesafede inşa edilmiştir (Şekil 5). Barajın inşası sırasında yapımla ilgili ciddi bir sorun yaşanmamıştır. Ancak baraj gölü altında kalacak Alliaoni Antik kentinin su altında bırakılıp bırakılmaması ve bırakılacak ise nasıl korunacağı konu-

ları kamuoyunda yoğun bir şekilde tartışılmıştır. Bu tartışmalar nedeniyle baraj 2005 yılında bitirildiği halde 2010 yılına kadar barajda su tutulamamıştır. Bir başka ifadeyle barajın hizmete girmesi 5 yıl gecikmiştir. Bir yıllık üretim kaybı 2010 yılı fiyatlarıyla yaklaşık 15 Milyon TL olarak tahmin edilmiştir. Bu durumda barajın 5 yıl geç kalması 2010 yılı fiyatlarıyla toplam 75 Milyon TL gelir kaybına yol açmıştır.

Hem barajı hizmete alacak hem de Allianoi Antik Kentini su altında bırakmayacak bir çözüm geliştirilebilirdi. Allianoi Antik Kentinin memba ve mansabında birer sedde inşa edilebilir ve böylece suyun antik kenti su altında bırakması önlenebilirdi (Şekil 6). Mema tarafından gelen sular da yaklaşık 915 metrelik bir tünel ile Yortanlı Baraj gölüne aktarılabilirdi. Seddelerden antik kentin bulunduğu yere sızan sular ise drenaj pompaları yardımıyla baraj gölüne veya baraj gölü altında kalacak bir drenaj hattı vasıtasıyla cazibe ile Yortanlı Barajı mansabına akıtılabilirdi.

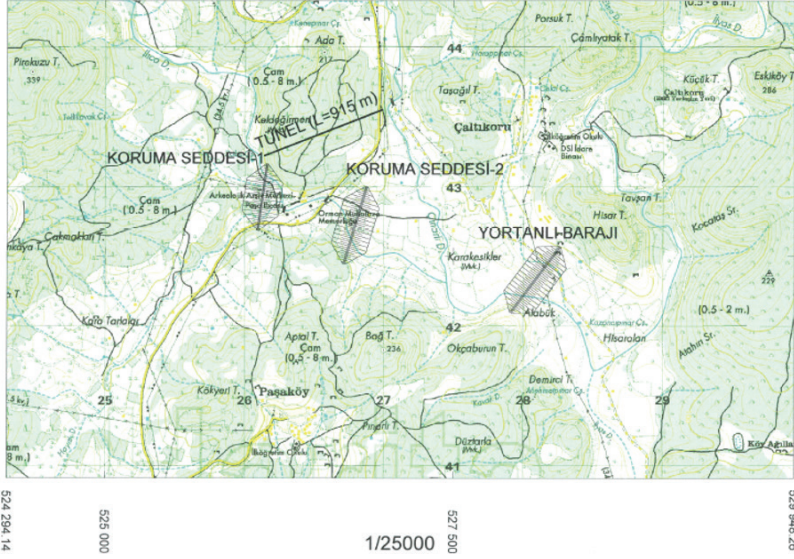
2010 Yılı fiyatlarıyla yaklaşık 30 Milyon TL maliyetle hayata geçirilebilecek bu çözüm sayesinde hem barajın hizmete alınması geciktirilmemiş hem de Allianoi Antik Kenti su altında bırakılmamış ve Türkiye turizmine hizmet etmesi sağlanmış hem de yaklaşık 45 Milyon TL tasarruf sağlanmış olacaktı. Bu çözüm hala hayata geçirilebilir ve Allianoi Antik Kenti su altında kalmaktan kurtarılabilir (Şekil 7).

Yortanlı Barajıyla ilgili yaşanan bu sorun mühendislikte alternatif çözümlerin her zaman aranması gerektiğini, en ucuz ve kolay gibi gözükken bir çözümün sonuçta en pahalı ve uygulanması en sıkıntılı seçenek olabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Çaltıkoru ve Yortanlı Barajları ile Allianoi Antik Kentinin konumları.

## 2010 Fiyatlarıyla yaklaşık 30 milyon TL maliyetli çözüm



Şekil 6. Allianoi Antik Kentinin Yortanlı Baraj Gölünden korunması projesi.



Şekil 7. Allioni Antik Kentinden bir görünüş (URL-2).

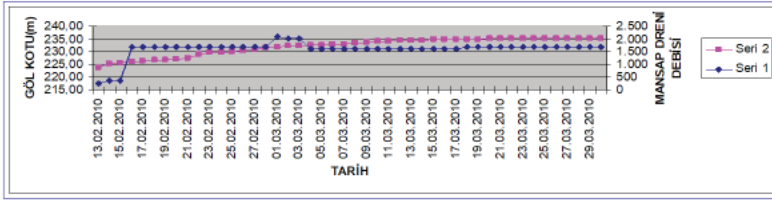
### 3. GÖRDES BARAJI

Gördes Barajı Gediz havzasında Gediz nehrinin kollarından olan Gördes çayı üzerinde inşa edilmiştir. Baraj, Göl marmara merkez Akse-  
lendi, Sazoba, Beyoba, Kumkuyu Tiyenli, Rahmiye, Sarıçalı ve Pınarcık köylerine ait 14 890 ha tarım arazisinin sulanması amacı yanında İzmir

İline yılda 58,58 milyon m<sup>3</sup> içmesuyu sağlamak amacıyla inşa edilmiştir.

Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu tipinde inşa edilen barajın temelden yüksekliği 95 metre dolgu hacmi ise 5,5 milyon m<sup>3</sup>'tür. İzmir İline içmesuyu taşıyacak isale hattının toplam uzunluğu 114 km olup yaklaşık 35 km uzunluğunda olan içmesuyu isale hattı 1. kısım inşaatına da 2009 yılında başlanılmış ve 2010 yılı sonunda da bitirilmiştir. 2011 yılından itibaren Gördes Barajından İzmir'e içmesuyu verilmeye başlanılmıştır. İzmir İlinin yıllık yaklaşık 200 Milyon m<sup>3</sup> olan içmesuyu ihtiyacının 2013 ve 2014 yıllarında ancak %14'lük bölümünü oluşturan yaklaşık 28 milyon m<sup>3</sup>'lük kısmı Gördes barajından sağlanabilmiştir (URL-3). Bunun nedeni Gördes Barajında yaklaşık 2 m<sup>3</sup>/saniye civarında olan su kaçaklarıydı (Şekil 8).

GÖL KOTU –MANSAP DRENİ DEBİSİ GRAFİĞİ



Şekil 8. Gördes barajı göl kotu mansap dreni debisi grafiği (DSİ, 2010).

Su kaçağının gövdeden kaynaklanıp kaynaklanmadığını tespit etmek amacıyla barajın önyüzünde bulunan gövde kaplama betonu üzerinde kameralı robotlar ile araştırmalar yapıldı. Bu araştırmalarda gövde içinden dikkate değer bir sızıntının olmadığı sonucuna varıldı. Esasen ön yüzü beton kaplı barajlarda sızıntı olsa bile bu sızıntıyı zamanla kesecek tedbirler alınmaktadır. Gövde kaplama betonlarının hemen arkasında yer alan filtrelerin çatlaklardan sızacak ince daneli malzemelerle tıkanarak bir süre sonra sızdırmanın sağlanması hedeflenmektedir. Bu tespitten sonra sızıntının zeminden kaynaklanmış olabileceği hususu ağırlık kazandı. Su kaçaklarını tespit etmek ve gerekli onarımları yapmak amacıyla baraj 2015 yılında tamamen boşaltıldı.

Baraj inşa ve göl alanında su kaçağına neden olabilecek karstik kireç taşları bulunmaktadır (Yağmurlu ve Baykal, 1989). Baraj gövde inşası sırasında da gövdenin oturacağı bölgede kaynaklar gözlemlenmiştir (Şekil 9). Baraj gövdesi beton kaplama plinthe ile göl alanının bir bölümünün ilk projelerde kil kaplama (blanket) ile kaplanması öngörülmüşse de inşaat sırasında yapılan değerlendirmelerde kil kaplamadan vazgeçilerek enjek-



siyon perdesinin uzatılarak geçirimsizliğin sağlanması yolu tercih edilmiştir.

Ancak yapılan enjeksiyon uygulamasının başarısızlığı, barajdan büyük su kaçağı ile ortaya çıkmıştır. Burada blanket kil kaplama yapılsaydı bu sorunlar yaşanmazdı tartışması ortaya çıkmıştır. Esasen kil dolgulu çatlakları bulunan kireçtaşlarında çatlaklarda iyi bir yıkama yapılmadan enjeksiyon uygulamasının yapılmasının başarılı olması da beklenmemelidir. Enjeksiyon yapılan zeminde çatlakların temizlenmesi de zeminin çatlak yapısına bağlı olarak her zaman mümkün olmayabilir. Özellikle Ermenek barajı enjeksiyon işlerinde çatlakların yıkanması ve enjeksiyonla doldurulması işinde çok başarılı uygulamalar yapılmıştır (Şekil 10).

Ayrıca enjeksiyon perdesi geçirimsiz bir birime bağlanmadıkça da askıda kalacağından hala kaçaklar olabilecektir. Enjeksiyon perdesini geçirimsiz zemine bağlayabilmek amacıyla Ermenek barajı enjeksiyon perdesi güzergahı inşaat başladıktan sonra değiştirilmiştir. Diğer taraftan, enjeksiyon perdesi uygulamaları yapılan su testlerinde başarılı olarak gözükmüş olsa da barajın su tutmasından sonra memba mansap doğrultusunda oluşacak yüksek hidrolik eğimlerinin kısa sürede perdeyi zayıflatması da mümkündür. Sonuç olarak; çok parçalı ve kil dolgulu olan karstik zeminlerde uygulama sırasında enjeksiyon alışları olsa da ve su testleri geçirimsizliğin sağlandığını gösterse de bu durum enjeksiyon perdesinin bir bölümünün baraj su tuttuktan sonra yıkanmayacağı ve uzun dönemde geçirimsizliği sağlayacağı anlamına gelmez.

Bir diğer husus da kil blanket kaplamaların başarısı ile ilgilidir. Dünyada yapılan kil blanket kaplamalarının bazılarında da büyük başarısızlıklar oluşmuştur. Bunların başında Tarbela barajında kısa sürede baraj gölünde kil kaplama üzerinde oluşan 429 obruk gösterilebilir (Lowe, 1978). Bunun yanında karstik bölgeler üzerinde ne tür kaplamalar yapılması gerektiği konusu 2003-2004 yıllarında Akköprü Barajında göl alanında karşılaşılan Aktaş kireçtaşlarının bulunduğu karstik bölgenin ıslahı sırasında çok iyi araştırılmış ve tartışılmıştır. Bu tartışmalarda kilin çatlaklara yıkanıp akabileceği, bu durumun obruklar oluşturabileceği, kil çekirdek kalınlığının üstündeki su yüküne göre ne olmasının gerektiği konusunda da bir uzlaşım olmadığı gerekçeleriyle Akköprü barajında kil çekirdekli kaplamadan beton kaplamaya dönülmüştür. Ayrıca beton kaplamanın başlangıç bölgesi kesişen kazıklar ile geçirimsiz birime bağlanmaya çalışılmıştır. Akköprü barajında yapılan çalışmalarda Tennessee Valley Authority tarafından yapılan uygulamalar esas alınmıştır (Sitar, 1988).

Dünyada uygulama içerisinde olan bazı tecrübeli mühendisler (Merritt, 1984) hidrolik eğimi düşürerek erozyon ve borulanmayı önlemek amacıyla plinth döşeme genişliğini baraj yüksekliğinin %5'inden %8-

15'ine çıkarılmasını tavsiye etmektedir. Nitekim Gördes barajının su kaçakları nedeniyle boşaltılması üzerine en yüksek hidrolik eğimin olduğu yerde borulanma ve erozyonun oluşturduğu büyük bir mağara bulunmuştur (Şekil 11a-b). Bulunan bu mağaralar betonla kapatılmış ve göl alanının bir bölümü beton ve geomembranla kaplandıktan sonra 2018 yılında tekrar su tutulmuştur (Şekil 12). Bu kapsamda, 48.000 m<sup>3</sup> kaplama betonu, 107.000 m<sup>2</sup> geomembran kullanılmış ve 330.000 m<sup>3</sup> kazı yapılmıştır.

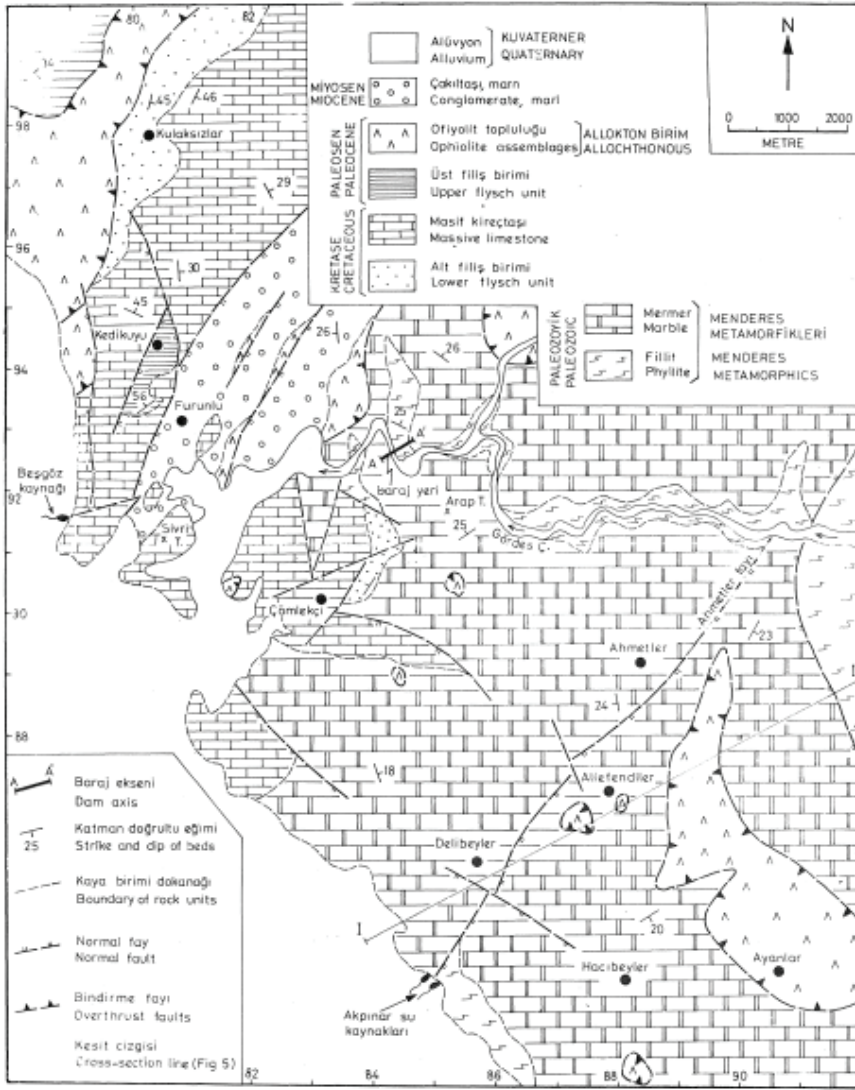
Yapılan bu iyileştirme çalışmalarına rağmen barajdan beklenen su alınamamaktadır (Yıldız, 2021). Esasen bu durum, Şekil 8'de verilen jeoloji haritası dikkate alındığında beklenen bir şeydir. Çünkü göl alanının tamamında kaplama yapılmamıştır. Göl alanındaki karstik erime boşluk veya çatlakların tamamının mansapla ilişkisi kesilmedikçe baraj gölünden su sızması kaçınılmazdır. Kaçan suyun miktarı karstik eriyik boşluklarının büyüklüğüne veya çatlağın genişliğine bağlıdır. Sızacak su miktarı çatlak genişliğinin küpü ile orantılı bir şekilde artmaktadır (Hendron vd., 1989). İşte bu nedenledir ki kaplama betonlarında çatlaklar bulunan Antalya Çayboğazı barajında baraj gölünden dikkate değer oranda su kaçakları olmaktadır. Bu sebeple uzun yıllardır barajda su seviyesi beklenen seviyeye çıkamamıştır.

Diğer yandan, her ne kadar beton kaplamalar altında geomembranlar kullanılmış olsa da bu kadar büyük bir inşaat sahasında geomembranlar delinebilir veya kaynak yerlerinden sızdırabilir. Geomembranlara dayalı sızdırmazlığın garanti altına alınabilmesi için imalat kalitesinin sağlanması yanında bazı ilave emniyet imalatları yapmak gerekebilir. Bu konuda en iyi örneklerden biri Riyad Metrosunda yapılan geomembran uygulamasıdır (Mapei, 2018). Burada yapılan uygulamada yalnızca geomembran ile yetinilmemiş, geomembran 150-200 metre karelik kompartmanlara bölünerek iki tabaka membran arasına enjeksiyon yapılmaktadır. Ancak bütün bunlara rağmen Gördes barajında kaplama yapılan bölgelerdeki muhtemel sızıntıların miktarının kaplanmamış bölgelerden çok daha az olacağı da bir gerçektir.

Kil kaplamadaki yaşanabilecek obruklaşma tehlikesi, enjeksiyon perdesinin başarısı ve durabilitesi ile ilgili soru işaretleri, enjeksiyon perdesinin askıda kalması, barajın ön yüz betonunu yamaçlara ve tabana bağlayan plinth betonu bölgelerindeki yüksek hidrolik eğimler ile yüksek hidrolik eğimlerin oluşturacağı erozyon ve borulanma riskleri, göl alanının büyük bölümünün geçirimli kireç taşlarına temas etmesi gibi nedenlerle; barajda sızdırmazlığı sağlamak için göl alanının bir bölümünün kil kaplanması veya enjeksiyon perdesi uygulamasının Gördes barajı için uygun olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bütün bu tespitlerden sonra en iyi çözüm ne olabilir sorusuna cevap aranabilir. Borulanma ve erozyona uğramayacak, etkinliği inşa sırasında ve sonrasındaki testler ile kontrol edilebilecek, gerekli derinliğe ulaşabilecek ve maliyet etkin olacak en iyi çözüm baraj plinth betonuna bağlanacak geçirimsiz plastik beton perde duvarıdır. Bu uygulama, Muratlı barajında alüvyon ve kaya kesilerek 75 metre derinliğe kadar inilmiş ve sonrasında ise plastik beton inşa edilmiş başarılı bir çözümdür. Perde duvar kazısı için Bauer freze (trench cutter) makinesi kullanılmıştır (Şekil 13).

Gördes barajında yaşanan sorunlar DSİ'nin tecrübe ettiği önceki çözümlerin yeterince değerlendirilmediğini ortaya koymaktadır. Bu tecrübeler son yıllarda ortaya çıkan teknolojik gelişmeler ve uygulamalar ile birleştirilerek Gördes barajının sızdırmazlık sorunu çözülebilir.



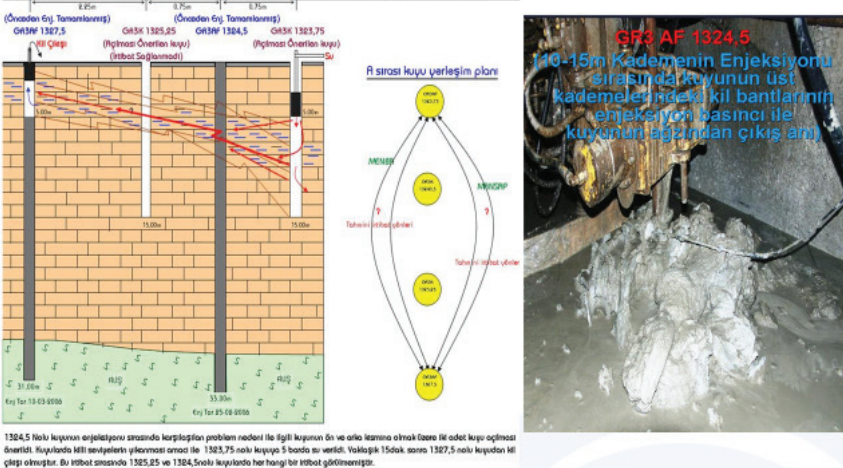
Şekil 8. Gördes Baraj yeri ve çevresi jeolojisi (Yağmurlu ve Baykal, 1989).



Şekil 9. Gördes barajı gövde dolgusu civarında gözlemlenen kaynak çıkışları (DSİ, 2010).

### Clay output in GR3 – link to other holes

GR3 GALERİSİ 1327,50 İLE 1323,75m Arası Çatlak Sistemleri Bağlantı Durumu



Şekil 10. Ermenek barajında çatlaklar arasında kil dolguların yıkanması için açılan kuyular (solda) kil bantlarının uygulanan 5 barlık su basınçları ile dışarı atılması (sağda) (Linortner, 2022).



*a) Mağaranın giriş ağzı.*



*b) Mağaranın içten görünüşü.*

*Şekil 11. Gördes barajı plinth betonu altında erozyon ve borulanmadan oluşan mağaraya ait görüntüler.*



*Şekil 12. Gördes barajı göl alanının beton ve geomembran ile kaplanması (URL-4).*



*Şekil 13. Muratlı barajında plastik beton duvar kazısında kullanılan Bauer freze (trench cutter) makinesi (URL-5)*

#### **4. BEYDAĞ BARAJI**

##### **4.1. Giriş**

Beydağ Barajı İzmir İli, Beydağ İlçesi'nin yaklaşık 2,5 km kuzeydoğusunda, Küçük Menderes Nehri üzerinde sulama amaçlı inşa edilmiştir. Baraj Küçük Menderes havzasında inşasına başlanılan 238 milyon metreküp kapasitesi olan ilk önemli depolama projesidir. Barajın inşası sırasında baraj tipi değişikliğine gidilmiştir. Barajının inşasının tamamlanması ardında da sulama projesi yapımına başlanılmıştır. Değişen hidrolojik şartlar, Beydağ barajının membaında inşa edilen göletler ve barajın besleme havzasında su kuyuları yoluyla artan su tüketimleri baraja gelen suyu yaklaşık %40 oranında azaltmıştır. Baraj sulama projesi inşasına başlanmadan belirgin oranda azalan su gelişine rağmen sulama projesi alanı büyütülmüştür. Bu durum baraja mansap aşağıda yer alan derelerin üst kotlarından cazibeyle su derivasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Ancak bu derivasyonlar ve havzada yapılan diğer barajlar havzanın 2/3'lük bölümünde sulama suyunu yer altı suyu kuyularından sağlayan çiftçilerin kul-



lanabileceği emniyetli rezervi %39 oranında azaltmıştır. Sorunun çözümü için 3 aksta yer altı barajları yapımıyla denize boşalan yüzey ve yer altı suyu boşalmalarının engellenmesi önerilmektedir. Bunun yanında alana göre su tahsisi yapılmasıyla suyun adil paylaşımı tavsiye edilmektedir.

Baraj yerindeki geçirimsiz çekirdek malzemesinin azlığı ve alüvyonun sıvılaşması nedeniyle, özgün tasarım kil çekirdekli kaya dolgu barajdan Silindirle Sıkıştırılmış Baraj (SSB) tipine değiştirilmiştir. Bu değişiklik barajın maliyetini neredeyse iki katına çıkardığından, mali kısıtlamalarla birleşince barajın inşaatı yıllarca durduruldu (Yılmaz vd., 2007).

Öte yandan, çiftçiler işletmeye açılan 25.000 su kuyusundan suyu pompajla sağlamaktaydılar. Yılda yaklaşık 30 milyon dolara varan yüksek elektrik maliyeti çiftçiler çok zorlamaktaydı. Ayrıca, aşırı su tüketimi nedeniyle bazı yerlerde, yeraltı su tablası zemin yüzeyinden yaklaşık 100 m aşağıya düşmüştü. Ucuz sulama suyu ihtiyacı ve yüksek baraj maliyeti, Devlet Su İşlerini (DSİ) daha ekonomik ve eşit derecede güvenli baraj türlerini araştırmaya ve alternatif çalışmalar yapmaya sevk etti.

#### 4.2. Alternatif Baraj Tipleri Çalışması

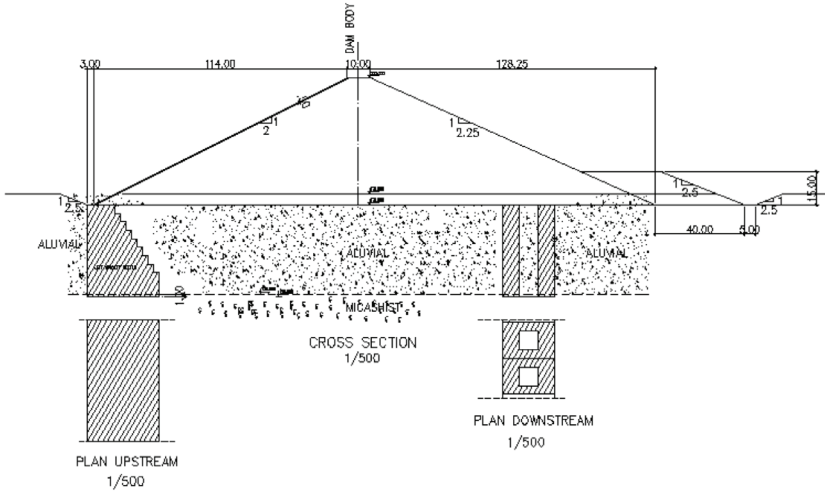
Baraj sahasında beklenen en yüksek yer ivmesinin 0.37g olarak tahmin edilmiştir. Yerinde zemin özelliklerini belirlemek için sahada standart penetrasyon testi (SPT) ve koni penetrasyon testi (CPT) gerçekleştirilmiştir. SPT yapılırken alınan numuneler, tane boyutu dağılımını ve zeminin Atterberg sınırlarını belirlemek için kullanılmıştır. Laboratuvar testleri ile birlikte SPT ve CPT sonuçları, belirli bir bölgede sıvılaşma analizi için kullanılacak ilişkili zemin özelliklerinin çapraz kontrolü için kullanıldı. Sıvılaşma değerlendirmesi sırasında aynı derinliğe karşılık gelen ortalama zemin özellikleri kullanılmıştır. Çünkü baraj gövde ağırlığının sıvılaştırılabilir zeminde birim deplasmanları eşitlediği hususu dikkate alınmıştır.

Sıvılaşma analizi yapılmadan önce belirlenmesi gereken bir diğer önemli parametre de gerilme azaltma katsayısıdır ( $R_d$ ). Bu katsayı literatürde yataya yakın zemin koşulları için verilmiştir. Geoteknik mühendisliğinde iyi bilinen uygulayıcılar arasında, gerilme azaltma katsayısının ( $R_d$ ) hesaplanmasında barajın etkisi, dikkate alınan derinlikten baraj yüzüne kadar olan zemin tabakasının kalınlığı alınarak dikkate alınır. Bu yaklaşım iki boyutlu dinamik analiz ile doğrulanmıştır (Yılmaz vd., 2007).

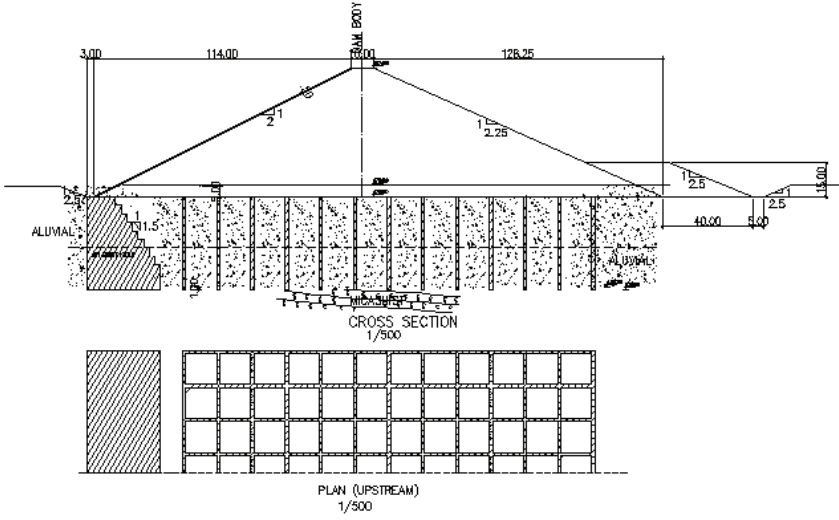
Jet-grouting'in Türkiye'de ucuz bir zemin iyileştirme aracı olduğu gerçeğinden hareketle, saha test uygulamaları sonrasında, zemin iyileştirmesi yapılmış zemin üzerine oturan ön yüzü beton kaplı (ÖYBK) kaya dolgu baraj tasarımı yapılmıştır. Sıvılaşmaya karşı zemin iyileştirmesi için iki alternatif geliştirilmiştir. Birinci alternatifte hem baraj memba topuğunun altında hem mansap şevinin altında kaya temele ulaşan jet-grout

ile geliştirilmiş iki blok oluşturulmuştur (Şekil 14). İkinci alternatifte ise, sadece memba topuğunun altında bir blok oluşturulmuş, ancak barajın temel alanının da ağ şeklinde jet-groutlu kolonlarla iyileştirilmesi hedeflenmiştir (Şekil 15).

Sonunda, daha ekonomik ve güvenli alternatiflerin olduğu kanıtlandığından, müteahhit, SSB baraj tipini değiştirmemek karşılığında maliyetini yaklaşık 60 milyon dolar düşürmeyi kabul etmiştir. Bu anlaşma üzerine SSB baraj tipli baraj yapımına başlanılmasına karar verildi. Baraj kaya temel üzerine oturduğundan, zemin iyileştirmesi ile uğraşmadan barajın yapımını hızlandırmak mümkün olduğundan kısıtlı kamu kaynakları baraja tahsis edildi ve baraj 2007 yılı sonunda tamamlandı. 2008 yılından sonra barajda su tutulmaya başlandı.



Şekil 14. Beydağ Barajı Alternatif 1. İyileştirilmiş zemin üzerine oturan ÖYBKK Baraj (Yılmaz ve diğerleri, 2007).



Şekil 15. Beydağ Barajı Alternatif 2. İyileştirilmiş zemin üzerine oturan ÖYBKK Baraj (Yılmaz ve diğerleri, 2007).

### 4.3. Beydağ Baraj Sulama Projesi

Beydağ Barajı tamamlandıktan sonra sulama projesi yapımına geçilmiştir. Baraja gelen su miktarı, JICA (1996) raporunda Beydağ İstasyonuna ait 1964-1993 dönemini kapsayan “Akım Gözlem Yıllıkları” akım verilerinden yararlanarak  $76 \text{ hm}^3$  olarak hesap edilmiştir. Baraja gelen su miktarı, aynı istasyonun 1999 yılına kadar kaydedilmiş ve kıymetlendirilmiş değerleri hesaba katıldığında da %13'lük azalmayla  $66 \text{ hm}^3$ 'e düşmektedir. JICA'nın (1996) çalışmasına göre ancak net 10.200 hektar (Brüt 12.050 hektar) alanın Beydağ Barajında depolanan su ile sulanabileceği, net 5.200 hektar (Brüt 6.150 hektar) alanın da YAS'tan sulanabileceği belirlenmiştir (Yılmaz ve Kocabaş, 2021).

Beydağ Baraj yerindeki akımların azalmasının önemli nedenlerinden biri olarak çok sayıda YAS kuyusunun açılması ve bu nedenle statik su seviyesinin düşmesi gösterilmiş, baraj ekseninde bulunan 45 metrelik alüvyonun kazılması ve barajın ana kayaya oturtulmasıyla YAS akımının kesileceği ve dolayısıyla statik su seviyesinin yükseleceği iddia edilmiş ve en nihayetinde bu düzeltici etkilerin vuku bulmasıyla da akımların normal hale geleceği yani planlamasında öngörülen değerleri yakalayacağı savunulmuştur (DSİ, 2008). Yukarıda yazılı gerekçelerle planlamaya göre 10.200 hektarı barajdan, 5.200 hektarı YAS'tan olmak üzere toplam net 15.400 hektar olan sulama alanı, akımlardaki azalış dikkate alınmadan barajdan sulanabilecek net alan 7404 hektarlık artışla 17.604 hektara çıkarılmıştır.

Beydağ baraj yerindeki alüvyonların hidrolik iletkenlik katsayısını  $0.62 \times 10^{-2}$  ile  $0.71 \times 10^{-2}$  m/dakika arasında verilmektedir (Tezcan ve Toklu, 2005). Beydağ baraj yerinde alüvyonun genişliği yaklaşık 500m, derinliği maksimum 30-45 m ve aksında alüvyon alanı yaklaşık 15.000 m<sup>2</sup> olarak verilmektedir (Yılmaz vd., 2007).

Beydağ baraj yerinin olduğu bölgede nehir yatağı eğimi, %0,5-0,6 civarındadır. Hidrolik eğim nehir yatağı eğimine paralel olarak alınır ise Darcy Eşitliği (1) kullanılarak alüvyondan geçen su hesabı yapılabilir.

$$Q=A \cdot k \cdot i \quad (1)$$

Burada; Q: Akış m<sup>3</sup>/sn, A: Akıma dik alan m<sup>2</sup>, k: alüvyonun permeabilite katsayısı m/sn, i: hidrolik eğimdir.

Yukarıdaki eşitlikte maksimum eğim ve maksimum permeabilite katsayısı kullanılarak sızacak yer altı suyu miktarının en fazla 0,35 hm<sup>3</sup>/yıl olarak hesap edilebilir. Bu nedenle alüvyondan tam kesitte YAS akımı olsa dahi hesap edilen bu akımın Beydağ Barajı giriş akımlarını önemli miktarda değiştirmeyeceği açıktır.

Sulama su kuyularının azalma bir tarafa sayısı da yıllar içinde sürekli artmıştır. Bir taraftan belediyeler içme ve kullanma suyu temini için Beydağ barajı membaında kuyular açarken diğer taraftan barajlardan su alamayan vatandaşlar su ihtiyacını gidermek için su kuyusu açmaya devam etmiştir. Bu eğilim yaklaşık 132.000 hektar verimli tarım arazisi bulunan Küçükmanderles havzasının tamamında bu şekildedir. Nitekim havzadaki su kuyusu sayısı 2003 yılında yaklaşık 8.500 iken 2020 yılı itibariyle yaklaşık 30.000 ulaşmıştır (Yılmaz ve Kocabaş, 2021).

Beydağ Barajına gelen suyun azalmasındaki bir diğer önemli faktör de planlamalarda öngörülmediği halde barajın membaında Haliller ve Çatak Göletlerinin inşa edilmesidir. Bu göletlerde baraja gelen suyun yaklaşık 3 Milyon metreküp daha azalmasına yol açmıştır.

Bütün bunların yanında iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklıklardaki artış ve yağışlardaki düşüşler, akışlarda büyük azalışlara yol açmıştır. Yağışların azalması, Beydağ Barajına gelecek su miktarını yaklaşık %30 oranında azaltmıştır (Yılmaz ve Kocabaş, 2021).

İklim değişikliği etkilerinin nehir akımlarında meydana getirdiği azalışlar, Beydağ barajı membaında yeni barajların inşa edilmiş olması, yer altı su kuyuları sayılarındaki artışlar, Beydağ barajı aksında alüvyondan sızacak su miktarının hatalı değerlendirmesi sonucu Beydağ barajına gelecek su miktarının planlamasında yer alan 76 Milyon metreküp değil de

yaklaşık 43 Milyon metreküp olacağını 2010 yılların ortalarında ortaya koymuştur. Bu gerçek ortaya çıktıktan sonra olması gereken Beydağ barajı sulamasının barajdan gelecek suya göre azaltılması olmalıdır.

Ancak sulama projelerinin yapımına aynen devam edilmiştir. Beydağ Baraj gölündeki su eksikliği de Beydağ barajı mansabından pahalı ve maliyetli su aktarma projeleriyle yapılmaktadır. Bu projelerden Tasavra Derivasyonu ile 12 hm<sup>3</sup>/yıl, Bademli Barajı ile 19,5 hm<sup>3</sup>/yıl, Eğridere-Yenişehir Derivasyonu ile 14 hm<sup>3</sup>/yıl ve diğer Uzunoluk-Abuhayat-Kanlı Regülatörleri ile 2,5 hm<sup>3</sup>/yıl olmak üzere toplam 48 hm<sup>3</sup>/yıl suyun Beydağ Barajına aktarılması hedeflenmektedir.

#### **4.4. Küçük Menderes Havzası Su Kaynakları ve Bu Kaynakların Barajlardan Etkilenmesi**

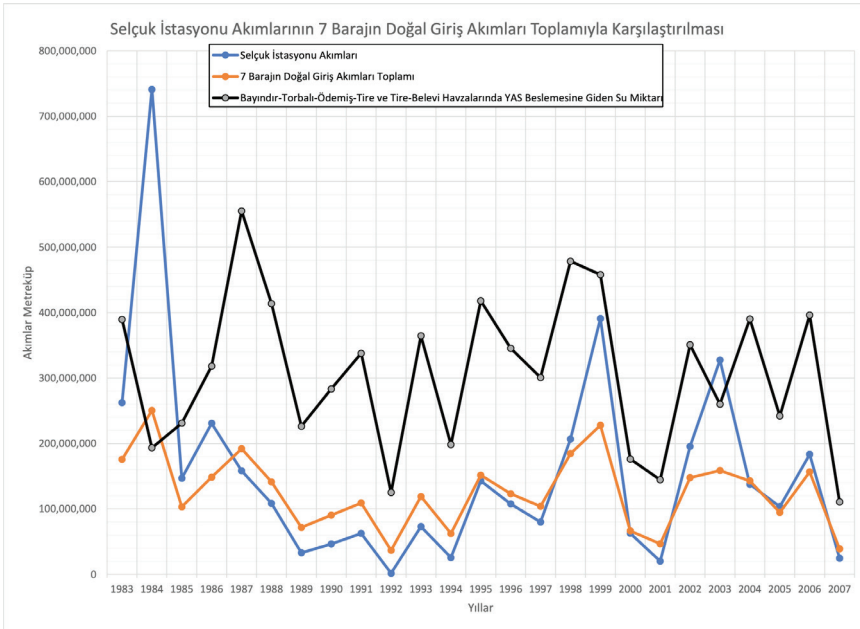
Beydağ baraj gölüne yapılan derivasyonlar ve havzada yapılan diğer barajlar yer altı suyu akiferlerinin beslenimi azaltmıştır. Barajlar inşa edilmeden 289 Milyon metreküp olan emniyetli yer altı suyu rezervi barajlar inşa edildikten sonra 209 Milyon metreküpe düşmüştür. Suyun eskiden olduğu gibi çok büyük kapasitesi olan akiferlerde depolanması yerine baraj rezervuarlarında toplanması buharlaşma kayıplarını büyük oranda artırmıştır. Bu durum barajlardan sağlanan net faydayı yıllık 27 Milyon metreküp seviyesine düşürmüştür. Sonuçta havzanın büyük bölümünde yani yaklaşık 70.000 hektarda sulama suyu ihtiyacını yer altı suyu akiferlerinden pompajla çeken çiftçilerin kullanabileceği su miktarını %39'a varan oranda azaltmıştır (Yılmaz ve Kocabaş, 2021). Bir başka deyişle, havzadaki çiftçilerin yaklaşık 2/3'ü barajların yapımından olumsuz olarak etkilenmiştir.

Havzadaki su eksikliğinin temel nedenleri; iklim değişikliği nedeniyle akışlarda %30'a varan oranda azalmış, mevcut barajların membaında planlamasında öngörülmeven şekilde yeni projeler inşa edilmesi nedeniyle mansaptaki barajlarda su eksikliği ortaya çıkmış, su eksikliğini gidermek için havzadaki akiferleri besleyen yan kollardan baraja su transferi yapılmış, yapılan mezkur bu transferler nedeniyle yer altı suyu beslenimini azaltmış, suyun akiferler yerine barajlarda depolanması buharlaşma su kayıplarını artırmış, barajlardan gelen net katkının azalması yer altı suyuna olan ihtiyacın artmasına yol açmış ve sonuçta havzadaki çiftçilerin yaklaşık 2/3'üne barajlar inşa edilmeden önceki duruma göre %39'a varan oranda daha az emniyetli yer altı suyu düşmüştür.

Nehir akımlarındaki yaklaşık %30 azalışa, buharlaşma kayıplarındaki artışa, havzada su kuyularının sayısındaki büyük artışa ve buna paralel su tüketimindeki bu büyük yükselişin beraberinde getirdiği yer altı suyu beslenimindeki azalışa ve barajların inşa edilmesinin yer altı suyu beslenimini olumsuz yöndeki etkisine rağmen emniyetli yer altı suyu rezervle-

rindeki sadece %39'luk azalma meydana gelmiştir. Bu durum düşen yer altı suyu seviyeleri nedeniyle yağış akış katsayısının artmasıyla, havzadaki buharlaşma kayıplarının azalmasıyla ve havzadan denize boşalmaların azalmasıyla açıklanabilir.

Küçük Menderes Havzası'nda Küçük Menderes Nehrinin denize döküldüğü noktaya yakın olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından tesis edilmiş 601 nolu Selçuk Akım İstasyonu verilerine göre 1983 öncesinde 362 hm<sup>3</sup> olan ortalama akım, Şekil 16'dan görüldüğü gibi, 1983-2008 arasında 207 hm<sup>3</sup> azalarak 155 milyon metreküpe düşmüştür. Yıllar içinde değişmekle beraber havza dışına akan yüzey suyu miktarı ortalama yaklaşık 100 metreküp civarındadır. Ancak havza dışına akan 99 Milyon metreküplük bir yer altı suyu boşalımı da bulunmaktadır (JICA, 1996).

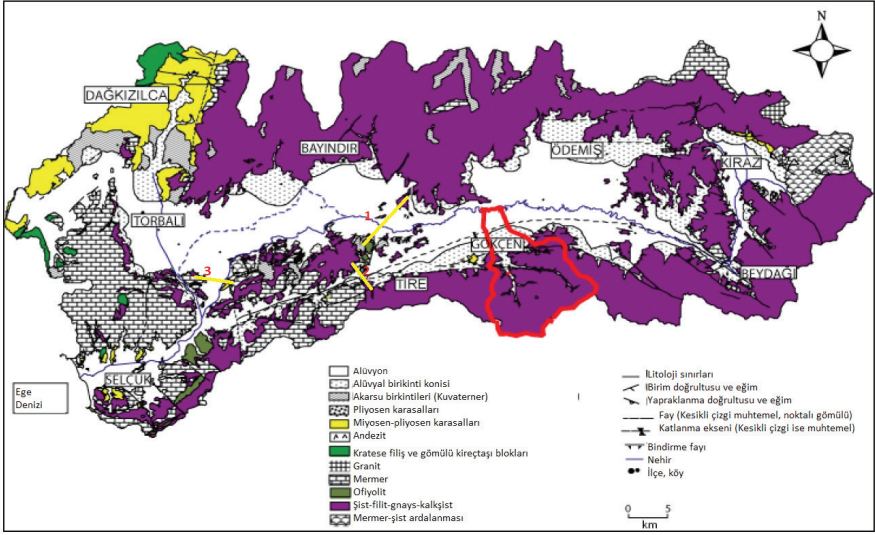


Şekil 16. Küçük Menderes Havzası'ndan denize boşalmaların havza beslenimi ile ilişkisi (Yılmaz ve Kocabaş, 2021).

#### 4.5. Yeraltı Barajları ve Küçük Menderes Havzası Su Sorunu Çözümü

Küçük Menderes havzası Kiraz, Ödemiş-Tire, Bayındır-Torbalı ve Selçuk alt havzalarına bölünmüştür. Havzadaki çiftçilerin su ihtiyaçlarını kaynaklara göre orantılı, etkin ve adil karşılayabilmek için, öncelikli hedefin yer altı suyu beslenimini artırarak denize olan yüzey suyu boşalımı azaltmak ve aynı zamanda denize akan yer altı suyu akışını kontrollü bir

şekilde azaltmak olması gerektiği düşünülmektedir. Bu şekilde havzada yapılan barajlar nedeniyle azalan yer altı suyu beslenimi artırılabilir ve YAS'tan sulama yapan çiftçilere daha fazla rezerv sağlanabilecektir. Yer altı suyunun alt havzalar arası akımını azaltmanın havza dışına akan su miktarını dengeli bir şekilde azaltacağı beklenmektedir. Alt havzalar arası akışın azaltılmasına yönelik olarak Şekil 17'de gösterilen 3 hattan ikisinde yer altı barajlarının yapımı önerilmekte, bir hatta ise çalışılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 17. Bu çalışmada önerilen üç yeraltı barajının yaklaşık aks yerleri (Sarı çizgi ile gösterilmiştir). DSİ tarafından önerilen YAS besleme ve yeraltı baraj yeri (Kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Yazıcıgil vd., 2000; Peksezer, A., 2010).

Sonuç olarak her zaman baraj yapmanın havzadaki çiftçilerin büyük çoğunluğuna fayda vermeyebileceği Küçük Menderes havzasında yapılan çalışmayla ortaya konulmuştur. Artan sıcaklıklar, azalan yağışlar ve düşen akışlar havzada doğal olarak var olan akiferlerde suyun depolanmasının buharlaşma kayıplarını azaltmak bakımından daha iyi bir çözüm olabileceğini ortaya koymaktadır. Küçük Menderes havzasında alt havzalar arasında inşa edilecek yer altı barajları ile yalnızca havzalar arası su dengesi sağlanmayacak denize boşalmalarda azaltılacaktır. Böylece yer altı suyunun sulama yapan çiftçilerin su sorunu hafifleşmiş olacaktır.

#### 4.6. Sonuç

Yer altı suyunun aşırı çekimi pompaj maliyetlerini de artırmaktadır. Su çekim derinliği arttıkça yalnızca derinlikle orantılı olarak elektrik sarfiyatı artmamakta aynı zamanda pompa verimleri de düşmektedir. Artan

maliyetler çiftçileri daha fazla üretime zorlamakta ve daha fazla su ihtiyacı doğmaktadır. Yer üstü ve yer altı suyu kaynakları birlikte değerlendirilmeli ve alana göre su tahsisleri yapılmalıdır. Yer üstü suyu kullananların ayrıca yer altı suyu kullanmasına müsaade edilmemelidir. Bütün su tüketimleri uydudan izlenerek yer altı suyu besleniminden fazla su tüketilmesinin önüne geçilmelidir. Önemle hatırlatmak isteriz ki değişen iklim koşulları yer altı sularının stratejik değerini artırmaktadır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çaltıkoru barajında yeterince zemin araştırması yapılmadığı için ilk baraj yerinde büyük bir heyelan olmuş, bu durum baraj yeri ve tipinin değişikliğini beraberinde getirmiştir. Sonuçta baraj maliyetinde yaklaşık %200'lik bir artış olmuştur. Bahse konu heyelan ve yapılan proje değişiklikleri ile artan maliyetler barajın devreye alınmasını yıllarca geciktirmiştir. Artan maliyetler ve uzayan yatırım süresi, yatırım dönemi faizlerinde büyük artışlara neden olmuş sonuçta projenin fizibilitesi bozulmuştur.

Allianoi Antik kentinin su altında bırakmadan Yortanlı barajının hizmete alınmasının mümkün olduğu gösterilmiştir. Geliştirilen bu proje baskından uygulanmış olsaydı barajın 5 yıl önce devreye alınabileceği, alternatifin toplam maliyetinin 5 yıllık üretim kaybından çok daha az olduğu gösterilmiştir. Bu çözümün hala mümkün olduğu, kumla üzeri kapatılan Allianoi Antik kentinin geliştirilen alternatifle üzerinin açılabilceği vurgulanmıştır.

Gördes barajının hem İzmir İline içme suyu sağlaması hem de sulamaya hizmet etmesi açısından çok önemli bir barajdır. Ön yüzü beton kaplı barajın gövdesi ve göl alanı karstik kireçtaşlarının bulunduğu bir bölgede yer almaktadır. Barajın su tutmasıyla birlikte saniyede 2 metreküp civarında su kaçakları gözlemlenmiştir. Barajın boşaltılması üzerine su kaçaklarının kireçtaşının erozyona müsait dolgulu yerlerinde hidrolik eğimin (su yüksekliğinin sızma boyuna oranı) en yüksek bölgelerde oluşan mağaralarda gerçekleştiği tespit edilmiştir. Söz konusu mağaraların betonla doldurulması ve göl alanının bir bölümünün betonla kaplanması üzerine tekrar su tutulmuştur. Ancak göl alanının tamamı kaplanmadığı için diğer bölgelerden su kaçakları olmaya devam etmiştir. Çünkü karstik kireçtaşlarında dikkate değer su taşıma kapasitesine sahip çatlaklar ve erime boşlukları bulunabilmektedir. Sorunun kalıcı çözümünün baraj plinth betonunu derin bir beton perdeye bağlanarak baraj ekseninde geçimsizliğin sağlanması olduğu gösterilmiştir.

Barajlar planlaması, projelendirilmesi ve inşası çok uzun yıllar almaktadır. Planlama ile inşaa arasında geçen uzun sürede Beydağ barajında olduğu gibi hidrolojik veriler değişebilmektedir. Küresel ısınmanın da



etkisi ile yağışlar azalmakta ve buharlaşma kayıpları ise artmaktadır. Bu durum, yaklaşık 40-50 yıl önceki projelendirme ve planlamaların gözden geçirilmesini ve değiştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Sulama alanlarının değişen hidrolojik şartlara uygun revize edilmesi gerekmektedir. Nehir akımlarının görece yüksek, su tüketimleri ile yer altı su kuyularının çok daha az, buharlaşma kayıplarının ise nispeten düşük olduğu zamanlarda planlanmış yüzey depolamalarından vazgeçilmesi, suyun yüzey depolamaları yerine Küçükmandere havzasında olduğu gibi doğal akiferlerde depolanması büyük önem arz etmektedir. Alt havzalar arasında suyun akışını düzenlemek ve denize boşalmaları azaltmak amacıyla yer altı baraj yerleri önerilmiştir. Gelişen makine teknolojisi 100 m'ye yakın beton perde duvarlarının yapımıyla yer altı barajlarının inşasını mümkün kılmaktadır. Diğer yandan, suyun adil paylaşımı ve verimli kullanımı için alana göre su tahsisi yapılmalıdır. Su kullanımı izlenmeli ve kota aşımına müsaade edilmemelidir.

Bu çalışma kapsamında bahsedilen sorunların yetersiz etütler, sorunların çözümüne yönelik farklı alternatiflerin zamanlıca çalışılmaması, önceki başarılı tecrübelerin dikkate alınmaması ve değişen hidrolojik şartların projelere yansıtılmaması nedenleriyle gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

## KAYNAKLAR

- DSİ (1981). Bakırçay Kınık Projesi Planlama Raporu.
- DSİ (2006-2020). Takdim raporları.
- URL-1. <https://www.facebook.com/DSI.2.Bolge.Mudurlugu/posts/1532437156910281> (Erişim Tarihi: 17 Haziran 2022).
- URL-2. <https://www.dokuzeylul.com/guncel/aihm-den-alliano-antik-kenti-karari-h148592.html> (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2022).
- URL-3. <https://www.enerjiatlasi.com/haber/gordes-baraji-tamamen-bosaltiliyor> (Erişim Tarihi: 20 Haziran 2022).
- URL-4. <http://durmazgroup.com/portfolio/gordes-baraji-sag-sahil-zemin-iyilestirme-1inci-kisim-ikmali/> (Erişim Tarihi: 21 Haziran 2022).
- URL-5. [https://www.bauerdamcontractors.com/en/new\\_dams/borcka\\_muratli\\_dams](https://www.bauerdamcontractors.com/en/new_dams/borcka_muratli_dams). (Erişim Tarihi: 21 Haziran 2022).
- Yağmurlu, F. ve Baykal (1989) Gördes barajı ve çevresinin temel jeolojik özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, C. 32, sayfa 1-7.
- Lowe, J. (1978). Foundation Design Tarbela Dam. Fourth Nabor Carrillo Lecture. Mexician Society for Soil Mechanics.
- Sitar, N. (1988). Geotechnical aspects of karst terrains: exploration, foundation design and performance, and remedial measures, ASCE Geotechnical Special Publication No. 14. Edited by Sitar.
- Linortner, J. (2022) Ermenek Dam and Hydroelectric Power Plant Project. Yıldırım Beyazıt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yapılan sunum, Mayıs.
- Merritt, A. (1986) Discussion of “Progress in Rockfill Dams” by J. Barry Cooke (October, 1984). Journal of Geotechnical Engineering, Volume 112, issue 2, pp. 229-231.
- Yıldız, D. (2021) İzmir Büyükşehir: Bedelini Ödüyoruz ama Gördes Barajı Su Tutmuyor, <https://supolitikalaridernegi.org/2021/11/28/izmir-buyuksehir-bedelini-oduyoruz-ama-gordes-baraji-su-tutmuyor/> (Erişim Tarihi: 21 Haziran 2022).
- Hendron, A. J., Fernández, G., Lenzini, P. A., Hendron, M. A. (1989) Design of pressure tunnels. In: Cording, E. J., Hall, W. J., Haltiwanger, J. D., Hendron, A. J., Mesri, G. (eds.) The art and science of geotechnical engineering at the dawn of the twenty first century. Prentice Hall, pp. 161–192.
- Mapei (2018) Riyadh Metro in Saudi Arabia: A complex site requiring innovative Mapeplan waterproofing membranes. Realtà Mapei Middle East & East Africa, no. 01.

- Yılmaz, D., Babuccu, F., Batmaz, S. and Kavruk, F. (2007). “Liquefaction analysis and soil improvement in Beydag dam.” *Geotech. Geol. Eng.*, 26: 211-224.
- Yılmaz, D. ve Kocabaş, İ. (2021). Küçük Menderes Havzası Su Kaynakları Üzerinde Barajların Etkisi, 5th International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management (ISHAD2021) 5-7 November 2021 <https://doi.org/10.33793/acperpro.04.02.33>
- JICA (1996). Küçük Menderes Havzası Sulama Projeleri Çalışması, 3 Cilt.
- Tezcan, L. ve Toklu, M. (2005). Beydağ Barajı temel kazı çukuruna gelecek sızıntı suyu hesabının Modflow modellenmesi yapılarak hesap edilmesi (Yayımlanmamış rapor).
- DSİ (2008). Ödemiş Beydağ Sulamasının 3996 sayılı “Bazı Yatırım ve Hizmetlerin Yap-İşlet-Devret Modeli Çerçevesinde Yaptırılması Hakkındaki Kanun” uyarınca gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar kapsamında Yüksek Planlama Kuruluna Eylül 2008’de yapılan sunumlar.
- Peksezer, A. (2010). Artificial Recharge of Groundwater in the Küçük Menderes River Basin, Jeoloji Müh. Bölümü, Master Tezi, ODTÜ.
- Yazıcıgil, H., Doyuran, V., Karahanoğlu, N., Yanmaz, M., Çamur, Z., Toprak, V., Rojay, B., Yılmaz K.K., Şakıyan, J., Süzen, L., Yeşilnacar, E., Gündoğdu, A., Pusatlı, T., and Tuzcu, B., (2000). “Investigation and Management of Groundwater Resources in Küçük Menderes River Basin under the scope of Revised Hydrogeological Studies”, Final Report: Vol. I: Main Report, Vol. II: Meteorology and Hydrology, Vol. III: Geology, Vol. IV: Groundwater Database, Vol. V: Hydrogeology, Vol. VI: Groundwater Chemistry, Quality and Contamination, Vol. VII: Groundwater Flow Model Project, Project no: 98-03-09-01-01. Middle East Technical University, Ankara.



“

## Bölüm 12

### ORMAN YANGINLARINA HAVADAN MÜDAHALE İÇİN HAVA ARACI MEKATRONİK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

*Mustafa SOYLAK<sup>1</sup>*

*Ali YENİEL<sup>2</sup>*

”

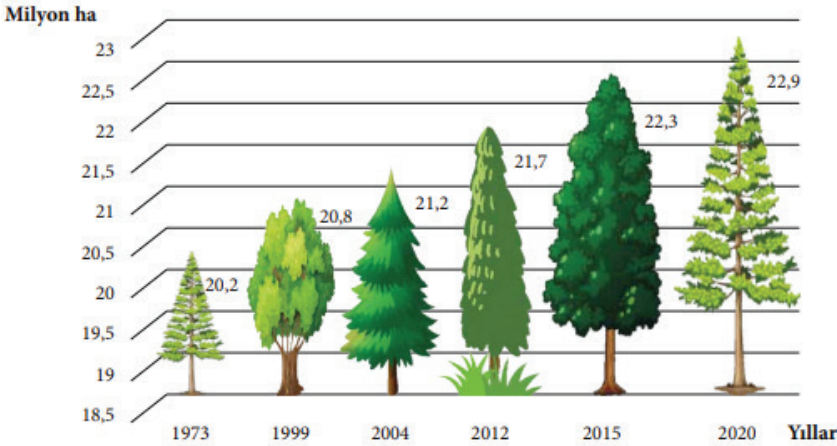
1 Erciyes Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Laboratuvarı, Kayseri, Türkiye

2 12 nci Hava Ulaştırma Ana Üs Komutanlığı, Kayseri, Türkiye  
Bu çalışma Ali YENİEL tarafından Dr. Öğr. Üyesi Mustafa SOYLAK danışmanlığında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim dalı bünyesinde gerçekleştirilen “Orman Yangınlarının Söndürülmesi İçin Hava Aracı Mekatronik Sistemi Geliştirilmesi” isimli tez çalışmasından üretilmiştir.

Sorumlu Yazar: Dr. Öğr. Üyesi Soylak: soylakm@erciyes.edu.tr

## Giriş

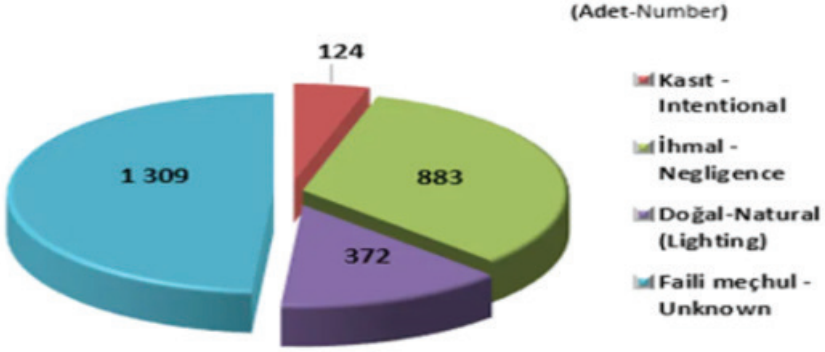
Orman; ağaçlar ve diğer bitkiler, mikroorganizmalar, hayvanlar gibi canlı varlıklar ile birlikte toprak, hava, su, ışık ve sıcaklık gibi fiziksel çevre faktörlerinin birlikteliği ile oluşturdukları karşılıklı ilişkiler dokusunun varlığını ortaya koyan bir ekosistemdir [1]. Ormanlar, dünyamızın çevresel, ekonomik ve sosyokültürel yapısında çok önemli rol oynamaktadır. Ormanlar, havadaki oksijen, karbon ve rutubet dengesine çok büyük katkı sağlamaktadır. Bu bilgiler ışığı altında, zaman ilerledikçe dünyamızda ve ülkemizde tehdit altında olan ve ciddi bir problem haline gelen orman varlığının korunmasının ne kadar önemli bir husus olduğu daha iyi kavranacaktır. Ayrıca ekonomik değeri oldukça büyük olan orman varlığının titizlikle korunup kollanması gerekmektedir [2]. Çalışma kapsamında sunulan sayısal verilerin ana kaynağını oluşturan Türkiye, yazları sıcak ve kurak geçen Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Büyük çoğunlukla yaz aylarında orman yangınları gerçekleşmektedir. Son 10 yıllık belirtilen değerlere göre orman yangınlarının yüzde 88'i ihmal, dikkatsizlik ve bilgisizlikten meydana gelmektedir. Her yıl ortalama 2 bin 477 orman yangını ile birlikte binlerce hektar ormanlık alan hasar görmektedir. Türkiye' de yangınların tehdit oluşturduğu orman alanı 22.900.000 ha' dır (Şekil 1) [3].



Şekil 1. 1973-2020 Türkiye Orman Varlığı Haritası [1]

Orman yangınlarının çıkış sebepleri (Şekil 2), doğal sebepler ve insan-kaynaklı sebepler olarak iki grupta incelenmektedir. Doğal sebepler; yıldırımlar, volkanik faaliyetler, meteor düşmesi, kimyasal tepkimeler ile iklim değişimi ve küresel ısınma sonucu kendiliğinden yanma gibi örnek-

lerle açıklayabiliriz. Anız yakma, avcılık faaliyetleri, sigara izmariti atılması, çevre kirliliği, terör ve kundaklama, kazalar, eğlence amaçlı yakılan ateşin söndürülmemesi, vb. ise insan-kaynaklı orman yangını sebepleri olarak sıralanabilir (Şekil 3) [4].



Şekil 2. 2019 Yılına ait Çıkış Nedenlerine Göre Yangın Adetleri [1]



Şekil 3. Kundaklama Taktiğini Kullanan Terör Saldırıları (Mavi; Vakalar, Sarı; Yaralanmalar, Turuncu; Ölümler) [1]

Orman yangınları iklim değişikliğini dolayısıyla küresel ısınmayı da tetiklerler, karbondioksit miktarını artırıp ozon tabakasının delinme hızını artırır, canlı çeşitliliğini azaltır, kuraklaşma ve çölleşmeye sebep olurlar [5]. Ormanlarda meydana gelen yangınlar esnasında ağaçlar ya ölürler ya da hastalanır ve kalitelerini kaybederler. Dahası yanan ormanların ekosistemi, toprağının kimyasal ve fiziksel özellikleri olumsuz

yönde etkilenir. Yangının sonunda oluşan mineraller toprak yüzeylerini sertleştirir ve gözeneklerini kapatır sonrasında nem tutma kabiliyeti azalan toprakta erozyonlar artar [6]. Yangınlar genellikle ormanda yaşayan hayvanların ölmesine de sebep olur. Yani orman yangınlarının zararı hesaplanırken tek yönlü olarak düşünmemek gerekir ve zarar maliyeti hesaplarken; yangınların söndürülmesi esnasında harcanan para, sarf edilen iş gücü, yeniden ağaçlandırma ve ormanın eski haline geri dönebilmesi için geçecek olan süreyi de göz önüne almak gerekmektedir [7].

Orman yangınları ile havadan mücadele edilirken uçak ve helikopterler kullanılmaktadır. Bu hava araçları; yangın bölgesine ekip taşıma, gözetleme, keşif, kargo nakli, havadan su ve kimyasal madde atma gibi görevleri icra ederler. Farklı özelliklere sahip olmaları nedeniyle uçak ve helikopterler birbirlerine karşı çeşitli üstünlükler sağlamaktadır [8].

Yangın söndürme maksatlı olarak dünyada ve ülkemizde kullanılan bazı helikopterlere örnek verecek olursak; Boeing Vertol Ch - 47 C (Şekil 4), Boeing Vertol 107 , Sikorsky S-64, Sikorsky S-80, Bell 214a, PzI Mi - 2, İar 330 Puma, Mi - 8 T ( Mi - 17), Mi - 26 T: Ka-32a11bc



*Şekil 4. Boeing Vertol Ch - 47 C Yangın Söndürme Helikopteri*

Yangın söndürme maksatlı kullanılan uçaklara örnek verecek olursak ise; Boeing 747 Supertanker, Beriber Be-200, Beriber Be-12, Llyushin İl -76 Ta, Dc-10 Air Tanker, Air Tractor At-802, Bombardier 415, Airbus C295w, Harbin Sh – 5b, Antonow An-32p Firekillers, Lockheed C-130 (Şekil 5).





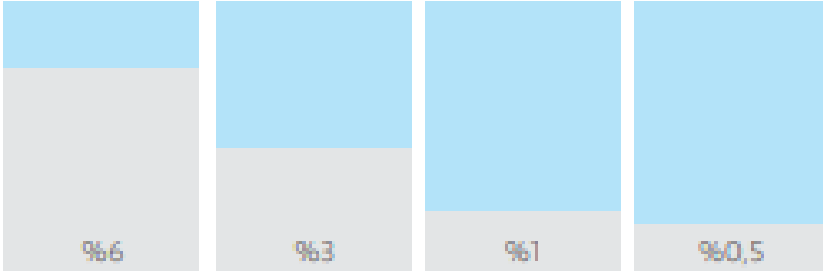
Şekil 5. Lockheed C-130 Yangın Söndürme Görevi

Uçak ve helikopterlerin orman yangınları ile mücadelede kullanım öncelikleri, arazinin yapısına göre değişiklik göstermektedir. Helikopterlerin; yangın havuzu, gölet benzeri küçük alanlardan su alabilmeleri, havada uzun süre kalabilmeleri, manevra kabiliyetlerinin yüksek olması, istenilen bölgeye nokta atış yapabilmeleri, alçak seviyeden müdahale ederek etkinlik sağlamaları, yangın ekiplerini bölgeye taşıyabilmeleri avantajları olarak görülmektedir. Fakat taşıdıkları su miktarının az olması, rüzgârlı hava koşullarında görev yapamamaları da dezavantajları olarak görülmektedir. Uçakların ise; daha fazla miktarda su ve söndürücü kimyasalları taşıyabilmeleri, uzak bölgelerdeki yangınlara daha hızlı bir şekilde müdahale edebilmeleri avantajları olarak görülmektedir. Fakat bununla birlikte manevra kabiliyetlerinin az olması, özellikle engebeli arazilere fazla alçalamadıkları bu yüzden de yüksek irtifadan müdahale ettikleri için bırakılan sıvının söndürücü etkinliğinin azalması, bazı uçakların ikmal için bir piste ihtiyaç duyması, amfibik (hem denizde hem de karada görev yapabilen) uçakların denizden ikmal yapabilmeleri için dalga boyunun fazla olmaması gibi olaylarda dezavantaj olarak görülmektedir. Orman yangınlarında en önemli faktör yangına erken müdahaledir. Yangının özellikle ilk 15-20 dakikası yangının büyümemesi ve kısa sürede kontrol altına alınabilmesi için çok önemlidir. Bu sebeplerden dolayı erken müdahale için hava araçlarının kullanılması gereklidir. Hava araçlarının kullanımını maliyetli olarak düşünülse de yangınların maliyeti göze alındığında hava araçlarının doğru ve etkin biçimde kullanımı çok daha avantajlıdır [9].

Orman yangınlarına hava araçları ile havadan müdahale ederken su, kimyasal madde ve köpük kullanılmaktadır. Yangının cinsine göre kul-

lanılacak en uygun olanı seçilmektedir. Orman yangınlarıyla mücadele ederken bilinen en yaygın yöntem olarak yangın bölgesine su gönderilmesi tercih edilmektedir. Suyun sıkıntısız bir biçimde elde edilebilir, ucuz ve mücadeleye karşı etkili olması nedeniyle geçmişten günümüze kadar yangınları söndürmek için kullanılmaktadır. Ormanlardaki yangınlar genellikle A tipidir. Diğer yangınlara kıyasla en büyük farkı alanın çok geniş ve atmosfer olaylarından doğrudan etkileniyor olmasıdır. Bundan dolayı orman yangınları; mücadele etmesi en zor yangınlardan biridir. Bilindiği üzere yanıcı bir madde, sıcaklık ve oksijenin birlikteliği ile yangın oluşmaktadır. Su bu üç etkene karşı iyi bir söndürücüdür. Yangının sıcaklığını en iyi azaltan maddelerden biridir. Su; yanan bölgeye ince zerreler şeklinde uygulandığından ısı önemli ölçüde emilir ve sıcaklıkta böylece düşürülür. Dahası su sis şeklinde yanan bölgeye püskürtüldüğünde havadaki oksijenin yangına erişmesini de kısıtlamaktadır [10]. Bunun yanı sıra eskiden sanayi, bina, askeri yangınlarında uygulanan söndürücü kimyasallar 20.yüzyılın yarısından sonra orman yangınları ile mücadelede de kullanılmaya başlanmıştır. 1930' larda yaklaşık 130 kimyasal madde deney laboratuvarlarında test edilmiştir. Sonucunda özellikle üç adet kimyasalın orman yangınlarını söndürmede etkili olduğu görülmüştür. Bu kimyasallar; amonyum sülfat, diamonyum fosfat ve monoamonyum' dur. Daha sonra sodyum kalsiyum boratın da orman yangınlarında kullanılabilirliği anlaşılmıştır. Fakat bu kimyasalın doğaya ve içindeki canlılara zarar verdiği tespit edilince sulandırılmış bentonite kil kullanılmıştır [10]. Bazen orman yangınlarına karşı uçaklar ve helikopterler ile kimyasal madde uygulamak yeterli olmayabilir. Böyle durumlarda yer ekipleri küçük takımlar halinde ağaçları çeşitli aletler ile kimyasallar ile kaplarlar. Kaplanan bölgelere uygulanan geciktirici kimyasalların içine renk maddesi katılarak; diğer ekipler ve havadan müdahale araçları için görülebilmeyi sağlamak amaçlanmıştır. Bu renklerden kırmızı olan demiroksit maddesidir ve su ile yıkanınca kadar uygulanan bölgede kalırlar. Birkaç haftada da toprak rengini alarak solarlar [11]. Günümüzde teknolojinin ilerlemesi sayesinde yangınlarla mücadelede kullanılan teçhizatlar ve söndürücü kimyasallarda çeşitli yenilikler meydana gelmiştir. Yangınlar birbirlerinden farklı yanıcı maddelere sahip olması nedeniyle değişik özelliklere sahiptirler. Bundan dolayı yangının çeşidine göre uygun söndürücüler ile müdahale etmek zorunlu hale gelmiştir. Yangınları söndürmede artık suyun yanında Halon, Halotren, Purple K, Inergen, FE-13 vb. kimyasallardan da yararlanılmaktadır [12]. Orman yangınlarında köpük kullanımı ise; kısa süreli yangın geciktirici kimyasal olarak da isimlendirilen köpüğün aktif olarak kullanılması esasına dayanmaktadır. Köpüğün kullanılmaya başlandığı 1968 yılında; sahada istenilen fayda alınamamıştır. Fakat basınçlı havalı sistemlerin geliştirilmesi ile büyük ilerlemeler bu alanda meydana gelmiştir. Bu sistemde su-köpük çözeltisinin içerisine hava ba-

sılmış ve dışardan takılan bir hortum yoluyla pompalamak suretiyle köpük üretilmiştir. Köpüğün ikinci gelişim aşaması ise; 1985 yılında Kanada'da geliştirilen hidrokarbon içerikli özel bir köpük malzemesinin kullanımı ile başlamıştır [13]. Yangınlara müdahale ederken kullanılan su, yangın üçgenini oluşturan üç unsurdan ısı ve oksijen unsurlarına karşı etkili iken köpük, tüm unsurlara karşı etkilidir. Suyun yüzeye tutunabilirliği yüzey pürüzlü değil ise zayıftır Fakat köpüğün tutunabilme özelliği fazladır ve uygulanan yüzeyde daha fazla süre kalır. Ayrıca, süreç içinde engelleyici bir vazife üstlenerek hava ile yüzey arasındaki oksijeni keser. Yanmakta olan bir bölgeye 10 kez su ile müdahale etmekle 1 kez köpükle müdahale etmenin aynı sonuçlara ulaşılmasını sağladığı araştırmacılar tarafından gösterilmiştir [14]. Yangın söndürücü köpüğün kullanım amacı, yanıcı maddenin üzerinde tabaka meydana getirip, oksijenin ve ısıнын ortam yüzeyinden uzaklaşmasını sağlayarak ortamdaki sıcaklığı düşürerek yangını söndürmeyi başarmaktır. Köpük-su karışım oranı köpük ile su karışımındaki karışım oranlarını belirleyen bir değer olup, %5'lik karışım denildiğinde, beş birim köpük doksan beş birim sudan meydana gelmiş demektir. Bu oran %0.5 ile %6 değerleri arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Şekil 6) [15].



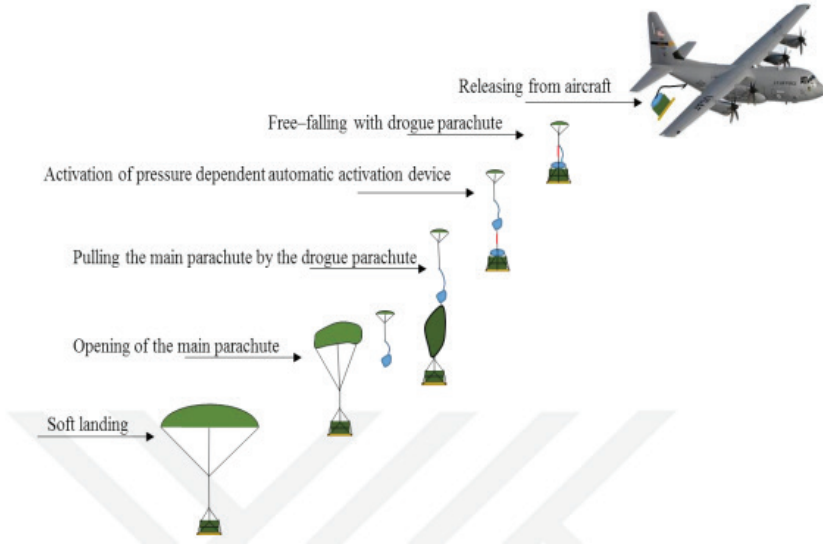
Şekil 6. Köpük Su Karışım Oranı [15]

### Materyaller ve metotlar

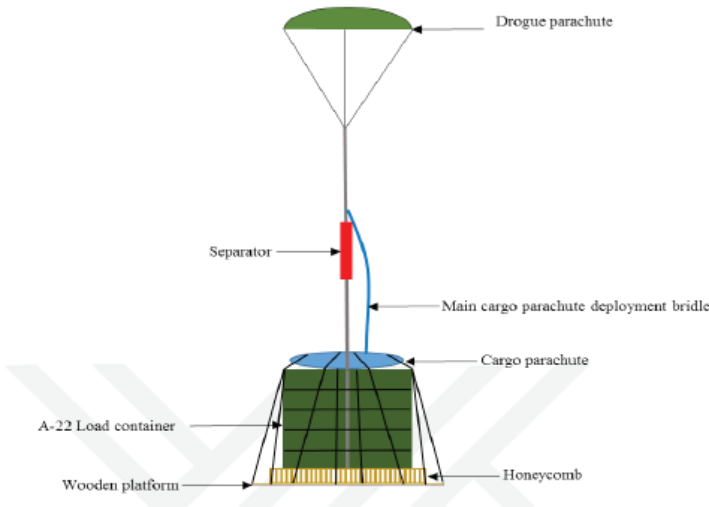
Bazı hava araçları, havadan malzeme, paraşütçü, söndürücü sıvı ve tarımsal ilaç atma kabiliyetlerine sahiptir. Bunları havadan istenilen bölgeye atarken hava araçları çeşitli atma tipleri ve atma metotları kullanmaktadırlar.

Malzeme atmanın üç tipi vardır. Bunlar; Serbest bırakma, yüksek hız, alçak hız

Malzeme atmanın üç methodu vardır. Bunlar ise; Extraction (çekme metodu)[ HALO (high altitude low opening) (Şekil 7 ve Şekil 8), HAHO (high altitude high opening)], door load (kapı yükü) , gravity [CDS (container delivery system) ] [16].

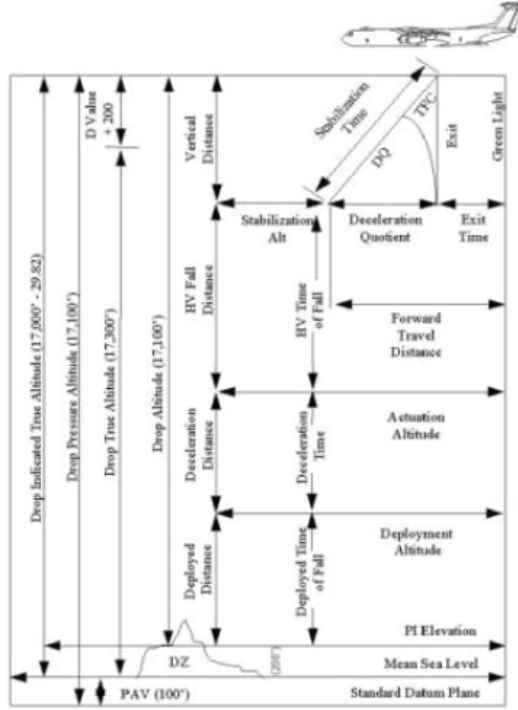


Şekil 7. HALO Sisteminin Temel Çalışma Prensibi [16]



Şekil 8. HALO Sisteminin Yapısı [16]

Yüksek irtifa atmalarında serbest bırakma noktasını hesaplamada iki yöntem kullanılmaktadır. Birincisi; Computed Air Release Point (CARP), ikincisi; High Altitude Release Point (HARP) (Şekil 9) hesaplarıdır [17].



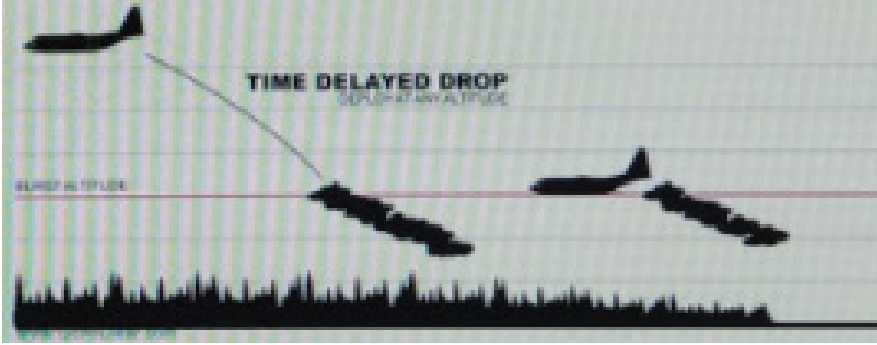
Şekil 9. HARP Diyagramı [17]

Civelek, B. (2020) yaptığı yüksek lisans tezinde [16], basınca bağlı kargo paraşütleri için otomatik aktivasyon cihazı tasarlamıştır. Bu cihaz ile çeşitli irtifalardan halo yöntemiyle atmalar yaparak cihazı test etmiştir. Bizim çalışmamızda bunlardan farklı olarak, basınca bağlı değil zaman ayarlı mekatronik bir cihaz geliştirilmiştir. Ayrıca bir diğer farklılık çalışmamızda halo yöntemi ile atma yapılacak olup ana paraşüt kullanılmamaktadır. Sadece rehber paraşütü kullanılmaktadır. Amaçlar bakımından farklılık ise, Civelek, B. (2020) yaptığı çalışmada, daha çok askeri faaliyetler sırasında uçaksavar atışı, füze vb. tehditlerden kurtulmanın çözümü olarak halo yöntemini ele almıştır. Fakat bizim çalışmamızda orman yangınları ile mücadele de yaşanan sıkıntılardan kurtulmanın yolu olarak halo yöntemi kullanılmaktadır.

Saint Industries firmasının ürettiği ve faaliyette olan havadan orman yangınları ile mücadelede kullanılan PCADS (Precision Container Aerial Delivery System) de [18]; CDS (container delivery system) metoduna benzer bir yöntem kullanılmaktadır. Konteynırın havadan atma işlemi; ağırlık merkezi kaydırma yöntemi ile üzerindeki tahditleri kaldırarak icra edilir. Konteynır hava aracından çıkar çıkmaz serbest düşüşe başlar ya hemen sıvı dökülür ya da zaman ayarlı (2 ,4, 6, 8 sn.) timer sayesinde ayarlanan

zaman sonunda dökülmeye başlar. Ancak bu yöntemde herhangi bir rehber paraşütü kullanılmamaktadır. Ayrıca sistemde kullanılan zamanlayıcılarda mekanik bir yapıya sahiptir. Fakat çalışmamızda geliştirilen yeni modelde ise, cds yöntemine, yükün ağırlığına göre uygun rehber paraşütü ilave edilmiştir. Zaman ayarlı mekatronik zamanlayıcı kullanılarak sadece 2, 4, 6, 8 sn. seçenekleri yerine daha uzun sürelerle çıkarılarak yüksek irtifalardan da yangın söndürme malzemesi atılabilme imkânı sunulmaktadır.

Çalışmamız kapsamında geliştirilen sistemde atma metodu olarak yine cds metoduna benzer bir yöntem kullanılmıştır. Fakat çalışmamızda yüksek irtifadan atılan söndürücü sıvının uçaktan çıkar çıkmaz dökülmeye başlaması istenmemektedir. Bunun yerine; ayarlanan süre sonunda zamanlayıcının aktif olması ve tetikleme sinyalini üreterek söndürücü malzemenin sevki hedeflenmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Zaman Geciktiricili Cihaz İle Havadan Yangın Söndürme Malzemesi Atılma İşlemi [18]

Eğer söndürücü sıvı yüksek irtifalarda dökülmeye başlarsa sıvının pülverize olması, buharlaşması ve rüzgarın savurma etkisinden dolayı yan bölgeye ulaşana kadar sıvının etkinliğinin azalmasına ya da kaybolmasına sebep olacaktır.

Çalışmamızda; mevcut sistemde kullanılmayan ama cds metodunda hali hazırda kullanılan bizimde yeni modele entegre ettiğimiz rehber paraşütün kullanılmasının amacı; malzemenin yüksek irtifadan atıldığında hava aracından çıkar çıkmaz sıvının dökülmeyip alçak irtifaya kadar serbest düşüş yapacağı esnadaki yolculuğunda konteynırın takla atmaması, malzemenin zarar görmemesi, düşüşün daha stabil ve sabit sürat ile açılacağı irtifaya kadar emniyetle ulaşmasını sağlamaktır. Geliştirdiğimiz mekatronik sistemin (Şekil 13,14) kullanım amacı ise; daha geniş zaman aralığı sayesinde daha yüksek irtifalardan da atma işlemine olanak sağlayabilmesidir. Çalışma kapsamında deneysel olarak sistem tasarımı ve

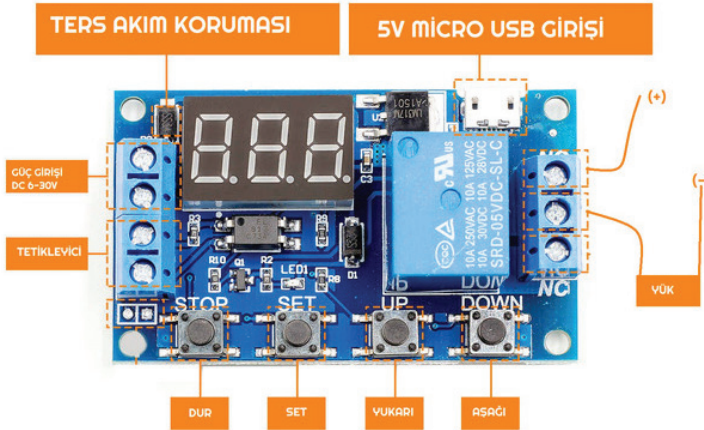
kurulumu gerçekleştirilmiş olup deneysel olarak uygulaması laboratuvar şartlarında yapılmıştır (Şekil 15). Deneysel sistemde aşağıda verilen ekipmanlar kullanılmıştır;

1) Çekme-itme solenoid'i (Şekil 11); 12V DC voltaj beslemesi ile çalışır, 10 mm çekme ve itme mesafesine sahiptir, 39 gr ağırlığındadır.



Şekil 11 Çekme – İtme Solenoid

2) Zaman ayarlı röle modülü (Şekil 12); 5V ve 12V sürekli ayarlanabilir 0.1 s (minimum) - 999 dak (maksimum) zaman aralığında çalışabilir. Display, röle, 4 adet buton, mikro usb girişi, güç girişi, tetikleyici ve röle kontak çıkışları mevcuttur. Bu modülün 6 adet çalışma modu vardır. Bunlar P1.1, P1.2, P1.3,P2,P3.1,P3.2 1 dir.

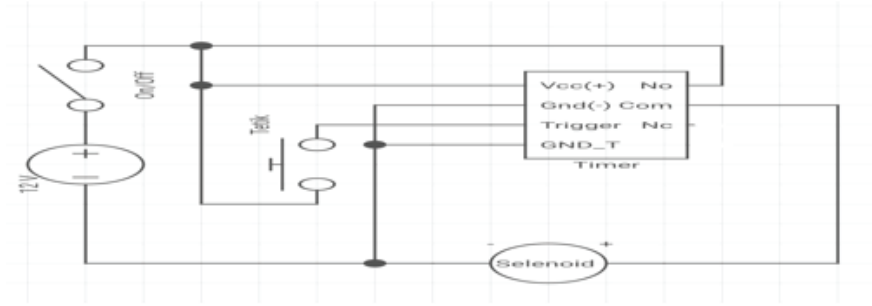


Şekil 12. Zaman Ayarlı Röle Modülü

- 3) Yaylı buton
- 4) Kablo teli
- 5) 12 v luk pil

## 6) Açma/ Kapama butonu.

Sistem şu şekilde çalışmaktadır; çalışma kapsamında geliştirilen sistem taşıyıcı konteynır üzerine yerleştirilir, rehber paraşütü kolonları ile irtibatları yapılır ve emniyete alınmış olarak sabitlenir. Daha sonra konteynırın uçaktan çıktığı irtifaya göre yangın söndürme malzemesinin döküleceği irtifada olma süresi hesaplanır ve cihazımızın içindeki zamanlayıcıya bu süre programlanır. Konteynırın üzerindeki cihazımız ayarlanılan süre sonunda üzerindeki kesici sayesinde rehber paraşütünün kolonunu keser. Kesilen paraşüt ayrılırken konteynır içindeki kesme bıçaklarını çekerek söndürücü malzemenin içinde bulunduğu torbayı keser ve boşaltma işlemi başlamış olur.



Şekil 13. Geliştirilen Cihazın Elektriksel Şeması



Şekil 14. Geliştirilen Cihazın Dış Görünüşü





Şekil 15. Geliştirilen Cihazın İç Görünüşü ve operasyon süreci

## Sonuçlar

Çalışma kapsamında geliştirilen mekatronik cihaz sayesinde; yangın söndürme konteynırlarının yüksek irtifalardan emniyetli bir şekilde atılabilmesi sağlanmaktadır. Bir diğer artı değer olarak; mevcut cds metodu ile yapılan atmalarda kullanılmayan rehber paraşütü sisteme entegre ederek malzemenin yüksek irtifadan atıldığında çıkar çıkmaz dökülmeyip alçak irtifaya kadar serbest düşüş yapacağı esnadaki yolculuğunda konteynırın takla atmaması, malzemenin zarar görmemesi, düşüşün daha stabil ve sabit sürat ile açılacağı irtifaya kadar emniyetle ulaşması sağlanmıştır. Gece ve gündüz koşullarında kullanılabilir olması, hava araçlarının düşük irtifalarda karşılaştığı; ısı, türbülans, oksijen yetersizliği, yabancı madde hasarı, duman sebebi ile görüşün kısıtlanması vb. olayları bertaraf etmesi ve bu sayede uçuş emniyetini tehlikeye atmıyor olması, dalış/tırmanış gibi uçuşu tehlikeye sokabilecek aşırı manevra hareketlerine ihtiyaç duymadan yüksek irtifalarda düz uçuş esnasında görevini icra edebiliyor olması, yüksek rüzgâr limitlerinde dahi kullanılabilir olması, sistemin bakım ihtiyacının olmaması, çok fazla ilave donanıma ihtiyaç duymaması, uzun ömürlü ve son derece ekonomik olması geliştirilen sistemin avantajlarıdır.

## Tartışma

Ormanların ülkeler ve dünyamız için ne kadar büyük bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Ama halen ormanları koruma ve geliştirme konusunda eksiklerimiz bulunmaktadır. Ülkemiz için orman yangınları ile havadan mücadele; gelişmekte olan bir konu olup, şuanda istenilen seviyede değildir. Bu alanda etkinliğimizin artması için çeşitli çalışmalar gündemine yapılmaktadır. Çalışma kapsamında tasarlanıp geliştirilen cihazın kullanılmaya başlanması halinde, havadan orman yangınlarıyla mücadelede uzun ömürlü, düşük maliyetli, uçuş emniyetini ileri seviyelere taşıyacak bir sistemin önemli bir kazanım sağlayacağı araştırmacılar tarafından öngörülmektedir.

## REFERANSLAR

- [1] T.C. tarım ve orman bakanlığı (t.y.). Resmi istatistikler. Erişim adresi: <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>
- [2] Turnalı T,(2020). Yangın güvenliğinde termal algılama sistemlerinin kullanımı: orman yangınları. Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: [https://tdedergisi.erdogan.edu.tr/Files/ckFiles/tdedergisi-erdogan-edu-tr/apa\\_6%20\(1\).pdf](https://tdedergisi.erdogan.edu.tr/Files/ckFiles/tdedergisi-erdogan-edu-tr/apa_6%20(1).pdf)
- [3] Orman genel müdürlüğü yayınları, 13-14, 2015. Türkiye Orman Varlığı (2015). Erişim adresi: [https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/Belgeler/OrmanSu/Faaliet%20Raporlar%C4%B1/2015%20Y%C4%B1%C4%B1%20Faaliyet%20Raporu\\_Web.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/Belgeler/OrmanSu/Faaliet%20Raporlar%C4%B1/2015%20Y%C4%B1%C4%B1%20Faaliyet%20Raporu_Web.pdf)
- [4] Short, K. C. (2017). Spatial wildfire occurrence data for the United States, 1992-2015 [FPA\_FOD\_20170508].
- [5] Orman yangınlarının sonuçları nelerdir?. (2021, 6 Ağustos). Erişim adresi: <https://www.bayou.com.tr/blog/icerik/orman-yanginlarinin-sonuclari-nelerdir>
- [6] ÇEPEL, N. (1975). Orman yangınlarının mikroklima ve toprak özellikleri üzerine yaptığı etkiler. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 25(1), 71-93.
- [7] Baş, R. (2014). Türkiye’de orman yangınları nedenleri, zararları ve yangınlara karşı alınacak önlemler. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 27(2), 52-73.
- [8] Öymen, T. (1990). Orman yangınlarıyla havadan savaş. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 40(2), 95-100.
- [9] Hızlı söndürmedeki en büyük kozumuz hava araçları. (2019, 30 Ağustos). Erişim adresi: <https://www.ogunhaber.com/genel/hizli-sondurmedeki-en-bu-yuk-kozumuz-hava-araclari-2000104h.html>
- [10] Küçükosmanoğlu, M. , Ayberk, H. & Küçükosmanoğlu, A. (2015). İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü’nde orman yangınlarına karşı alınan koruma ve savaş uygulamalarının irdelenmesi . *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* , 65 (1) , 41-52 . DOI: 10.17099/jffiu.15503
- [11] ERTUĞRUL M (2007). Orman yangınlarında kullanılan kimyasal maddeler. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9(12), 11 - 19.
- [12] (1995). *Orman yangınlarının önlenmesi ve söndürülmesinde uygulama esasları: Tebliğ no:285*. Ankara: Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman Koruma ve Yangınla Mücadele Dairesi Başkanlığı.
- [13] SARI, A., GÜNEY, C. O., & GÜNGÖROĞLU, C. Orman Yangınları ile Mücadelede Köpük Kullanımı.
- [14] II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu. Orman yangınları ile mücadelede köpük kullanımı. (2014, 22-24 Ekim). Erişim adresi: <https://>

[www.researchgate.net/publication/286622157\\_Orman\\_Yanginlari\\_ile\\_Mucadelede\\_Kopuk\\_Kullanimi\\_The\\_Use\\_of\\_Foam\\_in\\_Forest\\_Fire\\_Fighting](http://www.researchgate.net/publication/286622157_Orman_Yanginlari_ile_Mucadelede_Kopuk_Kullanimi_The_Use_of_Foam_in_Forest_Fire_Fighting)

- [15] Kolagom-katalog-güncel-2019.pdf (2019). Yangın söndürme köpüğü. Erişim adresi: <https://www.kolagom.com/dosyalar/2020/10/kolagom-katalog-guncel-2019.pdf>
- [16] CİVELEK, B. (2020). *Design of Pressure Dependent Automatic Activation Device for Cargo Parachutes* (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [17] Boggs, C. (2015). Computed air release point data collection, post processing and applications. In *23rd AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference* (p. 2172).
- [18] Saint industries (t.y.). PCADS. Erişim adresi:<https://www.saintindustries.com/?lang=tr>



“

## Bölüm 13

**INCONEL 718 ALAŞIMININ  
TORNALANMASINDA KESME  
PARAMETRELERİNİN YÜZEY  
PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ  
ETKİLERİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE  
BELİRLENMESİ**

*Mahmut ÇELİK<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, mahmutcelik@erciyes.edu.tr Uçak Gövde ve Motor Bakımı Bölümü, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, 38030, Melikgazi, Kayseri, Türkiye

## Giriş

Süper alaşımlar sahip oldukları, yüksek sıcaklık dayanımı, korozyon direnci ve üstün mekanik özellikleri sayesinde başta havacılık ve uzay olmak üzere yüksek teknolojinin kullanıldığı birçok sektörde kullanılmaktadır.

Inconel 718, içeriğinde ana alaşım elementi olarak % 50-55 oranında Ni bulduran ve %17-21 oranında Cr, %2,8- 3,1 oranında Mo, %12-24 oranında Fe ve diğer elementlerden oluşan bir nikel-demir alaşımıdır. Inconel 718 alaşımı sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek yorulma mukavemeti ve aşınma direnci gibi özellikleri sayesinde havacılık ve uzay endüstrisinde en çok kullanılan süper alaşımlar arasında yerini almıştır [1,2]. Ticari olarak gaz türbin motorlarının türbin kanatçıklarında, turbo şarjlı rotorlarda, nükleer reaktörlerde ve sıvı yakıtlı roketlerde sıklıkla tercih edilen Inconel 718 alaşımının imalatı genellikle talaşlı imalat yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir [3,4]. Inconel 718 alaşımının işlenebilirliği ise diğer geleneksel alaşımlara kıyasla çok daha düşüktür [5]. Alaşımın işlenmesi esnasında meydana gelen sıcak sertlik nedeniyle kesici takımında deformasyonlar meydana gelmekte ve işlenebilirlik düşmektedir [6]. Öte yandan iş parçası kesici takım arasında meydana gelen yüksek sıcaklıklar nedeniyle iş parçası, kesici takımın kesme kenarına yapışarak Built-Up-Edge, (BUE) oluşturmak suretiyle yüzey kalitesini düşürmektedir [7,8]. İşlenebilirlik kapsamında talaş biçimi, yüzey kalitesi, sıcaklık, kesme kuvvetleri ve takım aşınması gibi özellikler yer almakta olup bütün bu özellikleri optimize etmek için işleme parametrelerinin seçimi büyük önem arz etmektedir [9]. İşlenebilirliği etkileyen çok sayıda faktör olmasına karşın en önemli parametreler, kesme hızı, talaş derinliği, kesici takım malzemesi ve ilerleme miktarı olarak tespit edilmiştir [1,3,10].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde Inconel 718 alaşımının işlenmesi işleminde işleme parametrelerinin yüzey kalitesi, talaş kaldırma oranı ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar tespit edilmiştir. Altın vd. [10], çalışmalarında Inconel 718 alaşımını kuru şartlar altında tornalama işlemine tabi tutup kesme hızı parametresinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kesme kuvvetinin kesme hızındaki artış ile azaldığı, yüzey pürüzlülük değerlerinin ise kesme hızının artmasıyla önce azaldığı sonrasında ise tekrar arttığı tespit edilmiştir.

Taşlıyan vd. [1], yapmış oldukları çalışmalarında, Inconel 718 alaşımını BSD torna tezgahında beş farklı kesme hızı, 2 farklı talaş derinliği ve 5 farklı ilerleme miktarı değerlerinde kuru şartlarda tornalamışlardır. Çalışma neticesinde işleme parametrelerinin esas kesme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak kesme hızı ile esas kesme kuvveti

arasında azalan-artan bir ilişki; ilerleme miktarı ile esas kesme kuvveti arasında artan ilişki tespit edilmiştir.

Motorcu [7] tarafından yapılan çalışmada Inconel 718 alaşımı kaplamalı ve kaplamasız takımlarla işlenmiştir. Sonuç olarak düşük kesme hızlarında kaplamasız takımların kullanılabilceği ancak yüksek kesme hızlarında PVD ve CVD kaplamalı takımların daha kullanışlı olacağı bildirilmiştir. Öte yandan kriyojenik soğutma metoduyla takım ömrünün iki kattan fazla arttığı da tespit edilmiştir.

Ramanujam vd. [11] Inconel 718'in kuru tornalanmasında işleme parametrelerinin istatistiksel modellemesi ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Taguchi L9 deneysel tasarım mantığının kullanıldığı deneylerde takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak en etkili parametrelerin ilerleme miktarı ve talaş derinliği olduğu belirlenmiştir.

Senthilkumar vd. [12] üç farklı kaplamalı karbür kesici takım ile Inconel 718 alaşımını işlemişlerdir. Kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği parametrelerinin takım aşınması, talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkilerini çok amaçlı optimizasyon yöntemiyle araştırmışlardır.

Zhou ve ark. [6] kaplamalı ve kaplamasız CBN takımlar aracılığıyla Inconel 718 alaşımını yüksek hızlarda işlemek suretiyle oluşan yüzeylerin yüzey kalitelerini karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda özellikle düşük ilerleme miktarlarında kaplamalı takımların kaplamasız takımlara kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu ve bu durumun kaplama malzemesinin iş parçası yüzeyine yapışarak yığıntı oluşturmasıyla ilişkilendirildiği raporlanmıştır.

Thakur vd. [13] tarafından yapılan çalışmada Inconel 718 alaşımının tungsten karbür kesici takımlarla tornalanmasında işleme parametrelerinin kesme kuvvetleri, kesme basıncı ve sıcaklığı, takım aşınması ve yüzey özellikleri üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır.

Bu çalışmada ise Inconel 718 alaşımından imal edilmiş çubuk şeklindeki iş parçaları farklı seviyelerdeki, kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı değerlerinde kuru tornalama işlemine tabi tutulmuş ve işleme parametrelerinin, yüzey pürüzlülük değeri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde elde edilen Taguchi tahmin fonksiyonu ile gerçek deneysel sonuçlar kıyaslanarak Taguchi tahmininin doğruluk oranı hesaplanmıştır.

### **Taguchi Yöntemi**

Taguchi yöntemi işlem parametrelerini analiz ve optimize etmek için 1950'li yıllarda Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bir süreç eniyi-

leme yöntemidir [14]. Taguchi yöntemi işleme parametrelerinin farklı seviyeleri arasından optimum sonuçları sağlayacak kombinasyonu tespit etmek için kullanılan kullanışlı bir yöntemdir [15]. Bütün parametrelerin bütün seviyelerini test etmek için kullanılan tam faktöriyel deneysel tasarım yönteminde özellikle artan parametre/seviye değerlerinde deney sayıları çok yüksek sayılara çıkmaktadır. Taguchi deneysel tasarım yönteminde ise işlem sonuçlarına etkisi olduğu varsayılan ana parametrelerin etkileri, çok daha az sayıda deney yapılarak yüksek doğruluk oranında tespit edilebilmektedir.

Taguchi yönteminde ürün ve süreç tasarımı için sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere üç temel aşama tanımlanmaktadır.

Yöntemin ilk adımı olan sistem tasarımında sahip olunan bütün materyaller değerlendirilerek sistemin fizibilitesi gerçekleştirilir. Bu adımda en az maliyetle en iyi sonucu veren tasarımın belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Yöntemin en önemli adımı olan parametre tasarımı adımında üretilen ürünün en iyi seviyeye getirilmesi için işlem parametrelerinin iyileştirilmesi sağlanır. Optimum parametre seviyeleri belirlenir. Bu adımda parametreler Taguchi tarafından geliştirilen ortogonal diziler kullanılır. Bu adımda aynı zamanda sinyal/gürültü oranı (S/N) analizi ile hesaplamalar yapılabilir.

Parametre belirleme sonucunda istenilen sonuca ulaşamaması durumunda ise ilave çalışmaların yapıldığı tolerans tasarımı adımına geçilmektedir. Bu aşamada elde edilen sonuçlardan yararlanarak çıktının hedef değerden sapma miktarı minimize edilir. [16]

Sinyal/gürültü oranı, ortalamanın standart sapmaya oranı olarak tanımlanıp bir kalite karakteristiği olarak belirlenmiştir. S/N oranlarında 3 temel yaklaşım olup, bunlar;

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i:1}^n y_i^2 \right)$$

b) En yüksek olan en iyidir:

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i:1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

c) Ortalama olan en iyidir:



$$S/N = -10 \log \left( \frac{\bar{y}}{s^2 y} \right)$$

şeklindedir.

1. koşul aşınma, yüzey pürüzlülüğü gibi düşük değerlerin amaçlandığı durumlarda; 2. koşul verim, güç gibi yüksek değerlerin amaçlandığı durumlarda; 3. koşul ise ürün boyutu gibi ortalamanın amaçlandığı durumlarda kullanılır. Her üç koşulda da en yüksek S/N oranı en iyi değeri vermektedir.

## Deneysel Çalışmalar

### İş Parçası Malzemesi

Deneylerde ticari olarak temin edilmiş 12,7 mm çapa sahip 150 mm boyutlarında Inconel 718 süper alaşımı kullanılmış olup iş parçasının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2’de sırasıyla verilmiştir.

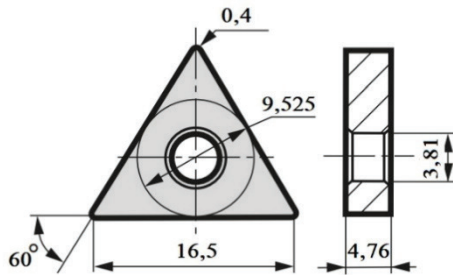
Tablo 1 Inconel 718 malzemesinin kimyasal bileşimi

Element (%)	Ni	Cr	Fe	Mo	Ti	Diğer
	53,50	19,38	22,17	3,06	1,02	0,87

Tablo 2. Inconel 718 malzemesinin mekanik özellikleri

Özellik	
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	891
Akma Dayanımı (MPa)	1104
Çekme Dayanımı (MPa)	1345
Sertlik (HRC)	42

### Takım Tezgahı ve Kesici Takım





Şekil 1. Deneylerde kullanılan kesici takım

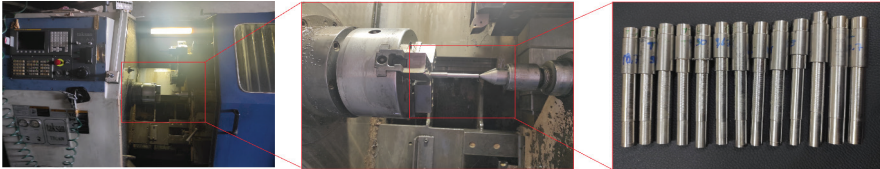
Deneyler FANUC kontrol ünitesine sahip TAKSAN TTC-630 CNC torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. 20 KW güce sahip olan tezgah en fazla 4000 dev/dak devir sayısına sahiptir. Deneylerde TNMG160404N-EG geometrisine sahip Sumitomo Electric firması tarafından süperalaşımların işlenmesi için özel olarak üretilen AC5025S serisi kesici takımlar kullanılmış olup takım geometrisi Şekil 1’de görülmektedir. Kesici takımlar her deney sonrasında değiştirilmiş ve TTG NR 2525 M16 kodlu takım tutucuya bağlanarak tornalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Takım tezgahı ve işlenmiş numune görüntüleri ise Şekil 2’de görülmektedir.

### *İşleme Parametreleri*

Deneyler, kesici takım üreticisi tarafından tavsiye edilen işleme parametreleri esas alınarak kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği parametrelerinin 3’er farklı seviyelerinde belirlenmiştir. Deneysel tasarım aşamasında Taguchi yöntemi esas alınarak  $L_9$  ortogonal dizisi kullanılmış olup işleme parametreleri ve seviyeleri Tablo 3’de görülmektedir. Taguchi tahmin yönteminin doğruluk oranını belirlemek amacıyla  $L_9$  dizinde yer almayan 4 farklı deney de test verileri olarak kullanılmak amacıyla deneysel tasarıma eklenmiştir. Deneysel tasarım ise Tablo 4’te görülmektedir.

Tablo 3. İşleme parametreleri ve seviyeleri

İşleme Parametresi	Seviyeler		
	1	2	3
Kesme Hızı, $V_c$ (m/dak)	30	50	80
İlerleme Miktarı, $f$ (mm/dev)	0,1	0,15	0,2
Kesme derinliği, $a_p$ (mm)	0,5	1	1,5



Şekil 2. Takım tezgahı ve işlenmiş numuneler

Tablo 4. Deney koşulları

Deney No	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı	Kesme derinliği
1	30	0,10	0,5
2	30	0,15	1,0
3	30	0,20	1,5
4	50	0,10	1,0
5	50	0,15	1,5
6	50	0,20	0,5
7	80	0,10	1,5
8	80	0,15	0,5
9	80	0,20	1,0
T1	30	0,20	1,0
T2	80	0,15	1,5
T3	30	0,10	1,0
T4	50	0,15	0,5

### Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçümü

Yüzey pürüzlülük ölçümleri Accretech Marka Handysurf +35 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı aracılığıyla ölçülmüştür. Ölçümler her bir deney numunesinin numune eksenine paralel olarak 4 farklı noktasından yapılmış, aritmetik ortalamaları hesaplanmış ve ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) olarak kaydedilmiştir.

### DeneySEL Sonuçlar

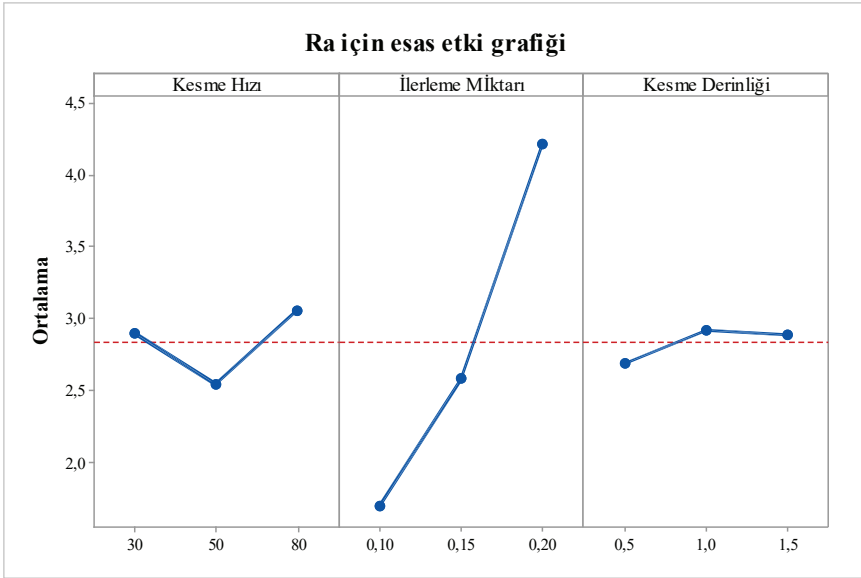
#### Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları Tablo 5'te toplu olarak görülmektedir. Tablo incelendiğinde Ra değerlerinin 1,610  $\mu\text{m}$  ile 4,509  $\mu\text{m}$  aralığında değiştiği görülmektedir. 9 deneyin ortalaması ise 2,834  $\mu\text{m}$  olmaktadır.

Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Deney No	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı	Kesme derinliği	Ra ( $\mu\text{m}$ )
1	30	0,10	0,5	1,610
2	30	0,15	1,0	2,539
3	30	0,20	1,5	4,546
4	50	0,10	1,0	1,717
5	50	0,15	1,5	2,340
6	50	0,20	0,5	3,584
7	80	0,10	1,5	1,788
8	80	0,15	0,5	2,877
9	80	0,20	1,0	4,509
T1	30	0,20	1,0	4,184
T2	80	0,15	1,5	2,540
T3	30	0,10	1,0	1,928
T4	50	0,15	0,5	2,478

Her bir parametrenin ortalama Ra değerleri üzerindeki etkisi Şekil 3'te görülmektedir. Şekilde kırmızı kesikli çizgi 9 deneyin ortalaması olan 2,834  $\mu\text{m}$  değerini göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere kesme hızının 1. seviyeden 2. seviyeye yükselmesiyle ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde bir azalış meydana gelmiştir. Kesme hızının artması takım ve talaş ara yüzeyindeki sıcaklığın artmasına ve dolayısıyla plastik deformasyon işleminin daha kolay gerçekleşmesine sebep olmaktadır [17]. Yüzey pürüzlülüğündeki azalma bu durumla ilişkilendirilebilir. Ancak kesme hızındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış meydana gelmekte ve yüzey kalitesi azalmaktadır. Kesme hızının artışı belirli bir seviyeden sonra takım aşınmasının artmasına ve bunun neticesinde sürtünme kuvvetlerinin artmasına ve talaş kaldırma işleminin zorlaşmasına sebep olmaktadır [18]. Yüzey pürüzlülük değerlerinin artması bu durumla ilişkilendirilebilir.



Şekil 3. Parametrelerin Ra üzerindeki ortalama etkileri

İlerleme miktarındaki artış ortalama yüzey pürüzlülüğünde ciddi artışlara sebep olmaktadır. Tüm deneylerde ilerleme miktarının 1. seviyesi olan 0,1 mm/dev seviyesinde Ra değeri ortalaması 1,705  $\mu\text{m}$  iken bu değer 2. seviye olan 0,15 mm/dev değerinde %51 oranında artarak 2,586  $\mu\text{m}$  olmaktadır. İlerleme miktarının 0,2 mm/dev değerinde ise Ra değerler ortalaması bir önceki seviyeye göre % 62 artarak 4,213  $\mu\text{m}$  olmaktadır. İlerleme miktarı parametresinin özellikle kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [19]. Yüzey pürüzlülüğündeki bu artış da talaşlı imalat sürecinde kesme kuvvetlerindeki artışla bağdaştırılabilir.

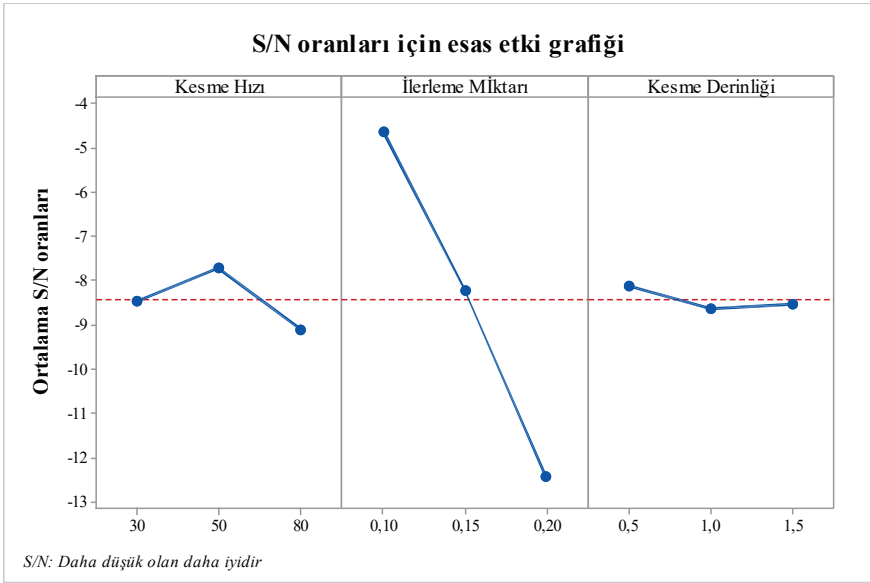
Kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine bakılacak

olursa diğer parametrelere nazaran kesme derinliğinin daha ez etki ettiği görülmektedir. Kesme derinliğindeki artış takım tarafından birim zamanda kaldırılacak talaş hacmini artıracacağı için takım üzerine etkiyen mekanik ve ısıl yüklerin de artmasına sebep olacaktır. Bu durum yüzey kalitesi üzerinde olumsuz etkiye sebep olmaktadır.

### ***Deney Sonuçlarının Taguchi Yöntemiyle Analizi***

Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin en düşük değerini veren parametrelerin belirlenebilmesi için S/N oranı hesaplanmasında “en düşük olan en iyidir” yaklaşımı esas alınmış ve S/N değerleri bu doğrultuda Minitab 17 paket programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Parametrelerin seviye bazında S/N değerleri ise Şekil 4’te görülmektedir. En yüksek S/N değeri Ra açısından en iyi sonucu veren seviyeyi göstermektedir. Yani kesme hızı için en iyi seviye 50 m/dk, ilerleme miktarı için 0,1 mm/dev ve kesme derinliği için 0,5 mm değerleridir. Ra için elde edilen S/N cevap tablosu Tablo 6’da görülmektedir.

Tablo incelendiğinde yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde en etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu ve bunu sırasıyla kesme hızı ve kesme derinliği parametrelerinin takip ettiği görülmektedir. Bu durum Şekil 3’te yer alan grafikleri de doğrular niteliktedir.



Şekil 4. Parametrelerin S/N üzerindeki ortalama etkileri

Tablo 6. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri açısından S/N değerleri

Seviye	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı	Kesme Derinliği
1	-8,461	-4,626	-8,134
2	-7,722	-8,219	-8,624
3	-9,103	-12,440	-8,528
Δ	1,380	7,814	0,490
Etki sırası	2	1	3

### Deney sonuçlarının Taguchi yöntemiyle tahmin edilmesi

Yapılan 9 deneyden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden yararlanarak elde edilen Taguchi tahmin modeli ile yapılan tahminler neticesinde elde edilen sonuçlar ve ölçülen test verileri Tablo 7’de verilmiştir. Yüzde hata Eş. 1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Hata\ oranı = \frac{|Ra_{tahmin} - Ra_{ölçülen}|}{Ra_{ölçülen}} \cdot 100 \quad (1)$$

Burada;

$Ra_{tahmin}$ : Taguchi tahmin modeli tarafından oluşturulan Ra değerini

$Ra_{ölçülen}$ : Ölçüm sonucu elde edilen Ra değerini ifade etmektedir.

Tablo incelendiğinde Taguchi tahmin modelinin ortalama % 91,53 oranında bir doğrulukla Ra değerlerini tahmin ettiği görülmektedir. Elde edilen tahmin modeli ile deneysel çalışma yapmadan parametrelerin seviyelerine göre elde edilecek Ra değerlerini % 91,53 doğrulukla tahmin etmek mümkündür.

Tablo 7. Taguchi tahmin modeli ile elde edilen değerler ve test verileri

Deney No	Ölçülen Ra	Tahmin edilen Ra	Hata Oranı
T1	4,184	4,364	%4,3
T2	2,540	2,865	%12,8
T3	1,928	1,856	%3,7
T4	2,478	2,154	%13,0

## Sonuçlar

Bu çalışmada Inconel 718 alaşımının tornalanmasında kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği faktörlerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Takım imalatçısı tarafından tavsiye edilen değerler doğrultusunda planlanan deneysel tasarım sonucunda elde edilen değerler Taguchi yöntemiyle analiz edilmiştir. Ayrıca Taguchi tahmin modeli oluşturulmuş ve tahmin modeli test deneyleri neticesinde elde edilen verilerle doğrulanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Taguchi analizi neticesinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktör ilerleme miktarı olarak tespit edilmiş ve bunu sırasıyla kesme hızı ve kesme derinliği parametreleri takip etmiştir.

İlerleme miktarındaki artış yüzey pürüzlülüğü üzerinde dramatik bir artışa sebep olmuştur.

Kesme hızındaki artış bir seviyeye kadar yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etki gösterirken Inconel 718 malzemesinin sahip olduğu sıcak sertlik özelliği sebebiyle bir seviyeden sonra olumsuz etki göstermiştir.

Kesme derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğü nispeten düşük miktarlarda da olsa artmış ve yüzey kalitesi bozulmuştur.

Yapılan deneylerden elde edilen verilere dayanarak oluşturulan Taguchi tahmin modelini doğrulamak amacıyla deneysel dizinde yer alan 4 deney daha yapılmış ve ölçüm sonuçları tahmin modeli tarafından oluşturulan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda Taguchi tahmin modelinin % 91,57 doğruluk oranıyla tahmin oluşturduğu görülmüştür.

## Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. (Proje No: FKB-2021-11178)

## KAYNAKLAR

- [1] A. Taşlıyan, M. Acarer, U. Şeker, H. Gökkaya, B. Demir, Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkisi The Effect Of Cutting Parameters On Cutting Force During The Processing Of Inconel 718 Super Alloy, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* 22 (2007) 1–5.
- [2] K. Mahesh, J.T. Philip, S.N. Joshi, B. Kuriachen, Machinability of Inconel 718: A critical review on the impact of cutting temperatures, *Mater. Manuf. Process.* 36 (2021) 753–791. <https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1843671/FORMAT/EPUB>.
- [3] A. Aytaç, K. Aztekin, INCONEL 718 ALAŞIMININ SERAMİK TAKIMLA TORNADA İŞLENEBİLİRLİĞİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN TAGUCHI METHODU İLE ARAŞTIRILMASI, *Bilim Derg. Sci. J. Turkish Mil. Acad.* Aralık. 29 (2019) 229–246.
- [4] T. Karthik Reddy, S. Kosaraju, R. Nuka, Experimental study and optimization of turning Inconel 718 using coated and uncoated inserts, *Undefined.* 19 (2019) 512–516. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2019.07.645>.
- [5] E.O. Ezugwu, Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 45 (2005) 1353–1367. <https://doi.org/10.1016/J.IJMACHTOOLS.2005.02.003>.
- [6] J. Zhou, V. Bushlya, P. Avdovic, J.E. Ståhl, Study of surface quality in high speed turning of Inconel 718 with uncoated and coated CBN tools, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2011 581. 58 (2011) 141–151. <https://doi.org/10.1007/S00170-011-3374-7>.
- [7] A.R. Motorcu, U. Üniversitesi, T. Bilimler, M. Yüksekokulu, NİKEL ESASLI SÜPERALAŞIMLARIN VE TİTANYUM ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİĞİ 1. BÖLÜM: SİNERLENMİŞ KARBÜR TAKIMLARIN PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.* 25 (2009) 302–330. <http://fbe.erciyes.edu.tr/> (accessed December 18, 2021).
- [8] R.P. Zeilmann, F. Fontanive, R.M. Soares, Wear mechanisms during dry and wet turning of Inconel 718 with ceramic tools, (n.d.). <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0329-7>.
- [9] A. Marques, M. Paipa Suarez, W. Falco Sales, Á. Rocha Machado, Turning of Inconel 718 with whisker-reinforced ceramic tools applying vegetable-based cutting fluid mixed with solid lubricants by MQL, *J. Mater. Process. Technol.* 266 (2019) 530–543. <https://doi.org/10.1016/J.JMAT-PROTEC.2018.11.032>.
- [10] A. Altın, H. Gökkaya, M. Nalbant, İşleme Parametrelerinden Kesme Hızının Inconel 718 Süper Alaşımın İşlenebilirliğine Etkisi, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* 21 (2006) 581–586.



- [11] R. Ramanujam, K. Venkatesan, V. Saxena, P. Joseph, Modeling and Optimization of Cutting Parameters in Dry Turning of Inconel 718 Using Coated Carbide Inserts, *Procedia Mater. Sci.* 5 (2014) 2550–2559. <https://doi.org/10.1016/J.MSPRO.2014.07.508>.
- [12] K.M. Senthilkumar, R. Thirumalai, T.A. Selvam, A. Natarajan, T. Ganesan, Multi objective optimization in machining of Inconel 718 using taguchi method, *Mater. Today Proc.* 37 (2021) 3466–3470. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.09.333>.
- [13] D.G. Thakur, B. Ramamoorthy, L. Vijayaraghavan, Study on the machinability characteristics of superalloy Inconel 718 during high speed turning, *Mater. Des.* 30 (2009) 1718–1725. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2008.07.011>.
- [14] Y. Iç, S. Yıldırım, ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE BİRLİKTE TAGUCHI YÖNTEMİNİ KULLANARAK BİR ÜRÜNÜN TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.* 27 (2012) 447–458. <https://doi.org/10.1007/S00170-010-3029-0>.
- [15] R. Thirumalai, J.S. Senthilkumaar, P. Selvarani, S. Ramesh, Machining characteristics of Inconel 718 under several cutting conditions based on Taguchi method, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 227 (2013) 1889–1897. <https://doi.org/10.1177/0954406212466193>.
- [16] S. Tasgetiren, B. Gökce, Kalite İçin Deney Tasarımı, *Makine Teknol. Elektron. Derg.* 6 (2009) 71–83. [https://www.researchgate.net/publication/260389787\\_Kalite\\_Icin\\_Deney\\_Tasarimi](https://www.researchgate.net/publication/260389787_Kalite_Icin_Deney_Tasarimi) (accessed September 8, 2022).
- [17] B. Karayel, M. Nalbant, Ç4140 MALZEMESİNİN TORNALAMASINDA İLERLEME, KESME HIZI VE KESİCİ TAKIMIN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ, TAKIM ÖMRÜ VE AŞINMAYA ETKİLERİ | TRDizin, *Makine Teknol. Elektron. Derg.* 11 (2014) 11–16.
- [18] T. Kivak, K. HABALI ve Ulvi ŞEKER, M. Bölümü, C. Meslek Yüksekokulu, M. Eğitimi Bölümü, T. Eğitim Fakültesi, G. Üniversitesi, INCONEL 718'İN DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TALAŞ OLUŞUMU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS AND CHIP FORMATION IN DRILLING OF INCONEL 718 SUPER ALLOY, *Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt.* 25 (2010) 293–298.
- [19] P. Muthuswamy, V.G.V. Murugesan, Machinability analysis in high speed turning of Ti–6Al–4V alloy and investigation of wear mechanism in AlTiN PVD coated tungsten carbide tool, *Eng. Res. Express.* 3 (2021) 045011. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/AC2E12>.



“

## Bölüm 14

### **NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALARIN GIDA MUHAFAZASINDA KULLANIMI**

*Halil YALÇIN<sup>1</sup>*

*Ali SOYUÇOK<sup>2</sup>*

”

1 Doç. Dr., Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, ORCID:0000-0003-2162-2418.

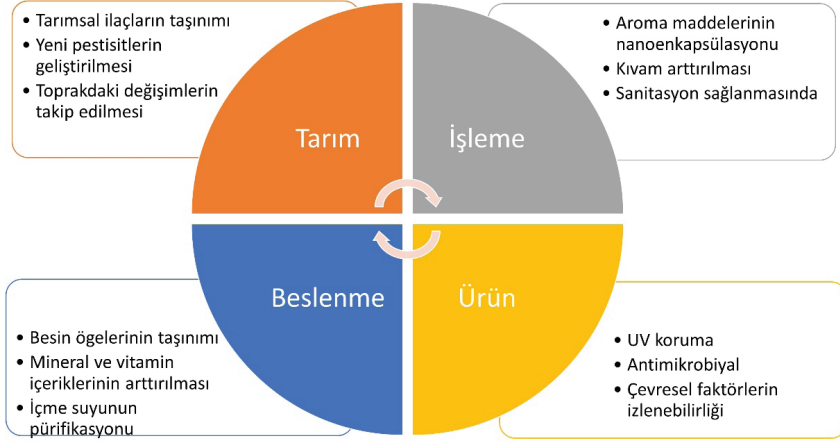
2 Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, ORCID: 0000-0003-2626-5827.

## Giriş

Günümüzdeki önemli kavramlardan biri olan nanoteknoloji atomik ve moleküler boyuttaki yapıların malzeme, elektronik, ilaç ve gıda sanayi gibi alanlarda kullanılması olarak tanımlanabilir. Nanoteknoloji biyoteknoloji, biyomedikal ve gıda teknolojisi alanlarında insan hayatı üzerinde faydalı etkileriyle dikkat çekmektedir (Bumbudsanpharoke ve ark. 2015).

Nanopartiküller, çubuk benzeri şekil, piramit yapısı, mikro çiçek vb. gibi morfolojik yapılar açısından zengin olup, benzerlerine göre daha fazla yüzey alanına sahiptir ve bu da biyosensör, gıda ambalajı, nanotıp ve biyo-nanoteknoloji gibi çeşitli alanlarda kullanılmalarına olanak tanımaktadır (Nikalje, 2015). Nanopartiküllerin antibakteriyel aktivitesi, fiziksel ve kimyasal kararlılıkları, mükemmel manyetik özellikleri ve büyük kafes sabiti değerleri nedeniyle dünya çapında büyük ilgi görmüştür. Bu özellikler gıda biliminde, gıdanın genel kalitesini, raf ömrünü, tadını, lezzetini ve işlenebilirliğini arttırmak için gereklidir.

Gıdaların bozulduğunu veya raftan ömrünün dolduğunu izlenmesi gıda güvenliğini artmasını sağlamakta bu sayede tüketici sağlığı güvence altına alınmaktadır. Tüketiciler sürekli olarak gıda üretimi, işlenmesi ve saklama koşulları ile ilgili bilimsel verilerin gıdalar üzerinde belirtilmesini talep etmekte ve bu nedenle tüm verilerin sistematik olarak kaydedilmesi büyük önem taşımaktadır. Mikrobiyoloji, biyokimya ve nanobilimin kombinasyon teknolojisi, analitik potansiyel parametrelerin hızlı ve uzaktan algılanması ve kaydedilmesi konusunda yeni bir boyut açmaktadır. Salmonelloz ve botulizm, nanosensör tabanlı alternatif toksin tespit yöntemlerinin aranmasını hızlandıran temel itici güçlerdendir. Çiğ ve işlenmiş gıdalarda veya hayvan yemlerinde bakterilerin çoğalmadan önce kontaminasyonun tespiti, bu kombinasyon teknolojisiyle elde edilen en büyük adımlardandır. Ağır metaller, partiküller, patojenler, toksinler, alerjenler, beslenme dışı faktörlerin ve dışsal faktörlerin (ışık, nem, sıcaklık vb.) tespiti, biyoteknoloji bazlı nanosensörlerin potansiyel uygulama alanlarıdır (Scott ve Chen, 2003). Gıda endüstrisinde nanoteknolojik tekniklerinin uygulanma amaçları Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1:** Nanoteknolojik tekniklerinin gıda endüstrisinde kullanım alanları

Nanopartiküllerin antibakteriyel etki mekanizması, (i) hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ), OH (hidroksil radikalleri) ve peroksit dahil olmak üzere aşırı ROT (Reaktif oksijen türleri) üretimi; ve (ii) bakteriyel dış yüzeyde nano partiküllerin çökeltilmesi sonucunda hücre zarı geçirgenliğinin ve hücresel aktiviteleri bozulmasıyla açıklanmaktadır. Tüm bu etkiler bakteriyel büyümenin inhibisyonuna sebep olmaktadır. Nanopartiküller sadece patojenleri değil, aynı zamanda zararlı mantarları ve virüsleri de yok etmeye yardımcı olur. Bununla birlikte nanoteknolojinin gıda sektöründeki mevcut uygulamaları ve gelecek perspektifleri de tartışılmaktadır. Hasat sonrası kaybı durdurmak için mahsul işlemeye ve sonraki işlemlere daha fazla odaklanmak gerekmektedir. Böylece, nanopartiküller sürdürülebilir hareket için akıllı bir madde görevi görebilir (Kumar ve ark., 2020).

Nanoteknoloji gıda ambalaj malzemelerinin (aktif ambalajlama, akıllı ambalajlama, geliştirilmiş ambalajlama ve biyolojik olarak parçalanabilen ambalajlama vb.), gıda katkı maddelerinin, gıda nano-sensörlerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumar ve ark., 2020). Gıda bozulması ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesinde nanoteknolojinin kullanılması gerekmektedir. Küresel olarak gıda kaynaklı hastalıklar sadece ekonomiyi değil, insan sağlığını da kötü etkilemektedir. Bu nedenle, gıda zehirlenmesine neden olan bakteri, mantar ve virüsleri tespit etmek için nanosensörler gibi yeni teknolojik yaklaşımlar önem kazanmaktadır (Duncan, 2015).

Nanopartiküllerin ambalaj malzemelerine uygun şekilde dâhil edilmesi, gıda kaynaklı patojenlerle temas ettikleri gıda yüzeyinde bu bakterilerin ölümüne veya inhibisyonu aracılığı ile ürünün raf ömrünü uzat-

maktadır (Nafchi ve ark., 2012). Bakterisidal nanomalzeme çalışmalarının önemi, en güçlü antibiyotiklere karşı yeni dirençli bakteri suşlarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Bu, gümüş iyonlarının ve gümüş nanopartiküller de dahil olmak üzere gümüş bazlı bileşiklerin iyi bilinen aktivitesinde araştırmaları teşvik etmiştir. Bu etki boyuta ve kullanılan doza bağlı olup, Gram-negatif bakterilerden ziyade Gram-pozitif organizmalarda daha fazladır (Singh ve ark., 2008).

Metallere, oksitlere ve organik bileşiklere bağlı farklı partiküllerin kullanımı, polimer antimikrobiyal aktivitesini arttırmak için hayati önem taşır. Örneğin, gümüş (Ag) partikülleri bu amaç için kullanılabilir çünkü Ag, birçok bakteri türüne (150 civarında) karşı antibakteriyel ve antifungal aktivite gösterir ve hali hazırda farklı ticari ürünlerde bulunmaktadır (Marra ve ark., 2016). AgNP'ler gıda kaynaklı patojen bakterilere (*Escherichia coli* ve *Listeria monocytogenes*) karşı aktiftir (Shankar ve ark., 2018). Gümüş nanoparçacık kaplı gıda ekipmanları gıda işlem sırasında gıdaların kalitesini koruyarak gıda israfını azaltmaktadır (Handford ve ark., 2014)

Antibakteriyel özellikler ile farklı ZnO nanoparçacıklarının açıkta kalan yüzey alanı arasında doğru orantılı bir ilişki bulunmaktadır (Fahmy ve ark., 2020). Literatürde ZnO nanoparçacıklarının biyopolimerik matrislere dahil edildiğinde mekanik ve bariyer özelliklerini zenginleştirdiği belirtilmiş olsa da, *L. monocytogenes*'un inhibisyonu daha yüksek miktarda ZnO ihtiyacı vardır (Castro-Mayorga ve ark., 2017).

Yeni nanokompozitlerin geliştirilmesi, hidrolitik, kompostlama ve biyolojik olarak parçalanabilen polimerlere yönelik enzimatik özellikler gibi biyolojik bozunmanın özelliklerine ve koşullarına bağlıdır. Biyo-tabanlı ve biyo-bozunur nanokompozitler gıda paketleme teknolojisinin temelini oluşturmaktadır. Ayrıca, ticari polimer matrislere dayalı polimer nanokompozitler kurulmuş ve gelişmiş özelliklere sahip birkaç nano ölçekli malzeme ile birleştirilmiş uygun biyo-tabanlı ve biyobozunur polimer matrisleri elde etmek için başarı noktaları değiştirilerek nano ölçekli dolgu dağılımı gerçekleştirilmiştir. Bu yapılar, polisakkaritler ve proteinler gibi tarımsal kaynaklardan, biyoteknolojiden (örnek olarak, poli(laktik asit), poli(hidroksialkanoatlar) veya petrokimyasal kaynaklardan, örneğin PCL'den gelen biyopolimerleri içerir (Fahmy ve ark., 2020).

Gıdalar hasat ve işleme sırasında kimyasal ve mikrobiyolojik unsurlarla kontamine olmakta; bu nedenle, bu ürünler her zaman gıda kaynaklı hastalık riski taşımaktadır. Mikroorganizmaların tespiti ve uzaklaştırılması, gıda muhafazasını sağlamanın tek yoludur. Toksin, saprofit ve patojen mikroorganizmaların tespiti, raf ömrü tahmini ortaya çıkan yeni teknolojilerle ele alınması gereken geleneksel tehlikelerdir. Kolera toksinin

tespitinde nanopartikül bazlı kolorimetrik testler ve moleküler tekniklerin kullanımı olumlu sonuçlar sağlanmıştır (Tark ve ark., 2010).

Stanković ve ark. (2009), antikör katkılı silika nanoparçacıkları kullanarak bakterilerin floresan bazlı miktar tayini ile 20 dakikadan daha kısa bir sürede gerçekleştiği ifade edilmiştir. Bu yöntem ile *Salmonella* spp., *Bacillus* spp., *Escherichia coli* O157:H7'nin yanısıra, Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteri türleri için de kullanılabilir olduğu ve kıyma örneklerinde de gıda güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılabilir (Stanković ve ark., 2009).

Gıda muhafazasında nanoteknolojiye dayalı teknikler, gıda bozulmalarının belirlenmesini ölçülebilir bir hale getirmektedir. Bu işlemlerin kombine olarak kullanımı hoş olmayan kokuları maskeleyebilmektedir (Davies, 2007). Nanoteknoloji özellikli etiketleme cihazları, ürün geçmişinin daha detaylı analizinde kullanılmaktadır. Ticari olarak eksiksiz uygulamalarda çiftlikten çatala kadar ürünün hammaddeden dönüşümü takip edilebilmesi mümkün olmaktadır. Ayrıca gıdaların soğuk zincir ile taşınması sırasında meydana gelen sıcaklık dalgalanmasının bilinmesi ve zamanının tespiti ürün kalitesinde meydana gelen kusurların detaylı tespitini de sağlamaktadır (Sahoo ve ark., 2021).

Bu kitap bölümünde, gıda ambalajlama ve gıda katkı maddelerinde nanoteknolojik tekniklerin kullanımının gıda raf ömrüne olan etkilerini vurgulanmaktadır. Ayrıca gıda ambalajlamada kullanılan nanokompozit/kompozit malzemelerin sentezi ve bu malzemelerin biyo-bozunurlukları hakkında bilgiler verilmiştir.

### **Gıda Mikrobiyolojisinde Nanoteknoloji Uygulamaları**

Nanoteknoloji; depolama, kalite izleme, gıda işleme ve gıda paketleme dâhil olmak üzere gıda zincirinin her alanında uygulanma potansiyeline sahiptir. Gıda endüstrisindeki nanoteknoloji uygulamaları, akıllı paketlemeden, tüketicilerin besin ihtiyaçları ve zevklerine bağlı olarak geliştirilen gıdalara kadar birçok etkileşim alanı bulmuştur (Nasr, 2015). Gıda bilimi ve endüstrisinin temel konusu bozulma etmeni ve patojen mikroorganizmalar içermeyen güvenli ve kaliteli gıda ürünleri üretmektir. Nanoteknolojinin gıda biliminde temel uygulama alanları; patojen ve bozulma etmeni mikroorganizmaların tespitinde ve inhibisyonunda nanoparçacıkların ve nanosensörlerin geliştirilmesidir.

Mikromekanik osilatörlerin ve nanoteknolojinin kullanımıyla geliştirilen bir nanokonsol bazlı biyosensör kullanımının gıdalardaki *E. coli* varlığının tespitinde kullanılmaktadır (Lange ve ark., 2002). Benzer bir yöntemde Gram negatif bakterilerin tespit süresi 1 saate kadar indirilmiştir. Nanokonsolun, sıcaklık, yüzey gerilimi ve kütle gibi fiziksel paramet-

relerin tespitinde de etkili olduğu kanıtlanmıştır. Tek bir elektronik çip üzerine monte edilmiş kombinasyon halinde değişen moleküler tanıma özelliğine sahip çoklu konsollar, toksinleri ve mikrobiyal kontaminasyonu aynı anda tespit etmek için kullanılabilir (Mabeck ve ark., 2006). Moleküler baskılı nanoyapılı polimerler, gıda kalite kontrolü için hem küçük molekülleri hem de makromolekülleri ölçmek için geliştirilmektedir. Gıda örneklerinde tersiyer bütül hidrokinoun tespiti için silika çekirdekli nanopartiküller kullanılabilir (Balram ve ark., 2021). Glikoz, asit, antioksidan ve tripsin tespitinde polimerler bazlı moleküler parmak izine dayalı nanosensörler kullanılabilir (Peng ve ark. 2022).

Sentezlenen gümüş nanoparçacıklarının, test edilen mikroorganizmalar arasında en iyi antimikrobiyal aktiviteyi *E. coli* ve *Penicillium spp.*'ye karşı gösterdiği ifade edilmiştir (Ajitha ve ark., 2014).

Ambalajlı bir gıdanın geçmiş olduğu işlemlerinin belirtilmesinde nanobarkodlar kullanılmaktadır. Nanobarkodlama sayesinde alerjenler, mikrobiyal yük, kullanılan gıda katkı maddelerinin toksisitesi, veteriner ilaç kalıntılarının ve besin değerleri barkodlama sistemiyle tüketicilere sunulabilmektedir (Arora, 2018).

### **Nanopartiküllerin antimikrobiyal aktiviteleri etkisi**

Gümüş-silika nanokompozit içeren polistiren ile yüzey temasından dolayı mikrobiyal büyümenin inhibisyonu, gümüş nanokompozit ile fonksiyonel hale getirilen malzemelerin etkili antimikrobiyal özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Egger ve ark., 2009). Katyonik peptid nanopartiküller, negatif yüklü bakteri hücre yüzeylerine girebilen ve ardından parçalayabilen sarmallar veya tabaka benzeri yapılar oluşturur. Amfifilik bir peptidin kendi kendine bir araya gelmesiyle oluşan bu nanopartiküller, bir dizi bakteri, maya ve mantara karşı güçlü antimikrobiyal özelliklere sahiptir. Bu şekilde dizayn edilen nanopartiküller, farelerde *Staphylococcus aureus* enfeksiyonuna karşı yüksek bir terapötik etki göstermiştir (Liu ve ark., 2009).

Enkapsülasyon tekniği nanoteknoloji ile kombinasyonundan ortaya çıkan nanoenkapsülasyon uygulamaları genellikle antimikrobiyal çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ravichandran ve ark. (2011), polilaktik-ko-glikolik asit nanoparçacıklarıyla benzoik asidin (1100 µg/mL) enkapsüle edilmesi, çiğ ve pişmiş tavuk etlerinde *L. monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium* ve *E. coli*'yi inhibe ettiğini bildirmiştir. Benzoik asidin etkisiyle depolamanın 9. ve 14 günlerinde benzoik asidin salınımları *S. Typhimurium*'da 1.0 ve 1.6 log KOB/g azalma ve *L. monocytogenes*'de 1.1 ve 3.2 log KOB/g azalma meydana geldiği ifade edilmiştir. Fenolik maddelerin nanoenkapsülasyonu antimikrobiyal aktivitenin uzun sürede sağlanarak gıda güvenliğinin arttığı belirtilmiştir.



Nanoenkapsülasyon, geleneksel uygulama ile karşılaştırıldığında antimikrobiyal maddenin yavaş salınımı ile inhibisyon oranının arttığı ve bu sayede daha uzun süre antimikrobiyal etkinliğinin sürmesini sağlamaktadır. Chopra ve ark. (2014) kitosan/karagenan ile enkapsüle edilmiş nisin domates suyunda antibakteriyel aktivitesini araştırdığı bir çalışmada, kitosan/karagenan ile enkapsüle edilmiş nisin 6 ay boyunca *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella* ve *Enterobacter aerogenes*'e karşı *in vitro* şartlarda antimikrobiyal etki gösterdiği ifade edilmiştir.

### **Biyolojik olarak parçalanabilen gıda ambalaj malzemeleri**

Gıda paketleme uygulamaları için biyolojik olarak parçalanabilen/biyokompozit nanomalzemelerin hazırlanmasına yönelik çevre dostu bir yaklaşım olarak elektro çapları >100 nm olan liflerden çok çeşitli polimerler elde edilmektedir. Bu tekniğin esası liflerin mikrometre seviyesine kadar eğrilmesine dayanmaktadır. Düşük moleküler ağırlıklı malzemelerin geçirgenlik, absorpsiyon ve migrasyon süreçlerinde hassas bariyer özellik göstermesinden dolayı gıda ambalajlamasında kullanılmaktadır. Bununla birlikte, plastik ambalaj duvarlarından bazı düşük moleküler ağırlıklı malzemelerin migrasyonu, bazı ürünlerin kalitesinin bozulmasına neden olabilir; bu nedenle, düşük moleküler ağırlıklı maddelerin polimerler aracılığıyla migrasyonu önlenmektedir. Molekül ağırlığı düşük malzemelere antimikrobiyal polimerlerin uygunlanması, antimikrobiyal maddelerin taşınması ve migrasyonu polimerlerin olumlu bir özelliği olarak kabul edilmektedir. Polimerlerin kimyasal modifikasyonları sonrasında, polimer özelliği değişmemeli ve antimikrobiyal aktivite gibi istenen aktiviteyi kazanması gerekmektedir (Shalan ve ark., 2014).

Polilaktik asit (PLA); biyolojik olarak bozunabilirliği, yenilenebilirliği ve fiziksel iyi özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir (Swaroop ve ark., 2018). PLA ticari bir avantajı bulunmasına rağmen düşük sıcaklıkta bozulması ve düşük erime viskozitesine sahip olması gibi olumsuz özelliklere sahiptir. Bu olumsuz özellikleri PLA kullanımını sınırlandırmaktadır. Ayrıca gıda ambalajlama uygulamalarında PLA; antibakteriyel, koruyucu ve geçirgen özellikleri ile ön plana çıkmaktadır (Marra ve ark., 2016). Talebi ve ark. (2018) çeşitli konsantrasyonlarda *Mentha piperita* uçucu yağı (MPO), *Bunium pericum* uçucu yağı (BPO) ve nanoselülozu (NC) PLA filmleriyle birleştirerek hazırladıkları antimikrobiyal filmlerinin etlerde 4 °C'de 12 gün boyunca *S. aureus*, *Enterobacteriaceae* ve *Pseudomonas*'a karşı antibakteriyel aktivitesinin gösterdiği belirtilmektedir. %1 kekik-portakal esansiyel yağı ile üretilmiş ambalaj filmlerinin *S. aureus* ve *E. coli*'nin büyümesini engellediği ancak *Salmonella* Typhimurium ve *Pseudomonas* üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı belirtilmektedir (Jouki ve ark., 2016).

Antibakteriyel aktiviteleri, bariyerler ve mekanik özelliklerinden dolayı gıda ambalajlarında çinkooksit nanokompozit uygulamaları ilgi çekmektedir. Çinko oksit (ZnO), titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), magnezyum oksit (MgO) ve silikon dioksit (SiO<sub>2</sub>) gibi çeşitli metal oksitler, antibakteriyel ajanların yanı sıra UV radyasyonunu önleme kapasiteleri nedeniyle tercih edilmektedir. Bunlar içerisinde MgO ve ZnO partikülleri gıda ambalajlamada en güvenilir ve en çok tercih edilen nanopartiküllerdir (2).

Öte yandan, aynı oranda ZnO ilavesi CO<sub>2</sub> geçirgenliğini PLA'ya göre yaklaşık %17 oranında azaltmaktadır. Ayrıca ZnO nanopartikülleri, nanopartiküllerin yüzey alanına ve konsantrasyonuna bağlı olarak yüksek sıcaklık ve basınçtan etkilenmeyen bakterilere karşı antibakteriyel kapasiteye de sahiptir (Marra ve ark., 2016).

Suda bulunan organizmalar polivinil asetatı kolayca hidrolize etmektedirler. PVA ambalajların mekanik özelliklerini iyileştirmek, çözücülere karşı direnci yüksek, biyoyunlu ve yüksek hidrofilitate özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır (Yang ve ark., 2018). Son zamanlarda nanoselüloz içine yerleştirilen Ag nanoparçacıkların mekanik, fiziksel ve termal özelliklerini iyileştirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Elde edilen PVA bazlı nanokompozit filmlerin *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı baskın antimikrobiyal etki gösterdiği buna karşılık, filmlerin HepG2'ye karşı hiçbir sitotoksik etki göstermediği belirlenmiştir (Sarwar ve ark. 2018).

Polihidroksil alkanolatlar (PHA'lar), biyobozunur ve biyoyumlu termoplastik gıda ambalaj malzemelerinin en önemlilerinden biridir. PHBV (Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)) 'nin gümüş ile elde edilmiş nanopartikül filmlerinin 7 ay boyunca gıdalarda bulunan *Salmonella* Enterica ve *L. monocytogenes*'e karşı bakterisidal etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir (Castro-Mayorga ve ark., 2016).

Kitosan; düşük su afinitesi ve antimikrobiyal aktivitesi olan, film oluşturma yeteneğine sahip, çevre dostu ve biyoaktif ajanlarla kombine olarak kullanılan bir polimerdir. Kitosan ve tarçın esansiyel yağı yenilebilir filmlerin antimikrobiyal aktivite gösterdiği ifade edilmektedir (Reesha ve ark. 2015). Kanatt ve ark. (2012) nane özü (ME)/nar kabuğu özü (PE) içeren polivinil alkolü (PVA) kitosan, %1 Ch, %5 PVA, %1 ME ve %1 PE içine dahil ederek iyi bir antioksidan kompozit film hazırlamıştır.

Siripatrawan ve ark., (2012) yeşil çay ekstraktı (%20, w/v) ve kitosan kombinasyonu ile elde edilen filmlerin sosis depolamasında kullanımını araştırmışlardır. Araştırmacılar 4 °C sıcaklıkta mikrobiyal gelişimi inhibe ettiği ve toplam aerobik bakteri, maya ve küf sayımı ve laktik asit bakterilerinin sayısını düşürdüğü ve antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesinden dolayı bu film ambalajların gıdaların korunmasında kullanılabileceği ifade etmişlerdir (Siripatrawan ve ark., 2012).

Kitosan ve titanyum oksit ile yapılan bir çalışmada yapılan film ambalajların patojenlere karşı antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ve kitosan/titanyum oksit filmlerinin kırmızı üzümlerin ambalajlanmasında kullanımını önerilmektedir (Zhang ve ark., 2017). Xiao-e ve ark. (2004), elde ettikleri titanyum/polimer nanokompozit filmlerin *E. coli* (Gram-negatif bakteriler), *S. aureus* (Gram-pozitif bakteriler), *C. albicans* (mantarlar) ve *A. niger*'i inhibe ettiğini ortaya koymuşlardır. Ahmad ve ark. (2015),  $TiO_2$  nanaopartiküllerinin *S. aureus* ve *E. coli* üzerinde MİK değerini 62.50 mg/ml olarak belirlemişlerdir.

Selüloz, düz zincirli bir homopolisakkarit olup çevre dostu ve biyolojik olarak parçalanabilen bir polimerdir. Selüloz bakteri, alg ve bitkilerden elde edilen biyopolimer olarak kabul edilmektedir. Oksijenin (selülozdan gelen) gümüş ile etkileşimleri yoluyla selüloz lifleri üzerine adsorbe edilen gümüş nanopartiküller, *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı %99 oranda antimikrobiyal aktivite göstermiştir (Jung ve ark. 2009). Nguyen ve ark. (2008), et ürünlerinin ambalajlanmasında nisin ve selülozdan geliştirilen filmin 14 günlük depolama sonunda *L. monocytogenes* üzerinde bakteriyostatik etki gösterdiğini ve bu etkinin nisin ilavesinden kaynaklandığını ifade edilmiştir. Saini ve ark. (2016), nisin içeren selüloz fibrillerin gıda ambalaj maddesi olarak kullanıldığı bir çalışmada Gram pozitif bakterilere ve özellikle *Bacillus subtilis*'e karşı antimikrobiyal özellik gösterdiği ifade edilmiştir.

Nişasta, biyolojik olarak parçalanması kolay ve ucuz bir polisakkarittir. Nişasta patates, manyok, pirinç, mısır ve tapyoka gibi çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Nişasta, kıvam arttırıcı ve gıda katkı maddesi olarak kullanılmasından dolayı gıda ambalajlama çalışmalarında kullanımını giderek artmaktadır (Balakrishnan ve ark., 2017). Nişastaya % 8 laurik asit ve kitosan ilave edilerek geliştirilen film ambalajının *B. subtilis* ve *E. coli* inhibisyonu sağladığı ve bu malzemelerin gıda paketlenme kullanılabilirliği bu sayede gıdaların uzun süre taze kalabileceği ve bakteri kontaminasyonunun engellenebileceği bildirilmiştir (Fahmy ve ark., 2020). İssa ve ark. (2017) % 6 kekik esansiyel yağı ile üretilen nişastalı film kaplamaların ıspanak yapraklarında *E. coli* ve *S. Typhi* sayısını kontrol grubuna göre 4.5 log kob/g düzeyinde düşürdüğünü ifade etmişlerdir.

Etkili antimikrobiyal ve patojenik aktiviteleri nedeniyle AgNP'ler gıda muhafazasında kullanılmaktadır (4). Günümüzdeki çalışmalar ile düşük toksisitesi ve kimyasal kararlılığı nedeniyle güvenli kabul edilen çinko oksit nanoparçacıkları kullanarak, biyolojik olarak parçalanabilen gelişmiş gıda ambalaj malzemeleri geliştirilmektedir. Çinko oksit nanaopartikülleri 2014 yılında Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (USFDA) tarafından "Genel Olarak Güvenli Olarak Tanınan" (GRAS) malzemeler altında listelendiği için tahıl bazlı gıda korumasında kullanılabilir (Tang ve ark., 2018).

Pirinç nişastası/MgO NPs filmlerinin, antibakteriyel özelliğe sahip ve biyolojik parçalanabilen gıda ambalaj malzemeleri olarak kullanılmıştır. Ayrıca, MgO, ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) GRAS olarak tanınan bileşiklerden biri olarak listelenmiştir (Tang ve ark., 2018).

Jelatinin peptit yapısından kaynaklı antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteleri olduğu bilinmektedir. Kekik (*Origanum vulgare*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*) ve murta yaprakları (*Ugni molinae*) ile geliştirilen jelatin filmler balıkta antioksidan kapasiteyi arttırmakta ve doğal antimikrobiyal ajan olarak kullanımı önerilmektedir (Iravani ve ark., 2020).

### **Sonuç**

Son yıllarda, akıllı çevre dostu nanomalzemeler veya nanokompozitler kullanılarak farklı biyolojik uygulamalar oldukça gelişmiştir. Nanoteknolojinin gıda ambalajında kullanılmasıyla gıda kalitesi daha uzun süre korunmakta ve dolayısı ile üründe daha az kalite kayıpları meydana gelmektedir. Mevcut gıda ambalaj ürünlerinin çoğu yerini nanomalzemelere bırakacaktır. Nanomalzemeler, biyolojik olarak parçalanabilen gıda ambalaj malzemeleri olup, su veya gaz geçişleri ve antimikrobiyal aktivite gibi çeşitli özelliklerinden dolayı bozulmayı önlenerek yada yavaşlatılarak depolanan gıdaların raf ömrünün artmasını sağlar. Öte yandan, polietilen gibi biyolojik olarak parçalanamayan malzemelerin yerine biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin kullanılması hem çevremizi hem de sağlığımızı koruyacaktır. Nanoteknolojinin gıda sektöründe önemli bir yeri olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür. Bu hususta, aktif ve akıllı paketleme sistemleri, sensörler, katkı maddeleri geliştirilmiştir.

Geleneksel gıda ambalaj malzemelerinin genellikle biyobozunur olmamalarından dolayı nano teknolojik tekniklerle üretilen ambalaj malzemeleri iyi bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Gıda ambalajlamada nanoteknolojik tekniklerle yeni ambalaj materyallerinin üretilmesi bu konu hakkında bilgi eksikliğinin giderilmesini katkı sağlayacaktır. Ayrıca ambalaj materyallerinin geliştirilmesinde kullanılan metallerin tüketici sağlığı üzerine potansiyel riskleri dikkate alınarak bu metallerin kullanım miktarları yasal düzenlemelerle sınırlandırılmalıdır.

## KAYNAKÇA

- Ahmad, R., Mohsin, M., Ahmad, T., & Sardar, M. (2015). Alpha amylase assisted synthesis of TiO<sub>2</sub> nanoparticles: structural characterization and application as antibacterial agents. *Journal of hazardous materials*, 283, 171-177.
- Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., & Reddy, P. S. (2014). Biosynthesis of silver nanoparticles using *Plectranthus amboinicus* leaf extract and its antimicrobial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 128, 257-262.
- Arora, K. (2018). Advances in nano based biosensors for food and agriculture. *Nanotechnology, Food Security and Water Treatment*, 1-52.
- Balakrishnan, P., Sreekala, M. S., Kunaver, M., Huskić, M., & Thomas, S. (2017). Morphology, transport characteristics and viscoelastic polymer chain confinement in nanocomposites based on thermoplastic potato starch and cellulose nanofibers from pineapple leaf. *Carbohydrate polymers*, 169, 176-188.
- Balram, D., Lian, K. Y., Sebastian, N., & Rasana, N. (2021). Ultrasensitive detection of cytotoxic food preservative tert-butylhydroquinone using 3D cupric oxide nanoflowers embedded functionalized carbon nanotubes. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124792.
- Bumbudsanpharoke, N., & Ko, S. (2015). Nano-food packaging: an overview of market, migration research, and safety regulations. *Journal of food science*, 80(5), R910-R923.
- Castro-Mayorga, J. L., Fabra, M. J., & Lagaron, J. M. (2016). Stabilized nano-silver based antimicrobial poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) nanocomposites of interest in active food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 524-533.
- Castro-Mayorga, J. L., Fabra, M. J., Pourrahimi, A. M., Olsson, R. T., & Lagaron, J. M. (2017). The impact of zinc oxide particle morphology as an antimicrobial and when incorporated in poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) films for food packaging and food contact surfaces applications. *Food and Bioproducts Processing*, 101, 32-44.
- Chopra, M., P. Kaur, M. Bernela and R. Thakur (2014). Surfactant assisted nisin loaded chitosan-carageenan nanocapsule synthesis for controlling food pathogens. *Food Control*, 37: 158 164.
- Davies, J. C. (2007). EPA and nanotechnology: Oversight for the 21st century. Washington, DC:Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Duncan, T. V. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of colloid and interface science*, 363(1), 1-24.

- Egger, S., Lehmann, R. P., Height, M. J., Loessner, M. J., & Schuppler, M. (2009). Antimicrobial properties of a novel silver-silica nanocomposite material. *Applied and environmental microbiology*, 75(9), 2973-2976.
- Fahmy, H. M., Eldin, R. E. S., Serea, E. S. A., Gomaa, N. M., AboElmagd, G. M., Salem, S. A., ... & Shalan, A. E. (2020). Advances in nanotechnology and antibacterial properties of biodegradable food packaging materials. *RSC advances*, 10(35), 20467-20484.
- Handford, C. E., Dean, M., Henchion, M., Spence, M., Elliott, C. T., & Campbell, K. (2014). Implications of nanotechnology for the agri-food industry: opportunities, benefits and risks. *Trends in Food Science & Technology*, 40(2), 226-241.
- Iravani, S., & Varma, R. S. (2020). Greener synthesis of lignin nanoparticles and their applications. *Green Chemistry*, 22(3), 612-636.
- Issa, A., Ibrahim, S. A., & Tahergorabi, R. (2017). Impact of sweet potato starch-based nanocomposite films activated with thyme essential oil on the shelf-life of baby spinach leaves. *Foods*, 6(6), 43.
- Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Koocheki, A. (2014). Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. *Food Hydrocolloids*, 36, 9-19.
- Jung, R., Kim, Y., Kim, H. S., & Jin, H. J. (2009). Antimicrobial properties of hydrated cellulose membranes with silver nanoparticles. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 20(3), 311-324.
- Kanatt, S. R., Rao, M. S., Chawla, S. P., & Sharma, A. (2012). Active chitosan-polyvinyl alcohol films with natural extracts. *Food hydrocolloids*, 29(2), 290-297.
- Kumar, P., Mahajan, P., Kaur, R., & Gautam, S. (2020). Nanotechnology and its challenges in the food sector: A review. *Materials Today Chemistry*, 17, 100332.
- Lange, D., Hagleitner, C., Hierlemann, A., Brand, O., & Baltes, H. (2002). Complementary metal oxide semiconductor cantilever arrays on a single chip: Mass-sensitive detection of volatile organic compounds. *Analytical Chemistry*, 74(13), 3084-3095. <https://doi.org/10.1021/ac011269j>
- Liu, L., K. Xu, H. Wang, P. K. J. Tan, W. Fan, S. S. Venkatraman, L. Li and Y. Yang (2009). Self-assembled cationic peptide nanoparticles as an efficient antimicrobial agent. *Nanotechnology* 4: 457 Nature 463.
- Mabeck, J. T., & Malliaras, G. G. (2006). Chemical and biological sensors based on organic thin-film transistors. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 384(2), 343-353.
- Marra, A., Silvestre, C., Duraccio, D., & Cimmino, S. (2016). Polylactic acid/zinc oxide biocomposite films for food packaging application. *International journal of biological macromolecules*, 88, 254-262.

- Nafchi, A. M., Mahmud, S., & Robal, M. (2012). Antimicrobial, rheological, and physicochemical properties of sago starch films filled with nanorod-rich zinc oxide. *Journal of food engineering*, 113(4), 511-519.
- Nasr, N. F. (2015). Applications of nanotechnology in food microbiology. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 4(4), 846-853.
- Nguyen, V. T., Gidley, M. J., & Dykes, G. A. (2008). Potential of a nisin-containing bacterial cellulose film to inhibit *Listeria monocytogenes* on processed meats. *Food microbiology*, 25(3), 471-478.
- Nikalje, A. P. (2015). Nanotechnology and its applications in medicine. *Med chem*, 5(2), 081-089.
- Peng, L. J., Zhang, C. Y., Zhang, W. Y., Zhou, H. Y., & Yang, F. Q. (2022). The peroxidase-like catalytic activity of in situ prepared cobalt carbonate and its applications in colorimetric detection of hydrogen peroxide, glucose and ascorbic acid. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 651, 129744.
- Ravichandran, M., N. S. Hettiarachchy, V. Ganesh, S. C. Ricke and S. Singh (2011). Enhancement of antimicrobial activities of naturally occurring phenolic compounds by nanoscale delivery against *monocytogenes*, *Listeria Escherichia coli O157: H7* and *Salmonella typhimurium* in broth and chicken meat system. *J. Food Safety*, 31: 462 471.
- Reesha, K. V., Panda, S. K., Bindu, J., & Varghese, T. O. (2015). Development and characterization of an LDPE/chitosan composite antimicrobial film for chilled fish storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 934-942.
- Sahoo, M., Vishwakarma, S., Panigrahi, C., & Kumar, J. (2021). Nanotechnology: Current applications and future scope in food. *Food Frontiers*, 2(1), 3-22.
- Saini, S., Sillard, C., Belgacem, M. N., & Bras, J. (2016). Nisin anchored cellulose nanofibers for long term antimicrobial active food packaging. *RSC advances*, 6(15), 12422-12430.
- Sarwar, M. S., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Ahmad, T., & Hussain, A. (2018). Preparation and characterization of PVA/nanocellulose/Ag nanocomposite films for antimicrobial food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 184, 453-464.
- Scott, N., & Chen, H. (2003). *Nanoscale Science and Engineering for Agriculture and Food Systems: A Report Submitted to Cooperative State Research, Education and Extension Service, the United States Department of Agriculture: National Planning Workshop, November 18-19, 2002, Washington, DC. USDA.*
- Shalan, A. E., Rasly, M., & Rashad, M. M. (2014). Organic acid precursor synthesis and environmental photocatalysis applications of mesoporous ana-

- tase TiO<sub>2</sub> doped with different transition metal ions. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25(7), 3141-3146.
- Shankar, S., Rhim, J. W., & Won, K. (2018). Preparation of poly (lactide)/lignin/silver nanoparticles composite films with UV light barrier and antibacterial properties. *International journal of biological macromolecules*, 107, 1724-1731.
- Singh, M., Singh, S., Prasad, S., & Gambhir, I. S. (2008). Nanotechnology in medicine and antibacterial effect of silver nanoparticles. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3(3), 115-122.30.
- Siripatrawan, U., & Noipha, S. (2012). Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages. *Food hydrocolloids*, 27(1), 102-108.
- Stanković, M., Gabrovska, M., Krstić, J., Tzvetkov, P., Shopska, M., Tsacheva, T., . . . Jovanović, D. (2009). Effect of silver modification on structure and catalytic performance of Ni-Mg/diatomite catalysts for edible oil hydrogenation. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 297(1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2008.09.004>.
- Swaroop, C., & Shukla, M. (2018). Nano-magnesium oxide reinforced polylactic acid biofilms for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 729-736.
- Talebi, F., Misaghi, A., Khanjari, A., Kamkar, A., Gandomi, H., & Rezaeigoles-tani, M. (2018). Incorporation of spice essential oils into poly-lactic acid film matrix with the aim of extending microbiological and sensorial shelf life of ground beef. *LWT*, 96, 482-490.
- Tang, S., Wang, Z., Li, P., Li, W., Li, C., Wang, Y., & Chu, P. K. (2018). Degradable and photocatalytic antibacterial Au-TiO<sub>2</sub>/sodium alginate nanocomposite films for active food packaging. *Nanomaterials*, 8(11), 930..
- Tark, S. H., Das, A., Sligar, S., & Dravid, V. P. (2010). Nanomechanical detection of cholera toxin using microcantilevers functionalized with ganglioside nanodiscs. *Nanotechnology*, 21(43), 435502.
- Xiao-e, L., Green, A. N., Haque, S. A., Mills, A., & Durrant, J. R. (2004). Light-driven oxygen scavenging by titania/polymer nanocomposite films. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 162(2-3), 253-259.
- Yang, W., Fortunati, E., Bertoglio, F., Owczarek, J. S., Bruni, G., Kozanecki, M., ... & Puglia, D. (2018). Polyvinyl alcohol/chitosan hydrogels with enhanced antioxidant and antibacterial properties induced by lignin nanoparticles. *Carbohydrate polymers*, 181, 275-284.
- Zhang, X., Xiao, G., Wang, Y., Zhao, Y., Su, H., & Tan, T. (2017). Preparation of chitosan-TiO<sub>2</sub> composite film with efficient antimicrobial activities under visible light for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 169, 101-107.



“

## Bölüm 15

### PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TABANLI PI DENETLEYİCİ PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ VE SİSTEM TASARIMI

*Münevver Mine ÖZYETKİN<sup>1</sup>*

*Hasan BİRDANE<sup>2</sup>*

”

---

1 Dr. Öğr. Üyesi, Münevver Mine ÖZYETKİN Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, AYDIN, m.ozyetkin@adu.edu.tr ORCID: 0000-0002-3819-5240 (Sorumlu Yazar)

2 Elektrik-Elektronik Mühendisi, Hasan BİRDANE, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, AYDIN, hasanbirdani@hotmail.com ORCID: 0000-0001-5432-2839

## 1.GİRİŞ

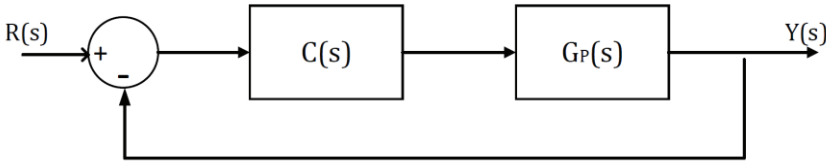
Kontrol sistemleri, cihazların ya da sistemlerin davranışlarını doğrudan ya da dolaylı olarak denetleyen yapılardır. Başka bir deyişle bir sistemin çıkışının, belirli bir değerde tutulmasında veya belirli bir formda oluşturulmasında önemli rol oynarlar. Literatürde kontrol sistemleri ile ilgili çeşitli alanlarda birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların önemli bir kısmında PI (Proportional Integral), PD (Proportional Derivative) ve PID (Proportional Integral Derivative) denetleyiciler ile oluşturulmuş kontrol sistemleri bulunmaktadır (Lee ve diğ., 2014; Ozyetkin, Onat, ve diğ., 2020; Tan ve diğ., 2006; Yüce & Tan, 2014). Bu denetleyiciler basit bir yapıya sahip olması ve birçok sisteme kolaylıkla uygulanabilir olmasından dolayı hem endüstriyel uygulamalarda hem de akademik çalışmalarda önemli bir yere sahiptir. PI, PD ve PID denetleyicilerin transfer fonksiyonlarında yer alan parametre değerleri belirlenerek kontrol edilen sistem için hedeflenen performans kriterlerine ulaşılmaya çalışılır. PI, PD ve PID denetleyicilerin parametrelerini belirlemek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır: Ziegler-Nichols (Ziegler & Nichols, 1942), Cohen – Coon (Cohen & Coon, 1953), Chien – Hrones - Reswick (Chien ve diğ., 1952), Wang – Juang – Chan (Wang ve diğ., 1995), dahili model kontrol (IMC) (Rivera ve diğ., 1986). Bu metotlarla elde edilen denetleyici parametreleri çoğu zaman iyi sonuçlar vermeyebilir. Sistemin daha iyi şartlarda çalıştığı başka parametreler elde edilebilir. Dolayısıyla denetleyici parametrelerinin ayarlanmasına yönelik çalışmalar hala aktif olan araştırma alanlarından biridir. Bahsedilen bu yöntemler dışında PID denetleyici parametrelerini elde etmek için kullanılan bir diğer yöntem ise kararlılık sınır eğrisi (Stability Boundary Locus-SBL) yöntemidir (Hamamci & Tan, 2006; Tan ve diğ., 2006). Literatürde bu konuda detaylı çalışmalar mevcuttur (Onat, 2013, 2019; Ozyetkin, Onat, ve diğ., 2020; Yüce & Tan, 2014). Bu yöntemle sistemi kararlı yapacak olan denetleyici parametreleri kolaylıkla elde edilebilir. Fakat bu yöntemle elde edilen kararlılık sınır eğrisi ile sınırlandırılan bölge içinde, seçilen farklı noktaların sistem cevapları incelendiğinde, bazı sonuçlarda oturma zamanının çok uzun olduğu, bazı sonuçlarda ise aşım değerinin çok fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle kararlılık sınır eğrisi yönteminde iyi bir performans için hangi noktanın seçileceği konusunda soru işaretleri bulunmaktadır. Literatürde bu soruna çözüm oluşturacak bazı yöntemler geliştirilmiştir (Onat, 2013). Bu yöntemlerden biri, Onat tarafından önerilen ağırlıklı geometrik merkez

(Weighted Geometrical Center-WGC) yöntemidir (Onat, 2013). Bu yöntem ile elde edilen parametre değerlerinin, rastgele seçilen parametre değerlerine göre çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ağırlıklı geometrik merkez yöntemiyle yapılan bazı çalışmalar için (Ozyetkin, 2018; Ozyetkin, Onat, ve diğ., 2020; Ozyetkin & Toprak, 2016) incelenebilir. Bir diğer yöntem ise dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlık merkezi yöntemidir (Centroid of the Convex Stability Region-CCSR) (Onat, 2019; Ozyetkin, 2022). Bu yöntemde kararlılık sınır eğrisi altında kalan bölgede üçgensel bir bölge oluşturulur. Daha sonra dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlık merkezi hesaplanarak denetleyici parametreleri elde edilir. Bu konu ile ilgili detaylı bilgi için (Onat, 2019; Ozyetkin, 2022; Ozyetkin & Astekin, 2022; Ozyetkin, Bekiroglu, ve diğ., 2020) incelenebilir. Bu çalışmada dışbükey kararlılık bölgesi ve parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization-PSO) yöntemleri birleştirilerek PI denetleyicinin parametrelerinin elde edilmesi üzerine bir araştırma yapılmıştır. PI denetleyici için dışbükey kararlılık bölgesi yönteminde, kararlılık sınır eğrisi altında kalan alanda üçgensel bir bölge oluşturulur. Bu üçgensel bölgenin köşe noktalar  $K_i$  eksenini kestiği noktadır. Tepe noktası ise eğrinin maksimum noktasıdır. Bu çalışmada önerilen yöntemde, elde edilen kararlılık sınır eğrisi altındaki üçgensel bölge içerisinde, PSO algoritması ile PI denetleyicilerin parametre değerleri belirlenmiştir. Optimum denetleyici parametre değerlerini elde etmek için PSO algoritması üçgensel bölge sınırları içerisinde, iterasyon döngüsü boyunca arama yapar. Bu arama işleminde seçilen parametrelerin uygunluğunu değerlendirmek için uygunluk (amaç) fonksiyonu kullanılır. Bu çalışmada, uygunluk fonksiyonu olarak literatürdeki bazı çalışmalarda denetleyici optimizasyon algoritmaları için önerilmiş olan performans indeksleri kullanılmıştır (Campo, 2012). Bunlar, hata karelerinin toplamı (The Integral of Squared Error-ISE), mutlak hatanın toplamı (The Integral of Absolute Error-IAE), zaman ağırlıklı hata karelerinin toplamı (The Integral of Time Multiply Squared Error-ITSE) ve zaman ağırlıklı mutlak hatanın toplamı (The Integral of Time Multiply Absolute Error-ITAE)'dir. PSO algoritması, uygunluk fonksiyonundan elde edilen değerlere göre hız ve pozisyon güncellemeleri yapar ve iterasyon tamamlandıktan sonra optimum parametre değerlerini çıktı olarak verir. Önerilen bu yöntem ile literatürdeki bazı çalışmalar karşılaştırılmış ve sonuçları paylaşılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. PI Denetleyiciler

Kontrol sistemleri içerisinde en çok kullanılan denetleyicilerden birisi de PI denetleyicilerdir. PI denetleyiciler yapı olarak basit ve iki parametreye sahiptir. Bu parametreler, oransal kazanç sabiti " $K_p$ " ve integral kazanç sabiti " $K_i$ " 'dir. PI denetleyicilerin parametreleri uygun bir şekilde ayarlandığında bir sistemi kararlı yapıya dönüştürebilir. PI denetleyicilerin parametrelerinin ayarlanması ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur (Chien ve diğ., 1952; Cohen & Coon, 1953; Rivera ve diğ., 1986; Tan ve diğ., 2006; Wang ve diğ., 1995; Ziegler & Nichols, 1942). Şekil 1'de PI denetleyiciye sahip bir kontrol sistemi diyagramı verilmiştir. Burada  $R(s)$  sisteme verilen giriş sinyali ve  $Y(s)$  sistemin çıkış sinyalidir.



Şekil 1: PI Denetleyicili Sistem

$G_p(s)$  ile ifade edilen sistem, bir PI denetleyici ile kontrol edilmektedir ve transfer fonksiyonu  $C(s)$ 'tir. Sistemin transfer fonksiyonu  $G_p(s)$ , Denklem 1 ile ifade edilir.  $G(s)$  ifadesi Denklem 2 ile verilmiştir. Burada  $N(s)$  ve  $D(s)$  sırasıyla pay, payda kısımlarını ve  $e^{-\tau s}$  ise zaman gecikmesini ifade eder.

$$G_p(s) = G(s)e^{-\tau s} = \frac{N(s)}{D(s)}e^{-\tau s} \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (2)$$

$C(s)$  ile ifade edilen PI denetleyici transfer fonksiyonu Denklem 3'te verilmiştir.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{sK_p + K_i}{s} \quad (3)$$

Şekil 1'deki kapalı çevrim sistemin transfer fonksiyonu  $\frac{Y(s)}{R(s)}$  ve sistemin ileri yön transfer fonksiyonu  $G_s(s)$  ile ifade edilir. Bunlar Denklem 4 ve Denklem 5'te verilmiştir.

$$G_s(s) = C(s)G_p(s) \quad (4)$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_s(s)}{1 + G_s(s)} = \frac{C(s)G_p(s)}{1 + C(s)G_p(s)} \quad (5)$$

## 2.2.Kararlılık Sınır Eğrisi Yöntemi

Kararlılık sınır eğrisi isminden de anlaşılacağı üzere, bir sistemi kararlı yapan noktaları ayırt edebilmek amacıyla oluşturulan grafiklerdir. Daha önce de belirtildiği üzere PI denetleyicilerin transfer fonksiyonu içerisinde iki parametre vardır. Dolayısıyla, PI denetleyiciler için kararlılık eğrisi iki boyutta yani  $K_p$ - $K_i$  düzleminde oluşturulur. Kararlılık sınır eğrisini elde

edebilmek için Hermite-Biehler teoreminden yararlanarak Denklem 1 ile ifade edilen sistemin transfer fonksiyonunun pay ve paydası, çift ve tek bileşenler olacak şekilde ayrıştırılır. Bunun için  $s = j\omega$  dönüşümü yapılır. Böylece sistemin transfer fonksiyonu Denklem 6'daki gibi elde edilir.

$$G(j\omega) = \frac{N_e(-\omega^2) + j\omega N_o(-\omega^2)}{D_e(-\omega^2) + j\omega D_o(-\omega^2)} \quad (6)$$

Denklem 6'daki transfer fonksiyonunda  $N_e(-\omega^2)$  payın çift bileşeni,  $N_o(-\omega^2)$  payın tek bileşeni,  $D_e(-\omega^2)$  paydanın çift bileşeni ve  $D_o(-\omega^2)$  paydanın tek bileşenidir. Sistemin karakteristik denklemi, Denklem 7'deki gibi elde edilir. Çalışmanın devamında kolaylık olması için  $(-\omega^2)$  ifadeleri kullanılmayacaktır (Tan ve diğ., 2006).

$$\begin{aligned} \Delta(j\omega) = & [(K_i N_e - K_p \omega^2 N_o) \cos(\omega\tau) \\ & + \omega(K_i N_o + K_p N_e) \sin(\omega\tau) - \omega^2 D_o] \\ & + j[\omega(K_p N_e + K_i N_o) \cos(\omega\tau) \\ & - (K_i N_e - K_p \omega^2 N_o) \sin(\omega\tau) + \omega D_e] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\Delta(j\omega) = R_\Delta + jI_\Delta \quad (8)$$

Denklem 8'in reel ve sanal kısımları ayrı ayrı sıfıra eşitlenirse Denklem 9 ve 10 elde edilir.

$$\begin{aligned}
& K_i[N_e \cos(w\tau) + w N_o \sin(w\tau)] \\
& \quad + K_p[-w^2 N_o \cos(w\tau) + w N_e \sin(w\tau)] \quad (9) \\
& \quad = w^2 D_o
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& K_p[w N_e \cos(w\tau) + w^2 N_o \sin(w\tau)] \\
& \quad + K_i[N_e \cos(w\tau) - N_e \sin(w\tau)] = -w D_e \quad (10)
\end{aligned}$$

$K_p$  ve  $K_i$  parametrelerinin bu denklemler içerisinde kolaylıkla çekilebilmesi için Denklem 9 ve 10'u aşağıdaki gibi ifade edelim.

$$K_p A(w) + K_i B(w) = E(w) \quad (11)$$

$$K_p C(w) + K_i D(w) = F(w) \quad (12)$$

Buradaki  $A(w)$ ,  $B(w)$ ,  $C(w)$ ,  $D(w)$ ,  $E(w)$  ve  $F(w)$  ifadeleri sırasıyla Denklem 13-18'de verilmiştir.

$$A(w) = -w^2 N_o \cos(w\tau) + w N_e \sin(w\tau) \quad (13)$$

$$B(w) = N_e \cos(w\tau) + w N_o \sin(w\tau) \quad (14)$$

$$C(w) = w N_e \cos(w\tau) + w^2 N_o \sin(w\tau) \quad (15)$$

$$D(w) = w N_o \cos(w\tau) - N_e \sin(w\tau) \quad (16)$$

$$E(w) = w^2 D_o \quad (17)$$

$$F(w) = -w D_e \quad (18)$$

Bu elde edilen denklemlerden  $K_p$  ve  $K_i$  değişkenlerini eşitliğin bir tarafına çektiğimizde, Denklem 19 ve 20'ye ulaşırız.

$$K_p = \frac{E(w)D(w) - F(w)B(w)}{A(w)D(w) - B(w)C(w)} \quad (19)$$

$$K_i = \frac{F(w)A(w) - E(w)C(w)}{A(w)D(w) - B(w)C(w)} \quad (20)$$

$K_p$  ve  $K_i$  parametrelerinin denklemlerinde  $A(w)$ ,  $B(w)$ ,  $C(w)$ ,  $D(w)$ ,  $E(w)$  ve  $F(w)$  ifadeleri yerine konursa Denklem 21 ve 22 elde edilir (Tan ve diğ., 2006).

$$K_p = \frac{(w^2 N_o D_o + N_e D_e) \cos(w\tau) + w(N_o D_e - N_e D_o) \sin(w\tau)}{-(N_e^2 + w^2 N_o^2)} \quad (21)$$

$$K_i = \frac{(w^2 N_o D_e - N_e D_o) \cos(w\tau) - w(N_e D_e + w^2 N_o D_o) \sin(w\tau)}{-(N_e^2 + w^2 N_o^2)} \quad (22)$$

Denklem 21 ve 22'de,  $w$ 'ya değer verilerek elde edilen  $K_p$  ve  $K_i$  parametre değerleri ile kararlılık sınır eğrisi çizdirilir. Kararlılık sınır eğrisi elde edildikten sonra sistemi kararlı yapacak olan  $K_p$  ve  $K_i$  parametreleri kolaylıkla seçilebilir. Fakat bu yöntem ile optimum parametre değerlerini elde etmek zordur. Çünkü kararlılık bölgesi içerisinde hangi noktanın seçileceği başlı başına bir problemdir. Bu yöntemin yanı sıra literatürde yapılan çalışmalardan biri olan ağırlıklı geometrik merkez yönteminde, kararlılık sınır eğrisindeki veriler kullanılarak optimum PI denetleyici parametre değerleri elde edilebilmektedir (Onat, 2013). Ağırlıklı geometrik merkez yöntemine göre  $q$  tane nokta için PI denetleyici parametreleri Denklem 23 ve 24 ile hesaplanır.



$$K_{pc} = \frac{1}{q} \sum_{y=1}^q K_{py} \quad (23)$$

$$K_{ic} = \frac{1}{2q} \sum_{y=1}^q K_{iy} \quad (24)$$

Bir diğer yöntem, dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlık merkezi yöntemidir. Bu yöntemde kararlılık sınır eğrisi altında kalan alan içerisinde oluşturulan üçgensel bölgeden yola çıkılarak PI denetleyici parametreleri elde edilir (Ozyetkin, 2022). Bu yöntem için tepe ve köşe noktaları Denklem 25 ve 26 ile tanımlanır. PI denetleyici parametreleri ise Denklem 27 ve 28 kullanılarak hesaplanır. Burada  $n$  ve  $m$  sırasıyla tepe ve köşe nokta sayılarıdır. Denklem 23-28 ile ilgili detaylı bilgiler için (Onat, 2013, 2019; Ozyetkin, 2022; Ozyetkin, Onat, ve diğ., 2020) incelenebilir.

$$P_{tepe} = ((\bar{K}_{p1}), (\bar{K}_{i1})), ((\bar{K}_{p2}), (\bar{K}_{i2})), \dots, ((\bar{K}_{pn}), (\bar{K}_{in})) \quad (25)$$

$$P_{köşe} = ((\bar{\bar{K}}_{p1}), (\bar{\bar{K}}_{i1})), ((\bar{\bar{K}}_{p2}), (\bar{\bar{K}}_{i2})), \dots, ((\bar{\bar{K}}_{pm}), (\bar{\bar{K}}_{im})) \quad (26)$$

$$K_{p_{konveks}} = \frac{\sum_{x=1}^n \bar{K}_{px} + \sum_{x=1}^m \bar{\bar{K}}_{px}}{n + m} \quad (27)$$

$$K_{i_{konveks}} = \frac{\sum_{x=1}^n \bar{K}_{ix} + \sum_{x=1}^m \bar{\bar{K}}_{ix}}{n + m} \quad (28)$$

Bu çalışmada ağırlıklı geometrik merkez yöntemi, dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlık merkezi yöntemi ve kararlılık sınır eğrisi altında kalan alanda parçacık sürü optimizasyonu ile optimum parametre arama yöntemleri kullanılarak PI denetleyicinin parametreleri elde edilmiş ve karşılaştırmalı olarak analizleri yapılmıştır.

### 2.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) doğada sürü ile hareket eden balık, kuş gibi canlılardan esinlenerek oluşturulmuş bir optimizasyon algoritmasıdır. PSO algoritması ilk kez 1995 yılında Dr. Kennedy ve Dr. Eberhart tarafından sürü halinde hareket eden canlıların davranışlarının incelenmesi sonucu ortaya çıkmış bir optimizasyon algoritmasıdır (Kennedy & Eberhart, 1995). Yapılan çalışmalarda sürü içerisindeki bireyler hareket halinde iken birbirleri ile etkileşim içerisinde oldukları gözlemlenmiştir. Hedefe en hızlı biçimde ulaşabilmek için sürüdeki tüm bireyler birbiri ile etkileşim halindedirler. Bu davranıştan esinlenerek PSO algoritması oluşturulmuştur. Literatürde PSO algoritması çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Bu alanlardan birisi de kontrol sistemleridir. PI, PD veya PID denetleyicilerin parametrelerini PSO algoritması ile elde edildiği bazı çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada PID denetleyicinin parametre değerlerini elde etmek için PSO algoritması kullanılmış ve Ziegler-Nichols yöntemi ile elde edilen PID denetleyici parametre değerleri ile karşılaştırmalı analizi yapılmıştır (Solihin ve diğ., 2011). Bir başka çalışmada DC-DC dönüştürücü devresinde PI denetleyicisinin parametrelerini elde etmek için PSO algoritması kullanılmıştır (Achiammal & Kayalvizhi, 2014). Bir başka çalışmada ise PI-PD denetleyici parametrelerini elde etmek amacıyla PSO algoritması kullanılmıştır (Vastrakar & Padhy, 2013). PSO algoritmasının bazı adımları vardır. Bunlar, sürünün oluşturulması, uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi ve hız ve pozisyon güncellenmesidir. Tüm bu adımlar detaylı biçimde açıklanmıştır.

#### 2.3.1.Sürünün Elde Edilmesi

PSO algoritması bireylerin oluşturduğu sürüden meydana gelmektedir. Her birey problemin çözümü için gerekli parametreleri içerir. PSO algoritmasını oluştururken ilk olarak sürünün bireyleri belirlenmelidir. Bu işlem yapılırken problemin sınırlarının hangi aralıkta olması gerekiyorsa ona göre rastgele noktalar seçilerek sürü oluşturulmalıdır. Bunun yanı sıra sürüde kaç birey olacağını, yani sürü büyüklüğünün belirlenmesi gerekir. Sürü büyüklüğü çok fazla olursa PSO algoritması çalışma süresinde artacaktır. Eğer sürü büyüklüğü küçük seçilirse PSO algoritması arama bölgesi içerisinde yerel minimum ya da yerel maksimum noktalara takılabilir. Bu nedenle sürü büyüklüğünün uygun değeri, deneme yanılma yoluyla elde edilebilir. PSO algoritmasında sürüyü ifade edebilmek için

Denklem 29’da gösterildiği gibi bir sürü matrisi kullanılır. Burada " $r$ " bireylerin içindeki parametre sayısını, " $p$ " ise sürüdeki birey sayısını ifade eder. Sürü matrisi içindeki her bir satır, bir bireyi ifade etmektedir.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & \dots & a_{1r} \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & \dots & a_{pr} \end{bmatrix}_{p \times r} \quad (29)$$

### 2.3.2. Uygunluk (Amaç) Fonksiyonu

PSO algoritmasında, bireylerin belirli bir kritere göre sonuca uygun olup olmadığının değerlendirilmesi gerekir. Bu işlemi uygunluk fonksiyonu yapar. Uygunluk fonksiyonu bireylerin uygunluklarını test eder. Böylelikle hangi bireyin çözüm için daha uygun olduğuna karar verilir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda uygunluk fonksiyonu olarak "ISE", "IAE", "ITSE", "ITAE" gibi performans indeksleri kullanılmıştır (Campo, 2012; Vastrakar & Padhy, 2013; Zennir ve diğ., 2017). Farklı problemler için farklı fonksiyonlar belirlenmelidir. Uygunluk fonksiyonundan elde edilen sonuçlar matris biçiminde Denklem 30’daki gibi ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ b_{p1} \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad (30)$$

### 2.3.3. Hız ve Pozisyon Güncelleme

Sürü matrisi ve uygunluk matrisi elde edildikten sonra PSO algoritmasında iterasyonu başlatmadan önce sürünün en iyileri ve bireylerin kendi en iyilerinin belirlenmesi gerekir. Sürünün en iyisini belirlemek için

bireyin uygunluk fonksiyonunun aldığı değere bakılır. Problemden minimuma ulaşmak isteniyorsa uygunluk fonksiyonu değeri en küçük olan birey sürünün en iyisi seçilir. Fakat problemde maksimuma ulaşmak isteniyorsa uygunluk fonksiyonu değeri en büyük olan birey sürünün en iyisi seçilir. İlk başta bireylerin ön hızları ve pozisyonları olmadığından kendi en iyileri buldukları pozisyonlardır. Sürünün en iyisi ve bireylerin kendi en iyileri seçildikten sonra PSO algoritması için iterasyon başlatılır. İterasyon içerisinde hız ve pozisyon güncellemeleri yapılır. Her iterasyonda bireylerin hız ve pozisyonları güncellenir. Hız güncellemesi için Denklem 31 kullanılır (Kennedy & Eberhart, 1995).

$$v_{ij} = \varepsilon * v_{ij} + c_1 * r_1 * (x_{ij}^{Pb} - x_{ij}) + c_2 * r_2 * (x_{ij}^{Sb} - x_{ij}) \quad (31)$$

Hız güncelleme denklemi içerisindeki parametreler aşağıdaki gibidir.

$\varepsilon$  → Eylemsizlik Katsayısı

$c_1$  → Bilişsel Katsayısı

$c_2$  → Sosyal Katsayısı

$r_1$  → Rastgele Katsayısı (0-1 arasında)

$r_2$  → Rastgele Katsayısı (0-1 arasında)

$x_{ij}$  → Parçacığın bulunduğu pozisyonu

$x_{ij}^{Pb}$  → Parçacığın en iyisinin pozisyonu

$x_{ij}^{Sb}$  → Sürünün en iyisinin pozisyonu

Hız güncelleme denklemi üç farklı bölümde ele alınabilir. Birinci bölümde, her parçacığın bir eylemsizliği vardır ve hareketini korumak ister. Bu durumu ifade etmek için " $\varepsilon * v_{ij}$ " ifadesi kullanılmıştır. İkinci bölümde ise, parçacık kendi en iyi pozisyonuna ulaşmak ister. Bu durumu ifade etmek için " $c_1 * r_1 * (x_{ij}^{Pb} - x_{ij})$ " ifadesi kullanılmıştır. Son bölümde parçacık, sürünün en iyi pozisyonuna ulaşmayı ister. Bunu ifade etmek için " $c_2 * r_2 * (x_{ij}^{Sb} - x_{ij})$ " ifadesi kullanılmıştır. Tüm bu bileşenlerin bileşkesi bize yeni hızı verir. Bu işlem tüm bireyler için yapılır. Hız güncellemesinden sonra pozisyon güncellemesi yapılır. Bunun için Denklem 32'deki hız formülünden yararlanılır.

$$\Delta v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta x}{1} \Rightarrow \Delta v = \Delta x \quad (32)$$

Hız değişimi ( $\Delta v$ ), yol değişiminin ( $\Delta x$ ) zaman değişimine ( $\Delta t$ ) oranıdır. PSO algoritmasındaki bir birimlik zaman değişimi, bir iterasyon döngüsüne eşittir. Bu nedenle Denklem 32'deki gibi hız değişimi yol değişimine eşit olur. Böylelikle pozisyon güncellenirken Denklem 33 kullanılır (Kennedy & Eberhart, 1995).

$$x_{ij} = x_{ij} + v_{ij} \quad (33)$$

Pozisyon güncelleme sonrasında PSO algoritması ilk başta belirlenen arama bölgesinden dışarıya çıkmamak için sürünün yeni pozisyonlarını test eder. Arama bölgesi dışında kalan noktalar, tekrar arama bölgesi içine girecek biçimde bir düzeltme yapılır. Aksi takdirde algoritma arama bölgesinden çıktığında yanlış sonuç verebilir. Tüm iterasyonlar tamamlandığında ya da PSO algoritması durdurma şartını sağladığında, PSO algoritması en iyi çözümleri çıktı olarak verir.

**Örnek:** Denklem 34'te verilen sistemi ele alalım (Kasi ve diğ., 2016).

$$G_P(s) = \frac{e^{-2s}}{10s^2 + 11s + 1} \quad (34)$$

Verilen sistem kontrol etmek için PI denetleyici parametrelerin belirlenmesi gerekir. Bunun için öncelikle sistemin kararlılık eğrisini elde etmemiz gerekecektir. Burada  $G(s)$  Denklem 35 ile ifade edilir.

$$G(s) = \frac{1}{10s^2 + 11s + 1} \quad (35)$$

Bu denklemde  $s = jw$  dönüşümü yapıldıktan sonra Denklem 36 elde edilir.

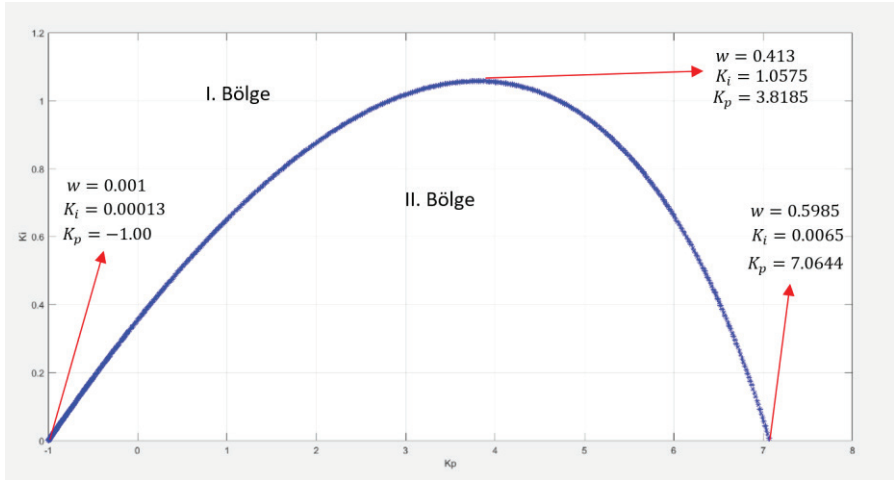
$$G(jw) = \frac{1}{10(jw)^2 + 11jw + 1} = \frac{N(jw)}{D(jw)} \quad (36)$$

Denklem 6'dan yola çıkarak ayrıştırma yapılırsa, pay kısmının bileşenleri  $N_e = 1$  ve  $N_o = 0$ , payda kısmının bileşenleri  $D_e = -10w^2 + 1$  ve  $D_o = 11$  olarak elde edilir.  $G(s)$  transfer fonksiyonunun pay ve paydasının tek ve çift birleşenleri elde edildikten sonra Denklem 21 ve 22'de yerine yazılırsa

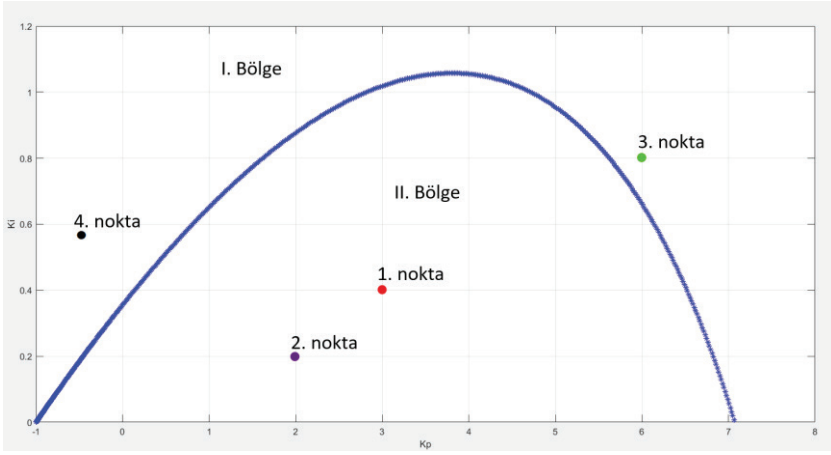
$$K_p = \frac{(-10w^2 + 1) \cos(2w) + w(-11) \sin(2w)}{-(1)} \quad (37)$$

$$K_i = \frac{(-11) \cos(2w) - w(-10w^2 + 1) \sin(2w)}{-(1)} \quad (38)$$

elde edilir. Kararlılık sınır eğrisini bulmak için elde ettiğimiz Denklem 37 ve 38 kullanılarak Matlab simülasyon ortamında  $w$ 'ya değer vererek  $K_p$  ve  $K_i$  parametre değerleri grafik üzerinde çizdirilir. Bu örneğe ait kararlılık eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere  $w$  değeri 0.001'den başlayıp, 0.5985'e kadar çizdirilir ve  $K_i = 0$  eksenini ile sınırlanır. Şekil 2'de II. bölgede kalan noktalar  $G_p(s)$  sistemini kararlı yapan noktalardır. I. Bölgede kalan noktalar ise sistemi kararsız hale getirir. Burada, Şekil 2'deki kararlılık sınır eğrisi grafiği üzerinde rastgele olacak biçimde 4 farklı nokta seçilerek kararlılık analizi yapılmıştır.



Şekil 2:  $G_p(s)$  Kararlılık Sınır Eğrisi



Şekil 3: Kararlılık Sınır Eğrisinde Seçilen Noktalar

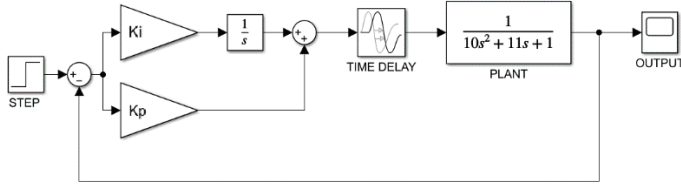
I. ve II. bölgeden seçilen noktalar Şekil 3'te gösterilmiştir. Seçilen noktaların değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Seçilen Noktaların Değerleri

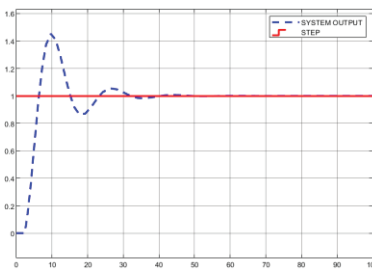
	1.Nokta	2.Nokta	3.Nokta	4.Nokta
$K_p$	3	2	6	-0.5
$K_i$	0.4	0.2	0.8	0.6

Şekil 3'te verilen noktaların kararlılık analizini yapmak amacıyla Matlab Simulink ortamında oluşturulan sistem diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Bu sisteme giriş sinyali olarak  $t=0$ 'da başlayan birim basamak girişi verilmiştir. Zaman gecikmesi için ise iki saniyelik gecikme bloğu yerleştirilmiştir.

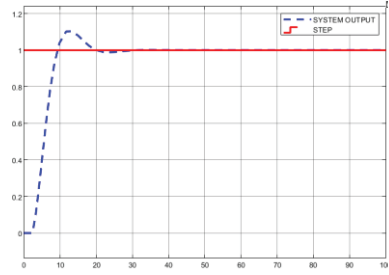




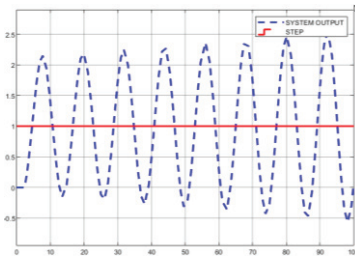
Şekil 4: PI Denetleyicili Sistemin Blok Diyagramı



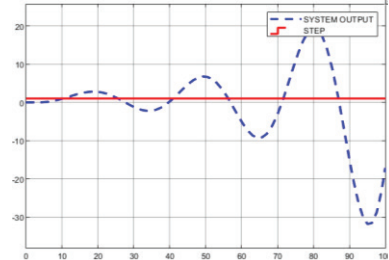
a



b



c



d

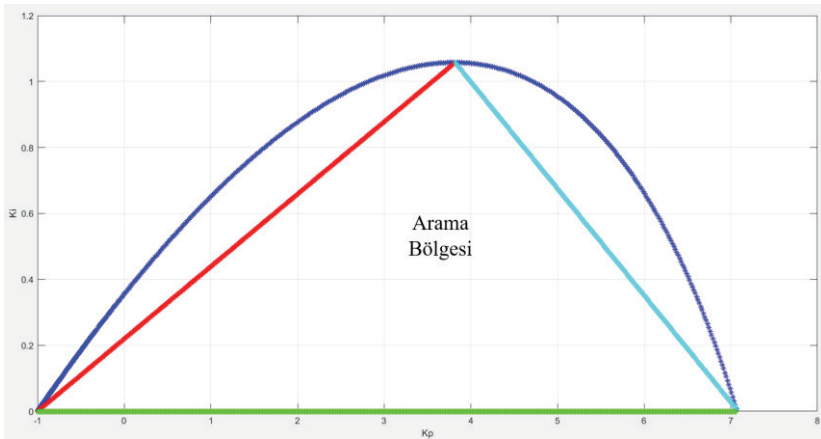
Şekil 5:  $G_P(s)$  Sisteminin Farklı PI Parametreleri için Birim Basamak Cevapları (a: 1.nokta, b: 2.nokta, c: 3.nokta, d: 4.nokta)

Seçilen 1. ve 2.noktalar için sistem cevabı Şekil 5a ve 5b'de gösterilmiştir. Şekil 5a incelendiğinde sistem cevabı büyük bir aşım yaparak

zamanla referans değere oturmuş ve oturma zamanı yaklaşık 50 sn olarak gözükmektedir. Şekil 5b incelendiğinde, aşım miktarı Şekil 5a'ya oranla biraz daha düşük ve oturma zamanı daha kısadır. Seçilen 3. ve 4.noktalar için sistem cevabı Şekil 5c ve 5d'de gösterilmiştir. Her iki cevaba bakıldığında sistem cevaplarının beklenildiği gibi kararlı olmadığı görülmektedir. Çıkış sinyalleri giderek artan bir dalga formundadır ve sistem kararsızdır.

### 3. BULGULAR

Denklem 34 ile verilen  $G_p(s)$  sisteminin kararlılık sınır eğrisi daha önce Şekil 2'de elde edilmişti. Bu sistemi PI denetleyici ile kontrol edebilmek için  $K_p$  ve  $K_i$  parametreleri, dışbükey kararlılık bölgesi yöntemi ve PSO algoritması yöntemi bir araya getirilerek oluşturulan yeni yöntem ile elde edilecektir. Bunun için  $G_p(s)$  sisteminin kararlılık sınır eğrisi Şekil 2'deki gibi elde edildikten sonra kararlılık sınır eğrisi içerisinde tepe noktası  $K_i$ 'nin maksimum değeri aldığı nokta, köşe noktaları da  $K_i = 0$  eksenini kestiği noktalar olacak şekilde bir üçgenel arama bölgesi oluşturulur. Bu üçgenel bölgenin tercih edilmesinin sebebi daha önce yapılan WGC ve dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlık merkezi yöntemlerinde kararlılık bölgesinin kenar noktalardan ziyade iç noktalarda daha iyi sonuçlar elde edildiğinin görülmesidir. Şekil 6'da belirtilen üçgenel alan ve arama bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 6: Kararlılık Sınır Eğrisindeki Üçgenel Arama Bölgesi

PSO algoritması Şekil 6’da belirlenen üçgenel bölgede optimum PI parametre değerleri için arama yapacaktır. Denklem 34 ile verilen örnek için PSO algoritmasının sürü boyutu 500 birey olarak belirlenmiştir. Her birey iki parametreye sahiptir. Bunlar  $K_p$  ve  $K_i$  parametreleridir. Bu çalışmada, PSO algoritmasındaki iterasyon sayısı 10, 50 ve 200 adet olacak şekilde üç farklı konfigürasyon oluşturulmuştur. Sürü oluşturulurken, arama sınırları içerisinde eş olasılıklı olacak bir şekilde rastgele 500 adet birey oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan sürü iterasyona başlamadan önce kendi en iyileri ve sürünün en iyileri uygunluk fonksiyonuna göre elde edilmiştir. Sistem ile ilgili herhangi bir ön bilgi olmadığından dolayı, PSO algoritmasında iterasyon döngüsü başında bireylerin kendi en iyileri, başlangıç değerleridir. Bu çalışmada, PSO algoritmasında, uygunluk fonksiyonu olarak ISE, IAE, ITSE ve ITAE performans indeksleri kullanılmıştır. Bu değerleri zaman gecikmeli bir sistemde hesaplayabilmek için zaman gecikmesi terimi yerine ikinci dereceden Pâde yaklaşımı kullanılmıştır. PSO algoritması sonucunda minimum hata ile optimum parametreler elde edilmek istenmektedir. Bu nedenle, uygunluk fonksiyonu sonucu en küçük değere sahip olan birey sürünün en iyisi seçilir. Tüm bu veriler elde edildikten sonra PSO algoritması iterasyon döngüsüne girer. Bu döngü içerisinde, Denklem 31’den faydalanılarak hız güncellemesi yapılır. Ardından Denklem 33’ten yola çıkarak pozisyon güncellemesi yapılır. Güncelleme işleminden sonra sürünün en iyisi ve bireylerin kendi en iyileri elde edilir. Bu işlemler iterasyon döngüsü bitene kadar tekrar eder. PSO algoritması iterasyon durdurma şartını sağlarsa veya iterasyon sonuna ulaşırsa, sürünün en iyi değerlerini yani optimum denetleyici parametrelerini çıktı olarak verir.

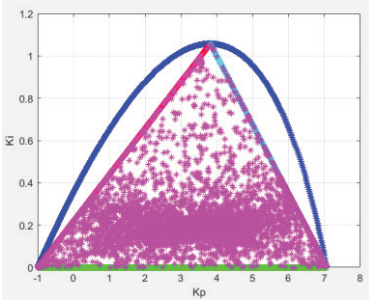
Tablo 2’de, PSO algoritması sonucunda elde edilen uygunluk fonksiyonu değerleri verilmiştir. Tablo 3’te PSO algoritması sonucunda uygunluk fonksiyonlarına göre elde edilen PI denetleyici parametre değerleri verilmiştir. Şekil 7’de arama bölgesinde iterasyon sayısı 10 olarak girilen, PSO algoritmasının test ettiği parametre değerleri gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, uygunluk fonksiyonu fark etmeksizin noktaların belirli bir alanda yoğunlaşmış olduğu görülmektedir. Şekil 8 ve 9’daki iterasyon sayısı 50 ve 200 olan sonuçlarda da benzer bir durum bulunmaktadır.

Tablo 2: PSO Algoritmasına Göre Elde Edilen Uygunluk Fonksiyonu Değerleri

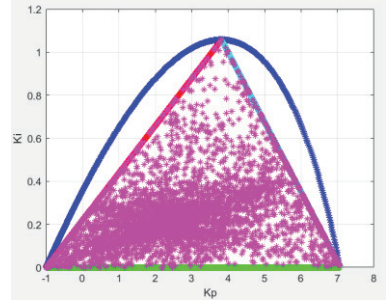
İterasyon Sayısı	Sürünün Birey Sayısı	Uygunluk Fonksiyonları			
		ISE	IAE	ITSE	ITAE
10	500	4,1341	6,1645	10,6006	26,7653
50	500	4,1340	6,1643	10,5984	26,7263
200	500	4,1340	6,1643	10,5984	26,7209

Tablo 3: PSO Algoritması Sonuçlarından Elde Edilen PI Denetleyici Parametre Değerleri

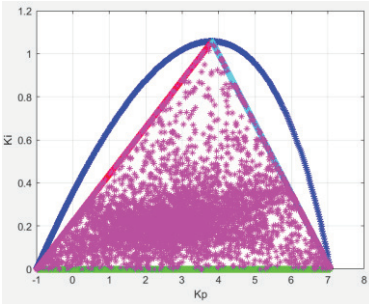
İterasyon Sayısı	Sürünün Birey Sayısı	Uygunluk Fonksiyonları			
		ISE	IAE	ITSE	ITAE
10	500	$K_p = 3,1964$	$K_p = 2,2830$	$K_p = 2,6260$	$K_p = 1,1868$
		$K_i = 0,1862$	$K_i = 0,2046$	$K_i = 0,1988$	$K_i = 0,1788$
50	500	$K_p = 3,1981$	$K_p = 2,2790$	$K_p = 2,6205$	$K_p = 1,8344$
		$K_i = 0,1857$	$K_i = 0,2044$	$K_i = 0,1983$	$K_i = 0,1796$
200	500	$K_p = 3,1977$	$K_p = 2,2790$	$K_p = 2,6209$	$K_p = 1,8612$
		$K_i = 0,1857$	$K_i = 0,2045$	$K_i = 0,1983$	$K_i = 0,1808$
WGC		$K_p = 2,2171 \quad K_i = 0,2858$			
CCSR		$K_p = 3,2943 \quad K_i = 0,3547$			



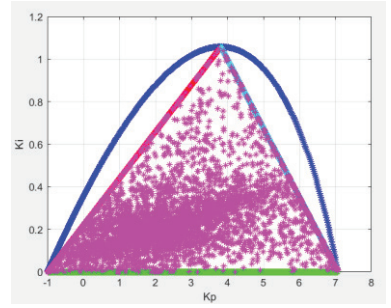
a



b

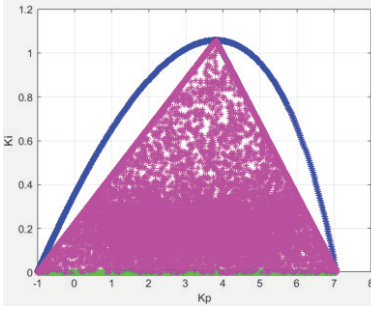


c

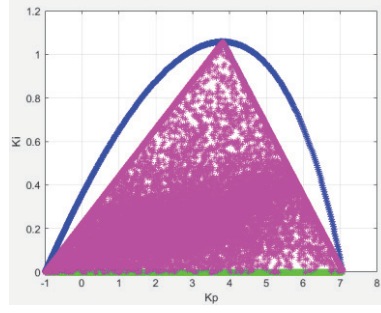


d

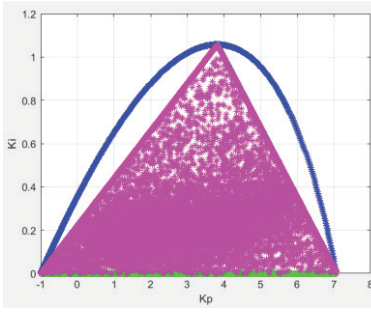
Şekil 7: Farklı Uygunluk Fonksiyonlarına Göre Kararlılık Bölgesinin PSO Algoritması ile Taranması (Sürü Sayısı: 500, İterasyon Sayısı: 10, a: ISE, b: IAE, c: ITSE, d: ITAE)



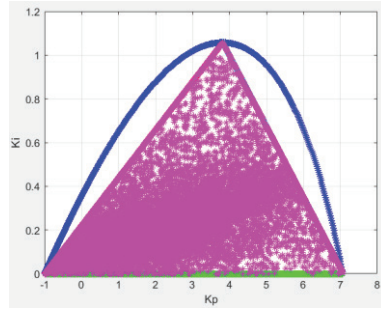
a



b

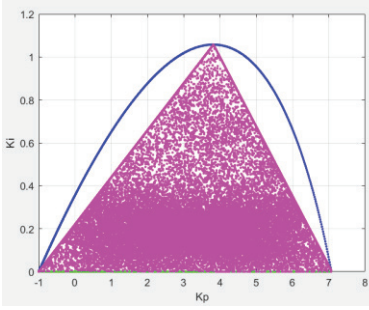


c

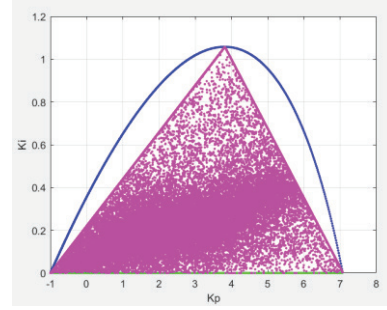


d

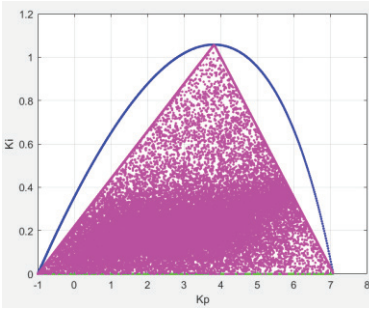
Şekil 8: Farklı Uygunluk Fonksiyonlarına Göre Kararlılık Bölgesinin PSO Algoritması ile Taranması (Sürü Sayısı: 500, İterasyon Sayısı: 50, a: ISE, b: IAE, c: ITSE, d: ITAE)



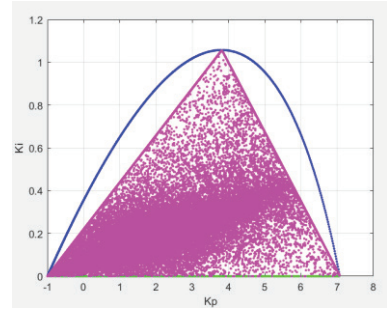
a



b



c



d

Şekil 9: Farklı Uygunluk Fonksiyonlarına Göre Kararlılık Bölgesinin PSO Algoritması ile Taranması (Sürü Sayısı: 500, İterasyon Sayısı: 200, a: ISE, b: IAE, c: ITSE, d: ITAE)

Tablo 3'teki PI denetleyici parametre değerleri Şekil 4'teki sistem diyagramında yerine koyulduğunda çıkan sonuçlar Şekil 10, 11 ve 12'de gösterilmiştir. Tablo 4 ve 5'te farklı yöntemler vasıtasıyla elde edilen PI denetleyici parametre değerlerinin sistem cevaplarındaki aşım ve oturma süresi değerleri verilmiştir. Tablo 4'teki sistem cevapları incelendiğinde ağırlıklı geometrik merkez yöntemi ve dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlıklı merkezi yöntemi cevaplarının aşım değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. PSO algoritmasında, iterasyon sayısı 50 ve uygunluk fonksiyonu ITAE performans indeksi kullanılarak en küçük aşım değeri elde edilmiştir. Tablo 5'teki sistem cevaplarının oturma süreleri incelendiğinde, ağırlıklı geometrik merkez yöntemi ve dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlıklı

merkezi yöntemi cevaplarının oturma sürelerinin fazla olduğu görülmektedir. PSO algoritmasında, iterasyon sayısı 200 ve uygunluk fonksiyonu ITAE performans indeksi kullanılarak en küçük oturma zamanı elde edilmiştir.

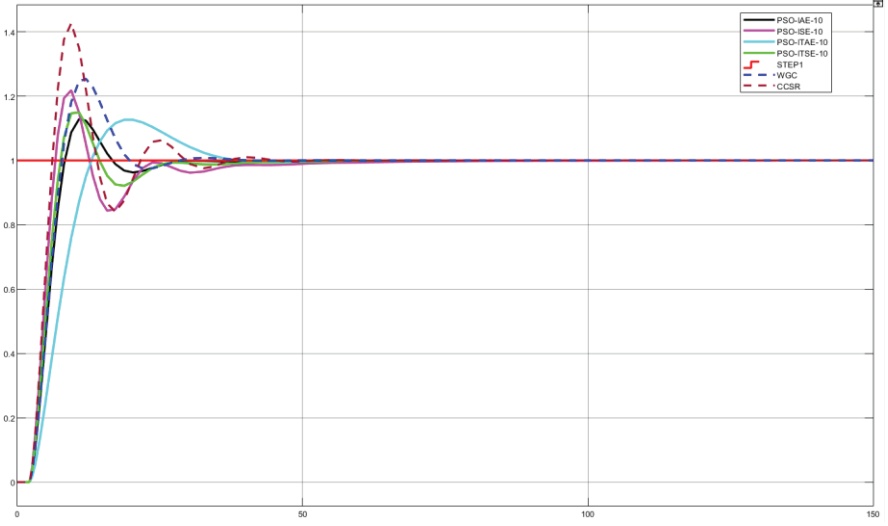
Tablo 4: Sistem Cevabının Aşım Yüzdeler Değerleri

İterasyon Sayısı	IAE	ISE	ITAE	ITSE	WGC	CCSR
10	%12,9424	%22,1717	%12,6822	%15,5988	%25,5112	%42,8050
50	%12,8791	%22,1415	%6,5278	%15,4622		
200	%12,8950	%22,1351	%6,7719	%15,4671		

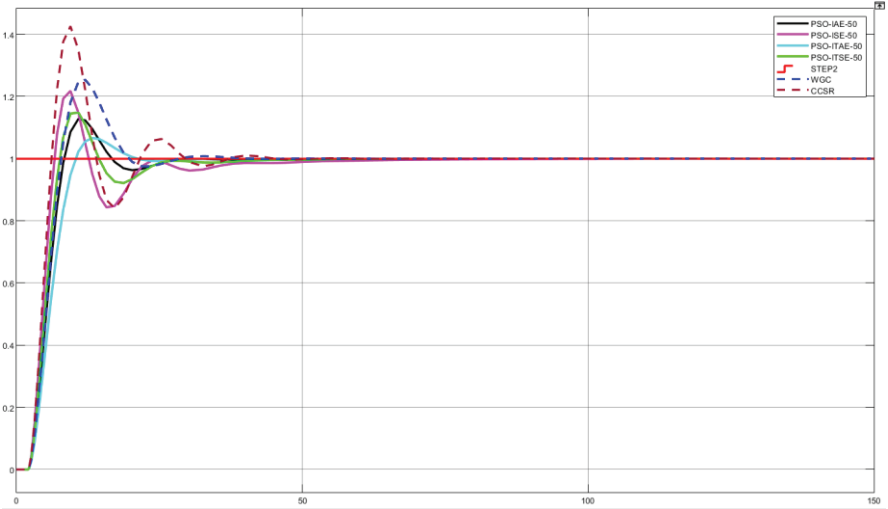
Tablo 5: Sistem Cevabının Oturma Süresi Değerleri

İterasyon Sayısı	IAE	ISE	ITAE	ITSE	WGC	CCSR
10	23,8899	35,6448	33,3271	23,7554	24,2364	33,7353
50	23,8913	35,6897	18,3363	23,7957		
200	23,8861	35,6905	18,0668	23,7945		

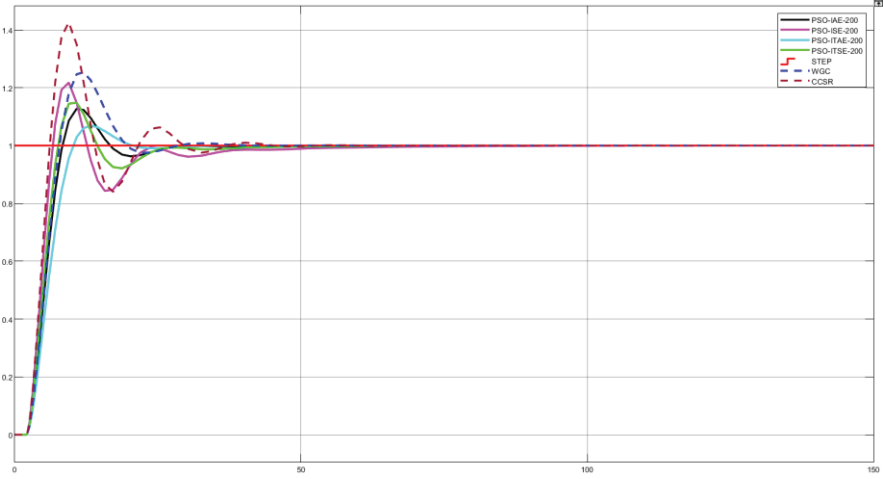




Şekil 10: PSO Algoritmasında İterasyon Sayısı 10 İçin Elde Edilen PI Parametrelerine Göre Sistem Cevapları



Şekil 11: PSO Algoritmasında İterasyon Sayısı 50 İçin Elde Edilen PI Parametrelerine Göre Sistem Cevapları



Şekil 12: PSO Algoritmasında İterasyon Sayısı 200 İçin Elde Edilen PI Parametrelerine Göre Sistem Cevapları

PSO algoritmasında iterasyon sayısı çok fazla olması sonucun çok daha iyi olacağı anlamına gelmez. Tablo 2'deki sonuçlar incelendiğinde iterasyon sayısı 50 ve 200 için elde edilen ISE, IAE, ITSE ve ITAE değerleri birbirine çok yakın çıkmaktadır. Ayrıca Tablo 4'teki aşım yüzdeleri ve Tablo 5'teki oturma zamanı süreleri incelendiğinde, iterasyon sayısı 50 ve 200 için elde edilen sonuçlar, birbirine çok yakın değerlerdir. Şekil 11 ve 12 incelendiğinde her iki iterasyon değeri için sistem benzer cevaplar vermektedir. PSO algoritması ile denetleyici parametresi elde etme yöntemi, diğer denetleyici parametreleri elde etme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, aşım miktarının az ve oturma zamanının kısa olmasından dolayı daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, PI denetleyicilerin parametrelerinin belirlenmesi konusundaki soru işaretleri giderilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, daha önce literatürde çalışılmış olan kararlılık sınır eğrisi ve dışbükey kararlılık bölgesinin ağırlık merkezi yöntemlerinden faydalanılmıştır. SBL yöntemi ile ilk olarak sistemin kararlılık bölgesi elde edilmiş ve CCSR yöntemine göre bu eğri altında kalan alanda üçgensel bir bölge oluşturulmuştur. Oluşturulan bu bölge içerisinde PSO algoritması kullanılarak, PI denetleyicinin

parametreleri elde edilmiştir. Önerilen yöntemin literatürde oldukça iyi sonuçlar sağladığı bilinen WGC ve CCSR gibi bazı yöntemlerle kıyaslaması yapılmıştır. Önerilen yöntemin bu metotlara göre üstün sonuçlar verdiği görülmüştür. İleriye yönelik olarak bu metodun genişletilerek farklı denetleyici türleri için araştırılması planlanmaktadır. Bu çalışma sayesinde literatürde önemli bir problem olan kararlılık eğrisi grafiğinde denetleyici parametrelerinin nasıl seçilmesi gerektiği sorusuna bir çözüm önerisi getirilmiştir. Önerilen yöntem kullanılarak yapılacak olan yeni çalışmaların literatüre önemli bir katkı sağlayacağı açıktır.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada Matlab/Simulink online ücretsiz deneme sürümü kullanılmıştır.

## KAYNAKÇA

- Achiammal, B., & Kayalvizhi, R. (2014). Optimization of PI Controller using PSO for Power Electronic Converter. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 9, 36-40.
- Campo, A. B. (2012). PID Control Design. In *MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications* (Vol. 1).
- Chien, K. L., Hrones, J. A., & Reswick, J. B. (1952). On the Automatic Control of Generalized Passive Systems. *Transactions of the ASME*, 74, 175-185. doi:10.1115/1.4015724
- Cohen, G., & Coon, G. A. (1953). Theoretical Consideration of Retarded Control. *Transactions of the ASME*, 75, 827-834.
- Hamamci, S. E., & Tan, N. (2006). Design of PI controllers for achieving time and frequency domain specifications simultaneously. *ISA Transactions*, 45(4), 529-543. doi:https://doi.org/10.1016/S0019-0578(07)60230-4
- Kasi, V. R., Majhi, S., & Gogoi, A. K. (2016). *Estimation of stable FOPDT and SOPDT process using dual input describing function*. 2016 11th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS).
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). *Particle swarm optimization*. Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks.
- Lee, J., Cho, W., & Edgar, T. F. (2014). Simple Analytic PID Controller Tuning Rules Revisited. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(13), 5038-5047. doi:10.1021/ie4009919
- Onat, C. (2013). A new concept on PI design for time delay systems: Weighted geometrical center. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 9, 1539-1556.
- Onat, C. (2019). A new design method for PI-PD control of unstable processes with dead time. *ISA Transactions*, 84, 69-81. doi:https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.08.029
- Ozyetkin, M. M. (2018). A simple tuning method of fractional order PI $\lambda$ -PD $\mu$  controllers for time delay systems. *ISA Transactions*, 74, 77-87. doi:https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.01.021

- Ozyetkin, M. M. (2022). An approximation method and PID controller tuning for systems having integer order and non-integer order delay. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 11365-11375. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.05.015>
- Ozyetkin, M. M., & Astekin, D. (2022). Zaman gecikmeli sistemler için Padé yaklaşımı ve kesirli dereceli PI kontrolör için yeni bir tasarım metodu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(2), 639-652. doi:10.17341/gazimmfd.948709
- Ozyetkin, M. M., Bekiroglu, K., & Srinivasan, S. (2020). *A Parameter Tuning Method for Fractional Order PD Controllers*. 2020 16th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV).
- Ozyetkin, M. M., Onat, C., & Tan, N. (2020). PI-PD controller design for time delay systems via the weighted geometrical center method. *Asian Journal of Control*, 22(5), 1811-1826. doi:10.1002/asjc.2088
- Ozyetkin, M. M., & Toprak, A. (2016). Ağırlıklı geometrik merkez metodu ile pratik PI-PD kontrolör tasarımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 595-605.
- Rivera, D. E., Morarl, M., & Skogestad, S. (1986). Internal Model Control: Pid Controller Design. *Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development*, 25(1), 252-265. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/i200032a041>
- Solihin, M., Tack, L., & Moey, L. (2011). *Tuning of PID Controller Using Particle Swarm Optimization (PSO)*. Proceeding of the International Conference on Advanced Science, Engineering and Information Technology.
- Tan, N., Kaya, I., Yeroglu, C., & Atherton, D. P. (2006). Computation of stabilizing PI and PID controllers using the stability boundary locus. *Energy Conversion and Management*, 47(18), 3045-3058. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.022>
- Vastrakar, N. K., & Padhy, P. K. (2013). *Simplified PSO PI-PD Controller for Unstable Processes*. 2013 4th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation.
- Wang, F. S., Juang, W. S., & Chan, C. T. (1995). Optimal Tuning Of PID Controllers For Single And Cascade Control Loops. *Chemical Engineering Communications*, 132(1), 15-34. doi:10.1080/00986449508936294

- Yüce, A., & Tan, N. (2014). *Zaman Gecikmeli Kontrol Sistemleri için LabVIEW ile PI Kontrolör Tasarımı*. 2th International Symposium on Innovative Technologiis in Engineering and Science, Karabük, Turkey.
- Zennir, Y., Mechhoud, E. A., Seboui, A., & Bendib, R. (2017). *Multi-controller approach with PSO-PI $\lambda$ D $\mu$  controllers for a robotic wrist*. 2017 5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes (ICEE-B).
- Ziegler, J. G., & Nichols, N. B. (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers. *Transactions of the ASME*, 64, 759-768.

“

## Bölüm 16

**TÜRKİYE’NİN KÜRESEL ISINMA  
VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

*Soner KORKMAZ<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> DSİ 9. Bölge Müdürlüğü, 0000-0002-1020-5646  
Sonerkorkmaz23@gmail.com.tr

## 1. Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği son dönemlerde taşkınlar, orman yangınları, su kaynaklarında azalma gibi yaşamı oldukça olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, iklim değişikliği ve küresel ısınma şüphesiz araştırmacılar için son zamanların en popüler konularından biri olmuştur. Çünkü iklim değişikliğinin sonuçları karşısında araştırmacıların duyarsız kalması beklenemez. Aksine, bu konudaki araştırmaların artırılması ve bilimsel araştırmaların sonuçlarına göre önleyici ve toplumu bilgilendirici çalışmaların yapılması gerekmektedir [1,2].

Ülkeler arası yaşanan savaşlar sonucu Türkiye son dönemlerde oldukça fazla göç almıştır. Bu durumda sanayileşmenin ve kentselleşmenin artmasına neden olmuştur. Ayrıca ülkenin mevcut su kaynaklarında ve enerji ihtiyacında artışa neden olmaktadır. Ülkenin tarımsal olarak ciddi anlamda su ihtiyacı olduğundan iklim değişikliği ülke ekonomisini de kesinlikle etkileyecektir. Su, biyolojik bir gereksinimin yanı sıra ekonomik, toplumsal, kültürel yaşantımızın da en önemli faktörüdür. Ülkemizde tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır. Artan nüfus, sanayileşme ve kentleşme gibi nedenlerle su kaynaklarının bilinçsizce kullanılması sonucu su kaynaklarında azalma olduğu görülmektedir. Doğal dengenin bozulmasına neden olan insanların, gerekli önlemleri almadığı sürece küresel ısınmaya bağlı olarak iklim değişikliği ve sıcaklıkların artabileceği düşünülmektedir.

İklim değişikliği ve nehir üzerinde yeni barajlar inşa edilmesi sonucu bölgesel değişiklikler nedeniyle nehirlerin akışı azalabilmektedir. Bu nedenle, tarım sektöründeki su tüketiminin ülkeler için en önemli sorun olduğundan, araştırmalar tarımsal ürünler için sulama suyuna odaklanmıştır. Mostafa ve ark. çalışmalarında iklim ve sosyoekonomik değişiklikler nedeniyle Nil Havzası'ndaki su kaynaklarının yönetiminin giderek daha karmaşık hale geleceğini belirtmişlerdir. Bu konu üzerinde birçok uluslararası çalışma yapıldığını bildirmişlerdir. Bu çalışmalarında tarım sektörünün Mısır'daki en büyük su tüketicisi olduğunu göz önünde bulundurarak, tarım ürünleri için sulama suyuna odaklanarak, iklim değişikliğinin Mısır'ın su kaynakları üzerindeki etkisini değerlendirmek için kapsamlı bir çalışma sunmuşlardır. Çalışma, genel sirkülasyon modellerini (GCM'ler) kullanarak gelecekteki iklim koşullarını tahmin etmeyi, iklim değişikliği ve sıcaklık artışının sulama için su talepleri üzerindeki etkisini CROPWAT 8 modelini kullanarak değerlendirmeyi ve gelecekteki iklim değişikliğine uyum sağlamak için uygun sulama tipini belirlemeyi amaçlamaktadır [3].

Vicuna ve ark. İklim değişikliğinin Şili'deki su kaynakları üzerindeki etkilerini analiz etmek için öncelikle tarihsel iklim eğilimleri ve gelecek



projeksiyonları incelenmişlerdir. İklim değişikliğinin Şili'deki su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak için, ana hidrolojik rejimler ve bunların yağış ve sıcaklıktaki değişikliklere olan duyarlılıklarını analiz etmişlerdir. Tüm ülkelerde de olduğu gibi, nüfusun, sanayi ve tarımın artması Orta Şili'nin iklimini etkilemektedir. Şili'deki geleceğe yönelik tahminlerde iklim eğilimleri, orta bölgede yağış azalması ve ülke genelinde sıcaklıktaki artış olduğunu bildirmişlerdir. Bu iklim değişiklikleri, sıcaklıktaki artışla bağlantılı olarak hızlanan mevsimsel döngünün bir sonucu olarak, ilkbahar ve yaz aylarında yüzey akışını azaltarak hidrolojik koşulları etkilemektedir [4]. Kakumanu ve ark. [5] son yıllarda su kaynakları, tarım, ekoloji ve diğer disiplinlerin küresel ısınma ile karakterize edilen iklim değişikliği koşullarında araştırma için sıcak noktalar haline geldiğini belirtti. Hindistan'da su kaynaklarının mevcudiyeti ve tarımsal gıda üretim sistemi iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Çalışmalar, yağışta azalma eğilimlerini ve yüzey sıcaklığındaki artış eğilimlerini önerdi. İklim Adapt programı aracılığıyla iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için çeşitli uyum stratejileri geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Abbaspour ve ark. çalışmalarında gelecekteki iklimin ülkenin su kaynakları üzerindeki etkisini incelemek için İran'ın hidrolojik bir modelini kullanmışlardır. Hidrolojik model, Toprak ve Su Değerlendirme Aracı (SWAT) modeli kullanılarak oluşturulmuş ve alt havza düzeyinde günlük nehir deşarjları ve yıllık buğday verimi verileri kullanılarak 1980'den 2002'ye kadar olan dönem için kalibre etmişlerdir. 2010–2040 ve 2070–2100 dönemleri için gelecek iklim değişimini, genel olarak ülkenin ıslak bölgelerinin daha fazla yağış alacağını, kuru bölgelerin ise daha az yağış alacağını bulmuşlardır. Günlük yağış yoğunluklarının analizi, ıslak bölgelerde daha sık ve daha büyük yoğunlukta sel ve kuru bölgelerde daha uzun süreli kuraklık gösterdiğini bildirmişlerdir [6]. Cunha ve ark. Brezilya'da iklim değişikliğinin etkileri altında sulamanın benimsenmesini incelemiştir. 2010-2099 dönemleri için sıcaklık ve yağış tahminleri altında bir dizi farklı iklim analiz yöntemi kullanmıştır [7].

İklim ve su kaynakları arasında karmaşık bir bağlantı vardır. İklim değişikliği su miktarını ve kalitesini etkilemektedir aynı zamanda su kaynakları da iklim değişikliğinden etkilenmektedir. Su kullanımı, özellikle sulama suyu kullanımı, genellikle sıcaklık artışı ile artar ve yağış artışı ile azalmaktadır. Bununla birlikte, geçmişte su kullanımında iklimle ilgili bir eğilim olduğuna dair net bir kanıt yoktur. Bunun nedeni, su kullanımının temel olarak iklimsel olmayan faktörlerden ve su kullanımı verilerinin ve zaman serilerinin sınırlı mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır. İklim değişikliğinin yarattığı etkiler, halihazırda düşük su kaynakları seviyelerine ve sık sık kuraklıklara ve dolayısıyla su talepleri ile mevcut kaynaklar arasındaki dengesizliklere sahip bölgelerde meydana geldiğinde daha da

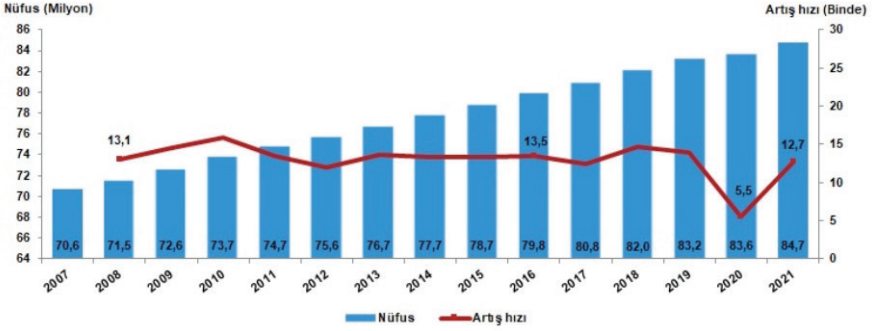
kötü olmaktadır. Avrupa'daki bu bölgelerden İspanya, su kaynaklarının yüksek mekansal ve zamansal düzensizliği, yüksek su kullanımı derecesi ve bağlantılı sosyo-ekonomik etkiler nedeniyle olası iklim değişikliklerine karşı çok hassastır. İspanya'da 1990'ların ortalarından beri etki değerlendirmesi üzerine çalışmalar geliştirilmiştir ve farklı iklim değişikliği senaryolarının su kaynakları üzerindeki etkilerini yeterli düzeyde güvenle değerlendirmek için modelleme araçları çalışılmıştır. Genel olarak çok sayıda bölgesel iklim modeli, sıcaklıktaki artışların ve yağışlardaki düşüşlerin su kaynaklarında belirgin düşüşlere yol açacağını vurgulamaktadır[8].

Ritchie ve Roser [9], dünyanın en acil sorunlarından birinin iklim değişikliği olduğunu belirtti. Küresel sıcaklıklar, insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları nedeniyle sanayi öncesi dönemlerden bu yana yaklaşık 1 °C artmıştır. Bu gazlar arasında karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan ve diğerleri bulunmaktadır. Küresel olarak, CO<sub>2</sub> emisyonları yılda 36 milyar tonun üzerindedir ve atmosferde 400 ppm konsantrasyonların üzerinde sürekli bir artış sunar. Bunlar yaklaşık 800.000 yılın en yüksek seviyeleridir. Bugün Çin, dünya çapında en büyük CO<sub>2</sub> yayan ülkedir (emisyonların yaklaşık %25'i). Bunu %15 ile ABD izlemektedir; AB-28 (%10); Hindistan (%7); ve Rusya (%5). Emisyonların %1'inden daha azına dünyanın yoksul ülkeleri katkıda bulursa da, iklim değişikliğinin etkisine karşı en savunmasız olanlar bu ülkeler olacak. Tahmini ısınma, mevcut politikalara göre yaklaşık 3,1 ila 3,7 °C olacaktır. Driouech ve ark. sıcaklık, yağış ve ilgili olaylardaki gelecekteki değişiklikleri incelemişlerdir [10]. Sıcaklık oranında öngörülen değişikliklerin 0,2 °C/on yıl ile 0,5 °C/on yıl arasında olduğunu bulmuşlardır. Kullanılan endeksten bağımsız olarak bölgenin kuzey yarısında kuraklığın artması beklendiğini bildirmişlerdir.

Türkiye ekonomisi de tarıma bağlı olduğunda iklim oldukça önemlidir. Bundan dolayı Türkiye de son dönemlerde araştırmaların çoğu, iklim değişikliğinin nedenleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışma ile iklim değişikliğini analiz etmek için geçmiş verilere dayalı araştırmalar yapılmıştır. Böylece iklim değişikliği sonucu oluşan aşırı sıcaklık ve ani yağışların olması durumunda gerekli plan ve stratejiler geliştirilmesi sağlanacaktır.

## 2. Çalışma Alanı

Türkiye'nin nüfusu 84 milyon 680 bin 273 kişi olmuştur. Şekil 1'de görüldüğü gibi, Yıllık nüfus artış hızı 2020 yılında binde 5,5 iken, 2021 yılında binde 12,7 olmuştur. Nüfusun şehirler lehine artması, arazi kullanım yapısında dramatik etkiler yaratmakta, yeşil alanları betonarme yapılara dönüştürmekte ve bu da mikro ve orta ölçekli iklim koşullarında önemli değişiklikler meydana getirebilmektedir.

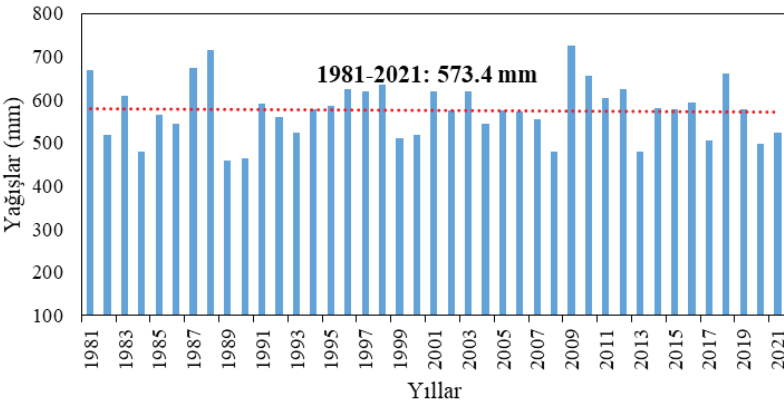


Şekil 1. Türkiye nüfus artışı [11]

Ülkemizin üç tarafının denizle çevrili olması farklı iklim tiplerinin görülmesine neden olmaktadır. Türkiye karasal, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz iklim tipleri gözlenmektedir. Ilıman iklim denizlerin etkisiyle kıyı bölgelerinde görülmektedir. Kuzey Anadolu Dağları ve Toros sıradağları deniz etkilerinin iç kesimlere girmesini engellediğinden iç kesimler de karasal iklim hâkimdir. Ülkemizde farklı iklim tiplerinin görülmesi tarımsal farklı ürünlerin yetiştirilmesi nedeniyle ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır.

## 2.1. Türkiye'nin yağış değerlendirmesi

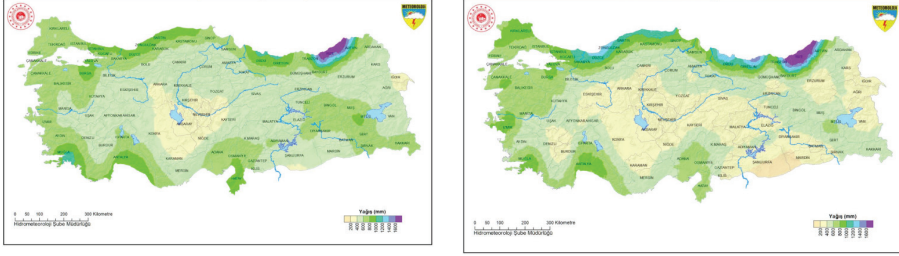
Şekil 2'de Türkiye'nin yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sayfasından alınmıştır [12]. 1981-2021 yılları arasında Türkiye'nin uzun yıllar ortalama yağışı 573.4 mm'dir.



Şekil 2. Türkiye nüfus artışı [11]

Şekil 3 (a) incelendiğinde uzun yıllar yağış ortalamalarına göre ülkemizde en yüksek yağışlar Doğu Karadeniz Bölgesi Rize'de görülmektedir. En düşük yağışlar ise İç Anadolu'nun orta kesimleri ile Şanlıurfa ve Iğdır çevrelerinde gözlenmektedir. Şekil 3 (b)' de 2021 yılı yağış dağılımı verilmiştir. İç Anadolu bölgesinde yağışlarda ciddi anlamda azalmalar görül-

mektedir. Sakarya, Düzce, Zonguldak, Bartın, Kastamonu, Ordu, Giresun, ve Samsun'un doğu kesimleri normallerine göre % 40'tan daha fazla artış göstermiştir. Muğla, Denizli, Burdur ise normallerine göre % 20'nin üzerinde azalmalar gözlenmiştir. Azalma oranı Mardin ve Şanlıurfa'nın güneyinde % 60'ın üzerindedir.



(a)

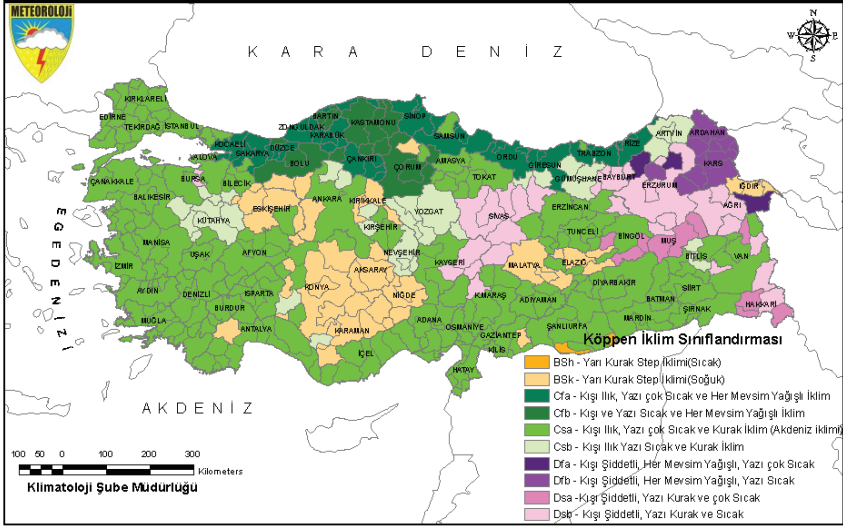
(b)

Şekil 2. (a) Türkiye uzun yıllar alansal yağış normalleri, (b) 2021 yılı alansal yağış dağılışı [12]

Bilim adamları arasında birçok iklim sınıflandırması vardır. İklim sınıflandırması formüllerin bir kısmı çok basit, bir kısmı ise oldukça karmaşıktır. İklim sınıflandırmalarında; yağış, sıcaklık oranı, yağış-buharlaşma oranı, yağış rejimi ve bitki örtüsü gibi veriler kullanılmaktadır. İklim değışikleri incelenirken en önemli parametre uzun yıllara ait verilerin olması ve güvenilir olması gerekmektedir. Bu parametrelere dayanan ve araştırmalarda kullanılan iklim sınıflandırmaları şunlardır [12]:

- Aydeniz iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi
- Erinç iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi
- De Martonne kuraklık indeksine göre Türkiye iklimi
- Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi
- Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi

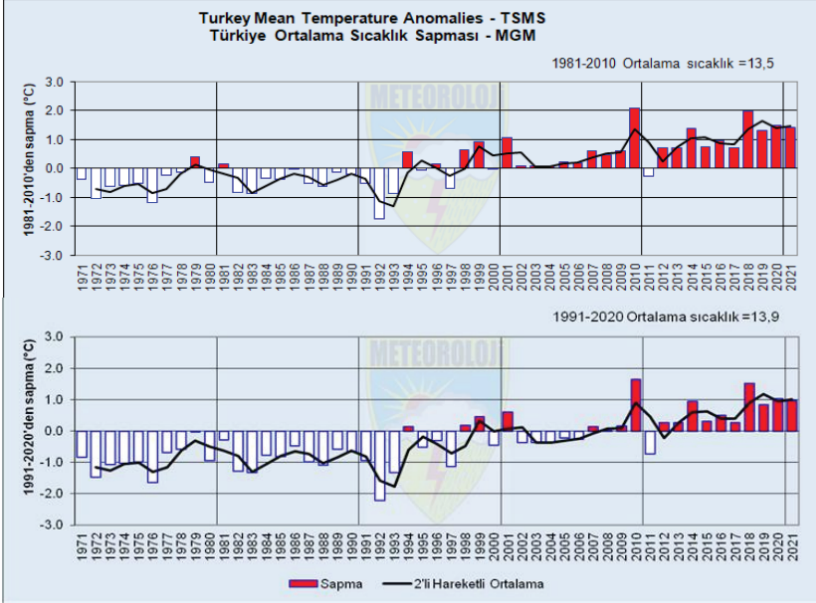
Genel olarak en sık kullanılan ilk iklim sınıflandırması 1900 yılında Alman bilim adamı Wladimir Köppen'e (1846-1940) aittir. Araştırmacılar birçok yeni iklim sınıflandırması geliştirsede en yaygın kullanılanıdır. Köppen İklim Sınıflandırması, 5 ana grupta toplanmıştır. Bunlar: Tropikal İklimler (A), Kurak İklimler (B), Sıcak Ilıman İklimler (C), Soğuk Kar İklimleri (D) ve Polar İklimler (E)'dir (Şekil 3) [12].



Şekil 3. Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi[12]

## 2.2. Türkiye'nin sıcaklık değerlendirmesi

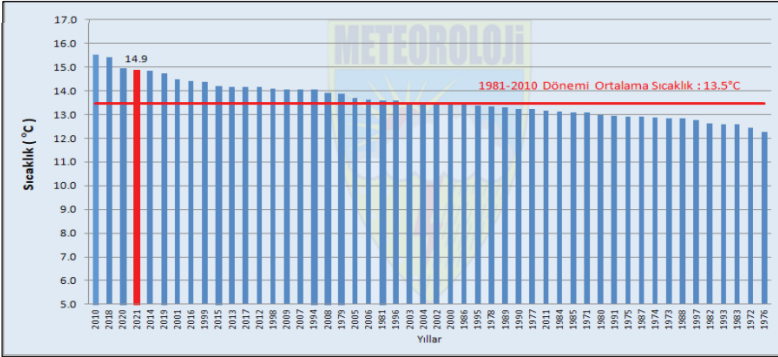
Sıcaklık Analizi Bakımından; Türkiye sıcaklık ortalaması şekil 4'ten bakıldığında yıllara göre değişkenlik göstermektedir. 1991 ve 2020 yılı arasındaki ortalama sıcaklık  $13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1981 ve 2010 yılları arası ortalama sıcaklığın  $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu gözlemlenmektedir. 2021 yılında ülkemizin sıcaklık ortalaması  $14,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu görülmektedir. Türkiye'nin son sıcaklık ortalaması dikkate alındığında 1981 -2010 yılı ile arasında  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  1991-2020 arası sıcaklık ortalaması ise arasında  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  oynamaktadır. 2021 yılı Türkiye ortalama sıcaklığı  $14,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ile 1981–2010 ortalaması olan  $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  üzerinde gerçekleşmiştir. 1991-2020 normal olan  $13,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye göre ise anomali  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir [12].



Şekil 1.1 İki iklim periyoduna göre Türkiye yıllık ortalama sıcaklık sapması (URL 1)

Şekil 4. İki iklim periyoduna göre Türkiye yıllık ortalama sıcaklık sapması [12]

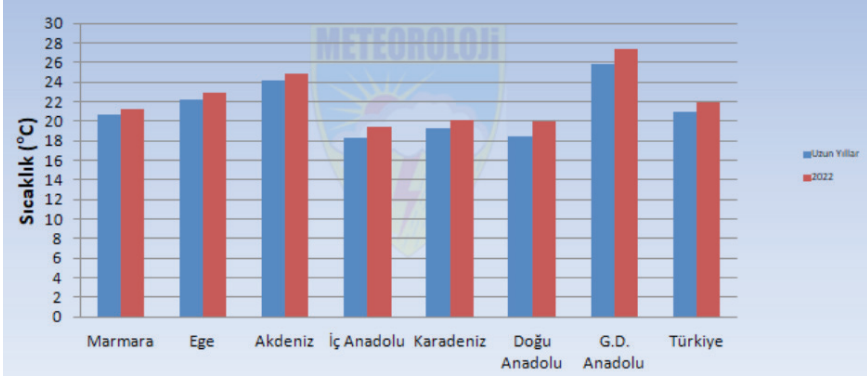
Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklık grafiği incelendiğinde 2010 yılın da ortalama sıcaklığın fazla olduğu görülmektedir. 1981 ile 2010 yılları arasında ortalama sıcaklığın 13,5 °C olduğu görülmüştür. Sıralamada 2021 yılı 14,9 °C ile 4. sırada yer almaktadır.



Şekil 1.2. Türkiye yıllık ortalama sıcaklık sıralaması (URL 1)

Şekil 5. Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklık sıralaması [12]

Şekil 6'da Türkiye uzun yıllara ait sıcaklıklar ve 2022 Eylül ayı sıcaklıkların karşılaştırılması incelendiğinde tüm bölgelerde sıcaklıkta artış olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Türkiye uzun yıllar ve 2022 Eylül ayı sıcaklıklarının karşılaştırılması

### 2.3. Türkiye'nin kuraklık değerlendirilmesi

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından biri olan kuraklık olayının incelenmesi oldukça önemlidir. Kuraklık olayı incelenirken iklim sınıflandırması gibi yağış, sıcaklık, buharlaşma gibi meteorolojik veriler gerekmektedir. Kuraklık sınıflandırılmasında da için birçok indeks yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılan;

PNI, Normalin Yüzdesi İndeksi

SPI, Standart Yağış İndeksi

SRI, Standart Akım İndeksi

PDSI, PHDI, WPLM, ZIND Palmer Kuraklık İndeksi

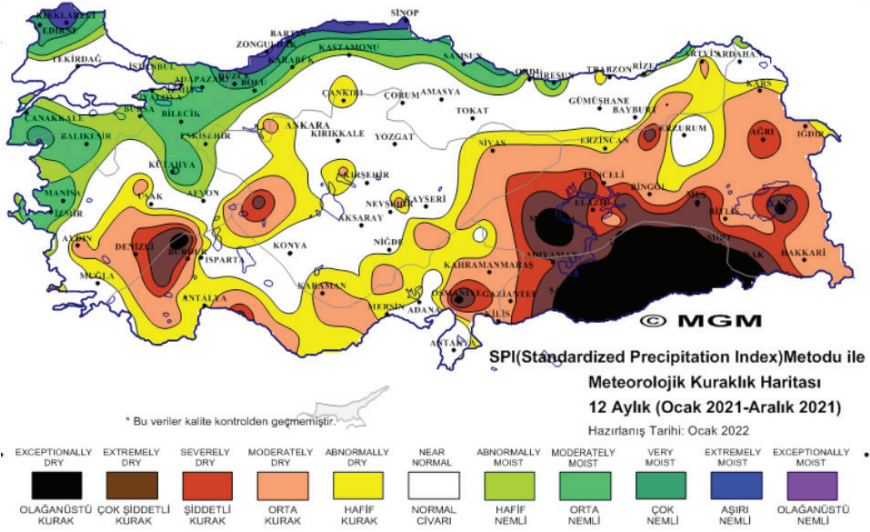
Deciles, Ondalıklar İndeksi

SGI, Standart Yeraltısuyu Seviye İndeksi

SPEI, Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi

NDVI, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi yöntemleridir [13, 14].

Bu yöntemlerden en çok kullanılan yöntem Standart Yağış İndeksi (SPI) yöntemidir. Şekil 7'de 12 aylık SPI yöntemine göre Türkiye yağış indeksi verilmiştir.

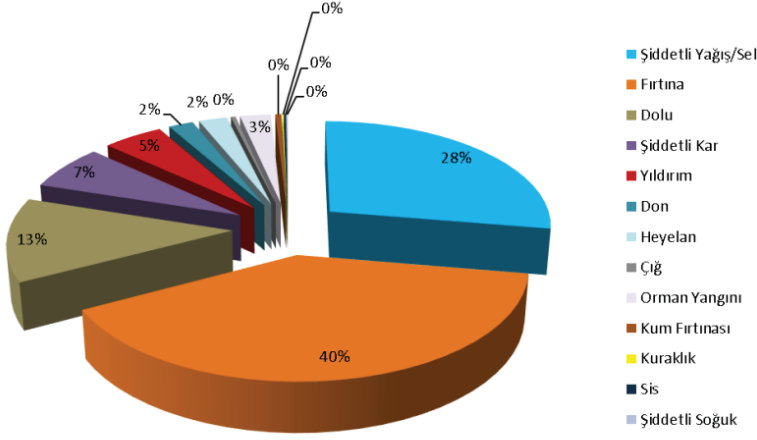


Şekil 7. 12 aylık SPI yöntemine göre Türkiye yağış indeksi [12]

## 2.4. İklim değişikliği sonucu oluşan ekstrem olaylar

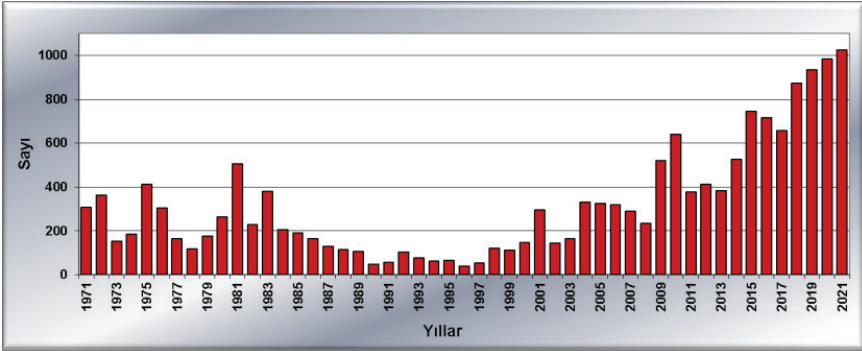
Sıcaklık ve yağışlardaki artış ve doğanın dengesinin bozulması sonucu son dönemlerde oldukça sık doğal afetlerle karşı karşıya kalmaktayız. Şekil 8 yıllar içerisinde olan ekstrem olayların oranlarını göstermektedir. Bu doğal afetlerden sel %28 oranında görülmektedir. Taşkınlar genellikle ani ve düzensiz yağışlar sonucu olmaktadır [15]. Özellikle son dönemlerde artan kentleşme sonucu betonlaşma ile yağışlar yeraltı suyuna geçemekte ve sel oluşmaktadır. Şiddetli yağışların vermiş olduğu bu zararları önlemek için altyapı sistemlerin geliştirilmesi ve çevreci planlamaların yapılması giderek zorunlu olmaktadır. Son dönemlerde bir başka doğal afette %40 gibi yüksek bir oranda fırtınalardır. Fırtınalar can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bu doğal afetlerin vermiş olduğu zararı önlemek için iklim olaylarının incelenip yeni yapılaşmaların buna göre plan ve projelendirilmesi gerekmektedir. Sıcaklıkların artmasıyla da orman yangınları olmaktadır.





Şekil 8. Ekstrem olayların oransal dağılımı [12]

Şekil 9'daki yıllar içerisinde olan ekstrem olay sayıları incelendiğinde ciddi anlamda artış olduğu görülmektedir. İklim değişikliği sonucu sera gazlarının etkisiyle oluşan ani ve düzensiz yağışların neden olabileceği görülmektedir.



Şekil 8. Yıllık ekstrem olay sayıları [12]

### 3. Sonuçlar

Küresel iklim değişikliği ülkeler için bir kriz haline gelmiştir. Yapılan çalışmalarda sıcaklık artışlarının olacağı tahmin edilmektedir. Türkiye 'de bölgesel ve genelde sıcaklık artışlarında artan bir trendin olduğu görülmektedir. Bu da Türkiye 'de tarım ve turizm açısından gerilemeye neden olunabileceğinin işareti olarak görülmektedir. Ülkemizin geleceğe dönük planları arasında mutlaka sulama ve içme suyuna yatırım yapmaları gerektiği düşünülmektedir. Trend analizler sonucunda Türkiye sıcaklık ortalamasının arttığı görülmektedir. Sıcaklık artışlarının artışı ekosistemi ve bütün doğayı etkilemektedir. Meteorolojinin geçmiş yağış verilerine bakıldığında sadece iç Anadolu Bölgesinin çok az bir kısmında yağış az

olmasına rağmen 2020-2021 uzun dönem yağış dağılımı grafiği incelendiğinde yağışın bariz bir şekilde azaldığı ve kuraklığın bu sebeple arttığı görülmektedir. İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011 yılında yayınlanmıştır. Söz konusu planda sıcaklığın artışı incelenmiştir. Ülkelerde gün geçtikçe küresel sıcaklığın arttığı konusu vurgulanmaktadır. Bu artış ülkemizde 2,5 ila -4 arasında olacağı ön görülmekte olup Ege ve Doğu Anadolu Bölgesinde 4 derece ve iç kesimlerde 5 dereceye kadar ön görülmektedir. Rapora göre ülkemiz kuraklık tehlikesi ile karşı karşıya gelecektir. Küresel ısınmanın hissedilir bir artışta olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Buda en çok sera etkisinin dünya üzerinde gittikçe hissedildiğinin ispatı olabileceği düşünülmelidir. Sanayi devriminin yükselmeye başladığı 1750 senesinden itibaren sanayileşme yüksek bir ivmeyle hız kazandı. Sera gazının en önemli sorumlusu CO<sub>2</sub>' dir. CO<sub>2</sub> gazı fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan bir gaz çeşididir. Dünya'da küresel ölçekte birçok kömür santrali ve fosil yakıtlarla çalışan araçlar bulunmaktadır. Bu sebeple yenilenebilir enerji ve elektrikli araçların gelişmesiyle CO<sub>2</sub> gazının çıkışı azaltılacaktır. Bu sebeple fosil yakıtlardan ülkemizin arındırılması ve küresel ölçekte alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi hususuna önem verilmelidir. Türkiye küresel iklim değişikliklerini yakın takibine almalı ve gerekli incelemeleri yaparak tedbirlerini almalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Aksay, C. S., Ketenoğlu, O., & Latif, K. U. R. T. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25), 29-42.
2. Sağlam, N. E., Düzgüneş, E., & BALIK, İ. (2008). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(1), 89-94.
3. Mostafa, S. M., Wahed, O., El-Nashar, W. Y., El-Marsafawy, S. M., Zelenáková, M., & Abd-Elhamid, H. F. (2021). Potential climate change impacts on water resources in Egypt. *Water*, 13(12), 1715.
4. Vicuña, S., Vargas, X., Boisier, J. P., Mendoza, P. A., Gómez, T., Vásquez, N., & Cepeda, J. (2021). Impacts of climate change on water resources in Chile. In *Water resources of Chile* (pp. 347-363). Springer, Cham.
5. Kakumanu, K. R., Kaluvai, Y. R., Nagothu, U. S., Lati, N. R., Kotapati, G. R., & Karanam, S. (2018). Building farm-level capacities in irrigation water management to adapt to climate change. *Irrigation and Drainage*, 67(1), 43-54.
6. Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Ghasemi, S. S., & Yang, H. (2009). Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water resources research*, 45(10).
7. Cunha, D. A. D., Coelho, A. B., Féres, J. G., & Braga, M. J. (2014). Effects of climate change on irrigation adoption in Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 36, 01-09.
8. Estrela, T., Pérez-Martin, M. A., & Vargas, E. (2012). Impacts of climate change on water resources in Spain. *Hydrological Sciences Journal*, 57(6), 1154-1167.
9. Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. *Our world in data*.
10. Driouech, F., ElRhaz, K., Moufouma-Okia, W., Arjdal, K., & Balhane, S. (2020). Assessing future changes of climate extreme events in the CORDEX-MENA region using regional climate model ALADIN-climate. *Earth Systems and Environment*, 4(3), 477-492.
11. İstatistik Veri Portalı, 18 Eylül 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayal%C4%B1-N%C3%BCfus-Kay%C4%B1t-Sistemi-Sonu%C3%A7lar%C4%B1-2021-45500&dil=1>
12. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 18 Eylül 2022. İklim - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx>
13. Korkmaz, m. Yozgat ilinin kuraklık araştırması ve trend analizi. *Engineering sciences*, 16(2), 89-96.

14. Korkmaz, m. (2021). Trend analysis of the effect of rain on solar energy production in a sustainable future. *Fresenius environmental bulletin*, 30(8), 10158-10166.
15. Korkmaz, M. Nehirlerde Taşkın Tekerrür Debisi Hesabı ve Taşkın Risk Değerlendirmesi. *El-Cezeri*, 9(2), 532-541.

“

## Bölüm 17

**ŞİŞEN ZEMİNLERİN TANIMLANMASINA  
VE İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK  
YÖNTEMLER**

*Nurdan BAYKUŞ<sup>1</sup>*

”

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, ORCID ID: 0000-0002-6199-3363

## 1. Giriş

Yeryüzündeki zemin türlerinden biri olan şişen zeminler ve dispersif zeminler farklı mühendislik alanlarında önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle yıllık yağış miktarının yıllık buharlaşma miktarından az olduğu kurak veya yarı kurak bölgelerde rastlanan bu zeminler, su içeriğindeki değişiklik sebebiyle zeminde şişme-büzülme çevrimini oluşturmaktadır (Vural, 2012). Mevsim değişimi nedeniyle kış mevsiminde yağış sularının zemin içerisine infiltre olması ve yaz mevsiminde ise bu suların buharlaşması su içeriğindeki bu değişiminin başlıca nedeni olabilmektedir (Demir ve Kılıç, 2010).

Şişen zeminlerin su ile irtibatlı olması halinde meydana gelen anormal hacimsel değişimlerden etkilenen birçok mühendislik yapısı mevcuttur. Bu tür zeminler üzerine inşa edilen hafif yapılar, karayolları, demiryolları, havaalanları, istinat duvarları, altyapı tesisleri (içme suyu ve kanalizasyon boruları), park alanları, tüneller, bahçe duvarları ve sulama kanalları vb. yapılarda ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir (Uzundurukan, 2006; Demir ve Kılıç, 2010). Dünyanın birçok ülkesinde ise her yıl şişen zeminlerden dolayı milyar dolarlık hasarlar oluşmaktadır (Jones ve Holtz, 1973). Bu hasarlar seller, su taşkınları, toprak kaymaları, fırtına ve deprem vb. doğal afetler kadar ani ve hızlı gelişmenin aksine genellikle yavaş gelişmektedir. Ek olarak can kaybından ziyade önemli mal ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır (Acar, 2017).

Zeminlerin şişme-büzülme veya kütledeki hacimsel değişimde, zemin tekstüründeki kil minerallinin minerolojik yapısı, kil miktarı ve kil danelerinin dizilişi etkili olmaktadır (Katti ve ark., 1969; Mbagwu ve Abeh, 1998). Ayrıca değişebilir katyonların miktarı, karbonatların oranı, zeminin su içeriği ve kuru birim hacim ağırlığı, strüktür ve mikrostrüktür, çevresel faktörler, kompaksiyon, suyun kimyasal yapısı ve kil daneleri arasındaki çimentolanma bağları vb. birçok faktörden de etkilenmektedir (Uzundurukan, 2006; Acar, 2017). Zemin tekstüründe suya karşı hassasiyeti olan başlıca montmorillonit grubu killerin bulunması, o zeminin şişme potansiyelinin fazla olduğunu göstermektedir. Minerolojik yapısındaki önemli farklılıklardan ve spesifik yüzey alanı diğer kil minerallerinden çok geniş olan montmorillonitler, su tutma potansiyeli, hacim değiştirme ve plastisite özelliği yüksek olup doğada tabakalı bir yapıda bulunmaktadır (Angın ve Angın, 2005). Bu tabakalar arasındaki bağların zayıf olması, suyun tabakalar arasına girmesine ve tabakaların birbirinden ayrılmasına sebep olmakta ve dolayısıyla da zemin hacimsel değişime uğramaktadır. Tabakalar arasında bulunan su molekülleri ve değişebilir iyonlar ise kilin değişik karakteristik özelliklerini ortaya koymaktadır (Malayoğlu ve Akar, 1995).

Şişen zeminlere ilişkin problemlerin tanımlanması oldukça yakın bir geçmişe sahiptir (Vural, 2012). Killi zeminlerde görülen bir başka problem ise zeminin dispersif karaktere sahip olmasıdır. Yapısı stabil olmayan bu tip zeminler ise kilin mineral yapısı ve kimyasal özellikleri ile beraber boşluk suyu ve tekstüründeki çözünmüş tuz içeriği ve miktarına bağlı olarak kolayca erozyona uğrayabilmektedir (Mitchell, 1976; Vural, 2012). Bu bakımdan bu tür problemlili zeminlerin tanımlanması ve sınıflandırılması, her bir mineral türünün davranışının birbirinden değişik olması sebebiyle mineralojik yapısının belirlenmesi, fiziko-kimyasal özelliklerinin ve endeks özelliklerinin belirlenmesi vb. zeminin davranışı hakkında bilgi sahibi olunması açısından önem taşımaktadır (Acar, 2017).

## 2. Killerin Genel Yapısı ve Özellikleri

Yapısının çok değişken olması sebebiyle killer, davranış özelliklerinin bulunması ve bilinmesi açısından önemli bir zemin türüdür. Kil dane boyutu 0.002 mm den küçük, mikroskopik veya daha küçük daneleri içerebilen bir zemindir. Kil daneleri kimyasal olarak, iri ana kayaç danelerinin yıkanarak ayrışmaları sırasında hidratlanmış alümino-silikatlardan oluşmaktadır. Fiziksel olarak ise yassı ve uzun veya tabakalı olabilirler. Küre veya kübe benzer şekilleri ve çok küçük dane yapısından dolayı çok geniş yüzey alanına sahiptirler (Kalava, 1992). Dane boyutu veya çapı küçüldükçe, kilin yüzey alanı yüksek oranda büyüme göstermektedir (Şensöz, 2006).

Killer doğada bol miktarda bulunan, suyla ıslatıldığı zaman plastikleşen ve kuruma veya pişme ile sertleşebilen kohezyonlu bir zemindir. Öncelikle ziraat sektörünün temel taşlarından biri olmakla birlikte, inşaat, seramik, sağlık vb. pek çok sektör dalında hammadde olarak kullanılmaktadır (Şensöz, 2006; Vural, 2012). Killer düşük hidrolik iletkenliğe ve yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir. Elektrokimyasal olarak aktif bir yapıdadır (Çimen ve ark., 2021). Herhangi bir zemin grubu içerisinde az miktarda bile olsa kil minerallerinin varlığı o zeminin mühendislik özelliklerini ciddi ölçüde etkileyebilmektedir (Holtz ve ark., 1981; Uzuner, 2016). Zeminin kil içeriği arttıkça, zeminin davranışı kilin özellikleri tarafından kontrol edilmektedir. Bir zemin kütledeki kil içeriğinin yaklaşık %50 kadar olması durumunda, kum ve silt daneleri bir hamur içerisinde yüzen daneler gibidirler ve zeminin davranışı üzerindeki etkileri de çok küçüktür (Taşçı, 2011; Vural, 2012).

Çok çeşitli sınıflandırmaya sahip olan killerin en önemli özelliği mineralojik oluşumlarıdır (Chen, 1988). Mühendislik amaçlı kullanılan kil tiplerini ise mineralojik oluşumlarına göre üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar; smektit (montmorillonit) grubu, illit grubu ve kaolinit grubudur. Bu kil tiplerinin kimyasal oluşumları ise tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yaygın kil mineral tiplerinin kimyasal oluşumu (Mitchell, 1976).

Kil Mineral Tipi	Kimyasal Formülü
<i>Montmorillonit</i>	$Al_2(OH)_2Si_4O_{10}$
<i>İllit</i>	$K_{0.2}Al_4(Si_{3.6}Al_{0.2})O_{20}(OH)_4$
<i>Kaolinit</i>	$Al_2(OH)_4Si_2O_5$

Killer doğada çok nadir saf olarak bulunmaktadır. Farklı bir ifadeyle mineral tiplerindeki farklılıklar nedeniyle tanımlanabilme aşamaları oldukça karmaşıktır. Bu bakımdan mineralleri kimyasal oluşumları açısından gruplandırmak her bir grubun benzer mühendislik özelliği göstermesi bakımından uyumlu olmaktadır (Nelson ve Miller, 1992).

Genel olarak, kil mineralleri, yüzeysel aktiviteleri ve moleküler yapılarından dolayı yüzeylerine dipolar su moleküllerini ve farklı katyon iyonlarını çekme yeteneğine sahiptirler. Bu nedenle, zeminin şişme potansiyeli, kilin mineralojik yapısına ve mevcut değişebilir katyon iyonlarına önemli ölçüde bağlıdır. Farklı kil mineralleri, yapısal özellikleri ve tabakaları arasındaki bağlanma farklılıklarından dolayı değişik şişme potansiyelleri göstermektedir (Uzundurukan, 2006). Montmorillonit grubu killer aşırı şişme potansiyeline sahip olduklarından, problemlili bir kil grubudur. Şişme veya büzülme sonucunda büyük hacimsel değişimlere neden olurlar. Bu hacimsel değişimler, illit grubu killerde orta, kaolinit grubu killerde ise daha düşük seviyededir. İllit grubu killerin genleşmeleri önemli problemlere neden olmazken, kaolinit grubu killer genellikle genleşmemektedir (Taşcı, 2011).

## 2.1 Killerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Killerin davranışı hakkında herhangi bir kullanım veya tasarım aşamasında ve sonrasında meydana gelebilecek olumsuzlukların engellenmesi amacıyla fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi önemli olmaktadır. Literatürde killerin davranışı üzerinde fiziko-kimyasal özelliklerin, katyon değişim kapasitesinin, killerin kimyasal bileşiminin, özgül yüzey alanının, pH, absorpsiyon özelliklerinin önemli rol oynadığını gösteren birçok çalışma mevcuttur (Ammann, 2003; Öztürk, 2012).

### 2.1.1 Spesifik Yüzey Alanı

Spesifik yüzey alanı, zeminde oluşan birçok fiziko-kimyasal işlemin gerçekleştiği ortamı tanımlayan ve zeminin sahip olduğu yapısal özelliklerine ait fonksiyonların gerçekleşmesinde etkin rol oynayan bir özelliktir (Acir ve Günel, 2020). Çünkü dispersiyon ve flokülasyon, şişme ve iyon değişimi özellikleri spesifik yüzey alanına bağlıdır (Vural, 2012). Spesifik yüzey alanı, zemin içindeki su ile etkileşimi kontrol eden önemli bir unsurdur (Şensöz, 2006). Kil minerali boyut olarak küçüldükçe, spesifik yüzey alanı artmakta ve dolayısıyla zeminin şişme potansiyeli artmaktadır



(Gregg ve Sing, 1982). Killerin şişme potansiyeli ile spesifik yüzey alanı arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok çalışma mevcuttur (Grabowska-Olszewska, 1970; Ross, 1978; Petersen ve ark., 1996). Ross (1978) şişme potansiyelindeki değişimin, kil yüzdesinden çok spesifik yüzey alanı ile ifade edilebileceğini belirtmiştir. Petersen ve ark. (1996) spesifik yüzey alanı ile zemin yapısı, katyon değişim kapasitesi, su tutma ve doymuş hidrolik iletkenlik arasında bir ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Spesifik yüzey alanındaki değişim ile plastisite vb. gibi özellikler açısından da killerin minerolojik yapısındaki farklılıkların büyük bir kısmı açıklanabilmektedir (Uzundurukan, 2006).

### 2.1.2 Katyon Değişim Kapasitesi

Katyon değişim kapasitesi, kil mineralinin kristal strüktürünün değişimsiz, iyonların yerlerini eşit veya farklı değerli başka iyonlar ile yer değiştirmesidir. Bu değişime izomorf değişim adı verilmektedir. İzomorf değişim örneğin zeminde alüminyumun fazla olduğu bir yerde bir silikon atomunun yerini bir alüminyum atomunun alması durumunda silikon +4, alüminyum +3 yüklü olduğu için bu değişimle bir dengelenmemiş elektrik yükü veya başka bir ifadeyle negatif yük durumu ortaya çıkmaktadır (Vural, 2012). Yük dengesizliğini gidermek için ortamda bulunan katyonlar kil danesine doğru çekilir. Kil danesinin kenarlarına, yüzeylerine veya tabakaları arasına bağlanan bu katyonlar değişebilir katyonlar olarak isimlendirilir. Kilin yük dengesizliğini gidermek için değişebilir katyonların toplamına ise katyon değişim kapasitesi adı verilir (Uzundurukan, 2006).

Killerin mineral yapısında bulunan değişebilir katyonların miktarı ve türü kilin pek çok özelliğini etkilemektedir. Zeminin pH'ı, elektriksel iletkenliği, geçirgenliği, bağlı nemi, gözenekliliği, şişme potansiyeli, dispersif olma derecesi, dane dağılımı ve yapısı gibi özellikleri, toplam değişebilir katyonların miktarına ve türüne bağlıdır (Bektaş, 2009; Kalpaklı ve ark., 2022). Ayrıca bir zeminin katyon değişim kapasitesi değeri, kil mineral yapısının bir göstergesidir ve genellikle katyon değişim kapasitesinin büyük olması, zeminin şişme potansiyelinin fazla olduğunu göstermektedir (Uzundurukan, 2006; Sharma, 1998; Mitchell, 1976).

### 2.1.3 Elektriksel İletkenlik

Kil mineralleri elektrolit bir çözelti ile karıştırılması durumunda kilin yapısında bulunan bazı katyon iyonlarının ( $Al^{+3}$ ,  $Mg^{+2}$  veya  $Fe^{+2}$ ) suya geçmesiyle ve suyu oluşturan  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonlarından dolayı kil yüzeyi pozitif veya negatif bir elektrik yükü kazanır. Bu durumda kil daneciklerinin yüzeyi ve kenarları kimyasal dengeye ulaşana kadar zıt yüklerle çevrelenir (Demiral, 2013). Kil yüzeyinin yakınında ara yüzey oluşturarak yüzeyin potansiyelini sıfıra indiren veya danecik yüzeyini dengeleyici iyonlar adsorplanmaktadır. Zıt yüklü iyonların absorplanması ise elekt-

riksel çift tabaka olarak adlandırılmaktadır (Toprakezer, 2009; Kalpaklı ve ark., 2022). Bu tabaka, bir yüzeyin çevresindeki elektriksel potansiyel değişimini açıklamaktadır yani ortamın elektrik iletme kapasitesinin bir ölçüsü olduğu belirtilebilir. Kil-su etkileşiminin elektriksel iletkenliği, bileşimdeki dane konsantrasyonu ve iyonların cinsi ile ilgilidir. Dane konsantrasyonu arttıkça, katyon iyonlarının ve koloidal danelerin hareketi ile solüsyonun iletkenliği artmaktadır. Ek olarak, bir danedeki elektriksel yükün miktarı, o danenin spesifik yüzey alanı ile de ilişkilidir. Spesifik yüzey alanı, danelerin davranışına etkileyen elektriksel yükün derecesini gösterebilmektedir (Vural, 2012). Esas olarak, zeminde hacim değişikliği olayı (şişme veya büzülme) kilin yüzeyi, su ve iyonlar arasındaki etkileşim kuvvetlerinin dengelenmesinden meydana gelmektedir (Uzundurukan, 2006).

### 2.1.4 pH Değeri

pH değeri, bir ortamın asidik ( $H^+$ ) veya bazik ( $OH^-$ ) olma derecesini ifade eden bir ölçü birimidir. pH'ın değişimi zemin ve su etkileşimini ciddi ölçüde etkileyebilmektedir. Düşük pH değeri bir zeminde flokülasyon ile ilişkilendirilirken, yüksek pH değeri ise dispersiyon ile ilişkilendirilmektedir. Yüksek pH değeri, kil danelerinin yüzeyindeki negatif yükü ve dispersiyonu arttırabilmektedir. Dolayısıyla daneler arasındaki itme kuvvetini de arttırmaktadır. pH değeri aynı zamanda kil danelerinin adsorpsiyon özelliklerini de etkilemektedir. Asit durumunda adsorpsiyon artarken, bazik durumda kil dane yüzeyinin elektriksel potansiyelini azaltmaktadır (Vural, 2012). pH değeri, zeminin sızıntısını ve agrega stabilitesini de etkileyebilmektedir (Suarez ve Gonzalez-Rubio, 2017).

### 2.2 Killerde Nem Etkileşimi

Killerin su içeriği ve su absorpsiyon kapasitesi veya su tutma enerjisi birçok özelliğini etkileyen parametredir. Bu özellikler kıvam durumu, dayanımı, hacimsel değişimi, konsolidasyonu, yoğunluğu, hidrolik iletkenliği vb. olarak sayılabilir. Killer su emme sonucu şişme ve kuruma veya su kaybı sonucu büzülme gösterirler. Killerin nem miktarındaki değişim neredeyse her zaman hacimsel değişime sebep olur (Yılmaz, 1998). Bu değişim zemin gözenekliliğini de önemli ölçüde etkilemektedir. Aynı zamanda killerdeki su emme sonucu oluşan hacimsel genişleme, kil üzerine etkileyen yükün ve şişme basıncının da bir fonksiyonudur (Genç, 2009). Killerdeki şişme basıncı geniş bir aralıkta değişmekle birlikte eğer üzerine gelen yük miktarının aşılması durumunda zeminde oluşacak kabarmalar önemli sorunlara neden olabilir. Bu tür zemin kabarmalarında kilin, mineralojik yapısı, dokusu, kimyasal bileşimi, su içeriği, ortam sıcaklığı ve konsolidasyon miktarı gibi faktörler önemli olmaktadır. Önceki çalışmalarda, zeminde şişmenin özellikle suya karşı daha hassas olan montmorillonitin

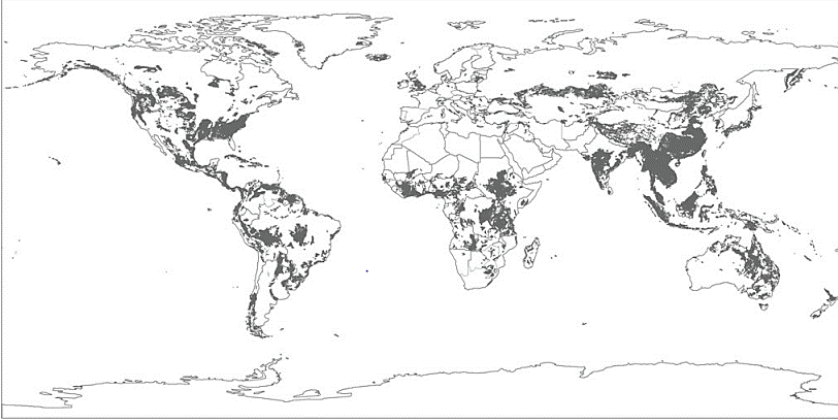
varlığı, killerin katyon değiştirme kapasiteleri, absorpsiyon, özgül yüzey alanları ve zemin strüktürü ile ilişkili olduğu da gösterilmiştir (Hang ve Brindley, 1970; Gromko, 1974; Petersen ve ark., 1996).

Şişen zeminlerin su ile etkileşim potansiyelinde, zeminin başlangıçtaki su muhtevasının etkisi de oldukça büyüktür. Başlangıç nem içeriği, bazı sınırlamalar dahilinde zeminin şişme-büzülme potansiyelini etkileyebilmektedir. Doğal su muhtevasının %15'in altında olduğu kil zeminler, şişmeye karşı aşırı duyarlı olabilmektedir (Seed ve ark., 1962; Taşcı, 2011).

### 3. Şişen Zeminler

#### 3.1 Şişen Zeminlerin Tanımlanması

Genel olarak şişen zeminler, su içeriği arttığında hacminde artma, su içeriği azaldığında hacminde azalma gözlenen ve mühendislik yapılarında önemli sorunlara neden olabilen bir zemin türü olarak tanımlanmaktadır. Şişen zeminler dünya üzerinde Amerika Birleşik Devletleri, Afrika, Avustralya, Hindistan, Türkiye, İngiltere, Norveç, Meksika, Almanya, Japonya gibi birçok ülkede geniş bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1) (Yılmaz, 1998; Jones, 2017). Dağılımları ise jeoloji, iklim şartları, hidrolojik özellikler, jeomorfoloji ve bitki örtüsüne bağlı olarak değişebilmektedir (Jones, 2017). Bu zeminlerin herhangi bir tasarımın keşif ve ön araştırma aşamasında tanımlanabilmesi, tasarımın amacına uygun, işlevsel ve doğru yapılabilmesi ayrıca ileride karşılaşılabilecek yapı ve maliyet problemlerinin önüne geçilebilmesi adına önemlidir.



Şekil 1. Şişen-büzülen zeminlerin küresel dağılımı (bölgelere göre) (Jones, 2017).

Şişme potansiyeline sahip zeminlerin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla birçok deney ve değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemleri niteliksel ve niceliksel olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Niteliksel yöntemler zeminin Atterberg (Kıvam) limitleri, kil yüzdesini, başlangıç su muhtevası, birim hacim ağırlıkları, aktivitesi, büzülme

sınırları vb. gibi özelliklerinin belirlenmesi suretiyle birtakım korelasyonlara gidilerek zeminin şişme potansiyelini yüksek, orta, düşük şeklinde ve ampirik yöntemlerle değerlendirilmesidir. Niceliksel yöntemler ise konsolidasyon (ödometre) deneyi ile zeminin şişme yüzdesi ve şişme basıncının bulunmasıdır (Demir ve Kılıç, 2010).

Zeminlerin şişme yüzdesi (oranı) belli bir yük altında zeminin suya doygun oluncaya kadar oluşan hacim artışının, zeminin başlangıçtaki hacim artışına oranıdır. Kısacası zemin numunesinin hacimsel artış yüzdesidir. Şişme basıncı ise zeminde meydana gelebilecek hacimsel değişikliğe engel olabilecek basınçtır. Bu basınç, zeminin başlangıç hacminin sabit tutulmasını sağlar (Vural, 2012).

### 3.2. Tanımlama Deneyleri

Mühendislik uygulamalarında şişen zeminleri tanımlamak için dane boyutu dağılımı, Atterberg (Kıvam) limitleri, kil içeriği, birim hacim ağırlıkları tayini, başlangıç su muhtevası vb. gibi zeminin endeks özellikleri en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Ancak bu yöntemler dışında jeolojik ve ziraat amaçlı olarak farklı deney yöntemleri de bulunmaktadır. Bunlar; şişen zeminlerin davranışını kontrol eden kil minerolojisinin X-ray difraksiyon (XRD), tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ve diferansiyel termal analiz (DTA) gibi yöntemlerle belirlenmesi, killerin katyon değişim kapasitesinin belirlenmesi, potansiyel hacim değiştirme (PVC) deneyi, serbest şişme ve Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deneyi vb. olarak sayılabilir. Tablo 2’de şişen zeminleri belirlemek amacıyla yapılan laboratuvar deneyleri özetlenmektedir.

Tablo 2. Şişen zeminlerin belirlenmesinde kullanılan laboratuvar deneyleri (Nelson ve Miller, 1992).

Deneyler	Referanslar	İncelenen Özellikler	Belirlenen Parametreler
<b>Atterberg (Kıvam) limitleri</b>	ASTM standartları 1991	Plastisite ve Kıvam	
<b>Likit limit (LL)</b>	ASTM D-4308	Plastisitenin üst limit su içeriği	<b>Plastisite indisi (PI) = LL - PL</b>
<b>Plastik limit (PL)</b>	ASTM D-4318	Plastisitenin alt limit su içeriği	<b>Likitlik indisi (LI) = <math>\frac{(\omega - LL)}{(LL - PL)}</math></b>
<b>Rötre limiti (RL)</b>	ASTM D-427	Zemin büzülmesinin alt limit su içeriği	R=Büzülme oranı L <sub>s</sub> =Lineer büzülme
<b>Kil yüzdesi (%)</b>	ASTM D-422	İnce daneli parçacık boyutlarının dağılımı	2 µm’den küçük danelerin yüzdesi
<b>Minerolojik deneyler</b>	Whittig, (1964)	Kil partiküllerinin minerolojisi	
<b>X ışını difraksiyonu</b>	ASTM STP 479 (1970)	Karakteristik kristal boyutları	Bazal aralıkları

<b>Diferansiyel termal analiz</b>	Barshad, (1965)	Isıl işlemlere karşı karakteristik reaksiyonlar	Termogramlarda reaksiyon zirvelerinin alanı ve genişliği
<b>Elektron mikroskopu</b>	McCrone ve Delly, (1973)	Kil partiküllerinin boyutu ve şekli	Parçacıkların görsel kaydı
<b>Kasyon değişim kapasitesi</b>	Chapman, (1965)	Kil parçacıklarının yük eksikliği ve yüzey aktivitesi	KDK (meq/100 gr)
<b>Serbest şişme deneyi</b>	Holtz ve Gibbs, (1956)	Konsolide olmayan, hava ile kurutulmuş zemin numunesinin ıslanması üzerine şişme	$\text{Serbest şişme (\%)} = \frac{(\text{Vyaş} - \text{Vkuru})}{\text{Vkuru}} \times 100$
<b>Potansiyel hacim değişimi (PVC)</b>	Lambe, (1960b)	Yarı gerilim kontrollü koşullar altında sıkıştırılmış, PVC yeniden kalıplanmış numunenin tek boyutlu şişmesi ve basıncı	SI (Şişme endeksi) (lb/ft <sup>2</sup> ) PVC (Potansiyel hacim değişimi)
<b>Şişme endeksi deneyi</b>	Uniform Bina Kodu	Başlangıçta %50 doygunluğa kadar sıkıştırılmış numunenin 1 psi ek yük altında tek boyutlu şişmesi	Şişme endeksi (SI)
<b>Kaliforniya taşıma gücü deneyi</b>	Yoder ve Witzcak, (1975) Kassiff ve ark., (1969)	Kısmi ıslanma üzerinde sıkıştırılmış, yeniden kalıplanmış numunelerin sürüş basıncı altında tek boyutlu şişmesi	CBR, Şişme yüzdesi (%)
<b>Doğrusal genişletilebilirlik katsayısı (COLE) testi</b>	Brasher ve ark., (1966)	5 psi'den (33 kPa) etüv kurusu emmeye kadar kurutulduğunda, doğal zemin parçasının doğrusal değişimi	COLE ve LE (%)

### 3.3 Şişen Zeminlere Etki Eden Faktörler

Bir zeminin şişme potansiyeline veya davranışına etki eden pek çok faktör bulunmaktadır. Şişme potansiyeli olmayan herhangi bir zemin türü sahadaki koşullar her ne olursa olsun şişmeye uğramaz. Ancak şişen zeminler, zeminin mevcut fiziksel özelliklerine, daha sonra uğrayabileceği gerilme ve su içeriğindeki değişimlere bağlı olarak çok ya da az kabarma, şişme ve hatta çökme gösterebilirler. Bir zeminin şişme potansiyeline etki eden faktörler, zemin özellikleri ve çevresel faktörler şeklinde gruplandırılarak, tablo 3 ve tablo 4'de özetlenmektedir.

*Tablo 3. Şişme-büzülme potansiyelini etkileyen zemin özellikleri (Nelson ve Miller, 1992).*

Etken	Tanımlama
Kil mineralojisi	Tipik olarak zemin hacmi değişimlerine neden olan kil mineralleri, montmorillonitler, vermikülitler ve bazı karışık tabaka mineralleridir. İllitler ve Kaolinitler nadiren şişerler, ancak parçacık boyutları aşırı derecede ince olduğunda (bir mikronun onda birkaçından daha az) hacim değişimlerine neden olabilirler.

Zemin suyu kimyası	Şişme, artan katyon konsantrasyonu ve artan katyon değeri ile bastırılır. Örneğin, zemin suyundaki $Mg^{+2}$ katyonları, $Na^+$ katyonlarından daha az şişmeye neden olurlar.
Zemin emmesi	Zemin emmesi, doymamış zeminlerde negatif boşluk basıncı ile temsil edilen, bağımsız bir efektif gerilme değişkenidir. Zemin emmesi, doygunluk, yerçekimi, gözenek boyutu ve şekli, yüzey gerilimi ve zemin parçacıklarının ve suyun elektriksel ve kimyasal özellikleri ile ilgilidir.
Plastisite	Genel olarak, geniş nem içeriği aralığında plastik davranış sergileyen ve yüksek likit limitleri olan zeminlerin şişme ve büzülme potansiyeli daha yüksektir. Plastisite, şişme potansiyelinin bir göstergesidir.
Zemin yapısı ve dokusu	Floküle killer, dağılmış killerden daha fazla yayılma eğilimindedir. Çimentolaşma şişmeyi azaltır. Zemin yapısı ve dokusu daha yüksek su içeriğinde sıkıştırma veya yeniden kalıplama ile değiştirilir. Yoğurma sıkıştırmasının, daha düşük su içeriklerinde statik olarak sıkıştırılmış zeminlerden daha düşük şişme potansiyeline sahip dağınık yapılar oluşturduğu gösterilmiştir.
Kuru yoğunluk	Daha yüksek yoğunluklar genellikle daha yakın parçacık aralıklarını gösterir, bu da parçacıklar arasında daha büyük itme kuvvetleri ve daha büyük şişme potansiyeli anlamına gelebilir.

Tablo 4. Şişme-büzülme potansiyelini etkileyen çevresel koşullar (Nelson ve Miller, 1992).

Etken	Tanımlama
Başlangıç nem durumu	Kurutulmuş geniş bir zemin, daha yüksek su içeriğine ve daha düşük emmeye sahip aynı zeminden daha yüksek bir su çekimine veya daha yüksek emmeye sahip olacaktır. Tersine, ıslak bir zemin profili, kurutma etkilerine maruz kaldığında daha kolay su kaybedecek ve nispeten kuru bir başlangıç profilinden daha fazla büzülecektir. Başlangıç zemin emmesi, beklenen nihai emme koşulları aralığı ile bağlantılı olarak düşünülmelidir.
Nem değişimleri	Profilin üst kısmına yakın aktif bölgedeki nem değişiklikleri öncelikle kabarmayı tanımlar. Nem ve hacim değişikliğindeki en geniş varyasyon, bu katmanlarda meydana gelir. Nem değişimlerini, drenaj ve yapay su kaynakları, iklim, yeraltı su seviyesi, permeabilite, bitki örtüsü ve sıcaklık etkiler.
Gerilme koşulları	Gerilme geçmişi, arazi koşulları, yükleme ve zemin profilinin zeminin şişme-büzülme davranışı üzerinde önemli etkileri vardır.

#### 4. Şişen Zeminlerin İyileştirilme Yöntemleri

Şişen zeminler üzerlerine inşa edilen mühendislik yapılarını yukarıya doğru itme kuvvetine maruz bırakırlar. Bu itme kuvveti, temel yapılarını ve yapı elemanlarını, yukarı doğru kaldırabilir, çatlatabilir veya kırabilir (Genç, 2009). Mühendislik yapılarına neden olabilecekleri bu hasarlar nedeniyle şişen zeminlerin uygun yöntemler ile iyileştirilmesine gidilmelidir.

Şişen zeminlerin kabarmasını en az düzeye indirmek için uygulanabilecek birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler, uygun olmayan zemini kaldırıp, yerine amacına uygun zemin yerleştirmek, farklı içerikli katkıları kullanarak zeminin iyileştirilmesine yönelik işlemler, uygun drenaj teknikleri ve kompaksiyon işlemleri, kimyasal elektroozmos vb. olarak sayılabilir. Yöntemlerin uygulanabilirliği mevcut saha ve zemin özelliklerine,

yapı tipine, yer altı suyu durumuna malzeme ve ekipman teminine vb. bağlı olarak değişebilmektedir. Her bir yöntemin düşük, orta veya yüksek şişme potansiyeline sahip zeminler için beklenen etkisi farklıdır. Bazı yöntemler yalnız düşük şişme basıncına sahip zeminler için kabarmayı tolere edebilirken, bazı yöntemler yüksek şişme ve temel basınçlarını iyileştirmede başarılı bir şekilde kullanılabilirler (Jones ve Jefferson, 2012). Uygulamadaki titizlik ve yöntemin doğru seçilmesi iyileştirmenin başarılı olmasında etkilidir (Gromko, 1974).

Zeminlerin iyileştirilmesi ile zemin yapısının daha elverişli bir hale gelmesi sağlanır. Zeminlerin iyileştirilmek istenen özellikleri ise zeminlerin taşıma kapasitesini ve çevresel koşullar altında direncini arttırmak, kayma mukavemetini ve yoğunluğunu arttırmak, konsolidasyon, sıkışabilirlik, geçirimsizlik ve sıvılaşma gibi mühendislik özelliklerinde olumlu sonuçlar elde etmek ve zeminin hacimsel değişim yeteneğini azaltmak vb. olarak sayılabilir.

#### **4.1 Şişen Zemini Kaldırma ve Yer Değiştirme**

Şişen zeminlerin bulunduğu yüzeylerden, şişme özelliği gösteren zeminin kaldırılması ve yerine şişme özelliği olmayan uygun dolgu malzemesinin serilmesi suretiyle uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem şişen zemin tabakası az bir derinliğe sahip ise tabakanın tamamen kaldırılması veya şişen tabakanın derin olması durumunda ise uygun kalınlığın belirlenip, zeminin o noktaya kadar olan kısmının değiştirilmesine dayanır. Yerleştirilen dolgu malzemesi ile taşıma gücü yüksek ve yüksek yoğunluklu bir tabaka elde edilmesi sağlanır. Bu yöntem kısa sürede tamamlanabilmesi ve özel ekipmanlar gerektirmemesi bakımından avantajlı ve ekonomik olabilir. Ancak maliyeti arttırmamak adına dolgu malzemesinin, yapıya yakın yerden temin edilebilmesi önemlidir (Çetin, 2003).

#### **4.2 Kompaksiyonun Kontrol Edilmesi**

Kompaksiyon işlemi yani sıkıştırma ile zemin danelerinin birbirlerine yaklaştırılması ve daneler arasındaki hava boşluklarının azaltılarak daha kompakt bir zemin yapısı elde edilebilmesi mümkündür. Bu sayede zeminin taşıma gücü ve yoğunluğu artar, geçirimsizliği azalır ve zeminde oluşabilecek hacim değişimlerinin önüne geçilmiş olur. Zemin stabil bir yapı kazanır. Ancak kompaksiyon işleminin, laboratuvarında elde edilen optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerine bağlı olarak arazide kontrollü bir şekilde yapılması gerekir.

Şişen zeminlerin şişme potansiyelleri ancak zeminin kuru yoğunluğunu azaltarak düşürülebilir. Bu sebeple optimum su içeriğinin üstünde minimum kuru birim hacim ağırlık sağlayacak şekilde sıkıştırılan zeminler daha düşük şişme potansiyeline sahip olmaktadır. Ancak zemin yo-

ğunluğunun düşük olması, taşıma gücü sorunlarına neden olabilir. Çok yüksek şişme potansiyeli olan zeminler, düşük yoğunluklarda bile önemli şişmeler gösterebilir. Bu tip zeminlerde katkı maddeleri ile sıkıştırma etkili sonuçlar verebilmektedir (Çetin, 2003).

### 4.3 Ön Islatma

Bu yöntemin temel amacı su içeriği fazla olan zeminlerin, daha az şişme özelliğine sahip olacağı prensibine dayanmaktadır. Zeminin su içeriği yeterince yüksek ise şişme miktarının yani hacimsel değişimin önemli düzeyde olmayacağı kabul edilebilir. Bu yöntemde, zeminin havuzlama veya bölgenin su içinde bırakılması sonucu ıslatılması sağlanır. Ancak şişen zeminlerin düşük geçirimsizlik değerine sahip olması sebebiyle, suyu emmesi çok uzun zaman alabilir. Böyle durumlarda drenaj kuyusu açılarak suyun farklı derinliklere indirilmesi sağlanabilir. Islatılma işlemi tamamlandıktan sonra, ıslatılan zeminin suyunu buharlaşma ile kaybetmemesi için, zemin yüzeyine % 4 veya daha büyük oranda sönmüş kireç veya 10-15 cm kalınlığında çakıl-kum veya daneli zemin serilmesi yararlı olabilir (Genç, 2009; Acar, 2017).

### 4.4 Su Muhtevası Kontrolü

Su muhtevasını kontrol etmek için suyun yapıya gelişini önlemek ve yapı temelini kuru kalmasını sağlamak gerekir. Çünkü zemindeki şişme problemleri, zeminin su muhtevasındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Zeminin su muhtevasındaki değişimler engellenirse, zeminin şişme potansiyeli de önemli ölçüde engellenebilir (Demir ve Kılıç, 2010). Yapıya yakın bölgelerde geçirimsiz tabakalar oluşturulması, oluklar, hendekler, yalıtım malzemeleri gibi birtakım drenaj sistemleri ile zeminde oluşabilecek su değişimlerini kontrol altına almak mümkün olabilmektedir.

### 4.5 Katkı Maddeleri ile İyileştirme

Şişen zeminlerin içerisine farklı katkı maddeleri karıştırılarak birtakım mühendislik özelliklerini iyileştirmek mümkün olmaktadır. Bu amaçla kullanılan en yaygın katkı maddeleri kireç, uçucu kül, çimento ve bitüm olarak verilebilir. Bu maddeler dışında yüksek fırın cürufu, silis dumanı, organik bileşikler kullanılabilir. Başarılı bir iyileştirme için, doğru katkı maddesi seçimi yapılmalıdır. Katkı maddesi seçiminde ise zeminin iyileştirilmek istenen özelliği, zeminin cinsi, çevresel koşullar, iyileştirme amacı ve maliyet analizleri gibi faktörler önemli olmaktadır.

#### 4.5.1 Kireç ile İyileştirme

Zeminin kireç ile iyileştirilmesi en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem arazide uygulanırken önce killi zemin gevşetilir ve üzerine kireç serilir. Daha sonra kirecin homojen bir şekilde zeminle karıştırılması



suretiyle sulaması yapılır. Son olaraktan zemin sıkıştırılır. Bir başka şekilde, kireç, zemin ve su karışımı farklı bir yerde hazırlanarak dolgu yapılacak yere getirilir, yerleştirilir ve sıkıştırılır (Küçükali, 2011). Kireç ile iyileştirme, zeminde şişmeyi azaltmak amacıyla birçok projede kullanılmaktadır. Özellikle karayolu projelerinde başarılı sonuçlar alınmaktadır.

Killi zeminlere kireç katkısı, kil mineralleri ile kireç arasında ortaya çıkan puzolonik reaksiyon sonucu oluşan bir tür çimentolanma etkisi ile zeminin dayanımının zamanla artmasını sağlar (Özaydın, 2011). Ayrıca kilin plastisitesinin ve şişme potansiyelinin azalmasını ve zeminin işlenebilirliğinin de artmasını sağlar. Zeminin kompaksiyon özelliklerini de etkiler (Ünver, 2015). Şişen kil zeminlerin iyileştirilmesi için eklenmesi gereken kireç miktarının, ağırlıkça %2 ile %8 arasında olması şişmeyi önemli oranda azaltması dışında zeminin dayanımına ve optimum su içeriğinin artmasına katkı sağlamaktadır (Chen, 1988; Genç, 2009). Yılmaz (1998) ise çalışmasında, %5 kireç içeren zemin karışımlarının, birçok koşulda elverişli olduğunu belirtmiştir.

#### 4.5.2 Çimento ile İyileştirme

Killi bir zeminin çimento ile iyileştirilmesinden alınan sonuçlar, kireç ile iyileştirilmesinden alınan sonuçlar ile yakınlık gösterir. Ancak kireç katkısı ile iyileştirmenin başarılı olmadığı zeminlerde, çimento ile iyileştirme genellikle başarılı olmaktadır (Ünver, 2015).

Çimento ile iyileştirme, portland çimentosunun hidratasyonu sonucu farklı bileşikler ve jeller oluşturan karmaşık bir puzolonik reaksiyonla oluşur. Uygulama yöntemi, kireç uygulamasına benzer şekildedir. Ancak portland çimentosunun hidratasyon ve priz süresi kısa olduğundan, çimento ilavesi ile birlikte son uygulama arasında geçen zaman kısa olmalıdır. Bu uygulama ile zeminin likit limit, plastisite indisi, hacim değiştirme potansiyeli azalırken, rötre limiti ve kayma mukavemeti artmaktadır (Genç, 2009; Demir ve Kılıç, 2010). Zeminin mukavemetindeki artış çimento oranına bağlı olmakla birlikte zamanla artma gösterir (Özaydın, 2011).

#### 4.5.3 Uçucu Kül ile İyileştirme

Şişen zeminlerde kabarmaları en aza indirmek amacıyla kullanılan uçucu küller genellikle puzolonik reaksiyonları arttırmak için kireç ile birlikte kullanılırlar. Çünkü kendi başına bağlayıcılık özelliği olmayan veya çok az olan bu malzeme ancak su ve kireçle birlikte reaksiyona girdiği zaman bağlayıcı bir yapı kazanmaktadır. Uçucu kül zeminin dane çapını arttırmak için zemine katılmaktadır (Taşçı, 2011). İpek (1998) çalışmasında, şişen zeminlere uygun miktarlarda kireç, çimento ve uçucu kül katılmasının, zeminin silt miktarının artmasına, likit limit, plastisite indisi ve şişme potansiyelinin ise azalmasına sebep olduğunu bulmuştur.

#### 4.5.4 Bitüm ile İyileştirme

Bitüm, asfalt, katran vb. gibi petrolde elde edilen, su geçirmez, yapışkan ve siyah renkli bir malzemedir. Sıcakken sıvı yapıdadır. Bitümlü malzeme, iklim şartlarına ve zemin cinsine göre seçilmelidir. Malzemenin su yalıtım özelliğinden dolayı özellikle nemli bölgelerde kullanımı yaygındır (Küçükali, 2011). Zemin danelerinin yüzeyini kaplayan bitüm malzeme, ince daneli zeminlerin sudan etkilenmesini önlerken, iri daneli zeminlerin de kohezyon kazanmasına yol açmaktadır. Zemin danelerini birleştirici ve bağlayıcı rol oynamaktadır. Bu sebeple zeminin su ve rüzgar erozyonuna karşı dayanımının artmasını sağlamaktadır (Özaydın, 2011).

#### 5. Sonuç

Şişen zeminler bünyesinde suya doymun olmayan veya kısmen doymun kil ihtiva eden, su içeriğinde artma ile birlikte hacimsel bir artış gösteren killi zeminlerdir. Bu zeminlerin herhangi bir yapı altında veya başka bir deyişle hacimsel artışının engellenmesi durumunda basınç oluşturmaları ile önemli hasarlara sebep olduğu bilinmektedir. Özellikle şişme özelliğine sahip hafif yapıların temelleri, mevsimsel değişimlerden de etkilenerek şişme-büzülme çevrimi içerisinde ciddi hasarlara neden olabilirler. Bu zeminlerin şişme potansiyellerinin önceden belirlenmesi, zemin davranışının anlaşılabilmesi ve oluşabilecek hasarların azaltılabilmesi veya önlenbilmesi açısından önemlidir.

Şişme problemleri genellikle kil mineralinin cinsi ve kil içeriğine bağlı olup, killerin fiziko-kimyasal özellikleri, jeolojik gerilme şartları, zeminin başlangıç su içeriği, kuru birim hacim ağırlığı, dane çapı dağılımı ve yerleşimi, porozite, geçirgenlik, konsolidasyon ve kompaksiyon özellikleri, çevresel faktörler ve iklim şartları vb. ile ilişkilidir. Bu özelliklerin tanımlanabilmesi için birçok yöntem bulunmakla birlikte birtakım korelasyonlara gidilerek zeminin şişme potansiyelinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Tanımlanması ve sınıflandırılması yapılan zemin özelliklerinin mühendislik yönünden uygun olmaması durumunda, zeminin amacına uygun şekilde iyileştirilmek istenen özelliğinin belirlenmesi gerekir. Şişen zeminlerin, yapısının değiştirilmesi, zeminin su içeriğindeki değişimin kontrol altına alınması, kompaksiyon, drenaj ve katkı maddeleri tekniklerinden en doğru yönteminin seçilerek iyileştirilmesine gidilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Acar, M. A. (2017). Şişen Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri ve İmar Planlamasına Etkisi. Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi.
- Acir, N. ve Günal, H. (2020). Spesifik Yüzey Alanı Belirlenmesinde Organik Madde, Kireç ve Demir Oksitlerin Uzaklaştırılmasının Önemi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 7(1), 205-211.
- Ammann, L. (2003). Cation Exchange and Adsorption on Clays and Clay Minerals. PhD Thesis, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Angın, Z. ve Angın, A. (2005). Şişen Killerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi. Geoteknik Sempozyumu, Adana. 1-2 Ekim 2005, Tam metin bildiriler kitabı, ss.365-380.
- Bektaş, N. (2009). Modifiye Montmorillonitlerin Hazırlanması ve Adsorpsiyon Kinetiklerinin İncelenmesi. (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi)
- Chen, F. H. (1988). Foundation of Expansive Soils. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Çetin, M. (2003). Değişik Çevresel Koşullar Altında, Şişen Zeminlerin Özelliklerinin Belirlenmesi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Kütahya.
- Çimen, Ö., Dereli, B. ve Günaydın, H. İ. (2021). Güncü Tandır Kilinin Geoteknik Özellikleri ve İnşaat Uygulamalarında Kullanılabilirliği. Rahva Teknik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 1(2), 74-83.
- Demir, S. ve Kılıç, M. (2010). Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(1), 95-104.
- Demiral, A. (2013). Killerin Elektrokinetik Özellikleri ve Flokülasyonu. (Master's thesis, ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Genç, S. (2009). Şişen Zeminler ve Bentonit- Kaolin Karışımlarının Şişme Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Grabowska-Olszewska, B. (1970). Physical Properties of Clay Soils as a Function of Their Specific Surface. Proceedings of the 1st International Congress of the International Association of Engineering Geology, Vol. 1, 405-410.
- Gregg, J. and Sing, K. S. W. (1982). Adsorption Surface Area and Porosity (2nd ed.). London: Academic Press.
- Gromko, G. J. (1974) Review of Expansive Soils, Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.10, p. 667-687.

- Hang, P. T. and Brindley, G. W. (1970). Methylene Blue Absorption by Clay Minerals. Determination of Surface Areas and Cation Exchange Capacities. *Clays and Clay Minerals*, 18, 203-212.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D. and Sheahan, T. C. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (Vol. 733). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- İpek, T. (1998). Stabilization of Expansive Soils Using Lime, Cement and Fly-Ash. İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Jones, D. E. and Holtz, W. G. (1973). Expansive Soils-The Hidden Disaster. *Civil Engineering-ASCE*, Vol.43, No.8, New York, 49-51.
- Jones, L. D. & Jefferson, I. (2012). Expansive Soils. Chapter C5, In book: *ICE Manual of Geotechnical Engineering*. Vol.1, Geotechnical Engineering Principles, Problematic Soils and Site Investigation, Publisher: ICE Publishing, DOI:10.1007/978-3-319-12127-7\_118-1.
- Jones, L. (2017). Expansive Soils. *Techniques in Dentistry and Oral & Maxillofacial Surgery*, 1-7. doi:10.1007/978-3-319-12127-7\_118-1.
- Kalava, İ. (1992). Killerin Çimento ve Kireç ile Stabilizasyonu. Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi.
- Kalpaklı, Y., Topal, A. ve Balkan, A. (2022). Killer, Modifikasyon Yöntemleri ve Asit Aktivasyonu. İKSAD publishing house, ISBN: 978-625-8405-15-6, Ankara.
- Katti, R. K., Kulkarni, S. K. and Fotedar, S. K. (1969). Shear Strength and Swelling Pressure Characteristics of Expansive Soils. In *Proceedings of the Second International Research and Engineering Conference on Expansive Soils* (pp. 334-347).
- Küçükali, Ö. (2011). Kireç ve Gipsin, Üst Pliyosen Yaşlı Yüksek Plastisiteli Killerin (Ankara) Şişme ve Dayanım Özelliklerine Etkisi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Malayoğlu, U. ve Akar, A. (1995). Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Köse ve Kızıl, İzmir-Türkiye* (1995), 125-132.
- Mbagwu, J. S. C. and Abeh O. G. (1998). Prediction of Engineering Properties of Tropical Soils Using Intrinsic Pedological Parameters. *Soil Sci.*, 163(2): 93-102.
- Mitchell, J. K. (1976). *Fundamentals of Soil Behavior*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Nelson, J. D. and Miller, J. D. (1992). *Expansive Soils Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., 259, ISBN 0-471-51186-2.

- Özaydın, K. (2011). Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, ISBN: 978-975-511-145-X.
- Öztürk, Y. E. (2012). Kil Mineralleri Açısından İnce Daneli Zeminlerin Fizi-ko-Kimyasal Özellikleri ile Kıvam Limitleri Arasındaki İlişkiler. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde, 26.
- Taşcı, G. (2011). Problemlili Kil Zeminin Geoteknik Özelliklerine Silis Dumanı ve Kireç Katkısının Etkisi. Master's thesis, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toprakezer, F. (2009). Nanokompozit Sentezinde Kullanılacak Na-Bentonit Kilinin Saflaştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Petersen, L. W., Moldrup, P., Jacobsen, O. H. and Rolston, D. E. (1996). Relations between Specific Surface Area and Soil Physical and Chemical Properties. *Soil Science*, 161(1), 9-21.
- Ross, G. J. (1978). Relationships of Specific Surface Area and Clay Content to Shrink-Swell Potential of Soils Having Different Clay Mineralogic Compositions. *Canadian Journal of Soil Science*, 58, 159-166.
- Seed, H. B., Woodward Jr, R. J., & Lundgren, R. (1962). Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. *Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division*, 88(3), 53-87.
- Sharma, R. S. (1998). Mechanical Behaviour of Unsaturated Highly Expansive Clays. PhD Disertation, University of Oxford, UK.
- Suarez, L. D. and Gonzalez-Rubio, A. (2017). Effects of The Dissolved Organic Carbon of Treated Municipal Wastewater on Soil İnfiltration as related to Sodium Adsorption Ratio and pH. *Soil Science Society of America Journal*, (2017)81:602-611.
- Şensöz, T. E. (2006). Killerin Kullanım Alanları, Killerin Mühendislik Özellikleri ve İmara Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Çalışmalarında Killerin Önemi. Copyright by Türkay Ercan Şengöz, ResearchGate, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.
- Uzundurukan, S. (2006). Zeminlerin Şişme Özelliklerine Etkiyen Temel Parametrelerin Belirlenmesi ve Modellenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 202s.
- Uzuner, B. A. (2016). Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. 10. Baskı. Ankara, Türkiye, Derya Kitabevi.
- Ünver, E. (2015). Problemlili Kil Zeminlerin Uçucu Kül ile İyileştirilmesi. Master's thesis, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Vural, P. (2012). Şişme ve Dispersif Karakteristikteki Kil Zeminlerin Mühendislik Özelliklerine Çimento ve Zeolitin (Doğal Puzolan) Etkisi. (Master's thesis, ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Yılmaz, İ. (1998). Zeminlerin Şişme Özellikleri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 21(1), 17-26.