

# Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar

# 10

Editörler

HİKMET YETER ÇOĞUN

FERİT KARGIN



## **BİDGE Yayınları**

Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar 10

**Editörler:** Hikmet Yeter ÇOĞUN, Ferit KARGIN

ISBN: 978-625-6488-18-2

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

1. Baskı

BİDGE Yayınları, 2023

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

[www.bidgeyayinlari.com.tr](http://www.bidgeyayinlari.com.tr) - [bidgeyayin@gmail.com](mailto:bidgeyayin@gmail.com)

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara



## İçindekiler

Türk Arama Kurtarma Sahasında Deniz Kazaları Olasılıklarının İncelenmesi .....	5
Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU .....	5
Farklı Motor Güçlerindeki Gemi Atık Enerji Kazanımında Kritik Nokta Üzeri Çalışan Karbon dioksitli Reküperatörlü Rankine Çevriminin Performans Analizi .....	15
Betül SARAÇ .....	15
Çevresel Kaygının Yeşil Satın Alma Davranışı ve Sertifikasyon Üzerine Etkileri: Aydın İli Örneği.....	24
Gökhan TOPALOĞLU.....	24
Hasan ALKAN .....	24
Oduna Dayalı Orman Ürünleri Ticaretinde Yeni Bir Deneyim; Elektronik Satışlar (Müşteri Bakış Açısı İle Bir Değerlendirme).....	48
Hasan ALKAN .....	48
İsmail ARAÇ .....	48
Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği Analizi.....	67
Hikmet BÜKER.....	67
Canan CİMŞİT .....	67
Maden Aramalarında Kullanılan Yöntemler.....	77
Hüseyin SENDİR .....	77
Meteorolojik Olayların Doğru Değerlendirilmesinin Havacılık Faaliyetleri Üzerine Etkisi:..	93
İsa ŞENGÜL.....	93
PEM Yakıt Pillerinde Katalizörler .....	111
Zeynep ERDEM .....	111
Şevval TUNA .....	111
Nisa Nur ATAK.....	111
Battal DOĞAN .....	111
Aydın İli Jeotermal Enerji Kaynakları: Sürdürülebilir Geleceğe Doğru Adım .....	125
Ali Kemal ÇAKIR.....	125
Fonksiyonel Organik Boya Bileşenin Hibrit Aygıtın Elektronik Parametrelerine Etkisi .....	132
Ali UĞUR.....	132
Arife GENCER İMER.....	132
Yapı Malzemesi Olarak Corten Çeliği .....	143
Aydın ŞIK.....	143
Asena SOYLUK.....	143
Emre BAYRAK.....	143
Renkli Aydınlatma Lambalarının Aydınlatma Şiddeti Üzerine Etkilerinin İncelenmesi .....	161
Fatma Nur Şavata .....	161

Engin ÖZDEMİR .....	161
Android için kötü amaçlı yazılım tespiti: mobil güvenliği sağlamak için teknikler, araçlar ve stratejiler.....	174
Yavuz Selim BALCIOĞLU .....	174
Cowell Yöntemiyle İstatistiksel Yörünge Analizi .....	185
Hüseyin Yaşar.....	185
Türkiye’de Helal Gıda Sertifikasyon Faaliyetlerinde Bulunan Kuruluşların Çalışma Prensiplerinin Karşılaştırılması .....	209
Savaş FINDIK .....	209
Halime PEHLİVANOĞLU .....	209
Spintronik Aygıt Uygulamaları İçin Katkılı ZnO Seyreltilmiş Manyetik Yarıiletkenlerin Sıcak Pres Yöntemi İle Üretilmesi Ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi .....	240
İdris CANDAN.....	240
Hasan İsmail YAVUZ .....	240
Rıdvan YAMANOĞLU .....	240
Tarımda Yenilenebilir Enerjinin Kullanımı .....	257
Hacer ÇELİK ATEŞ.....	257

# Türk Arama Kurtarma Sahasında Deniz Kazaları Olasılıklarının İncelenmesi

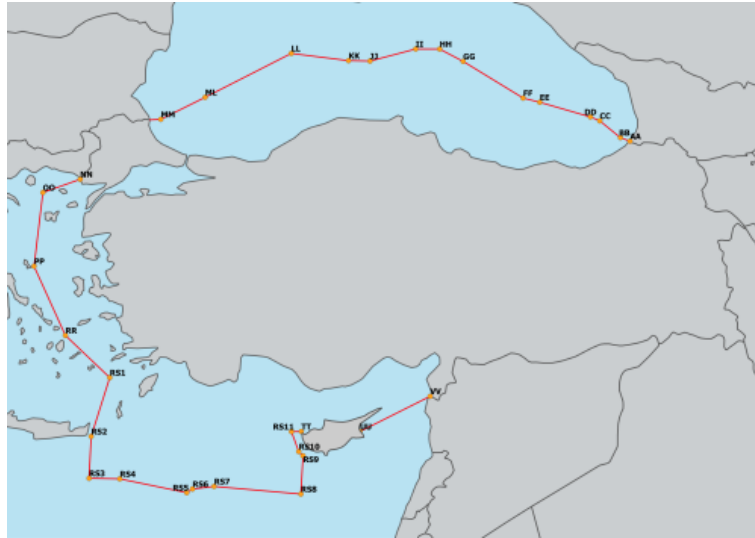
Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU<sup>1</sup>

## Giriş

Dünya ticaretinin yaklaşık %80'i denizyolu ile yapılmaktadır. Büyük miktarda yüklerin taşınması için denizyolu taşımacılığı avantaj sağlamaktadır. Denizyolu taşımacılığı; demiryolu taşımacılığına göre 3,5 kat, karayolu taşımacılığına göre 7 kat ve havayolu taşımacılığına göre 22 kat daha ucuzdur (DPT, 2007).

Her taşımacılık alanında olduğu gibi denizyolu taşımacılığında da kazalar meydana gelmektedir. Bir kaza sonucunda kurtarma çalışmalarına başlamak, çalışmaları koordine etmek ve çevresel etkileri azaltmak (Özdemir, 2012) için acil müdahale birimleri oluşturulmaktadır (Aşan, 2021).

Ülkemizdeki acil müdahale birimi, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi'dir. Türk arama kurtarma sahasında (AAKKM, 2022) meydana gelen acil ihbarlara, deniz ve hava kazalarına müdahale edebilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Türk Arama Kurtarma Sahası

Türk arama kurtarma sahasında meydana gelen kazalar merkez tarafından kayıt altına alınmaktadır. Meydana gelen deniz kazaları kayıt altına alınırken Antalya, Çanakkale, İstanbul, İzmir, Mersin, Samsun, Trabzon ve Uluslararası olmak üzere 8 bölgeye ayrılarak arşivlenmektedir. Çalışmada uluslararası hariç olmak üzere 7 bölge için kaza olasılıkları belirlenmiştir.

<sup>1</sup> Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye. akucukosmanoglu@mehmetakif.edu.tr. ORCID ID: 0000-0002-7551-1513

Literatürde İstanbul Boğazı (Otay & Özkan, 2003; Ece, 2021; Erol vd., 2017; Altan & Otay, 2017), Çanakkale Boğazı (İlgar, 2015), ...vb. çeşitli bölgelerde (Kundakçı & Nas, 2018) yapılmış bölgesel kaza analiz ve risk çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada Türkiye genelinde bölgesel ölçekte deniz kaza olasılıkları belirlenmiştir.

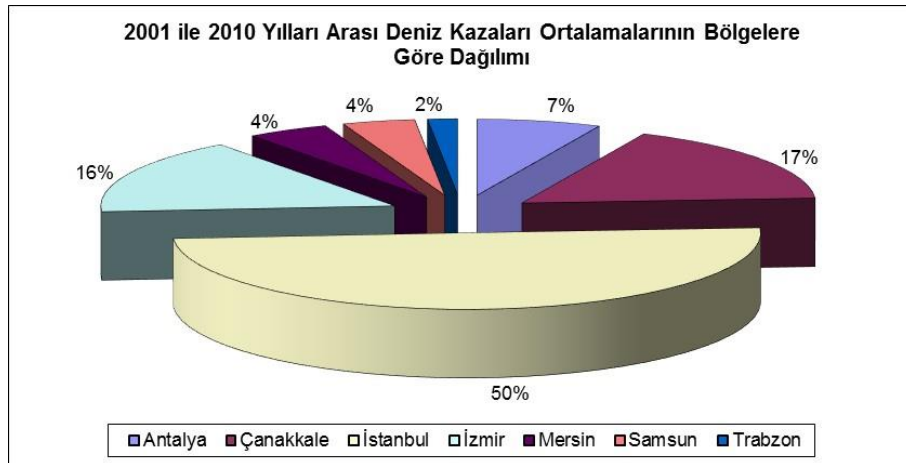
### Çalışmanın Veri Tabanı

Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi (AAKKM) tarafından arşivlenen 2001 ile 2010 yılları arasındaki kaza verileri derlenmiştir. Verilerde 19 kaza tipi bulunmaktadır. Kaza tipleri; alabora ve yan yatma, alabora grubunda; çatışma, çatma ve temas, çatışma grubunda; oturma ve sürüklenme, oturma grubunda; patlama ve yangın, yangın grubunda; diğerleri, diğer grubunda olmak üzere 5 grupta birleştirilmiştir: Bu birleştirilen kaza tipleri dışında kalan kaza tipleri kaza olarak kabul edilmemiştir. Bu kabule göre 2001 ile 2010 yılları arasında yıllık ortalama ~116 deniz kazası meydana gelmektedir. Meydana gelen deniz kazalarının yıllık ortalama 58'i İstanbul, ~19'u İzmir ve ~20'si Çanakkale Bölgesinde olmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Ülkemizde Meydana Gelen Deniz Kazalarının Bölgelere ve Yıllara Göre Değişimi

Yıllar	Bölgeler							Toplam
	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	
2001	10	20	38	21	8	9	7	113
2002	5	12	36	13	4	1	0	71
2003	7	20	40	24	3	4	1	99
2004	10	19	58	18	7	3	1	116
2005	5	23	65	14	3	5	4	119
2006	4	15	54	16	6	4	0	99
2007	8	23	49	17	6	3	3	109
2008	10	29	86	17	6	6	1	155
2009	10	14	59	28	3	6	2	122
2010	10	23	91	18	6	5	0	153
<b>Ortalama</b>	<b>7,9</b>	<b>19,8</b>	<b>57,6</b>	<b>18,6</b>	<b>5,2</b>	<b>4,6</b>	<b>1,9</b>	<b>115,6</b>
<b>Yüzde</b>	<b>6,83%</b>	<b>17,13%</b>	<b>49,83%</b>	<b>16,09%</b>	<b>4,50%</b>	<b>3,98%</b>	<b>1,64%</b>	<b>100,00%</b>

Meydana gelen deniz kazalarının bölgelere göre yüzdesel değişimi incelendiğinde ortalama ~%50'sinin İstanbul, ~%17'sinin Çanakkale, ~%16'sının İzmir Bölgesinde olduğu görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Deniz Kazalarının Bölgelere Göre Dağılımı

Yıllara göre her bölgede meydana gelen deniz kazalarının yüzdesi incelendiğinde deniz kazalarının en az Trabzon Bölgesinde olduğu görülmektedir (Tablo 2). Trabzon Bölgesini sırasıyla Samsun, Mersin ve Antalya Bölgeleri izlemektedir.

*Tablo 2. Ülkemizde Meydana Gelen Deniz Kazalarının Bölgelere ve Yıllara Göre Yüzdesel Değişimi*

Yıllar	Bölgeler							Toplam
	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	
2001	%8,8	%17,7	%33,6	%18,6	%7,1	%8,0	%6,2	%100,0
2002	%7,0	%16,9	%50,7	%18,3	%5,6	%1,4	%0,0	%100,0
2003	%7,1	%20,2	%40,4	%24,2	%3,0	%4,0	%1,0	%100,0
2004	%8,6	%16,4	%50,0	%15,5	%6,0	%2,6	%0,9	%100,0
2005	%4,2	%19,3	%54,6	%11,8	%2,5	%4,2	%3,4	%100,0
2006	%4,0	%15,2	%54,5	%16,2	%6,1	%4,0	%0,0	%100,0
2007	%7,3	%21,1	%45,0	%15,6	%5,5	%2,8	%2,8	%100,0
2008	%6,5	%18,7	%55,5	%11,0	%3,9	%3,9	%0,6	%100,0
2009	%8,2	%11,5	%48,4	%23,0	%2,5	%4,9	%1,6	%100,0
2010	%6,5	%15,0	%59,5	%11,8	%3,9	%3,3	%0,0	%100,0
Ortalama	%6,8	%17,2	%49,2	%16,6	%4,6	%3,9	%1,6	%100,0

2001 ile 2010 yılları arasında meydana gelen deniz kazaları ortalamaları incelendiğinde kazaların yaklaşık %83'nün İstanbul, İzmir ve Çanakkale Bölgesinde olduğu hesaplanmaktadır. Bu durum meydana gelen deniz kazalarının İstanbul, İzmir ve Çanakkale Bölgesinde yoğunlaştığını göstermektedir.

2000 ile 2004 yılları arasında bölgelerimizde bulunan liman ve iskelelere yanaşan toplam gemi sayıları derlenmiştir (DTGM, 2005). Kaza olasılıkları 2001 ile 2010 yılları arasında hazırlandığından; 2005 ile 2010 yılları arasında bölgelere yanaşan toplam gemi sayıları, lineer regresyon yöntemi ile tahmin edilmiştir (Tablo 3).

*Tablo 3. Bölgelerde Liman ve İskelelere Yanaşan Toplam Gemi Sayısı*

Yıllar	Bölgeler						
	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon
2000	3305	7077	26256	8091	8693	2088	1948
2001	4038	5917	26480	7890	8047	2074	1687
2002	4240	6104	28336	7248	7921	2178	1880
2003	3958	7353	30934	7590	8418	2090	1895
2004	3747	8410	37545	9748	9239	2605	1979
2005*	4099	8203	38020	9018	8902	2522	1959
2006*	4179	8613	40723	9319	9049	2627	1986
2007*	4260	9023	43426	9620	9195	2732	2013
2008*	4340	9433	46129	9922	9341	2837	2040
2009*	4420	9844	48833	10223	9488	2942	2067
2010*	4501	10254	51536	10525	9634	3047	2094

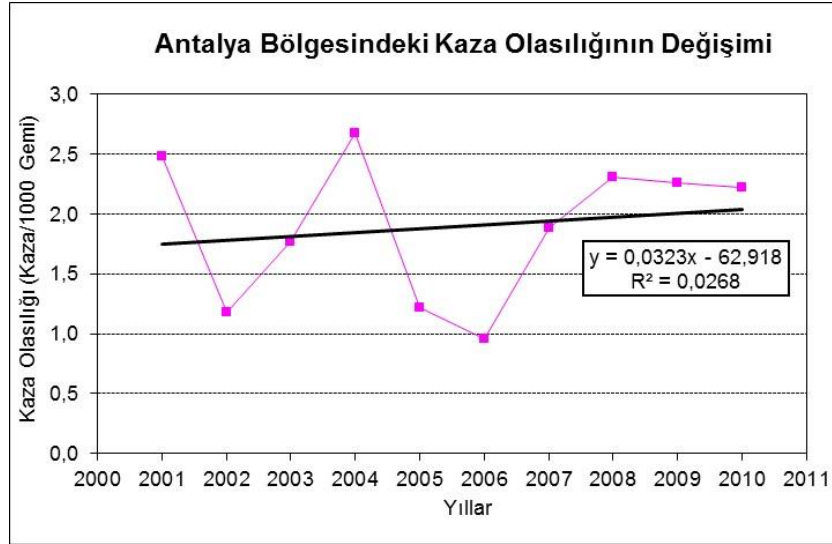
Tahmin \* ile gösterilmiştir.

## Bölgelerde Deniz Kazaları Olasılığının Değişimi

2001 ile 2010 yılları arasında meydana deniz kazaları olasılığının her bölge için değişimleri incelenmiştir. İncelemelerde her bölgedeki kaza olasılıkları yıllık olarak belirlenmiştir. Ayrıca lineer regresyon eğrilerinin uyumu gösterilmiştir. Determinasyon katsayısının 1 olması regresyon eğrisinin yıllara göre değişimi tam olarak (%100) temsil ettiğini, 0 olması regresyon eğrisinin yıllara göre değişimi temsil etmediğini göstermektedir.

### Antalya Bölgesi Deniz Kazaları Olasılığı

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~8'i, ~%7'si Antalya Bölgesinde meydana gelmiştir. Antalya Bölgesi için 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları olasılığının ortalaması yıllık her 1000 gemi başına ~1,9 kaza olarak elde edilmiştir. Antalya Bölgesi'ne bağlı liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 3). Determinasyon katsayısı 0,027 kazaların %2,7'sinin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~1,9 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.

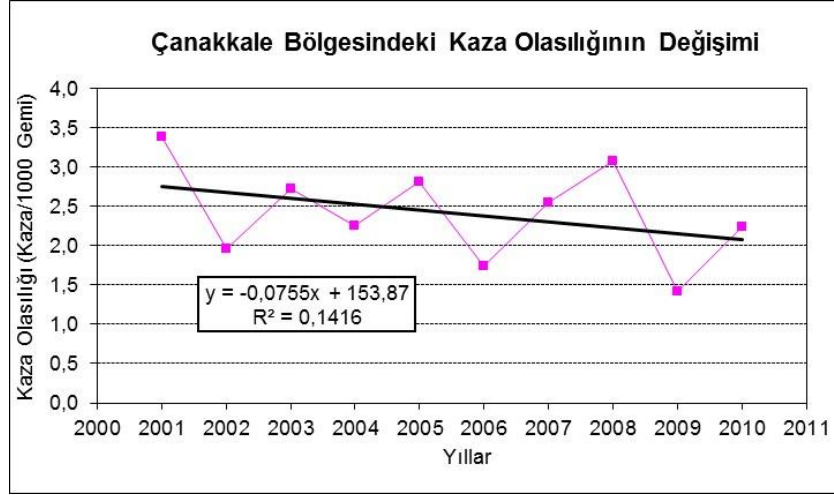


Şekil 3. Antalya Bölgesindeki Kaza Olasılığının Değişimi

### Çanakkale Bölgesi Deniz Kazaları Olasılığı

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~20'si, ~%17'si Çanakkale Bölgesinde meydana gelmiştir. Çanakkale Bölgesi için 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları olasılığının ortalaması yıllık her 1000 gemi başına ~2,4 kaza olarak elde edilmiştir. Çanakkale Bölgesi'ne bağlı liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 4). Determinasyon katsayısı 0,142 kazaların %14,2'sinin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~2,4 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.

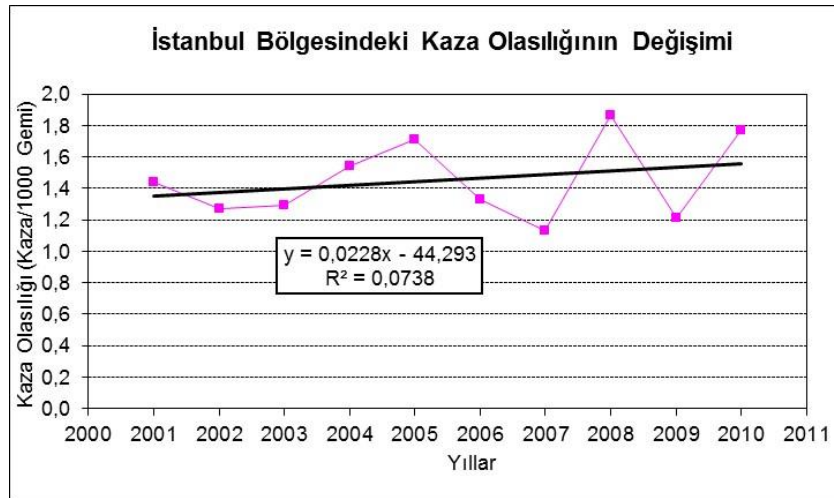




Şekil 4. Çanakkale Bölgesindeki Kaza Olasılığının Değişimi

### İstanbul Bölgesi Deniz Kazaları Olasılığı

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~58'i, ~%50'si İstanbul Bölgesinde meydana gelmiştir. İstanbul Bölgesi için 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları olasılığının ortalaması yıllık her 1000 gemi başına ~1,5 kaza olarak elde edilmiştir. İstanbul Bölgesi'ne bağlı liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 5). Determinasyon katsayısı 0,074 kazaların %7,4'ünün lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~1,5 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.

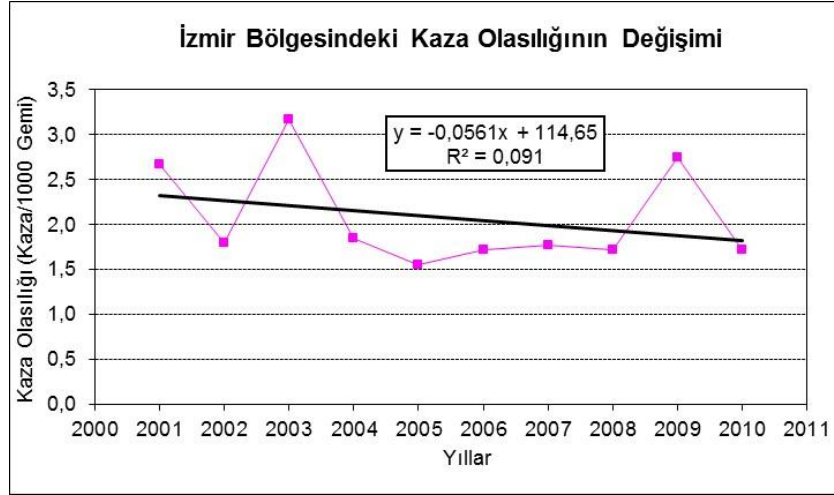


Şekil 5. İstanbul Bölgesindeki Kaza Olasılığının Değişimi

### İzmir Bölgesi Deniz Kazaları Olasılığı

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~19'u, ~%16'sı İzmir Bölgesinde meydana gelmiştir. İzmir Bölgesi için 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları olasılığının ortalaması yıllık her 1000 gemi başına ~2,1 kaza olarak elde edilmiştir. İzmir Bölgesi'ne bağlı liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 6). Determinasyon katsayısı 0,091 kazaların %9,1'inin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer

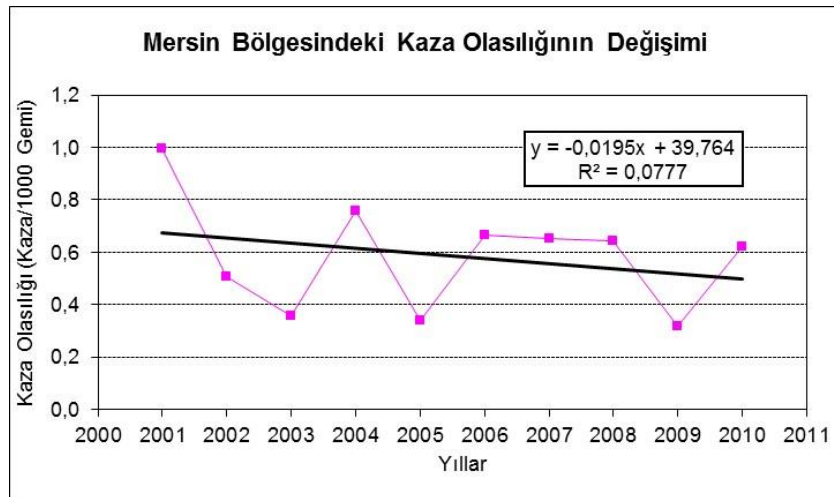
regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~2,1 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.



Şekil 6. İzmir Bölgesindeki Kaza Olasılığının Değişimi

### Mersin Bölgesi Deniz Kazaları Olasılığı

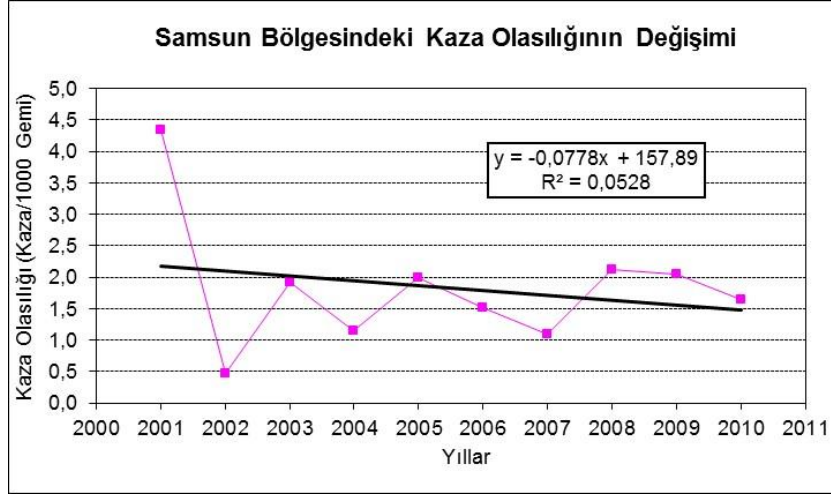
2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~5'i, ~%4'ü Mersin Bölgesinde meydana gelmiştir. Mersin Bölgesi için 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları olasılığının ortalaması yıllık her 1000 gemi başına ~0,6 kaza olarak elde edilmiştir. Mersin Bölgesi'ne bağlı liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 7). Determinasyon katsayısı 0,077 kazaların %7,7'sinin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~0,6 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.



Şekil 7. Mersin Bölgesindeki Kaza Olasılığının Değişimi

## Samsun Bölgesi Deniz Kazaları Olasılığı

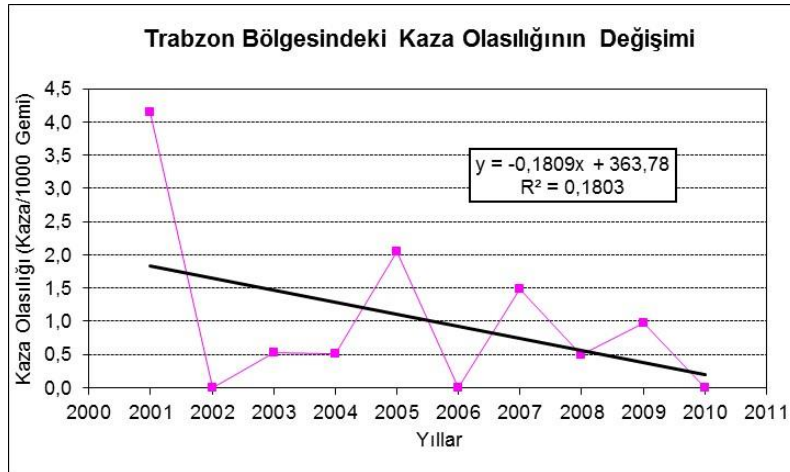
2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~5'i, ~%4'ü Samsun Bölgesinde meydana gelmiştir. Samsun Bölgesi için 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları olasılığının ortalaması yıllık her 1000 gemi başına ~1,8 kaza olarak elde edilmiştir. Samsun Bölgesi'ne bağlı liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 8). Determinasyon katsayısı 0,053 kazaların %5,3'ünün lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~1,8 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.



Şekil 8. Samsun Bölgesindeki Kaza Olasılığının Değişimi

## Trabzon Bölgesi Deniz Kazaları Olasılığı

2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazalarının ortalama ~2'si, ~%2'si Trabzon Bölgesinde meydana gelmiştir. Trabzon Bölgesi için 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları olasılığının ortalaması yıllık her 1000 gemi başına ~1,0 kaza olarak elde edilmiştir. Trabzon Bölgesi'ne bağlı liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 9). Determinasyon katsayısı 0,180 kazaların %18,0'inin lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~1,0 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.



Şekil 9. Trabzon Bölgesindeki Kaza Olasılığının Değişimi

## Toplam Deniz Kazaları Değişimi

Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi tarafından arşivlenen kaza kayıtları ve ülkemizdeki liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak 2001 ile 2010 yılları arasında kaza olasılığı yıllık her 1000 gemi başına ortalama 11,3 kaza olarak elde edilmiştir (Tablo 4). Bölgelerin her 1000 gemi başına ortalama kaza olasılığı incelendiğinde büyükten küçüğe doğru sırasıyla;

- Çanakkale Bölgesi için 2,4
- İzmir Bölgesi için 2,1
- Antalya Bölgesi için 1,9
- Samsun Bölgesi için 1,8
- İstanbul Bölgesi için 1,5
- Trabzon Bölgesi için 1,0
- Mersin Bölgesi için 0,6

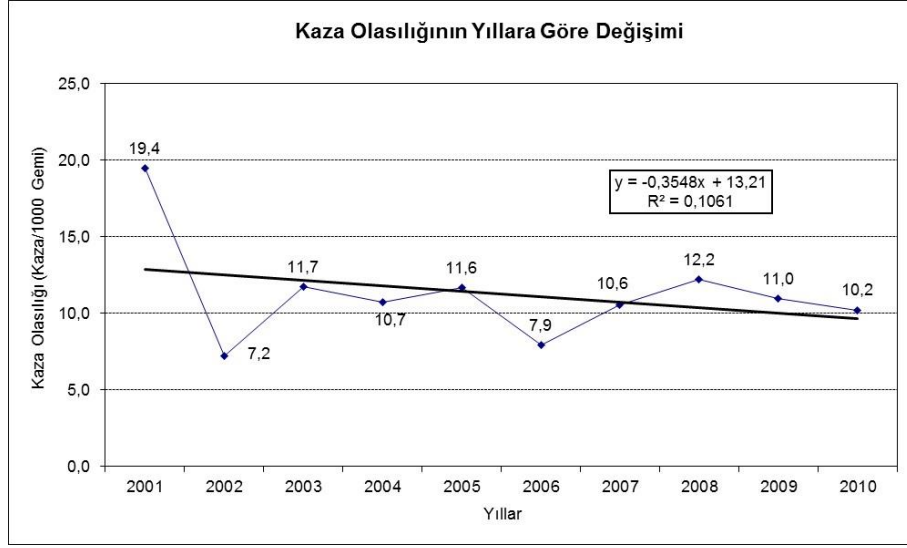
kaza olasılığı hesaplanmıştır.

2001 yılında hesaplanan yıllık her 1000 gemi başına ortalama 19,4 kaza olasılığı 2001 ile 2010 yılları arasında en yüksek olasılık olarak görülmektedir. 2002 yılında hesaplanan yıllık her 1000 gemi başına ortalama 7,2 kaza olasılığı 2001 ile 2010 yılları arasında en düşük olasılık olarak görülmektedir. Kaza olasılıklarının yıllara göre değişimi incelendiğinde 2003 yılından sonra her 1000 gemi başına ortalama civarında değerler aldığı görülmektedir (Şekil 10).

Ülkemizdeki liman ve iskelelere gelen gemi sayıları dikkate alınarak her 1000 gemi başına kaza olasılığı yıllık olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 10). Determinasyon katsayısı 0,106 kazaların %10,6'sının lineer regresyon eğrisi ile temsil edilebildiğini göstermektedir. Lineer regresyon eğrisi kaza olasılığının değişimini başarılı temsil edememektedir. Ancak yıllık her 1000 gemi başına ~11,3 kaza olarak elde edilen kaza olasılığına dikkat edilmelidir.

Tablo 4. Bölgelerimizde Deniz Kazaları Olasılığının Yıllara Göre Değişimi (1000 gemi başına)

Yıllar	Bölgeler							Toplam
	Antalya	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Mersin	Samsun	Trabzon	
2001	2,476	3,380	1,435	2,662	0,994	4,339	4,149	19,436
2002	1,179	1,966	1,270	1,794	0,505	0,459	0,000	7,173
2003	1,769	2,720	1,293	3,162	0,356	1,914	0,528	11,742
2004	2,669	2,259	1,545	1,847	0,758	1,152	0,505	10,734
2005	1,220	2,804	1,710	1,552	0,337	1,983	2,042	11,647
2006	0,957	1,742	1,326	1,717	0,663	1,523	0,000	7,927
2007	1,878	2,549	1,128	1,767	0,653	1,098	1,490	10,563
2008	2,304	3,074	1,864	1,713	0,642	2,115	0,490	12,204
2009	2,262	1,422	1,208	2,739	0,316	2,039	0,968	10,955
2010	2,222	2,243	1,766	1,710	0,623	1,641	0,000	10,204
Ortalama	1,894	2,416	1,455	2,066	0,585	1,826	1,017	11,259



*Şekil 10. Ülkemizde Arşivlenen Kaza Olasılığının Değişimi*

## Sonuç

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de ithalat ve ihracatın büyük bir kısmı denizyolu ile taşınmaktadır. Her taşımacılık sektöründe olduğu gibi denizyolu taşımacılığında da kazalar meydana gelmektedir. Ana Arama Kurtarma ve Koordinasyon Merkezi tarafından arşivlenen 2001 ile 2010 yılları arasındaki deniz kazaları incelenmiştir.

Verilerde 19 kaza tipi bulunmaktadır. Kaza tipleri; alabora ve yan yatma, alabora grubunda; çatışma, çatma ve temas, çatışma grubunda; oturma ve sürüklenme, oturma grubunda; patlama ve yangın, yangın grubunda; diğerleri, diğer grubunda olmak üzere 5 grupta birleştirilmiştir: Bu birleştirilen kaza tipleri dışında kalan kaza tipleri kaza olarak kabul edilmemiştir. Bu kabule göre 2001 ile 2010 yılları arasında yıllık ortalama ~116 deniz kazası meydana gelmektedir. (Tablo 1)..

Deniz kazaları olasılığını elde edebilmek amacıyla bölgelerimizde bulunan liman ve iskelelere yaşanan toplam gemi sayıları derlenmiştir (Tablo 3)

Arşivlenen kaza kayıtları ve ülkemizdeki liman ve iskelelere gelen gemi sayılarına göre; ülkemizde 2001 ile 2010 yılları arasında kaza olasılığı yıllık her 1000 gemi başına ortalama 11,3 kaza olarak elde edilmiştir. Bölgelerin her 1000 gemi başına ortalama kaza olasılığı incelendiğinde büyükten küçüğe doğru sırasıyla; Çanakkale Bölgesi için 2,4; İzmir Bölgesi için 2,1; Antalya Bölgesi için 1,9; Samsun Bölgesi için 1,8; İstanbul Bölgesi için 1,5; Trabzon Bölgesi için 1,0 ve Mersin Bölgesi için 0,6 kaza olasılığı hesaplanmıştır.

2001 yılında hesaplanan yıllık her 1000 gemi başına ortalama 19,4 kaza olasılığı 2001 ile 2010 yılları arasında en yüksek olasılık olarak görülmektedir. 2002 yılında hesaplanan yıllık her 1000 gemi başına ortalama 7,2 kaza olasılığı 2001 ile 2010 yılları arasında en düşük olasılık olarak görülmektedir. Kaza olasılıklarının yıllara göre değişimi incelendiğinde 2003 yılından sonra her 1000 gemi başına ortalama civarında değerler aldığı görülmektedir

## KAYNAKÇA

AAKKM. (2022, May 17). TC Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü Ana Arama Kurtarma Koordinasyon Merkezi: <https://denizcilik.uab.gov.tr/aakkm> adresinden alındı

Altan, Y. C., & Otay, E. N. (2017). Maritime Traffic Analysis of the Strait of Istanbul based on AIS data. *Journal of Navigation*, 70(6), 1367-1382. doi:10.1017/S0373463317000431

Aşan, C. (2021). Türkiye'nin Denizel Çevre Kirliliğine Müdahale Sahaları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 13(2), 231-246. doi:10.18613/deudfd.1033131

DPT. (2007). *Denizyolu Ulaşımı Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Ankara: T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı.

DTGM. (2005). *Türkiye Limanları ve İskeleleri Bilgileri*. Ankara: T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü.

Ece, N. J. (2021). Statistical Analysis of Marine Accidents In The Strait of Istanbul Using Chi-Square Test. *Mersin University Journal of Maritime Faculty*, 3(1), 17-27. doi:10.47512/meujmaf.919762.

Erol, S., Demir, M., Cetisli, B., & Eyüboğlu, E. (2017). nalysis of Ship Accidents in the Istanbul Strait Using Neuro-Fuzzy and Genetically Optimised Fuzzy Classifiers. *Journal of Navigation*, 71(2), 1-18. doi: 10.1017/S0373463317000601

Ilgar, R. (2015). Çanakkale Boğazındaki gemi hareketliliği ve kaza risk haritasının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*(65), 1-10. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tcd/issue/21272/228377> adresinden alındı

Kundakçı, B., & Nas, S. (2018). Mapping Marine Traffic Density by Using AIS Data: An Application in the Northern Aegean Sea. *Polish Maritime Research*, 25(4), 49-58. <https://doi.org/10.2478/pomr-2018-0131> adresinden alındı

Otay, E. N., & Özkan, Ş. (2003). Stochastic Prediction of Maritime Accidents in the strait of Istanbul. *Proceedings of the 3rd International Conference on Oil Spills in the Mediterranean and Black Sea Regions*, (s. 92-104).

Özdemir, Ü. (2012). Türkiye'de Gemilerden Kaynaklı Deniz Kirliliğinin İncelenmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2), 373-384. <https://dergipark.org.tr/en/pub/buyasambid/issue/29823/320843> adresinden alındı

# Farklı Motor Güçlerindeki Gemi Atık Enerji Kazanımında Kritik Nokta Üzeri Çalışan Karbondioksitli Reküparatörlü Rankine Çevriminin Performans Analizi

Betül SARAÇ<sup>1</sup>

## Giriş

Gemi ana makinası egzoz emisyonlarından ve gemi ana makinası soğutma suyundaki atık enerjiden faydalanılarak, teknolojik uygulamalar aracılığıyla gemi içinde ısı talebini karşılamak, ekstra elektrik üretimi gerçekleştirmek, tatlı su üretimi sağlamak ve soğutma elde etmek mümkündür. Gemilerin seyir süresince ana makinanın sürekli olarak çalışır durumda olması, egzoz gazındaki ve ceket suyundaki enerjinin sürekli bir ısı kaynağı olarak önem kazanmaktadır. Atık ısı kaynaklarından elde edilen enerjinin en verimli şekilde geri kazanılabilmesi için gemilerde kullanılan teknolojik yöntemler arasında organik çevrimler, S-CO<sub>2</sub> çevrimi ve hibrit organik ile S-CO<sub>2</sub> çevrimleri bulunmaktadır. Gemi içerisinde alanın sınırlı olduğu durumlarda, bu çevrimlerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. S-CO<sub>2</sub> çevrimi, özellikle S-CO<sub>2</sub> gazının özgül hacminin düşük olması ve çevrimi çalıştıran sistemin küçük boyutlara sahip olması avantajlarıyla gemi içinde az yer kaplama özelliğine sahiptir. Bu durum, S-CO<sub>2</sub> çevriminin gemi içinde kullanılmasını daha da önemli kılar. Bu teknolojik yöntemler aracılığıyla gemilerde yakıt tasarrufu sağlanabilir ve enerji verimliliği artırılabilir. (Wang, & ark, 2022) gemi ana makine atık ısı geri kazanımı için kullanılan bir süperkritik S-CO<sub>2</sub> güç sisteminin termodinamik konfigürasyon yöntemini inceleyerek reküparativ etkileri temel alan yaklaşım geliştirmişlerdir. Önerdikleri yaklaşımı açıklamak amacıyla bir örnek vaka çalışması sunarak belirli bir reküparatör etkinliği aralığının optimal bir tasarım için önemli olduğunu ve bu tasarımın gemi ana makinasına yardımcı olabileceğini bildirmişlerdir. (Zhe, & ark, 2022), kaskad sistemi geliştirerek, bu sistemin kısmi ısınma üstkritik CO<sub>2</sub> enerji çevriminden çıkan egzoz CO<sub>2</sub> atık ısı, bir transkritik CO<sub>2</sub> (TCO<sub>2</sub>) enerji çevrimi tarafından geri kazandırılarak gemi motoru egzoz gazı atık ısı kaynağı olarak kullanmışlardır. Önerdikleri sistemin üstünlüğünü kanıtlamak için tekli optimizasyon ile sistem karşılaştırma analizi yapmışlardır. Güç üretimini maksimize etmek, birim güç başına ısı değiştirici alanını minimize etmek ve elektrik enerjisinin seviyeli maliyetini minimize etmek için üç hedefli bir optimizasyon modeli çalışmışlardır. Sonuç olarak, özellikle gemilerde ve alan kısıtlı uygulamalarda atık ısının geri kazanımı mühendisliği için CO<sub>2</sub> çevriminin uygun olacağını bildirmişlerdir. (Dongpeng, & ark, 2020), atık ısı geri kazanımı için bir transkritik karbondioksit enerji çevrimi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmaları, ideal çevrimden gerçek bir çevrim tasarımına kadar olan süreci kapsamakta olup örnek bir uygulama ile metodun ana hatlarını açıklamışlardır. (Ashish, & ark, 2018), süperkritik CO<sub>2</sub> Rankine çevriminin atık ısı geri kazanımı için uygunluk şartlarını değerlendirerek ele aldıkları modellerdeki en avantajlı sistemi tanıtmışlardır. (Gequn, & ark, 2016), motorların atık ısını geri kazanma amacıyla geliştirilmiş bir CO<sub>2</sub> tabanlı transkritik CO<sub>2</sub> Rankine çevrimli sistem sunmuşlardır. (Manjunatha, K. & ark, 2018), gemilerde güç üretimi ve soğutma uygulamaları için kullanılabilen süperkritik/transkritik CO<sub>2</sub> tabanlı bir atık ısı geri kazanım çevriminin termodinamik analizini yapmışlardır. Belirtilen çalışma koşulları altında, önerilen sistemin güç üretimini yaklaşık %18 artırma potansiyeline sahip olduğu ve

---

<sup>1</sup> Unvan, kurum

COP değerinin 2.75 olduğunu bulmuşlardır. Çevrim modelinden elde edilen sonuçlar, gelecekteki gemi platformları için CO2 tabanlı güç ve soğutma çevrimlerinin tasarımını ve performansını anlamak ve daha da iyileştirmek için kullanışlı olacağını belirtmişlerdir. (Jian, & ark, 2018), S-CO2 çevrimi tabanlı atık ısı geri kazanım sistemlerinin tasarım ve işletme parametrelerini iyileştirerek bu çevrimi daha etkili hale getirmeyi hedeflemişlerdir. (Lingfeng, & ark, 2018), transkritik CO2 sisteminin egzoz gazı geri kazanımı için ne kadar etkili olduğunu anlamak ve bu teknolojinin uygulama potansiyelini deneysel olarak araştırmışlardır. Basınç oranının transkritik CO2 Rankine çevriminin performansı üzerinde önemli bir olumlu etkisi olduğunu bildirmişlerdir. (Qiang, & ark, 2021), gemi uygulamaları için transkritik CO2 tabanlı bir atık ısı geri kazanım sisteminin termodinamik performansını inceleyerek, çoklu amaçlı bir optimizasyon gerçekleştirerek enerji verimliliğini artırmayı ve çevresel sürdürülebilirliğini araştırmışlardır. (Pan, & ark, 2020), bir konteyner gemisinin ana motor egzoz gazından atık ısıyı S-CO2 Brayton döngüsünde ısı kaynağı olarak kullanarak entegre ettikleri atık ısı kazanım sisteminin matematiksel ve simülasyon modelleri ile performans iyileşmesini ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Sundukları atık ısı geri kazanım sisteminin enerji ve ekserji analizleri sonucunda birim güç başına ısı değiştirici alanının %44.08 azalttığı için daha kompakt olduğunu, gemi yardımcı motor yakıt tüketimini %1.01 ve Enerji Verimliliği Tasarım Endeksi'ni %1.02 azaltabileceğini ve gemi ana motor sisteminin termal verimini %3.23 artırabileceğini bildirmişlerdir. Turboşarj çıkışında egzoz gazı sıcaklıkları iki zamanlı dizel makinelerinde 250- 300 °C, dört zamanlı dizel makinelerinde 300-350 °C değerlerindedir. Ceket soğutma suyu ana makine çıkış sıcaklığı 70-90 °C değerlerindedir. Isı kaynaklarını sıcaklık değerlerine göre düşük (232 °C altı), orta (232-649 °C) ve yüksek (650 °C üzeri) olmak üzere üç kategoride değerlendirilir (Fakeye, 2018). Gemi atık ısı kaynakları orta ve düşük sıcaklıklardadır. Bu sıcaklık aralıklarına ve kullanılabilirlik değerlerine göre kullanılacak atık ısı geri kazanım yöntemleri belirlenmektedir. Termodinamik açıdan atık ısının miktarının yanında ve kalitesinin de önemi vardır. Atık ısının kalitesi içerdiği iç enerjinin içerdiği sıcaklık değeri ile belirlenir. Yüksek sıcaklıklardaki ısı kaynakları kaliteli ısı kaynakları olarak bilinmektedir.

Bu bağlamda sunulan çalışmanın amacı, bir geminin değişik motor yüklerinde, gemi ana makinasında oluşan atık ısı kaynaklarının, kritik nokta üzeri çalışan Karbondioksitli Reküperatörlü Rankine Çevrimine ısı girdisi olarak nasıl kullanılacağını inceleyerek çevrimden elde edilebilecek enerji geri kazanımının termodinamik analizidir.

## Gemi tanıtımı ve ölçüm değerleri

Sunulan çalışmada M/V ASSTAR TRABZON isimli RO-RO kargo gemisini tahrik eden gemi ana sevk makinesi V tipi, 12 silindirli, turboşarjlı gemi dizel motorunda oluşan atık ısılar değerlendirilmiştir. M/V ASSTAR TRABZON gemisinde bulunan dizel motora ait teknik özellikleri Tablo 1 de verilmiştir (Karaca, 2015).

*Tablo 1. M/V ASSTAR TRABZON gemisinde bulunan dizel motora ait teknik özellikler (Karaca,2015).*

MAK 12M 453 AK			
Tipi	:Dört zamanlı	Nominal devir sayısı	: 550 dev/dak
Kongigürasyon	:V tipi	Nominal güç	: 2935 kW [3990 PS]
Silindir sayısı	:12	Supap sayısı	: 24 emme+24 egzoz
Strok uzunluğu	:420 mm	Volan dönüş yönü	: Saat akrebi yönü
		Püskürtme sırası	:A1-B6-A4-B3-A2-B5 A6-B1-B4-A5-B2



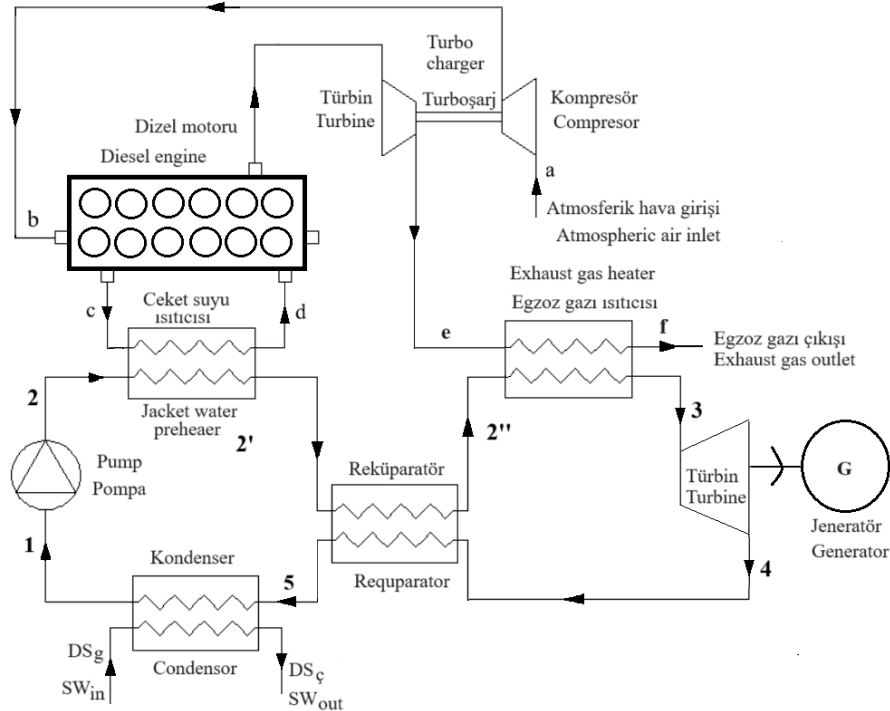
Çalışmada kullanılan veriler (Karaca, 2015)' de tanıtilan M/V ASSTAR TRABZON isimli RO-RO kargo gemisinden alınmıştır. Geminin sevki tek dizel motor ile sağlanmakta olup, gemi pervanesi değişken hatveli (CPP-Controllable Pitch Propeller) pervanedir. Turboşarja sahip olan geminin dizel motorunun üzerindeki gavarnör donanımı sayesinde ana makinenin devir sayısı 550 dev/dak'da sabit tutularak, gemi pervane kanat açılarının değiştirilmesi ile farklı motor yükleri elde edilmiştir. Pervane kanat açıları 8°, 11°, 13,5°, 15,5°, 18° ve 21° değerlerinde elde edilen motor yükleri %30, %40, %50, %60, %70 ve %80 şeklinde oluşmuştur (Karaca, 2015). Dizel motor sisteminin değişik yük oranlarındaki ölçüm değerleri (Karaca, 2015) alınmış olup Tablo 2' de sunulmuştur. Değerler M/V ASSTAR TRABZON gemisi dizel motoru ve motora ait sistemler üzerinde bulunan termometre ve basınçölçer cihazlarından alınmıştır (Karaca, 2015). Ölçümlerin alındığı tüm pervane açısı değerlerinde gemi ağırlığı değişmediği (Karaca, 2015) tarafından bildirilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada çevrimde kullanılan atık ısı kaynaklarının farklı motor yüklerindeki değerleri (Karaca, 2015).

Birim Zamandaki Enerji [kW]	Motor Yük Oranları [%]					
	30	40	50	60	70	80
Ceket Suyu Enerjisi ( $\dot{Q}_C$ )	1568,84	1711,46	1568,84	1426,22	1568,84	1854,08
Egzoz Gazı Enerjisi ( $\dot{E}_g$ )	693,33	865,15	1029,26	1228,84	1552,31	1917,03
Maksimum ısı yükü ( $\dot{Q}_{maks}$ )	2262,17	2576,61	2598,1	2655,06	3121,15	3771,11

### S-CO<sub>2</sub> çevrimi ve sistemin tanıtımı

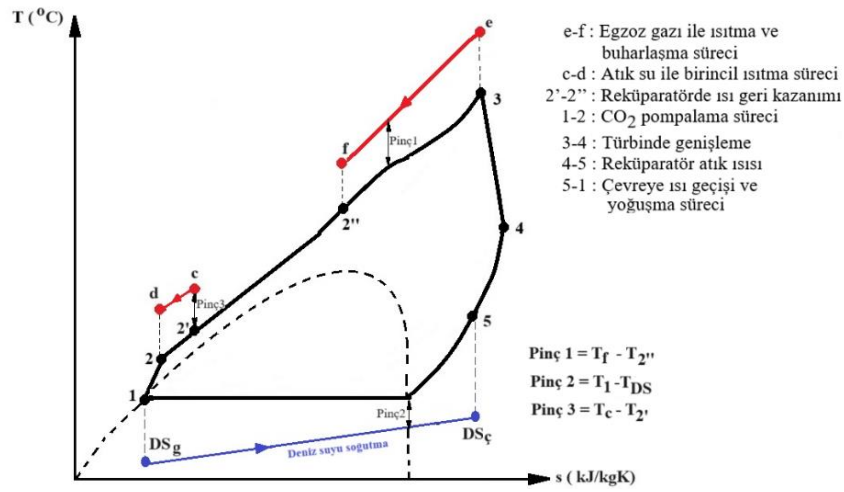
Dizel motoru ve dizel motoru atık enerjisini değerlendiren S-CO<sub>2</sub> çevriminin tesisat şemasının şematik diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. S-CO<sub>2</sub> çevrimindeki iş akışkanı S-CO<sub>2</sub>'dir. Düşük kalitedeki ısı kaynağı ceket suyu sıcaklığındaki ve orta kalitedeki egzoz gazı sıcaklığındaki enerjisi S-CO<sub>2</sub> çevriminin enerji girdileri olarak ele alınmıştır.



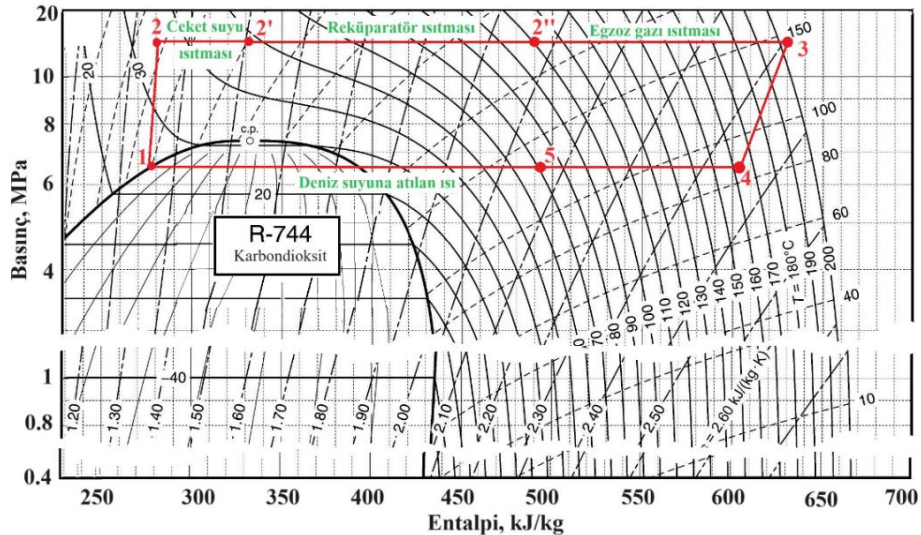
Şekil 1 Dizel motorundaki atık ısı kaynakları ve S-CO<sub>2</sub> çevriminin tesisat şeması

## Sistemin Termodinamik modeli

Tasarlanan S-CO<sub>2</sub> çevrimi Şekil 2 verilmiştir. Çevrimde pompa çıkışında T<sub>2</sub> sıcaklığındaki basıncı yükseltmiş iş akışkanına birinci ısı eşanjöründe ceket suyundaki atık ısının bir miktarı aktararak iş akışkanını sıcaklığı T<sub>2</sub>' değerine ulaştırır. Çevrimde bulunan bir reküparatör vasıtasıyla türbinden çıkan iş akışkanının enerjisinden geri kazanım sağlanarak iş akışkanının sıcaklığı T<sub>2</sub>'' sıcaklığına ulaşır. Egzoz gazlarındaki atık ısın bir kısmı ikinci ısı eşanjörü vasıtasıyla iş akışkanına aktararak iş akışkanının en yüksek sıcaklığa ulaşması sağlanır T<sub>3</sub>. Yüksek sıcaklığa ve yüksek basıncı içeren bu noktadaki iş akışkanını adyabatik türbinde genişletilerek basıncı P<sub>1</sub> değerine düşürülür ve bu süreçte iş akışkanını iş üretir. Çevrimden atılması gereken ısı, deniz suyu soğutmalı bir kondenserde iş akışkanının yoğunlaştırılması sağlanarak çevrimin termodinamik olarak çalışması sağlanır. Türbin-Jeneratör elemanında üretilen elektrik geminin ana elektrik şebekesine yüklenir. S-CO<sub>2</sub> çevriminin T-s diyagramı Şekil 2' de, P-h diyagramı Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 2 Kritik Nokta Üzeri Çalışan Karbondioksitli Reküparatörlü Rankine Çevriminin T-s diyagramı.



Şekil 3. Kritik Nokta Üzeri Çalışan Karbondioksitli Reküparatörlü Rankine Çevriminin P-h diyagramı.

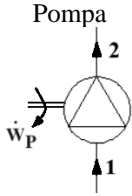
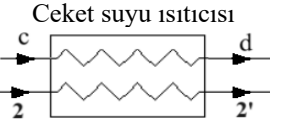
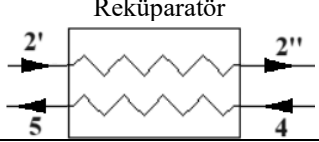
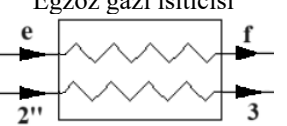
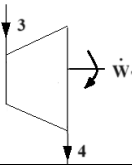
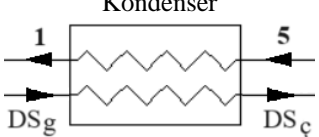
**Kabuller:** Sistem bileşenlerindeki Termodinamik süreçler Zamandan bağımsız kararlı rejim şartları ve dış tersinmezliklerin olmadığı ve iç tersinmezliklerin bulunduğu, kabul ve

borulardaki basınç kayıplarının olmadığı kabul edilmiştir. İş akışkanı S-CO<sub>2</sub>'nin özgül ısıları phayton programından elde edilmiştir. Parametrik çalışmada egzoz gazı eşanjöründeki en düşük sıcaklık  $\Delta T = 20^\circ C$  farkı alınmıştır. Türbin giriş sıcaklığı egzoz gazı ısıtıcısındaki S-CO<sub>2</sub> kanalında entropi üretim teriminin eşitliğinden yararlanılarak tespit edilmiştir (Ashish, 2018). Çalışmada ele alınan parametreler Tablo 3' de verilmiştir. Çevrim bileşenlerinin kütle akısı ve enerji denklemleri Tablo 4' de sunulmuştur.

Tablo 3. İncelenen parametreler.

Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
Egzoz gazı enerjisi, $\dot{Q}_E$ (kW)	693,3-917	Deniz suyu giriş sıcaklığı $T_{DS,g}(^\circ C)$	20
Ceket suyu Enerjisi ( $\dot{Q}_C$ )	1568-1854	Pinç1 sıcaklık farkı ( $^\circ C$ )	20
Ceket kütleli debisi, $\dot{m}_c$ (kg/s)	34.12	Pinç2 sıcaklık farkı ( $^\circ C$ )	3
Türbin giriş basıncı, $P_2$ (MPa)	12.5	Pinç3 sıcaklık farkı ( $^\circ C$ )	8
Türbin giriş sıcaklığı ( $^\circ C$ )	210-310	İzantropik türbin verimi, $\eta_T$	0.9
Yoğuşma sıcaklığı, $T_1$ ( $^\circ C$ )	24.5	İzantropik pompa verimi, $\eta_P$	0.85
Buharlaştırıcı verimi, $\eta_{egzoz\ gazı\ ısıtıcısı}$	0.90	Yoğuşturucu verimi, $\eta_{kondenser}$	0.80
Reküpreatör etkinliği, $\eta_{reküpreatör}$	0.85	Ön ısıtıcı eşanjör verimi $\eta_{ön\ ısıtıcı}$	0.90

Tablo 4. Çevrim bileşenlerinin kütle akısı ve enerji denklemleri

	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{CO_2}$ $\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_p = \dot{m}_2 h_2 + \dot{Q}_p, \dot{Q}_p = 0$ $\eta_P = \frac{h_2 - h_1}{h_{2s} - h_1}$	(1) (2) (3)
	$\dot{m}_2 = \dot{m}_{2'} = \dot{m}_{CO_2}, \dot{m}_c = \dot{m}_d$ $\dot{m}_c h_c + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_d h_d + \dot{m}_{2'} h_{2'} + \dot{Q}_C, \dot{Q}_C = 0$ $\eta_{ceket\ suyu} = \frac{h_{2'} - h_2}{h_c - h_d}$	(4) (5) (6)
	$\dot{m}_{2'} = \dot{m}_{2''} = \dot{m}_{CO_2}, \dot{m}_4 = \dot{m}_5$ $\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_{2'} h_{2'} = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{2''} h_{2''} + \dot{Q}_R, \dot{Q}_R = 0$ $\eta_{Reküpreatör} = \frac{h_{2'} - h_2}{h_4 - h_5}$	(7) (8) (9)
	$\dot{m}_{2''} = \dot{m}_3 = \dot{m}_{CO_2}, \dot{m}_e = \dot{m}_f$ $\dot{m}_e h_e + \dot{m}_{2''} h_{2''} = \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_f h_f + \dot{Q}_E, \dot{Q}_E = 0$ $\eta_{egzoz\ gazı\ ısıtıcısı} = \frac{\dot{m}_{CO_2}(h_3 - h_{2''})}{\dot{m}_{egzoz}(h_e - h_f)}$	(10) (11) (12)
	$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{CO_2}$ $\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{W}_T + \dot{Q}_T, \dot{Q}_T = 0$ $\eta_T = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$	(13) (14) (15)
	$\dot{m}_5 = \dot{m}_1 = \dot{m}_{CO_2}, \dot{m}_{DS,g} = \dot{m}_{DS,\ç}$ $\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_{DS,g} h_{DS,g} = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_{DS,\ç} h_{DS,\ç} + \dot{Q}_K, \dot{Q}_K = 0$ $\eta_{kondenser} = \frac{\dot{m}_{DS,g}(h_{DS,g} - h_{DS,\ç})}{\dot{m}_{CO_2}(h_5 - h_1)}$	(16) (17) (18)

Sistem için ısı dönüşüm verimi ve sistemin termal verimi denklem (19) ve denklem (20) verilmiştir.

$$\text{Isıl dönüşüm verimi } \varepsilon = \frac{\dot{Q}_{toplam}}{\dot{Q}_{maks}} \quad (19)$$

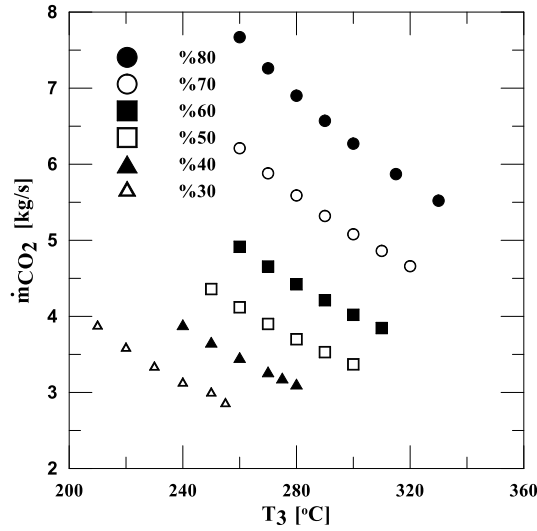
$$\text{Sistemin termal verimi } \eta_{teorik} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{toplam}} \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{kazanç} = \dot{m}_{CO_2}(h_{2'} - h_2) + \dot{m}_{CO_2}(h_3 - h_{2''}) \quad (21)$$

Burada  $\dot{W}_{net} = \dot{W}_T - \dot{W}_P$  olarak tanımlanmıştır.

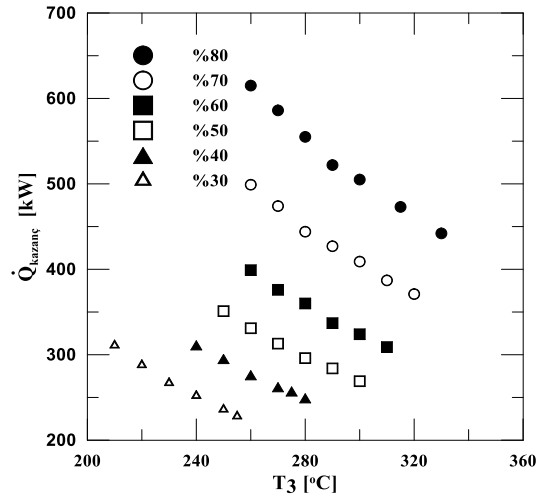
## Bulgular

Ele alınan sistemin ana makinasının farklı motor yüklerindeki, çevrimin türbin giriş sıcaklığı yükseldikçe çevrimde dolaşan iş akışkanını kütleli debisinin azaldığı Şekil 4' de görülmüştür. Bu azalma yüksek sıcaklıklarda iş akışkanının sabit basınçta entalpisinin yükselmesinden dolayı oluşmaktadır.



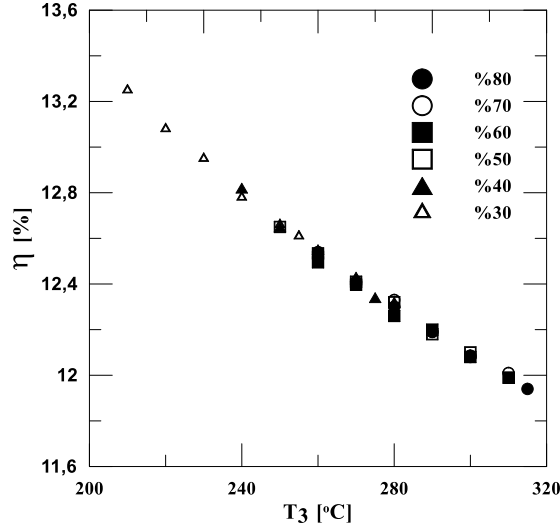
Şekil 4.  $\dot{m}_{CO_2}$  nin Türbin giriş sıcaklığı ile değişimi

Ele alınan kabuller ışığı altında Şekil 5 incelendiğinde sadece türbin giriş sıcaklığının değiştirilmesi ile çevrime uygulanan toplam atık enerji geri kazanımının azaldığı bulunmuştur.



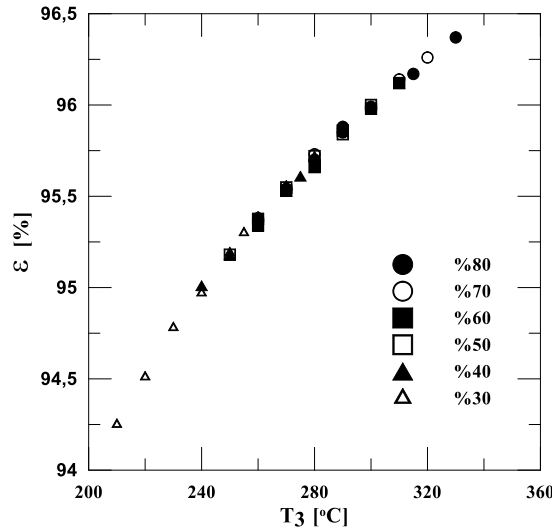
Şekil 5 Toplam atık enerji geri kazanımının türbin giriş sıcaklığı ile değişimi

Şekil 6’da sistemin termal veriminin türbin giriş sıcaklığı ile değişimi verilmiştir. Şekil 5’ te belirtilen toplam enerji geri kazanımının azalması ve ayrıca türbindeki entalpi farkının çok az değişmesi çevrimin türbin giriş sıcaklığı arttıkça çevrimin termal veriminin azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 6 Sistemin termal veriminin Türbin giriş sıcaklığı ile değişimi

Şekil 7. incelendiğinde çevrimin türbin giriş sıcaklığı arttıkça çevrimin ısıl dönüşüm veriminin arttığı bulunmuştur. Isıl verimin bu artışı yapılan kabullerin sonuca etkisinin olumlu olduğunun göstergesini sunmaktadır.



Şekil 7 Sistemin ısıl dönüşüm veriminin Türbin giriş sıcaklığı ile değişimi

## Sonuçlar

Kritik nokta üzeri çalışan Karbondioksitli Reküperatörlü Rankine S-CO<sub>2</sub> çevrimi ile gemi atık ısısının elektrik enerjisine dönüşümünde tanıtılan geminin işletme şartlarında yararlı olacağı bu çalışmada belirlenmiştir. En düşük motor yükünde ve en düşük türbin giriş sıcaklığında (20°C) çevrimden elde edile iş potansiyelinin 210.29 kW, en yüksek motor yükünde ve en yüksek türbin giriş sıcaklığında (330°C) elde edilen iş potansiyelinin 224.90 kW bulunmuştur.

Çalışmada sunulan dizel motorunun atık enerjisi ile eş çalışan S-CO<sub>2</sub> çevrimli sistemin performansının analizinde optimum verim için parametrelerin limit değerlerinin araştırılması ve türbin giriş sıcaklığının değiştirilmesi ile çevrime uygulanan toplam atık enerji geri kazanımının azalmasıdaki olumsuzluğu gidermek için türbin giriş basıncının etkisinin ele alınması ileriki çalışmada ele alınacaktır.

## KAYNAKÇA

Dongpeng, Z. Ruikai, Z. Shuai, Deng. Li, Z. Mengchao, C. (2020). Transcritical carbon dioxide power cycle for waste heat recovery: A roadmap analysis from ideal cycle to real cycle with case implementation. *Energy Conversion and Management* 226, 113578.

Fakeye A.B, (2018). Feasibility Study of Power Conversion of Exhaust Waste Heat Recovery from Gas Turbine Power Plant Using Organic Rankine Cycles (ORC), M.Eng Dissertation, Department of Mechanical Engineering, Covenant University, pp 147.

Ashish, C. Yagnesh, T. Amit, M. Haresh, C. Punit, D. Johnny, P. Vishal, M. (2018). Feasibility Study of Supercritical CO<sub>2</sub> Rankine Cycle for Waste Heat Recovery. The 6th International Symposium-Supercritical CO<sub>2</sub> Power Cycles, March 27-29, Pittsburgh, PA.

Gequn, S. Lingfeng, S. Hua, T. Xiaoya, L. Guangdai, H. Liwen, C. (2016). An improved CO<sub>2</sub>-based transcritical Rankine cycle (CTRC) used for engine waste heat recovery. *Applied Energy* 176, 171–182.

Manjunatha, K.O.P. Sharmab, S.K. Tyagib, S.C. Kaushik. (2018). Thermodynamic analysis of a supercritical/transcritical CO<sub>2</sub> based waste heat recovery cycle for shipboard power and cooling applications. *Energy Conversion and Management* 155, 262–275.

Karaca, S. (2015). Turboşarjlı Bir Gemi Dizel Motoruna Farklı Pervane Kanat Açılımlarına Bağlı Olarak Enerji ve Ekserji Analizinin Uygulanması, Master Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Jian, S. Xue-song, L. Xiao-dong, R. Chun-wei, Gu. (2018). Performance improvement of a preheating supercritical CO<sub>2</sub> (S-CO<sub>2</sub>) cyclebased system for engine waste heat recovery. *Energy Conversion and Management* 161, 225–233.

Lingfeng, S. Gequn, S. Hua, T. Guangdai, H. Xiaoya, L. Tianyu, C. Ligeng, L. (2018). Experimental investigation of a CO<sub>2</sub>-based Transcritical Rankine Cycle (CTRC) for exhaust gas recovery. *Energy* 165, 1149e1159.

Qiang, Z. Zewei, L. Yongjie, Z. Suniaikin, P. (2021). Thermodynamic analysis and multi-objective optimization of a transcritical CO<sub>2</sub> waste heat recovery system for cruise ship application. *Energy Conversion and Management* 227,113612.

Pan, P.C., Yuan, C.Q., Sun, Y.W., Yan, X.P., Lu, M., and Bucknall, R. 2020. Thermo-economic analysis and multi-objective optimization of S-CO<sub>2</sub> Brayton cycle waste heat recovery system for an ocean-going 9000 TEU container ship. *Energy Conversion Management*, 221,113077.

Wang, Z. Yuemao, J. Fenghui, H. Shui, H. Wenhua, L. Yulong, J. and Wenjian, C. (2022). A thermodynamic configuration method of combined supercritical CO<sub>2</sub> power system for marine engine waste heat recovery based on recuperative effects. *Applied Thermal Engineering*. 200, 117645. 1-14.

Zhe, W. Yuemao, J. Yue, M. Fenghui, H. Yulong, J. Wenjian, C. (2022). A partial heating supercritical CO<sub>2</sub> nested transcritical CO<sub>2</sub> cascade power cycle for marine engine waste heat recovery: Thermodynamic, economic, and footprint analysis. *Energy* 261, 125269.

# Çevresel Kaygının Yeşil Satın Alma Davranışı ve Sertifikasyon Üzerine Etkileri: Aydın İli Örneği<sup>1</sup>

Gökhan TOPALOĞLU<sup>2</sup>  
Hasan ALKAN<sup>3</sup>

## Giriş

Son yıllarda hayatımızın bir parçası haline gelen büyük çevresel sorunlar konuya ilişkin farkındalıklar oluşturmaya başlamış ve çevresel kaygıları olan duyarlı bir kesimin oluşmasını da sağlamıştır. Çevresel kaygı kişilerin çevresel konularda farkındalık kazanarak çevre sorunlarının çözümünün bir parçası olma istekliliği olarak tanımlanabilmektedir (Akehurst, Afonso & Gonçaves, 2012). Çevresel kaygı taşıyan kişiler bunu davranışlarına yansıtarak doğa dostu yeşil ürünlere karşı olumlu bir yaklaşım sergilemekte ve yeşil satın alma davranışına yönelmektedir (Chen & Chai, 2010; Vazifehdoust vd., 2013; Tang, Alelyani & Liu, 2014). Bir ürünün çevre dostu olup olmadığının en önemli göstergelerinden birisi yeşil etiket/sertifikalara sahip olup olmadığıdır. Yeşil etiket ve sertifikalar uluslararası bağımsız kuruluşlarca denetlenen bir sertifikasyon süreci sonunda alınabilmektedir. Günümüzde farklı sertifikalandırma kuruluşları olmakla beraber Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de en çok bilinenlerden birisi Forest Stewardship Council (FSC-Orman İdare Konseyi)'dir. Bir ürünün FSC sertifikasına sahip olması o ürünün doğa dostu tüketicileri cezbedebilecek yeşil bir ürün olduğu anlamına gelmektedir. Nitekim, tüketiciler bilinçli tercihlerle doğal kaynakların korunmasını ve çevreye verilen zararın azaltılmasını sağlayabilmektedir. Öz bir ifadeyle doğa dostu tüketicilerin çevresel kaygılarını satın alma davranışlarına yöneltmeleri ve işletme/pazarlama yöneticilerinin buna karşılık vermeleri ile yeşil pazarlama konsepti ortaya çıkmaktadır. Hızla gelişen teknoloji ve değişen dünya yapısı yeşil pazarlamanın işletmeler için önemini her geçen gün arttırmaktadır. Söz konusu değişimi öngörüp ayak uydurabilen işletmeler gelecekte de var olacak işletmelerdir. Mevcut yazın incelendiğinde konuya ilişkin yapılan akademik çalışmaların son yıllarda arttığı görülmektedir. Ayrıca mevcut çalışmaların genelinde “yeşil” ile ilgili her çalışmanın ana odağı olması gereken ormanlar ve orman işletmelerinin yeterince dikkate alınmadığı görülmektedir.

Öte yandan Sosyal Bilimler başta olmak üzere ekonomi, psikoloji vb. birçok farklı alanda kullanılabilen Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) yeşil pazarlama araştırmalarında da kullanılabilmektedir (Yılmaz & Çelik, 2005;2009). Örneğin; İndriani vd. (2019) çevre dostu vücut bakımı ve kozmetik ürünleri satın alan tüketicilerin çevre bilgisi, marka, yeşil ürünlere karşı tutum ve yeşil satın alma niyetini, Parkins, Stedlay & Veckley (2003) Kanada'nın iki önemli eyaleti olan New Brunswick ve British Columbia'nın refah düzeyleri ile orman endüstri sektörleri arasındaki ilişkiyi, Lu Li (2008) Honk Hong'da bulunan bir rekreasyon alanındaki ziyaretçilerin hizmet kalitesi, memnuniyet, davranışsal niyetler gibi pazarlama faktörleri ile deneyim, rahatsızlık gibi rekreasyonel faktörler arasındaki ilişkiyi, Leonidou, Leonidou &

<sup>1</sup> Bu eserin hazırlanmasında “Yeşil Satın Alma Davranışlarını Etkileyen Faktörlerin Yapısal Eşitlik Modeli ile Belirlenmesi” adlı doktora tezinin verilerinden yararlanılmıştır.

<sup>2</sup> Dr., Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Aydın Şube Müdürlüğü

<sup>3</sup> Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği



Kvasova (2010) çevre bilincine sahip tüketicilerin tutum ve davranışlarını, Chaudhary (2018), planlı davranış teorisinden elde edilen bilgileri kullanarak Hindistan'daki genç eğitimli tüketicilerin yeşil satın alma davranışını etkileyen etmenleri, Do Paço & ark., (2014), yeşil satın alma davranışlarını etkileyen faktörleri, Ishaswini & Kumar Datta (2011), Sarumathi (2014) tüketicilerin çevre dostu ürün farkındalığı ve çevre dostu ürüne daha fazla ücret ödemesini etkileyen unsurlar tüketicilerin çevre hakkındaki bilgi ve endişeleri ile çevre dostu ürünler hakkındaki farkındalık düzeylerini, Yadav & Pathak (2017) araştırmada, bireylerin bilinçsiz tüketim alışkanlıklarının çevre üzerinde olumsuz etkilerini YEM kullanarak incelemiştir. Dünya genelinde YEM kullanımı %10-20 aralığında iken ülkemizde bu oran oldukça düşüktür (Ayyıldız & Cengiz, 2006). Ormancılıkta YEM kullanımı ise sadece çalışanların performansı ve toplam kalite yönetimi alanları ile sınırlı kalmıştır (Aydın, 2010; Şafak, 2012; Gültekin, 2016). Dolayısıyla pazarlama çalışmaları için oldukça uygun olan YEM'in ormancılık bakış açısıyla hazırlanan yeşil pazarlama çalışmalarında kullanımın yaygınlaştırılması gerekmektedir (Topaloğlu, 2023). Bu bağlamda, çevresel kaygının yeşil satın alma davranışı ve sertifikasyon üzerindeki etkilerinin Aydın İli örneği ve YEM yardımıyla belirlenmesinin amaçlandığı bu araştırma mevcut yazında var olan boşluğun doldurulmasında önemli bir katkı sağlayacak düzeydedir.

## **Materyal ve Yöntem**

Tüketicilerin yeşil satın alma davranışlarını etkileyen faktörlerden olan çevresel kaygının sertifikasyon ve yeşil satın alma davranışı üzerindeki etkisinin incelendiği bu araştırmada Yapısal Eşitli Modeli kullanılmıştır. Bu model temelde doğrulayıcı faktör analizi (DFA) ve path analizlerini (PA) modellemek için kullanılmaktadır. DFA ve PA'yı birleştiren bir istatistiksel analiz olan YEM'in temeli Sewall Wright'ın 1918 yılındaki çalışmalarına dayanmaktadır (Wright 1918). YEM'in günümüzde kullanılan hali Jöreskog (1973), Keesling (1972) ve Wiley (1973) tarafından geliştirilmiş ve o dönemlerde JKW modeli olarak isimlendirilmiştir. Model gözlenen ve gizil değişkenler, hata varyansları ve artık hata gibi unsurları bünyesinde barındırmaktadır. Doğrudan ölçülebilen değişkenler gözlenen değişken, doğrudan ölçülemeyen gözlenen değişkenler arasındaki ilişki ile açıklanabilen değişkenler gizil değişken olarak adlandırılmaktadır (Khine, 2013). YEM gözlenen değişkenlerdeki ölçüm hatalarını en aza indirgeyerek gözlenen ve gizil değişkenler arasındaki ilişkinin açıklanmasına olanak sağlamaktadır (Uca, 2016). Model araştırmacıların belli bir teori ile ortaya koyduğu ilişkilerin incelenmesi amacıyla da kullanılabilir (Ayyıldız & Cengiz, 2006). YEM'in diğer istatistiksel analiz yöntemlerine olan en önemli üstünlüğü karmaşık modelleri tek bir analizde inceleme olanağı sunması ve nedenselliği inceleme, tahmin yapabilme ve hipotezleri test etme imkânı sağlamasıdır (Geng, 2014; Martens, 2005). Bu bağlamda araştırma ile aşağıdaki hipotezler oluşturulmuş ve test edilmiştir:

**H<sub>1</sub>:** Çevresel Kaygı sertifikasyonu istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif olarak etkilemektedir.

**H<sub>2</sub>:** Çevre Kaygı yeşil satın alma davranışını istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif olarak etkilemektedir.

Araştırmanın materyali Aydın İlinde yaşayan tüketicilerden elde edilen verilerden oluşmaktadır. Türkiye'de Muğla Orman Bölge Müdürlüğü (MOBM)'nün sertifikasyon süreci ile ilgili çalışmaları başlatan Bölge Müdürlüğü olması ve Aydın'ın işletme müdürlüğü olarak MOBM sınırları içerisinde yer alması ilgi grubu tercihinde etkili olmuştur. Verilerin elde edilmesinde anket tekniği kullanılmıştır. Araştırma kapsamında kolayda örnekleme yöntemi ile

basit-tesadüfi olarak seçilen 319 tüketici ile yüz yüze görüşülmüştür<sup>4</sup>. Araştırmada kullanılan anket formunda yeşil satın alma davranışı ölçeği; Kuduz (2011), çevresel kaygı ölçeği; Öcel & Uzundal (2019), sertifikalandırma ölçeği; Akyol & Yıldız (2018), Komut (2016) ve Türkoğlu (2011) tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılarak oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra ölçek oluşturulurken Uyar (2019), Karaca & Sönmez Karapınar (2021), Nakiboğlu (2003), Yılmaz (2009), Karadeniz (2020), Boztepe (2011), Aksu (2019), Koçak, Tolunay & Türkoğlu, (2017), Erciş, Kurnuç & Türk, (2016), Laroche, Bergeron & Barbaro, (2001), Jain & Kaur (2004), Şahin, Meral & Aytıp, (2016), Aslan (2007), Çakır, Çakır & Usta, (2010), Kanbak (2015), Keleş (2007) çalışmalarından da faydalanılmıştır.

Elde edilen verilerin analizinde Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) ve Analysis Moment of Structures (AMOS) programları kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan ölçeklerin güvenilirliğini test etmek için güvenilirlik analizi (Cronbach alfa) ve yapı geçerliliğini test etmek için ise Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA)'nden yararlanılmıştır. Güvenirlik, ölçekte bulunan soruların tutarlılığı ve ölçeği yansıma derecesi olarak tanımlanabilmektedir (Kalaycı, 2010; Şahin, 2011; Büyüköztürk & ark., 2012). Geçerlilik analizlerinde kısmi korelasyon ile gözlenen korelasyon katsayı değerlerinin karşılaştırılmasına dayalı olarak geliştirilen Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testinin uygulanması önerilmektedir. Güvenirlik analizinde Crochbach Alfa katsayısından faydalanılmıştır. Cronbach alfa katsayısı 0.40'ın altında ise ölçek güvenilir değil ve yeniden düzenlenmelidir, 0.70-0.90 arasında ise ölçek yüksek güvenilirlik düzeyine sahiptir (Nunnally & Bernstein, 1994). Analizde kullanılan AFA için herhangi bir faktör sınırlamasına gidilmemiş ve öz değeri 1 ve üzeri olan faktörler işleme alınmıştır. Faktör analizi bir dizi gözlenen değişkenin özellikleri itibari ile farklı en az sayıda değişkene ingirmeyi amaçlayan bir yöntemdir (Stapleton, 1997). Faktör analizinde öz değeri 1 veya 1'den fazla olan faktörler değerlendirmeye alınabilmektedir (Büyüköztürk, 2002). Örneklem sayısının yeterli olup olmadığını ölçmek için KMO testi kullanılmıştır. KMO değerinin en az 0.50 olması gerekmekte, aksi takdirde veri seti faktörlenememektedir (Field, 2000; Çokluk, Şekercioğlu & Büyüköztürk, 2012; Kaya, 2013). Bu testin değerinin 1'e yakın olması örneklem sayısının yeterli olduğu anlamına gelmektedir (Sipahi, Yurtkoru & Çinko, 2006).

Elde edilen veriler ile DFA yapılarak ölçeklerin faktör yapıları test edilmiştir. AMOS ile DFA yapılırken ilk olarak ölçekte bulunan önermelerin standardize regresyon ağırlıkları incelenmektedir. Regresyon ağırlıklarının 0.30 ve üzerinde olması gerekmektedir. Bu işlemin ardından uyum indeks değerleri değerlendirilip ihtiyaç duyulursa modifikasyon işlemi gerçekleştirilebilir. Modifikasyon, teorik yapıya bağlı kalmak koşuluyla uyum indeks değerlerini geliştirmek için yapılmaktadır (Dağlı, 2015). Modifikasyon indeksleri ki-kare değerinin meydana gelebilecek iyileşmeleri gösteren indekslerdir (Meydan & Şeşen, 2015). DFA analizinde diğer bir önemli husus normallik analizidir. Literatüre göre normallik varsayımına ilişkin birçok farklı görüş bulunmaktadır. Likert tipi ölçeklerde çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) katsayısı +1.5 ile -1.5 arasında olması verilerin normal dağıldığının göstergesidir (Jöreskog & Sörbom, 1998; Tabachnick & Fidell, 2007). George & Mallery (2010)'e göre ise çarpıklık (skewness) ve basıklık (kurtosis) katsayılarının +2 ile -2 arasında olan verilerin normal dağıldığı kabul edilmektedir. Kline (2016)'a göre çarpıklık katsayısının 3'ten fazla, basıklık katsayısının ise 10'dan fazla olması veri setinin normal dağılıma sahip olmadığını göstermektedir. Normallik varyasyonuna ilişkin diğer bir görüşe göre normalize çok değişkenli basıklık değerinin 20'den büyük olması durumunda ciddi bir problem olduğunu ve verilerin normal dağılmadığını göstermektedir (Kline, 2011). Yani çok değişkenli basıklık değerinin 20'nin altında olması verilerin normal dağılıma sahip olduğunu

---

<sup>4</sup> Anket formu uygulanmadan önce Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'nun 12.04.2022 tarih ve 100/03 kararı ile etik kurul izni alınmıştır.

göstermektedir. Ayrıca merkezi limit teoremine göre örneklem sayısının 30 ve üzerinde olması durumunda veriler normalliğe yakınsamaktadır. Diğer bir deyişle örneklem sayısı 30'dan fazla ise örneklem ortalaması normal dağılıma yakın kabul edilmektedir (Çakır & Sesli, 2013; Yemenici, 2018; Bayram, 2019).

Verilerin normallik analizi kullanılacak olan tahmin yönteminde etkili olmaktadır. YEM'de genellikle, En Çok Olabilirlik (Maximum Likelihood Estimation-MLE), Ağırlıklandırılmamış En Küçük Kareler (Unweighted Least Squares-ULS), Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler (Weighted Least Squares-WLS), Genelleştirilmiş En Küçük Kareler (Generalized Least Squares- GLS), Asymptotic Distribution Free (ADF) tahmin yöntemleri kullanılmaktadır (Raykov & Marcoulides, 2006; Khine, 2013). Tahmin metoduna karar vermeden önce verilerin normal dağılıp dağılmadığı değerlendirilmelidir (Khine, 2013). Yapısal eşitlik modeli analizlerinde tahmin yönteminin seçimi verilerin normal dağılımı, örneklem büyüklüğü ve gözlenen değişkenlerdeki kategori sayısı gibi bazı unsurlara bağlıdır (In'nami & Koizumi, 2013). Normal dağılıma sahip verilerde MLE ve GLS (Browne, 1984; Çelik, Saraçlı & Yılmaz, 2011), normal dağılıma sahip olmayan verilerde ise ADF yöntemi kullanılmaktadır (Browne, 1984). Bu çalışmada veriler normal dağılıma sahip olduğu için MLE yöntemi kullanılmıştır.

YEM analizlerinde kullanılacak standart bir uyum indeks değeri bulunmamaktadır (Hooper, Coughlan & Mullen, 2008). Bu nedenle yapılan çalışmada  $\chi^2/sd$ , CFI, RMR, SRMR, RMSEA, NFI, GFI, CFI, TLI, PNFI, PGFI gibi yapılan çalışmalarda genellikle kullanılan uyum indeksleri kullanılmıştır. Modelin kabul edilebilir uyum index değerleri  $\chi^2/sd < 5$ ,  $CFI \geq 0.80$ ,  $GFI \geq 0.80$  (Shevlin, Bailey & Adamson, 2002; Dehon & ar., 2005; Simon & ark., 2010; Meydan ve Şeşen, 2015);  $NFI \geq 0.80$  (Hu ve Bentler, 1999; Hooper, Coughlan & Mullen, 2008; Simon & ark., 2010),  $TLI \geq 0.80$ ,  $RMR < 0.08$ ,  $SRMR < 0.10$ ,  $RMSEA < 0.10$  (Schermelleh & Moosbrugger, 2003);  $PNFI \geq 0.50$  ve  $PGFI \geq 0.50$  (Kırılıoğlu & Tekin, 2019) olmalıdır.

## **Bulgular**

### **Çevresel kaygı ölçeği faktör analizi bulguları**

Çevresel kaygı ölçeği toplumun bir parçası olan fertlerin doğa-çevrenin korunup geliştirilmesi dolayısıyla da geleceği konusunda ne düzeyde endişe duyduklarını ortaya koymak amacıyla geliştirilmiş bir ölçektir (Bozpolat, 2021). Bu yüzden çevresel kaygı ölçeğinde katılımcıların çevreye yaklaşımlarını belirleme amacına yönelik ifadeler yer verilmektedir. Araştırma kapsamında bu amaçla kullanılan ifadeler *“Daha yaşanılabilir bir dünya için çevreye olan duyarlılık artmalıdır”, “Tüketiciler çevre sorunları hakkında bilgilendirilmelidir”, “Doğal kaynakları kullanma konusunda herkes dikkatli olmalıdır”, “Doğal çevrede insanlar kadar diğer canlılarda yaşama hakkına sahiptirler”, “Doğal kaynaklarımızı nasıl geliştireceğimizi öğrenemezsek, dünyanın sınırlı olan doğal kaynakları yok olmaktadır”, “Çevre kirliliği ciddi bir sorundur”, “Doğaya insan müdahalesi sonucunda genellikle kötü sonuçlar ortaya çıkmaktadır”, “Orman kaynaklarımızın devamlılığı için kâğıt israfından kaçınmalıyız”, İnsan elinden çıkan şeyler, dünyayı yaşanmaz hale getirmektedir”, “Tüketiciler geri dönüşüme uygun olmayan ürünleri almaktan kaçınmalıdır” ve “Modern sanayi doğanın dengesini bozmaktadır”* şeklindedir. CK ölçeğine ilişkin açıklayıcı ve doğrulayıcı faktör analizi bulguları aşağıdaki gibidir.

Çevresel kaygı ölçeğinin Anti-image korelasyon değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre ölçeğin çapraz yük korelasyon değerleri 0.5 değerinin üzerindedir. Dolayısıyla önermelerin ölçekte kalması uygundur.

Çizelge 1. ÇK ölçeği anti-image korelasyon matrisi

		ck_1	ck_2	ck_4	ck_5	ck_6	ck_7	ck_8	ck_9	ck_10	ck_11	ck_12
Anti-image Kovaryans	ck_1	0.51	-0.24	0.04	-0.05	-0.07	0.04	-0.03	-0.04	0.02	0.00	0.02
	ck_2	-0.24	0.38	-0.10	-0.02	-0.03	-0.07	-0.08	0.05	0.06	0.00	-0.06
	ck_4	0.04	-0.10	0.48	-0.11	-0.02	0.00	-0.12	-0.12	0.03	0.03	-0.03
	ck_5	-0.05	-0.02	-0.11	0.42	0.04	-0.19	-0.06	-0.08	0.02	0.01	0.04
	ck_6	-0.07	-0.03	-0.02	0.04	0.69	-0.05	0.01	-0.11	-0.12	-0.05	-0.08
	ck_7	0.04	-0.07	0.00	-0.19	-0.05	0.45	-0.11	0.09	-0.06	-0.11	0.04
	ck_8	-0.03	-0.08	-0.12	-0.06	0.01	-0.11	0.43	-0.08	-0.03	0.05	-0.01
	ck_9	-0.04	0.05	-0.12	-0.08	-0.11	0.09	-0.08	0.55	-0.12	-0.20	0.03
	ck_10	0.02	0.06	0.03	0.02	-0.12	-0.06	-0.03	-0.12	0.59	-0.07	-0.27
	ck_11	0.00	0.00	0.03	0.01	-0.05	-0.11	0.05	-0.20	-0.07	0.70	-0.09
ck_12	0.02	-0.06	-0.03	0.04	-0.08	0.04	-0.01	0.03	-0.27	-0.09	0.68	
Anti-image Korelasyon	ck_1	0.786 <sup>a</sup>	-0.54	0.09	-0.11	-0.12	0.08	-0.06	-0.07	0.03	0.00	0.04
	ck_2	-0.54	0.801 <sup>a</sup>	-0.22	-0.04	-0.06	-0.16	-0.19	0.12	0.12	0.01	-0.12
	ck_4	0.09	-0.22	0.878 <sup>a</sup>	-0.23	-0.04	0.00	-0.26	-0.23	0.06	0.05	-0.06
	ck_5	-0.11	-0.04	-0.23	0.857 <sup>a</sup>	0.07	-0.43	-0.13	-0.16	0.04	0.02	0.07
	ck_6	-0.12	-0.06	-0.04	0.07	0.891 <sup>a</sup>	-0.10	0.02	-0.18	-0.18	-0.07	-0.12
	ck_7	0.08	-0.16	0.00	-0.43	-0.10	0.814 <sup>a</sup>	-0.25	0.17	-0.11	-0.20	0.08
	ck_8	-0.06	-0.19	-0.26	-0.13	0.02	-0.25	0.898 <sup>a</sup>	-0.16	-0.06	0.10	-0.02
	ck_9	-0.07	0.12	-0.23	-0.16	-0.18	0.17	-0.16	0.789 <sup>a</sup>	-0.21	-0.33	0.05
	ck_10	0.03	0.12	0.06	0.04	-0.18	-0.11	-0.06	-0.21	0.729 <sup>a</sup>	-0.11	-0.42
	ck_11	0.00	0.01	0.05	0.02	-0.07	-0.20	0.10	-0.33	-0.11	0.792 <sup>a</sup>	-0.13
ck_12	0.04	-0.12	-0.06	0.07	-0.12	0.08	-0.02	0.05	-0.42	-0.13	0.711 <sup>a</sup>	

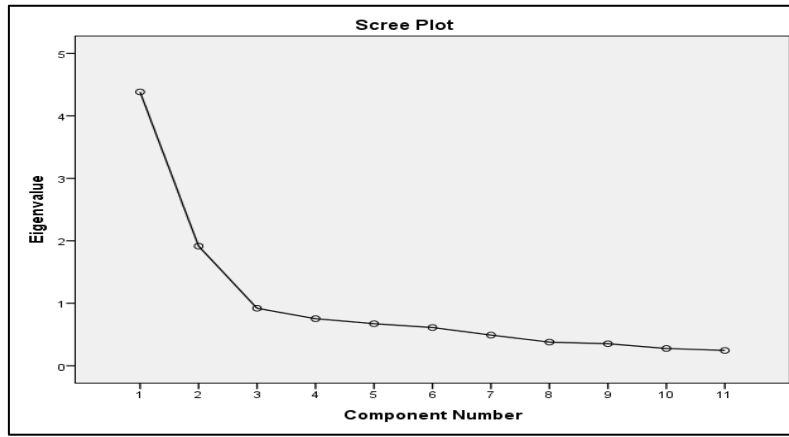
Çizelge 2’de ise CK ölçeğine ilişkin faktör analizi bulguları verilmiştir.

Çizelge 2. CK ölçeği döndürülmüş faktör analizi sonuçları

İfadeler	Madde Yükleri		
	CK1	CK2	
<b>Çevresel Kaygı Ölçeği</b>			
1.Çevre kirliliği ciddi bir sorundur	0.694		α: 0.869 Özdeğer;4.383
2. Tüketiciler çevre sorunları hakkında bilgilendirilmelidir.	0.822		
4. Doğal çevrede insanlar kadar diğer canlılarda yaşama hakkına sahiptirler.	0.734		
5. Daha yaşanılabilir bir dünya için çevreye olan duyarlılık artmalıdır	0.822		
7. Doğal kaynaklarımızı nasıl geliştireceğimizi öğrenemezsek, dünyanın sınırlı olan doğal kaynakları yok olmaktadır.	0.747		
8. Doğal kaynakları kullanma konusunda herkes dikkatli olmalıdır	0.803		
6. Doğaya insan müdahalesi sonucunda genellikle kötü sonuçlar ortaya çıkmaktadır		0.615	α: 0.742 Özdeğer;1.915
9. Orman kaynaklarımızın devamlılığı için kâğıt israfından kaçınmalıyız		0.615	
10. İnsan elinden çıkan şeyler, dünyayı yaşanmaz hale getirmektedir		0.816	
11. Tüketiciler geri dönüşüme uygun olmayan ürünleri almaktan kaçınmalıdır		0.670	
12. Modern sanayi doğanın dengesini bozmaktadır		0.715	
KMO; 0.824 α: 0.793 AVO;%57.256			

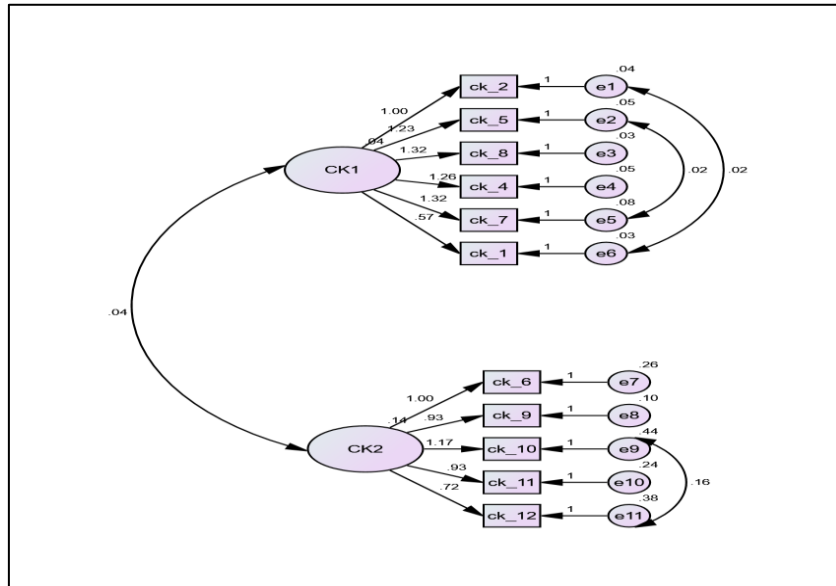
Buna göre CK ölçeğinin 2 faktörlü 11 maddeli bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Zira analiz sonucunda ölçekte bulunan 3. maddenin binişik değeri olduğu belirlenmiş ve bu madde ölçekten çıkarılarak analiz tekrar edilmiştir. Faktör analizi bulgularına göre ölçeğin faktör yükleri 0.460-0.680 arasında değişmektedir. Ölçekte 1. faktöre ait  $\alpha$ : 0.869, 2. faktöre ait  $\alpha$ : 0.742 ve ölçeğin tamamına ait  $\alpha$ : 0.793 olarak tespit edilmiştir. KMO Barlett testi (0.824) ve AVO (%57.256) bulgularına göre ölçeğin faktör analizine uygun olduğu söylenebilir. Değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı ise Bartlett Küresellik testi ile gösterilmiştir ( $p=0.000$ ). Çevresel kaygı ölçeğine ilişkin faktörler CK1 ve CK2 olarak adlandırılmıştır.

Cattell (1978) tarafından geliştirilen yamaç birikinti grafiği, AFA'da faktör analizine karar vermede yararlanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde eğimin azaldığı kırılma noktaları faktör oluşumunda etkilidir ve kırılma noktası kadar faktör oluştuğunu göstermektedir (Gorsuch, 1983). CK ölçeğine ilişkin yamaç birikinti grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. CK ölçeği yamaç birikinti grafiği

Yamaç birikinti grafiğinde de görüldüğü gibi CK ölçeği 2 faktörlü bir yapıya sahiptir. DFA gizil ve gözlenen değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla yapılmaktadır (Meydan & Şeşen, 2015; Kurt, 2019). Ayrıca DFA modeldeki gizil ve gözlenen değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyarken aynı zamanda gizil değişkenler arasındaki ilişkiyi de ortaya koymaktadır (Arıcı Çılan, 2019). CK ölçeğine ilişkin DFA diyagramı Şekil 2'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Çevresel kaygı ölçeği DFA modeli

Şekil 2’de görüldüğü gibi 2 faktörlü çevresel kaygı ölçeğinin faktör yapısının doğrulanması amacıyla DFA gerçekleştirilmiştir. DFA ile kurulan modelde uyum indeks değerleri modelin doğruluğunun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ancak model uyum indeks değerlerinin istenilen düzeyde olmaması veya eşik değere yakın olması durumunda modelde modifikasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlem yapılırken modelde bulunan aynı faktör içerisindeki önermelere ait hata varyansları arasında modifikasyon işleminin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle modifikasyon işlemi CK1 ve CK2 faktörlerinde kendi bünyesinde bulunan önermeler arasında gerçekleştirilmiştir. Modifikasyon DFA ile elde edilen modelin çıktısındaki hata varyansları referans alınarak yapılmaktadır. Bu amaçla Şekil 2’de de görüldüğü gibi e1-e6, e2-e5 ve e9-e11 hata varyansları arasında modifikasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda model uyum değerlerinde iyileşmeler olmaktadır. Çizelge 3’de CK ölçeği normallik analizine ilişkin bulgular verilmiştir.

*Çizelge 3. CK ölçeği normallik testi bulguları*

Değişkenler	Min	Max	Çarpıklık	C.R.	Basıklık	C.R.
ck_12	3	5	-0.592	-4.313	-0.711	-2.593
ck_11	3	5	-0.969	-7.068	-0.074	-0.268
ck_10	3	5	-0.675	-4.923	-1.108	-4.04
ck_9	3	5	-1.799	-13.119	2.394	8.728
ck_6	3	5	-1.084	-7.903	0.054	0.195
ck_1	4	5	-4.122	-30.055	14.99	54.651
ck_7	3	5	-2.147	-15.653	3.571	13.019
ck_4	4	5	-2.139	-15.595	2.574	9.386
ck_8	4	5	-2.352	-17.147	3.53	12.869
ck_5	4	5	-2.220	-16.187	2.928	10.675
ck_2	4	5	-2.846	-20.752	6.1	22.239
Çok Değişkenli					132.653	70.048

Çizelge 3’e göre CK ölçeği çoklu basıklık kriteri 20’nin üzerindedir. Ancak merkezi limit teoremine göre ana kütlelerin dağılımına bakılmaksızın örneklem büyüklüğünün 30 ve üzerinde olması durumunda verilerin normalliğe yakınsadığı kabul edilmektedir. (Karagöz, 2019). Ayrıca sosyal bilimlerde insana ait soyut kavramlar teste tutulduğu için normalliğin sağlanamaması olağan kabul edilmektedir. Bu sebeple CK ölçeğinin normal dağılıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Biçer, 2020). Çizelge 4’te CK ölçeğine ilişkin regresyon katsayıları verilmiştir.

*Çizelge 4. CK Ölçeği regresyon ağırlığı ve standardize regresyon katsayıları*

			Tahmin	Std. Hata	Kritik Oran	Anlamlılık (p)	Standardize Regresyon Ağırlığı
ck_2	<---	CK1	1				0.709
ck_5	<---	CK1	1.234	0.103	12.026	***	0.752
ck_8	<---	CK1	1.316	0.101	13.09	***	0.828
ck_4	<---	CK1	1.264	0.104	12.152	***	0.755
ck_7	<---	CK1	1.319	0.118	11.166	***	0.697
ck_1	<---	CK1	0.567	0.048	11.758	***	0.530
ck_6	<---	CK2	1				0.596
ck_9	<---	CK2	0.931	0.111	8.398	***	0.741
ck_10	<---	CK2	1.168	0.161	7.271	***	0.555
ck_11	<---	CK2	0.932	0.123	7.573	***	0.588
ck_12	<---	CK2	0.72	0.127	5.662	***	0.406

p<0.05

Çizelge 4'e göre çevresel kaygı ölçeğindeki maddelerin tamamının anlamlı olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Ayrıca maddelerin faktör yükleri 0.30 üzerindedir. Modelin uyum indeks değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. CK Ölçeği uyum indeks değerleri

İndeks	Referans Aralığı	Sonuç
$\chi^2/SD$	0-5	3.027
RMSEA	$\leq 0.10$	0.08
RMR	$\leq 0.08$	0.014
CFI	$\geq 0.80$	0.942
NFI	$\geq 0.80$	0.916
TLI	$\geq 0.80$	0.920
GFI	$\geq 0.80$	0.937
SRMR	$\leq 0.10$	0.0563

Model uyum iyiliği değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisindedir ve CK ölçeğinin bu yapısı DFA ile doğrulanmıştır.

### Sertifikasyon ölçeği faktör analizi bulguları

Sertifikasyon ölçeği bireylerin ürün paketleri üzerinde bulunan eko etiketler hakkında bilgi düzeylerini ve yaklaşımlarını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu nedenle sertifikasyon ölçeğinde katılımcıların sertifikalı ürünler hakkındaki bilgi düzeyini ve yaklaşımlarını belirlemeye yönelik ifadeler yer verilmektedir. Araştırma kapsamında sertifikasyon ölçeğinde kullanılan ifadeler “Ülkemiz ormancılık faaliyetlerinin çevreye uyumunun ulusal bağımsız bir kuruluş tarafından denetlenmesi gerekir”, “Sertifikalı orman ürünleri ormanların korunmasına katkı sağlamaktadır”, “Tüketiciler sertifikalı ürünleri tercih etmeye başlamaktadır”, “Sertifikalı ürünler doğaya zarar vermediği için daha fazla ücret ödeyerek satın alırım”, “Sertifikalı orman ürünlerine kolayca ulaşıyorum”, “Sertifikalı ürün aynı zamanda yeşil üründür” şeklindedir. SRF ölçeğine ilişkin Anti-image korelasyon değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. SRF ölçeği anti-image korelasyon matrisi

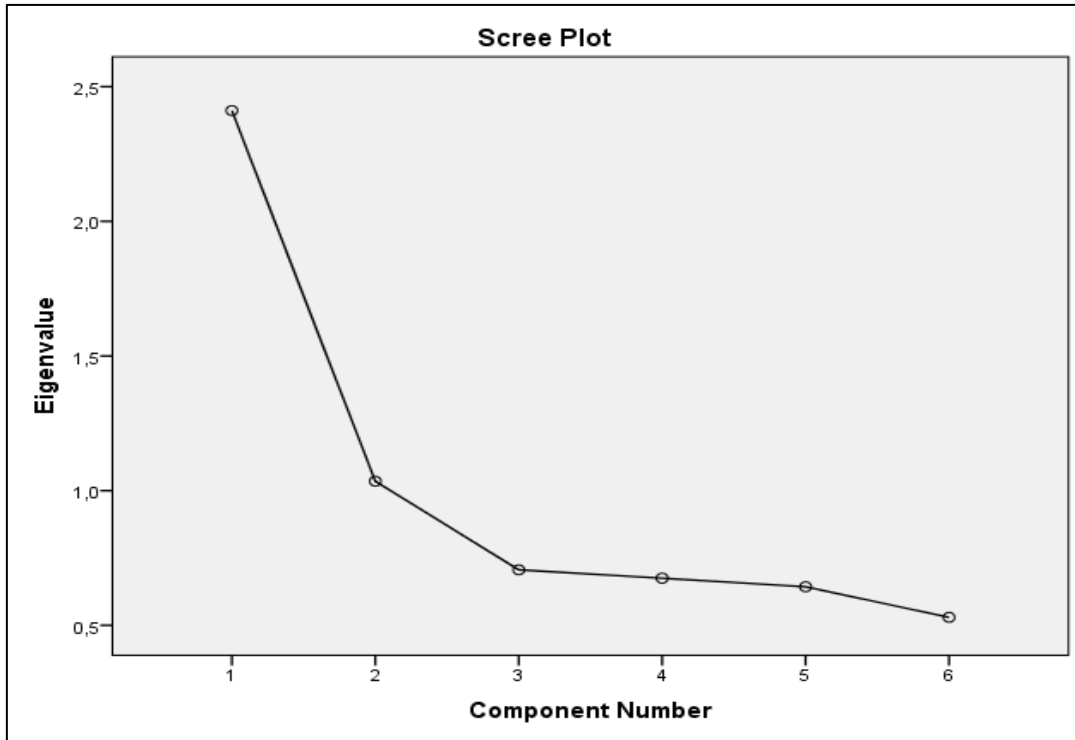
		srf_1	srf_2	srf_5	srf_6	srf_7	srf_8
Anti-image Kovaryans	srf_1	0.877	-0.236	-0.034	-0.024	-0.030	-0.032
	srf_2	-0.236	0.809	-0.060	-0.056	-0.066	-0.108
	srf_5	-0.034	-0.060	0.776	-0.136	-0.087	-0.186
	srf_6	-0.024	-0.056	-0.136	0.797	-0.174	-0.086
	srf_7	-0.030	-0.066	-0.087	-0.174	0.728	-0.205
	srf_8	-0.032	-0.108	-0.186	-0.086	-0.205	0.699
Anti-image Korelasyon	srf_1	0.714 <sup>a</sup>	-0.280	-0.042	-0.028	-0.037	-0.041
	srf_2	-0.280	0.756 <sup>a</sup>	-0.076	-0.070	-0.086	-0.144
	srf_5	-0.042	-0.076	0.797 <sup>a</sup>	-0.173	-0.115	-0.252
	srf_6	-0.028	-0.070	-0.173	0.803 <sup>a</sup>	-0.228	-0.115
	srf_7	-0.037	-0.086	-0.115	-0.228	0.770 <sup>a</sup>	-0.287
	srf_8	-0.041	-0.144	-0.252	-0.115	-0.287	0.761 <sup>a</sup>

Çizelge 6'ya göre sertifikasyon ölçeği Anti-image korelasyon değerleri 0.5'in üzerinde olduğu dolayısıyla ölçekte kalabileceği söylenebilir. Çizelge 7'de SRF ölçeğine ilişkin faktör analizi bulguları ve Şekil 3'te sertifikasyon ölçeğine ilişkin yamaç birikinti grafiği verilmiştir.

Çizelge 7. SRF ölçeği döndürülmüş faktör analizi bulguları

İfadeler	Madde Yükleri		
	SRF1	SRF2	
<b>Sertifikasyon Ölçeği</b>			
1. Ülkemiz ormancılık faaliyetlerinin çevreye uyumunun ulusal bağımsız bir kuruluş tarafından denetlenmesi gerekir	0.864		α: 0.420 Özdeğer;2.411
2.Sertifikalı orman ürünleri ormanların korunmasına katkı sağlamaktadır	0.734		
5.Tüketiciler sertifikalı ürünleri tercih etmeye başlamaktadır		0.688	α: 0.695 Özdeğer;1.035
6.Sertifikalı ürünler doğaya zarar vermediği için daha fazla ücret ödeyerek satın alırım		0.692	
7. Sertifikalı orman ürünlerine kolayca ulaşırım		0.732	
8.Sertifikalı ürün aynı zamanda yeşil üründür		0.726	
KMO; 0.770 α: 0.789 AVO;%57.437			

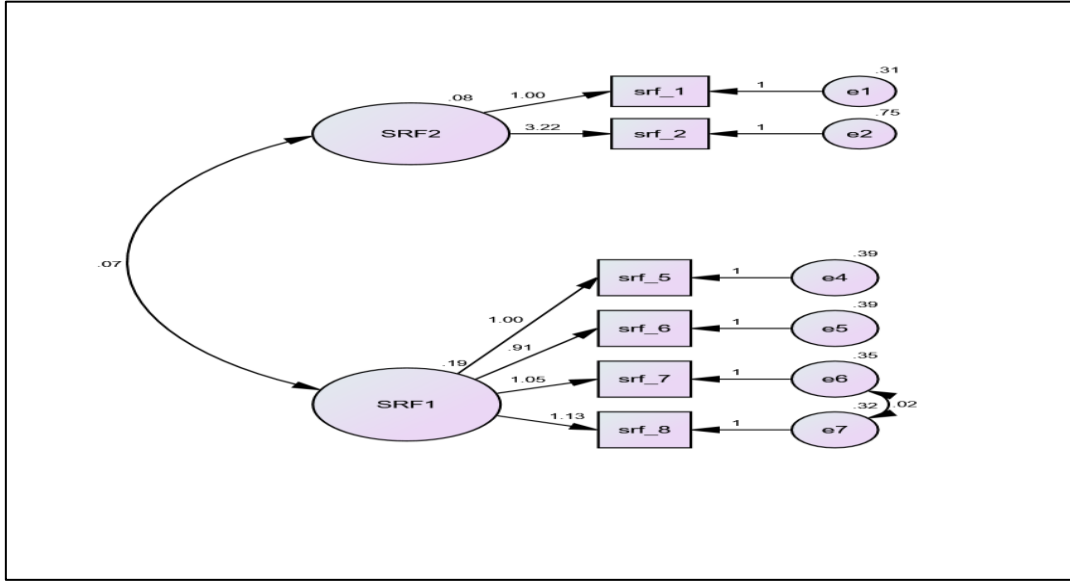
Çizelge 7'ye göre sertifikasyon ölçeğinin 2 faktörlü 6 maddeli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Faktör analiz sonucunda 3 ve 4. maddeler binişik değer olduğu için ölçekten çıkarılarak analiz tekrar edilmiştir. Ölçeğin faktör yükleri 0.483-0.747 arasında değişmektedir. Ölçekte 1. faktöre ait  $\alpha$ : 0.420 2. faktöre ait  $\alpha$ : 0.695 ölçeğin tamamına ait  $\alpha$ : 0.789 olarak tespit edilmiştir. KMO değeri 0.770 ve AVO %57.437 olup ölçek faktör analizine uygundur. Değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı Bartlett Küresellik testi ile gösterilmiştir ( $p=0.000$ ). Sertifikaşyon ölçeğine ilişkin faktörler SRF1 ve SFR2 olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. SRF ölçeğine ilişkin yamaç birikinti grafiği



Şekil 3'te verilen yamaç birikinti grafiğinde de görüldüğü üzere sertifikasyon ölçeği 2 faktörlü bir yapıya sahiptir. Sertifikasyon ölçeğine ilişkin DFA diyagramı Şekil 4'de ve normallik testi bulguları ise Çizelge 8'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Sertifikasyon Ölçeği DFA Modeli

Şekil 4'te sertifikasyon ölçeği DFA modeli gösterilmiştir. Modelde görüldüğü üzere e6-e7 hata varyansları arasında modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 8. SRF ölçeği normallik testi bulguları

Değişkenler	Min	Max	Çarpıklık	C.R.	Basıklık	C.R.
srf_8	3	5	0.015	0.113	-1.237	-4.510
srf_7	3	5	0.367	2.673	-1.163	-4.242
srf_6	3	5	0.137	1.001	-1.187	-4.327
srf_5	3	5	-0.043	-0.31	-1.3	-4.741
srf_2	2	5	-0.203	-1.477	-1.618	-5.897
srf_1	3	5	-1.145	-8.35	0.21	0.767
Çok Değişkenli					-2.801	-2.553

Çizelge 8'e göre SRF ölçeği normal dağılım göstermektedir. Çizelge 9'da SRF ölçeğine ilişkin regresyon katsayıları verilmiştir.

Çizelge 9. SRF ölçeği regresyon ağırlığı ve standardize regresyon katsayıları

			Tahmin	Std. Hata	Kritik Oran	Anlamlılık (p)	Standardize Regresyon Ağırlığı
srf_1	<---	SRF2	1				0.457
srf_2	<---	SRF2	3.222	0.816	3.948	***	0.728
srf_5	<---	SRF1	1				0.575
srf_6	<---	SRF1	0.911	0.138	6.607	***	0.540
srf_7	<---	SRF1	1.051	0.171	6.132	***	0.616
srf_8	<---	SRF1	1.131	0.177	6.392	***	0.663

p<0.05

Çizelge 9'a göre sertifikasyon ölçeğindeki maddelerin tamamının anlamlı olduğu görülmektedir ( $p < 0.05$ ). Ayrıca maddelerin faktör yükleri 0.30 üzerindedir. Çizelge 10'da SRF ölçeği uyum indeks değerleri verilmiştir.

Çizelge 10. SRF ölçeği uyum index değerleri

İndeks	Referans Aralığı	Sonuç
$X^2/SD$	0-5	0.543
RMSEA	$\leq 0.10$	0.000
RMR	$\leq 0.08$	0.009
CFI	$\geq 0.80$	1.000
NFI	$\geq 0.80$	0.987
TLI	$\geq 0.80$	1.025
GFI	$\geq 0.80$	0.996
SRMR	$\leq 0.10$	0.0151

SRF ölçeği model uyum iyiliği değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde ve ölçeğin bu yapısı DFA ile doğrulanmıştır.

### Yeşil satın alma davranışı ölçeği faktör analizi bulguları

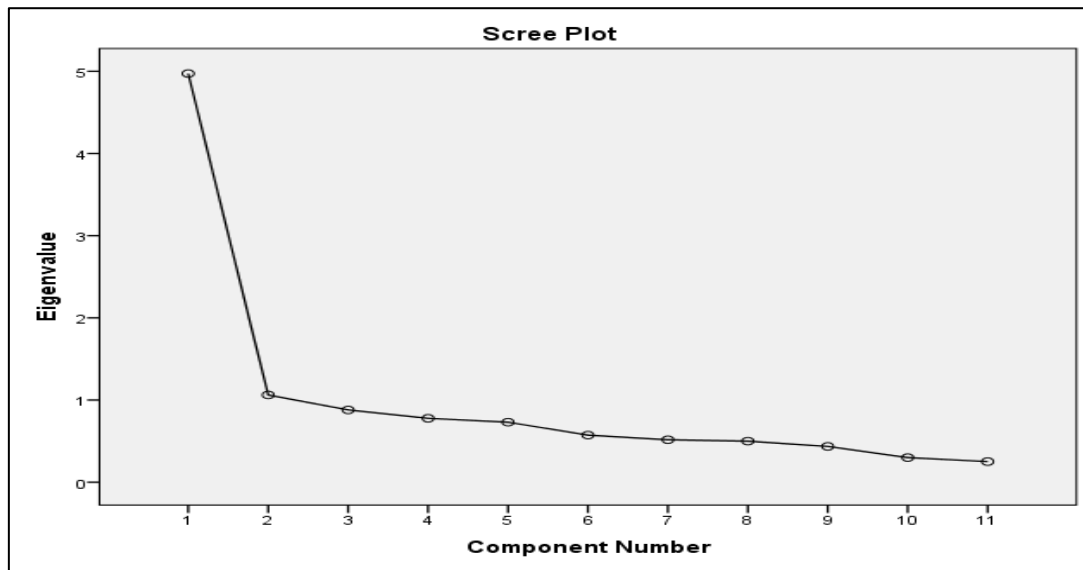
Yeşil satın alma davranışı ölçeğinde yeşil ürün bilgi düzeyi ve bunu satın alma davranışlarına ne derece yansıtacağını belirlemeye yönelik ifadeler yer almaktadır. Araştırma kapsamında kullanılan ifadeler “Satın aldığım ürünlerin ambalajının çevreye zarar verdiğini öğrendiğim zaman satın almaktan vazgeçerim”, “Satın aldığım ürünlerin üretim sürecinde çevreye zarar verdiğini öğrenirsem kullanmaktan vazgeçerim”, “Olması gerekenden fazla ambalajlanmış ürünleri tercih etmem”, “Ozon tabakasına zarar veren gazlar içeren sprey ve deodorant türü ürünleri satın almam”, “Temizlik ürünleri satın alırken içerdiği fosfat miktarına dikkat ederim”, “Çevre ile ilgili konularda yapılan medya yayınları satın alma davranışımı etkiler”, “Etiketinde çevreye zararı olmadığını belirten ürünleri tercih ederim”, “Elektrikli ev eşyası (beyaz eşya) satın alırken A+ sınıfı (enerji tasarruflu) olanı tercih ederim”, “Ürünlerin taşınması esnasındaki doğal kaynak israfını düşündüğüm için mümkün olduğunca ülke içinde üretilen ürünleri tercih ederim”, “Satın aldığım ürünlerin dağıtımında ürünlerin en kısa yoldan bana ulaşmasını tercih ederim”, “Çevreye karşı sorumsuz davranan firmaların ürünlerini satın almam” şeklindedir. YSD ölçeğine ilişkin Anti-image korelasyon değerleri Çizelge 11’de verilmiştir.

Çizelge 11. YSD ölçeği anti-image korelasyon matrisi

	ysd_1	ysd_2	ysd_3	ysd_5	ysd_6	ysd_7	ysd_8	ysd_9	ysd_10	ysd_12		
Anti-image Covariance	ysd_1	0.40	-0.22	-0.12	0.00	0.01	-0.05	-0.01	0.00	-0.06	-0.02	0.02
	ysd_2	-0.22	0.43	-0.02	-0.03	-0.03	0.02	0.00	-0.02	0.00	-0.07	
	ysd_3	-0.12	-0.02	0.55	-0.13	-0.11	0.00	-0.02	-0.03	-0.01	-0.04	-0.02
	ysd_5	0.00	-0.03	-0.13	0.59	-0.07	-0.13	0.05	-0.16	-0.05	0.05	0.04
	ysd_6	0.01	-0.03	-0.11	-0.07	0.69	-0.09	-0.13	-0.02	-0.03	0.00	0.03
	ysd_7	-0.05	-0.03	0.00	-0.13	-0.09	0.42	-0.01	0.00	-0.01	-0.08	-0.18
	ysd_8	-0.01	0.02	-0.02	0.05	-0.13	-0.01	0.67	0.03	-0.05	-0.13	-0.17
	ysd_9	0.00	0.00	-0.03	-0.16	-0.02	0.00	0.03	0.70	0.00	-0.11	-0.12
	ysd_10	-0.06	-0.02	-0.01	-0.05	-0.03	-0.01	-0.05	0.00	0.63	-0.18	-0.07
	ysd_12	-0.02	0.00	-0.04	0.05	0.00	-0.08	-0.13	-0.11	-0.18	0.67	0.04

	ysd_1 4	0.02	-0.07	-0.02	0.04	0.03	-0.18	-0.17	-0.12	-0.07	0.04	0.47
Anti- image Correlatio n	ysd_1	0.843 <sub>a</sub>	-0.54	-0.26	0.00	0.01	-0.12	-0.03	0.00	-0.12	-0.04	0.04
	ysd_2	-0.54	0.858 <sub>a</sub>	-0.05	-0.05	-0.05	-0.07	0.04	-0.01	-0.04	0.00	-0.15
	ysd_3	-0.26	-0.05	0.918 <sub>a</sub>	-0.23	-0.17	-0.01	-0.03	-0.05	-0.02	-0.06	-0.04
	ysd_5	0.00	-0.05	-0.23	0.868 <sub>a</sub>	-0.11	-0.26	0.09	-0.25	-0.08	0.08	0.07
	ysd_6	0.01	-0.05	-0.17	-0.11	0.919 <sub>a</sub>	-0.16	-0.19	-0.04	-0.05	-0.01	0.06
	ysd_7	-0.12	-0.07	-0.01	-0.26	-0.16	0.887 <sub>a</sub>	-0.02	-0.01	-0.02	-0.16	-0.40
	ysd_8	-0.03	0.04	-0.03	0.09	-0.19	-0.02	0.858 <sub>a</sub>	0.05	-0.08	-0.20	-0.30
	ysd_9	0.00	-0.01	-0.05	-0.25	-0.04	-0.01	0.05	0.895 <sub>a</sub>	0.00	-0.17	-0.20
	ysd_1 0	-0.12	-0.04	-0.02	-0.08	-0.05	-0.02	-0.08	0.00	0.925 <sup>a</sup>	-0.28	-0.13
	ysd_1 2	-0.04	0.00	-0.06	0.08	-0.01	-0.16	-0.20	-0.17	-0.28	0.871 <sup>a</sup>	0.08
	ysd_1 4	0.04	-0.15	-0.04	0.07	0.06	-0.40	-0.30	-0.20	-0.13	0.08	0.846 <sup>a</sup>
a. Measures of Sampling Adequacy(MSA)												

Çizelge 11'e göre YSD ölçeği Anti-image korelasyon değerleri 0.5'in üzerinde olduğu dolayısıyla ölçekte kalabileceği söylenebilir. Çizelge 12'de YSD ölçeğine ilişkin faktör analizi bulguları ve Şekil 5'te yamaç birikinti grafiği verilmiştir.



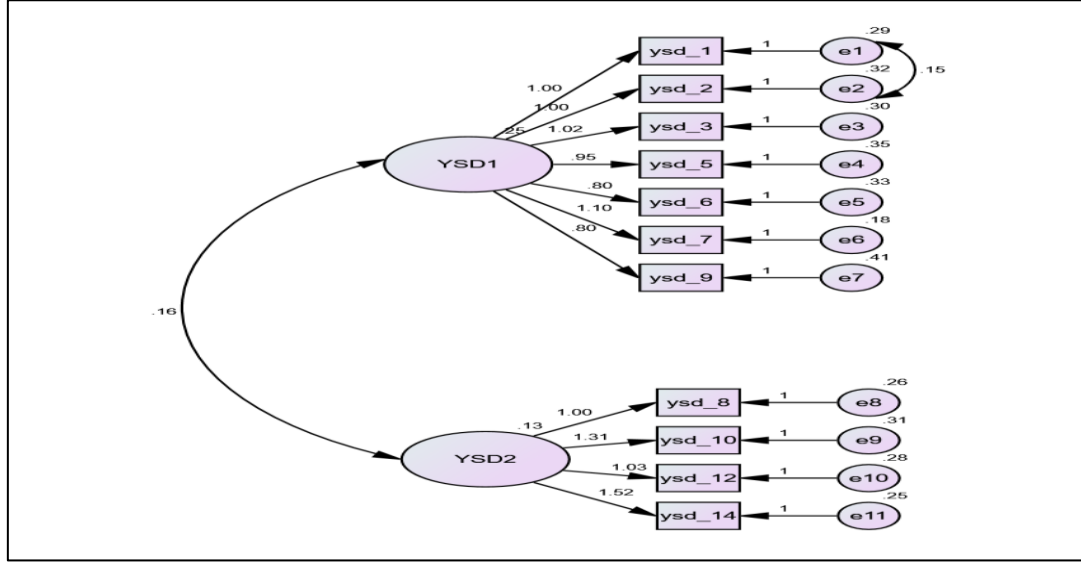
Şekil 5. YSD ölçeğine ilişkin yamaç birikinti grafiği

Şekil 5 yamaç birikinti grafiği incelendiğinde YSD ölçeğinin iki faktörlü bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 12. YSD ölçeği döndürülmüş faktör analizi bulguları

İfadeler	Madde Yükleri		
	YSD1	YSD2	
<b>Yeşil Satın Alma Davranışı Ölçeği</b>			
1.Satın aldığım ürünlerin ambalajının çevreye zarar verdiğini öğrendiğim zaman satın almaktan vazgeçerim.	0.745		$\alpha: 0.844$ Özdeğer;4.973
2.Satın aldığım ürünlerin üretim sürecinde çevreye zarar verdiğini öğrenirsem kullanmaktan vazgeçerim.	0.738		
3.Olması gerekenden fazla ambalajlanmış ürünleri tercih etmem.	0.739		
5.Ozon tabakasına zarar veren gazlar içeren sprey ve deodorant türü ürünleri satın almam	0.761		
6.Çevre ile ilgili konularda yapılan medya yayınları satın alma davranışımı etkiler.	0.482		
7.Etiketinde çevreye zararı olmadığını belirten ürünleri tercih ederim	0.619		
9.Temizlik ürünleri satın alırken içerdiği fosfat miktarına dikkat ederim.	0.517		
8.Elektrikli ev eşyası (beyaz eşya) satın alırken A+ sınıfı (enerji tasarruflu) olanı tercih ederim.		0.818	$\alpha: 0.736$ Özdeğer;1.062
10.Ürünlerin taşınması esnasındaki doğal kaynak israfını düşündüğüm için mümkün olduğunca ülke içinde üretilen ürünleri tercih ederim		0.605	
12.Satın aldığım ürünlerin dağıtımında ürünlerin en kısa yoldan bana ulaşmasını tercih ederim.		0.701	
14.Çevreye karşı sorumsuz davranan firmaların ürünlerini satın almam		0.624	
KMO; 0.878 $\alpha: 0.877$ AVO;%54.858			

Çizelge 12’de YSD ölçeğinin 2 faktörlü 11 maddeli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ölçekte binişik değer olan 4,11 ve 13. maddeler analizden çıkarılmıştır. Faktör analizi sonucu ölçeğin faktör yükleri 0.371-0.673 arasında değişmektedir. Ölçekte 1. faktöre ait  $\alpha: 0.844$  2. faktöre ait  $\alpha: 0.736$  ve ölçeğin tamamına ait  $\alpha: 0.877$  olarak tespit edilmiştir. KMO değeri 0.878 ve AVO %54.858 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla ölçek faktör analizine uygundur. Değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı Bartlett Küresellik testi ile gösterilmiştir ( $p=0.000$ ). Yeşil satın alma davranışı ölçeği faktörleri YSD1 ve YSD2 olarak adlandırılmıştır. YSD ölçeğine ilişkin DFA diyagramı Şekil 6’da ve normallik testi bulguları Çizelge 13’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Yeşil satın alma davranışı ölçeği DFA modeli

Şekil 6’da görüldüğü üzere YSD ölçeği DFA modelinde e1-e2 hata varyansları arasında modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 13. YSD ölçeği normallik testi bulguları

Değişkenler	Min	Max	Çarpıklık	C.R.	Basıklık	C.R.
ysd_14	3.00	5.00	-0.28	-2.02	-1.15	-4.21
ysd_12	3.00	5.00	-0.38	-2.75	-0.73	-2.66
ysd_10	3.00	5.00	-0.32	-2.34	-1.07	-3.89
ysd_8	3.00	5.00	-1.23	-8.97	0.38	1.38
ysd_9	3.00	5.00	0.05	0.34	-1.23	-4.50
ysd_7	3.00	5.00	-0.29	-2.10	-0.93	-3.40
ysd_6	3.00	5.00	-0.33	-2.44	-0.93	-3.39
ysd_5	3.00	5.00	-0.21	-1.52	-1.25	-4.54
ysd_3	3.00	5.00	-0.19	-1.40	-1.20	-4.37
ysd_2	3.00	5.00	-0.18	-1.34	-1.22	-4.46
ysd_1	3.00	5.00	-0.11	-0.83	-1.16	-4.21
Çok Değişkenli					20.93	11.05

Çizelge 13’e göre YSD ölçeğinin normal dağılım gösterdiği görülmektedir. Çizelge 14’de YSD ölçeğine ilişkin regresyon katsayıları verilmiştir.

Çizelge 14. YKT ölçeği regresyon ağırlığı ve standardize regresyon katsayıları

			Tahmin	Std. Hata	Kritik Oran	Anlamlılık (p)	Standardize Regresyon Ağırlığı
ysd_1	<---	YSD1	1				0.679
ysd_2	<---	YSD1	0.996	0.068	14.656	***	0.662
ysd_3	<---	YSD1	1.019	0.096	10.615	***	0.681
ysd_5	<---	YSD1	0.952	0.096	9.867	***	0.627
ysd_6	<---	YSD1	0.797	0.088	9.083	***	0.572
ysd_7	<---	YSD1	1.102	0.092	12.017	***	0.793
ysd_9	<---	YSD1	0.801	0.094	8.509	***	0.532
ysd_8	<---	YSD2	1				0.575

ysd_10	<---	YSD2	1.309	0.153	8.568	***	0.650
ysd_12	<---	YSD2	1.035	0.131	7.892	***	0.576
ysd_14	<---	YSD2	1.525	0.165	9.244	***	0.741

p<0.05

Çizelge 14'e göre yeşil satın alma davranışı ölçeğindeki maddelerin tamamı anlamlı bulunmuştur (p<0.05). Ayrıca maddelerin faktör yükleri 0.30 üzerindedir. Çizelge 15'te YSD ölçeği uyum indeks değerleri verilmiştir.

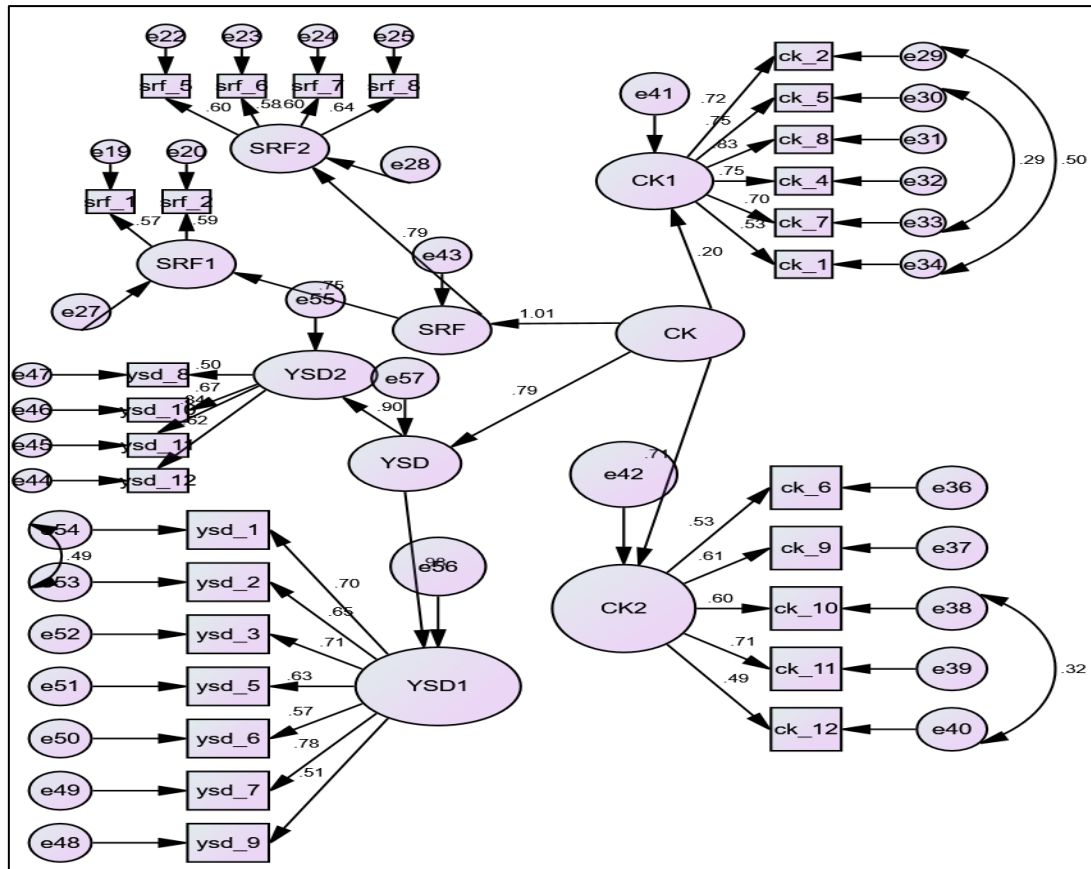
Çizelge 15. YSD ölçeği uyum index değerleri

İndeks	Referans Aralığı	Sonuç
$X^2/SD$	0-5	3.229
RMSEA	$\leq 0.10$	0.084
RMR	$\leq 0.08$	0.024
CFI	$\geq 0.80$	0.930
NFI	$\geq 0.80$	0.902
TLI	$\geq 0.80$	0.908
GFI	$\geq 0.80$	0.933
SRMR	$\leq 0.10$	0.0475

YSD ölçeği model uyum iyiliği değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde ve YSD ölçeğinin bu yapısı DFA ile doğrulanmıştır.

### Yol (path) analizi

Çevresel kaygının sertifikasyon ve yeşil satın alma davranışı üzerine etkisini gösteren YEM bulguları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Yol Analizi

Şekil 7 incelendiğinde modelde çevresel kaygının sertifikasyon üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ( $p;0.008$ ) ve 1.01 etki düzeyine sahip bir etkisi olduğu görülmektedir. Ayrıca çevresel kaygının yeşil satın alma davranışı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ( $p;0.006$ ) ve 0.79 etki düzeyine sahip etkisi bulunmaktadır. Bulgulara bakıldığı zaman çevresel kaygının sertifikasyon ve yeşil satın alma davranışı üzerinde güçlü bir etkisinin olduğunu söylemek mümkündür. Modele ilişkin uyum indeks değerleri  $\chi^2/df:2.621$ , RMR: 0.030, GFI: 0.839, CFI: 0.847, TLI: 0.829, PGFI: 0.699, PNFI: 0.694, RMSEA: 0.071, SRMR: 0.823 olarak bulunmuştur. Elde edilen uyum değerleri modelin uyumlu olduğunu göstermektedir.

## Tartışma ve Sonuç

Bu araştırmada tüketicilerin çevresel kaygılarının ormancılıkta sertifikasyon ve yeşil satın alma davranışı ile aralarındaki ilişki analiz edilmiştir. Araştırma Türkiye’de sertifikasyon süreci ile ilgili ilk çalışmaları başlatan Bölge Müdürlüklerimizden olan Muğla Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içindeki iki ilimizden birisi durumundaki Aydın’da gerçekleştirilmiştir. Mevcut yazın dikkate alınarak araştırmada aşağıdaki yol izlenmiştir.

- Araştırma hipotezleri ve buna bağlı olarak da yapısal eşitlik modeli oluşturulmuştur.
- Ölçeklerin güvenilirlik ve geçerlilik analizleri ile faktör yapılarını ortaya koymak için AFA analizi kullanılmıştır.
- AFA ile belirlenen faktör yapılarının doğrulanması DFA ile yapılmıştır.
- Ölçeklerin DFA ile faktör yapılarını doğrulamak ve kurulan yapısal modelin geçerliliğini ortaya koymak için uyum indeks değerlerinden yararlanılmıştır. Bu amaçla literatürde kabul görmüş  $\chi^2/df$ , CFI, GFI, TLI, PGFI, PNFI, RMSEA ve SRMR uyum indeks değerleri kullanılmıştır. Uyum indeks değerlerinin kabul edilebilir değer aralığında olduğu görülmüştür.
- Yapısal modelin kabul edilebilirliği ortaya çıktıktan sonra araştırma hipotezleri yorumlanmış ve hipotezlerimizin desteklendiği görülmüştür.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, ulaşılan sonuçlar ve ortaya koyulan öneriler ise aşağıda özetlenmiştir.

Yeşil ürün ve yeşil pazarlama kavramlarının hem üretici, hem satıcı hem de tüketiciler için gün geçtikçe daha önemli hale geldiği açıktır. Bu araştırmada pazarın tüketiciler kısmına odaklanılmıştır. Çevresel kaygı taşıyan tüketicilerin sayısı günden güne artmaktadır. Bu tüketiciler kaygılarını davranışlarına yansıtarak yeşil ürünlere karşı olumlu bir yaklaşım sergilemektedir. Araştırma bulguları da bu saptamayı istatistiksel olarak destekler niteliktedir. Nitekim çevresel kaygının sertifikasyon ve yeşil satın alma davranışını etkileme düzeyleri araştırmada sırasıyla 1.01 ve 0.79 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular çevresel kaygının her iki değişken üzerinde de güçlü bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Araştırma bulgularının benzerlik gösterdiği birçok eser bulunmaktadır. Nitekim, Sarıtaş (2018)’ göre yeşil satın alma davranışı ile algılanan tüketici etkinliği arasındaki ilişkide çevresel kaygı aracılık rolü üstlenmektedir. Alkaya & ark., (2016)’ya göre de çevresel duyarlılığın yeşil satın alma davranışı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Topaloğlu (2023) tarafından yapılan araştırmada yeşil satın alma niyeti ile yeşil satın alma davranışı arasındaki ilişkide sertifikasyonun kısmi aracı değişken rolü üstlendiği ortaya koyulmuştur. Roberts & Bacon (1997) araştırmalarında çevresel kaygısı yüksek olan bireylerin yeşil satın almaya daha fazla önem verdiklerini saptamışlardır. Manaktola & Jauhari (2007) araştırmalarında çevresel kaygıları olan tüketicilerin yeşil ürün satın almaya daha yatkın olduklarını ortaya koymuşlardır. Biner Uysal & Küçükkancaş Esen

(2017) araştırmalarında çevresel kaygı ve yeşil satın alma davranışı arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlarıdır. ağlıyan, Başer & Bozdam, (2018) tarafından yapılan araştırmada çevresel kaygı ile yeşil satın alma davranışı arasında pozitif bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Literatürde çevresel kaygının yeşil satın alma davranışını istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif olarak etkilediği bulgusunu ortaya koyan çalışmalar da bulunmaktadır (Paco & Raposo, 2009; Grant & Berry, 2011; Aman, Harun & Hussein, 2012). Mosavıchechaklou & Bozbay (2018) tarafından yapılan araştırmada çevre bilgisi ve çevreci imaj endişesinin yeşil satın alma davranışı üzerinde en fazla etkiye sahip değişkenler olduğu saptanmıştır. Bozpolat (2021) araştırmasında çevresel kaygının yeşil satın alma davranışını algılanan pazar etkisi aracılığıyla doğrudan ve dolaylı olarak etkilediğini tespit etmiştir.

Yukarıda sözü edildiği gibi yeşil ürün, yeşil pazarlama gibi konularda oldukça fazla araştırma olmasına rağmen yeşil kavramı ile sertifikasyon ilişkisinin irdelendiği araştırmalar yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla bu araştırma çevresel kaygı ve yeşil satın alma davranışı faktörlerinin sertifikasyon ile ilişkilendirilmesi bakımından oldukça önemlidir. Araştırma bulgularına göre sertifikasyonun çevresel kaygı ve yeşil satın alma davranışının oluşmasında önemli bir unsur olduğu söylenebilir. Bütün bunların ışığında üreticiler, satıcılar ve tüketiciler olmak üzere pazarın tüm bileşenlerinin yeşil pazarlama konusunda güdülenmesi gerekmektedir. Tüketicilerin satın alma davranışlarında sertifikalı ürünlere yönelmesi ile yeşil ürüne olan talep artacaktır. Bu bağlamda tüketiciler sertifikalı ürünler konusunda bilinçlendirilmeli ve teşvik edilmelidir.



## KAYNAKLAR

Akehurst, G., Afonso, C., & Gonçaves, H. M. (2012). Re-examining green purchase behaviour and the green consumer profile: new evidences. *Management Decision*, 50(5), 972-988. <https://doi.org/10.1108/00251741211227726>

Aksu, S. (2019). Yeşil ürün iletişimi kapsamında tüketicilerin yeşil ürünlere yönelik değerlendirmeleri. *Ata İlet Dergisi*, 17, 21-38.

Akyol, A., & Yıldız, M. (2018). *Ziraat, orman ve su ürünleri alanında yenilikçi yaklaşımlar*. Gece Akademi, 43-58

Alkaya, A., Çoban, S., Tehci, A. & Ersoy, Y. (2016). Çevresel duyarlılığın yeşil ürün satın alma davranışına etkisi: Ordu üniversitesi örneği. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 47, 121-134. <https://dergipark.org.tr/en/pub/erciyesiibd/issue/28009/297425>

Aman, A. H. L., Harun, A., & Hussein, Z. (2012). “The Influence Of Environmental Knowledge And Concern On Green Purchase Intention The Role Of Attitude As A Mediating Variable”, *British Journal of Art and Social Sciences*, 7 (2),145 – 167.

Aricıgil Çılan, Ç. (2019). Measuring digital divide by using confirmatory factor analysis and manova: a case of Turkey. *Alphanumeric Journal*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.457758>

Aslan, F. (2007). Yeşil Pazarlama Faaliyetleri Çerçevesinde Kafkas Üniversitesi Öğrencilerinin Çevreye Duyarlı Ürünleri Kullanma Eğilimlerini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma. (Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)

Aydın, A. (2010). Orman Ürünleri Sanayi Sektöründe Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarının Çalışan Performansı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Yapısal Bir Model. (Yayımlanmamış Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Ayyıldız, H. & Cengiz, E. (2006). Pazarlama modellerinin testinde kullanılabilir yapısal eşitlik modeli (YEM) üzerine kavramsal bir inceleme. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1), 63-84. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sduiibfd/issue/20838/223311>

Bayram, A. (2019). Tükenmişlik ve iş doyumunu arasındaki ilişkinin incelenmesi: bankacılık sektörü örneği, *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(10), 1-16.

Biçer, D. F. (2020). Hastaların müşteri ilişkileri yönetimi uygulamalarına ilişkin algı düzeylerinin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(3), 829-851. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.682899>

Biner Uysal, N. & Küçükkancabaş Esen, S. (2017). Yeşil satın alma davranışlarının incelenmesi: çevresel kaygının, algılanan tüketici etkinliğinin ve demografik özelliklerin etkileri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 205-229. <http://dx.doi.org/10.16953/deusbed.71831>

Browne, M. W. (1984). Asymptotically distribution-free methods for the analysis of covariance structures. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 37, 62–83. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1984.tb00789.x>

Büyüköztürk, Ş. (2002). *Faktör analizi: Temel kavramlar ve ölçek geliştirmede kullanımı. Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 32(32), 470-483.

- Büyüköztürk, Ş., Çakmak, E. K., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. & Demirel, F. (2012). *Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Geliştirilmiş 13. Baskı*. Pegem Akademi Yayıncılık
- Boztepe, A. (2011). Green Marketing and its Impact on Consumer Buying Behavior. (Yüksek Lisans Tezi, Fatih Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)
- Cattell, R. B. (1978). *The scientific use of factor analysis in behavioral and life sciences*. New York: Plenum.
- Chaudhary, R. (2018). Green buying behavior in India: an empirical analysis. *Journal of Global Responsibility*, 9(2), 179-192. <https://doi.org/10.1108/JGR-12-2017-0058>
- Chen, T. B., & Chai, L. T. (2010). Attitude towards the environment and green products: Consumers' perspective. *Management Science and Engineering*, 4(2), 27-39.
- Çağlıyan, V., Başer, H.H. & Bozdam, Ş. (2018). Çevreci anlayışın yeşil satın alma davranışı üzerine etkisi: üniversite öğrencileri üzerine bir değerlendirme. 3. *Uluslararası Sosyal, Beşeri ve Eğitim Bilimleri Kongresi*. İstanbul, 517-527
- Çakır, P. & Sesli, F.A. (2013). Arsa vasıflı taşınmazların değerine etki eden faktörlerin ve bu faktörlerin önem sıralarının belirlenmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(13), 1-16.
- Çakır, M., Çakır, F., & Usta, G. (2010). Üniversite öğrencilerinin tüketim tercihlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 2(2), 87-94.
- Çelik, H. E., Saraçlı, S. & Yılmaz, V. (2011). Yapısal eşitlik modellemesinde çok değişkenli normallik varsayımı altında bir uygulama. *E-Journal of New Worlds Academi*, 6(4), 112-123
- Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. & Büyüköztürk, Ş. (2012). *Sosyal Bilimler İçin Çok Değişkenli İstatistik: SPSS ve Lisrel Uygulamaları*. Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık
- Dağlı, A. (2015). Örgütsel muhalefet ölçeğinin türkçe'ye uyarlanması: geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(53), 198-218
- Dehon, C., Weems, C. F., Stickle, T. R., Costa, N. M. & Berman, L. B. (2005). A cross-sectional evaluation of the factorial invariance of anxiety sensitivity in adolescents and young adults. *Behaviour Research and Therapy*, 43(6), 799-810. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2004.06.008>
- Do Paço, A., Alves, H., Shiel, C. & Leal Filho, W. (2014). An analysis of the measurement of the construct "buying behaviour" in green marketing. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 11(1), 55-69. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2014.894082>
- Erciş, A., Kurnuç, M., & Türk, B. (2016). Kolektivist kültür, yeşil tutum ve davranışın yeşil ürünlere daha fazla ödeme isteği üzerindeki etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Afro-Avrasya Özel Sayısı-Aralık, 160-178.
- Field, A. (2000). *Discovering Statistics Using SPSS for Windows*. Sage Publications. New Delhi.
- Geng, W. F. (2014). *The application of structural equation modeling in the applied linguistics research*. In *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications Ltd. 687, 1532-1535.
- George, D. & Mallery, P. (2010). *SPSS for Windows Step by Step: a Simple Guide and Reference*. Boston: Pearson

Grant, A.M., & Berry J. W. (2011). "The Necessity Of Others Is The Mother Of Invention: Intrinsic And Prosocial Motivations, Perspective Taking and Creativity", *Academy of Management Journal*, 54 (1),73–96.

Gorsuch, R. L. (1983). *Factor Analysis*. Philadelphia: Saunders

Gültekin, Y. S. (2016). Türkiye’de dikili ağaç satışı konusunda yapılan çalışmaların değerlendirilmesi ve yapısal eşitlik modellemesi (YEM) ile ilgi gruplarının modellenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 56(15), 153-168. <https://doi.org/10.17755/esosder.55789>

Hooper, D., Coughlan, J. & Mullen, M. (2008). Structural equation modelling: guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1), 53-60.

Hu, L. T. & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1-55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>

In’namı, Y. & Koizumi, R. (2013). Structural equation modeling in educational research: A primer. M.S. Khine (Ed.), *In Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice*. (p.23-51)

Indriani, I. A. D., Rahayu, M. & Hadiwidjojo, D. (2019). The influence of environmental knowledge on green purchase intention the role of attitude as mediating variable. *International Journey of Multicultural and Multireligious Understanding*, 6(2), 627-635. <https://doi.org/10.18415/ijmmu.v6i2.706>

Ishaswini, N. & Kumar Datta, S. (2011). Pro-environmental concern influencing green buying: a study on indian consumers. *International Journal of Business and Management*, 6(6), 124-133. <https://doi.org/10.5539/ijbm.v6n6p124>

Jain, S. K., & Kaur, G. (2004). Green marketing: an attitudinal and behavioural analysis of indian consumer. *Global Busines Rewiey*, 5(2), 187-205. <https://doi.org/10.1177/097215090400500203>

Jöreskog, K. G. (1973). A general method for estimating a linear structural equation system. AS Oldberger and OD Duncan (Eds.), *In Structural Equation Models in the Social Sciences*. (p.85-112)

Jöreskog, K. G., Sörbom, D. (1998). *LISREL 8.20 for Windows [Computer Software]*. Chicago: IL: Scientific Software International, Inc.

Laroche, M., Bergeron, J., & Barbaro, F. G. (2001). Targeting consumers who are willing to pay more for environmentally friendly products. *Journal of Consumer Marketing*, 18(6), 503-520. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000006155>

Leonidou, L. C., Leonidou, C. N.& Kvasova, O. (2010). Antecedents and outcomes of consumer environmentally friendly attitudes and behaviour. *Journal of Marketing Management*, 26(13-14), 1319-1344.

Lu Li, C. (2008). Modeling forest recreation visitors: a multi-cultural marketing perspective. *In Conference on Sustainable Forest Management and Carbon Sequestration*. 173-199

Kalaycı, Ş. (2010). *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri 5*. Baskı. Ankara: Asil Yayın Dağıtım

Kanbak, A. (2015). Üniversite öğrencilerinin çevresel tutum ve davranışları: Farklı değişkenler açısından Kocaeli üniversitesi örneği. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 30, 77-90.

Karaca, S., & Sönmez Karapınar, E. (2021). Bireysel çevre okuryazarlığı ve yeşil ürün tutumunun yeşil satın alma niyeti üzerindeki etkisinin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi. *Erciyes Akademi*, 35(1), 299-322. <https://doi.org/10.48070/erusosbilder.873933>

Karadeniz, H. (2020). Yeşil Pazarlamanın Tüketici Satın Alma Davranışlarına Etkisi: Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Öğrencileri Üzerine Bir Araştırma. (Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi Sosyal Bilimler Üniversitesi)

Karagöz, Y. (2019). *SPSS VE AMOS Uygulamaları Bilimsel Araştırma Yöntemleri ve Yayın Etiği*, 2. Baskı. Ankara: Nobel Yayıncılık.

Kaya, M. F. (2013). Sürdürülebilir kalkınmaya yönelik tutum ölçeği geliştirme çalışması. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 28, 175-193.

Keesling, J. W. (1972). *Maximum Likelihood Approaches to Causal Flow Analysis*. (Ph.D. Dissertation, University of Chicago, USA)

Keleş, C. (2007). Yeşil Pazarlama Tüketicilerin Yeşil Ürünleri Tüketme Davranışları ve Yeşil Ürünlerin Tüketiminde Kültürün Etkisi ile İlgili Bir Uygulama. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Khine, M. S. (2013). *Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice*. Sense Publishers.

Kline, R. B. (2011). *Principles and Practices of Structural Equation Modeling*. New York: The Guilford Press

Kline, R. B. (2016). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling (4th ed.)*. New York: Guilford Publications.

Kırılıoğlu, M., & Tekin, H. H. (2019). Sosyal adalet savunuculuğu (sasö) ölçeğinin doğrulayıcı faktör analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(3), 859-874. <https://doi.org/10.16953/deusosbil.502282>

Koçak, S., Tolunay, A., & Türkoğlu, T. (2017). Türkiye’de orman sertifikasyonu uygulamalarının orman kaynakları yönetimine etkileri. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 18(1), 49-56. <https://doi.org/10.18182/tjf.307447>

Komut, O. (2016). Türkiye’de Ormancılık ve Orman Ürünleri Endüstrisinde Sertifikasyon: Sektörel Durum ve Farkındalık Çözümlemesi. (Yayımlanmamış Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Kuduz, N. (2011). Yeşil Pazarlama Faaliyetlerinin Tüketicilerin Satın Alma Faaliyetlerine Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma. (Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)

Kurt, S. (2019). Yapısal Eşitlik Modeli ve Dürtüsel Satın Alma Davranışı Üzerine Bir Uygulama. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Manaktola, K. & Jauhari, V. (2007). Exploring consumer attitude and behaviour towards green practices in the lodging industry in India. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 19(5), 364-377.

Martens, M. P. (2005). The use of structural equation modeling in counseling psychology research. *The counseling psychologist*, 33(3), 269-298.

Meydan, C. H. & Şeşen, H. (2015). *Yapısal Eşitlik Modellemesi Amos Uygulamaları*. Detay Yayıncılık.

Mosavichechaklou, S. & Bozbay, Z. (2018). Türk ve İran'lı tüketicilerin yeşil satın alma davranış öncüllerinin belirlenmesi. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10(4), 25-45. DOI: 10.20491/isarder.2018.511

Nakıboğlu, M. A. B. (2003). Çevreci Pazarlama Anlayışı ve Tüketicilerin Çevre Tutumlarının Tüketici Davranışları Üzerindeki Etkisi İle İlgili Bir Uygulama. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)

Nunnally, J. C. & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric Theory*. McGraw Hill, New York

Öcel, Y., & Uzundal, E. (2019). Yeşil Ürün Farkındalığının Satın Alma Niyeti Üzerine Etkisi. *Business and Organization Research International Conference*. September 4-6, İzmir, 869-882

Paco, A. D. & Raposo, M. (2009). "Green Segmentation: An Application To The Portuguese Consumer Market", *Marketing Intelligence ve Planning*, 27(3),364-379

Parkins, J. R., Stedman, R. C. & Beckley, T. M. (2003). Forest sector dependence and community well-being: a structural equation model for new brunswick and british columbia. *Rural Sociology*, 68(4), 554-572. <https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.2003.tb00151.x>

Raykov, T. & Marcoulides, G. A. (2006). *A First Course in Structural Modeling. (İkinci Baskı)*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates

Roberts, J. A. & Bacon, D. R. (1997). Exploring the subtle relationships between environmental concern and ecologically conscious consumer behavior. *Journal of Business Research*, 40(1), 79-89. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(96\)00280-9](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(96)00280-9)

Sarumathi, S. (2014). Green purchase behavior—a conceptual framework of socially conscious consumer behavior. *Global Journal of Finance and Management*, 6(8), 777-782

Sarıtaş, A. (2018). Yeşil satın alma davranışının algılanan tüketici etkinliğine etkisinde çevresel kaygının aracılık rolü, *Sosyal Araştırmalar ve Davranış Bilimleri Dergisi*, 4(5), 47-71.

Schermelleh, E. K. & Moosbrugger, H. (2003). Evaluating the fit of structural equation models: tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures, *Methods of Psychological Research Online*, 8(2), 23-74.

Shevlin, M., Bailey, F. & Adamson, G. (2002). Examining the factor structure and sources of differential functioning of the Eysenck Personality Questionnaire Revised—Abbreviated. *Personality and Individual Differences*, 32(3), 479-487. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(01\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(01)00049-6)

Simon, D., Kriston, L., Loh, A., Spies, C., Scheibler, F., Wills, C. & Härter, M. (2010). Confirmatory factor analysis and recommendations for improvement of the Autonomy-Preference-Index (API). *Health Expectations*, 13(3), 234-243. <https://doi.org/10.1111/j.1369-7625.2009.00584.x>.

Sipahi, B., Yurtkoru, S. & Çinko, M. (2006). *Sosyal Bilimlerde SPSS'le Veri Analizi*. İstanbul: Beta Basım Yayım.

Stapleton, C.D. (1997). *Basic concepts and procedures of confirmatory factor analysis*. Austin: Paper Presented at the Annual Meeting of the South west Educational Research Association

Şafak, İ. (2012). Development of performance evaluation scale for forest engineers using confirmatory factor analysis method. *African Journal of Agricultural Research*, 7(7), 1198-1205. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1765>

Şahin, C. (2011). Sosyal ve Entelektüel Sermayenin İlköğretim ile Ortaöğreti Okullarında Kullanılma Düzeylerinin Okul Yöneticilerinin Görüşleri Doğrultusunda İncelenmesi. (Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü)

Şahin, A., Meral, H., & Aytıp, Y. (2016). Yeşil pazarlamada tüketici algısı: Kahramanmaraş kent merkezi örneği. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(1), 60-71.

Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2007). *Experimental Designs Using ANOVA*. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole.

Tang, J., Alelyani, S., & Liu, H. (2014). *Feature Selection for Classification: A Review. Data classification: Algorithms and applications*.

Topaloğlu, G. (2023). Yeşil satın alma davranışlarını etkileyen faktörlerin yapısal eşitlik modeli ile belirlenmesi. (Yayımlanmamış Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Türkoğlu, T. (2011). Türkiye'deki Orman Endüstrisi İşletmelerine Sürdürülebilir Orman Yönetimi Çerçevesinde Odun Hammaddesi Tedariki ve Orman Ürünlerinin Sertifikasyonu. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Uca, N. (2016). Ülkelerin yolsuzluk algısının, lojistik performansının, dış ticaret hacminin ve küresel rekabet ilişkisinin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi: kavramsal model önerisi. (Yayımlanmamış Doktora Tezi, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)

Uyar, A. (2019). Yeşil satın alma davranışı belirleyen unsurların yapısal eşitlik modeli ile belirlenmesi. *Ekev Akademi Dergisi*, 23(77), 24-26.

Vazifehdoust, H., Taleghani, M., Esmaeilpour, F., & Nazari, K. (2013). Purchasing green to become greener: Factors influence consumers' green purchasing behavior. *Management Science Letters*, 3(9), 2489-2500. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2013.08.013>

Wiley, D. E. (1973). *The identification problem for structural equation models with unmeasured variables*. In *Structural Equation Models in the Social Sciences*. 69-83

Wright, S. (1918). On the nature of size factors. *Genetics*, 3, 367- 374.

Yadav, R. & Pathak, G. S. (2017). Determinants of consumers' green purchase behavior in a developing nation: applying and extending the theory of planned behavior. *Ecological Economics*, 134, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.12.019>

Yemenici, N. K. (2018). *Örneklem Dağılımı ve Merkezi Limit Teoremi*. [http://www.buders.com/UNIVERSITE/Universite\\_Dersleri/olasilik/orneklem\\_dagilimleri\\_ve\\_merkezi\\_limit\\_teoremi.pdf](http://www.buders.com/UNIVERSITE/Universite_Dersleri/olasilik/orneklem_dagilimleri_ve_merkezi_limit_teoremi.pdf). (Son erişim tarihi: 13 Aralık 2022)

Yılmaz, S. (2009). Yeşil Pazarlama Kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi Öğrencilerinin Çevreye Duyarlı Ürünleri Kullanma Eğilimlerinin İncelenmesine Yönelik Bir Araştırma. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü)

Yılmaz, V. & Çelik, H. E. (2005). Bankacılık Sektöründe Müşteri Memnuniyeti ve Bankaya Bağlılık Arasındaki İlişkinin Yapısal Eşitlik Modelleriyle Araştırılması. *VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*. 26-27 Mayıs 2005, İstanbul, 1-9

Yılmaz, V. & Çelik, H. E. (2009). *LISREL ile Yapısal Eşitlik Modellemesi-I: temel Kavramlar, Uygulamalar, Proglamlama*. Ankara: Pegem Akademi.

# Oduna Dayalı Orman Ürünleri Ticaretinde Yeni Bir Deneyim; Elektronik Satışlar (Müşteri Bakış Açısı İle Bir Değerlendirme)

Hasan ALKAN<sup>1</sup>  
İsmail ARAÇ<sup>2</sup>

## Giriş

Kuruluşundan bu yana odun kökenliler başta olmak üzere orman ürünleri üretimi yapan ve toplumun orman ürünlerine yönelik ihtiyaçlarını karşılamakta olan Orman Genel Müdürlüğü (OGM) bir kamu girişimi konumundadır. OGM'nin toplumsal fayda üretme amacının yanında sürdürülebilirlik, verimlilik, iktisadilik, karlılık gibi işletme ekonomisi bakımından öne çıkan amaçları da bulunmaktadır. Bu nedenle tedarik, satın alma, yönetim, ar-ge, finansman, halkla ilişkiler, muhasebe ve pazarlama gibi işletme fonksiyonları önemli hale gelmektedir. Bununla birlikte orman ürünleri bakımından ülkemizde uzunca bir süre monopol bir piyasa yapısının hüküm sürmesi ve kamu yararı gözetme amacının “abartılması” gibi nedenlerle çoğunlukla karlılık amacı ihmal edilmiş; buna bağlı olarak da orman işletmelerinde pazarlama fonksiyonunu yeterince geliştirememiştir. Nitekim, OGM'nin pazarlama anlayışı uzunca bir süre müşteri isteklerinin ve memnuniyetinin pek de önemsenmediği “ne üretirsem satılır” mottosuna sahip üretim anlayışı ile ifade edilmiştir (İlter & Ok, 2004 ; Alkan, 2001 ; Alkan, 2007 ; Alkan & ark., 2010a ; Alkan, Korkmaz & Eker , 2010 b; Alkan, Korkmaz & Eker , 2014; Alkan, Eker & Korkmaz , 2017 ; Daşdemir, 2003; Daşdemir, 2014; Korkmaz & ark., 2010; Türker, 2000; Türker, 2008). Bu dönemde orman işletmelerinin tamamen üretim odaklı hareket ettiği ve pazarlama fonksiyonlarını geliştiremediği net bir şekilde söylenebilir. 1990'lı yıllarda ise küreselleşme çabaları ve serbest piyasa politikalarının yansımaları orman işletmeciliğinde de kendini hissettirmiş; monopol bir piyasa yapısından eksik rekabet koşullarının hüküm sürdüğü bir piyasaya geçiş olmuştur. Bu dönemde ithalatın yolu da açılmıştır. Zaman içinde müşteri istek ve görüşlerinin daha fazla önemsenir hale gelmesiyle birlikte modern pazarlama anlayışının izleri orman ürünleri pazarında da görülmeye başlanmıştır. Şöyle ki fiyat, standardizasyon, tazelik, zamanlama, vb. gibi tüketici taleplerini dikkate alan üretim yöntemleri orman işletmelerince önemsenmeye ve işe koşullmaya başlamıştır. 2008 yılında OGM tarafından orman bölge müdürlüklerine gönderilen emirle orman emvali satış ihalelerine katılan müşterilerinin profillerinin ve talep yapılarının belirlenmesini istemiştir. 2010 yılında Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Aladağ Orman İşletme Müdürlüğü Aladağ Orman İşletme Şefliğinde ilk örnek uygulamalarını gördüğümüz sertifikasyon süreci zamanla gelişerek devam etmiştir. 2020 yılı itibarıyla 10 Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı 77 orman işletme müdürlüğü ve 1 orman işletme şefliği sertifikasyon sürecini tamamlamış durumdadır (Komut, 2020; FSC, 2020). Böylelikle sosyal pazarlama anlayışına geçiş bakımından da önemli bir adım atılmıştır (Alkan & Araç 2022).

Orman işletmelerinin pazarlama anlayışında oluşan değişikliklerin nedenlerinden birisi de makro çevresel faktörlerde meydana gelen değişikliklerdir. Örneğin, Ukrayna-Rusya savaşı

<sup>1</sup> Prof..Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, 32260

<sup>2</sup> Orman Yüksek Mühendisi İşletme Müdür Yardımcısı, Tavas Orman İşletme Müdürlüğü



ile birlikte tedarik zinciri bakımından yaşanan sorunlar iyice belirginleşmiş ve orman ürünlerinin ithalat-ihracatı bakımından sorunlar yaşanmaya başlamıştır. Bütün bunların etkisiyle birlikte OGM 2000’li yıllarda 10 milyon m<sup>3</sup> olan üretimini 2021 yılında 35 milyon m<sup>3</sup>’ün üzerine çıkartmıştır. Sadece son 5 yılda meydana gelen artış %61 civarındadır. Hâlihazırda iç piyasa talebinin yaklaşık % 85’i OGM tarafından yapılan üretimlerle karşılanmaktadır (OGM, 2020a; OGM, 2021a). Bununla birlikte, covid-19 pandemi süreci ile birlikte başlayan sokağa çıkma yasakları hem üretim hem de pazarlama bakımından zorunlu bazı değişiklikleri beraberinde getirmiştir. 2019 yılında gündeme alınan ama pandemiye kadar hiç uygulaması yapılmayan e-satışlar sokağa çıkma yasakları yüzünden salon satışlarının yapılamaması nedeniyle kullanılmaya başlamış ve zamanla da yaygınlaşarak kalıcı hale gelmiştir. Aslında e-satışların kökeni elektronik devlet kavramının ortaya çıkmasıyla da yakından ilgilidir. Zira bu sayede kamu hizmetlerinin elektronik ortama aktarılmasının önü açılmıştır (Çelikkol, 2008). 2001 yılındaki ekonomik kriz sonrası kurulan Kamu İhale Kurumu (KİK) 2011 yılından itibaren kamu alımlarında elektronik ihale yöntemini de kullanmaya başlamıştır (Resmi Gazete, 2021). İlk olarak kamu alımları için gündeme gelen elektronik ihaleler zamanla uygun ortam ve mevzuatın oluşmasıyla birlikte oduna dayalı orman ürünlerinin satışında da gündeme gelmiştir. 2019 yılında yönetmeliğin yayınlanması ile birlikte elektronik ihalelerin yani elektronik satışın ilk denemeleri Eskişehir ve Isparta Orman Bölge Müdürlüklerinde yapılmıştır (OGM, 2019a). Yöntemin gerçek manada ve yaygın bir şekilde uygulanışı ise Covid-19 pandemi önlemlerinin başladığı 2020 yılı Mart ayına rastlamaktadır. Yöntemin yeni uygulanmaya başlamasının da etkisiyle konuya ilişkin yeterli akademik araştırmalar henüz yapılmamıştır. Bu araştırmada genel itibariyle müşterilerin deneyimi ve bakış açısıyla elektronik satışlar ele alınmış bir taraftan literatürde var olan boşluğun giderilmesi bir taraftan da henüz yeni uygulanmaya başlayan yöntemle ilişkin görülen uygulama eksiklik ve hatalarının giderilmesine yönelik önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

### **E-satışlara geçiş süreci ve yöntemin işleyişine yönelik bilgiler**

Arapça kökenli bir sözcük olan ihale “bir işi birinin üzerinde bırakmak, arttırma veya eksiltme işinde istekliye bırakmak” şeklinde tanımlanmaktadır (Özön, 1971). İhale kamuda hem alım ve hem de satım işlerinde kullanılabilir. Mal alımı, hizmet alımı ve yapım alımlarında kullanılan ihalelerde hedef en düşük fiyatın oluşması iken; satış işlemlerde ise en yüksek fiyatın oluşmasıdır. 6831 sayılı Orman Kanunu’nun 30. maddesi ve Devlet Orman İşletmeleri Döner Sermaye Yönetmeliği’ne göre orman ürünlerinin satışında açık arttırma kullanılması esastır. Açık arttırmalı satışların yapılabilmesi için satıcı ve alıcının uygun ortamlarda bir araya gelmesi gerekmektedir. 2019 yılından önce alım ve satıma konu tüm ihaleler orman işletmelerince belirlenen salonlarda alıcı ve satıcının yüz yüze olduğu ortamlarda yapılmaktaydı. KİK’in teşekkülünün ardından 2011 yılında çıkarılan 27857 sayılı Elektronik İhale Uygulama Yönetmeliği ile kamu alımlarında elektronik ihalelerin uygulanmasının yolu açılmıştır (Resmi Gazete, 2021). 20.03.2015 tarih ve 29301 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Orman Ürünlerinin Satış Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik (Mülga) ile birlikte de orman ürünlerinin satışında elektronik ortamların kullanılmasının yolu açılmıştır. Zira, yönetmeliğin 5. maddesinin 5 inci fıkrasında yer alan “İhtiyaç ve fayda görülen hallerde orman ürünlerinin satışı elektronik ortamda da yapılabilir. Bu satışlarda uygulanacak usul ve esaslar Genel Müdürlükçe belirlenir.” denmektedir. 2022 yılında yürürlüğe giren 312 sayılı tebliğin 5.maddesinin 5. bendinde de aynı ifade yer almaktadır (OGM, 2022). Ayrıca Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Satış Usul ve Esasları Hakkındaki 303 sayılı Tebliğ’in 2.2. Satış Esasları maddesinin (h) bendinde yer alan “İhtiyaç duyulması halinde elektronik alt yapının oluşturulmasını müteakiben, orman ürünlerinin satışı elektronik ortamda yapılabilir” ifadesi de yine elektronik satışların önünü açmaktadır. OGM İşletme Pazarlama Dairesi tarafından 2019

yılında çıkarılan 7307 sayılı Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Elektronik Satış Usul ve Esasları Tamimi ile birlikte oduna dayalı orman ürünlerinin satışında e-satış kullanılmasının önünde herhangi engel kalmamıştır (OGM, 2016; OGM, 2019b). Bununla birlikte, satıcı rolündeki kurum çalışanlarının yönetime temkinli yaklaşımı nedeniyle 2019 yılında yapılan toplam 3299 satışın sadece 27'si (%0.8) e-satışla yapılabilmektedir. E-satışların ilk uygulama denemesi ise Eskişehir Orman İşletme Müdürlüğü'nce 20.08.2019 tarihinde bir dikili satış ihalesinde gerçekleştirilmiştir. 2 partiden oluşan ihalede 1921 m<sup>3</sup> ürün satışa çıkarılmışsa da ürünler için alıcı çıkmamıştır. İlk depodan satış örneği ise Ankara Orman Bölge Müdürlüğü Çamlıdere Orman İşletme Müdürlüğü tarafından 19.11.2019 tarihinde yapılan ihaledir. Bu ihalede 121 parti (3940.137 m<sup>3</sup> orman ürünü) satılabilmektedir. Diğer orman bölge müdürlüklerinde ise 2019 yılında e-satış uygulaması yapılmamıştır (OGM, 2019a). Covid-19 pandemisinin de etkisiyle 2020 yılında ilan edilen 4545 satışın yaklaşık %91.96'sı (4139 adet) e-satış yöntemiyle gerçekleştirilmiştir (OGM, 2020b). Benzer şekilde 2021 yılındaki toplam 5137 satışın 5078'i (%98.85) e-satış yöntemi ile yapılmıştır. E-satış yapılmayan 59 satış müsadereli ihalelerden oluşmaktadır. Müsadereli ihale orman alanlarından kaçak kesim ve benzeri suçlarla yakalanan ürünlerin (orman ürünlerinin götürülmesi kesilmesi gibi işlerinde kullanılan alet ve araçlar) satışlarıdır. Müsadereli satışların elektronik yöntemle satılmamasının nedeni alıcıların oduna dayalı orman ürünü alıcısı olmayabileceği ve sisteme kaydının olmama ihtimalinin bulunmasıdır (OGM, 2021b). Günümüzde de müsadereli satışlar hariç satışların tamamı e-satış şeklinde yapılmaktadır.

Oduna dayalı orman ürünlerinin ticaretinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan e-satışların salon satışlarından bazı uygulama farklılıkları bulunmaktadır (Alkan & Araç, 2022):

- **Kayıt işlemleri:** Salon satışında satış partisine katılmak için ticari kayıt zorunlu değildir. E-satışa girmek isteyen müşteriler [esatis.ogm.gov.tr](http://esatis.ogm.gov.tr) adresi üzerinden sisteme üye kayıtlarını yaptırmak zorundadır. Kaydını yaptıran müşteriler üyelik taahhünamelerini noterce onaylatarak gerekli diğer evraklarla birlikte herhangi bir orman işletme müdürlüğüne teslim etmekte ve uygun bulunan başvuruların kayıt işlemi tamamlanmış olmaktadır.

- **Satış İlanları:** Satılması düşünülen orman ürünlerinin ebat listesi hazırlandıktan sonra satılacak ürünler 4 köşesinden fotoğraflanmakta ve satıştan en az 10 gün öncesinde (satış günü hariç) [esatis.ogm.gov.tr](http://esatis.ogm.gov.tr) internet sisteminde ilan edilmektedir.

- **Teminat yatırma işlemleri:** Salon satışında teminat nakit veya banka ödemesi şeklinde işletme hesabına yatırabilmektedir. Satış günü hatta satış sonrasında bile teminat yatırma imkânı bulunmaktadır. Elektronik satışlarda ise sadece satış saatine kadar teminat yatırma işlemi yapılabilmektedir. Satış başladıktan sonra teminat yatırmak ve ihaleye katılabilmek mümkün değildir. Ayrıca teminat sistem üzerinden yatırıldığından elden (nakit) ödeme yapılması mümkün değildir. Aynı partiye aynı firmanın veya aynı vekâlet sahiplerinin teminat yatırmasına izin verilemez. Teminat yatırılması için ilk satış saati olarak genelde 10:00 belirlenmektedir. Satışların mesai saatleri içerisinde bitirilebilmesi için gün içindeki son satışlar ise saat 14:00'da başlatılmaktadır. Bu yüzden günde ortalama 20-25 satış yapılabilmektedir. Resmi tatiller çıkarıldıktan sonra yaklaşık 200 gün satış yapılabilmektedir.

- **İhale-satış işlemi:** Salon satışlarında satış partilerine pey sürülmesinde herhangi bir sınırlandırma yoktur. Partiye el kaldıran müşteri sayısı bire ininceye kadar sayma devam etmektedir. Elektronik satış sistemine girişte satış başladıktan sonraki ilk 30 dakikada pey sürme muhammen bedelden artırma yapmak suretiyle sistem üzerinden yapılmaktadır. Satışa pey sürüldükten sonra teklifler geri çekilemez. İlk 30 (satıştaki miktar göre süre artabilmektedir) dakikanın sonunda partinin sırası geldiğinde 1 dakika ile sınırlandırılan devamlı pey sürme süreci başlamaktadır. Bir dakikanın tamamlanması ile son teklif veren kişi üzerinde satış partisi kalır. 2022 yılında yapılan değişiklikte Satış partilerin her biri 1 dakika ile

sınırlanan ilk teklif verme süresi 30 saniyeye inmiş ve son teklif verildikten sonra 10 saniye bekleme süresi verilmiştir. 10 saniye içerisinde tekrar teklif artırılması sonrasında yeniden 10 saniye süre verilmekte olup, bu süreç teklif yenilenmediği zamana kadar devam etmektedir. Son teklif verildikten sonra 10 saniye boyunca yeni teklif yapılmamışsa parti son teklif verene kalmaktadır. Bu usul önceki teklif verme şekline göre satışın daha uzun sürmesine sebebiyet vermekte olup, bu nedenle OGM aynı anda 300 partiden daha fazla satışa çıkmamaktadır. Bunu sağlamak için her biri en fazla 100 partiden oluşmak üzere aynı anda 3 satışın yapılmasına izin verilmektedir. Elektronik ortamda yapılan satışta aynı tutarda teklif verilmesi durumunda sırasıyla; gün, saat, dakika, saniye ve salise bilgilerine göre parti ilk teklif veren müşteriye satılmaktadır. Satış sırasında partiye müşteri çıkmaz ise ürün pazarlığa bırakılmaktadır.

• **Satış sonu:** Partilerle ilgili teklif verme süreci tamamlandıktan sonra satış komisyonunca tekliflerin değerlendirilmesi aşamasına geçilmektedir. Teklifi uygun görülen partiler geçici komisyon kararı ile birlikte onaylanmak üzere Orman Bilgi Sistemi (ORBİS) Sistemi üzerinden bölge müdürlüğüne gönderilmektedir. Bölge müdürlüğünün kesin onay üzerine satış gerçekleşmiş olur (OGM, 2019b).

## Materyal ve Yöntem

Araştırmada izlenen yol şu şekildedir:

- Mevcut yazın ve dokümanların incelenmesi ve kavramsal çerçevenin oluşturulması,
- Gözlemler ve alıcı ve satıcılarla gerçekleştirilen yapısal olmayan mülakatlar,
- Anket formunun geliştirilmesi, uygulanması, istatistiksel olarak analizi ve
- Elde edilen bulguların tartışılması ve yazımı şeklindedir.

Araştırma birincil ve ikincil verilerden oluşmaktadır. Araştırmanın birincil verileri anket, mülakat ve gözlem çalışmalarından elde edilmiştir. İkincil veriler ise başta OGM olmak üzere ilgili kamu kurum ve kuruluşlardan elde edilen dokümanlar ve daha önce yapılmış olan araştırma bulgularından meydana gelmektedir. E-satışlarla ilgili doküman incelemeleri ORBİS sistemi üzerindeki 2019, 2020 ve 2021 yıllı verilerinin incelenmesi suretiyle yapılmıştır. Anket çalışması Türkiye'nin e-satış sistemine dâhil oduna dayalı orman ürünleri ürünü alıp işleyen firmalar ile yürütülmüştür<sup>3</sup>. Anketin evreni ülkenin tümüne yayılan ve ORBİS sistemine kayıt yaptırmış 2447 firmadan oluşmaktadır<sup>4</sup>. Örnek büyüklüğünün belirlenebilmesi için Karasar (Karasar, 2005) tarafından üretilen aşağıdaki formül:1 kullanılmıştır.

$$n = \frac{Z^2 N p q}{ND^2 + Z^2 p q}$$

Burada;

- (1)
- n : Örnek büyüklüğünü,  
Z : Güven katsayısını (%95'lik güven düzeyi için Z=1,96),  
N : Ana kütle büyüklüğünü,  
p ve q : Ölçülmek istenilen büyüklüğün, ana kütlede bulunma olasılığını (0.5),  
D : Kabul edilen örnekleme hatasını (%10) göstermektedir.

<sup>3</sup> Anket formlarının uygulanması için Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulunun 05.10.2021 tarih ve 67/04 no'lu kararı gereğince etik kurulu izni alınmıştır.

<sup>4</sup> Sayı ve iletişim bilgileri ORBİS sisteminden alınmıştır.

Formüle göre yapılması gereken en az anket sayısı 92 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte güvenilirliğinin artırılması amacıyla anket sayısı artırılmış toplamda 120 kişiyle anket yapılmıştır. Bu sayede örnekleme hatası % 10'dan daha da aşağıya indirilmiştir. Anketler internet üzerinden katılımcılarla paylaşılan link<sup>5</sup> üzerinden yürütülmüştür. Anket formunda firmaların profil özellikleri, e-satışlar ve pazarlama karmasının elemanlarına yönelik sorulara yer verilmiştir. Sorular açık uçlu, çoktan seçmeli ve derecelmeli olarak hazırlanmıştır. Ölçek olarak ise 5'li likert kullanılmıştır. Ölçek güvenilirliğini test etmek için Cronbach's Alpha katsayısından yararlanılmıştır. Cronbach's alfa katsayısı sürekli, aralıklı ya da ardışık 4 ya da 5 seçeneği cevaplar içeren k sayıdaki soruyu içeren bir ölçeğin, herhangi bir yargıyı sorgulama gücünü, yeterliliğini, güvenilirliğini, genel tutarlılığını ve soru türdeşliğini ölçmeye yarayan bir katsayıdır. Cronbach's alfa katsayısı  $0.80 \leq \alpha < 1.00$  aralığında olmalıdır (Özdamar, 2013). Anket formu için Cronbach's Alpha katsayısı 0.961 olarak bulunmuştur. Anket formlarıyla elde edilen veriler SPSS 28.0 (Statistical Package for Social Science) istatistik paket programı ve MS Excel yazılımı yardımıyla değerlendirilmiştir. Anket formlarının değerlendirilmesinde temel istatistik testlerden yararlanılmıştır.

### **Katılımcı firmaların genel profil özellikleri ve ürün tercihleri**

Profil, bir birey ya da işletmeyi içsel ve dışsal etkenleri göz önüne alarak irdeleme ve ayırt edici özelliklerini tanımlayarak ortaya koyma işlemidir (Keskin, Koraltan & Öztürk, 2010; Alkan, 2013). Araştırmada katılımcı firmaların profillerini belirlemeye yönelik olarak faaliyet gösterdiği il, faaliyet alanı, kapasite, ürün tercihleri, vb. hususlara yer verilmiştir.

Araştırmaya başta İstanbul, Kastamonu, Düzce, Hatay, Kocaeli, Kütahya, Osmaniye, Adana, Antalya, Balıkesir, Denizli, İzmir, Manisa, Tokat, Uşak, vb. olmak üzere Türkiye'nin 81 ilinin 40'ından firma katılmıştır. Orman ürünleri işleme ve ticaretinin yoğun olduğu bölgelerden katılım daha fazladır. Firmaların faaliyet konularına göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir

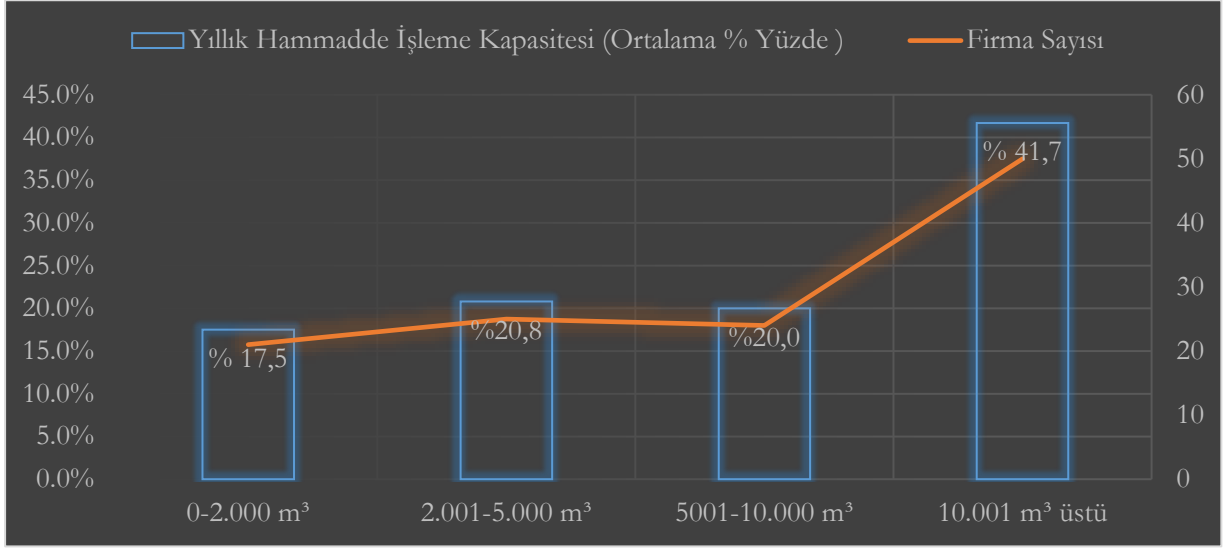
*Tablo1: Firmaların faaliyet konularına göre dağılımı\**

<b>Faaliyet Konusu</b>	<b>Sayı</b>	<b>Yüzde (%)</b>
Kereste İmalatı (İambri taban tahtası, inşaatlık kereste, rabıta vb.)	86	71.7
Palet	29	24.2
Ambalaj sandığı ve arı kovanı	14	11.6
Mobilya	7	5.8
Odun kömürü	3	2.5
Kaplama ve kontrplak	3	2.5
Makara	1	0.8
MDF	1	0.8

\*Birden fazla seçenek işaretlenmiştir

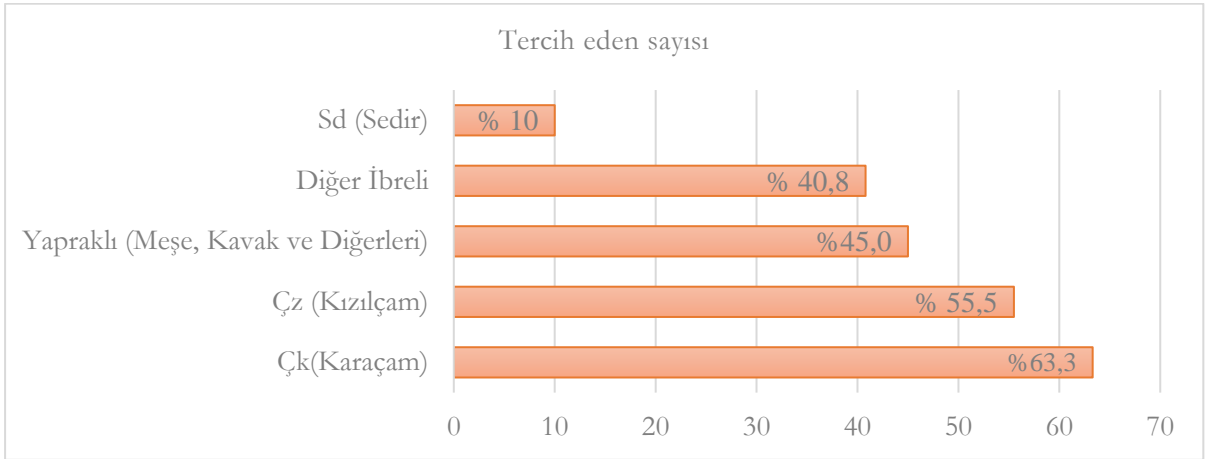
Araştırmaya katılan firmaların en eskisi 74 yıllıktır. En az faaliyet süresi olan firma ise 8 aylıktır. Araştırmaya katılan firmaların %62.5'i 1-20, %24.2'si 21-40, %9.1'i 41-60 ve %4.2'si de 60 yıldan uzun süredir bu piyasanın içindedir. Bu firmaların yıllık hammadde işleme kapasitesi ise Şekil 1'deki gibidir.

<sup>5</sup> [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd8dH3KaQup9EIOJZaUy8cxlrhCTgFpq31NhsJousdj5y7xRg/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd8dH3KaQup9EIOJZaUy8cxlrhCTgFpq31NhsJousdj5y7xRg/viewform?usp=sf_link)



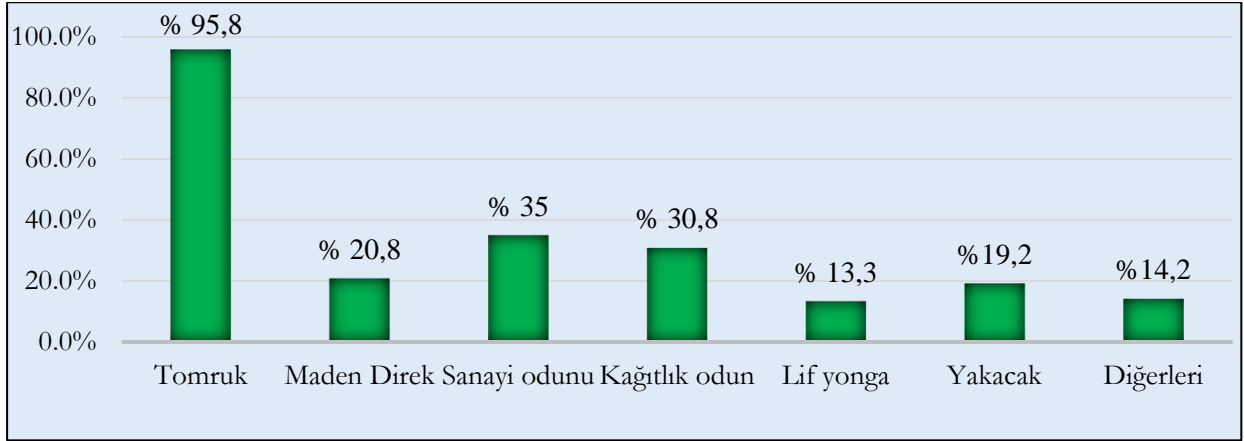
Şekil 1. Firmaların yıllık hammadde işleme kapasitesi (ortalama)

“ Hangi ağaç türlerini tercih ediyorsunuz ” şeklindeki açık uçlu soruya ülke genelindeki ağaç türü tercihini yansıtan bir cevap alınmıştır (Şekil 2). En çok tercih edilen tür %63.3 ile karaçamdır. Karaçamı %55.5 ile kızılçam takip etmektedir.



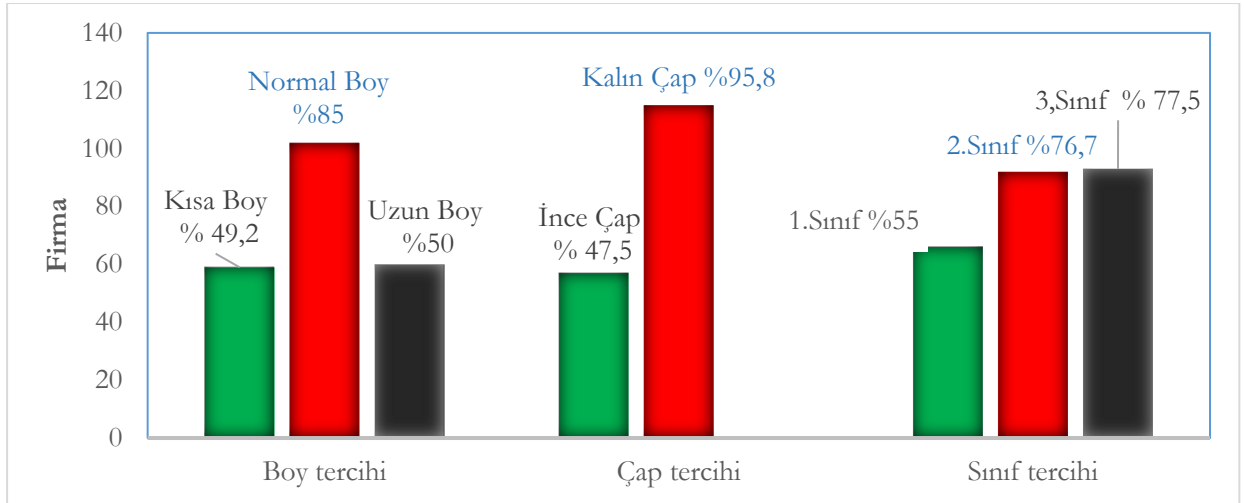
Şekil 2 Firmaların ağaç türü tercihleri (cevaplara birden fazla tür yazmaya izin verilmiştir)

OGM en çok tomruk üretimi yapmaktadır. Firmaların en çok tercih ettikleri ürün çeşidi de tomruktur (%95.8). Tomruğu %35 ile sanayi odunu takip etmektedir. Kâğıtlık oduna talep ise %30.8'dur. En düşük tercih ise %13.3 ile lif yonga odunudur. OGM ikinci en yüksek üretimini lif-yonga odununda yapmakta olmasına rağmen lif-yonganın daha düşük standarda sahip olan yakacak odundan (%19.2) bile az tercih edilmesinin sebebi lif-yongayı alan yonga levha firmalarının sayısının az ve büyük boyutlarda olması, yakacak odun satıcısı firmanın daha fazla olması gibi nedenlere dayandırılabilir. Ankete katılan firmaların ürün cinsi tercihleri ise Şekil 3'de verilmiştir.



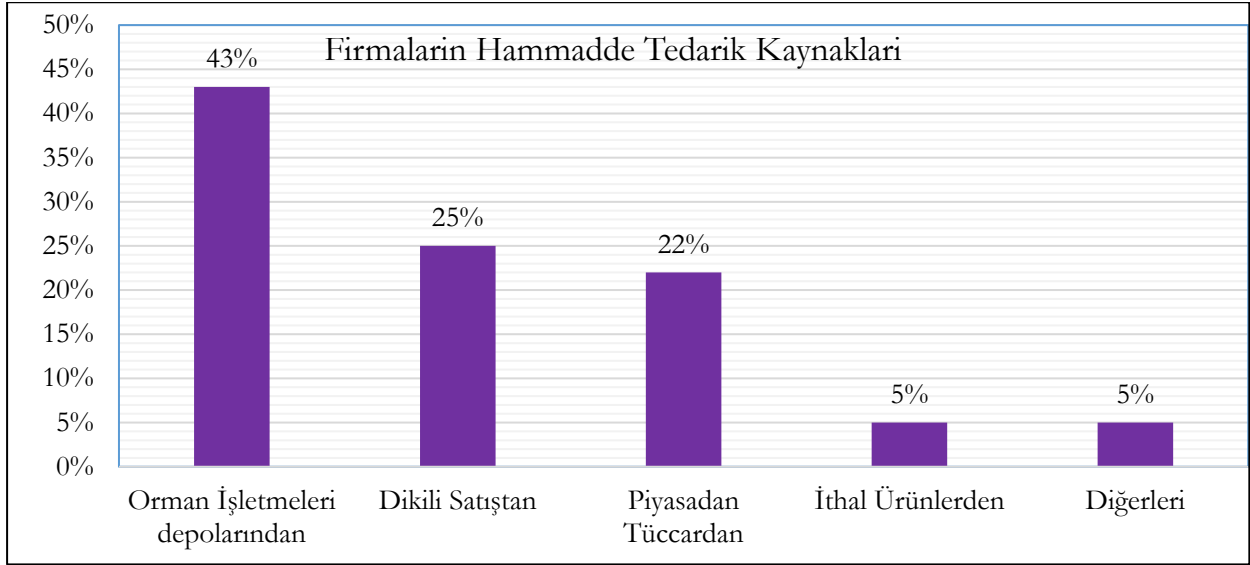
Şekil 3. Firmaların ürün cinsi tercihleri (Birden fazla ürün cinsi işaretlemesine izin verilmiştir)

OGM orman ürününü şekillendirme konusunda daha çok bölgesel tercihleri dikkate alma eğilimindedir. Ancak e-satış ile firmaların bu konudaki fikirlerini almak zorlaştığı için bölgesel farklılıklar ortadan kalkmaya başlamıştır. Bu nedenle ankete katılan firmalara satın aldıkları orman ürününde boy, çap ve sınıf tercihleri de sorulmuş; alınan cevaplara göre Şekil 4 oluşturulmuştur.



Şekil 4. Firmaların çap, boy, sınıf tercihleri (Birden fazla seçenek işaretlenebilmiştir.)

Firmaların hammadde tedarik kaynağı tercihleri Şekil 5'deki gibidir. Buna göre en yaygın tedarik kaynağı orman işletmeleri depolarıdır (%43.0). Bunu sırasıyla dikili satışlar (%25.0), piyasadaki tüccarlar (%22.0) ve ithalat (%5.0) izlemiştir. Şekilde görüldüğü gibi en önemli tedarik kaynağı OGM'dir (%68.0). Oduna dayalı orman ürünlerinin üçte ikisinin OGM'den karşılanıyor olması satışlara katılım sıklığının yüksek olması beklentisini doğrulamaktadır. Zira firmaların %60'ı sürekli, %21.0'ı ayda bir iki kez, %10.0'ı iki-üç ayda bir, %7.0'ı yılda bir-iki kez OGM tarafından yapılan ihalelere katıldıklarını ifade etmektedir. %2.0'lık kısım ise ihalelere hiç katılmamaktadır.



Şekil 5. Firmaların hammadde tedarik kaynakları

Türkiye'nin 30 Bölge Müdürlüğünün tamamından ürün alan firma katılmıştır. Bu da anketin ülkenin tamamına yayıldığına bir göstergesidir.

### **Firmaların orman işletmelerinin pazarlama yaklaşımları ve e-satışlara yönelik görüşleri**

Son yıllarda orman işletmeleri pazarlama çalışmalarına daha fazla önem vermeye başlamıştır. Nitekim üretime dönük pazarlama anlayışından modern pazarlama anlayışına doğru bir gelişim göstermiştir. Hatta mevcut uygulamalarında sosyal pazarlama anlayışının etkileri de görülmektedir. Bu çabaların müşterilerin bakış açısıyla onaylanıp onaylanmadığının tespiti amacıyla “Orman İşletmeleri müşteri istek ve görüşlerini yeterince dikkate almaktadır” önermesi kullanılmıştır. Alınan cevaplara göre müşterilerin %54.2'si orman işletmelerinin müşteri istek ve görüşlerini yeterince dikkate aldığına inanmaktadır. %17.5'lik kısım ise aynı fikirde değildir. Müşterilerin % 15.0'ı ise kararsız durumdadır. Önermenin tartılı aritmetik ortalaması (3.33) dikkate alındığında da müşterilerin bu önermeyi desteklediği söylenebilir.

2019 yılında orman ürünlerinin satışında elektronik satışların önünü açan düzenlemeler yapılmıştır. Müşterilerin 2019 yılında gündeme gelen ve pandemi süreci ile yaygınlaşmaya başlayan elektronik satışlara ilişkin görüşleri de zaman içinde oluşmaya başlamıştır. Anket çalışması kapsamında müşterilere orman ürünleri satışında hangi satış yöntemini tercih ettikleri de sorulmuştur. Soru kapsamında e-satış veya salon satışının hangisini tercih edildiği ya da eğer başka bir yöntem önerisi varsa belirtmeleri istenmiştir. Alınan cevaplara göre müşterilerin %50.0'ı mevcut uygulama olan salon satışlarını tercih ettiklerini ifade etmektedir. %48.0'lık kısım e-satışları mevcut haliyle, %1.0'lık kısım ise iyileştirmeler yapılması halinde tercih edeceklerini belirtmektedir. Katılımcıların %1.0'ı ise iki uygulamanın birbirinden farklı olmadığını söylemektedir. Yeni bir yol olmasına rağmen e-satışların müşterilerce tercih edilme yüzdesinin beklenenden düşük olmasının nedeninin fiyatların e-satış ile yükseldiği inancıdır. Hâlbuki bu dönemde fiyat artışının pandemi, savaşlar, vb. nedenlerle tedarik zincirinde meydana gelen bozulmalar gibi çok daha başka nedenleri de bulunmaktadır. Bununla birlikte pandemi nedeniyle e-satışa geçişin çok kısa sürede ve hızlı olması yönünde çıkabilecek sorunların yeterince öngörülememesine neden olmuştur. Ayrıca ne yöntemi uygulayacak olan kurum çalışanlarına ne de müşteri olan firmalara gerekli eğitim verilememiştir. E-satış uygulamalarının salon satışı uygulamaları ile kıyası ve oluşan memnuniyet & memnuniyetsizliklere ilişkin önermeler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. E-satış & salon satışı kıyaslamaları ve memnuniyet durumuna yönelik önermeler

S n	Önermeler	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Ne Katılıyorum Ne Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum	Ortalama
		5	4	3	2	1	
1	E-satış ilanlarından haberdar olmamız salon satışına göre daha fazla artmıştır.	%40.0	%22.5	%14.2	%14.2	%9.2	3.70
		48	27	17	17	11	
2	E-satışta duyuru sistemi zayıf olduğu için bazı satışları kaçıyorum.	%25.8	%19.2	%14.2	%20.0	%20.8	3.09
		31	23	17	24	25	
3	E-satış uygulamasına kayıt evraklarını hazırlama ve kayıt yaptırma işlemleri salon satışına göre daha kolaydır.	%39.2	%32.5	%6.7	%13.3	%8.3	3.81
		47	39	8	16	10	
4	E-satışa katılmak salon satışına göre daha kolaydır.	%41.7	%29.2	%7.5	%10.0	%11.7	3.79
		50	35	9	12	14	
5	E-satışa teminat yatırmak salon satışına göre daha kolay ve güvenilirdir.	%44.2	%30.0	%7.5	%10.0	%8.3	3.92
		53	36	9	12	10	
6	E-satış sistemi teknik olarak yeterlidir ve düzenli çalışmaktadır.	%18.3	%26.7	%20.0	%15.8	%19.2	3.09
		22	32	24	19	23	
7	E-satış sistemindeki sistemsel ve diğer sorunları OGM hızlıca çözmektedir.	%21.7	%30.0	%19.2	%12.5	%16.7	3.28
		26	36	23	15	20	
8	E-satış salon satışına göre daha adaletli olduğuna inanmaktayım.	%19.2	%17.5	%13.3	%19.2	%30.8	2.75
		23	21	16	23	37	
9	E-satış yöntemi oduna dayalı küçük esnafı etkilememiştir.	%20.8	%10.8	%15.8	%22.5	%30.0	2.70
		25	13	19	27	36	
10	E-satış ile salon satışına nazaran daha az zaman kaybına neden olmaktadır.	%36.7	%31.7	%12.5	%8.3	%10.8	3.75
		44	38	15	10	13	
11	E-satış satış işlemleri için verilen süreden memnunum.	%26.7	%28.3	%14.2	%10.8	%20.0	3.31
		32	34	17	13	24	
12	E-satıştan salon satışına oranla daha memnunum.	%17.5	%24.2	%10.0	%16.7	%31.7	2.79
		21	29	12	20	38	
13	Orman işletmeleri personelinin satış sırasında ve sonrasındaki tutumu ve davranışından memnunum.	%36.7	%38.3	%13.3	%2.5	%9.2	3.91
		44	46	16	3	11	
14	Satışlara giren diğer müşterilerin tutum ve davranışlarından memnunum.	%19.2	%28.3	%26.7	%11.7	%14.2	3.27
		23	34	32	14	17	
15	E-satış yöntemi yüzünden OGM'nin satış konusunda çalışan personel ile müşteri arasındaki ilişkiyi arttırmıştır.	%19.2	%24.2	%19.2	%16.7	%20.8	3.04
		23	29	23	20	25	
16	E-satış yöntemi ile OGM Müşteri memnuniyetini arttırmıştır.	%20.0	%21.7	%20.0	%16.7	%21.7	3.02
		24	26	24	20	26	



Firmalar ihalelerden farklı şekillerde haberdar olabilmektedir. Salon satışında satış öncesi bilgi formu belediyelerde ilan edilir ve/veya müşterilerin adreslerine (son zamanlarda) elektronik adreslerine gönderilir ve mesajla bildirilirdi. Firmalar kendilerine bildirilmediği takdirde ise orman işletmelerle irtibata geçerek satış bilgilerini alabilirlerdi. E-satışa geçtikten sonra ise OGM e-satış (esatis.ogm.gov.tr) sayfasında satış bilgileri ilan edilmektedir. Müşteriler daha fazla bilgi almak isterlerse orman işletmelerinden bilgi alabilmektedir. Anket formunda konuya ilişkin olarak ilki “E-satış ilanlarından haberdar olmamız salon satışına göre daha fazla artmıştır.” ve diğeri de “E-satışta duyuru sistemi zayıf olduğu için bazı satışları kaçıyorum.” olmak üzere 2 önermeye yer verilmiştir. Her iki önermenin de tartılı aritmetik ortalaması orta değer olan 3’ün üzerindedir. Yani müşteriler önermeleri desteklemektedir. Nitekim e-satışlardan haberdar olmanın salon satışlarına nazaran daha fazla olduğuna yönelik önermeye katılım %62.5’tir. Bununla beraber e-satışın duyuru sisteminin zayıf olduğuna ise müşterilerin %45.0’ı katılmaktadır. Bu durumda e-satışlarla ilgili duyuru sisteminin iyi olduğu ancak geliştirilmesi gereken yönlerinin de bulunduğu saptaması yapılabilir.

Salon satışlarında müşterilerin ihaleye katılabilmesi için ticari unvan yeterlidir ve satış öncesi teminat yatırılarak ihaleye girilebilir. E-satışta ise satışlara girebilmesi için ilk ihaleye girişte evraklarını hazırlaması ve en yakın orman işletmesine vermesi gerekmektedir. Evraklar incelendikten sonra ise kayıt işlemi yapılmakta ve bir daha evrak sunmasına gerek olmamaktadır. Teminatını satın almak istediği partiye sistem üzerinden yatırarak satışa girebilmektedir. Bu kapsamda konuya ilişkin olarak “E-satış uygulamasına kayıt evraklarını hazırlama ve kayıt yaptırma işlemleri salon satışına göre daha kolaydır”, “E-satışa katılmak salon satışına göre daha kolaydır” ve “E-satışa teminat yatırmak salon satışına göre daha kolay ve güvenilirdir” önermeleri müşterilere sunulmuştur. Her üç önermeye katılım da yüksektir. Nitekim katılıyorum cevabını verenlerin yüzdesi her üç önerme için de %70.0’ın üzerindedir. Benzer şekilde tartılı aritmetik ortalamalar da 3.7’nin üzerindedir. Önermelere katılımın yüksek olmasının nedenleri satışa hazırlık yapma aşamasında kayıt işleminin bir kere yapılması ve bir daha evrak hazırlamaya ihtiyaç duyulmaması, teminat yatırma işleminin sistem üzerinden yapılması ve satışın yapıldığı yere gitmeden satışa katılmaktır. Alkan ve Araç, (2022)’de yöntemi uygulayacak olan OGM personeline yapılan ankette bu veya benzer önermelere katılımın %80.0’ın üzerinde olduğu belirlenmiştir.

“E-satış sistemi teknik olarak yeterlidir ve düzenli çalışmaktadır” ve “E-satış sistemindeki sistemsel ve diğer sorunları OGM hızlıca çözmektedir” önermeleri sistem ve teknik ile ilgilidir. Bu iki önermenin tartılı aritmetik ortalaması da 3’ün üzerindedir. Bu durum müşterilerin önermelere katıldığını göstermektedir. Kurumun sorunları hızlı bir şekilde çözdüğü ile ilgili önermeye firmaların %51.7’si katılmaktadır. E-satışın teknik olarak yeterli ve düzenli çalıştığına yönelik önermeye katılım ise %45.0’da kalmıştır. Alkan ve Araç (2022) de bu önerme uygulayıcı kurum personeline de sunulmuş ve benzer bulgulara ulaşılmıştır. Buradan hareketle e-satış sisteminin geliştirilmesi ve kurumun çözüm konusunda daha hızlı olması beklentisinin olduğu söylenebilir.

“E-satış salon satışına göre daha adaletli olduğuna inanmaktayım” önermesini müşterilerin yarısı desteklemiştir. Alkan ve Araç, (2022)’ye göre yöntemin uygulayıcısı olan OGM personelinin önermeye katılımı ise daha fazladır (%80.0). Buna göre müşteriler ile kurum personelin adalet konusuna bakışlarında farklılıklar olduğu söylenebilir. Müşterilerin önermeyi daha az desteklemesinin başlıca nedenleri arasında küçük esnafın ihalelerden mal alamaması ve sistemin müşterilerin ihtiyaç durumunu gözetmeksizin sadece fiyat odaklı olarak çalışması gösterilebilir. “E-satış yöntemi oduna dayalı küçük esnafı etkilememiştir” önermesine firmaların %52.5’i katılmaktadır. Önermenin tartılı aritmetik ortalaması düşüktür (2.70).

“E-satış salon satışına nazaran daha az zaman kaybına neden olmaktadır” önermesine müşterilerin %68.3’ü katılım göstermiştir. Bu katılım durumu OGM personeline göre daha düşük kalmıştır (Alkan ve Araç, 2022). Satış işlemi sırasında daha az zaman harcasalar da müşterilerin satışa çıkan ürünleri görmek istemeleri zaman kaybını arttırabilmektedir. Bu sebeple bir kısım müşteri kararsız kalmakta bu nedenle de önermeye katılmamaktadır.

“E-satışta satış işlemleri için verilen süreden memnunum” önermesine müşteriler %55’i katılmışlardır. Önermeye katılmayanların başlıca nedenleri sürenin kısa olması, son teklif verenden sonra hemen sistemin kapatılması dolayısıyla da sistemin düşünmeye yeterince fırsat bırakmaması şeklinde ifade edilmektedir. Söz konusu eleştirileri dikkate alan OGM süre ile ilgili yeni bir düzenleme yaparak teklifler sonlanıncaya kadar son tekliften sonra on saniye süre verilmesine olanak sağlamıştır.

“Orman işletmeleri personelinin satış sırasında ve sonrasındaki tutumu ve davranışından memnunum” önermesine müşterilerin dörtte üçü (%75.0) katılıyorum cevabını vermiştir. “Satışlara giren diğer müşterilerin tutum ve davranışlarından memnunum” önermesinde katılım ise daha düşük (%47.5) gerçekleşmiştir. “E-satış yöntemi yüzünden OGM’nin satış konusunda çalışan personel ile müşteri arasındaki ilişkiyi arttırmıştır” önermesine ise tam bir kararsızlık hâkimdir. Bu önermede nerede ise bütün seçenekler eşit olarak işaretlenmiş durumdadır. Tartılı aritmetik ortalama da 3.04’tür.

“E-satıştan salon satışına nazaran daha memnunum” önermesine %48.3 katılmıyorum cevabı verilmiştir. En yüksek miktarda (%31.7) kesinlikle katılmıyorum cevabı da bu önermeye aittir. Görüldüğü gibi bu konuda da müşteriler ile OGM personeli arasında önemli bir düşünce farklılığı söz konusudur. Nitekim OGM personelinin %79.9’u bu önermeyi desteklemektedir (Alkan & Araç, 2022). Müşterilerin üçte birine yakını net bir cevapla e-satıştan memnun olmadıklarını belirtmiştir. Ayrıca kesinlikle katılıyorum cevabının da en düşük olması yöntemi isteyenlerin de tam emin olamadığı düşüncesini akıllara getirmektedir.

“E-satış yöntemi ile OGM müşteri memnuniyetini arttırmıştır” önermesine katılım beklenenin aksine düşük (%41.7) olmuştur. Önermenin tartılı aritmetik ortalaması (3.02) da dikkate alındığında e-satış yöntemi ile müşteri memnuniyetinin artması konusunda müşteriler bakımından bir kararsızlığın olduğu söylenebilir. Kurum çalışanlarının önermeye katılım durumları ise daha fazla (%54.8 ve tartılı aritmetik ortalama:3.55) olmuştur.

### **Firmaların e-satış&pazarlama karması arasındaki ilişkilere ilişkin görüşleri**

E-satışların mal, fiyat, tutundurma ve dağıtım olarak sınıflandırılabilen pazarlama karması elemanlarına ilişkin etkilerine yönelik hazırlanan önermeler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. E-satış&pazarlama karması elemanları ilişkilerine yönelik önermeler

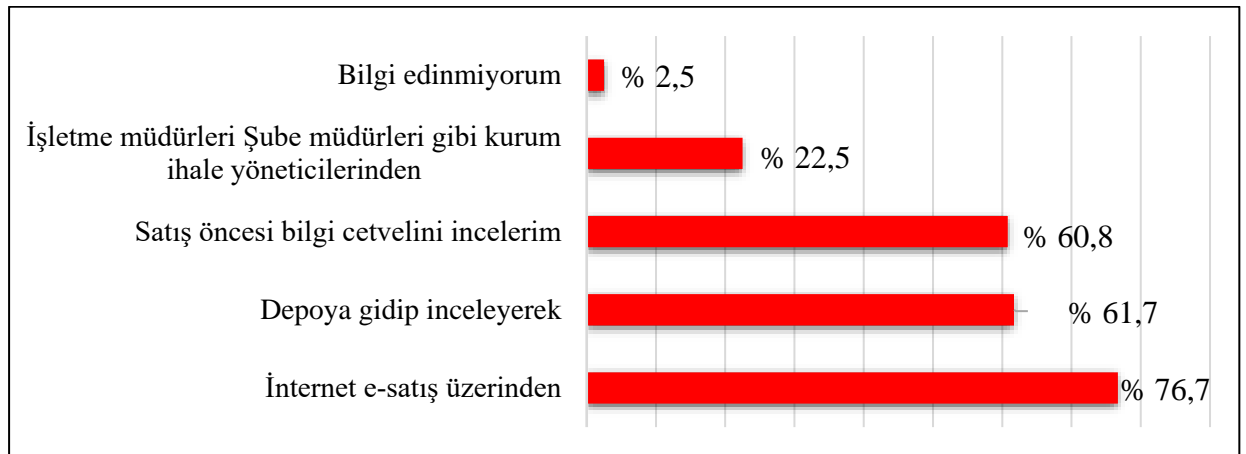
S N	Önermeler	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Ne Katılıyorum Ne Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum	Ortalama
		5	4	3	2	1	
1	E-satış uygulaması ile OGM tarafından üretilen oduna dayalı orman ürünlerinin kalitesini arttırmıştır.	%10.8 13	%12.5 15	%23.3 28	%22.5 27	%30.8 37	2.5 0
2	OGM'nin ürün aldığım orman işletmelerinden istediğim kalitede ürün bulabiliyorum.	%20.0 24	%33.3 40	%15.8 19	%12.5 15	%18.3 22	3.2 4
3	OGM'nin ürün aldığım orman işletmelerinden istediğim zaman taze ürün bulabiliyorum.	%18.3 22	%28.3 34	%23.3 28	%12.5 15	%17.5 21	3.1 8
4	Sertifikalı ürünleri almayı tercih ediyorum.	%24.2 29	%35.8 43	%25.0 30	%5.8 7	%9.2 11	3.6 0
5	E-satış uygulamasının salon satışına göre fiyatları arttırdığını düşünüyorum.	%69.2 83	%16.7 20	%4.2 5	%4.2 5	%5.8 7	4.3 9
6	Odun kökenli ürünlerin fiyatı genel olarak olması gerektiği gibidir.	%15.0 18	%16.7 20	%15.8 19	%20.8 25	%31.7 38	2.6 3
7	E-satış salon satışına göre piyasadaki fiyatları belirlemede daha etkilidir.	%25.0 30	%20.0 24	%13.3 16	%14.2 17	%27.5 33	3.0 1
8	E-satış sistemi ile OGM satışta bulunan ürünlerin tanıtımını (fotoğraflar) salon satışına göre daha iyi yapmaktadır.	%19.2 23	%25.0 30	%17.5 21	%14.2 17	%24.2 29	3.0 1
9	E-satış yöntemi sayesinde satışa çıkan ürünleri daha çok görmeye başladım.	%25.8 31	%29.2 35	%21.7 26	%6.7 8	%16.7 20	3.4 1
10	Orman işletmeleri müşteri istek ve görüşlerini yeterince dikkate almaktadır.	%21.7 26	%32.5 39	%16.7 20	%15.0 18	%14.2 17	3.3 3
11	Orman işletmelerinden istediğim yerde ürün bulabiliyorum.	%25.0 30	%33.3 40	%20.8 25	%8.3 10	%12.5 15	3.5 0
12	Depolardan değil, dikili satışlardan ürün almayı tercih ediyorum.	%20.0 24	%14.2 17	%22.5 27	%26.7 32	%16.7 20	2.9 4
13	OGM depolarından aldığım ürünlerin taşınmasında sorun yaşıyorum.	%20.0 24	%15.0 18	%15.8 19	%31.7 38	%17.5 21	2.8 8

Pazarlama karması elemanlarından ilki olan mal ile ilgili 4 adet önerme bulunmaktadır. Müşterilerin %53.3'ü "OGM'nin ürün aldığım orman işletmelerinden istediğim kalitede ürün bulabiliyorum" önermesine katılmaktadır. Önermenin tartılı aritmetik ortalaması ise 3.24'tür. Genel itibariyle müşteriler ihalelerle müşterilere sunulan ürünlerin kalitesinden memnundur. "E-satış uygulaması ile OGM tarafından üretilen oduna dayalı orman ürünlerinin kalitesini arttırmıştır" önermesi 2.5 aritmetik ortalama ile önermeler arasında en düşük değere sahip önerme olmuştur. Buna göre müşterilerin e-satışın kaliteyi arttırmadığı yönünde bir görüşe sahip olduğu söylenebilir. Bu önerme OGM personeline de sunulmuş ve personelin konuya

ilişkin olarak genel itibariyle kararsız olduğu görülmüştür (Alkan & Araç, 2022). “OGM’nin ürün aldığım orman işletmelerinden istediğim zaman taze ürün bulabiliyorum” önermesine müşteriler %46.7 oranında katılıyorum cevabı vermişlerdir. Tartılı aritmetik ortalaması 3.18 olsa da katılmıyorum ve kararsız cevapların çok olması kurumun piyasaya taze ürün sunma konusunda hala yeterli durumda olmadığı izlenimi vermektedir. Bununla birlikte dikili satışların yaygınlaşması ile birlikte piyasaya taze ürün sunumu konusu olumlu gelişmeler sağlanmış durumdadır. Sertifikalı ürünleri almayı tercih ediyorum” şeklindeki sertifikalı ürün tercihinin sorgulandığı bu önerme belirgin bir şekilde %60.0 ile katılıyorum cevabı verilmiştir. Önermeyi belirginleştiren ise katılmıyorum cevabının %15.0 olmasıdır. Mal ile ilgili önermeler içerisinde 3.60 ile en yüksek tartılı aritmetik ortalamaya ve %15.0 ile de en düşük katılmıyorum yüzdesine sahiptir. Kararsızların yüzdesi ise %25.0’dır. Önermenin sonucuna göre orman ürünleri müşterisinin sertifikalandırmayı istediği sonucunu vermiştir. Bulgulara göre müşterilerin sertifikalı ürünler konusunda istekli oldukları söylenebilir.

Pazarlama karmasının ikinci elemanı olan fiyata yönelik ise 3 önerme kullanılmıştır. Bunlardan ilki “E-satış uygulamasının salon satışına göre fiyatları arttırdığını düşünüyorum” önermesidir. Önermeye katılım %85.8’dir. Önermenin tartılı aritmetik ortalaması ise 4.39 hesaplanmıştır. Nerede ise katılımcıların tamamı fiyatların e-satış ile arttığına inanmaktadır. “Odun kökenli ürünlerin fiyatı genel olarak olması gerektiği gibidir” şeklindeki bir diğer önermeye %31.7 tartılı aritmetik ortalama ile anketin en yüksek kesinlikle katılmıyorum cevabı verilmiştir. Katılımcıların %52.5’i oduna dayalı orman ürünlerin fiyatının olması gerektiğinden daha yüksek olduğu şeklinde düşünceye sahiptirler. Bu önermenin ortalaması 2.63 ile fiyat ile ilgili önermeler içerisinde en düşüktür. “E-satış salon satışına göre piyasadaki fiyatları belirlemede daha etkilidir” önermesine katılımcıların %45.0’ı katılırken, %41.7’si ise katılmıyorum cevabı vermişlerdir. Önermenin tartılı aritmetik ortalaması 3.01’dir. Öz bir ifadeyle e-satış ile birlikte fiyatların arttığı ve müşterilerin de bundan memnun olmadığı saptaması yapılabilir.

Tutundurma ile ilgili hususlardan birisi müşterilerin ihaleden önce satış ve ürünler hakkında bilgi sahibi olma ve bilgi kaynaklarıdır. Bununla ilgili olarak müşterilere bilgi edinme yolları sorulmuş ve alınan cevaplara göre de Şekil 6 oluşturulmuştur.



Şekil6. Firmaların satış öncesi bilgi alma şekilleri (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir)

Yapılan mülakatlarda işletmeye gelme zorunluluğunun bulunmaması nedeniyle satışa çıkarılan ürünlerle ilgili bilgi alma durumunun e-satışın dezavantajlarından biri olabileceği ifade edilmiştir. Ancak Şekil 9’da görüldüğü gibi bu öngörünün çok da gerçekleştiği

söylenemez. Zira müşterilerin %61.7'si e-satışlarda da depolarda inceleme yapmaya devam ettiklerini belirtmişlerdir. OGM'nin satış işlemi ile uğraşan işletme müdürleri ve şube müdürleri gibi satış yöneticilerinden bilgi alma konusunda ise yüzdenin düşük (%22.5) olduğu söylenebilir. Beklenildiği şekilde internetten üzerinden yapılan incelemelerle bilgi alma şeklinin yüzdesi (%76.7) ise yüksektir.

“E-satış sistemi ile OGM satışta bulunan ürünlerin tanıtımını (fotoğraflar) salon satışına göre daha iyi yapmaktadır” önermesinin tartılı aritmetik ortalaması 3.01 olarak hesaplanmıştır. Müşterilerin %38.3'ü önermeye katılmıyorum ve %24.2'si ise kesinlikle katılmıyorum cevabı vermişlerdir. Görüldüğü gibi önemli bir kısmı fotoğraflarla yapılan tanıtımın olumsuz yönlerinin olduğuna inanmaktadır. Bunun başlıca nedenleri fotoğrafların çözünürlük kalitesinin düşük olması ve kusurları gizleyecek açılardan çekilmemiş olması olarak ifade edilmektedir.

“E-satış yöntemi sayesinde satışa çıkan ürünleri daha çok görmeye başladım” önermesine de %55.0 ile katılıyorum ve %23.3 ile katılmıyorum cevapları verilmiştir (tartılı aritmetik ortalama 3.41) Satışa çıkan ürünü görmek için istediği zaman diliminde işletme-depoya gidebilme özgürlüğü yöntemin bir avantajı olarak ifade edilmiştir. “Orman işletmeleri müşteri istek ve görüşlerini yeterince dikkate almaktadır” şeklindeki önermeye müşteriler %54.2 oranında katılmışlardır. Yarıya yakın müşteri kararsız veya katılmıyorum cevabı vermiştir.

Pazarlama karmasının son elemanı olan dağıtım konusunda ise 5 önerme müşterilere sunulmuştur. “Orman işletmelerinden istediğim yerde ürün bulabiliyorum” önermesine müşteriler %58.3 oranında katılmışlardır. Bu önerme 3.50 tartılı ortalama ile dağıtım ile ilgili önermeler içerisinde en yüksek ortalamaya sahiptir. Ayrıca katılımcılar %20.8 ile en düşük katılmıyorum cevabını bu önermede kullanmışlardır. “OGM depolarından aldığım ürünlerin taşınmasında sorun yaşıyorum” dağıtım ile ilgili önermeler içerisinde %49.2 yüzde ile en yüksek katılmıyorum cevabına sahip önermedir. Katılımcıların %35.0'ı ise bu önermeye katıldıklarını belirtmişlerdir. Buradan hareketle depoların şartlarının iyileştirilmesi gerektiği ya da dikili satışlar gibi depolama gerektirmeyen yöntemlere yönelmesi gerektiği şeklinde bir sonuç çıkarılabilir. “Depolardan değil; dikili satışlardan ürün almayı tercih ediyorum” önermesine ise kimi müşteriler (%43.3) katılmamışlardır. Bu önermenin tartılı aritmetik ortalaması 2.94'dür. Dikili satışlar depolama zorunluluğu olmaması nedeniyle dağıtım açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte dikili satışları daha çok ürün işleme kapasitesi yüksek olan büyük firmalar kullanmaktadır. Küçük firmaların da bu yolla hammadde tedarik edebilmesine daha fazla olanak sağlamak yerinde olacaktır.

## **Sonuç ve öneriler**

Müşteri bir ürünü ya da hizmeti herhangi bir bedel karşılığında kişi, kurum ve kuruluşlardır. İşletme bilançosunun aktifinde yer verilmesi de müşteri işletmenin en önemli varlıkları arasında kabul edilmektedir (Berry, 1991; Saydan, 2008). Bu nedenle müşteri beklentilerinin karşılanması ve memnuniyetinin oluşabilmesi işletme başarısı ve bunun sürekliliğinin sağlanması için zorunludur. Müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi üretici ve satıcı işletmelerin performansları kadar müşteri profilinden de etkilenmektedir. Bu profil Dünyadaki gelişmelere ve makro çevresel faktörlere bağlı olarak çok hızlı değişim gösterebilir. Örneğin bir zamanlar bilinmeyen ekolojik ve yeşil ürünler günümüzde olduğu gibi bazı müşteriler için vazgeçilmez hale gelebilir. OGM bir kamu girişimi olmasının da etkisiyle uzunca bir zaman müşteri memnuniyetini önemsememiş ve üretim odaklı bir yaklaşımı benimsemiştir. Üretilenin satılmasına yönelik olan bu yaklaşımda doğal olarak pazarlama fonksiyonu da gelişmemiştir. Ancak, teknoloji ve bilişim alanındaki gelişmelerle küçülen dünya ve küreselleşen pazarlarla birlikte günümüzde etkilerini fazlaca hissettiğimiz Covid-19

pandemisi, küresel iklim değişikliği ve artan orman yangınları, Ukrayna-Rusya savaşı başta olmak üzere Dünyanın farklı bölgelerinde devam eden savaşlar, vb. nedeniyle işletmelerin makro çevresel faktörleri de hızlı bir şekilde değişmeye başlamıştır. Söz konusu gelişmeler birçok alanda olduğu gibi orman işletmeciliği alanında da müşteri memnuniyeti önemsenmeyi zorunlu hale getirmiştir. İlk olarak 2008 yılında orman işletmeleri müşteri profil ve beklentilerini kurumsal olarak sorgulamaya ve gerekli önlemleri almaya başlamıştır. Örneğin, uygulamaya koyulan dikili satışlar müşterilerin odunları istedikleri gibi ebatlandırmasına olanak sağlaması nedeniyle depo satışlarına nazaran daha müşteri odaklıdır. İlk denemeleri 2010 yılında başlayan orman ürünlerinin sertifikalandırma süreci günümüze kadar önemli bir mesafe kat etmiş durumdadır. Sertifikasyonla doğa dostu tüketiciler gözetilmeye başlanmış ve sosyal pazarlama anlayışının temelleri atılmıştır. Orman işletmelerinin pazarlama fonksiyonlarının gelişmesine katkı sağlayan en güncel uygulama ise 2019 yılında ilk denemeleri yapılan ve 2020 yılındaki pandemi ile hızla yaygınlaşan e-satışlardır. OGM' ye bağlı orman işletmeleri 2020 yılı mart ayından itibaren salon satışlarından vazgeçmiş ve tüm satışlarını e-satış şeklinde düzenlemiştir. İlk gündeme geldiğinde orman işletmelerinin ilgili çalışanlarınca yöntemle temkinli yaklaşmış olsa da söz konusu endişe ve kararsızlık halini yerini zamanla olumlu bir bakışa bırakmıştır. Bu değişimin başlıca nedenleri yöntemin güvenilir ve adil olarak görülmesi, teminat yatırmanın kolay ve güvenilir olması, zaman kaybını azaltması, daha az personel gerektirmesi, hata ve şaibeleri en aza indirmesi, daha sağlıklı fiyat oluşumu sağlaması, vb. şeklinde sıralanabilir (Araç, 2022, Alkan & Araç, 2022). Öte yandan müşteri rolündeki firmalar e-satışların pandemi sonrası dönem için kendileri için avantajlı olup olmadığı hususunda genel itibari ile kararsız kalmışlardır. Müşterilerin e-satışlardan salon satışına göre daha çok memnuniyet önermesine katılımı da düşük olmuştur (tartılı aritmetik ortalama: 2.79).

E-satışlara yönelik memnuniyetsizlikler şu şekilde sıralanabilir:

- İhaleler internet ortamında yapıldığı için yüz yüze görüşme ve taraflar arası iletişim azalmaktadır. Bu durum yüz yüze çok daha kolay çözülebilecek sorunların büyümesine neden olabilmektedir.
- İhalelerde teknik aksaklıklar ortaya çıkabilmektedir. Sistem alt yapısı genel itibariyle yeterli bulunmakla birlikte zaman zaman ekran görüntülerinde donmalar meydana gelebilmektedir. Aksaklıklar hızlı bir şekilde giderilmeye çalışılsa da zaman zaman mağduriyetler oluşabilmektedir.
- Teminatlarının sisteme yüklenmesinde teknik yönden aksaklıklar yaşanabilmekte bu sorunlar giderilemediğinde ise müşteriler ihaleyi kaçırabilmektedir.
- Müşteriler almak istedikleri ürünleri sadece fotoğraftan görebilmektedir. Müşterilerin bazıları orman işletmelerinin bilinçli olarak fotoğrafları üründeki kusuru gizleyecek şekilde çekildiğini ifade etmektedir.
- Küçük işletme sahipleri salon satışlarına nazaran daha az ürün alabildiklerini söylemektedir. Zira satışların elektronik ortamda olması ve seyahat sorunun olmaması nedeniyle müşteriler ülkenin her yerinden satışa girilebilmektedir. Avantaj gibi görünen bu husus ihaleye çok fazla firmanın girmesi ve fiyatların yükselmesine neden olabilmektedir.
- E-satışların uygulanmaya başlaması ile birlikte fiyatlarda dikkate değer bir artış söz konusu olmuştur. Müşteriler bu artışta e-satış şeklinde yapılan ihalelerdeki pey sürme yönteminin de etkili olduğu düşünülmektedir. Zira konuya yönelik sunulan önermenin tartılı aritmetik ortalaması 4.39 ve katılım yüzdesi %85.8'dir.

Öz bir ifadeyle, yıllar önce hayal dahi edilemeyen e-ticaret günümüzde orman ürünleri piyasası için de vazgeçilemez hale gelmiştir. Bununla birlikte yukarıda belirtilen memnuniyetsizliklerin giderilmesine yönelik adımların atılması ve bazı iyileştirmelerin yapılması yönetime ilişkin müşteri görüşlerinin olumluya dönmesine önemli bir katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

Alkan, H. (2001). İşletme başarısında maliyet yönetiminin rolü ve maliyet yönetiminde yeni yaklaşımlar (Ormancılık açısından bir değerlendirme). SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 2(1): 177-192.

Alkan, H. (2007). Devlet orman fidanlık işletmelerinde maliyet yönetimi ve pazarlama, Fidan standardizasyonu, Standart Fidan Yetiştiriminin Biyolojik ve Teknik Esasları, Yahyaoğlu Z. Genç M.(Editör), s: 493– 548. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi

Alkan, H., Korkmaz, M., McGill D., Eker, M.(2010a). Conflicts in benefits from sustainable natural resources management two diverse examples from Turkey. Journal of Environmental Biology, 31: 87-96.

Alkan, H., Korkmaz, M., Eker, M. (2010b). Sürdürülebilir orman yönetiminde yaşanan gelişmeler, karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri: Isparta Orman Bölge Müdürlüğü örneği. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20 Mayıs, Artvin, Türkiye, s: 56-65.

Alkan, H. (2013). Ormancılık ve orman ürünleri programı öğrencilerine yönelik bir araştırma. SDÜ Orman Fakültesi, 14, 88-94.

Alkan H., Korkmaz, M., Eker, M. (2014). Stakeholders perspectives on utilization of logging residues for bioenergy in Turkey. Croatian Journal of Forest Engineering, 35(2): 153-165.

Alkan H., Eker, M., Korkmaz, M. (2017). Social assessment of the availability of logging residues in Turkish Pine Forests. 50th International Symposium on Forestry Mechanization, 25-29 Eylül 2017, Braşov, Romania,( pp.10).

Alkan H., Araç İ.(2022). Orman ürünleri satışında elektronik satışın kullanılmasına ilişkin orman işletmesi çalışanların görüşleri, Türkiye Ormancılık Dergisi, 23 (3), 243-254

Araç, İ. (2022). Orman ürünlerinin pazarlanmasında elektronik satış uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta

Berry, T. H. (1991). Managing The Total Quality Transformation, Mc-Graw Hill Inc, USA.e-devlet model önerisi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

Çelikkol, Ö.(2008). Kamu yönetiminde e-devlet yapılanması ve Türkiye için e-devlet model önerisi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.135 s.

Daşdemir, İ.(2003). Asli orman ürünlerinde fiyat analizi (Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü örneği). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Yayınları, 26:12, 119s.

Daşdemir, İ.(2014). Orman Mühendisliği için maliye (2.Baskı). Bartın, Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları

FSC (2020). Forest stewardship council. [25.09.2023, available online at: <https://fsc.org/en/about-us/25-years-of-fsc>], Retrieved on November 13

İlter, E., Ok, K., (2004). Ormancılık ve Orman Endüstrisinde Pazarlama İlkeleri ve Yönetimi (Örnek Olaylarla III Baskı ). İstanbul: Ofset Matbaacılık



Karasar, N. (2005). Bilimsel Araştırma Yöntemi. (15. Basım) Ankara: Nobel Yayın Dağıtım

Keskin, N., Koraltan, A., Öztürk, Ö.(2010). Pamukkale Üniversitesi Buldan MYO öğrenci profili. Ulusal MYO Öğrenci Sempozyumu, 21-22.10.2010, Düzce.

Komut, O. (2020). Sürdürülebilirlik çerçevesinde Türkiye'deki orman ve orman ürünleri sertifikasyonu. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi, Ek(11), 257-265

Korkmaz, M., Alkan, H., Özçelik, R., Yılmaztürk, A. (2010). Orman amenajman planlarının düzenlenmesinde sosyo-ekonomik durum envanterine yönelik iş tanımının geliştirilmesi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Isparta, (pp. 292-301).

OGM (2016). Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Üretim Pazarlama Faaliyetleri. (22.06.2022 tarihinde <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/EgitimDokumanlari/Işletme-ve-Pazarlama/OdunaDayalıOrmanürünlerininüretimvePazarlamaFaaliyetleri-2016.pdf> adresinden ulaşılmıştır)

OGM (2019a). TC Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü satış ilanları sayfası. (22.06.2022 tarihinde <http://www.ogm.gov.tr/e-satis> adresinden ulaşılmıştır)

OGM (2019b). 7307 sayılı Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Elektronik Satış, Usul ve Esasları tebliği. (23.06.2022 tarihinde [https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/mevzuat-sitesi/Tamimler/ODUNA DAYALI ORMAN ÜRÜNLERİNİN ELEKTRONİK SATIŞ VE USUL V ESASLARI \(EK-4-0 İŞLENMİŞ\).pdf](https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/mevzuat-sitesi/Tamimler/ODUNA DAYALI ORMAN ÜRÜNLERİNİN ELEKTRONİK SATIŞ VE USUL V ESASLARI (EK-4-0 İŞLENMİŞ).pdf) adresinden ulaşılmıştır).

OGM (2020a). T.C. Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü e-kütüphane resmi istatistikler. (22.06.2022 tarihinde. <http://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> adresinden ulaşılmıştır)

OGM (2020b). T.C. Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü satış ilanları sayfası. (23.06.2022 tarihinde <http://www.ogm.gov.tr/e-satis> adresinden ulaşılmıştır)

OGM (2021a). T.C. Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü 2021 yılı aralık ayı damga, üretim, satış, stok durumu.(22.06.2022 Tarihinde <http://www.ogm.gov.tr/e-kutuphane-sitesi/Pages/UretimSatisveStokFaaliyetler> adresinden ulaşılmıştır)

OGM (2021b). T.C. Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü satış ilanları sayfası, .(23.06.2022 Tarihinde <http://www.ogm.gov.tr/e-kutuphane-sitesi/Pages/UretimSatisveStokFaaliyetler> adresinden ulaşılmıştır)

OGM (2022). 312 Sayılı Oduna Dayalı Orman Ürünlerinin Satış, Usul ve Esasları tebliği( 22.06.2022 tarihinde <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/mevzuatsitesi/Tebliğler/OdunaDayalıOrmanÜrünlerininSatışUsulveEsaslarıHakkında312SayılıTebliğ.pdf> adresinden erişilmiştir)

Özdamar, K. (2013). Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi.(9.Baskı). Eskişehir: Nisan Kitapevi

Özön, M. N. (1971). Osmanlıca – Türkçe Sözlük. Ankara: Bilgi Yayınevi

Resmi Gazete (2021). 27857 sayılı Elektronik İhale Uygulama Yönetmeliği ( 10.06.2022 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/11/20211130-7.htm> adresinden ulaşılmıştır)

Saydan, R. (2008). Müşteri Memnuniyeti, İnci Varinli & Kahraman Çatı (Editörler )Güncel Pazarlama Yaklaşımlarından Seçmeler içinde (s. 76-88).Ankara: Detay Yayıncılık.

Türker, M. F. (2000). Orman işletmeciliği ders notu.(2.Baskı) Trabzon, KTÜ Orman Fakültesi, Ders Notları Yayın No:59.

Türker, M.F. (2008). Ormancılık İşletme Ekonomisi.(1.Baskı). Trabzon: Derya Kitabevi

# Buhar Sıkıştırılmalı Mekanik Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği Analizi

Hikmet BÜKER<sup>1</sup>  
Canan CİMŞİT<sup>2</sup>

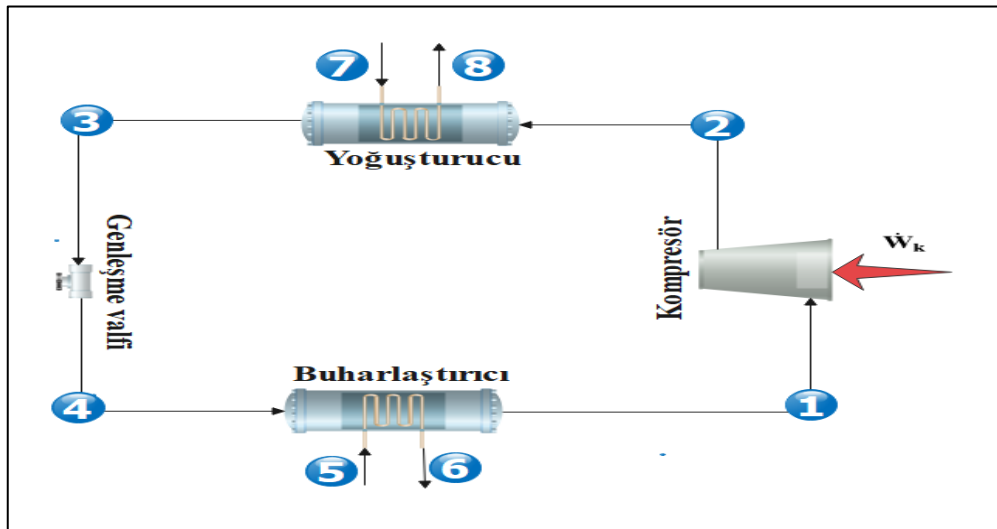
## Giriş

Soğutma, ısı transferine karşı izole edilmiş kapalı bir hacimden ısı çekilmesi olarak tanımlanır [1]. Soğutmanın amacı kapalı bir yerde çevre sıcaklığından daha düşük sıcaklıklar elde etmek ve bu sıcaklığı aynı seviyede korumaktır. Soğutmanın yapılabilmesi için soğutma yapılacak yerden ısı alınması gerekir bunun için ise soğutucu akışkan kullanılmaktadır [2].

Soğutma tanım olarak bir maddenin veya bir ortamın sıcaklığını, ortam sıcaklığının altına düşürme ve bu düşürülmüş sıcaklığı muhafaza edebilmek için maddeden veya ortamdan ısı alınması olayıdır. Bir ortamı soğutabilmek için, bu ortamdan daha soğuk olan bir soğutucu akışkan ile ısı alınması gereklidir. Bu işlem ise ısı pompası ya da soğutma makinesi kullanılarak yapılır. Bu makinaların ilişkili çevrimleri, soğutma çevrimi diye isimlendirilmektedir [3].

Soğutma; endüstriyel tesislerde, ürünlerin düşük sıcaklıklarda şoklanmasında, derin dondurma yapılmasında, soğuk depolama işleminde, çeşitli soğuk ürün üretme proseslerinde ve iklimlendirme amaçlı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi en yaygın kullanılan soğutma sistemidir.

Soğutma sistemleri genel olarak buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerini temel olarak hazırlanmaktadır. Temel bir buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sisteminde kondenser, kompresör, evaporatör ve genişleme valfi olmak üzere dört temel ekipman bulunmaktadır. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemi (BSMS) Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemi (BSMS).

Buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimlerinde iki temel kısım vardır. Bu kısımlar düşük basınç kısmı ve yüksek basınç kısmı diye isimlendirilir. Soğutma sisteminde kompresörde yüksek basınçta sıkıştırılan soğutucu akışkan kızgın buhar halinde kondensere gitmektedir. Soğutucu akışkan kondenserde çevreye ısı vererek genişleme valfide düşük basınçta kısılarak ıslak buhar halinde evaporatöre gider. Evaporatörü bulunduğu ortamın sıcaklığının altında bir sıcaklığa sahip

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Umuttepe-Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Gölcük MYO, Gölcük-Kocaeli, Türkiye

olan soğutucu akışkan, ortamdan ısı alarak ortamı soğutur ve evaporatör çıkışında doymuş buhar halinde kompresör tarafından çekilir. Bu şekilde çevrim sürekli olarak devam etmektedir.

### **Soğutma Sistemi Elemanları**

Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemi dört ana elemanından oluşmuştur. Bunlar, kompresör, evaporatör (buharlaştırıcı), kondenser (yoğusturucu) ve genişleme valfidir. Soğutma sisteminin düzenli ve güvenli olarak çalışması için ana elemanlar dışında yardımcı elemanlar da kullanılır. Bu bölümde soğutma sisteminin ana elemanları tanıtılmıştır.

#### **Kompresör**

Kompresörler soğutucu akışkanların basınç kazanması için kullanılan ve elektrik enerjisini soğutucu akışkana aktaran hava sistemi ekipmanlarıdır. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemlerinin temel elemanı kompresördür. Bu elemanın iki temel fonksiyonu vardır [4]:

1. Soğutma çevriminde akışkanın dolaşımını gerçekleştirmek,
2. Buharlaştırıcıdan düşük basınçta ve doymuş buhar halinde çıkan soğutucu akışkanı absorbe ederek yüksek basınçta kondenserde yoğuşmasını gerçekleştirmek için sıkıştırma işlemini oluşturmaktadır.

#### **Evaporatör (Buharlaştırıcı)**

Buharlaştırıcılar, genişleme valfinde basıncı düşürülen ve düşük sıcaklıklarda buharlaşan soğutucu akışkanın ısı çekmesiyle soğutma işini sağlamaktadırlar. Evaporatörler, kullanım alanı ve uygulamasına göre çeşitli tiplerde tasarlanmaktadır. Buharlaştırıcıya sıvı-buhar halinde gelen soğutucu akışkanın büyük bir kısmı sıvı fazdadır. Evaporatör çıkışında ise akışkanın tamamen buhar halde olması istenmektedir. Soğutma işlemi, sıvı fazdaki soğutucu akışkanın evaporatörde buharlaşarak ortamdan ısı emmesi ile oluşmaktadır. Evaporatörleri, basitçe doğal ve zorlanmış taşınımli olarak sınıflandırılabilir. Doğal taşınımli soğutucu akışkan, sıcak ve soğuk akışkan arasındaki yoğunluk farkından dolayı harekete geçmektedir. Zorlanmış taşınımli evaporatörlerde ise, soğutulan hava bir fan aracılığı ile soğutulacak ortama gönderilir [4].

#### **Kondenser (Yoğusturucu)**

Soğutucu akışkanın, ortama ısı vererek kızgın buhar halinde olan akışkanın sıvı faza çevrilmesini gerçekleştiren sistem elemanı kondenserlerdir [4]. Böylece soğutucu akışkan sıvı faza yoğusturularak soğutucu akışkana basınç kazandırılır. Daha sonra genişleme valfinde genişletirilerek buharlaştırıcıda ısı emecek duruma getirilmektedir [5].

Yoğusturucularda ısı alışverişi üç aşamada gerçekleşmektedir;

1. Kızgınlığın alınması
2. Akışkanın yoğusturulması
3. Aşırı soğutma

Evaporatörde ortamdan çekilen ısı ve kompresörde harcanan enerjilerin toplamı kondenserden ortama verilen ısıya eşittir. Soğutma sistemlerinde evaporatör kapasitesi kondenser kapasitesinden her zaman küçük olmaktadır. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemlerinde üç farklı kondenser tipi kullanılır [4];

1. Hava soğutmalı
2. Su soğutmalı
3. Hava ve su soğutmalı (evaporatif) kondenserler

## Genleşme Valfi

Genleşme valfi, yoğunlaştırıcıdan gelen sıvı fazdaki ve yüksek basınçtaki soğutucu akışkanın basıncını buharlaştırıcı basıncına düşüren soğutma sistemi temel elemanıdır. Genleşme valflerinden verimli şekilde faydalanabilmek için, sistemin yabancı maddelerden, aşırı nemden ve korozyondan korunması gerekmektedir. Valfi bu gibi etkilerden korumak için sistemde, pislik tutucu, filtre veya kurutucu kullanılmaktadır [4].

## Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği Yöntemleri

Enerji, iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel, kinetik, ısı, elektrik, kimyasal, manyetik ve nükleer gibi değişik türlerde yer alabilmektedir, uygun yöntemlerle bir türden diğerine dönüşebilmekte olup, farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

Genel bir tanım olarak enerji verimliliği; üretim sürecine dahil edilen öğelerin, birbirleriyle karşılıklı etkileşimleri sonucunda, elde edilen çıktıyı en uygun noktaya çıkaracak bir miktar ilişkisi içerisinde olmaları olarak tanımlanır [6].

Soğutma sisteminde enerji verimliliğini etkileyen temel faktörler aşağıda verilmiştir.

1. Mevcut sistem ve sistem elemanları için uygun tedbirlerin alınması,
2. Alternatif çevrimler ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasıyla oluşturulan alternatif soğutma çevrimlerinin kullanılması,
3. 3. Soğutma sistemi için uygun soğutucu akışkan seçimi.

## Soğutma Sistemi Elemanlarında Alınacak Tedbirler

Soğutma Sisteminin performansı, ana soğutma sistemi elemanları olan kompresör, buharlaştırıcı, yoğunlaştırıcı ve genleşme valfinin uygun olarak seçimi ve boyutlandırmasına bağlıdır.

## Kompresörde Verimliliğini Artırmak İçin Yapılması Gerekenler

Soğutma için kullanılan enerjinin büyük bir kısmı, soğutma kompresörlerinde veya onları çalıştıran motorlarda kullanılmaktadır. Kompresörlerin verimliliğini arttırmak için alınacak tedbirler, soğutma yükünü azaltmak için yapılan tüm düzeltici işlemler kadar tasarruf sağlamaktadır. Kompresörlerin geliştirilmesi yüksek maliyetli olup, bu işlemler için bazı temel parçaların değiştirilmesini veya eklenmesini gerektirir. Soğutma yükünü azaltmak için düzeltici önlemlerin yanı sıra kompresörlerin verimliliğini arttırmaya yönelik önlemler de tasarruf sağlayacaktır. Bu önlemler ise [4];

1. Kompresör motoru arızalandığında daha verimli bir motorla değiştirilmesi,
2. Kompresör tek kademeli değilse, motor büyük olasılıkla kısmi yükte çalışacaktır. Bir motorun kademeli veya modülasyonlu bir kompresörün motoru değiştirirken, motor kısmi yük verimliliğine göre seçilmesi tercih edilmelidir.
3. Motorda değişken frekanslı elektronik sürücüler varsa, bu sürücülerde kullanılan motorların özel gereksinimleri dikkate alınması gerekmektedir,
4. Verimsiz kompresörler verimli kompresörlerle değiştirilmesi fayda sağlayacaktır,
5. Hala çevresel etkisi nedeniyle aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması gereken bir soğutucu akışkan kullanılıyorsa, kompresörü değiştirmek, soğutucu akışkanı da değiştirmek için fırsat yaratır. Uyumluluk sorunlarının çoğu kompresörlerden kaynaklanır. Bu sorun, değiştirme aşamasında yeni soğutucu akışkan için tasarlanmış bir kompresör kullanılarak önlenir. Yeni kompresörler, yeni soğutucu akışkanlarla maksimum verim elde etmek için tasarlanmıştır,

gibi önlemler alındığında soğutma sisteminde en çok enerjinin harcandığı kompresör cihazı istenilen verimlilikte çalışacaktır.

### **Evaporatörde Verimliliğini Artırmak İçin Yapılması Gerekenler**

Evaporatörler, kirlilik nedeniyle ısı transfer verimini kaybedebilirler. Kirlilik ve tıkanıklık enerji tüketimini artırır ve evaporatör kapasitesinde azalmaya yol açar. Kirlenmeyi ve tıkanıklığı azaltmak ve ısı transfer verimliliğini artırmak için evaporatörde türbülator kullanılmaktadır. Türbülator, evaporatöre yerleştirildiğinde evaporatörde kirlenmeyi azaltır ve ısı transfer verimliliğini arttırmaktadır [4]. Evaporatör yüzeylerinin kirlenmesi, iç kısımlarında tıkanıklığın oluşması evaporatörde verilen bir sıcaklığı temin etmek için daha düşük bir sıcaklıkta çalışmaya zorlayarak enerji tüketiminde artışa neden olur. Evaporatördeki kirlenme kondenserdeki kirlenmeden daha az olur ve genellikle temizlenmesi daha kolay olmaktadır. Yine de boruya zarar vermemeye dikkat edilmelidir. Kirlilik eğer evaporatör içinde ise sistemde büyük sorunlara yol açmaktadır. Böyle bir durum tüm sistemin kimyasal yöntemler aracılığı ile temizlenmesine sebep olabilir.

### **Kondenserde Verimliliğini Artırmak İçin Yapılması Gerekenler**

Soğutucu akışkan yoğuşma (kondenzasyon) sıcaklığı genel uygulamalarda hava giriş sıcaklığının 6-20°C üzerinde olacak şekilde düşünülmektedir. Yoğuşma sıcaklığı seçimi sistemin çalışacağı ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu durumda uygulamalarda yaygın olarak yoğuşma sıcaklığı 30-60°C arasında kabul edilir.

Yoğuşma sıcaklığı belirlenmesinde dikkat edilen etkenler [4]:

1. Ortam sıcaklığı,
2. Soğutucu akışkanın ısısal fiziksel özellikleri
3. Seçilmiş olan kompresörün özellikleri
4. Kondenser boyutlarıdır.

Yüksek yoğuşma sıcaklığı kompresörde verimlilik düşürücü ve kullanım ömrünü azaltıcı etkiler çıkarabilir. Sistemin dizaynında kondenzasyon sıcaklığının düşük tutulması sistem için yararlı olacaktır. Fakat bazı koşullarda kondenzasyon sıcaklığının düşük seviyelerde alınması mümkün olamaz. Dış ortam sıcaklığının 50-60 °C derece olduğu Afrika ülkelerinde yoğuşma sıcaklığı yüksek seviyelerde alınmalıdır [4].

### **Genleşme Valfinde Verimliliğini Artırmak İçin Yapılması Gerekenler**

Genleşme valfleri soğutma sistemindeki yüksek basınç bölgesi ile düşük basınç bölgesini birbirinden ayıran elemanlardır. Soğutucu akışkanın basıncını buharlaştırıcı basıncına düşürmeye yarayan elemanlardır. Ayrıca yoğuşturucu arasındaki basıncın düşmesini engelleyip soğutucu akışkanın sıvı halde bulunması gerçekleştirir [7]. Genleşme valflerinden verimli şekilde yararlanabilmek için, sistem yabancı maddelerden, yüksek nemden ve korozyon gibi etkilerden muhafaza edilmelidir. Valfi bu gibi etkilerden muhafaza etmek için sisteme, pislik tutucu, filtre ve kurutucu eklenmesi tavsiye edilir [8].

### **Alternatif Soğutma Çevrimleri**

Tek kademeli buhar sıkıştırımalı soğutma çevrimi (BSMS), en geleneksel soğutma çevrimidir. Çevrim performansını iyileştirmek için birçok alternatif soğutma çevrimleri söz konusudur. Bu çevrimler, absorpsiyonlu soğutma çevrimi gibi çalışma prensipleri bakımından BSMS'den farklı olabilir. Absorpsiyonlu soğutmada ısı enerjisi kullanıldığından mekanik veya elektrik enerjisine fazla ihtiyaç duyulmamaktadır. Absorpsiyon yöntemi ile çalışan soğutma çevrimlerinde birincil enerji olarak buhar veya sıcak su kullanılmaktadır. Bu sistemlerle güneş

enerjisi, jeotermal enerji veya endüstriyel atık ısının kullanımıyla güvenilir bir soğutma yapılabilmektedir. Absorbsiyonlu soğutma sistemi, buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma sistemine oldukça benzerdir. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde absorbsiyonlu ve klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinin birlikte düşünülmesi sistemin verimini artırmak için yapılabilecek iyileştirmeler ve geliştirilen uygulamalar kapsamında düşünülebilir. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde absorbsiyonlu ve klasik buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan absorbsiyonlu-buhar sıkıştırılmalı kombine ve absorbsiyonlu-buhar sıkıştırılmalı kaskad soğutma sistemlerinin analizi literatürden görülmektedir [9-12].

Bu çevrimlerin dışında ejektör, çok kademeli sıkıştırma ve kaskad gibi çevrimin yapısında değişiklikler yapılarak alternatif çevrimler oluşturulabilir [13-17].

Bu oluşturulan alternatif sistemlerle soğutma amaçlı tüketilen enerji azaltılmakla birlikte çevre dostu soğutucu akışkanların kullanılması da mümkün olmaktadır.

### **Soğutma Sistemleri İçin Farklı Soğutucu Akışkanlar**

Soğutma sistemlerinin verimli çalışabilmesi için sisteme uygun soğutucu akışkan seçimi önemli bir etkidir. Çevrimde dolaştırılması gerekli olan soğutucu akışkan miktarı doğru bir şekilde belirlenmelidir. Çevrimde gerekenden daha az soğutucu akışkan olması durumunda sistemdeki sıvının dolaşımı yeterli bir debi ile sağlanamayacağından kompresörün emiş basıncı düşecek ve sistemin soğutma kapasitesi düşecektir. Soğutma sistemi sızıntılar veya kaçak olup olmadığını anlamak için daima takip edilmeli ve izlenmelidir. Kloroflor içerene soğutucu akışkanlar, Kyoto veya Montreal protokolleri kapsamında denetlenir. Bu nedenle, atmosfere soğutucu salınımını önlemek ve enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için soğutucu akışkanların kontrol altında tutulması ve potansiyel bir sızıntı veya kaçağın erken tespiti çok önemlidir [4].

Soğutucu akışkanların hal değişim işini ekonomik ve güvenilir şekilde yapabilmesi yani soğutma çevriminin verimli ve emniyetli bir şekilde çalışabilmesini sağlamak için bazı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Genel olarak soğutma sistemine seçilecek olan bir soğutucu akışkanda dikkat edilmesi gerek unsurlar aşağıda listelenmiştir [18].

1. Daha yüksek bir soğutmaya, daha az enerji sarf ederek ulaşmaktır.
2. Çevrimde kullanılan soğutucu akışkanın sahip olduğu buharlaşma ısısı üst seviyelerde olmalıdır.
3. Buharlaştırıda basıncın mümkün olduğunca yüksek olması istenir.
4. Kondenser basıncı mümkün olduğu kadar düşük olması istenir.
5. Viskozitesi düşük ve yüzey gerimi az olmalıdır.
6. Emniyetli ve güvenilir olmalıdır.
7. Hava ile temas ettiğinde yanıcı ve patlayıcı bir ortam yaratmamalıdır.
8. Düşük maliyetli ve temini kolay olmalıdır.
9. Kimyasal özellikleri kullanılacağı soğutma sistemine uygun olmalıdır.
10. Elektriksel özellikleri çevrimde kullanılacak kompresöre uygun olmalıdır.
11. Çalışma şartlarında sıcaklık ve basınç gibi en üst sınırlarda dahi ayrışıp çözülmemeli, sabit kalmalı ve tüm özelliklerini korumalıdır.

Son zamanlarda soğutma çevrimlerindeki gelişmeler ve küresel ısınmanın olumsuz yönleri, bu sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanların kullanımına son verilmesine sebep olmuştur. Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemlerinde son yıllarda genellikle içeriğinde hidrokloroflorokarbon (HCFC) ve kloroflorokarbon (CFC) bulunan soğutucu akışkanlar kullanılırken, küresel ısınma ve

ozon tabakasındaki tahrip nedeniyle son zamanlarda soğutma teknolojileri alternatif soğutucu akışkanlar bulmak için çalışmalar yapmaktadır [19].

### Soğutma Sisteminde Nano Soğutucu Akışkanların Kullanımı

Nanoakışkanlar yüksek bir ısı transferi sağlaması ile soğutma sistemlerinde uygulamasının giderek önem kazandığı yeni bir teknolojidir. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinde nanosoğutucu akışkanların kullanımı ile yapılan çalışmalarda sistemin COP ve ikinci kanun verim değerlerinde artış olduğu sonucu elde edilmiştir [20,21]. Nano soğutucu akışkanların kullanımı enerji tüketiminde önemli bir azalma, iş girdisi, temel soğutucu akışkana göre azalmasıyla COP değerlerinde artış, kompresör sürtünmesinde ve aşınmasında azalma sağlanabilir [22]. Nano parçacıkların soğutucu akışkanda katkı maddesi olarak ve BSMS'de yağlayıcı olarak uygulanması olumlu ve umut vericidir.

Nanoakışkanların soğutma sistemlerinde kullanımı, yüksek verimlilik ve daha düşük enerji tüketimini sağlamaktadır. Ayrıca çevresel açıdan da önemli bir alternatif bir seçenek sunar.

### Buhar Sıkıştırımlı Mekanik Soğutma Çevriminde Sıcaklık Değişimlerinin Sistem Parametreleri Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde, tek kademeli buhar sıkıştırımlı mekanik soğutma sisteminin farklı çalışma sıcaklıklarının sistem parametreleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Soğutma yükü ( $Q_{evap}$ ) 4 kW, kompresör izantropik verimi 0,80 alınarak farklı evaporatör ve kondenser sıcaklıklarının değişiminin soğutma etkinlik katsayısı olan COP'ye, kütleli debiye, kondenser yüküne ve kompresör işine etkisi incelenmiştir. Soğutma çevriminde R600a soğutucu akışkanının kullanıldığı kabul edilmiştir. Bu soğutucu akışkanının çevresel özellikleri bakımından (ODP=0, GWP=20) soğutma sistemleri için alternatif soğutucu akışkan olduğu söylenebilir.

Analiz edilen çevrim için aşağıdaki denklemler yazılabilir [23]:

Kütle korunumu:

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

Enerjinin korunumun:

$$\sum E_g - \sum E_ç = \frac{\Delta E_{sistem}}{dt} = 0 \quad (2)$$

Birinci kanun analizinde soğutma etkinlik katsayısı kanunun etkinlik parametresini ifade etmektedir. Bu durumda ideal bir soğutma çevrimindeki soğutma etkinlik katsayısı (COP-Coefficient of Performance);

$$COP = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer (Soğutma etkisi)}}{\text{Harcanan değer (İş girişi)}} = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir.

### Sistemin Farklı Evaporatör Sıcaklıklarına Göre Analizi

R600a soğutucu akışkanı için soğutma yükü  $Q_{evap} = 4$  kW ve sabit  $T_{kond} = +40^\circ\text{C}$  çalışma koşullarında evaporatör sıcaklıklarının  $-16, -12, -8, -4, 0, +4, +8, +12$  ve  $+16$  °C kabulü ile farklı soğutucu akışkanlarda çevrimlerin COP, kompresör işi ( $W_{kom}$ ), kütleli debi (m) ve kondensere atılan ısı miktarı ( $Q_{kond}$ ) değerleri hesaplanmış olup değerleri Tablo1'de verilmiştir. Buna göre evaporatör sıcaklığı arttıkça kompresörün tükettiği iş azaldığından COP değerlerinin arttığı görülmektedir. Soğutma çevrimlerinde kompresörün tükettiği enerjinin düşük olması istenmektedir. Benzer şekilde artan evaporatör sıcaklıklarında kondenser yükünün de ( $Q_{kond}$ ) azaldığı sonucu elde edilmiştir.



**Tablo 1. R600a soğutucu akışkan sabit kondenser sıcaklığında değişimleri**

$T_{\text{evap}}$ (°C)	COP	$W_{\text{komp}}$ (kW)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q_{\text{kond}}$ (kW)
-16	2,79	1,432	0,0167	5,432
-12	3,12	1,283	0,0163	5,283
-8	3,50	1,143	0,0160	5,143
-4	3,95	1,012	0,0156	5,012
0	4,50	0,889	0,0153	4,889
+4	5,17	0,774	0,0150	4,774
+8	6,00	0,666	0,0147	4,666
+12	7,08	0,565	0,0144	4,565
+16	8,53	0,469	0,0141	4,469

### Sistemin Farklı Kondenser Sıcaklıklarına Göre Analizi

R600a soğutucu akışkanı için evaporatör sıcaklığının  $T_{\text{evap}}=4^{\circ}\text{C}$  de sabit tutulup kondenser sıcaklıkları  $T_{\text{kond}}=+30^{\circ}\text{C}$ ’ den başlayarak +34, +38, +42, +46 ve +50  $^{\circ}\text{C}$ ’ ye kadar artırarak oluşturulan çevrimlerin COP, kompresör işi ( $W_{\text{komp}}$ ), kütleli debi ( $\dot{m}$ ) ve kondenserden atılan ısı miktarı ( $Q_{\text{kond}}$ ) hesaplanmış olup değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre kondenser sıcaklığı arttıkça COP değerlerinin azaldığı görülmüştür. Buna karşın artan kondenser sıcaklıklarında kompresörün tükettiği enerjinin de arttığı sonucu elde edilmiştir.

**Tablo 2. R600a soğutucu akışkan sabit evaporatör sıcaklığında değişimleri**

$T_{\text{kond}}$ (°C)	COP	$W_{\text{komp}}$ (kJ/kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q_{\text{kond}}$ (kW)
+30	7,57	0,528	0,0137	4,528
+34	6,42	0,623	0,0142	4,623
+38	5,54	0,722	0,0147	4,722
+42	4,83	0,828	0,0153	4,828
+46	4,26	0,940	0,0159	4,940
+50	3,77	1,060	0,0166	5,060

### Sonuçlar

Bu çalışmada, buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma çevriminde enerji verimliliği yöntemleri incelenmiştir. Bu soğutma sistemlerinin temel elemanları olan kondenser, evaporatör, kompresör ve genleşme valfinde enerji verimliliğini arttırmak için alınacak tedbirlerin analizleri yapılmıştır. Çalışmada sistem elemanlarından evaporatör ve kondenserin farklı çalışma sıcaklıklarının sistem parametreleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Buna göre artan evaporatör sıcaklıklarında sistemin COP değerlerinin arttığı, buna karşın artan kondenser sıcaklıklarında ise COP değerlerinin azaldığı sonucu elde edilmiştir. Buhar sıkıştırılmalı mekanik soğutma çevriminde enerji tüketimini azaltmak ve çevre korumasını sağlamak amacıyla uygun olabilecek soğutucu akışkanların belirlenmesi ve sistem elemanlarının istenen kriterler de olması bu sistemlerde enerji verimliliğini arttıracaktır.

**Semboller**

COP	: Soğutma tesir katsayısı
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
ODP	: Ozon Delme Potansiyeli
T	: Sıcaklık, [°C]

*Alt indisler*

ç	: Çıkan
evap	: Evaporatör
g	: Giren
komp	: Kompresör
kond	: Kondenser

## Kaynaklar

- [1]. Saraç, B., Otomobil Klima Sisteminin Modellenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2009.
- [2]. Çelik, E. E., Tek ve Çift Kademeli Absorpsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Simülasyonu ve Kıyaslaması. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2003.
- [3]. Yakın, M. (2007). Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevriminde Ejektör Kullanımının Performansa Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 202915.
- [4]. İsa, K., Onat, A., (2012). İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği (1). Altan Basım Ltd. Şti., Yüzyıl Matbaacılar Sitesi Bağcılar / İstanbul: Doğa Yayıncılık Ltd. Şti.
- [5]. Kalkışım, A.T., (2015). Otomobil Klima Sistemleri İçin Alternatif R152a Gaz Kullanımı ve Anfis Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 392081.
- [6].Değirmen, M. (2015). Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği Ve Enerji Verimliliği Optimizasyonunda Altı Sigma Metodolojisinin Kullanılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana, 417610.
- [7].URL1[https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/5203/mod\\_resource/content/0/Hafta%208.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/5203/mod_resource/content/0/Hafta%208.pdf).
- [8].URL2:<http://www.totem.com.tr/Termostatik%20Genlesme%20Valflic230.pdf?id=486>.
- [9]. Cimsit, C., Ozturk, İ., Applied Thermal Engineering, Volume 40, July 2012, Pages 311-317.
- [10].Vaibhav Jain, V., Kachhwaha, S.S., Sachdeva, G., Thermodynamic performance analysis of a vapor compression–absorption cascaded refrigeration system, Energy Conversion and Management, Volume 75, November 2013, Pages 685-700.
- [11]. D. Colorado, V.M. Velázquez, Exergy analysis of a compression–absorption cascade system for refrigeration, International Journal of Energy Research, 27 February 2013.
- [12]. Zhang, H., Pan, X., Chen, J., Xie, J., Energy, exergy, economic and environmental analyses of a cascade absorption-compression refrigeration system using two-stage compression with complete intercooling, Applied Thermal Engineering, Volume 225, 5 May 2023, 120185.
- [13].Wang, Q., Li, T., Jia, Y., Zhang, W., Thermodynamic performance comparison of series and parallel two-stage evaporation vapor compression refrigeration cycle, Energy Reports 7 (2021) 1616–1626.
- [14].Saleh, B., Aly, A. A., Alsehli, M., Elfakhany, A., Bassuoni, M., Performance Analysis and Working Fluid Selection for Single and Two Stages Vapor Compression Refrigeration Cycles, Processes 2020, 8, 1017.
- [15].Aktehur, C., Ozturk, İ.T., Cimsit, C., Comparative energy and exergy analysis of a subcritical cascade refrigeration system using low global warming potential refrigerants, Applied Thermal Engineering Volume 184, 5 February 2021, 116254.

[16].Bilir, N., Ersoy, H.K., Performance improvement of the vapour compression refrigeration cycle by a two-phase constant area ejector, *Int. J. Energy Res.*2009;33:469–480.

[17].A. Selvaraju, A. Mani, Experimental investigation on R134a vapour ejector refrigeration system, *International Journal of Refrigeration*, Volume 29, Issue 7, November 2006, Pages 1160-1166.

[18].Gökay, İ. (2012). Ejektörlü Soğutma Sistemlerinde R410a Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 326981.

[19].Alan, A. (2011). Çift Kademeli CO<sub>2</sub>' Li Soğutma Sistemlerinde Genleşme Türbini Kullanımının Enerji Potansiyeline Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 295063.

[20].Bilen, K., Dağdır, K., Arcaklıoğlu, E., (2017). Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevriminde R134a yerine R1234yf ve R1234yf/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile R1234yf/CNTs Nanosoğutucu Akışkanların Kullanımının Termodinamiğin I. ve II. Kanunları Bakımından Teorik Olarak İncelenmesi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 7 (3), 183-195.

[21].Pawale, K. T., Dhumal, A. H., Kerkal, G. M., Performance Analysis of VCRS with Nano-Refrigerant, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 04 Issue: 04 | Apr -2017.

[22].Babarinde, T. O., Akinlabi, S. A., Madyira, D. M., Enhancing the Performance of Vapour Compression Refrigeration System using Nano Refrigerants: A review, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 413 (2018).

[23]. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Çoşkun, S., Soğutma Tekniği ve Uygulamalar, *Vipaş A.Ş., Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa, 2002.*

# Maden Aramalarında Kullanılan Yöntemler

Hüseyin SENDİR<sup>1</sup>

## Giriş

Madenler, tarih boyunca toplumlar için kritik bir öneme sahip olmuştur. Modern toplumda, madenler enerji üretimi, inşaat, elektronik, ulaşım ve diğer birçok sektörde kullanılan anahtar materyalleri sağlarlar. Ancak, dünya genelinde maden kaynaklarının sınırlı olması, maden arama ve değerlendirme süreçlerinin sürekli olarak geliştirilmesini gerektirmektedir. Dünya ekonomisinin temel yapı taşlarından biri olan madencilik sektörü, endüstriyel üretimin ve enerji tüketiminin ana kaynaklarından biridir. Doğal kaynaklar üzerindeki bu yoğun talep, maden arama ve çıkarma faaliyetlerini önemli ve karmaşık bir süreç haline getirmiştir. Madenlerin doğru bir şekilde keşfedilmesi, sürdürülebilir kalkınma, enerji üretimi, inşaat sektörü, elektronik endüstrisi ve daha birçok alandaki faaliyetlerin temelini oluşturur. Bu nedenle, maden arama yöntemleri, bilim insanları, mühendisler ve çevre uzmanlarının ilgisini çeken kritik bir konu haline gelmiştir (Hartman & Mutmansky, 2002).

Maden arama süreci, yer yüzeyinin altında bulunan değerli minerallerin, metallerin, enerji kaynaklarının ve diğer doğal kaynakların belirlenmesini içerir. Bu süreç, ekonomik fayda sağlayacak maden rezervlerinin kesin bir şekilde tanımlanmasını, çıkarma işleminin planlanmasını ve çevresel etkilerin minimize edilmesini amaçlar. Ancak, bu süreç oldukça karmaşık ve çok disiplinli bir yaklaşım gerektirir (Kesler & Simon, 2015).

Bu bağlamda, maden arama yöntemleri, modern bilim ve teknolojinin birleşimini kullanarak yeraltı kaynaklarının keşfedilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde işlenmesi için çeşitli araştırma ve geliştirme faaliyetlerine dayanır. Jeofizik, jeoloji, jeokimya, sondaj teknolojileri ve veri analizi gibi alanlardan elde edilen bilgiler, maden arama ve değerlendirme süreçlerini yönlendiren anahtar unsurlardır.

Bir maden yatağının aranması, bulunması ve incelenmesi uzun vadeli bir süreçtir; arama düşüncesinin oluşturulmasıyla başlar, cevher belirtilerinin değerlendirilerek bir ekonomik maden yatağı bulunmasıyla devam eder ve cevherin tükenmesiyle son bulur.

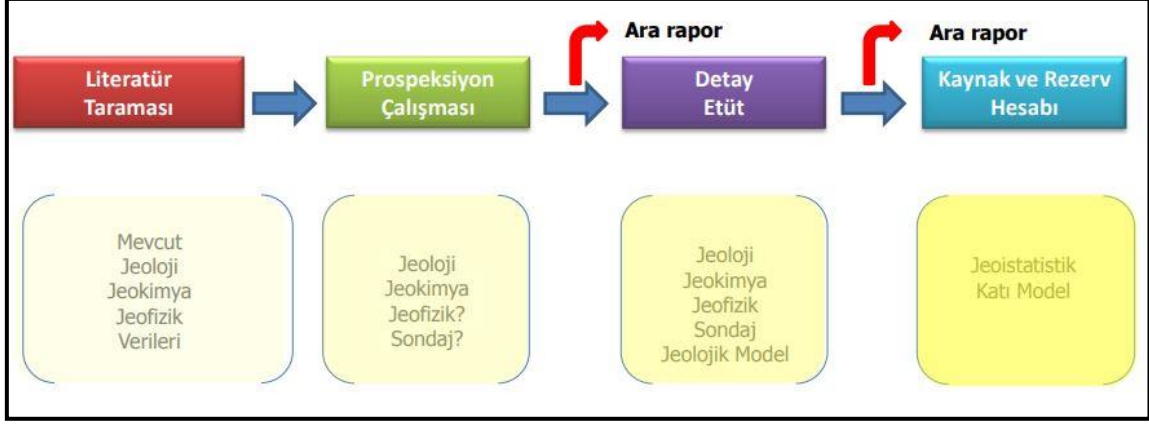
## Maden Arama Yöntemleri

Maden yataklarının aramalarında kullanılan jeolojik incelemeler, hava fotoğraflarının değerlendirme sonuçlarını, arazi çalışmaları ile elde edilen jeolojik-tektonik haritaları, petrografik tayinleri ve maden yatakları çalışmalarını kapsar. Ayrıca bir dizi laboratuvar çalışması yapılır. Yapılan bu tür çalışmalar ile yatak şekilleri ve büyüklükleri ile cevher dağılımı belirlenir ve böylece prospeksiyon bölgeleri ile prospeksiyon yöntemlerinin seçimi için bazı önemli bilgiler elde edilir. Arazi çalışma yöntemi, ulaşılması istenilen amaca, bölge hakkında mevcut bilgilere, eldeki malzemelere, yersel jeolojik ve yapısal imkanlara göre belirlenir (MTA, 2013) (İşleker, 2017).

Maden yataklarının aranması (prospection), yer kabuğunda bulunan cevher zuhurlarının aranması, diğer bir deyişle cevherce ümitli bölgelerin incelenmesi, işletilebilir cevher konsantrasyonlarının bulunması ve bunların ekonomikliği konusunda gerekli verilerin

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Orcid:0000-0001-7252-7117

sağlanmasını esas alan dönemdir. Yeni cevher zuhurlarının bulunmasını hedef alan bu dönemde arazi gözlemleri esastır. Prospeksiyon sırasında genel jeoloji, tektonik, stratigrafi, petrografi, paleontoloji, jeofizik, jeokimya, jeomorfoloji, maden yatakları ve maden ekonomisi gibi jeolojinin birçok dalına ait teorik ve pratik bilgilerden faydalanılır. Ancak jeoloji, jeofizik ve jeokimya ile ilgili arazi çalışmaları prospeksiyon çalışmalarının ana bileşenleridir (MTA, 2013) (Şekil 1).



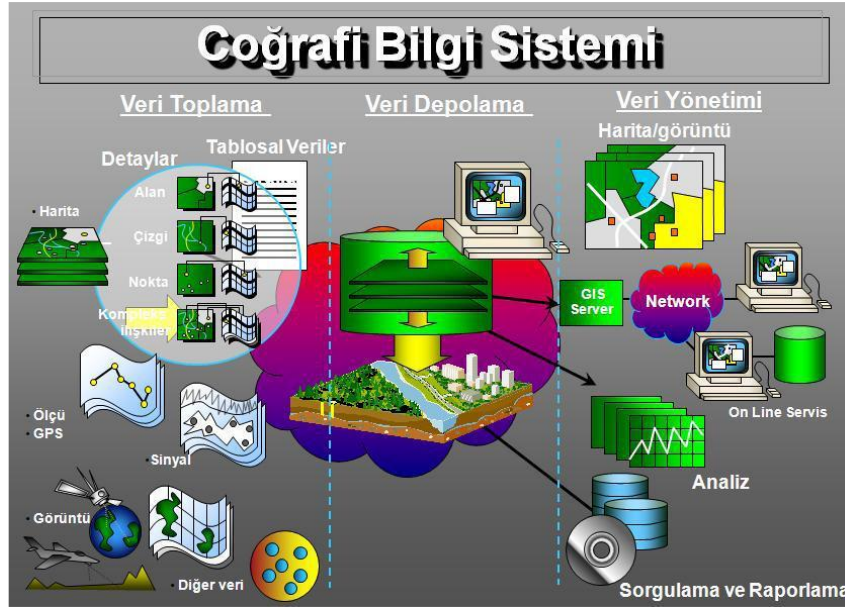
Şekil 1. Maden arama çalışmalarını aşamaları.

Arama (Prospection) ve Araştırma (Exploration) dönemlerinin ayrılması konusunda kesin bir sınır olmamakla birlikte hala tartışılmaktadır. (Gocht&ark.,1978), prospeksiyonu yer kabuğunda yeni hammadde zuhurlarının bulunmasını sağlayan bir dönem olarak nitelendirmiş, prospeksiyon programları çerçevesinde fotojeolojik, jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal prospeksiyon yöntemlerinin uygulanmasını önermiştir. Buna karşılık araştırma dönemi için; zuhurların değerlendirilmesi, rezerv miktarlarının hesaplanması amacıyla yarma açma, numune alma ve numunelerin analiz edilerek değerlendirilmesi gibi madencilik çalışmalarının yürütülmesi gereği üzerinde durulmuştur. Ayrıca yazar her iki dönemi ön ve detay olmak üzere iki alt bölüme ayırmıştır. Öte yandan (Peters, 1978) geleneksel prospeksiyon kavramını explorasyon kavramı içinde bir bölüm halinde ele alarak, maden arama dönemlerini daha farklı bir tarzda düzenlemiştir. (Kuzvart&Böhmer, 1986) ise maden yataklarının arama ve değerlendirmesini yukarıdaki iki araştırmacıdan farklı olarak ön prospeksiyon, detay prospeksiyon, genel araştırma, ön araştırma, detay araştırma, işletme esnasındaki araştırmalar olmak üzere 6 dönemde tarif etmişlerdir (MTA, 2013).

### GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi)

CBS, geometrik ve geometrik olmayan verilerin, yönetim, personel, yazılım, donanım yardımıyla; veri değişim standartlarına uygun şekilde bir araya getirilerek depolanması, analiz edilmesi, sorgulanması, kullanıcıların isteklerine cevap verecek biçimde tasarlanması ve hizmete sunulması ile oluşan teknolojik bir sistemdir. Bu sistem, coğrafi varlık ve olaylara ait tüm verilerin toplanmasının ve depolanmasının yanı sıra güncelleştirilmesini, sentezlenmesini ve alternatif stratejiler üretilmesini çok kısa bir sürede yapabilen bir teknolojik sistemler bütünüdür. Bu gibi özellikler CBS 'yi diğer bilgi sistemlerinden ayırmakta ve eski haritalama yöntemlerini bir kenara itmektedir. Bu yüzden dünya üzerinde birçok ülkede kamu kuruluşlarında ve özel birçok kuruluşta yaygın bir hale gelmiştir (Arca, 2010).

CBS 'nin özelliklerinden biri de analiz işlemlerine olanak sağlamasıdır. Klasik sistemlerle çok zaman alacak analiz işlemleri CBS yardımıyla çok daha hızlı ve basit bir şekilde yapılabilmektedir. Bu nedenle CBS 'ler günümüzde kullanıcıların vazgeçilmez araçlarından biri haline gelmiştir (Cömert&Bostancı 1999) (Şekil 2).



Şekil 2. CBS'in genel görünümü (Başarsoft, 2009).

## Uzaktan Algılamannın ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Jeolojide Kullanımı

Uzaktan algılama, elektromanyetik radyasyonun uzakta bulunan objelere etkileşimde bulunup yansımaları sonucunda algılanan objenin özelliklerini ortaya çıkaran bir teknolojidir. Uzaktan algılama, jeolojide doğada yüzeylenmiş durumda bulunan kayaç ve toprakların bileşimsel özelliklerinden yararlanarak ayırt edilmesinin yanında değişik boyut ve ölçekteki tektonik özellikleri de ortaya çıkarabilir. Jeolojik haritalama, maden aramaları, petrol ve yeraltı suyu olanakları, mühendislik jeolojisi uygulamaları yanında jeolojik ve jeokimyasal risk faktörlerinin uzaktan algılamada kullanımı oldukça yaygındır (Arca&Çıtıroğlu, 2011).

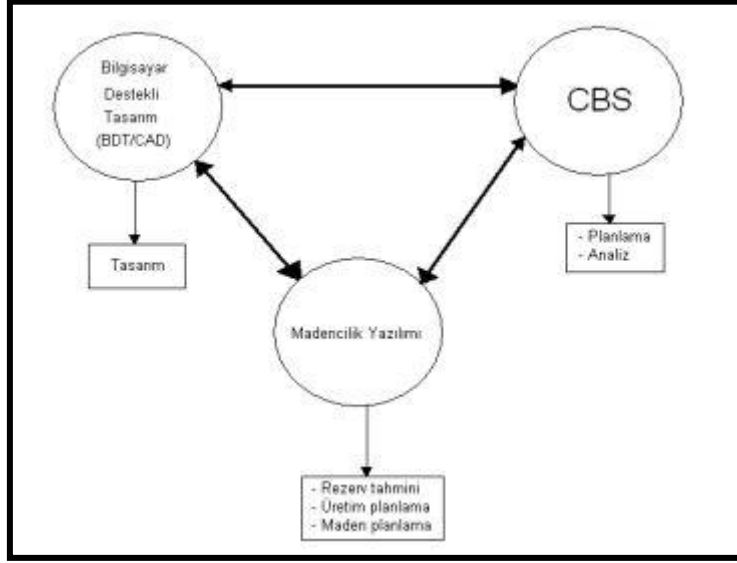
CBS ise birçok alanda olduğu gibi jeolojik çalışmalarda da önemli bir kullanım alanına sahiptir. CBS ile üretilen veri kaynakları, çalışılan alanların jeolojik yapı ve jeomorfolojisinin yorumlanmasında büyük katkı sağladığı gibi bir takım sayısal sonuçların da elde edilmesiyle önemli kolaylıklar sağlar. CBS yeryüzünde coğrafya ile ilişkilendirilecek her türlü veriyi haritalamaya ve konumsal veriler arasında ilişki kurmaya yönelik bir bilgi sistemidir. CBS; çok miktarda konumsal ve konumsal olmayan veriyi biriktirme, üzerinde değişiklikler yapabilmek, bu verilere yönelik istatistiksel çözümleme ve gösterebilme özelliğine sahiptir. Bütün bu özellikleri ile CBS diğer bilgi sistemlerinden ayrılır ve sonuçların kolay ve hızlı algılanması açısından da ilişkisel veri tabanı ile bilgisayar destekli tasarım paketleri gibi diğer sistemlere üstünlük sağlar (Arca&Çıtıroğlu, 2011).

## Madencilik Sektöründe CBS ve Uzaktan Algılamannın Kullanımı

Madencilik uygulamalarında farklı amaçlar için farklı yazılımlar geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları yer kabuğu modelinin 3Boyutlu rezerv tahmininin yapıldığı Surpac, cevher ve kazı-dolguya ait hesaplamaların yapılabildiği Techbase, blok model oluşturmada kullanılan Datamine, döküm proseslerinin modellenmesi ve döküm parça tasarımının yapıldığı Vulcan, 3 Boyutlu modelleme yapan Minesight, 3B modelleme, analiz ve sorgulama yazılımı olan Arc/Info/Gis gibi özel yazılımlar görülmektedir (Dereli&ark., 2010).

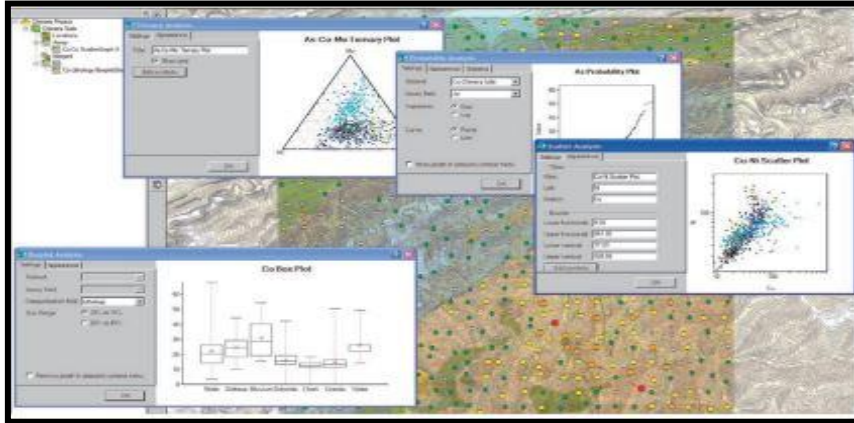
Son yıllarda CBS ile Madencilik entegrasyonu (Şekil 3) sayesinde yeraltı ve açık ocak madenciliğinin pek çok safhalarında uygulamalar giderek artmaktadır. Maden işletme haklarının yönetimi, maden arama faaliyetleri, tasarım ve yer seçimi, çevre etki

değerlendirmesi, üretim, güvenlik ve maden rehabilitasyonu CBS'nin madencilikteki başlıca kullanım alanlarını teşkil etmektedir (Dereli&ark., 2010).



Şekil 3. CBS ve Madencilik Faaliyetlerinin Birlikte İşlerliği (Dereli&ark., 2010).

Madencilikte kaynak araştırması CBS teknolojisine efektif bir cevap verebilen pek çok soru akla getirir. İşte CBS akla gelen bu soruları yöneterek karmaşık olan iş akış şemasını mekânsal bağlamda analiz ederek sonuçları bizlere göstermektedir. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan ArcGIS son dönemlerde madencilik faaliyetlerindeki kullanımını etkinleştirmiş ve bu kapsamda yeni güncellemeler ile sorgulama imkanı ve görselleştirme olanağı sunmaktadır (Şekil 4) (Dereli&ark., 2010).



Şekil 4. ArcGIS Yazılımı ile Elde Edilen SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) ve Yüzey Haritaları ile Bazı Analizler (Dereli&ark., 2010).

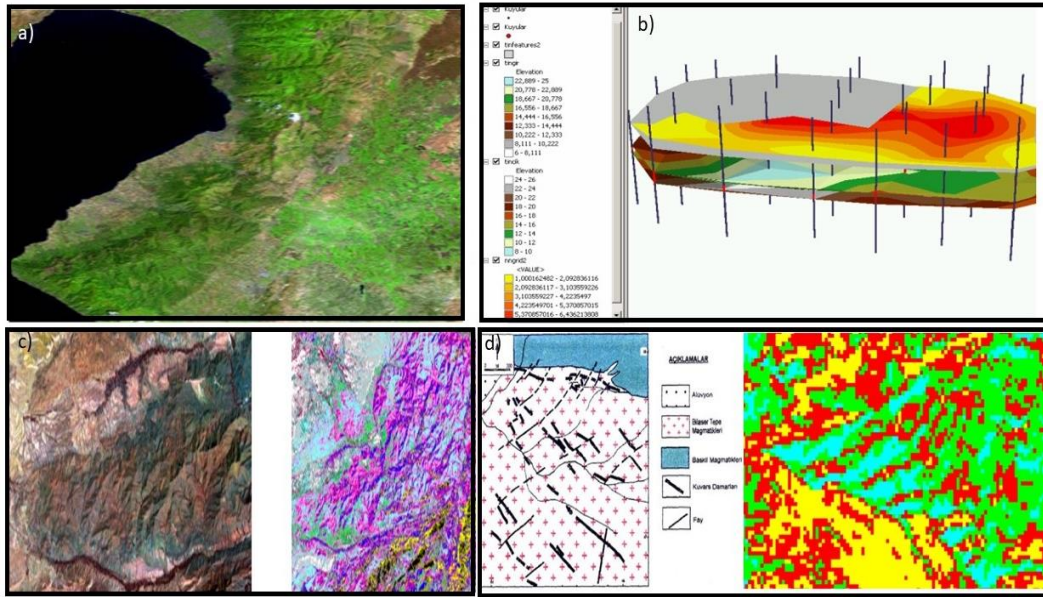
Öncelikle çok geniş sahalarda araştırma yaparak, potansiyel maden sahalarının bulunmasını amaçlayan madencilik faaliyetleri, bir bakıma “geniş bir balık ağının daraltılarak son aşamada ağ içinde kalan balıkların toplanmasına” benzetilebilir. Arama ruhsatı almış olduğunuz binlerce hektarlık alanlarda “acaba hangi lokasyonlarda cevherleşme vardır?” sorusu geçmişten günümüze tüm madencilerin aklını kurcalar. Jeoloji biliminin gelişmesi ile sistematik kazanan bu alan daraltma çalışmaları, uzaktan algılama yöntemlerinin kullanımı ile büyük bir ivme kazanmış ve özellikle erişilmesi zor bölgelerde madenlere ait yansıma ve renk farklılıklarının uydular tarafından görüntülenmesi sonucu çok zengin bakır, kalay, çinko gibi metalik maden yatakları keşfedilmiştir. Günümüzde, uydu görüntülerinin eriştiği hassasiyet (çözünürlük) 1 m'nin altına inmiş durumdadır (Dereli&ark., 2010).



Öte yandan, bir ruhsat sahasında ön araştırma yaparken kullanılan verilerin çeşitliliği ve miktarı, CBS kullanımı için ideal bir ortam oluşturmaktadır. Maden sahasına ait jeoloji, tektonik, toprak sınıfı haritaları, topoğrafik haritalar gibi sayısal nitelikte olan veriler ile sondaj, yarma raporları, jeolojik formasyonlara ait raporlar gibi tablo (öznitelik) verilerinin en verimli ve sistematik biçimde değerlendirilmesi gerekir ki cevherleşmelerin doğru bir modellenmesi yapılabilir. İşte CBS, bu aşamada klasik yöntemlerle kıyaslandığında eşsiz çözümler üretmektedir; çünkü grafik veriler sözel veriler ile ilişkilendirilmekte ve bu işlem sonucunda oluşan CBS, her türlü verinin sorgulanmasında, analizinde, modellenmesinde ve sunumunda tam bir bilgisayar otomasyonu sağlamaktadır (Dereli&ark., 2010).

### Potansiyel Maden Alanlarının GIS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Belirlenmesi

- Sahaya ait en uygun uydu görüntüsünün temin edilmesi (Şekil 5a).
- Sondaj verilerinin CBS-GIS ortamına aktarılması (Şekil 5b).
- Uydu görüntülerinin rektifikasyonu.
- Görüntü zenginleştirme işlemleri.
- Jeofiziksel kayıtların GIS ortamında değerlendirilmesi.
- Jeolojik haritalarının uydu görüntüsü ile karşılaştırılması.
- Yönlendirilmiş ve Yönlendirilmemiş Sınıflandırma. (Şekil 5c, 5d).



Şekil 5. a) Uydu görüntüsü örneği, b) Sondaj verilerinin CBS/GIS ortamına aktarılması, c) Yönlendirilmemiş sınıflama örneği, d) Yönlendirilmiş sınıflama örneği (Dereli&ark., 2010).

### Jeokimyasal Prospeksiyon

Maden yataklarının en önemli prospeksiyon basamaklarından biri de jeokimyasal prospeksiyondur. Bu prospeksiyon yöntemi jeolojik ve jeofizik gibi diğer arama yöntemlerine paralel veya bunlarla ilişkili olarak yürütülür. Bu prospeksiyon, cevherleşme bölgelerinde ya doğrudan yatak çevresinde bulunan kayaç, toprak, bitki ve dere sedimanlarından veya yataktan çok uzak mesafelerde boşalan su kaynaklarından alınan örnekler için belirli elementlerin belirli norm değerleri üzerinde veya altında değerlere sahip olup olmadıklarının belirlenmesi esasına dayanır. Cevherli bölgelerde elementlerin yer kabuğundaki normal dağılım değerlerine (Klarck

değerleri) göre daha büyük değerlere sahip olması “Anomali değerleri” olarak tanımlanır. Jeokimyasal prospekiyonda bilinmesi gereken iki kavram daha bulunmaktadır. Bunlar “Gösterge (Indicator)” ve Kılavuz (Pathfinder)” element kavramlarıdır. Gösterge elementleri cevher oluşturan elementlerdir. Kılavuz elementleri ise cevherleşme ile ilişkili olup gösterge elementlerine göre daha geniş yayılım gösterirler. Örneğin; porfiri bakır yataklarının aranmasında Cu ve Mo gösterge, Zn, Mn, Au, Rb, Re, Te ise kılavuz elementler olarak kullanılır (Kırkoğlu, 1992).

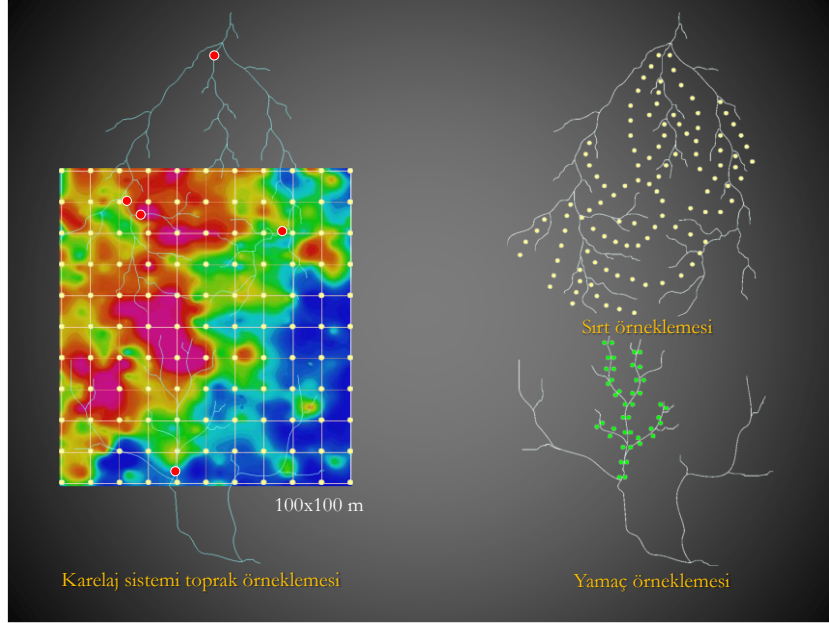
### **Toprak Örnekleme**

Bu yöntem daha sık kullanılmaktadır. Kaya yüzeylenmelerinin çok az gözlendiği veya örtülü olan alanlar varsa bu yöntem uygulanabilir. Örnek alımı ve hazırlanması işlemleri kolaydır (Şekil 6). Ancak istenilen element değerleri düşük olduğundan hassas cihazlarla analiz edilmelidir (MTA, 2013).



*Şekil 6. Toprak Numune Alımı*

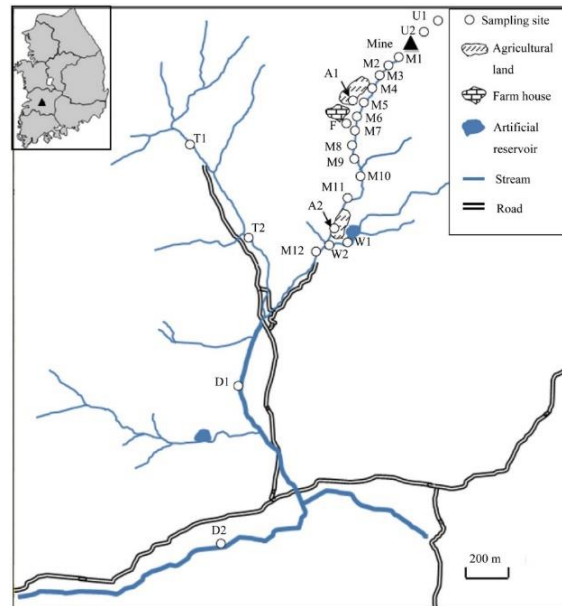
Maden yatakları ve çevresinde yer alan kayalar karasal ortam şartlarında yoğun fiziksel ve kimyasal ayrışmaya uğrarlar. Bu yolla ikincil element haleleri (zonları) oluşur. Hidromorfik (kimyasal) haleler şeklinde de tanımlanan bu oluşumlar, sulu çözeltiler halinde kayalar ve toprak örtülerine taşınan elementlerden kaynaklanır. Ayrıca yeraltı suları da metalleri toprak örtülerine kadar çözülmüş halde taşınabilir. Topraklar; kalıntı, taşınmış, olgun, juvenil, zonal ve azonal şeklinde sınıflanabilir. Toprak örnekleri anakayanın hemen üstünde yer alan ve onun parçalarını içeren zonlar (A zonu) değil onun üzerine gelen ve bitki örtüsün de bulunduğu organik maddece zengin (C zonu) zonun altındaki zondan (B zonu) alınır. Toprak anomalilerinin yayılımı; türedikleri yani üstünde buldukları kayaların anomalilerine göre daha gençtir. Topografik eğimin artışına paralel olarak bu özellik daha da artar. Topraklar, aranan cevherleşme ile ilişkili olarak oldukça geniş anomali alanları oluşturduklarından kaya anomalilerine oranla cevherli sahaların daha kolay belirlenmesini sağlarlar. Toprak örneklerinde uygulanacak örnek alım sıklığı, çalışılan harita ölçeğine bağlıdır (Şekil 7) (MTA, 2013).



Şekil 7. Karelaç sistemi toprak örnekleme, sirt örnekleme, yamaç örnekleme (MTA, 2013).

### Dere Kumu Örnekleme

Bir maden yatağı bölgesinde anomali veren toprak ve kaya kırıntıları derelere taşınıp onların şelale dipleri veya mendereslerinde birikebilir. Oralarda anomali verebilecek dere kumlarını oluştururlar. Dere sedimanları örnek alınan yerden itibaren dere yukarı çevredeki malzemeyi temsil eder. Genellikle  $\text{km}^2$ 'de 1-2 örnek veya ana dere boyunca  $\text{km}$ 'de 2-3 örnek alınmaktadır. Ancak detay etütlerde dere boyunca alınan numunelerin aralıkları 50-100 metre olabilir. Örneklerin dere kavşaklarının biraz daha yukarıdan alınmasına dikkat edilmelidir. Dere akış yönü yan kolların ana kollara onun da büyük ana kola birleştiği noktaların hemen üstünden örnek alınarak anomalinin nerden kaynaklandığı anlaşılabilir (Şekil 8) (Kırıkoğlu, 1992).



Şekil 8. Dere kumu örnekleme (MTA, 2013).

Metal içerikli sedimanlar; toprak ve kayaların gerek yüzeysel ayrışmaları gerekse yeraltı suyunun aşındırdığı ve taşıdığı malzemelerden meydana gelirler. Metaller çoğunlukla

sedimanlar içinde toprak tanecikleri şeklinde, daha fazla oranda da mineral taneleri şeklinde bulunurlar.

Bunlar kırıntılı mineral taneleri dışında kil minerallerine, demir ve manganez hidroksitlere, mineral kırıntılı tane yüzeylerine, organik maddelere bağlı olarak taşındıklarından mümkün olduğu kadar çok iri taneli kırıntılı malzeme alımından kaçınılması gerekir. Örnek içindeki aşırı organik malzeme bazen fazla miktarda metal birikimine neden olabilir. Bu durum incelemelerin yanlış yöne doğru kaymasına yol açar (Kırıkoğlu, 1992).

Derelerden derlenen sedimanlar 50 gr. ağırlığında ve 80 meş büyüklüğünde olmalıdır. Derlenen örnekler özel olarak yapılmış sağlam kağıt torbalara konulur ve bu torbalar ya güneş altında ya da kum banyosunda kurutulur. Naylon torbalarda bulunan örnekler kolayca kurutulamadığı ve bez torbalardakiler ise çok ince taneli sedimanları tutamadıklarından kullanılmazlar. Dere kumları yeterli miktarda ağır mineral içerdikleri takdirde tavalanarak (bateleme işlemi: panning) zenginleştirilirler. Bu yolla plaser yataklar aranabilmektedir. Dere kumuyla yapılan prospeksiyonlarda çok geniş bir alanı temsil edebilen örneklerin alınması, örnek alımı ve hazırlanmasının çok kolay ve ucuz olması bu yöntemin geniş ölçüde uygulanmasını sağlar (Şekil 9) (MTA, 2013).



Şekil 9. Dere kumu örnek alımı (MTA, 2013).

## Kayaç Örnekleme

Maden yataklarının arasında nispeten daha az uygulanan bu yöntemle oldukça sağlıklı ve güvenilir bilgiler elde edilir. Ayrıca elde edilen anomali değerleri yardımıyla çevre jeolojisinin problemleri de çözüme kavuşturulabilir. Ancak bu tür anomaliler bölgesel ölçekli arama çalışmalarında gerek zaman gerekse maliyet açısından diğer yöntemlere göre daha zor olduklarından uygulama alanları dardır. Kayaç jeokimyasının temelinde birincil yayılım haleleri (zon) yer alır. Bu haleler örneğin hidrotermal cevher kütlelerinin oluşumu sırasında metallerin yankayaç içine doğru yayılmasından (difüzyonundan) kaynaklanır. Elementlerin hareketliliklerine, yankayaçın özelliklerine ve ortamın fizikokimyasal koşullarına bağlı olarak cevher kütlesi etrafında zonlar oluşabilmektedir. Bu zonlar yatay ya da düşey yöntemlerde gelişebilir. Bu özelliklerden yararlanarak yüzeyde görülmeyen gizli kalmış (örtülü) yataklar bulunabilmektedir. Bu yöntemde örnek alım yeri, sıklığı ve örnek ağının seçimi büyük önem taşır. Örnekler, bitki örtüsü olmayan veya çok az olan bölgelerde doğrudan doğruya kayanın kendinden, az miktarda ayrışma ürünü izlenen kesimlerde 1-2 metre derine varan yarmalar açılarak taze anakayaçlardan alınır. Sistematik örneklemede normal olarak 100 ile 200 metre

aralıklı örnek ağı seçilir. Her örnek alım noktasında örnek uzaklığı 0,5 ile 10 metre arasında değişir. Örneklerin ağırlığı ise 0,5 ile 2 kg arasındadır (Şekil 10) (MTA, 2013).



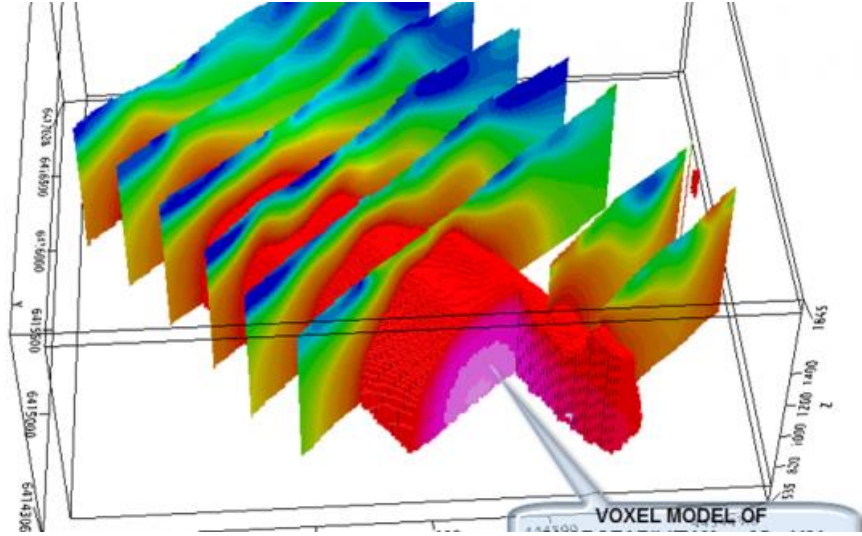
Şekil 10. Kayaç örnekleme çalışması (MTA, 2013).

### **Jeofizik Çalışmalar**

Prospeksiyonlarda doğal ve yapay fiziksel alanlar esas alınarak farklı yoğunluk (gravite), manyetiklik, elektrik ve elektrik iletkenlik ve radyoaktivite anomalileri aranılır. Aranılan kütlelerin fiziksel özelliğine, şekline, boyutlarına ve derinliğine bağlı olan anomaliler; yer içindeki bazı fiziksel olaylardan, jeolojik süreksizliklerden, topoğrafik ve jeolojik özelliklerden, manyetik fırtınalardan ve atmosferik olaylardan etkilenebilir. Jeofizik yöntemler genellikle litosferik plakalar arasındaki sınırlarda oluşan metalojenik zonların, petrol ve kömür dâhil çeşitli maden yatakları ile jeotermal ve yer altı suyu taşıyan tabakaların aranmasında, farklılaşma ürünü magmatik kayalarla bunların jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesinde, intrüzyon kütleleri ve mühendislikle ilgili problemlerin (temel, köprü, baraj, tünel vb.) çözümünde uygulanır. Bu sebeple günümüzde jeofizik yöntemlerini, genel prospeksiyon çalışmalarından itibaren ayrıntılı maden araştırma safhasına kadar birçok çalışma basamağında kullanmak mümkündür. Bu yöntemler özellikle litolojik birimlerin çok az olarak yüzeylendiği veya tamamen toprakla örtülü alanlarda ortaya çıkan problemlerin çözümünde büyük ölçüde yararlı olur (MTA, 2013).

### **İndüklem Polarizasyon Yöntemi**

İndüklenmiş polarizasyon yöntemi aşırı voltaj yöntemi olarak da tanımlanmaktadır. Bu yöntemde kayaların elektrokimyasal aktivite ve polarize olabilme yeteneği temel esas alınır. Burada cisimlerin fiziksel özellikleri elektronik ve iyonik iletkenler arasındaki etkileşimler polarizasyon olayının gerçekleşmesini sağlarlar. IP değeri milivolt/volt birimi ile ifade edilmektedir. Her iki tip iletkeni bulduran bir ortama akım verildiğinde metalik minerallerin yüzeylerinde ortaya çıkan elektron alışverişi polarizasyona neden olur ve böylece elektrokimyasal bir engelle neden olur. IP etütleri, gecikme özelliği kullanan Time Domain ve rezistivite farklılığı özelliğini kullanan Frequency Domain yöntemi ile diğer bir deyişle voltajın zaman ve frekansla değişmesi özelliğine göre yürütülür. IP yöntemi özellikle porfiri bakır yatakları gibi saçınımlı sülfidli cevherlerin bulunmasında pirit, pirotin, markazit, kalkopirit, bornit, kalkozin, pentlandit, gibi sülfidler, manyetit, kassiterit gibi oksitler, grafit mineralleri ile temsil edilen masif ve damar şekilli cevher kütlelerinin ve hatta tabakamsı cevherleşmelerin bulunmasında başarı ile ve çok sık olarak kullanılmaktadır (Şekil 11) (Anon, 2012).



Şekil 11. IP yönteminin 3 boyutlu görünümü (Anon, 2012).

### Manyetik Yöntem

Manyetik prospeksiyon yönteminin esası, jeomanyetik alanda meydana gelen değişmelerin incelenmesine dayanır. Bu yöntemde yoğunlukla manyetik alanın toplam şiddeti (T) ve daha az olarak düşey (z) ve yatay (h) bileşenleri ölçülür. Anomaliler, yer kabuğunun üst bölümündeki bir noktada ölçülen manyetik şiddetin değeri ile yer manyetik alanının sahip olduğu normal şiddet arasındaki fark olarak hesaplanır. Yöntemin birimi gamadır (MTA, 2013).

### Manyetik Arama Yöntemleri

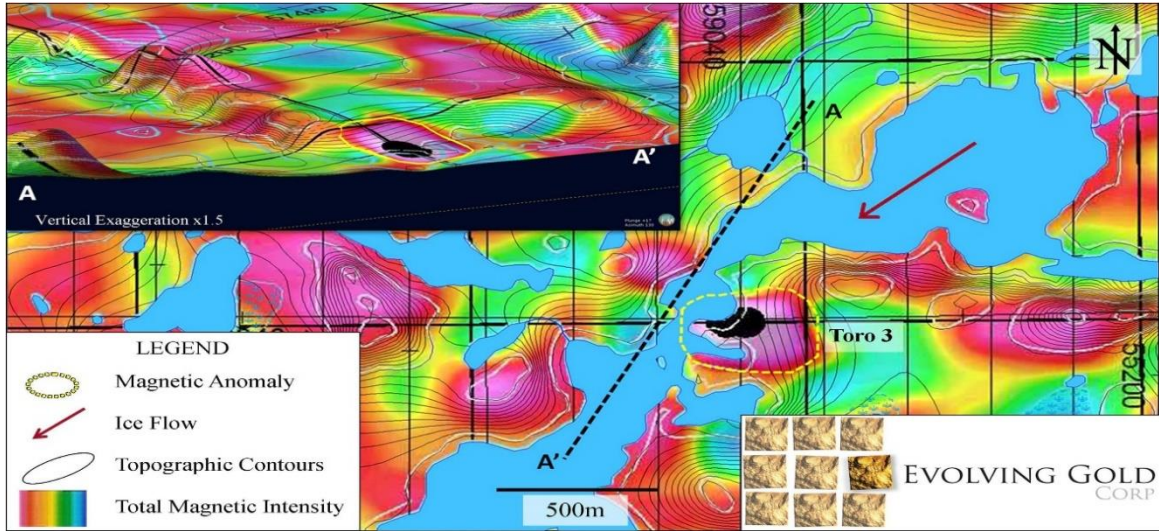
Petrol araştırmalarında tortul havzaların tanımlanmasına yarayan taban yapıların derinliklerinin saptanmasında kullanılır. Taban yapıyı meydana getiren başkalaşım ve püskürük kayaların manyetik duyarlılığı üstteki tortul kayalara göre daha fazladır. Bu nedenle, yoğunlukla elde edilen manyetik anomali taban yapının topografyasını yansıtır. Gravitedeki yoğunluk farkından, sismikteki hız farkından ileri gelen anomaliler, manyetik ile beraber kullanıldığında bölge hakkında ayrıntılı bilgi elde edilebilir. Maden araştırmaların da esas olarak demir aramalarında manyetik yöntem kullanılmaktadır. Fakat diğer madenler de belirli manyetik özellikleri göz önüne alınarak bu yöntemden yararlanılabilmektedir. Ayrıca levha tektoniğini kuramında önemli yer tutan Paleomanyetik çalışmalar yine yerin ve kayaların belirli manyetik özellikleri göz önüne alınarak yapılmaktadır (MTA, 2013).

### Manyetik Anomali

Yer manyetik alanındaki yerel değişimler veya anomaliler manyetometrenin sensörü yakınında bulunan ferromanyetik materyallerin konsantrasyonlarındaki değişimler nedeniyle oluşan bozulmanın sonucudur. Manyetik veriler arazide kare/dikdörtgen grid düzeninde bir profil boyunca ölçülür (Şekil 12) (MTA, 2013).

### Manyetik Anomali Yorumu

Jeofizikte anomalilerin yorumlanmasında; ölçümün doğru bir şekilde alınması, ölçüm alınan sahanın jeolojisinin bilinmesi, ölçümü etkileyecek dış etmenlerin belirlenmesi, yorumcunun tecrübesi gibi birçok etmen vardır. Fakat manyetik alan ölçümlerinden elde edilen verilerin veri işleme ve yorumu diğer jeofizik yöntemlere göre nispeten daha kolaydır (MTA, 2013).



Şekil 12. Özel bir şirkete ait manyetik anomali örneği (MTA, 2013).

### Kayaçların Manyetik Duraylılığı

Manyetik kayalar ve kayaların manyetizması, manyetik jeofizik arama yöntemlerinin anlaşılması için büyük önem taşıyan minerallerin manyetizması ile ilgilidir. Kaya oluşturan minerallerin çoğu çok düşük manyetik duyarlılık sergiler ve kayaların manyetik olmasının nedeni içerdikleri manyetik minerallerin oranının genellikle küçük olmasıdır. Sadece iki jeokimyasal grup bu mineralleri ve manyetizmayı kayalara sağlar. Demir-titanyum-oksijen grubu, manyetitten ( $Fe_3O_4$ ) ulvöspinel'e ( $Fe_2TiO_4$ ) kadar bir dizi manyetik mineralin katı çözeltilerine sahiptir. Diğer bir yaygın demir oksit hematit türü ( $Fe_2O_3$ ) antiferromanyetikdir ve bu nedenle manyetik anormalliklere neden olmaz. Demir-kükürt bazı, manyetik mineral pirotiti sağlar ( $FeS_1 + x$ , 0 578 °C'lik bir Curie sıcaklığına sahip olan kayadaki manyetit parçacıklarının boyutu, şekli ve dağılımı manyetik özelliklerini etkilese de kayanın manyetik davranışını genel manyetit içeriğine göre sınıflandırmak mantıklıdır. Nispeten yüksek manyetit içeriği nedeniyle, bazik magmatik kayaçlar genellikle manyetik kayalardır. Magmatik kayaçlardaki manyetit oranı, asitliğin artmasıyla azalır, bu nedenle asidik magmatik kayaçlar farklı manyetik özelliklere sahip olsa da manyetik özellikleri genellikle bazik kayalardan daha düşüktür. Metamorfik kayaçların manyetik özellikleri de değişkendir. Kısmi oksijen basıncı düşükse, manyetit yeniden emilecek ve metamorfizma derecesi arttıkça demir ve oksijen diğer mineral fazlar ile birleşecektir. Bununla birlikte, nispeten yüksek kısmi oksijen basıncı, metamorfik reaksiyonda yardımcı bir mineral olarak işlev gören manyetit oluşumuna yol açabilir. Genel olarak konuşursak, kayaların manyetit içeriği ve manyetik duyarlılığı büyük ölçüde değişir ve farklı litolojiler arasında önemli ölçüde örtüşme olabilir. Ne zaman Tortu kaplı alanlarda manyetik anomaliler gözlenir, anomalilere genellikle alttaki magmatik kayaçlar veya metamorfik temeller veya müdahaleci çökeltiler neden olur. Manyetik anomalilerin yaygın nedenleri arasında setler, faylar, kıvrımlar veya kesikler ve lav akıntıları, çok sayıda temel izinsiz girişler, metamorfik temel kayaçları ve manyetit cevher kütleleri bulunur. Manyetik anomalinin büyüklüğü, derin metamorfik temeldeki onlarca nT'den temel intruzif gövdede yüzlerce nT'ye kadar değişir ve manyetit minerallerinin büyüklüğü birkaç bin nT'ye ulaşabilir (MTA, 2013).

### Manyetik Yöntem Örnek Çalışmaları

Jeofiziğin en eski dallarından biridir. Manyetik yöntemde, yerkürenin manyetik alanındaki değişimler incelenir. Yer manyetik alanının düşey bileşeni, yatay bileşeni ya da alan vektörü ile eğim ve sapma açıları ölçülebilir. Uygulamalarda genellikle toplam alan ya da düşey

bileşenleri ölçülmektedir. Manyetik geçirgenlik, maddenin bir özelliğidir ve dış manyetik alanın neden olduğu manyetizma şiddetini belirler (Anon, 2012).

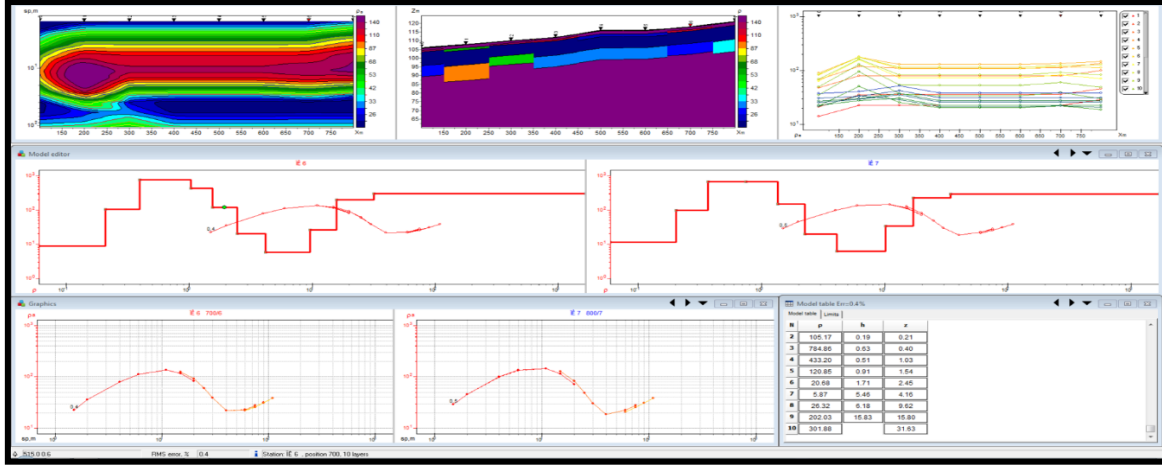
Uygulama Alanları;

- Boru hatlarının bulunmasında
- Arkeolojik yapı arama
- Atık tespiti
- Eski petrol kuyularının bulunması
- Mayın yeri tespiti
- Maden arama
- Petrol araştırması
- Fay hattı belirlenmesi
- Kıtasal kayma ve deniz tabanı yayılması
- Temel kaya araştırması
- İnşaatlarda
- Jeolojik yapı araştırmasında
- Karstik yapıların bulunmasında
- Sedimantolojik yapıların incelenmesinde
- Toprak analizinde
- Mermer ocaklarındaki kırık-çatlak sistemlerinin araştırılmasında
- Adli tıpta
- Volkanik hareketlerin incelenmesinde

### **Rezistivite Yöntemi**

Bu yöntem, Ohm kanunu uygulanarak cisimlerin rezistivitelerinin tayinlerini esas alır. Rezistivite ölçümlerinde yere verilen akımın nüfus edebileceği derinlik; elektrotlar arası uzaklığa, yeraltındaki kütlelerin boyut ve şekilleri ile rezistivitelerine bağlıdır. Diğer önemli bir nokta da rezistivitenin kayalarda, özellikle sedimanter kayaların içerdiği boşluk suyu miktarı ve bunların iyon iletkenliği ile ilişkili olmasıdır. Kayaç matrisleri yalıtkan olarak kabul edilir. Buna karşın manyetit ve pirit gibi mineraller iyi bir iletkenlerdir. Bu anomali söz konusu cevher kütlelerinin konumlarının belirlenmesinde rezistivite yöntemini uygulanabilir kılmaktadır (Şekil 13) (Anon, 2012).





Şekil 13. Rezistivite Yöntemi Örnekleri (Anon, 2012).

### Sondajlı Arama Çalışmaları

Açılan sondaj kuyularında, geçilen birimlerin litolojik, petrofizik ve kimyasal özelliklerindeki değişimlerin derinliğin fonksiyonu olarak ölçülmesine KUYU LOGU denir. LOG ise delinmiş olan sondaj kuyularında belirli bir jeolojik ya da fiziksel parametrenin derinliğin fonksiyonu olarak ölçülüp otomatik veya manuel olarak kaydedilerek elde edilen grafiklerdir. Kaydedilen fiziksel özellikler özdirenç, ses dalgası hızı, radyoaktivite, rezistivite, kondüktivite gibi özellikler; sondaj kuyusunun çapı, çamur pastası kalınlığı gibi geometrik parametreler veya kaya-zemin gibi birimlerin mühendislik özellikleridir. Bu değişikliklerden kaydedilip değerlendirilerek jeolojik yönden açıklanmasına kuyu loglarının değerlendirilmesi denir. Kayaçların ölçülen fiziksel parametreleri yorumlanarak yeraltının su-petrol seviyeleri, bu maddelerin formasyondaki saturasyon dağılımları, akiferin kalınlığı, kil, şeyl, jips ve anhidrit bantları ve alterasyon bulunabilir. Yapılan çalışmanın amacına bağlı olarak jeoteknik loglama ve petrol-su sondajlarında yapılan loglamalar olmak üzere iki değişik loglama yapılabilir (jeolojitr.com).

### Jeoteknik Loglama

Kaya-Zemin etüdü çalışmalarında ve cevher aramaya yönelik çalışmalarda jeoteknik veri toplanmasında ve değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Jeoteknik amaçlı çalışmalarda kaya malzemesine ve kaya kütlelerine ait özelliklerin derinlikle değişimi hakkında veri elde edilmesi için jeoteknik sondajlar yüzeyden itibaren sürekli karot alınarak yapılır ve elde edilen karotlar jeoteknik amaçlarla loglanır. Bu tür loglara “Jeoteknik Log” adı verilmektedir. Sondaj sırasında karotlar, birbirini izleyen, belirli bir uzunluğa sahip ve “İlerleme Aralığı” veya “Manevra Aralığı” adı verilen aralıklar boyunca alınır. Bu tür logların başlıca amaçları:

- Jeolojik birimlerin derinlikle değişimini göstermek,
- Kaya ve zemin türü birimlerin bazı mühendislik özelliklerini tanımlamak,
- Süreksizlik özelliklerini tayin etmek ve
- Yeraltısuyu ile ilgili verileri kaydetmektir.

Sondajlarda ilerleme aralığı zemin koşulları ile kullanılan ekipmanın ve karotiyeerin uzunluğuna bağlı olarak değişir. Güç koşulları karşılaşılmadığı takdirde, ilerleme aralığı Türkiye’de genellikle 3 veya 3.05 m’dir. Karot veriminin düştüğü durumlarda daha kısa aralıklarla ilerlenir. Sondaj karotlarında jeoteknik amaçlarla, toplam karot verimi, sağlam karot

verimi, kaya kalite göstergesi (RQD), eklem sıklığı ve süreksizliklerin özellikleri ölçülür ve tanımlanır (jeolojitr.com).

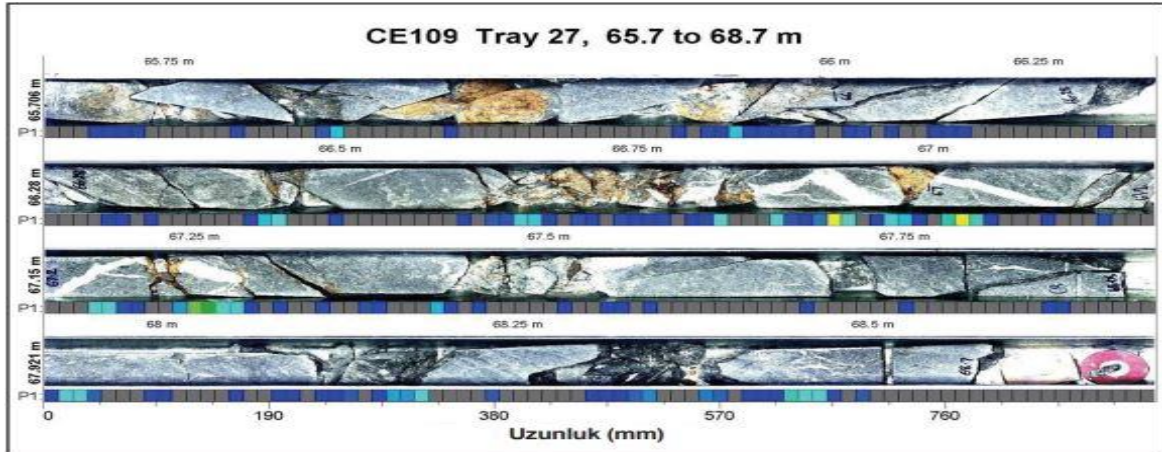
### Karot Analizi

Hidrokarbonların aranması, işletilmesi ve rezerv hesaplarında karotlar çok önemlidir. Karot analiz sonuçları birimin üretim kapasitesi hakkında bilgi verdiği gibi, formasyonun yapıdaki yeri ve kaya cinsinin belirlenmesinde de önemli yararları vardır. Petrol hazne kaya analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesinde karot analizlerinin önemi büyüktür. Karotlar genellikle kumlu ve karbonatlı birimlerden alınır. Çünkü bu kaya türleri petrol hazne kayaları olarak en ideal olanlardır. Karot analizlerinde kullanılan analiz tipleri şunlardır:

- Gözeneklilik,
- Geçirgenlik,
- Kılcallık,
- Satürasyon (petrol, gaz ve su doygunluğu),
- Tane boyu,
- Yuvarlaklık-Tane tane ilişkisi,
- Boylanma,
- Litolojik özelliklerin belirlenmesi,
- Değişim özelliklerinin belirlenmesi,
- Gözeneklilik tipleri,
- Sedimantolojik özellikler,
- Fosil kapsamı, HCl emarelerinin tayini.

### Sondajlardan Numune Alımı ve Sandıklanması

Bu yöntem, mostra vermeyen ve üzeri açılmamış yataklarda uygulanabilen en iyi yöntemdir. Sondajlardan alınan numuneler, sadece cevher kalitesinin belirlenmesinde değil aynı zamanda cevher kütlesinin sınırlarının belirlenmesinde, teknolojik testlerin gerçekleştirilmesinde, işletilmekte olan yatakların rezervlerinin artırılması çalışmalarında da kullanılırlar (Şekil 14) (jeolojitr.com).



Şekil 14. Karot Sandığı

Sondajlarda karot randımanının rolü çok büyüktür. Randımanın yüksek olması halinde cevherin karakteri ve kalitesi hakkında yeterli bilgi alınabilir. Sondaj işlemlerinde numune alma aralıkları yatağın geometrik şekline, cevher mineralinin dağılımına ve araştırmanın amacına uygun olarak tayin edilir.

## KAYNAKÇA

Anon (2012). Jeoelektrik Yöntemler, /http://mantle.geop.itu.edu.tr/jeotermal/jeoelek.html.

Arca, D. (2010). Tarihi Yapıların Kayıt Altına Alınması ve Korunmasına Yönelik Tarihi Kent Bilgi Sistemi Oluşturulması: Safranbolu Örneği, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Arca, D. ve Çıtıroğlu, H.K. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemi ve Jeolojideki Uygulama Alanları, Kafkas Üniv Fen Bil Enst Derg., 4(1):48-57, 2011.

Başarsoft (2009). MapInfo Professional Kullanım Kılavuzu, Renk Form Ofset Matbaacılık, Ankara.

Cömert Ç, Bostancı H.T. (1999). Kentsel Geliştirme Projeleri için Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Önemi: Trabzon Zağnos Dere Havzası Örneği, Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 13-15 Ekim, Trabzon, s. 273-285.

Dereli, M.A., Yalçın, M. ve Erdoğan, S. (2010). Madencilik Faaliyetlerinde Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, c2, no3, s.28-34.Coğrafi Bilgi Sisteminin Kullanımı,

Gocht, W., E. Pluhar ve P. Arndt (1978). Application of geochemical prospecting methods for tin deposits by investigation of heavy minerals associated with cassiterite, Regional conference on geology and mineral resources of Southeast Asia. 3. 1978.

Hartman, Howard L. ve Jan M. Mutmansky. (2002). Introductory mining engineering. John Wiley & Sons, 2002.

Ixer, R. A. (1986). Kužvart M. & Böhmer M. Prospecting and Exploration of Mineral Deposits, Developments in Economic Geology Series no. 21. 508 pp. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo: Elsevier. Price US \$129.25, Dfl. 265.00 (hard covers). ISBN 0 444 99515 3." Geological Magazine 126.3 (1989): 323-323.

İşleker, H. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Metalik Bir Maden Yatağının Değerlendirilmesi, Bilimsel Madencilik Dergisi,2017, cilt. 56, No. 2, s. 65-76.

(jeolojitr.com). Türkçe Jeoloji Bilgi Sayfası, <https://www.jeolojitr.com/2018/10/kuyuloglari-cesitleri-ve-yeralti.html>.

Kesler, Stephen E. ve Adam F. Simon. (2015). Mineral resources, economics and the environment. Cambridge University Press, 2015.

Kırıkoğlu, M. S. (1992). Maden Yatakları, İstanbul Teknik Üniversitesi

MTA (2013) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <http://www.mta.gov.tr/>

Scholle, Peter A. (1978). A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements, and porosities. American Association of Petroleum Geologists.

# Meteorolojik Olayların Doğru Değerlendirilmesinin Havacılık Faaliyetleri Üzerine Etkisi:

İsa ŞENGÜL<sup>1</sup>

## GİRİŞ:

2001-2021 yılları arasında ve yalnız Alçak Seviye Uçuşlarında Meteorolojik olaylara bağlı düşen uçak ve helikopterlerimizden, tespit edebildiğimiz sayıları 50 civarındadır. Ayrıca bunlara ilave olarak iniş yaparken düşen uçaklarımızın sayısı da 10 civarındadır. Alçak Seviye Uçuşlarındaki kazalar ile iniş yaparken meydana gelen bu kazaların her birine sebep olan Meteorolojik olaylara ilişkin bilgi, bu araştırma çalışmasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Kazaların önlenmesi ve güvenilir uçuşlar için pilotlara bu kazaların her birine ait olayları sebepleriyle birlikte anlatmak zaruridir. Doğru bir eğitim ve uygulamayla Ülkemizde de, 4-5 senede Havacılığa her türlü Meteorolojik destek sağlanabilir.

Troposfer tabakasında sıcaklık, basınç, rüzgâr ve nem değerlerinin ölçümleri yıllarca yapılarak araştırılmış ve bu araştırmalar sonucunda sağlıklı ve doğru İstidlal(tahmin) yapılacak düzeyde Meteorolojik bilgiye(rasatlara) ulaşılmıştır. **Günlük Meteorolojik bilgiyi(rasatlar) elde etmek için**, Troposfer tabakasının tamamı (Standart Atmosfer Seviyeleri dahil) günde iki kere, yer ile deniz seviyelerinde de sekiz kere olmak üzere, Meteorolojik ölçümler yapılır. Meteorolojik ölçümler rasatlara kodlanır ve rasatlar haritalara işlenilip resmedilir. Haritalara aktarılan(resmedilen) rasatlar üzerinde yapılan analiz ve gözlemler Troposfer tabakası çözülür ve İstidlal(tahmin) yapılır. Bu bilgiyle Havacılığa, her türlü Meteorolojik destek sağlanabilir. Bütün hava şartlarında Havacılığa, Meteorolojik destek gereklidir. Uçuş yapılırken hava şartları ve şartlara bağlı uyulacak uçuş kuralları olmalıdır. Bilgi ve teknoloji birlikte olursa uçuş güvenliği sağlanabilir.

Bu hedeflere varmak için METEOROLOJİ ve HAVACILIK eseri oluşturulmuştur. Maksadımız, Meteorolojiyi öğrenmek. Gayemiz, Meteorolojik hava olayları karşısında uçuş güvenliği sağlamak. Gözlem ve analiz çalışmalarından çıkarılıp oluşturulan sonuçlar düşüncelerde şekillendirilerek İstidlal yapılır ve Meteoroloji bilim dalı ancak böyle icra edilerek Meteorolojik hava olayları karşısında uçuş güvenliği sağlanır. Troposfer tabakasında oluşan her bir oluşum ve dalga modeli böylelikle zihinlerde yer edinir. İstidlal, Meteorolojinin temsilcisi olan Dünya Meteoroloji Teşkilatının(WMO) belirlemiş olduğu kapsam alanı içerisindeki eğitim ve uygulamaları ile öğrenilir.

## METEOROLOJİK DESTEK ÇALIŞMALARI:

### İlk Meteorolojik Destek Çalışması:

Havacılığa, Meteorolojik destek çalışmalarında ilk olarak uçakların yüksek sıcaklık değerlerinde karşılaştıkları problemleri gidermekle başlandı.

Elazığ eski havaalanı pisti çok yetersizdi. Birde, uçaklar kalkıştan sonra pistin karşısında bulunan dağı aşır aşamama problemi yaşıyorlardı. Bu nedenle, yüksek derece sıcaklıklarda(33

---

<sup>1</sup> Matematikçi & Meteorolojist, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Meteoroloji 13.Bölge Müdürlüğü, Elazığ Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü

– 39 °C arasında) mevcut yolcuların yarısı bazen üçte biri ancak uçağa alınır. Yüksek derece sıcaklıklarda önceden beklenen hava sıcaklığı bildirilerek, problem böylece giderilir.

Elazığ eski havaalanı, coğrafik yapısı nedeniyle Meteorolojik olaylar karşısında çok olumsuz etkilenirdi. Bu nedenle alçak bulutluluk, sis ve kar yağışı gibi hadiselerde havaalanı, günlerce uçuşlara kapanırdı. Birde, uçaklar gelir ve iniş yapamadan geri dönerdi. İşte bu şartlarda, ilk olarak 1993 yılında Meydan hava tahmini(taf) yapılmaya başlandı. Meydan hava tahmininde(taf), en çok bulutlar takip etmek oldu. Ayrıca, diğer hadiseler ve parametrelerle de böylece devam edildi, zaman içerisinde ise en çok hava sıcaklığı(minimum, maksimum) ve sıcaklık hareketleri üzerinde çalışmalar yoğunlaştı. Ayrıca, Uçakların iniş limitleri de göz önünde bulundurularak ve böylelikle 4-5 senede Havacılığa, Meteorolojik destekte başarı elde edildi. Havacılığa, Meteorolojik destek böylece başlamış oldu.

### **Uçak ve Helikopter Kazalarının Araştırılması:**

16 Mayıs 2001 yılında Malatya’da ve 17 Mayıs 2001 yılında İran’da, 24 saat arayla Alçak Seviye Uçuşu esnasında, Meteorolojik olaylara bağlı olarak 2 uçak kazası saptandı. İki kazanın da Meteorolojik olaylarla bağlantıları şöyle idi: Her iki uçak ancak, Alçak Seviyede Uçabiliyorlardı ve kazalar, benzer Meteorolojik şartlarda meydana gelmişti. Bu iki uçak kazasının Meteorolojik olaylarla bağlantıları kurulduktan sonra, Alçak Seviye Uçuşlarında yaşanan uçak ve helikopter kazaları araştırılmaya başlandı.(1).

**Ekim ayı 2006 Yılı;** Kuvvetli rüzgârla, kuvvetli gök gürültülü sağanak yağışın yaşandığı bir ortamda, birde çok alçak seviyeden uçan bir Jetimize şahit olduk. Ertesi günün sabahında da, bir Jetimizin Bitlis’te düşmüş olduğu haberi verildi. (2). Bir uçak Cb. Bulutunun içine girdiği anda, saniyede 30 metre aşağı ve yukarı doğru sallanabiliyor., Meteorolojide ilk araştırmayı ^ **Türkiye’de Meteoroloji Gerçeği -2006** ^ 2006’da tamamladım. Ayrıca, bu arada 5 ile 6 çalışmam daha oldu.

**2012 yılında** Meteorolojik hava olaylarına bağlı olarak, 6 tane uçak ve helikopterimiz düştü. İki kazanın meydana geldiği bölge için ise önceden Meteorolojik uyarı vermiştim. (3). Bu kazalara sebep olan Meteorolojik hava olaylarının çözümünde, Üç katlı integral denklemini de kullandım ve çalışmalar bu şekilde devam etti..

**Haziran ayı 2019 yılında;** Antalya’da sıcak cephe sahasında bir eğitim uçağımız düştü. Bu sıcak cephe sahasının cephe hattını kendim çizmiştim. **2020’ yılında** Van’da ve İstanbul’da, uçaklarımız Meteorolojik olaylara bağlı olarak düştü. Biri rüzgârın hızı ve hamlesinde, diğeri iki seviye arasında yüz seksen dereceye varan rüzgâr değişiminde oldu. **Mart ayı 2021 yılında** bir helikopterimiz Bitlis’te, iki jetimiz Konya ve İzmir de kuvvetli Meteorolojik olaylara bağlı olarak düştü. Ayrıca, bir yangın söndürme uçağımız Kahramanmaraş’ta kuvvetli Meteorolojik olaylarda(rüzgâr değişiminde) düştü.

**22 Ekim 2020 tarihinde** İstanbul’da bir eğitim uçağımız düştü. Düşen uçağın, düşüş saati 11:00 civarı bu saatler, hava sıcaklığının 10 dereceye kadar yükseldiği ve bu sıcaklık yükselişine bağlı olarak rüzgâr değişiminin başladığı bir zamandır. Ayrıca, sabah saatlerinde lokal sis hadisesi mevcuttu ve düşen uçak çok alçak bir seviyeden uçuyordu. Yüksek basınç altında ki alçak seviyeler, hava yoğunluğunun en fazla olduğu ortamdır. Havanın en yoğun ve en hareketli olduğu bir zamanda yaşanan bu kaza ve bu gibi kazaların, bu gibi hava şartları yönlerinden de değerlendirilmeleri gerekmektedir.

**Mart ayı 2009 Yılında,** Elazığ yeni havalimanının pisti hizmete girdi. Pistin hizmete girmesinin ikinci haftasında bir yolcu uçağı havalimanına yakın alçalma sahasında olumsuz Meteorolojik olaylara yakalandı ve iniş yapamadan geri döndü. Bu esnada görevde idim ve kuleden, bir uçağın daha geleceği söylendi, ayrıca bunun için hava durumu istendi. Önemli

Meteorolojik olayın olmadığı söylenildi ve gelen uçak'ta iniş istikametini değiştirip doğu istikametinden indi. Bundan sonra da, uçaklar iniş istikametlerini değiştirip doğudan inmeye başladılar. Ancak dört ay sonra (Temmuz ayı 2009 yılı) yine, kuvvetli Meteorolojik olayların etkili olduğu bir zamana denk gelen yolcu uçağı, rüzgardan dolayı tekrar batı istikametinden iniş yaparken tehlike atlattı. Bu iki olayda yaşanmış olan tehlikeli Meteorolojik olaylar üzerine yapmış olduğum araştırmada, Elazığ havalimanının batı bölgesinde uçak inişlerinde tehlike oluşturan Alçak Basınç Merkezi ve buna bağlı olarak oluşan cephesel sistemler tespit edildi. Bu araştırma (**Elazığ Havalimanı Uçuş Güvenliği-2009**) ilk olarak yapılmış bir yazılı çalışmadır. Bu araştırma çalışmasında ilk olarak, Üç katlı integral denklemi kullanıldı.

( **Elazığ Havalimanı Uçuş Güvenliği - 2009** ), **Araştırma Çalışmasının Kazanımlarından:** Bu araştırmalar bize gösterdi ki, Meteorolojik şartların çözümlerinde Üç Katlı İntegral denklemi kullanılmalıdır. İstidlal çalışmasında kesin sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Böylelikle Meteorolojik olaylara bağlı uçak ve helikopter kazaları önlenebilecektir. Meteoroloji bir uzay bilimidir ve yağış dalgalarının (Positive Vorticity sahalar) İstidlali, Üç Katlı İntekral denklemiyle yapılmalıdır.

Okyanus, deniz ve sıcak bölgelerde 12000 metre yüksek seviyeden düşen yolcu uçaklarının çoğu, Meteorolojik olaylara bağlı düşüyor. Meteorolojik olaylara bağlı her yıl gemilerimiz batmaktadır. Meteorolojik şartlara bağlı her yıl yüzlerce ölümcül trafik kazası yaşanıyor. Sel, fırtına, orman yangını ve yıldırım olaylarında yer yıl onlarca can ve mal kaybı yaşanıyor.

#### **Batan Gemiler ve Gemi Kazalarını Önlemek İçin Yapılacak Meteorolojik Çalışmalar:**

Denizlerde, İzobar eğrilerinden yarım daire şeklinde basınç sahaları oluşuyor. Örneğin; Akdeniz üzerinde, boydan boya oluşan 20 milibarlık bir basınç farkı tespit edildi. Yarım daire şeklini alan bu basınçlı sahalarda yüksek basınçtan alçak basınca doğru bir çekilme(gel-git olayı) meydana gelir. Bu hareketler(gel-git olayları) cephesel sistemlerde ve yarım daire şeklini alan basınçlı sahalarda olur.

Gemi kazalarını önlemek için basınç farklılıkları takip edilmelidir. Yarım daire şekli olan basınçlı sahalarda oluşan dalgalar, gemiler için en tehlikeli olaylardandır. Gemilerin batması, yarım daire şeklindeki basınç farklılıklarının oluşturduğu sahalarda ve cephesel sistemlerde meydana gelir. Gemi kazalarını önlemek için Batı Karadeniz den başlanılarak deniz ulaşımındaki karanlık noktalar (kara yollarında olduğu gibi) tespit edilmelidir.

#### **Meteorolojik Hizmet(metar) ile Meteorolojik Destek(taf) Arasında Yaşanan Problemler:**

Meteorolojik hizmet(metar) ile Meteorolojik destek(Meydan hava tahmini-taf) arasında yaşanan en önemli problemlerden biri, sadece Meydan hava tahmininin dikkate alınması ve tercih edilmesidir. Uçak kazalarının nedenlerinden biri de bu tercihtir. Böyle bir tercih ancak uzmanlığı (Meteorolojist) gerektiriyor.

Uçakların güvenli iniş yapabilmeleri için, metar ve taf'da verilen değerlerde çelişkili ve çelişen hava şartları bulunmamalıdır. Hazırlanan taf, bilimsel normları ve kriterleri kapsamalıdır. Meydan hava tahmini(taf-Meteorolojik destek) ve Metar rasadı(Meteorolojik hizmet) arasında yapılacak olan tercih, ancak ve ancak Meteorolojik şartların gelişimleri ve trendleri göz önünde bulundurularak yapılır. Bu tercih ve trendler, bir uzmanlık (Meteorolojist) işidir. Uçuş güvenliğinde olması gereken hususlardır. Meteorolojik olaylarla beraber, beklenen ve mevcut hava şartları, birlikte değerlendirilmeye alınabilmelidir. Örneğin; Bir Havalimanında sis var ve görüş mesafesi 100 metre, mevcut hava şartlarında da, bu sis durumunun aynı şekilde devam edeceği ön görülüyorken, bunun tersine Meydan hava

tahmininde(taf) beklenen görüş mesafesi 100 metreden çok yüksek verilerek uçak kazasına sebep olundu. (4).

### **Meteorolojinin Görevi Uçuş Güvenliği Sağlamak:**

Alçak Seviye Uçuşlarında uçuş güvenliğini sağlamak için, Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatına(ICA0) benzer uçuş kuralları getirilmelidir. Hava şartlarının en karmaşık ve en yoğun olduğu Alçak Seviye Uçuşları için ayrıntılı olarak İstidlal yapılmalı, Uçuş limitleri getirilmelidir. Alçak Seviyelerde, Uçak ve helikopter kazalarına sebep olacak Meteorolojik hava olayları için en az 12 saat önceden İstidlal hazırlanmalıdır.

Havalimanlarına, uçakların güvenli iniş yapabilmeleri için en az altı saat önceden doğru bir şekilde İstidlal(taf) yapılmalıdır. Uçakların, iniş ve kalkışlarını engelleyecek ya da engellemeyecek olan Meteorolojik hava olaylarının İstidlali(taf) zamanında yapılmalıdır. Gözlem olmadan, yapılmakta olan Meydan hava tahmini(taf) yetersizdir.

### **Yapılacak Havalimanlarında Aranılan Şartlar:**

Uçakların, iniş ve kalkışlarını olumsuz olarak en az etkileyen hava şartlarına sahip sahalara ve Meteorolojik gözlemlerin en rahat yapılabileceği yerlere Havalimanları yapılır. Böyle şartlara haiz sahalara havalimanları yapmak imkân dâhilindedir.

## **METEOROLOJİ BİLİM DALI**

### **(Standart Atmosfer Seviyeleri = Troposfer Tabakası):**

**İstidlal**, analiz ve gözlem yaparak ve mevcut hava şartlarını çözerek, gelecekte meydana gelecek olan hava olaylarını öğrenmektir. İstidlal; Delil göstermek ve ispatlamak anlamına gelir, bilimseldir ve bir sorumluluğu da vardır. Tahmin ise zannetmek anlamına gelir, bilimsel anlam içermediğinden dolayı da bir sorumluluk yoktur. Bu açıdan, Meteoroloji bilim dalında geçerli olan İstidlaldir. İstidlalde bilimsel normlar, şeffaflık, sorgulama ve sorumluluk vardır. Bilmemek, anlayamamak, zannetmek ya da yapamamak gibi düşünce eylemleri yoktur. **Maksimum ve minimum sıcaklıklar İstidlal edilerek İstidlal öğrenilir ve Meteoroloji bilim dalı böyle icra edilir.**

Dünya'yı çevreleyip sarmalayan ve Dünya ile direk teması olan Troposfer tabakasındaki, dalga hareketleri çözülerek İstidlal yapılır. Yani; İzoterm, İzobar ve Kontur eğrileri arasında ki etki ve tepkilerden, sebep ve sonuçlardan giderek çözümler yapılır ve daha sonra İstidlal yapılır. Özetle; **Standart Atmosfer seviyeleri (Yer kartı, 850hpa, 700hpa, 500hpa, 300hpa, 250hpa, 200hpa, 150hpa ve 100hpa.)** ile bu seviyeler arasındaki bağlantılar çözülerek üç günlük İstidlal yapılabilir. Hava şartlarına bağlı olarak daha uzun süreli İstidlal yapmak mümkündür. İstidlal çalışmasına minimum ve maksimum sıcaklıkla başlanılır ve yaklaşık 2-3 saatlik bir zaman alır ve bu da bir başlangıç oluyor. Doğru İstidlal için haritalar çizilmelidir. Sayısal işlemler kalemle yapıldığı gibi Meteorolojik çalışmalar da ancak ve ancak kalemle yapılır.

**Analiz;** Troposfer tabakasını temsil eden Standart Atmosfer seviyelerinin ölçümlerinden elde edilen Meteorolojik bilgi(rasatlar), haritalara işlenilip aktarılır(resmedilir). Rasatların haritalara işlenilmeleri ve üzerinde yapılan çalışma en kapsamlı çalışmadır. Analiz'de en önemli çalışma ise, basınç ve sıcaklık hareketlerini çözmektir. Rüzgar, bulutluluk, yağış, sis,, hadiselerinin çözümü(İstidlali) için detaydır.

Her bilimsel çalışmada olduğu gibi analiz çalışması da üç aşamada yapılır; İlk aşama, 12 saat veya 24 saat önceki bilgi(rasatlar) üzerinde yapılan çalışmadır. İkinci aşama; En son



Meteorolojik bilgi(rasatlar) üzerindeki çalışmadır. Üçüncü aşamada ise her iki analiz çalışmasından elde edilen sonuçlar üzerinden İstidlal(hava tahmin) yapılır.

Bilgisayarlar yokken, analiz çalışması çok ağır şartlarda yapılıyordu. Rasatların haritalara işlenilip aktarılma işlemleri 2-3 saat sürerdi ve alınan rasatlar da çok az olurdu. Bilgisayarların devreye girmesiyle bütün zorluklar ve rasat eksiklikleri kalktı, 2-3' saat süren rasat işlemleri 3-5' dakikaya indi. ***Fakat bu imkânlar değerlendirilemedi.***

***Meteorolojik Gözlem:*** Gözlem bakmak, seyretmek ve gözetlemek anlamlarına gelir. Meteorolojik gözlem ile, troposfer tabakası gözlemlenerek hava akışları öğrenilir. Ayrıca, bulutların oluşumları ve değişimleri, görüş mesafesini etkileyen sis, alçak bulutluluk, yağış ve kar yağışı gibi hadiselerin etkileri belirlenir, rüyetin(görüş mesafesinin) kaç metre olacağı öngörülür. Vs,.. Rüzgâr ve sıcaklık yansımaları öğrenilir. İzobar, izoterm ve kontur eğrilerinin noktasal, bölgesel ve küresel etkileri, fonksiyonları ve bağlantıları da, Meteorolojik gözlemlerle öğrenilir.

Meteoroloji bilim dalını öğrenip ve doğru İstidlal yapmak için ilk önce Meydan hava tahmini(taf) öğrenilir. Meydan hava tahminine mana ve ehemmiyet veren ve doğru sonuca götüren, Meteorolojik gözlemdir. Meteorolojik gözlem olmadan hazırlanmakta olan Meydan Hava Tahmini(taf) de yetersizdir.

### **Meteorolojik Bilgi Günlük Rasatlardır:**

Meteorolojik bilgi(rasatlar), günün belirlenmiş saatlerinde yapılan Synoptic ve Radyosonde rasatlarından elde edilir. Meteorolojik bilginin(rasatların) bir günlük maliyeti dahi çok yüksektir. Ancak, mana ve değeri çok daha fazladır. Misal olarak, bir Radyosonde rasadı 300 kilometre karelik bir bölgenin Meteorolojik bilgisini verebiliyor ve küresel bilgiye de büyük katkı sağlıyor. Meteorolojik bilginin(rasatların) bütün Ülkelere ulaştırılması için bütün dünya, 24 saat birlikte çalışır. Bu çalışmayı Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) yürütür.

### **Meteorolojik Bilginin(Rasatların) Elde Edilmesi için Yapılan Çalışmalar:**

Günde iki defa ve 12 saat arayla, Troposfer tabakasında sondaj(Radyosonde rasadı) yapılarak sıcaklık, basınç, rüzgâr ve nem değerlerinin ölçümleri yapıp rasatlara(temp rasadı) aktarılacak şekilde kodlanır. Yer seviyesi, Okyanus ve Denizlerdeki Meteoroloji istasyonlarında da üçer saat arayla sıcaklık, basınç, rüzgâr ve nem değerlerinin ölçümleri yapılır ve ayrıca, Meteorolojik gözlemlerle bulutluluk, sis, yağış hadiselerini içeren değerlerle birlikte, sinoptik( Synoptic) rasatlara aktarılacak şekilde kodlanırlar. Kodlanmış rasatlar, değerlendirilmek üzere her Ülkeye gönderilir. Bütün bu çalışmalar, iki ile üç saat içerisinde yapıp tamamlanıyor. Bütün dünya aynı kod işlemini kullanıyor.

Ülkemizde İstidlal(tahmin) yapmak için, Avrupa kıtasının tamamı, Afrika kıtasının kuzey kesimi ile Asya kıtasının batı bölgelerinin Meteorolojik bilgileri(rasatları) alınır. Alınan rasatlar, analiz edilmek üzere değerlendirilir ve İstidlal(tahmin) yapılır. Bu çalışmalarını, Dünya Meteoroloji Teşkilatı(WMO) yürütür.

### **Meteorolojik Çalışma Sahası:**

Meteorolojik hava olayları ve oluşumları, Tropopoz seviyesinin altında meydana gelir. En yoğun olarak ta, yer ve deniz seviyesinden itibaren, 2 metre ile 6000 metre yüksekliğe sahip olan seviye aralığında meydana gelir. Tropopoz seviyesinin yüksekliği Ekvator bölgesinde 17 kilometre civarındadır, Ekvator bölgesinden azalarak Kutuplarda ise 7 kilometre civarına kadar iner, Ülkemizin bulunduğu coğrafyada, yaklaşık 12 kilometre civarı bir yüksekliğe sahiptir.

Tropopoz'un yüksekliği, cephesel sistemlere ve mevsimlere göre değişir. Meteorolojik hava olayları ile oluşumlarının meydana geldiği bu bölge sadece, Meteorolojik alışma sahasıdır.

3000-5000 kilometre yarıçaplı alana sahip bir sahayı kapsayan bölge üzerinde analiz ve gözlem yapılarak İstidlal(tahmin) yapılır. Havalimanlarında, 10 kilometre yarıçaplı alana sahip sahayı etkileyen hava şartlarının İstidlali(taf trend.) yapılır. Ancak, Meydan hava tahmini(taf trend,) yapılırken, 3000-5000 kilometre yarıçaplı alana sahip bir sahayı kapsayan bölgenin analiz ve gözlemi de yapılır.

Komşu lkelerimizde, Meteorolojik olaylara bağlı meydana gelen uçak ve helikopter kazaları, Meydan hava tahmini(taf, trend) ğrenildikten sonra tespit edilmeye başlanıldı. (3-1).

### **Troposfer Tabakasında Oluşan nemli Yapılar:**

Troposfer tabakasında sürekli olarak termik ve dinamik oluşumlar meydana gelir. Cephesel sistemler bu oluşumlardandır. Ayrıca, bu oluşumların etkilerini anlamak için haritaları çizmek gerekir.

Bu Termik ve Dinamik Yapılar Advection, Adiabatic, Inversion, Condensation, Subsidence, Convection, Stable, Stability, Instability, Positive Vorticity, Negative Vorticity, Trough, Ridge, Beckink, Veerink, Divergence, Convergence, Lowpressuresystem, Cyclone, Anticyclone, Airmass, Front, Frontogenesis, Frontolysis, Slope of a front, Deepening, Saturationpoint, Overrunning, Vortex, Windshear, Shear line, Squall line, Funnel, Tornado, Icelandiclov, Gradient.,,,

### **Troposfer Tabakasında Oluşan Periyodik ve Harmonik Hareketler:**

Cephesel sistemlerin oluşum ve dağılım süreçlerinde, termik ve dinamik nedenlerden dolayı periyodik ve harmonik hareketler meydana gelir. Cephesel sistemlerin oluşumlarını öğrenmek için periyodik ve harmonik hareketler sürekli takip edilir.

Gecedен gündüze, gün doğumundan gün batımına ve mevsimden mevsime sıcaklığa bağlı olarak periyodik ve harmonik hareketler meydana gelir.

Noktasal, bölgesel ve küresel sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak, periyodik ve harmonik hareketler meydana gelir,

Periyodik ve Harmonik Hareketler; Subsidence, Convection, vorticity, negative vorticity, positive vorticity, Divergence ve Convergence hareketlerdir.,,,

### **Troposfer Tabakasında Oluşan Etki ve Tepki Hareketleri:**

Troposfer tabakasında akış, batıdan doğuya doğrudur (Kuzey Yarım Kürede). Birde, sıcak ve soğuk hava akımlarının(akışlarının) hareketlerine bağlı olarak, Ekvator bölgesinden Kutup bölgesine ve Kutup bölgesinden de, Ekvator bölgesine(sıcak havadan soğuk havaya, soğuk havadan da sıcak havaya) doğru hava akışı vardır. Bu üç ana hava akışının karşılaşıp birleşmelerinden de cephesel sistemler meydana gelir. Farklı seviyelerde karşılıklı olarak esen rzgrlarda(akışlarda) etki ve tepki hareketleri oluşur. Soğuk hava çökerek yatay yönden hareket eder ve hava akımları dağılır. Sıcak hava ise yükselerek yatay yönden hareket eder ve yukarı seviyelerde bu şekilde, yığılma(soğuk havayla karşılaştığında) meydana gelir. **Genel sirkülasyonun çözümünde**, etki ve tepki hareketleri takip edilerek, dalgaların birleşim ve kesişmeleri çözülerek yapılır. İzobar, İzoterm ve Kontur eğrileri arasındaki etki ve tepkilerin çözümleri yani, birleşim ya da kesişim kümelerinin ( dolu ya da boş küme) zmleri, **beş tane kural** ve mevcut hava şartlarıyla yapılarak, genel sirkülasyonun çözümü yapılmış olunur. **Beş**

**tane kural;** Sıcak havanın hareketi, soğuk havanın hareketi, yatay havanın hareketi, havanın yığılması ve havanın dağılmasıdır.

## METOD

### METEOROLOJİ BİLİM DALI, SINIRLI ve SÜREKLİ KURALLAR ÜZERİNE İNŞA EDİLMİŞTİR

Meteorolojik hava olayları, Matematik limit denklemlerine benzer şekilde çözülür. Limit denklemlerinin çözüm kuralları olduğu gibi Meteorolojik olayların da çözüm kuralları vardır. Meteorolojik bir dalgada sonsuz dalgalar vardır.

Matematik denklem sistemlerinde belirlenmiş kurallar ve dört işlemle sonuca gidilir. Meteorolojik çözümlerde, beş tane kural ve mevcut hava şartları çözülerek sonuca gidilir. *Beş tane kural:* Sıcak havanın hareketi, soğuk havanın hareketi, yatay havanın hareketi, havanın yığılması ve havanın dağılmasıdır. Bu kurallar ile analiz ve gözlem çalışması yapılır. Örneğin; Matematikte ikinci dereceden iki bilinmeyenli bir denklemin çözümü için önce, diskriminant'ına bakılır ve eğer kök varsa çözüm vardır ve denklem çözülür. Meteorolojide de, yağış hadisesini araştırmak için önce cephesel sistem araştırılır. Cephesel sistemlerin her seviyede ayrı özellikte emareleri vardır. Dolayısıyla, Cephesel sistem varsa(birleşim ve kesişimler varsa) yağış hadisesi araştırılır. Cephesel sistem yoksa(birleşim ve kesişim kümeleri yoktur) yağış yoktur.

Meteorolojik çözümler, Matematik çözümleri gibidir ve uzaysaldır. Meteorolojik dalgalar, cümleler teorisi ve seriler zincirine benzer fonksiyonlar içerir. Meteoroloji, Standart Atmosfer Seviyeleriyle formüle edilmiştir. Üç katlı integral denklemi kullanılarak, Standart Atmosfer Seviyelerinde toplama işlemi (*yağılma alanı = yağış sahası*) yapılarak İstidlal(tahmin), kolay bir şekilde yapılabilir.

### Cephesel Sistemler ve Cephe Hatları:

Cephesel sistemler, farklı sıcaklık ve farklı yoğunluğa sahip iki hava kütesinin, sıcak bir nokta(cyclone) etrafında sarmalanarak, etkili bir şekilde dönmeleri sonucunda oluşurlar. Kızıl Deniz ve İzlanda Adası üzerinden oluşan cephesel sistemleri bu açıdan önemli örnektir. İzlanda Alçak basınç merkezine ait cephesel sistemler, Avrupa ve Asya kıtalarını etkileyerek sürekli yağış bırakır. Hava kütleleri gibi, cephesel sistemler de gittikleri bölgelere kendi özelliklerini götürür ve gittikleri bölgenin hava şartlarından etkilenir. Cephesel sistemler(yağış dalgaları) sıcaklık ve basınç fonksiyonlarına bağlı olarak, Bahar mevsiminde Alçak Seviyelerde, Yazın ve Sonbahara doğru ise Yüksek Seviyelerden başlayarak oluşumlarını tamamlarlar.

Cephe hatlarının emareleri, Standart Atmosfer Seviyelerinin(Yer kartında, 850hpa, 700hpa, 500hpa, 300hpa ve 200hpa.) her seviyesinde farklı yapıdadır. Cephe hattı Yer kartına çizilir. Günde, normal olarak iki defa bu işlem yapılır, hatta dört veya sekiz defa da çizilebilir. *Ancak bütün bunlardan sadece, 6 Mart 2009 tarihinde çizilen cephesel sistemlerin cephe hatları doğru analiz edilmiş ve doğru çizilmiştir. Cephesel sistemlerin fonksiyonlarını anlamak için evvela cephe hatlarını doğru çizmek gerekir. Meteorolojinin temeli cephelerdir.*

**Cephe Hattı;** Farklı özellikte iki hava kütesini birbirinden ayıran ve her seviyede farklı yapılarda olan bir hattır. Bu cephe hattından başlanılarak hava yığılması başlar ve her yağış dalgasında bir cephesel sistem vardır. Cephe Hatları, hem yağışlı bölgeyi ve hem de yağış alacak olan bölgeyi gösterir. Cephe hatlarının dikey kesitleri 12 kilometrelik(tropopoz seviyesi) seviyeye kadar çıkar. Cephesel sistemlerin yatay kesitleri ise, bin kilometreleri de aşabilir. Cephesel sistemlerin enleri ve boyları(dikey ve yatay kesitleri) her zaman bellidir. **Sınırları, basınç akışı(izobar eğrileri, tandans,..) ve rüzgâr yönüyle belirlenir. Buradaki basınç, deniz**

*seviyesine indirilmiş olan gerçek basınçtır.* Cepheler; Sıcak cephe, soğuk cephe, oklüzyon cephe ve duralar cephe diye yapılarına göre sınıflandırılmışlardır.

Yaz mevsimine doğru, soğuk havaların çekilmesiyle birlikte lokal ve küçük çapta cephesel sistemler meydana gelir. Bu şartlarda oluşan yağışlar kararsızlık yağışları olarak nitelendirilir. Bu yağışlarla birlikte kuvvetli *rüzgâr değişimi* meydana gelir ve Havacılığı olumsuz etkiler.

Kızıl Deniz üzerinden oluşan bir cephesel sistem, bir gün sonra Doğu Akdeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizde etkili olabiliyor. ***Kızıl Deniz üzerinde oluşan cephesel sistemler yakın tarihte fark edilmiş ve oluşumları, böylece tespit edilmiştir.*** Mart ayı 2015 yılında, Malatya’da iki uçağımız ve Nisan ayı 2017 yılında Tunceli’de bir helikopterimiz, Kızıl Deniz üzerinden oluşup gelen cephesel sistemlerde(sıcak cephe sahasında) düştü. (6).

### **Cephesel Sistemlerin Hareketleri:**

İzobar eğrileri ile cephesel sistemlerin(yağış dalgaları) hareketleri ve etkileri belirlenir. Basınç tandans değerleri incelenerek yağış dalgasının yönü ve hızı belirlenir. Sektör rüzgârları(iki cephe arasındaki rüzgârlar) ve yüksek seviye bilgileriyle cephesel sistemlerin hareketleri belirlenir,,. Ülkemiz denizlerle çevrilidir. Yağış dalgaları(cephesel sistemler) denizler üzerinden geçerken, yapılarında ve etkilerinde büyük değişimler ve kırılmalar meydana gelir. Bu değişimler ve kırılmalar her açıdan çok önemlidir. Bir dalganın (cephesel sistemin), yağışa geçmesi için ya havanın yeterince soğutulması ya da hava dalgasına yeterince nem (İşba sıcaklığının, hava sıcaklığına yakın olması) ilave edilir.

### **Troposfer Tabakasındaki Akışlar:**

Troposfer tabakasının akışı, batıdan doğuya doğrudur. Akışın batıdan doğuya doğru olmasında, Dünya’nın dönüşü başta olmak üzere birçok sebep vardır. Ancak, Meteorolojistlerin ilgili olduğu ve ilgilendirilen alan sadece, troposfer tabakası ve troposfer tabakasından oluşan bu akışlardır. Troposfer tabakasından genel akıştan ayrı olarak, sıcak hava ve soğuk hava akımlarından oluşan iki hava akışı daha vardır. Farklı ısınmalara bağlı olarak oluşan bu akışlar; Kuzeyden güneye ve güneyden kuzeye doğru, etki ve tepki sonucunda meydana gelen akışlardır. Ayrıca, Okyanus akıntıları ve yeryüzü şekillerinin neden olduğu bu farklı ısınmalardan dolayı oluşan akışlar da vardır.

Sıcak hava akışı, Ekvator kaynaklıdır ve genel olarak güneyli yönlerden esen rüzgârdır. Ekvatordan kutuplara doğru olan bu akışlar doğu, güney ve güneydoğudan esen rüzgârdır. Soğuk hava hareketleri ise kutupsaldır. Kutup bölgesinden Ekvator bölgesine doğru akarken genelde kuzey, kuzeybatı ve kuzeydoğu yönden esen rüzgârdır.

Troposfer tabakasından oluşan ve en kuvvetli etkiye sahip olan Meteorolojik hava olayı Tornado dur. Bir Tornado olayı ***Nisan ayı 2012 yılında*** Elazığ-Maden ilçesinde saat 18:00 sıralarında, iki farklı cephesel sistemin birleşmelerinden sonra meydana geldi. (Elazığ-Maden hortumu 2012, basından,,).

### **Troposfer Tabakasından Oluşan Etki ve Tepki Hareketleri:**

Sıcak hava ve soğuk hava hareketlerine bağlı olarak Ekvator bölgesinden Kutup bölgesine, Kutup bölgesinden de Ekvator bölgesine doğru sürekli olarak bir hava akışı vardır. Ayrıca, farklı seviyelerde karşılıklı olarak esen rüzgârlar(akışlar), etki ve tepki sonucunda oluşur. ***Soğuk hava çökerek yatay yönden hareket eder. Sıcak hava ise yükselerek yatay yönden hareket eder.***

Troposfer tabakasında oluşan etki ve tepkiler(karşılıklı olarak sıcak ve soğuk akışlar) küresel, bölgesel ve noktasal olarak üç boyutludur. Örneğin; Yer seviyesinde kuzeyli akışlar varken, 500hpa.-300hpa. seviyelerinde buna tepki olarak güneyli akışlar meydana gelir,,. Yer seviyesinde Alçak basınç varken, yüksek seviyede Yüksek Merkez olur. Yer seviyesinde Yüksek Basınç varken, yüksek seviyede Alçak Merkez olur,, vs. Netice olarak, etki ve tepki hareketleri iyi analiz edilip doğru şekilde tarif edilmelidir.

**14 Ekim 2018'de, *Sibirya Yüksek Basıncı*** Güneydoğu Anadolu üzerinden Akdeniz'e inerek bölgemizde(Doğu ve Güneydoğu) son yılların en kuvvetli yağışlarına neden oldu. Bu sistem takip edilerek, bir felaketin yaşanmaması için ilgili birimlere tavsiyelerde bulunuldu. Sibirya yüksek basıncının bu hareketi esnasında, Elazığ Havalimanında geceyin bir ara, ***hava sıcaklığında 12 derecelik yükseliş yaşandı.***

**Dalgaların yönleri İzobar eğrileriyle belirlenir.** Fırtına, kuvvetli rüzgâr, rüzgâr salınımı ve rüzgâr değişiminin akış yönü, ***İzobar eğrileriyle belirlenir. Nisan ayı 2018 yılı İzmir'de,*** üç tane İzobar ve hilal şeklini alan dalgadan oluşan kuvvetli rüzgâr değişiminde bir uçagımız düştü. İzobar sıkışmaları ile beraber yükselen sıcak havaya bağlı olarak rüzgâr değişimi başlar, böylece rüzgâr hızında ani artış ve yönünde salınım meydana gelir. Böyle rüzgârlı şartların takibi için öncelikle sıcaklık hareketleri ile maksimum sıcaklık takip edilmelidir. ***Mart ayı 2021 yılı İzmir'de,*** yine benzer Meteorolojik şartlar ve yine bir jetimiz düştü.

#### **Basınç ve Sıcaklıkla Bir Yağış Dalgasının Tespiti ve Tanınması:**

Yer seviyesinde etkili sıcaklığa sahip bir nokta(alçak basınç sahası - cyclone) ve bu noktayı çevreleyen farklı sıcaklıkta ve farklı yoğunlukta iki soğuk hava kütlesi(farklı özellikte iki yüksek basınç sahası - anticlone) var olur. Yukarı seviyede ise soğuk bir damla(oluk - trough) ve soğuk damlayı çevreleyen sıcak seviye(yüksek basınç sahaları - ridge) vardır. Yer seviyesi(alçak basınç sahası) ile yukarı seviyelerin(soğuk hava seviyesi) birleşimlerinden yağış dalgası oluşur. Bu şekilde her bir yağış dalgası, basınç ve sıcaklık ile tanınır ve takip edilir.

Yağış dalgaları huni, silindir, daire, mengenerler ve küp şeklini alan değişik helezonik yapılardır. Dikey kesitleri, yer ile deniz seviyesinden başlar ve Tropopoz seviyesinde sonlanır. Genelde, yerden itibaren geriye doğru bir meyil halinde bulunurlar.

Yağışsız dalgalarda ise, alt ve üst seviye rüzgârları paralel eser(negative vorticity). Birleşim ve kesişim kümeleri boştur. Dolayısıyla ana seviyeler, birbirlerinden bağımsız ve birbirlerinden etkilenmezler. Seviyeler arasında bir ayrışma vardır. Böyle şartlarda yağış dalgası oluşmaz.

#### **Yağış Dalgasına Şekil Veren, Sıcaklık ve Rüzgârdır:**

Rüzgâr ve sıcaklıkla yağış dalgası takip edilir, ana sevilere arasındaki bağlantılar kurulur. Yağış dalgası dönerek(vorticity) yol alır ve var olan çekim gücünü yol boyunca gösterir. Termik ve dinamik hareketlere bağlı olarak yol boyunca hem güç kazanır ve hem de güç kaybedebilir. Dönerek(cyclone) oluşur, dönerek(anticyclone) kaybolur. Isınma(positive vorticity) ile oluşur, soğumayla(negative vorticity) kaybolur. Dalga oluşumunda(kararsızlık yağışları,,) yer rüzgârı genel olarak güneydoğu veya kuzeydoğu yönlerden eser,,.

#### **Sel, Yıldırım ve Yangınlar:**

Sel, fırtına ve kısa süreli kuvvetli yağışların önlerinde yüksek sıcaklık değerleri ile alçak basınç merkezleri bulunur. Sel, etkili sıcak havanın yukarı seviyede soğuk hava ile birleşmesi sonucu oluşur. Sel'e neden olan dalgaların önlerinde genelde, yüksek sıcaklık değerleri vardır. Sel, sıcak cephe ve oklüzyon cephede genel olarak meydana gelir,,.

Sel'de, 850hpa.'da 5-8 tane sıcak izoterm(advection), 500hpa.'da 1-2 tane sıcak izoterm (advection), 200hpa. da ise 3-5 tane sıcak izotermlik(advection) vardır. 500hpa.'da 2-3 derece soğuk izotermlik hava akışı, selin yaşanacağı noktayı gösterir. İzobar eğrilerin sıkışmalarının yaşanacağı en Alçak Basınçlı alanlarda sel meydana gelir.

Sel'de, Temp diyagramının alçak ve orta seviye rüzgârları genelde doğu ve güneydoğudan eser. Çok kuvvetli Sellerde 500hpa. ile birlikte daha yukarı seviyelerin rüzgârları güneydoğu yönlerdendir. Temp diyagramın genelinde rüzgâr akışı 160-230 derecelerden esiyorsa, beklenen yağışın kuvvetli olma ihtimali çok yüksektir,,,

Yıldırım, farklı iki hava kütesinin şiddetli bir şekilde sürtünmeleri ve çarpışmaları sonucu oluşur. Squalline alanlarında da yıldırım meydana gelir.

Sıcak bölgelerde oluşan Alçak Basınç Merkezleri, Kuzeydoğuya veya batıya hareket ederek yıldırımlara ve kasırgalara neden olur. Kızıldeniz ile Basra merkezli alçak basınçların hareketleri bu yönlerdendir. Diğer hareketler de bu açıdan önemli ve takip edilmelidir.

Misal olarak, Kuzeydoğu Avrupa kıtası hattından(üzerinden), Kızıldeniz hattı boyunca uzanan 4 İzobarlık basınca(soğuk havasına) tepki olarak Yüksek seviyelerde, güneyden kuzeye doğru hareket eden sıcak hava akışları sıkışarak(200hpa.'da, dört-beş İzotermlik sıcak adveksiyon dahil), Batı Karadeniz bölgesinde kuvvetli sellere sebep oldu. Sellerde alt ve üst seviyeler(cyclone) genelde, üst üste gelir. Hatta alt seviye geriye doğru kayabiliyor( 2021'yılı, Batı Karadeniz de ki, sel oluşumunun Sinoptik modeli,,. Buna örnektir).

Yangınları, körükleyerek ve tetikleyerek çoğalmasına sebep olan kuvvetli rüzgâr, basınç ve sıcaklık sıkışmasının sonucunda meydana gelir. Yangınlar için kuvvetli rüzgâr İstidali yapılmalı ve ilgililerle birebir paylaşılmalıdır.

### **Basra Alçak Basıncının Karakteristik Özellikleri:**

Yer seviyesinde alçak basınç, yukarı seviyede ise yüksek merkezli olup, dinamik yapısı olmayan kuru havaya sahip termik bir alçak basınç merkezidir. Ancak bu karakteristik özellikler, sadece Basra bölgesi ve yakın bölgeleri için geçerlidir.

İç Anadolu, İstanbul, Doğu Anadolu'nun kuzeyi ile doğusu, Kara Deniz ve Kafkaslarda Yaz aylarında, Basra Alçak Basıncının sağladığı enerji ile oluşan dinamik yapılar ve oluşan cephesel sistemler yağış, fırtına, hortum ve kasırgalara neden olmaktadır. **2020 yılı Van'da** düşen Uçağımıza Basra Alçak Basıncı(enerjisi) ile oluşan **dinamik yapı** neden oldu. Ayrıca, bu bölgedeki dalgaların kuvvet kazanmalarına en önemli sebep birbirleriyle bağlantılı 2 ya da 3 dalganın birlikte-bağlantılı hareket etmeleri ve daha kuzeydeki erken kaybolup, daha güneydekine kalan kuvvetini(enerjisini) aktarması olayı çok önemlidir. Kuzeydeki dalga daha hızlı hareket ederek kaybolur ve kuvvetini güneydekine aktarır. **Mart ayı 2021 yılı Bitlis'te** yaşanan helikopter kazası, böyle kuvvetlenen(enerji kazanan) sıcak cephe sahasında meydana geldi. Bu cephe hattı, Diyarbakır'dan Hazar denizine kadar uzanıyordu. Bu bölgede oluşan ve birbirleriyle daha sonra bağlantı kuran hava dalgaları, uçuş ve ulaşım için çok önem arz ederler.

Basra Alçak Basıncına(enerjisi) bağlı ve/veya batı yönlerden gelen dalgaların, Basra alçak basıncının enerjisiyle kuvvetlenen cephesel sistemleri(dinamik yapılar), Doğu ve Güneydoğu bölgelerimizde sürekli olarak uçak ve helikopter kazalarına sebep olmaktadır,,.

### **Bütün Değişimler Hava Sıcaklığı ile Başlar:**

Troposfer tabakasında temel fonksiyon sıcaklıktır. Dalgalarda, belirleyici ve tanımlayıcı olan da daima hava sıcaklığıdır(minimum – maksimum sıcaklık).

Mesela; Bir yağış dalgası, bir bölgeyi tam olarak terk ettiğinde minimum hava sıcaklığı en düşük değeri görür ve 200hpa. seviyesinde soğuk adveksiyon da biter. Yağış gelirken, minimum sıcaklık genel olarak yükselir ve en yüksek değere çıkar. Minimum sıcaklık değeri ne kadar fazla olursa, yağış daha erken ve daha fazla olur,,. Sıcak cephelerde, minimum sıcaklık farklılıklar gösterebilir.,,,.

Bir bölgenin minimum sıcaklığı, o bölgeyi temsil eden en düşük değerde(ve en düşük rakımda) ölçülen sıcaklıktır.

Minimum ve maksimum sıcaklıklar, en düşük rakımda gerçekleşir. Sıcaklık hareketleri en düşük rakımlı noktadan, hem ısınma ve hem de soğumada en erken başlar.

Minimum hava sıcaklığı 3-6 derece yükselirse, beklenen Oraj ve fırtına olayları daha çok etkili olabilir,,. Eğer, iki günlük minimum sıcaklık artışı 5-8 dereceyi geçmiş ise hadiseler daha çok etkili olur,,. Minimum sıcaklık az farkla(1-2 derece) yükselmiş ise yağış daha geç olur,,.

Minimum sıcaklık 1-4 derece düştüğünde yer rüzgârı, bir gün öncesine göre daha az olur. 850hpa. sıcaklığı, hava sıcaklığıyla aynı veya yakınsa rüzgar hafif(sakin) eser. **Not:** Verilen bu rakamlar, sadece çok önemli birer emaredir. Ancak, bunlardan kesin hüküm çıkarmak her zaman doğru olmaz. Değerlendirilmeye alınmalarında her zaman büyük yarar vardır.

Dalgaların(dalga boyu, kalınlığı, etkinliği ve enerjisi ile yağışın oluş zamanı) oluşumlarında, minimum hava sıcaklığı en belirleyici ve en önemli bir parametredir.

Harmonik hareketler, havanın akışı, dikey ve düşey salınımlar minimum ve maksimum sıcaklıklar İstidlal edilerek öğrenilir. ***Maksimum ve minimum sıcaklıklar İstidlal edilerek, İstidlal öğrenilir ve Meteoroloji bilim dalı böyle icra edilir.***

### **Rüzgâr Oluşumu:**

Rüzgâr, basınç ve sıcaklık sıkışması sonucunda meydana gelir. Rüzgâr çalışmasına; İzobar eğrileri göz önünde bulundurularak ve hava sıcaklığı ile 850hpa. sıcaklığı mukayese edilerek başlanılır, yüksek seviyelerle devam edilir,,. 850hpa. seviyesi, yer seviyesine en yakın ve yerle temasın olmadığı ilk ana seviyedir. Hava sıcaklığı, 850hpa sıcaklığından yüksek olduğu müddetçe yer rüzgârı vardır, sıcaklık farkı 10 santigrat dereceyi geçerse yer rüzgârı çok daha kuvvetli olur ve fark arttıkça da rüzgar artar,,. Hava sıcaklığı, 850hpa. sıcaklığından düşük olursa o zaman yer rüzgârı az ve/veya sakin olur. Rüzgâr oluşumunda çevresel faktörler ve Coğrafik yapı da çok önemlidir. Rüzgâr oluşumunda, hava sıcaklığı ile çevrenin(üç boyutlu) hava sıcaklığı mukayese edilerek sonuca varılır. ***Mart 2021'de, iki jetimiz hamle ve salınım olan kuvvetli rüzgârda düştü. Böyle hava şartlarında sürekli olarak kazalar tekrarlanmaktadır.***

### **Rüzgâr Değişimi ve Kazalar:**

Rüzgâr değişimi; Rüzgârın yönü ve hızında, yatay ve dikey olarak yer ve zamana bağlı olarak meydana gelen sapmadır. Uçak ve helikopter kazaları, en çok rüzgâr değişiminde meydana gelir. Rüzgâr değişiminde, yer rüzgârı ters yöne dönerek hızında 2-7 kat artış meydana gelir.

Bahar mevsimiyle, hava sıcaklığı hızlı bir şekilde yükselmeye başlar ve bu mevsimde rüzgâr değişimi, Alçak Seviyede meydana gelir. Sıcaklık yükseldikçe rüzgâr değişimi daha yukarı seviyelere doğru çıkar ve daha geç zamanlarda gerçekleşir. İlk rüzgar değişimi, 10 derecelik artıştan sonra, yaklaşık olarak saat 11:00 sıralarında meydana gelir. Yaz ve sonbahara doğru ise yukarı seviyelerde başlayan soğumayla birlikte ve buna bağlı olarak oluşan cyclone dönüşlerle rüzgâr değişimi (yer seviyesindeki rüzgarda) meydana gelir. Örneğin(Bir

Havalimanında saat 16:00 sıraları); Daha önceden yer rüzgârı **030** dereceden orta kuvvette eserken belli bir zamandan sonra, buradaki yer rüzgârı ters dönerek(**210** dereceden) kasırgaya dönüyor ve bu rüzgârda 7 katlık bir artış kaydedilebiliyor. Genel olarak, **yerde yaşanan rüzgâr değişiminde, yer rüzgârı tersine döner ve hızında 2-7 katlık bir artış meydana gelir.** Böyle kuvvetli rüzgârlar geçtikleri her noktada, 1-2 saat etkili olur. Uçak ve helikopter kazaları genelde bu şartlarda meydana gelir.

Yer seviyesinden ısınmayla oluşan rüzgâr değişiminde yer rüzgârı, saat akrep yelkovanı yönünde döner. Yukarı seviyeden soğumayla oluşan rüzgâr değişiminde ise yer rüzgârı, saat akrep yelkovanının tersi yönünde döner(yer seviyesinde). Fırtına öncesinde, yer rüzgârı en belirleyici parametredir. Ayrıca hava sıcaklığı ve yer rüzgârıyla, önceden oluşacak olan fırtınanın takibi yapılabilir. **2018 ve 2019'yıllarında, İstanbul'da iki helikopterimiz sıcak cephe sahasındaki rüzgâr değişiminde düştüler. (8).**

### **Rüzgâr Değişiminin İstidlali:**

Hava sıcaklığı ile birlikte rüzgâr ve bulutlar (Cu, Tcu ve Cb bulutları) takip edilerek rüzgâr değişimi istidlal edilir. Açık hava da ise, sadece sıcaklık ve rüzgâr takip edilerek rüzgâr değişimi tespit edilir ve İstidlali yapılır. Kuvvetli rüzgâr hızı ile birlikte oluşan hamle ve rüzgâr yönündeki sürekli salınım dan(70 dereceyi bulan ve uzun zaman devam eden yön değişimi) dolayı, Konya ve İzmir' de sürekli olarak eğitim uçaklarımız düşmektedir. Rüzgâr değişimi öncesinde genel olarak, yer rüzgârı güneydoğu veya kuzeydoğudan eser. Rüzgâr değişimde, rüzgâr akışı tamamen ters yöne döner ve hızında 2-7 kat artış meydana gelir. Özellikle uçak inişlerinde böyle rüzgâr değişimleri çok önem arz ediyor.

### **Sis Oluşumu ve Kazalar:**

Sis hadisesini İstidlal etmek için noktasal ve bölgesel rüzgâr akışı çözülür, yığılma(Convergence=rüzgâr salınımlı) ve Inversion sahası belirlenir ve ayrıca nispi nem oranı göz önünde bulundurularak, sis İstidlal öylece yapılır. Nispi nem oranı, sis oluşumunda en önemli parametredir. Soğuk hava yer seviyesine indiğinde, sıcaklık en düşük değeri gördüğünde ve basınç en yüksek değere ulaştığı zaman sis oluşumu başlar. Sis oluştuğunda 200hpa. seviyesinde could advection yoktur (soğuk hava tam olarak yere inmiştir) ve minimum sıcaklık en düşük değere inmiştir. Sis oluşumuyla birlikte sıcaklıkta az bir yükselişte gözlemlenir. Bir önceki günde de, minimum hava sıcaklığı yükselmiş olabilir.

Örneğin; Elazığ havalimanında, Belirli bölgelerden Stratus bulutu gelerek havalimanına iner ve yoğun sise neden olur. Bu sis olayı, geceleyin **01.00GMT'de** gerçekleşiyor (uygun hava şartlarında).

850hpa.'da, 4-6 could advectiona bağlı olarak, çok hızlı bir şekilde yoğun sis oluşur(uygun hava şartlarında). **2003 yılında, Diyarbakır'da yolcu uçağı iniş yaparken böyle hava şartlarında düştü. 2009 yılında, Samsun üzerinden Ankara'ya** ulaşım etkili olan soğuk hava(850hpa 3-4 could advection) yoğun sisin oluşmasına ve bir helikopterimiz düşmesine sebep oldu. (7).

### **Sis Hadisesinde Rüzgâr Değişimi ve Kazalar:**

Sis hadisesine bağlı olarak meydana gelen rüzgâr değişimi, gün doğumundan yaklaşık iki saat sonra ve hava sıcaklığı 4 ile 5 derece yükseldikten sonra meydana gelir. Bu şartlarda hava sıcaklığı, genelde sıfır dereceye yakın değerlerde olur. Rüzgâr değişimine bağlı olarak oluşan sisten dolayı, rüyette tekrardan düşüş yaşanır ve havacılıkta aksamalar meydana gelir. Dağlarla çevrili(2-4 kilometre uzakta) Havalimanlarında böyle sis hadisesi olayları meydana gelir(dağa tırmanan hava, tekrar geriye doğru yere iner). **2013 yılında Ankara'da ve 2009 yılında**



**Hollanda’da yaşanan uçak ve helikopter kazaları**, böyle sis hadisesinde ki rüzgâr değişiminde yaşandı. (9).

## **SONUÇLAR ve TARTIŞMA**

### **METEOROLOJİK ÇALIŞMALARDA ve TAHMİNLERDE BELİRSİZLİKLER:**

#### **Meteorolojik Çalışmalarda Yaşanan Problemler:**

Maksimum ve minimum sıcaklık tahminleri üç santigrat dereceden yüksek değerde gerçekleşiyor.

Devamlı olarak yanlış rasat ölçümleri yapılmaktadır.

Cephesel sistemlerin, cephe hatlarının çizimleri doğru yapılamıyor. Analiz ve Gözlem çalışması doğru ve yerinde yapılmıyor. İstidlal, sadece sayısal tahminler üzerinden yapılıyor.

Bilgisayarlara çizdirilen haritalardaki dalga yansımaları, doğru bir şekilde okunamamaktadır.

#### **Meteorolojik Olaylara Bağlı Yaşanan Kazalar Ve Olumsuzluklar:**

Her yıl ortalama 3 tane uçak ya da helikopterimiz, Meteorolojik şartlara bağlı olarak düşmektedir.

Uçaklarda pas geçme, belirsiz iptaller ve pistten çıkmalar devam ediyor.

Meteorolojik olaylara bağlı olarak gemilerimiz batmaktadır. Meteorolojik şartlara bağlı her yıl yüzlerce trafik kazası yaşanıyor. Yangın, yıldırım ve sellerde can kaybı sürekli olarak yaşanmaktadır

#### **Meteoroloji’yi Öğrenmek İçin Yapılacak Çalışmalar:**

Maksimum ve minimum sıcaklık İstidlali yapılmalı ve gerçekleşen fark 1 derece olmalıdır.

Basınç ve sıcaklıkta yaşanan düşüş, yükseliş ve düz gidişlerin sebepleri öğrenilmelidir.

Sıcaklıkların noktasal, bölgesel ve küresel olarak dikey, düşey ve yatay akışları öğrenilmelidir.

Bulutların oluşumları, birikimleri ve dağılımları öğrenilmelidir.

Nemli hava ile kuru havanın özellikleri öğrenilmelidir.

Haritalar çizilmeli, cephesel sistemlerin cephe hatları doğru yapılmalı ve çizilmelidir.

#### **Sayısal Hava Tahmini:**

Sayısal hava tahmini, Matematik ve Fiziksel yöntemlerle formüle edilmiş bir tahmin bilimidir. Ayrıca, önemli gelişmelerdendir. Meteoroloji bilim dalı da aynı metot ve formüldendir. Ancak, Meteoroloji bilim dalı uygulamasında sadece formüller(sayısal hava tahmini) yeterli değildir. Bilimde her zaman bireye ihtiyaç var. Bugün yaşanan sıkıntıların kaynağı, sadece Sayısal Hava Tahminine bağlı kalınmasıdır. Sayısal hava tahmini sorgulanmadan uygulandığı için problemler de, devam edecektir. Sayısal hava tahmini Meteorolojinin türevidir ve ikinci plandadır. Meteoroloji bilim dalı formüllere bırakılacak kadar basit ve değersiz olmamalı. Sayısal hava tahmini üzerinde çalışarak çok kısa bir zamanda Meteoroloji bilim dalı öğrenilir. **Meteorolojiyi doğru anlayacak ve uygulayacak olan bireydir.**

Sayısal hava tahmininin güvenilirliğini anlamak ve öğrenmek için sıcaklık ve basınçtaki sapmalara bakmak yeterlidir.

### **Atmosfer, İlin Bir Parçasıdır:**

Yüce kitabımız Kuran-ı Kerim, yağış hadisesini bir ayet'i celile de mealen şöyle açıklıyor; O sıkıştırılardan şarıl şarıl bir su indirdik. (Nebe suresi 14.ayet)

Ayet'i celile de geçen el-Mu'sirat (sıkıştırılmak-gradient) kelimesinden rüzgâr sıkışması, sıcaklık sıkışması ve basınç sıkışması anlaşılmaktadır. Hava akımlarındaki sıkıştırılma olaylarıyla birlikte, Troposfer tabakasında farklı cinsten bulut tabakaları ve farklı bulut tipleri meydana gelir. Farklı seviye ve tabakalar sıcaklık, basınç ve rüzgâr sıkışmasıyla oluşurlarken, nem ve sıcaklığa bağlı olarak, farklı bulut cinsleri ve tipleri oluşuyor. Yoğunlaşarak sıkıştırılan bulutlardan da yağış meydana gelir. Ayrıca, Ayet'i celile de geçen Seccac (sicim) kelimesinden, alabildiğince dökülmek bir biri ardınca yağmak manası vardır. Özetle; Bu Ayet'i celile yağışın nasıl meydana geldiğini, hangi şartlarda oluştuğunu ve ne şekilde yağdığını açıklıyor.

### **ÖNERİLER:**

#### **ÖNEMLİ TESPİTLER VE BULGULAR:**

Havacılığa destek vermek üzere 1993 yılında, Elazığ Havaalanında Meydan Hava Tahmini(taf) yapılmaya başlandı. Meteorolojik çalışmalar çok öncelerden başlamış olsa da, Elazığ havaalanında Meteoroloji bilim dalı üzerine çalışmalar(havacılığa destek) yeni başlamış oluyordu. Dolayısıyla, Meydan hava tahminindeki(taf ) çalışmalarda 4-5 senede, Havacılığa verilen Meteorolojik destekte başarı elde edilmiş olundu. Ancak, Ülkemizde havacılığa verilmekte olan Meteorolojik destekte (taf, trend, alçak seviye uçuşları,) başarı elde edilememiştir.

**2001yılıının Mayıs ayında;** Alçak Seviye Uçuşu yapan 2 tane uçak, 24 saat arayla düştü. İki kazanın da Meteorolojik şartlardan dolayı meydana geldiği tespit edildi. Bu düşüncelerle, 2001 yılından günümüze kadar meydana gelen uçak ve helikopterlerimizin kazaları araştırılmıştır.

**2009 yılının Mart ayında;** Elazığ yeni havalimanının pisti hizmete girdi. Pistin hizmete alınışının ilk aylarında, 2 tane uçak iniş yaparken olumsuz hava şartlarına yakalandı ve tehlike atlattılar. Havalimanının görüş alanı ve yakınında yaşanan bu iki olay ve yaşanan olumsuz hava şartları üzerine araştırma çalışması yaparken, bu bölgede cephesel sistemlerin oluşumlarını sağlayan Alçak Basınç sahası ve buna bağlı oluşumları olan dinamik yapılar tespit edildi. Bu araştırma çalışmasında ayrıca, Üç Katlı İntegral denklemi ilk olarak kullanmış olundu.

Kızıl Deniz Alçak Basıncından oluşan cephesel sistemler, uçak ve helikopterlerimizin düşmesine sebep olmaktadır. Bu gibi cephesel sistemler ve buna benzer bütün dinamik yapılar öğrenilerek takip edilmelidir. **Kazalar, ancak bu şekilde önlenilir.** Kızıl Deniz üzerinden oluşan ve Ülkemizde etkili olan, bu cephesel sistemlerde meydana gelen uçak ve helikopter kazalarından, iki tanesi 2015 yılında Malatya'da, bir tanesi de 2017 yılında Tunceli'de meydana geldi. (6-1).

### **SONUÇ:**

Meteoroloji, Dünya Meteoroloji Teşkilatının(WMO) belirlemiş olduğu eğitim ve uygulamalarıyla öğrenilir. Meteoroloji'ye özgü çalışma ortamı, çalışma şartları ve düşünme ortamı gereklidir. Muhaberesiz muharebe olmadığı gibi Meteoroloji olmadan havacılık olmaz.

Meteoroloji, dört değişkenin(sıcaklık, basınç, rüzgâr ve nem) değişimlerini(termik, dinamik) inceleyen, belli normları olan, sorgulanabilinen, açık ve şeffaf bir bilimdir. Ayrıca, yüz yıla yakın bir zamandır bütün dünyada müşterek olarak uygulanmaktadır. Yaşanmakta olan hata ve eksiklikler, tamamen yeterli olmayan eğitimden kaynaklanmaktadır. Troposfer tabakasında, basınç ve sıcaklık yansımaları öğrenildiğini zaman Meteoroloji öğrenilecektir.

## Kaynaklar:

(1) Milliyet-18Mayıs,2001-MİLLİYET

**16Mayıs2001** - Diyarbakır'dan Ankara'ya gitmek için kalkan uçak Malatya semalarındayken bir anda uçağın düştüğü ve 34 askerimizin şehit oldu.

(1-a) Hürriyet- Rus yapımı Yakolev-40 tipi *uçağı* **17Mayıs2001** tarihinde kuzey *İran'da* düştü.

(2) SABAH - 16.10.2006 - Bitlis'te savaş uçağı düştü

**Oct16,2006** - Diyarbakır 2'nci Taktik Hava Üs Komutanlığı'ndan eğitim uçuşu için kalkan F- 16 savaş *uçağı*, *Bitlis yakınlarında* kötü hava şartlarından düştü.

(3) Hürriyet ( **2012**) <http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/siirtte-17-askerin-sehit-oldugu-helikopter-kazasinda-takipsizlik-karari-40011279>.

(3-a) Hürriyet (2012) <http://www.hurriyet.com.tr/gundem/afganistanda-turk-helikopteri-dustu-12-askerimiz-sehit-20138519>. **NOT:** Afganistan da yaşanan bu kazadan bir hafta önce Konya'da, benzer hava şartlarında bir askeri eğitim uçağımız düşmüştü. **13Mart2012**.

(3-b) --- Türk Yıldızları'na ait uçak düştü - Son Dakika Haberler - Hürriyet **13Mart,2012** Konya'da eğitim uçağı düştü. Bir adet nf-5 uçağı saat 12:00 sularında eğitim uçuşu sırasında düştü.

(3-c) [www.hurriyet.com.tr](http://www.hurriyet.com.tr) Lice'de askeri helikopter düştü: 1 şehit, 7 yaralı - Son Dakika Haberler **Oct12,2012** – DİYARBAKIR.

(3-d) THK'da son 2 yılda 7 kaza yaşandı, 6 pilot hayatını kaybetti - Şakirpaşa Havalimanı'ndan havalandığı belirlenen Türk Hava Kuruna ait, En son **6 Ekim,2012** tarihinde Efes Havaalanı'ndan kalkan aynı tip eğitim uçağı düştü. Görgü tanıkları, CESSNA 172 tipi olduğu belirlenen sivil eğitim uçağının yüksek gerilim hattına takılması sonucu düştüğünü bildirdi.

(3-e) Foça'da askeri uçak düştü - Son Dakika Haberler - Milliyet TSK'ya ait bir eğitim *uçağı* dün Foça üzerinde denize düştü. İki kişinin bulunduğu *uçağın enkazına ulaşılmadı*.17.01.2012 02:30

(4) Türk kargo uçağı evlerin üzerine düştü. Çok sayıda ölü var – Hürriyet. Jan16,2017 Türk kargo uçağının Kırgızistan'da evlerin üzerine düştüğü kazada can kaybı artı.

(4-a) 16Ocak,1983 Esenboğa uçak kazası - ekşi sözlük Jan16,1983 - Ankara Esenboğa havaalanına iniş sırasında piste birkaç kilometre kala, Trablus-Paris-Ankara-İstanbul seferini yapan thy ye ait "afyon" isimli.

(4-1) DİYARBAKIR' da, **8 Ocak,2003** tarihinde yoğun sis nedeniyle Diyarbakır Havalimanı içerisinde düşen ve 75 kişinin yaşamını yitirdiği uçak.

(4-b) Tarihte Bugün – 29Aralık,1994 – THY TK278 – Van Kazası. Boeing 737-400 tipi “Mersin” isimli Türk Hava Yolları *uçağı* Ankara-Van seferini yapmak üzere 7 mürettebat ve 69 yolcuyla dağa çarptı.

(4-c) TRABZON'DA UÇAK DÜŞTÜ, 74 ÖLÜ! - Haber Vitrini Kırgızistan'ın başşehri Bişkek'ten kalkan YAK-42 tipi Ukrayna'ya ait askeri *uçak*, *Trabzon'un Maçka İlçesi'ne* bağlı Şahinler Köyü'ne *düştü*.26.05.2003.

(4-d) [Atlasjet uçağı Isparta'da düştü: 57 ölü](https://www.cnnturk.com) - <https://www.cnnturk.com> Nov30,2007,.

(5) Faciaya kıl payı -- Hürriyet [www.hurriyet.com.tr](http://www.hurriyet.com.tr) **Jan12,1998** - 68 yolcu ve 5 mürettebatın bulunduğu THY uçağı Samsun'da pistten çıktı. Yüzlerce evin bulunduğu mahalleye doğru ilerleyen uçak kum ve çakıldan oluşan toprağa saplanınca durdu.

(6) Malatya'da iki askeri uçak düştü - BBC News Türkçe - BBC.com [https://www.bbc.com/.../2015/02/15\\_0224\\_Malatya\\_askeri\\_helikopter](https://www.bbc.com/.../2015/02/15_0224_Malatya_askeri_helikopter).

Malatya 7. Ana Jet Üssü'nden havalanan iki F-4 tipi askeri uçağın Akçadağ ilçesine düştüğü belirtildi. *Malatya'da iki askeri uçak düştü. 24Şubat,2015.*

(6-1) Tunceli'de helikopter düştü... Kahreden haber: 12 şehit [www.hurriyet.com.tr](http://www.hurriyet.com.tr) > Gündem Haberleri Apr18,2017 – Haberler Gündem Haberleri Son dakika: *Tunceli'de helikopter düştü. 18Nisan,2017* günü saat 11.40 sıralarında Pülümür.

(7) Kaybolan helikopter bulundu - -- Hürriyet [www.hurriyet.com.tr](http://www.hurriyet.com.tr) **Feb1,2009** - Saat 16.45'te Ankara'ya ulaşması beklenen Emekli Kara Pilot Albay Süleyman, *Helikopterin* kaybolduğu sırada bölgede yoğun sis ve tipinin kazaya neden olduğu AB- 212, diğeri H- 500 tipi olmak üzere iki *helikopterin düştüğünü* hatırlattı.

(8) Şehit pilotlara ulaşıldı – Hürriyet [www.hurriyet.com.tr](http://www.hurriyet.com.tr) Mart4,2005 - Hava Kuvvetleri Komutanlığı Genel Sekreterliği, *Karabük'te* düşen askeri uçağın pilotları Hava Pilot Yüzbaşı Fatih Devravut ve Hava Pilot Üsteğmen Fatih Keskin'in şehit olduğunu bildirdi. *17 yılda 21 F-16 düştü.*

(8-a) Isparta Yalvaç'ta CASA askeri eğitim uçağı düştü, 3 asker şehit oldu [www.hurriyet.com.tr](http://www.hurriyet.com.tr) - *ispartada-casa-tipi-egitim-ucagi Jan18, 2018 - Uçağın düşüşünün nedeni kara kutunun incelenmesi ve kaza kırım. Tüm dünyada 5 kaza yaparken bunların 3'ü Türkiye'de meydana gelmiştir, (ref,no).*

(8-1) İzmir'de Eğitim Uçağı Düştü: 2 Pilot Şehit. İzmir Çiğli 2'nci Ana Jet Üssü'nde eğitim uçağı düştü, 2 pilot şehit oldu. 16 Şubat,2018 Cuma 11:33.

Nov19,2018 - Denizlide eğitim uçağı düştü; Pilot ve öğrencisi aranıyor **30 Ekim 2018**

(8-c) Şırnak'ta helikopter kazası! TSK: 13 asker şehit oldu - <https://www.haberturk.com> > Jun1,2017 - Türk Silahlı Kuvvetleri'nden yapılan açıklamada Şırnak'ta düşen askeri helikopterdeki 13 askerin şehit olduğu duyuruldu. 31.05.2017 - 21:41.

(8-d) Tokat'ta askeri helikopter düştü - Son Dakika Haberler - Milliyet [www.milliyet.com.tr](http://www.milliyet.com.tr) > Gündem > Haber [Translate this page](#) Jun10,2010. 10.06.2010 11:52.

(8-e) Giresun'da askeri helikopter düştü 7 şehit - Son [www.hurriyet.com.tr](http://www.hurriyet.com.tr) > Gündem Haberleri [Translate this page](#) Jul6,2016 - *Giresun'da* bayramlaşmaya giden jandarma komutanları ile eş ve çocuklarının bulunduğu askeri *helikopter* Tohumcuk Yaylası'na düştü.

(8-f) İstanbul Çekmeköy'de askeri helikopter düştü! Acı <https://www.sabah.com.tr> > Gündem Haberleri İstanbul Çekmeköy' de askeri *helikopter düştü!* Acı haber geldi. Giriş Tarihi: 11.2.2019 20:14 Güncelleme Tarihi: 11.2.2019 22:57.

(8-g) **20Mayıs,2011** - Beykoz'da içinde 3'ü emniyet mensubu 5 kişinin bulunduğu Allouette 2 tipi *polis helikopteri, Boğaz'a düştü.*

(8-h) **14Mayıs, 2013** - Osmaniye Amonoslar'da F-16 savaş uçağı düştü. ... "13 Mayıs 2013 Pazartesi günü saat 14.15'te Osmaniye civarında.

(8-ğ-) Sivas'ta askeri uçak düştü: 2 pilot yaralı. **30 Eylül 2013.**

**(8-h) Nov 26, 2018** İstanbul - *İstanbul* Sancaktepe’de eğitim uçuşu yapan askeri *helikopter düştü*. Kaza sonucu 4 asker şehit oldu,

**(8-ı) Feb 12, 2019** İstanbul - *İstanbul* Çekmeköy Kirazlı Mahallesi'nde bir site içine UH-1 tipi askeri *helikopter* bilinmeyen bir nedenle *düştü*.

**(8-i) 6Eylül, 2018** İstanbul-*İstanbul* Maltepe açıklarında *düşen* Bell 430 tipi *helikopterde* 5 kişinin bulunduğu Allouette 2 tipi polis *helikopteri, Boğaza düştü*.

**(9)** THY uçağı Hollanda'da düştü: 9 ölü | NTV --**26.02.2009** -Türkiye uçak yeni Reuters. İstanbul'dan Amsterdam'a giden THY *uçağı*, inişe geçtiği sırada tarlaya *düştü*.

**(9-a)** Ankara'da askeri helikopter düştü – Hürriyet.-- Dec17, 2013 - *Ankara'da Gölbaşı* yakınlarında eğitim uçuşu sırasında askeri helikopter düştü.

# PEM Yakıt Pillerinde Katalizörler

Zeynep ERDEM<sup>1</sup>  
Şevval TUNA<sup>2</sup>  
Nisa Nur ATAĞ<sup>3</sup>  
Battal DOĞAN<sup>4</sup>

## 1. Giriş

PEM yakıt pillerinde katalizör tabakası, anot ve katot katalizör tabakalarından oluşur. Katalizör tabakasının görevi elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesidir. Anot katalizör tabakasında, anot gaz difüzyon tabakasından gelen hidrojen yakıtının negatif ve pozitif yüklerine ayrılma işlemi gerçekleşir. Katot katalizör tabakasında gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonda ise membrandan geçerek gelen protonların katot katalizör tabakasına gelen oksijen ile birleşerek suyu oluşturması söz konusudur. Katalizör tabakasında yaygın olarak geçiş elementleri kullanılır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan katalizör malzemesi ise maliyeti ve elektriksel iletkenliği yüksek olan platindir. Platinin kullanılmasının nedeni, oksijen indirgenme reaksiyonu ve hidrojen yükseltgenme reaksiyonunu diğer malzemelere göre daha iyi bir performansta gerçekleştirmesidir (KARAKIŞ, 2021). Polimer elektrolit membran (PEM) yakıt pillerinin ticarileşmesi için kullanılan elektro katalizörün verimliliğinin artırılıp maliyetinin düşürülmesi oldukça önemlidir (KAPLAN, 2021). Yakıt pillerinde kullanılan yakıt ile yakıt türüne bağlı olarak çalışma sıcaklığı değişmektedir. Ayrıca kullanılan yakıtta ve çalışılan sıcaklığa göre reaksiyon hızını artıracak katalizör seçimi yapılmalıdır. Çalışma sıcaklığı daha düşük olan yakıt pillerinde kimyasal reaksiyonlar genellikle daha yavaş gerçekleşir ve bu, hücrenin verimini düşürebilir. Bu yavaş reaksiyonları hızlandırmak ve hücrenin daha verimli çalışmasını sağlamak için katalizörler kullanılır. Ancak çok yaygın olarak kullanılan platin gibi kıymetli metaller, yüksek maliyetleri nedeniyle yakıt hücresi maliyetini artırabilir. Bu nedenle, araştırmacılar daha ucuz ve etkili katalizörler geliştirmek için çalışmaktadır. Alternatif katalizörlerin geliştirilmesi, yakıt hücresi teknolojisinin daha geniş çapta kullanılabilir ve ekonomik hale gelmesine yardımcı olabilir. Yakıt hücrelerinin ticari olarak daha rekabetçi hale gelmesi için maliyetleri azaltmak önemlidir. Bu, daha fazla uygulama alanı ve sürdürülebilir enerji üretimi için önemli bir adımdır. Çalışma sıcaklığı daha yüksek olan yakıt pillerinde ise reaksiyonu hızlandırmak için sıcaklık yeterli olduğundan katalizör olarak daha ucuz malzemeler kullanılabilir. (Gülcan, 2014)

Karakış (KARAKIŞ, 2021), yaptığı çalışmada platin katalizörlerine alternatif olarak kullanılacak bakır ve demir bazlı çevrel fazlı katalizörler sentezlemeyi hedeflemiştir. Elde edilen sonuçlara göre,  $\text{Cu}_2\text{Mo}_6\text{S}_8$  katalizörleri, Pt/C katalizörlerine oldukça yakın performans göstermektedir. Kütle aktivitesi  $4,51 \text{ mA/cm}^2$ , yüksek akım yoğunluğu  $43,98 \text{ mA/cm}^2$ , başlangıç potansiyeli  $0,89 \text{ V}$  ve yarı-dalga potansiyeli  $0,64 \text{ V}$  olarak ölçülmüştür. Özellikle,  $\text{Cu}_2\text{Mo}_6\text{S}_8$  katalizörü,  $0,4 \text{ V}$  potansiyelde (karşılaştırma olarak RHE'ye karşı)  $43,98 \text{ mA/cm}^2$ 'lik yüksek bir akım yoğunluğu sergilemiştir ki bu, Pt/C katalizörünün akım yoğunluğu olan  $45,59 \text{ mA/cm}^2$ 'ye oldukça yakın bir değerdir. Ayrıca,  $\text{Cu}_2\text{Mo}_6\text{S}_8$  katalizörünün başlangıç potansiyeli

<sup>1</sup> Araştırmacı, Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği

<sup>2</sup> Araştırmacı, Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği

<sup>3</sup> Araştırmacı, Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği

<sup>4</sup> Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği

ve yarı dalga potansiyeli, Pt/C katalizörünün karşılık gelen değerlerine (başlangıç potansiyeli 0,92 V, yarı dalga potansiyeli 0,75 V) oldukça yakın bir şekilde bulunmuştur. Bu sonuçlar, bakır ve demir bazlı katalizörlerin, platin katalizörlerinin yerini alabilecek alternatifler olabileceğini göstermektedir. Bu tür alternatif katalizörlerin geliştirilmesi, yakıt hücresi teknolojisinin maliyetini düşürebilir ve daha sürdürülebilir bir enerji üretimine katkıda bulunabilir.

Kaplan (KAPLAN, 2021), tarafından yapılan çalışma, ticari olarak kullanılan platin destekli karbon siyahının (Pt/C) dezavantajlarından dolayı indirgenmiş grafen oksit (GO) ve karbon nanofiber (KNF) hibrit destekli platin elektro katalizörlerin kullanımını incelemiştir. Pt/rGO-KNF elektro katalizörü, Pt/KNF ile karşılaştırıldığında daha yüksek katalitik aktiviteye sahip olmuş ve yakıt hücresi performansında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (maksimum güç yoğunluğu: 447 mW.cm<sup>-2</sup>). Ayrıca, Pt/rGO-KNF katalizörü daha yüksek hidrojen oksidasyon ve oksijen indirgenme reaksiyon aktivitesi sergilemiştir. Bu hibrit karbon yapısı, özellikle liflerin aglomerasyonunu önlediği için oksijen katalitik bölgelerine daha iyi erişim sağlamıştır. Kahraman ve diğ. (KAHRAMAN, KOLİP, & Koroğlu, 2019) yaptıkları çalışmada yakıt hücrelerinin performansını etkileyen önemli faktörlerden birinin seçilen katalizörün verimliliği olduğunu vurgulamıştır. Özellikle düşük sıcaklıklı yakıt hücrelerinde, elektrotun katalitik işlevinin daha da önemli olduğu açıklanmıştır. Bu durumun arkasındaki neden ise, iyonizasyon reaksiyonunun sıcaklıkla doğru orantılı olarak hızlanmasıdır. Eğer işletme sıcaklığı artırılmıyorsa, reaksiyon hızını artırmak için katalizör kullanımının gerekebileceği belirtilmektedir. Aynı zamanda, tek bir hücrede uygun işletme sıcaklığını korumak için ısıtmanın kullanıldığı ifade edilmiştir. Yine de çok hücreli sistemlerde işletme sıcaklığının istenen değer olan 80°C'nin üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu sistemde kullanılacak soğutma plakalarının, sıcaklığın istenen aralıkta kalmasına yardımcı olacağı ve aynı zamanda katalizörlerin zarar görmemesi ve membranın kurumaması gibi kritik faktörlere katkı sağlayabileceği belirtilmiştir.

Dundar ve diğ. (Dundar, ve diğerleri), PEM yakıt pillerinin katalizörleri üzerine yaptıkları çalışmada, destek malzemesi olarak kullanılan Vulcan XC-72 parçacıklarının yüzeyini ince bir silika tabakası ile kaplamayı amaçlamışlardır. Bu kaplama işlemiyle aerogel benzeri bir yapı oluşturmayı hedeflemişlerdir. Farklı oranlarda (%20'den %45'e kadar) platin içeren katalizörlerle yapılan yakıt hücresi testleri sonucunda, içerikteki platin oranının yakıt hücresinin performansındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Araştırmanın sonuçlarına göre, platin oranının artmasıyla yakıt hücresinin performansında doğru orantılı bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, silika miktarına bağlı olarak belirli bir seviyeye kadar performansta artış görülmüş, ancak daha sonra performansın tekrar düştüğü tespit edilmiştir. Bu çalışma, yakıt hücresi katalizörlerinin tasarımında platin içeriğinin ve silika kaplama miktarının önemini vurgulamaktadır. Sayar 'ın (Sayar, 2008) çalışmasına göre, yakıt pilleri kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren güç sistemleri olarak kabul edilir. Bu tür pillerde farklı yakıt seçenekleri bulunmakta olup, özellikle alkoller tercih edilen yakıt türleri arasında yer almaktadır. Alkollerin bu tercih edilme nedenleri, yüksek reaktivite oranları, sıvı çözeltilerde yüksek çözünürlükleri ve kolay yük depolama yeteneklerini içermektedir. Ancak, yakıt seçimi kadar önemli olan bir diğer faktör de katalizör seçimidir. Katalizör sistemi, yakıt maddesiyle istenmeyen reaksiyonlara girmemeli, yüksek aktiviteye sahip olmalı ve aynı zamanda ekonomik olmalıdır. Değerli metaller, özellikle platin gibi, maliyet açısından dezavantajlıdır ve yakıt pilleri için yüksek maliyetli bir çözüm sunarlar. Bu nedenle, alternatif iletkenler ve maddeler geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu alternatifler, daha ekonomik ve verimli katalizörler sunarak yakıt hücresi teknolojisinin maliyetini azaltmaya ve daha geniş bir kullanım alanına açmaya yardımcı olmuştur. Yakıt hücresi teknolojisinin geliştirilmesi, daha sürdürülebilir ve erişilebilir bir enerji kaynağına doğru önemli bir adımı temsil etmektedir.



Zang ve ark. (Linfeng Zang, Liang Hao, Xiaojing Zhu, 2023), katot katalizör katmanındaki (CCL) gözenek yapısının PEM yakıt hücresi soğuk başlatma işlemi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla gözenek yapısı ile su fazı geçişi arasındaki ilişki dikkate alınarak geçici bir soğuk başlangıç hesaplamalı modeli geliştirilmiştir. CCL, yakıt hücresinin en iyi soğuk başlatma kapasitesine sahip olmasını sağlayan optimum bir ortalama gözenek boyutuna sahip olmalıdır. Optimum gözenek boyutu ise ortam sıcaklığına bağlıdır ve daha düşük ortam sıcaklığında daha küçüktür.

Gu ve diğ. (Gu, J.; Zhang, G.-M.; Yao, R.; Yu, T.; Han, M.-F.; Huang, R.-S, 2022) yüksek performanslı PtNi alaşımlı katalizörlerin geliştirilmesine yönelik bir araştırma yapmıştır. Elde edilen sonuçlar, hazırlanan PtNi/C alaşım katalizörünün mükemmel elektrokimyasal aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir: elektrokimyasal yüzey alanı  $63,8 \text{ m}^2 \cdot \text{gPt}^{-1}$  ve kütle aktivitesi  $0,574 \text{ A} \cdot \text{m} \cdot \text{gPt}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Bu, Pt/C JM katalizörününkinin 2,73 katıdır. PtNi/C alaşım katalizörünün dayanıklılığı da incelenmiş ve 30 K döngü hızlandırılmış dayanıklılık testi sonuçları, elektrokimyasal yüzey alanının %10,2 ve kütle aktivitesinin %31,2 oranında azaldığını göstermiştir. Bu çalışma PtNi/C alaşım katalizörünün mükemmel performansa sahip olduğunu ve büyük ölçekli ticari uygulamalara potansiyel sunduğunu göstermektedir.

Ekinci ve ark. (A. EKİNCİ, S. HOROZ, O. BAYTAR, Ö. ŞAHİN, 2020)  $\text{NaBH}_4$  hidrolizinde kullanılmak üzere kimyasal indirgeme yöntemi ile Lantan (La) ve tungsten (W) metalleri eklenen Co-B bazlı dördüncül alaşım katalizörlerini sentezlediler.  $\text{NaBH}_4$  hidrolizinde metal içeriği (La ve W),  $\text{NaBH}_4$  konsantrasyonu, NaOH konsantrasyonu, katalizör miktarı ve sıcaklık parametrelerinin etkisini araştırdılar. Aktivite sonuçları, NaOH konsantrasyonunun yanı sıra  $\text{NaBH}_4$  konsantrasyonunun artmasıyla hidroliz reaksiyon hızının önce arttığını, sonra azaldığını göstermektedir. Co-La-W-B katalizörlerinin hidrolizinin aktivasyon enerjisi  $39,2 \text{ kJ/mol}$  olarak hesaplandı. Hidrojen üretim hızının maksimum değeri  $3280 \text{ ml/dak}$  idi. Uygulama açısından PEM yakıt hücresi uygulamasında Co-La-W-B katalizörü varlığında üretilen hidrojen kullanılmıştır. Sistemin güç ve ideal voltajına göre ortalama verim değeri ve maksimum güç değeri sırasıyla %57, %73 ve  $1,4 \text{ Watt}$  olarak belirlendi. Bu orijinal çalışma, Co-La-W-B katalizörünün PEM yakıt hücresi uygulamaları için ideal bir katalizör olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Sneed ve ark. (Brian T. Sneed, David A. Cullen, R. Mukundan, Rodney L. Borup and Karren L. More, 2018), Pt-Co elektro katalizörünün karakterizasyonunu incelemişlerdir. Geçiş metalleri ile alaşımlandırılmış Pt katalizörlerinin geliştirilmesi, proton değişim membranlı yakıt hücrelerinin katodunda oksijenin indirgenmesi için son teknoloji ürünü elektro katalizörlerin yeni bir sınıfının ortaya çıkmasına yol açmıştır; ancak Pt bazlı alaşım katalizörlerinin dayanıklılığı, zayıf yapısal ve kimyasal stabilite nedeniyle zorlanır. Yakıt hücresi çalışması sırasında katalizörde meydana gelen morfolojik ve bileşimsel değişikliklerin daha iyi anlaşılmasına ihtiyaç vardır. Bu araştırmada membran elektrot düzeneğinin katoduna bir Pt-Co elektro katalizörü dahil edilmiştir. İncelenen PtCo katalizörü için gözlemlenen geçiş metali süzme davranışının, diğer PtCo alaşım katalizörlerine göre daha tutarlı olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmalar, hızlı Co çözünmesinin katalizör katmanlarındaki kütle taşıma özellikleri üzerindeki etkilerini daha iyi anlamayı amaçlamıştır. Carcadea ve ark. (E. Carcadea, M. Varlam, A. Marinoiu, M. Raceanu, M.S. Ismail, D.B. Ingham, 2019), katalizör mikro yapısının  $5 \text{ cm}^2$  PEM yakıt hücresi performansına etkisini araştırmışlardır. Katalizör katmanı bileşimi ve özellikleri (yani iyonomer hacim fraksiyonu, platin yüklemesi, parçacık yarıçapı, elektrokimyasal aktif alan ve karbon destek tipi) ve iyonomerden ve katalizör parçacıklarını çevreleyen sıvı sudan kaynaklanan kütle aktarım direncinin etkileri polarizasyon eğrileri ve temel parametrelerin yerel dağılımları açısından incelenmiştir. Sonuç olarak, iyonomer hacim fraksiyonunun optimum aralığı bulunmuş ve performansta %39'luk bir kazanç elde edilmiştir. Platin yüklemesi ve katalizör parçacık yarıçapı açısından sonuçlar, daha yüksek bir yüklemenin

ve daha küçük bir yarıçapın, PEM yakıt pili performansında bir artışa yol açtığını gösterildi. Ayrıca, elektrokimyasal aktif alanın etkisi, akım yoğunluğunda genel olarak %22'lik bir artışa neden olur ve bunun nedeni, suyun uzaklaştırılması için daha iyi elektriksel temaslara ve ek yollara sahip olan, Pt parçacıkları için destek olarak geliştirilen iyot katkılı bir grafenin kullanılmasıdır.

Daş ve ark. (Elif Daş, Ayşe Bayrakçeken Yurtcan, 2016), katalizörlerin stabilitesini arttırmak amacıyla PEM yakıt hücresi katalizörlerine destek olarak yeni karbon ve/veya kompozit malzemelerden olan iletken polimer polipirol (PPy) kullanımını araştırmışlardır. Bunun için PPy/karbon kompozitleri üzerinde platin (Pt) nanopartikülleri mikrodalga ışınlama tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Sonuç olarak kompozitteki karbon oranı arttıkça PEM yakıt hücresi performansı da artmıştır.

## 2. Yakıt Pilleri

Yakıt pili, fosil yakıtların kullanıldığı enerji kaynaklarındaki gibi yakılmak yerine, yakıt ve oksijen arasındaki elektrokimyasal reaksiyon sonucunda enerji üreten bir tür bataryadır. Bu elemanlar, kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Genellikle yakıt olarak hidrojen gazı kullanılmakla birlikte metan, doğal gaz, etanol gibi kaynaklarda kullanılabilir. Çeşitli faktörler yakıt pilinin türünü belirlemektedir. Bu etkenler: yakıt, elektrolit tipi, oksitleyici, çalışma sıcaklığı, yakıtın tedarik biçimidir.

Yakıt pilleri çoğunlukla çalışma sıcaklığı, elektrolit tipi ve yakıt tipine göre, polimer elektrolit, alkali, fosforik asit, erimiş karbonat ve katı oksit yakıt pili olarak sınıflandırılır. Yakıt pillerini oluşturan malzemelerin özellikleri yakıt hücrelerinin işletme sıcaklığı ve ömürlerini etkiler.

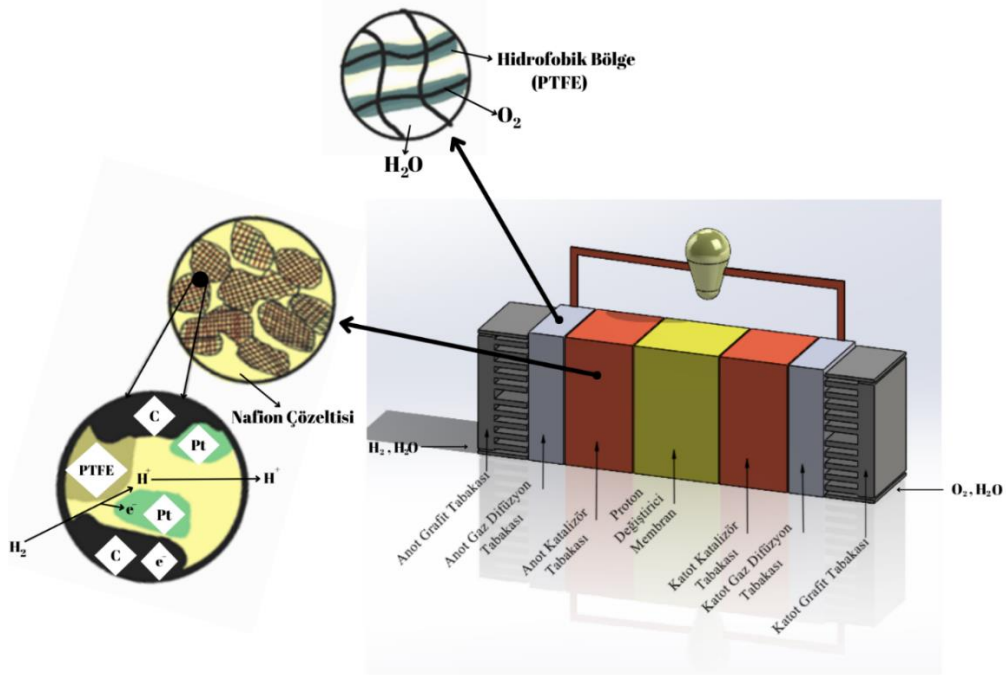
Yakıt pilinde kullanılacak yakıt seçimi için de çalışma sıcaklığı oldukça önemlidir ve kullanılacak yakıtta göre reaksiyon hızını artıracak katalizör tercihi yapılmalıdır. Çalışma sıcaklığı daha düşük olan yakıt pillerinde kimyasal reaksiyon hızı düşüktür. Bu nedenle reaksiyonu hızlandırıp pil verimini artıran platin katalizörler kullanılır. Katalizörde platin metalinin kullanımı ise maliyeti artıracaktır. Çalışma sıcaklığı daha yüksek olan yakıt pillerinde ise sıcaklık reaksiyonu hızlandırmak için yeterli olduğu için daha ucuz malzemeler kullanılabilir (EKER, 2012).

Harry Karl Ihring'in 20 beygir gücünde bir traktör tasarlaması ve yakıt hücresi teknolojisi ile çalışabilen bir traktör üretmesi, günümüzde yakıt hücresiyle çalışan makinelerin yolunu açmıştır. 1955 yılında kimyager W. Thomas Grubb, iyon değişimli sülfonlanmış polistiren zarını elektrolit olarak kullanarak yakıt hücresinin tasarımını geliştirmesi ve üç yıl sonra kimyacı Leonard Niedrach'ın geliştirdiği, oksijen indirgenmesi ve hidrojen yükseltgenmesi reaksiyonlarında katalizör olarak işlev görecektir platinin polimer zarın üzerine yüklenmesiyle hücre daha sonra 'Grubb-Niedrach Yakıt Hücresi' olarak adlandırılmıştır. Polimer Değişim Zarlı (PEM) yakıt hücresi, hidrojen yakıtını kullanarak elektrik üretimi sağlayan bir teknolojidir. Genellikle hidrojen gazı yakıt hücresinin anot tarafına beslenir. Anottaki platin katalizör sayesinde hidrojen molekülleri protonlara ve elektronlara ayrışır. Ayrışan protonlar, polimer membran içinden geçerek katoda doğru yönlendirilir. Bu sırada elektronlar dış devrede akım oluşturur. Oluşan bu elektrik akımı, katoda gelen oksijen molekülleri ile birleşerek ısı ve su oluşturur. Düşük çalışma sıcaklıklarında dahi yüksek verim elde edebilme yeteneği, sessiz çalışma özelliği, temiz atık olarak sadece saf su üretimi PEM yakıt hücresinin avantajlarıdır. Ancak, PEM yakıt hücresi aynı zamanda bazı dezavantajlara sahiptir. Kullanılan platin katalizörlerin maliyeti yüksektir ve yüksek sıcaklıklarda, düşük nem oranlarında membran performansı düşebilir. Bu dezavantajların aşılması ve PEM yakıt hücresinin daha geniş çapta

kullanılabilir hale gelmesi için çalışmalar devam etmektedir (KAHRAMAN, KOLİP, & Koroğlu, 2019).

Proton değişim membran (PEM) yakıt hücresinde, elektrot kısmı gözenekli bir yapıya sahiptir ve destek malzemesi olarak karbon kullanılırken, elektronları transfer etmek için platin kullanılır. Elektrotlar oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir ve yakıt olarak kullanılan gazlar ( $H_2$  ve  $O_2$ /Hava), elektrotlardan katalizöre doğru difüzyonla ulaşır. Hem platin hem de karbon, iyi iletkenlik özelliklerine sahiptir, böylece elektronlar dış devre boyunca serbestçe hareket edebilirler. Platin partiküllerinin yaklaşık olarak 2 nanometre çapında olmasının yanı sıra, kullanılan platinin toplam yüzey alanı geniş olur. Platinin toplam kütesinin küçük olmasına rağmen, çok sayıda küçük partikül bulunması, toplam yüzey alanının oldukça geniş olmasına neden olur. Bu geniş platin yüzey alanı, elektrot reaksiyonlarının etkin bir şekilde gerçekleşmesini sağlar (Gülcan, 2014).

Bir membran-elektrot yığı (MEY), şekil 2’de gösterilen proton değişim membranı, anot katalizör tabakası, katot katalizör tabakası, gaz difüzyon tabakalarından meydana gelmektedir ve bu tabakaların yakıt hücresinin performansı üzerinde önemli rolleri vardır. PEM yakıt pilinin performansı birincil olarak MEY’in kalitesine bağlıdır. MEY’in performansını etkileyen faktörler ise membranın ve gaz difüzyon tabakasının tipi, kalınlığı ve kalitesidir. MEY oluşumunun maliyetini düşürmek oldukça önemlidir. Bu da katalizörde kullanılan platinin performans kaybına neden olmayacak şekilde miktarını azaltarak sağlanabilir. Yakıt hücresi performansını artırmak için, katalizörün membran veya gaz difüzyon tabakası yüzeyinde daha iyi dağıtılması, üç faz sınırının artırılması (katı, sıvı gaz fazı) ve reaksiyon alanlarındaki direncin azaltılması sağlanabilir. 1960’lı yıllarda, Gemini uzay programı kapsamında kullanılan membranların platin kaplama alanı  $4 \text{ mg/cm}^2$  düzeyindeydi. Ancak günümüz teknolojisi ile bu değer  $0,5 \text{ mg/cm}^2$ ’ye kadar indirilebilmiştir. MEY yapısına sahip olan katalizör mürekkebi, kullanıldığı yer bakımından membran temelli elektrot ve gaz difüzyon katmanı temelli elektrot olarak iki farklı bölüme ayrılmıştır (Gülcan, 2014).



Şekil 2: PEM yakıt hücresinin katmanları

Membran Esaslı Elektrot (Katalizör Kaplı Membranlar) yöntemi, anot ve katot elektrotlarını membran yüzeyinde oluşturarak çalışır. Katalizör mürekkebi, membran yüzeyine

püskürtme veya fırçalama gibi yöntemlerle uygulanır. Alternatif olarak, sıyırma yöntemi kullanılabilir; burada, düz bir teflon veya poliimid tabakası üzerine katalizör mürekkebi elektrikli baskı veya püskürtme ile uygulanır. Sonrasında, kurutulmuş levha üzerine sıcak baskı uygulanarak katalizör membrana aktarılır. Katalizör ile kaplanmış membranın her iki tarafına gaz difüzyon tabakaları eklenir ve sıcak baskı altında Membran Elektrokimyasal Yüzey (MEY) hazırlanır. Bu yöntem, katalizör kaplı membranların hazırlanmasına odaklanan bir çalışma grubu tarafından geliştirilmiştir. Gaz Difüzyon Katmanı Esaslı Elektrot yöntemi ise katalizör mürekkebinin doğrudan gaz difüzyon tabakasına uygulandığı bir yöntemi içerir. Bu yöntem, elektrodu daha kolayca hazırlamayı sağlar. Katalizör mürekkebi, gaz difüzyon tabakasına püskürtme veya fırçalama gibi yöntemlerle uygulanabilir. Katalizör yüklü gaz difüzyon tabakaları arasına polimer elektrolit eklenir ve sıcak baskı altında MEY oluşturulur. (Gülcan, 2014).

MEY'in başlıca bileşenleri arasında elektrotlar, membranlar, katalizörler ve gaz difüzyon katmanları bulunmaktadır. Bu bileşenlerin her biri, yakıt hücresinin verimli çalışması için kritik öneme sahiptir. Elektrotlar, elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği yerlerdir ve reaksiyon hızını artırmak için katalizörler içerir. Membranlar, iyonların geçişine izin verirken gazları izole eder ve elektrotlar arasında iyon iletimini kolaylaştırır. Katalizörler, yakıtın oksidasyonu ve oksijenin redüksiyonu gibi reaksiyonları hızlandırır. Gaz difüzyon katmanları ise gazların elektrodulara ulaşmasını sağlar. Bu bileşenlerin işlevleri, MEY'in performansını ve verimliliğini belirlemede kritik bir rol oynar. Tablo 1, Membran Elektrokimyasal Yüzey 'in (MEY) bileşenlerini ve bu bileşenlerin görevlerini ayrıntılı bir şekilde sunmaktadır.

*Tablo 1. MEY bileşenleri ve görevleri (Gülcan, 2014)*

Membran Elektrot Yığını Bileşenleri	Görevleri
Anot Contası	Yakıt olarak kullanılan hidrojenin ve yan ürün olarak oluşan suyun anottan sızmasını engellemek.
Anot Gaz Difüzyon Tabakası	Hidrojen gazını anot katalizöründe homojen dağıtmak ve elektrik akımını iyi bir şekilde iletmek.
Anot Katalizörü	Hidrojenin oksidasyon reaksiyonu geçirmesini sağlayarak membrana protonun geçişini sağlamak, gözenekli yapısı dolayısıyla su ile gaz transferine izin vermeli, elektron iletkenliği ve ısı geçişi sağlamak.
Proton Değişimli Membran	Proton iletkenliği, yüksek akımları düşük direnç kaybıyla iletebilme yeteneği sunarken, suyun iletilmesini kolaylaştırır ve elektriksel yalıtım sağlar. Aynı zamanda mekanik dayanıklılığı artırarak yakıt ve oksidasyon gazlarının karışmasını engeller. Bu özellikler farklı uygulamalarda büyük avantaj sağlar.
Katod Katalizörü	Gözenekli yapı, oksijenin indirgenme reaksiyonunu kolaylaştırır, proton geçişini sağlar, suyun uzaklaştırılmasını destekler, elektron iletimini mümkün kılar ve ısıyı dağıtır.
Katod Gaz Difüzyon Tabakası	Oksijen gazını katod katalizöründe homojen dağıtmak, suyun katottan giderilmesini sağlamak ve elektrik akımını iletmek.
Katod Contası	Oksijen kaynağı olarak verilen havanın ve yan ürün olarak oluşan suyun anottan sızmasını engellemek.

### 3. PEM Yakıt Pillerinde Katalizörler

Membranın iki tarafında bulunan katalizörler, anotta hidrojen yükseltgenme ve katotta oksijen indirgenme reaksiyonları için aktif bölge sağlarlar. Elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi nedeniyle katalizörler PEM yakıt pilinin en önemli parçasıdır ve yaklaşık 10-30

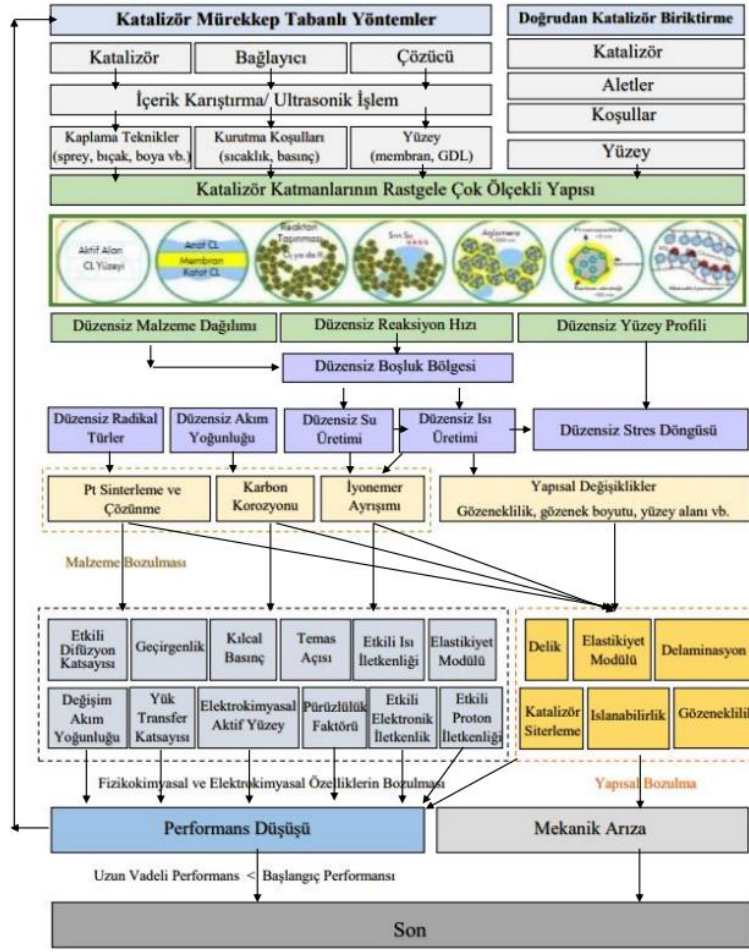
um kalınlığındadır. Gözenekli yapısı ile su ve gaz geçişini sağlayan bu parça hem proton hem de elektron iletkenliği göstermelidir. Ayrıca yakıt ve oksidana karşı dayanıklılık ve kimyasal stabilite sergilemelidir. Katalizör ile membran arasındaki temas direncinin potansiyel kayıpları azaltmak için minimuma indirilmesi gerekir dolayısıyla MEY buna uygun hazırlanmalıdır. Korozyon ve oksidasyona olan dirençleri ve yüksek elektro katalitik aktiviteleri dolayısıyla PEM yakıt pillerinde genellikle Pt veya Pt bazlı alaşımlar kullanılmaktadır. Fakat platinin yüksek maliyetli olması büyük bir sorundur (KÜPELİ, 2020). Maliyet, performans ve dayanıklılık, proton değişim membranlı (PEM) yakıt hücreleri için katalizör tabakalarının yüksek hacimli üretimini engelleyen başlıca faktörlerdir. Yüksek hacimli üretimle yılda 500,000 sistem üretimi yapılırken, bir PEM yakıt hücresi yığınındaki katalizör tabakalarının maliyetinin ve uygulamalarının toplam yaklaşık olarak %42 olabileceği tahmin edilmektedir (Zhao, 2023). Bu sebeple maliyeti düşürmek için PtNi, PtFe, PtCu gibi platin içeren alaşımlar ve Fe, Co, Mn, Ni, Cu, Cr gibi soy olmayan metaller kullanılmaya çalışılmıştır. Bu metaller platinden farklı katalitik sistem ve reaksiyon yolu izlemektedir. Düşük seçiciliğe sahip olmaları dolayısıyla peroksit ara ürünleri oluşturma eğilimi göstermektedir. Ayrıca korozyona uğradıkları için yakıt pilinin dayanıklılığını da azaltmaktadırlar. Pt rezervlerinin yakıt pillerindeki talebi karşılayamayacak kadar az olması nedeni ile araştırmacılar katalizörde platini azaltmaya ve katalitik aktiviteyi artırmaya yönelik malzemelerle yüzey alanının artırılmasını amaçlamışlardır. Bunun için Pt nanoparçacıkları karbon destekler üzerine yüklenmektedir. Bu sayede platinin aktivitesinin artmasıyla yakıt pili performansı da artmaktadır. Katotta oksijen indirgenme tepkimesi gerçekleşmekte olup anottaki hidrojenin yükseltgenme tepkimesinden yaklaşık altı kat daha yavaş olması sebebi ile katotta kullanılacak katalizörün aktivitesinin yüksek ve homojen dağılımlı olması gereklidir. Bunun nedeni oksijen indirgenme tepkimesini kolaylaştırıp PEM yakıt pili performansını artırmaktır. Araştırmacılar, karbon siyahının yanı sıra diğer karbon bazlı malzemeleri, örneğin mezoparöner karbonlar, karbon nanotüpler, karbon nanolifler ve grafen gibi malzemeleri inceleyerek daha yüksek verimlilik, daha iyi dayanıklılık ve daha uygun yapıya sahip olanları bulmak için çalışmışlardır. Bu araştırmalar, yakıt hücresi teknolojisinin geliştirilmesi ve daha verimli enerji dönüşüm sistemlerinin oluşturulması amacıyla yapılmıştır. Bugünlerde grafenin, geniş yüzey alanı ve yüksek elektriksel iletkenliği sebebiyle katalizör desteği olarak kullanımı dikkat çekmektedir. Ayrıca katalizörün sentez yöntemi de elektro katalizörün etkinliğini etkilemektedir. Birçok katalizör/karbon destek kompozit sentez yöntemi vardır. Bunlar arasından mikro dalga destekli sentez, elektro katalizörde karbon destek üzerinde metalik nanopartiküllerin daha iyi bir şekilde dağılmasını sağlayarak katalizörün elektrokimyasal performansının artmasına neden olmaktadır. Mikro dalga destekli sentez, oldukça basit, hızlı, sentezlenen partiküllerin homojen dağılmasını sağlama ve az enerji tüketimi gibi avantajları olan, reaksiyonların gerçekleşmesini de bir indirgeyici varlığında karbon desteğin yüzeyindeki metalik iyonların indirgenmesi için gerekli enerjiyi sağlayarak yapmaktadır (KAPLAN, 2021) .

Katalizörlerin kötü seçimi veya katalizör tabakasının yapısının zayıf tasarımı, hücre operasyonu sırasında iyonmer, politetrafloroetilen (PTFE) veya karbon desteklere saldırabilen ve onları parçalayabilen büyük miktarda  $H_2O_2$  oluşumuyla sonuçlanabilir. PEM yakıt hücrelerinde kullanılan en yaygın katalizör, ayrışma yolu reaksiyonlarını kolaylaştırma, reaksiyon hızlarını artırma ve Gibbs aktivasyon fonksiyonunu azaltma konusundaki mükemmel kabiliyeti nedeniyle Pt bazlıdır. Diğer metal katalizörlerle karşılaştırıldığında saf Pt, ORR (oksijen indirgenme reaksiyonu) için daha uygun bir oksijen bağlama enerjisine sahiptir. Saf Pt'ye ek olarak, ikili (örneğin, PtCo), üçlü (örneğin, Pt-Cr-Ni) ve hatta dördü (örneğin, Pt-Ru-Ir-Sn) katalizörler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, iyi tasarlanmış bir katalizör tabakası: Oksijeni aktive etmek için kimyasal olarak aktif olmalı, ürün suyunu katalizör yüzeyinden serbest bırakması kolay olmalı, aşındırıcı çalışma koşulları altında stabil olmalı, reaktantların taşınması kolay olmalı, ürünler ve elektronların, protonların ve transfer ısısı kolay

taşınmalıdır. Katalizör tabaksının performansı, çok ölçekli seviyelerdeki yapısından kaynaklanan fizikokimyasal ve elektrokimyasal özellikleriyle belirlenir (Zhao, 2023).

Bir PEM yakıt hücresinde gerçekleşen aktivasyon kaybı, omik kayıp ve konsantrasyon kaybı katalizör tabakasının mikro yapısı tarafından kontrol edilir. Aktivasyon polarizasyonu, katalizördeki elektrokimyasal reaksiyonların yavaş kinetiğinden kaynaklanır ve elektrokimyasal reaksiyonların aktivasyon enerjisinin üstesinden gelmek için belirli bir miktarda enerjinin tüketilmesi gerekir. Aktivasyon kaybı, çalışma akımı yoğunluğu küçük olduğunda keskin bir voltaj düşüşüne neden olur. Katalizör malzemelerinin doğası ve katalizörlerin nano ve mikro yapısı, aktivasyon polarizasyonunu belirler. Omik polarizasyon, katalizörlerdeki ve membrandaki proton taşıma direncini, katalizörlerdeki, gaz difüzyon tabakalarındaki ve dağıtım plakalarındaki elektron taşıma direncini ve ayrıca bitişik hücre bileşenleri arasındaki arayüzey temas direncini içeren yakıt hücrelerinin elektriksel direncinden kaynaklanır. İyonomer ağındaki protonların taşınmasının neden olduğu katalizörlerdeki proton taşıma direnci, seçimin optimize edilmesiyle ve iyonomerin miktarı ile azaltılabilir. Konsantrasyon polarizasyonu, elektrot reaksiyon hızıyla karşılaştırıldığında daha düşük reaktan taşıma hızının neden olduğu ve elektrot yüzeyi yakınında düşük bir reaktan konsantrasyonuna yol açan kütle taşıma polarizasyonu olarak da bilinir. Bu nedenle, elektrot yüzeyindeki düşük reaktan konsantrasyonu hücre performansını sınırlayacak ve akım yoğunluğu arttıkça çıkış voltajı keskin bir şekilde düşecektir. Reaktan taşıma direnci esas olarak gaz difüzyon tabakaları ve katalizörlerdeki sınırlı gözenek alanından veya gözeneklerde veya elektrot yüzeyinde aşırı birikmiş sıvı sudan kaynaklanır. Bu nedenle katalizörün mikro yapısı ve etkili özellikleri kapsamlı bir şekilde optimize edilmelidir (Zhao, 2023).

PEM yakıt hücresinin uzun vadeli performansı, farklı çalışma koşulları (gerilim, akım, sıcaklık, nem, hidrasyon-dehidrasyon, donma-çözülme, stres ve titreşim) altında giderek kötüleşmektedir. Gözenek yapısı, iyonomer dispersiyonu ve parçacık boyutu dağılımı dahil olmak üzere birçok faktör katalizör katmanlarının (CL) etkili fizikokimyasal ve elektrokimyasal özelliklerini belirler. Katalizörlerde düzensiz malzeme dağılımı ve gözenek dağılımı, reaktif yüzeyin homojen olmayan bir dağılımına neden olabilir ve bu da yerel akım yoğunluğu, su, ısı ve radikal türlerde önemli değişikliklere yol açabilir. Aşırı su reaktif yüzeyi kaplayabilir, etkili gözenekliliği azaltabilir, reaktanların taşınmasını engelleyebilir ve hatta uzun vadeli yapısal değişikliklere neden olabilir. Aşırı ısınma veya aşırı reaktif akışı nedeniyle çok fazla su tüketilirse reaksiyonlar etkili bir şekilde ilerleyemez. Üretilen ısı giderilmezse, katalizörler ile membran arasında küçük deliklere, mikro çatlaklara ve arayüzey delaminasyonuna yol açarak proton taşıma direncini arttıracak "sıcak noktalar" oluşturulacaktır. Akım yoğunluğunun eşit olmayan dağılımı ve yüksek konsantrasyonlu radikal türler, katalizörlerdeki eşit olmayan sıcaklık ve su dağılımını kötüleştirebilir ve karbon korozyonuna, Pt sinterlenmesine, çözünmesine ve iyonomer ayrışmasına neden olabilir. Malzeme kaybı, mekanik, termal ve şişme gerilimi döngüsünün bir sonucu olarak membran ile katalizörler arasında daha da yayılabilen ve katmanlara ayrılmaya neden olabilen küçük deliklere ve mikro çatlaklara yol açabilir. Malzeme bozulması ve yapısal değişikliklerin uzun vadede fizikokimyasal ve elektrokimyasal özellikleri bozarak geri dönüşü olmayan performans düşüşlerine neden olabilir. Katalizörlerin yapısının bozulmasıyla birlikte pratik çalışma performansı, malzeme ve yapı ile etkili özellikler de bozulmaya devam edecektir. Uzun vadeli bozunma katalizörlerin ve PEM yakıt hücrelerinin ömrünün sona ermesine neden olmaktadır (Zhao, 2023).



Şekil 3: Katalizörlerin bozunması (Zhao, 2023)

Elektro katalizör tabakası, yakıt hücresinin önemli bir parçasıdır. Bu tabaka, membran ile destek katmanı arasında yer alır ve elektrokimyasal reaksiyonların merkezinde bulunur. Genellikle 5-50  $\mu\text{m}$  kalınlığında olan bu tabaka, içerisindeki Pt (Platin) partiküllerinin çapı yaklaşık 2-4 nm'dir. Doğrudan Metanol Yakıt Hücreleri (DMYH'ler) için, katalizör mürekkebi, çeşitli çözücüler ve Nafion çözeltisi ile karıştırılarak oluşturulur. Anot ve katot katalizörleri farklı işlemlere sahiptir. Örneğin, metanol ile çalışan bir yakıt hücresinde, Pt yüzeyinde metanolün su ile reaksiyona girmesi, saf Pt üzerinde metanol oksidasyonunu zorlaştırabilir. Bu sorun, Pt ile birlikte Ru (Rutenyum) kullanılarak aşılabilir, çünkü su, daha düşük potansiyelli Ru'yu tercih eder. Katalizör tabakası sadece metali içermez, aynı zamanda Nafion çözeltisi gibi bileşenleri de içerir. Nafion, protonların membrandan geçişi için iyi bir iletken olsa da fazla Nafion, metal katalizörünün etkin yüzey alanını azaltabilir, bu nedenle bileşenlerin miktarı dikkatlice ayarlanmalıdır. Reaktant gazların, elektrolitin ve katalizörün üç faza yayılması elektrokimyasal reaksiyonların verimli olabilmesi için önemlidir ve bu etkileşim üç faz reaksiyon sınırı olarak bilinir. Yakıt hücresinin performansını artırmak için bu üç fazın etkili bir şekilde bir araya gelmesi gerekmektedir. Elektronlar genellikle Pt katalizörü üzerinden iletilirken, protonlar iyonomer (genellikle Nafion) tarafından membran boyunca taşınır. Bu nedenle, katalizör destek tabakası, iyonomer ile iyi bir temas sağlamalı ve üç fazın etkili bir şekilde birbirine bağlanmasını desteklemelidir. Ayrıca, elektrodun gazların reaksiyon bölgesine taşınması ve oluşan suyun uzaklaştırılması için gözenekli bir yapıya sahip olmalıdır, aksi takdirde gaz iletiminde sorunlar yaşanabilir ve elektrotta su birikimi olabilir (Gülcan, 2014).

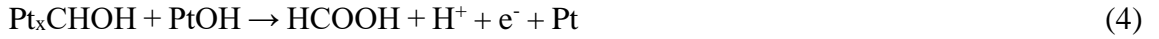
Doğrudan Metanol Yakıt Hücreleri (DMYH) alanında, başlangıçta PEM yakıt hücrelerinde olduğu gibi platin katalizörü yaygın olarak kullanılıyordu. Ancak uzun bir süredir,

çift metal katalizörlerinin daha üstün performans sağladığı biliniyordu. Yapılan pek çok araştırma sonucunda, platin ve rutenyum karışımı (Pt/Ru) katalizörünün eşit oranlarda kullanılmasının en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Farklı metal çiftlerinin denendiği çalışmalara rağmen, 50-50 Pt/Ru kombinasyonunun en etkili olduğu bulunmuştur (Gülcan, 2014).

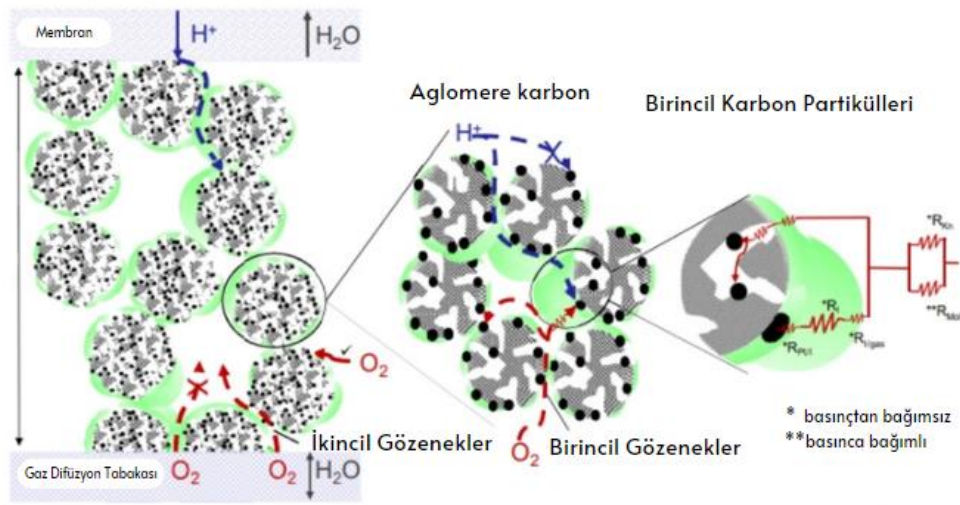
Bu katalizörün bu şekilde kullanılması, yakıt hücresinin anot tarafında oksidasyon verimini artırır ve yüksek akım yoğunluğunun elde edilmesine ve daha yüksek bir verimin sağlanmasına yardımcı olur. Ayrıca, katalizörün uzun ömürlü, yüksek verimli ve maliyeti azaltmaya yönelik olarak daha az miktarlarda kullanılabilir olması hedeflenmektedir. Pt-Ru katalizörünün anot tarafında kullanımı, reaksiyonun şu şekilde ilerlediği bir süreci içermektedir (Gülcan, 2014).



PtCOH ve PtCO, platinin zehirli bileşenleridir. Rutenyumun kullanılmasının platinin zehirlenmesini önlediği gözlemlenmiştir (Gülcan, 2014).



Anot yüzeyinde kullanılan katalizörün, yakıt hücresinin performansını ve verimini doğrudan etkileyen büyük bir öneme sahiptir. Seçilen katalizörün metanolü hidrojene dönüştürme kapasitesi, yakıt hücresinin başarısını belirler. Öte yandan, katot yüzeyinde performansı artıran temel katalizör, genellikle platin katalizörüdür. Bu, katoda difüze olan metanolün oksijenle reaksiyona girmesi sonucu CO<sub>2</sub> gibi yükseltgenmiş ürünler üretebileceği karma potansiyeli dikkate alarak önemlidir. Bununla birlikte, katot katalizörünün yakıt hücresi performansı üzerindeki etkisi, anot katalizörü ile kıyaslandığında daha sınırlıdır. Katot katalizöründen beklenen özellikler arasında, metanol difüzyonundan kaynaklanan oksidasyon ürünlerinin zehirleyici etkilerine karşı direnç gösterme, proton oksidasyonunu artırma ve yüksek performansa sahip olurken düşük maliyetli olma gibi faktörler bulunmaktadır (Gülcan, 2014).



Şekil 4. Bir PEM yakıt pilinin katalitik elektrot katmanındaki çeşitli ilgili taşıma dirençlerinin ve bunların uzunluk ölçeklerinin şematik bir gösterimi. (Lujin Pan, Sebastian Ott, Fabio Dionigi, Peter Strasser, 2019)



Kimyasal reaksiyon ile üretilmiş olan yaygın plastikler, bilim insanlarının tamamen sentetik malzemeler geliştirme çabalarının bir ürünüdür. Plastikler, bilimsel olarak polimerler adı verilen uzun moleküler zincirlerden oluşur. Bu polimerler, küçük moleküler birimlerin birbirine bağlanmasıyla oluşturulan büyük moleküler yapılar olarak tanımlanabilirler. Polimerler, iş yerlerinden evlere, sokaklara kadar çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimerler, elektrik yalıtkanı olarak bilinir ve bu nedenle elektronik ve elektrik uygulamalarında önemli bir rol oynamışlardır. Ancak, yakın zamanda poliasetilen filminin bazı maddelerle karıştırılarak metalik özellikler kazanabileceği keşfedildi ve bu, iletken malzeme olarak kullanılabilirliğini gösterdi. Heeger ve Mac Diarmid daha sonra poliasetileni oksitleyerek (doping) iletken hale getirmeyi başardılar, bu da bir yalıtkan malzemenin aniden iletken hale gelebileceğini gösterdi. İletken polimerler, 1979'dan beri bilinen ve uygulamalara sahip olan malzemelerdir. Bu malzemeler kolayca işlenebilir, esnek, estetik açıdan hoş görünümlü, hafif ve kimyasal olarak inerttir. Diğer yandan, metaller yüksek elektrik iletkenliğine ve mekanik özelliklere sahiptir, ancak ağırdır, pahalıdır ve polimerler gibi şekillendirilemezler. Ayrıca, metaller korozyona uğrayabilirler. Bu nedenle, metallerin elektrik iletkenliği ve mekanik özelliklerini polimerlerin avantajlarıyla birleştirme fikri uzun süredir ilgi çekici bir araştırma alanı olmuştur. 1979'da polipinol adı verilen bir malzemenin elektrolitik yöntemlerle elektrot üzerine üretildiğinde kendiliğinden iletken hale geldiği keşfedildi. Daha sonra, pirol ve tiyofen gibi malzemelerin türevlerinden iletken maddeler üretildi. Bu iletken polimerler, özellikle ikincil pillerin üretimi gibi özel uygulamalarda kullanıldı. Kalp pili elektrotlarında kullanılmaları, düşük akım üretebilme ve uzun ömürleri sayesinde mümkün hale geldi. Ayrıca, bu malzemelerin elektromanyetik kalkanlama uygulamaları için potansiyel taşıdığı keşfedildi. Çünkü bu polimerler, radyo frekansı veya kızılötesi dalgaları emerek radar dalgalarına karşı görünmez cihazların yapılmasına olanak tanıdı. İletken polimerlerin bir başka uygulama alanı ise "akıllı pencerelerin" üretimidir. Belirli bir kalınlığın altındaki iletken polimerler, uygulanan gerilime bağlı olarak renk değiştirebilir ve böylece camın ışık geçirgenliğini güneş ışığına göre ayarlanabilir hale getirir (Sayar, 2008).

Son 20 yıl içinde, elektronik özelliklere sahip olan iletken polimerler büyük ilgi görmektedir. Bu kategoride yer alan en bilinen malzemelerden biri polipirol 'dür. Polipirol hem hetero hem de homo polimerler arasında iletkenliğini uzun süre boyunca koruyabilmesi ve mükemmel mekanik dayanıklılığı nedeniyle ticari uygulamalarda sıkça tercih edilmektedir. İlk olarak 1916 yılında, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile pirolün oksidasyonu sonucu ortaya çıkan siyah pirol adlı amorf bir tozun polimerleştirilmesiyle üretildi. Polipirol, kimyasal ve elektrokimyasal yollarla üretilebilir. Elektrokimyasal sentez yöntemi, Dall'Olio tarafından Pt elektrotlarının sülfürik asit çözeltisinde pirolün elektrokimyasal oksidasyonu ile polipirolün elde edilmesiyle başladı. 1979'dan bu yana, polipirol sentezi için iletkenliği artıran maddelerin geliştirilmesi büyük bir ilerleme kaydetti ve bu yönde çalışmalar hala sürmektedir. Son dönemde, polipirolün fiziksel özelliklerinin geliştirilmesine odaklanılmıştır, özellikle dayanıklılık ve mekanik özellikler üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, çözünebilir polipirol türleri geliştirilmiştir ve bu, karıştırma veya karışım yöntemleri ile elde edilmiştir. Bu gelişmeler, polipirolün atmosferik koşullara dayanıklılığının yanı sıra özel teknolojik uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılmıştır. Sensörler, bataryalar, moleküler cihazlar veya modifiye edilmiş elektrotlar gibi farklı uygulama alanlarında potansiyel kullanım alanlarına sahiptir (Sayar, 2008).

## 5. Sonuçlar

Yakıt hücrelerinin verimli çalışabilmesi için membran ile katalizörler arasındaki elektrokimyasal reaksiyonlar büyük önem taşır. Katalizörler, elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi için aktif bölgeler sağlayarak yakıt hücresinin temel işlevini yerine getirir. Bu

nedenle, katalizörlerin yeterli iletkenlik, dayanıklılık ve kimyasal stabiliteye sahip olmaları gereklidir. Aynı zamanda, katalizör ile membran arasındaki temas direncinin minimize edilmesi, enerji kayıplarını en aza indirir ve yakıt hücresinin verimliliğini artırır. Bu nedenle, yakıt hücreleri üzerine yapılan araştırmaların odak noktalarından biri, katalizörlerin geliştirilmesi ve membran ile uyumlu hale getirilmesidir. Bu, temiz enerji üretiminde önemli bir adım olarak gelecekte daha sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik edebilir.

PEM yakıt pilleri, temiz enerji üretiminde büyük bir potansiyele sahip olan bir teknolojidir. Ancak, bu teknolojinin etkinliği ve verimliliği, kullanılan katalizörlerin niteliği ile doğrudan ilişkilidir. Katalizörler, PEM yakıt hücrelerinin temel işlevini yerine getirir. Yakıtın oksidasyonu ve oksijenin redüksiyonunu hızlandırır. Bu elektrokimyasal reaksiyonlar, elektrik enerjisine dönüşümün anahtarıdır. Katalizöre destek olarak bulunan elektrik iletken malzeme elektronların taşınmasını sağlarken, protonlar iyonomer vasıtasıyla membrandan geçmektedirler. Bu yüzden, katalizör elektrik iletken destek tabakasının yanı sıra iyonomer ile de temas halinde bulunmalıdır. Katalizörler, PEM yakıt hücrelerindeki performansı arttırmak ve verimliliği yükseltmek için kritik bir role sahiptir. Özellikle düşük sıcaklık koşullarında çalışan PEM yakıt hücreleri için uygun katalizör seçimi, reaksiyon hızını artırır ve pilin daha hızlı çalışmasını sağlar. Bu, enerji üretimini artırırken aynı zamanda daha az değerli metal kullanımını mümkün kılarak maliyeti düşürür. Ayrıca, PEM yakıt hücrelerinin uzun ömürlü olabilmesi için katalizörlerin dayanıklılığı da önemlidir. Katalizörlerin aşınmaya dayanıklı olması, hücrenin uzun süreli kullanımını sağlar ve bakım maliyetlerini azaltır. PEM yakıt pilleri temiz enerji geleceğinin önemli bir parçası olabilir, ancak bu teknolojinin gerçek potansiyeline ulaşabilmesi için uygun katalizörlerin geliştirilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Katalizörler, PEM yakıt hücrelerinin performansını artırarak çevre dostu enerji üretimine katkı sağlayabilirler. Bu nedenle, katalizör araştırmalarına yapılan yatırımların ve geliştirmelerin önemi büyüktür.

## Kaynakça

A. EKİNCİ, S. HOROZ, O. BAYTAR, Ö. ŞAHİN. (2020). Hydrogen Generation by Hydrolysis of NaBH<sub>4</sub> with Efficient Co–La–Mo–B Catalyst for PEM Fuel Cells. *Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials*, 12(2), s. 25-32.

Brian T. Sneed, David A. Cullen, R. Mukundan, Rodney L. Borup and Karren L. More. (2018). PtCo Cathode Catalyst Morphological and Compositional Changes after PEM Fuel Cell Accelerated Stress Testing. *Journal of The Electrochemical Society*, 165. doi:10.1149/2.0091806jes

E. Carcadea, M. Varlam, A. Marinoiu, M. Raceanu, M.S. Ismail, D.B. Ingham. (2019). Influence of catalyst structure on PEM fuel cell performance – A numerical investigation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(25), s. 12829-12841. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.155

EKER, E. (2012). PEM TİPİ YAKIT HÜCRELERİNDE ISI VE SU YÖNETİMİNİN MODELLENMESİ. *SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ*.

Elif Daş, Ayşe Bayrakçeken Yurtcan. (2016). Effect of carbon ratio in the polypyrrole/carbon composite catalyst support on PEM fuel cell performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(30), s. 13171-13179. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.167

Gu, J.; Zhang, G.-M.; Yao, R.; Yu, T.; Han, M.-F.; Huang, R.-S. (2022). High Oxygen Reduction Activity of Pt-Ni Alloy Catalyst for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Catalysts*, 12. doi:https://doi.org/10.3390/catal12030250

Gülcan, M. (2014). *İNORGANİK/ORGANİK HİBRİT PROTON DEĞİŞİM MEMBRANLARININ DOĞRUDAN METANOL YAKIT HÜCRELERİ (DMYH) İÇİN GELİŞTİRİLMESİ*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, İstanbul.

KAHRAMAN, H., KOLİP, A., & Koroğlu, Ç. İ. (2019). *BEŞ HÜCRELİ PEM TİPİ YAKIT PİLİ TASARIMI, ÜRETİMİ VE DENEYSEL ANALİZİ*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği, Sakarya.

KAPLAN, B. Y. (2021). POLİMER ELEKTROLİT MEMBRANLI (PEM) YAKIT PİLLERİ İÇİN İNDİRGENMİŞ GRAFEN OKSİT - KARBON NANOFİBER HİBRİT DESTEKLİ PLATİN ELEKTROKATALİZÖRLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(2). doi:10.17482/uumfd.790349

KARAKIŞ, M. (2021). PEM YAKIT HÜCRESI KATOT ELEKTRODUNDA KULLANIM POTANSİYELLERİNİ İNCELEMELER ÜZERE ÇEVREL FAZ KATALİZÖRLERİNİN SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE ELEKTROKATALİTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ*.

KÜPELİ, S. (2020). PEM YAKIT PİLLERİNDE GEOMETRİK VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN PERFORMANSINA ETKİLERİ VE YENİ BİR AKIŞ ALANI TASARIMI. *BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZİ*.

Linfeng Zang, Liang Hao, Xiaojing Zhu. (2023). Effect of the pore structure of cathode catalyst layer on the PEM fuel cell cold start process. *Energy*, 271. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126993

Lujin Pan, Sebastian Ott, Fabio Dionigi, Peter Strasser. (2019). Current challenges related to the deployment of shape-controlled Pt alloy oxygen reduction reaction nanocatalysts into low Pt-loaded cathode layers of proton exchange membrane fuel cells. *Current Opinion in Electrochemistry*, 18, s. 61-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.coelec.2019.10.011>

Sayar, N. (2008). *PEM YAKIT HÜCRELERİNDE PLATİNSİZ METAL NANOKOMPOZİT KATALİZÖRLER*. Kimya Bölümü. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

undar, F., Uzunoğlu, A., Yılmaz, H., Bozkurt, I., Arslan, S., & Ata, A. (tarih yok). PEM Tipi Yakıt Hücrelerinde Performans ve Dayanıklılığı Artırmak İçin Katalizör Geliştirilmesi.

Zhao, J. L. (2023). Structure, Property, and Performance of Catalyst Layers in Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *Electrochemical Energy Reviews*, 6(13). doi:<https://doi.org/10.1007/s41918-022-00175-1>

# Aydın İli Jeotermal Enerji Kaynakları: Sürdürülebilir Geleceğe Doğru Adım

Ali Kemal ÇAKIR<sup>1</sup>

## 1. Giriş

Jeotermal enerji, dünya genelinde enerji üretiminde kullanılan çevre dostu bir kaynak olarak önem kazanmıştır. Bu kaynak, sıcak su ve buharın yer altındaki kayaların yüzeyine çıkmasıyla elde edilen termal enerjiden kaynaklanır.

Dünyanın iç sıcaklığı, radyoaktif bozunmadan kaynaklanmaktadır. Bu ısı, yerkabuğunun derinliklerinde suları ısıtmakta ve buharlaştırmaktadır. Buhar, yer yüzeyine çıkarak jeotermal enerji kaynağı oluşturmaktadır.

Jeotermal enerji, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlara göre daha az hava kirliliği üretir. Jeotermal enerji, elektrik üretimi, ısıtma, seracılık ve termal turizm gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Türkiye, özellikle coğrafi konumu ve jeopolitik yapısı ile enerjinin yenilenebilir olanına doğru yönünü hızla çeviren ülkeler arasında yer almaktadır [1]. Türkiye, 2015 yılından itibaren yenilenebilir enerji politikalarında agresif bir büyüme trendine girmiştir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca hazırlanan Stratejik Planda (2015-2019) “Daha Çok Yerli, Daha Çok Yenilenebilir” stratejisiyle yerli ve yenilenebilir kaynaklarının enerjideki payının artırılmasına yönelik çalışmaların arttırıldığını açıklanmıştır [2].

Türkiye'nin toplam kurulu gücü 2022 yılı aralık ayı sonunda 103.809 megavat (MW) seviyesinde olup, 2023 yılı ilk yarısı sonunda 104.903 MW seviyesine ulaşmıştır. 2023 haziran ayında toplam net 211,9 MW kurulu güç devreye alınırken, bu kurulu gücün 124,6 MW'si yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi santrallerinden sağlanmıştır. Aynı dönemde rüzgâr enerjisi santrallerinde 84,3 MW ve yenilenebilir atık enerjisi santrallerinde ise 31,0 MW artış gerçekleşti. Haziran ayında jeotermal enerjisi santrallerinden de net 28,1 MW kapasite azalması gerçekleşti. 2023 haziran ayında devrede olan santrallerin %54,8'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten santraller oluşturmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakların oranı artmaya devam etmiş ve %54 seviyesinin üzerinde kalmıştır. Hidroelektrik santraller, Türkiye toplam elektrik kurulu gücünün %30,1'ini oluştururken, rüzgâr ve güneş enerjisi santrallerinin toplam kurulu güçteki payı %20,7 seviyesinde gerçekleşti. Jeotermal enerjisi santrallerinin toplam kurulu güçteki payı ise %1,6 seviyesinde gerçekleşmiştir [3].

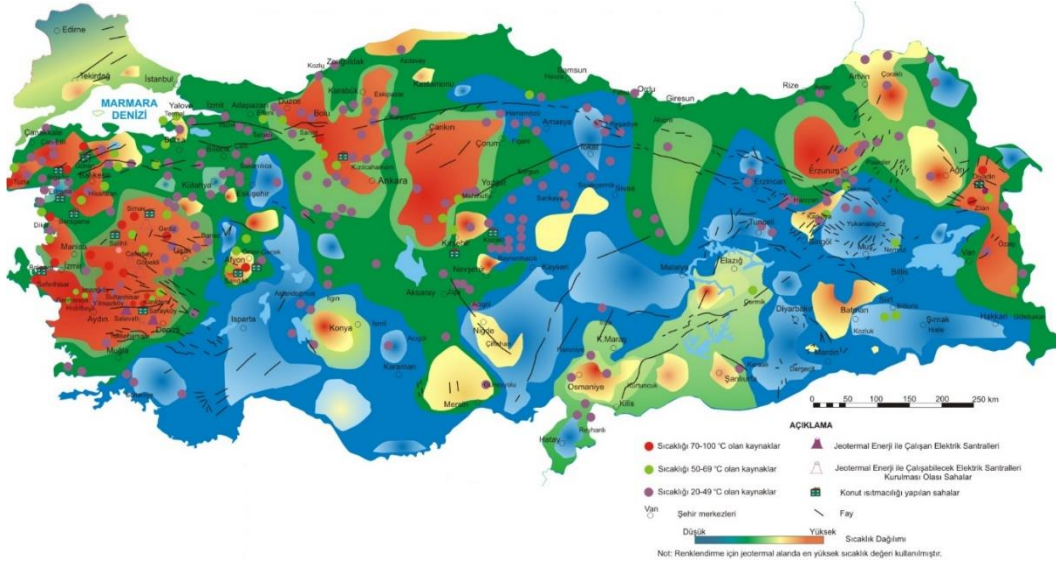
---

<sup>1</sup> Doç. Dr., Adnan Menderes Üniversitesi Aydın Meslek Yüksekokulu



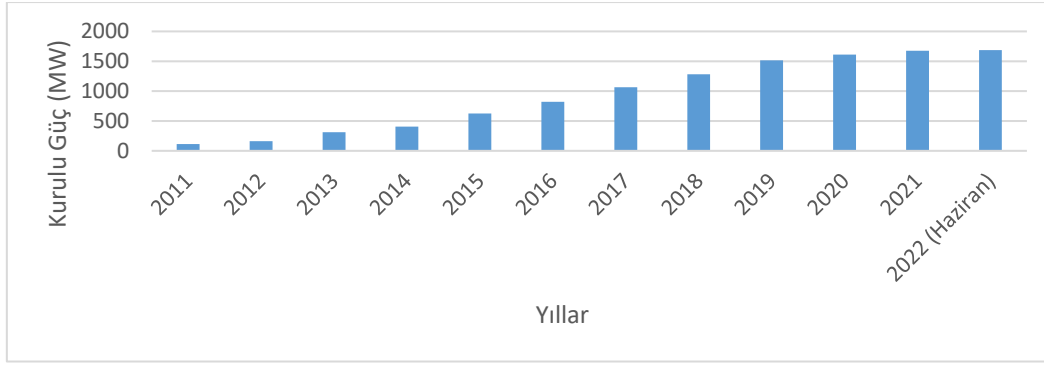
Şekil 1. Türkiye Kurulu Güç Dağılımı, Haziran 2023 [3].

Şekil 1'den de anlaşılacağı üzere Türkiye'nin jeotermal kurulu gücü düşük gözükmesine rağmen, bu enerjiyi faaliyete geçirme potansiyeli oldukça yüksektir.



Şekil 2. Türkiye Jeotermal Enerji Kaynakları ve Uygulama Haritası [4].

Şekil 2 incelendiğinde yer altı su sıcaklık değeri yüksek olan yerler (70-100 °C) kırmızı ile işaretlenmiştir. Bu bölgelerde yer altı sıcak suyu değerleri yüksektir. Su sıcaklık değeri yüksek olan bölgelerde ilk sırayı Ege bölgesi almaktadır.



Şekil 3. Türkiye Geneli Jeotermal Enerji Kurulu Gücü Değerleri [5].

Şekil 3'ten de anlaşılacağı üzere, Türkiye genelinde jeotermal enerji kaynaklı kurulu güç değerleri artış göstermektedir. Sadece bölgesel ısıtmada değil aynı zamanda elektrik üretiminde de yaygın olarak kullanılan jeotermal enerji kurulu gücü Haziran 2022 sonu itibarıyla 1686 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı % 1,66 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı Şekil 2'de gösterildiği gibidir.

Türkiye genelindeki potansiyele paralel olarak, Aydın ili de bu alanda büyük bir potansiyele sahiptir. Bu makalede, Aydın ilinin jeotermal enerji kaynakları hakkında daha fazla bilgi edineceğiz ve bu doğal kaynağın kullanımının çevresel ve ekonomik faydalarını inceleyeceğiz.

Jeotermal enerji, çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağı, fosil yakıtların aksine atmosfere zararlı emisyonlar salmaz. Bu nedenle, jeotermal enerjinin kullanılması iklim değişikliği ile mücadeleye önemli bir katkı sağlar.

Ayrıca, jeotermal enerji kaynakları su ve toprak kirliliği riskini azaltır. Diğer enerji kaynakları gibi çıkarılması sırasında zararlı kimyasallar kullanılmasına gerek yoktur. Bu da yerel su kaynaklarını ve ekosistemleri korur.

Jeotermal enerji, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji santralleri, fosil yakıt santrallerine göre daha az hava kirliliği üretir. Jeotermal enerji, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji, yer kabuğunda sürekli olarak yenilenmektedir. Jeotermal enerji, ekonomik bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji, fosil yakıtlara göre daha ucuzdur.

Jeotermal enerji, bazı çevresel sorunlara neden olabilir. Jeotermal enerji santralleri, yeraltı sularını kirlitebilir. Jeotermal enerji santralleri, depremlere neden olabilir. Jeotermal enerji santralleri, gürültü kirliliği üretebilir.

## 2. Aydın İli Jeotermal Potansiyeli

Aydın İli, Türkiye'nin batısında yer alan bir bölgedir ve iklimi sıcak ve kuru bir Akdeniz iklimine sahiptir. Bu iklim, jeotermal kaynakların oluşması için önemlidir çünkü yüksek sıcaklıklar yer altındaki suyun ısınmasına yol açar. Aydın'ın bu iklimi, jeotermal enerji üretimi için mükemmel bir ortam sağlar.

Türkiye dünya genelinde yenilenebilir enerji olan jeotermalden elektrik üretiminde dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye genelinde ise, üretilen bu elektriğin yaklaşık %51'i Aydın'dan sağlanmaktadır [6].

Aydın ili, Türkiye'nin jeotermal enerji açısından en zengin illerinden biridir. İlde elektrik santrali kurulu gücü 1.645 MWe'dir. İldeki 67 elektrik santralinden 32 tanesi jeotermal enerji santralidir. Bu sayı, Türkiye'nin jeotermal kaynaklı elektrik üretiminin yaklaşık yarısının Aydın'da bulunan sahalardan kaynaklandığını göstermektedir. Özellikle Söke, Kuşadası ve

Didim ilçeleri jeotermal enerji üretimi için büyük potansiyele sahiptir. Bu sahalarda, 300'ün üzerinde jeotermal kuyu bulunmaktadır. En fazla jeotermal enerji kaynağı ve santrale sahip Aydın'da üretilen elektrikte ilk sıradadır. Aydın'da jeotermal santrallerinden yıllık 888 MW'lık elektrik üretiliyor. Jeotermal enerji, Aydın ilinde, elektrik üretimi, ısıtma, seracılık ve termal turizm gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [6].

Aydın ilinde jeotermal enerji üretimi aynı zamanda ekonomik faydalar sağlar. Yerel ekonomiye istihdam yaratır ve enerji ihtiyacının karşılanmasına katkıda bulunur. Jeotermal enerji üretim tesisleri, yerel işletmelerin büyümesini destekler ve bölgedeki gelir düzeyini artırır.

Aydın ilindeki bulunan 32 adet sahanın listesi Tablo 1'de gösterilmektedir.

*Tablo 1. Aydın Jeotermal Enerji Santralleri*

S. No	Santral Adı	Firma adı	İlçesi	Kurulu Güç
1	Galip Hoca JES	Güriş Holding/Gürmat Elektrik	Germencik	47,4
2	Efe 1 JES	Güriş Holding/Gürmat Elektrik	Germencik	47,4
3	Efe 2 JES	Güriş Holding/Gürmat Elektrik	Germencik	22,5
4	Efe 3 JES	Güriş Holding/Gürmat Elektrik	Germencik	22,5
5	Efe 4 JES	Güriş Holding/Gürmat Elektrik	Germencik	22,5
6	Efe 6 JES	Güriş Holding/Gürmat Elektrik	Germencik	22,6
7	Efe 7 JES	Güriş Holding/Gürmat Elektrik	Germencik	25
8	Pamukören JES 1-2	Çelikler Enerji	Kuyucak	48
9	Pamukören JES 3	Çelikler Enerji	Kuyucak	22,5
10	Pamukören JES 4	Çelikler Enerji	Kuyucak	32
11	Pamukören JES 5	Çelikler Enerji	Kuyucak	22,5
12	Sultanhisar JES 1	Çelikler Enerji	Sultanhisar	13,8
13	Sultanhisar JES 2	Çelikler Enerji	Sultanhisar	22,5
14	İrem JES 1	Kıpaş holding	Hıdırbeyli	20
15	Sinem JES 1	Kıpaş holding	Bozköy	24
16	Deniz JES	Kıpaş holding	Germencik	24
17	Kerem JES	Kıpaş holding	Germencik	24
18	KEN 1 JES	Kıpaş holding	Kalfaköy	24
19	KEN 3 JES	Kıpaş holding	Kalfaköy	24,8
20	Mehmethan JES	Kıpaş holding/Maren Elektrik	Germencik	24,8
21	DORA 1	MB Holding	Salavatlı	8
22	DORA 2	MB Holding	Salavatlı	9,5
23	DORA 3	MB Holding	Köşk	34
24	DORA 4	MB Holding	Köşk	17
25	Gümüşköy Jeotermal	BM Holding	Germencik	13,2
26	Kubilay Jeotermal	Çevik Grup/Beştepel Enerji	Germencik	24
27	Buharkent JES	Limak Enerji	Buharkent	13,8
28	Umurlu 1 JES	Karkey Enerji/Karadeniz Holding	Umurlu	12
29	Umurlu 2 JES	Karkey Enerji/Karadeniz Holding	Umurlu	12
30	Kiper JES 1	Kiper Elektrik	Güzelköy	10
31	Kuyucak JES	Turcas	Kuyucak	18
32	Limgaz Buharkent JES	Limgaz Elektrik	Buharkent	13,7



Yukarıdaki verilerden de anlaşılacağı üzere Aydın'daki jeotermal enerji santrallerinin sıcak su verimi oldukça yüksektir. TÜBA [7] verilerine göre bu değer 165-230 °C arasındadır.

Aydın ilinin jeotermal enerji kaynaklarını kullanarak sürdürülebilir bir enerji geleceğine yönelmesi önemlidir. Bu, eyaletin enerji bağımsızlığını artırabilir, çevreyi koruyabilir ve yerel ekonomiye katkıda bulunabilir. Ancak, jeotermal enerji kullanımının çevresel etkilerini minimize etmek için dikkatli bir şekilde planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir.

Aydın ilinde jeotermal enerjinin birçok kullanım alanı vardır. Bunlardan ilki, elektrik üretimidir. Jeotermal enerji, buhar türbinleri aracılığıyla elektrik üretmek için kullanılabilir. Bu, yerel enerji üretimini artırabilir ve enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltabilir. Aynı zamanda enerji fiyatlarının daha istikrarlı olmasına da katkı sağlar.

İlde, 32 adet jeotermal santral bulunmaktadır. Bu santrallerden yüksek potansiyelde elektrik üretilmektedir. Ayrıca, jeotermal enerji ısıtma amaçları için kullanılabilir. Isıtma sistemlerinin birçoğu, yeraltındaki sıcak su kaynaklarını kullanarak binaları ısıtmak için tasarlanabilir. Bu, yerel halkın kış aylarında daha ekonomik ve çevre dostu bir ısıtma seçeneğine sahip olmalarını sağlar.

Aydın ili, Türkiye'nin büyük jeotermal ısıtma kapasitesine sahip illerinden biridir. İlde, yaklaşık 100.000 konut, jeotermal enerji ile ısıtılacaktır.

Jeotermal enerji, seracılıkta da büyük bir rol oynar. Özellikle sıcak ve kuru iklimi nedeniyle Aydın İli, tarım ve seracılık için uygun bir bölgedir. Jeotermal kaynaklar, sera içi sıcaklığı kontrol etmek ve bitki yetiştirmek için kullanılabilir. Bu, yerel tarım ürünlerinin verimliliğini artırabilir ve yerel ekonomiye katkı sağlar. Aydın ili, Türkiye'nin en büyük jeotermal seracılık kapasitesine sahip ilidir. İlde, yaklaşık 10.000 hektar sera bulunmaktadır. Bu seralar, jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Aydın ili, Türkiye'nin jeotermal seracılık kullanılan alanların yaklaşık %20'sini karşılamaktadır.

Ayrıca, Aydın ili, Türkiye'nin en önemli termal turizm merkezlerinden biridir. İlde, yaklaşık 30 adet termal tesis bulunmaktadır. Bu tesisler, jeotermal suları ile tedavi amaçlı kullanılmaktadır.

Özellikle kaplıca turizminde sıcak sulardan yararlanılabilir. İl genelindeki sıcak sularda Cd, Cr, Ni, Pb, Ba, Cu, Zn, Al vb. elementler eser düzeyde bulunmaktadır. Ayrıca, F, Cl, Br, I, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> anyonları ve Na, K, Ca, Mg, NH<sub>4</sub>, Mn, Fe katyonlarının analizleri yaptırılmış ve kaplıca sularındaki ağır metal düzeylerinin halk sağlığını tehdit edecek düzeyde olmadığı araştırmalarla ispatlanmıştır [8].

## **2.1. Aydın Özelinde Jeotermal Enerjinin Geleceği**

Aydın İli için jeotermal enerjinin geleceği oldukça parlak görünüyor. Bu potansiyeli maksimize etmek için yerel yönetimler, enerji şirketleri ve çevre grupları arasında iş birliği gereklidir. Jeotermal enerji projeleri planlanırken çevresel etkilerin en aza indirgenmesi ve yerel halkın bu projelere katılımının teşvik edilmesi önemlidir.

Ayrıca, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yatırım yapılmalıdır. Bu, jeotermal enerji teknolojilerini iyileştirmek ve verimliliği artırmak için gereklidir. İnovasyon, Aydın'ın jeotermal kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanmasına yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, Aydın İli jeotermal enerji kaynaklarıyla çevre dostu ve ekonomik bir geleceğe doğru ilerliyor. Bu doğal kaynakların sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi ve kullanılması hem çevre hem de toplum için büyük faydalar sağlayabilir. Aydın İli, jeotermal enerjiyi kullanarak enerji bağımsızlığını artırabilir, çevreyi koruyabilir ve yerel ekonomiyi güçlendirebilir. Bu, bölgenin sürdürülebilir bir geleceğe doğru önemli bir adım olabilir.

### 3. Sonuç ve Öneriler

Aydın ili, jeotermal enerji açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bu potansiyel, ilin ekonomisine ve turizmüne önemli katkılar sağlamaktadır. Bu sebeple, jeotermal enerjinin, ilin kalkınmasında daha fazla kullanılabilmesi için, gerekli yatırımların yapılması gerekmektedir.

Aydın ilinin jeotermal enerji kaynakları, sadece enerji üretimi için değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik kalkınma açısından da büyük bir potansiyele sahiptir. Bu kaynakların etkili bir şekilde kullanılması ve sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemesi için yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde çeşitli paydaşlar arasında iş birliği ve koordinasyonun önemi büyüktür.

Ayrıca, jeotermal enerjinin çevresel etki boyutları incelenerek, bu etkilerin en aza indirilmesi ve çevre dostu teknolojilerin kullanılması için alınması gereken önlemler için bilimsel araştırmalar ve uygulamalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak, Aydın ilinin jeotermal enerji kaynakları, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji geleceği için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu kaynakların etkili bir şekilde kullanılması, Aydın'ın çevresel ve ekonomik açıdan daha sürdürülebilir bir geleceğe doğru ilerlemesine yardımcı olabilir. Jeotermal enerji hem çevre hem de toplum için bir kazan-kazan durumu yaratabilir ve Aydın İli için parlak bir enerji geleceğinin temelini oluşturabilir.

## KAYNAKÇA

[1] Akar, G. S. (2019). Jeotermal enerji tedarik zinciri: Aydın ilinde bir örnek. 8. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Bildiri Kitabı, 1–9.

[2] Gürcün, D. ve Petek, A. “Jeotermal Enerji Potansiyelinin Swot Analizi ile Değerlendirilmesi: Aydın İli Örneği”, Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Yıl: 2021 Cilt-Sayı: 14(2) ss: 349–364, ISSN: 2564-6931, DOI: 10.25287/ohuiibf.695276.

[3] Hakyemez, C., Aylık Enerji Bülteni, TSKB Ekonomik Araştırmalar Raporu, İstanbul, Türkiye, Yayınlanma Tarihi: Temmuz 2023.

[4] MTA, 2023. Türkiye Enerji Haritaları, Jeotermal Enerji Kaynakları ve Uygulama Sahaları, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>, (Erişim: 20.06.2023).

[5] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları (Jeotermal), <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal#>, (Erişim Tarihi: 28/07/2023).

[6] “Aydın JES’te Lider”, <http://jesder.org/aydin-jeste-lider/> (Erişim: 23.07.2023).

[7] Dinçer, İ., ve Ezan, M.A. TÜBA Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu, Ankara, 2020.

[8] Yılmaz, N.S., ve Demir, M. Aydın ve çevresindeki jeotermal sulardaki bazı elementlerin ve iyonların ICPOES ve IC ile analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 2013.

# Fonksiyonel Organik Boya Bileşenin Hibrit Aygıtın Elektronik Parametrelerine Etkisi

Ali UĞUR<sup>1</sup>  
Arife GENCER İMER<sup>2</sup>

## 1.GİRİŞ

Hetero yapılar üzerindeki çalışmalar Alferow ve Kroemer (İkram et al. n.d.) in geliştirdiği 2000 yılı Nobel ödüllü hetero yapı lazerinin geliştirilmesinden sonra hız kazanmıştır. Bu gelişmeler paralelinde optoelektronik ve fotonik cihazlara olan ilgi artmaya başlamıştır. Son zamanlarda organik yarı iletkenler inorganik yarı iletkenlerin bazı dezavantajlarından dolayı özellikle; fotokatalitik etki, geniş optik bant aralığı, düşük maliyetli sentez, geniş alan uygulamaları, uygunluk ve esnek optoelektronik cihaz üretimine uyumluluk gibi belirgin özelliklere sahip oldukları için inorganik muadillerine bir alternatif olarak uygulama alanı bulmuştur (Altındal et al. n.d., Anon n.d.; Gomaa et al. n.d.). Organik yarı iletkenlerinde inorganik yarı iletkenlere göre bazı dezavantajları mevcuttur. Bu nedenle araştırmacılar yapacakları çalışmalarda amaca uygunluk açısından gerektiğinde organik gerektiğinde inorganik ve gerektiğinde ise hibrit yapıları kullanabilmektedir. fotodiyot(Benhaliliba et al. 2010; Demirezen et al. 2021; Karabulut et al. n.d.) (Dayan et al. n.d.; Gencer Imer, A. Korkut, et al. 2019; Imer et al. n.d.), güneş pili , ışık yayan diyot gibi entegre cihazın performansını optimize etmek için organik/inorganik hibrit yapılarda her iki yarı iletkenin avantajlarını kullandıkları görülmektedir.

Bu çalışmadaki amaç arayüz olarak kullanılan organik boyanın idealite faktörü ( $n$ ) ve bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ) gibi elektriksel parametreleri değiştirmektir. Arayüz olarak kullanılan Brilliant Blue (Parlak mavi); yoğun renkli fonksiyonel organik yarı iletken boyalardan olup proteinler gibi makromoleküllerle aktivitesinin nedeni olan üç sülfonik grup ve iki nitrojen merkezi içermesidir. Bu nedenle, hem biyolojik sondalamada hem de fotokatalitik bozunma uygulamalarında kullanılmaktadır. farklı moleküler yapıya sahip bir arayüz olarak organik-inorganik heteroeklemlerin foto algılama özelliklerini inceleyerek Ag/CBB/p-Si heteroekleminin istikrarlı foto algılama performansını elde ettiler. Buna karşılık olarak, BB cihazın optoelektronik parametrelerini ve performansını iyileştirmek için arayüzde dipollerin oluşması beklentisiyle bu çalışmada organik arayüz tabakası olarak seçilmiştir.

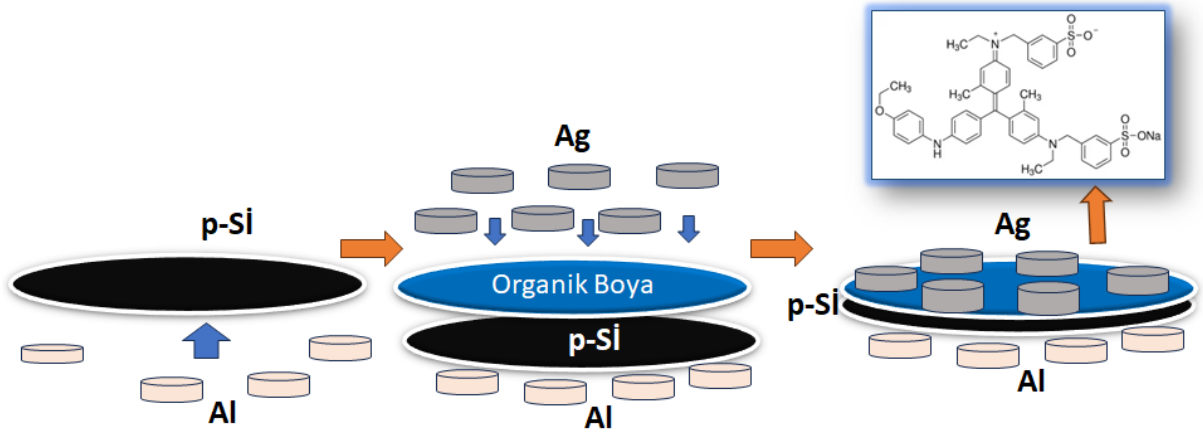
Birçok çalışmada idealite faktörü ( $n$ ) ve bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ) gibi elektriksel parametreleri değiştirmek için metal-inorganik yarı iletken (MS) kontaklar için arayüz tabakası olarak organik malzemeler kullanılmıştır (Dayan et al. 2020; Gencer Imer, A Korkut, et al. 2019; Gencer Imer et al. 2023; Karabulut, A. Dere, et al. 2019). Yaptığımız çalışmada Ag/BB/p-Si yapısının elektriksel karakteristik parametrelerini belirlemek için oda sıcaklığında karanlık ortamda akım-gerilim ( $I-V$ ) ölçümleri alındı, ve arayüzeyin mikroelektronik parametrelere etkisi incelendi.

<sup>1</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Van, Türkiye, Orcid Id:0000-0002-8147-9169

<sup>2</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Van, Türkiye, Orcid Id:0009-0007-6241-0303

## 2.MATERYAL VE METOD

Brilliant Blue (BB); ( $C_{37}H_{34}Na_2N_2O_9S_3$ , moleküler ağırlığı 792.85 g/mol, yapısı Şekil.2.1'de) Sigma-Aldrich şirketinden satın alındı. Çalışmada, organik/inorganik aygıt tasarımında alttaş olarak p tipi silisyum ((100) yönelimli ve 1-10  $\Omega\cdot\text{cm}$ ) kullanıldı. Si wafer uluslararası standart temizleme işlemi ile temizlendi. Omik kontak oluşturmak için alüminyum metali ısıtma kaplama ile buharlaştırıldı, ardından 570°C sıcaklıkta 3 dk kuartz fırında sinterlendi. Daha sonra, organik bileşiklerin 0.02 molarlık çözeltisi metanol kullanılarak hazırlandı. Alttaşın parlak yüzeyine dönel kaplama yöntemi ile (2000 rpm, 30 s) organik molekül ince filmi oluşturuldu. Sonra ince film üzerine maske yardımıyla Ag metali kaplanarak Ag/organik molekül/p-Si hibrit aygıtların fabrikasyonu tamamlandı. Elde edilen Ag/organik molekül/p-Si hibrit yapının şematik gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir. Tüm ölçümler oda sıcaklığında ve karanlıkta yapıldı. Üretilen aygıtların  $I$ - $V$  dataları kullanılarak termiyonik emiston teori, Cheung fonksiyonları ve Norde metodu ile mikroelektronik karakteristiklerin değerleri hesaplandı.



Şekil 2.1. Ag/organik molekül/p-Si/Al hibrit aygıtın şematik gösterimi

## 3.BULGULAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Au/organik molekül/p-Si/Al Diyodunun Akım-Gerilim Karakteristiği

Bu çalışmada seçilen organiklerle öncelikle Au/organik molekül/p-Si/Al yapıda diyotlar oluşturuldu.  $\ln(I)$ - $V$  grafiklerinden elektriksel karakteristik parametreleri termiyonik emisyon teorisi yardımı ile hesaplandı. Cheung fonksiyonları ve modifiye edilmiş Norde fonksiyonu yardımıyla karakteristik parametreler yeniden hesaplandı.

#### 3.2.1. Akım-gerilim karakteristikleri ile mikroelektronik parametrelerin belirlenmesi

Bir elektronik aygıtın mikroelektronik parametrelerini belirlemek için akım-gerilim ( $I$ - $V$ ) ölçümleri yaygın olarak kullanılır. Termiyonik emisyon teorisine göre üretilen Ag/organik molekül/p-Si hetero eklemeden geçen akım (Altındal et al. 2022),

$$I = I_0 \exp \left[ \frac{e(V - IR_s)}{nkT} \right] \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $e$ ,  $n$ ,  $T$ ,  $k$ ,  $R_s$  ve  $I_0$  sırasıyla birim yükü, idealite faktörünü, mutlak sıcaklığı, Boltzman sabitini, seri direnci, ve saturasyon(doyma) akımını temsil eder. Bu akım aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$I_0 = SA^* \exp \left[ -\frac{e\Phi_b}{kT} \right] \quad (3.2)$$

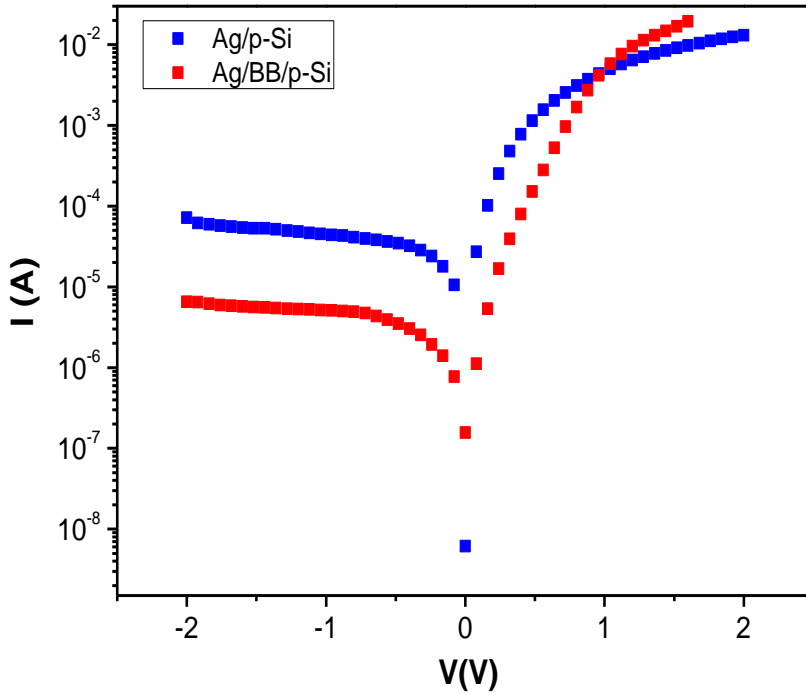
Burada  $S$ , ve  $A^*$  sırasıyla aygıtın yüzey alanını, Richardson sabitini temsil eder. Bir elektronik aygıtın  $n$  değeri (Sevgili et al. 2020),

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d \ln(I)} \quad (3.3)$$

eşitliği ile belirlenir. Ölçüm sonrası çizilen  $\ln(I)$ - $V$  grafiği ve Eş. (3.3) kullanılarak idealite faktörü değeri hesaplanır. Heteroekleme ait engel yüksekliği  $\ln(I)$ - $V$  eğrisinin akım eksenini kesim noktasından elde edilen  $I_0$  değeri yerine yazılarak (Demirezen et al. 2022),

$$\Phi_b = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (3.4)$$

Eşitliği ile hesaplanabilir. Yapılan hesaplamalar sonucunda BB arayüzeyli Ag/p-Si hibrid aygıtın karakteristik parametre değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. İdealite faktörü değerleri 1 den büyük çıkması ideallikten uzaklığın göstergesidir.



**Şekil 3.1.** Oluşturulan Ag/Organik molekül/p-Si hibrit aygıtın  $I$ - $V$  grafiği

Üretilen tüm organik/inorganik heteroeklemlerde bariyer yüksekliğinin homojen olmaması, taşıyıcıların bariyer boyunca tünellenmesi, tükenme alanındaki rekombinasyon süreçleri, cihaz arayüzünde seri direncin varlığı ile ilgili olabilecek ideal olmayan davranışlara sahiptir [30]. Cihazın arayüzündeki bariyer yüksekliği, esas olarak beslem sırasında akım taşıma mekanizmasını kontrol eder. Çoğu çalışma, arayüzdeki tuzak durumlarının doygunluğu olan dipollerin yaratılması sayesinde, engel yüksekliği değerinin arayüz katmanı tarafından kontrol edilebileceğini/modüle edilebileceğini bildirmiştir (Altındal et al. 2022; Karabulut, A.

Dere, et al. 2019; Karabulut et al. 2022; Sevgili et al. 2020). Organik arayüzey kaplanarak engel yüksekliğindeki olası modifikasyonla ilgili benzer çalışmalar literatürde bildirilmiştir (Ben Ahmed et al. 2022; Benhaliliba et al. 2022; Güllü and Türüt 2010).

**Çizelge 3.1.** Oluşturulan tüm Ag/Organik molekül/p-Si/Al hibrit aygıtın mikroelettronik parametreleri

Numune ismi	$\ln I - V$		$F(V)(V) - V$		$d(V)/d\ln I - V$		$H(I) - V$	
	$n$	$\Phi_b$	$\Phi_b$	$R_s$	$n$	$R_s$	$\Phi_b$	$R_s$
Ag/p-Si	2,48	0,551	0,566	130	2,94	142	0,531	143
Ag/bb/p-Si	2,55	0,637	0,671	898	3,13	31,60	0,666	31,61

### 3.2.2. Cheung fonksiyonları ile mikroelettronik parametrelerin belirlenmesi

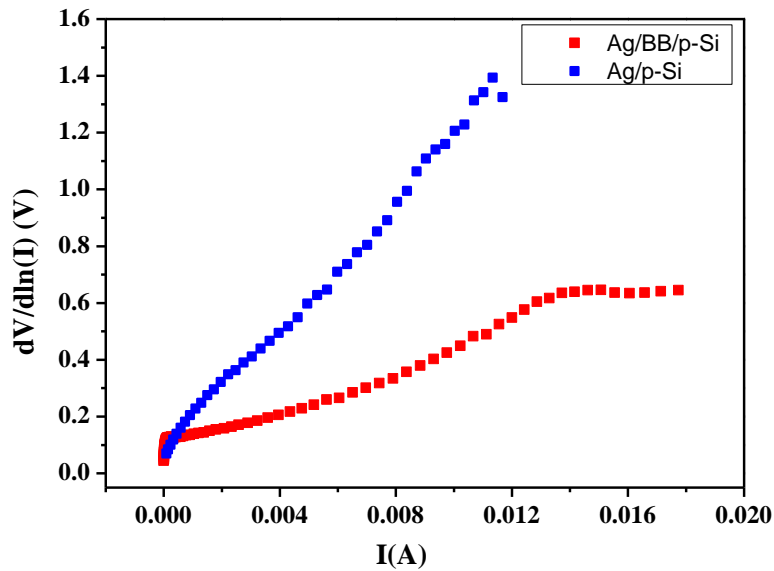
Akım-gerilim grafiğinde uygulanan yüksek voltaj bölgesinde görülen lineerlikten sapmanın nedeni seri direnç etkisinden kaynaklanmaktadır. Yüksek gerilim bölgesinde seri direnç etkisini anlamak için Cheung fonksiyonları kullanılabilir (İkram, Turut, and Toprak 2015),

$$\frac{dV}{d\ln(I)} = IR_s + n \left( \frac{kT}{q} \right) \quad (3.5)$$

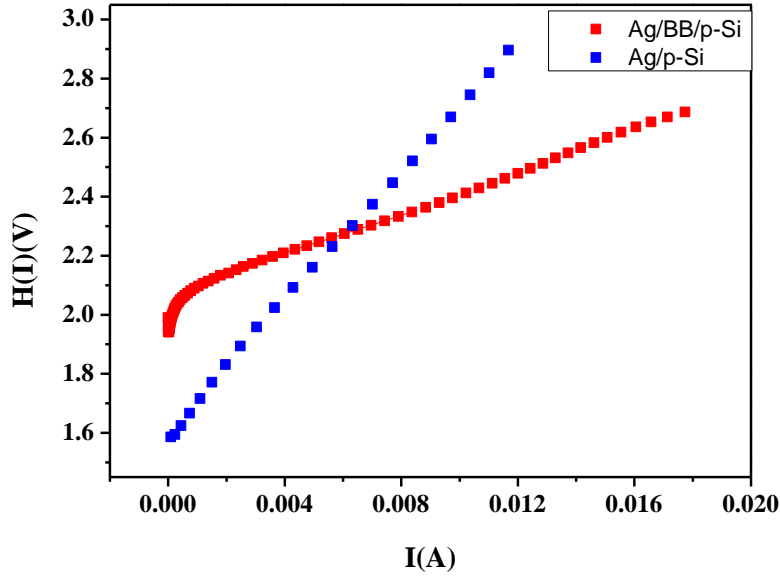
$$H(I) = V - \left( \frac{nkT}{q} \right) \ln \left( \frac{I}{AA^*T^2} \right) \quad (3.6)$$

$$H(I) = IR_s + n\Phi_b \quad (3.7)$$

Bu eşitliklere göre akımın fonksiyonu olarak çizilen  $dV/d\ln(I)$  ve  $H(I)$  grafiklerinde yüksek voltaj bölgelerinde değişim lineer olmalıdır. Organik arayüzeyler ile fabrikasyonu yapılan aygıtların Şekil 3.3, ve 3.4'te çizilen  $dV/d\ln(I)-I$  ve  $H(I)-I$  eğrilerinin eğiminden seri direnç, kesim noktasından sırasıyla  $n$  ve  $\Phi_b$  değerleri bulunur. Cheung metoduyla hesaplanan mikroelettronik parametreler Çizelge 3.1'de listelenmiştir.



**Şekil. 3.3.** Oluşturulan Ag/ Organik molekül/ p-Si hibrit aygıtın  $dV/d\ln(I) - I$  eğrileri



**Şekil. 3.4.** Oluşturulan Ag/ Organik molekül/ p-Si hibrit aygıtın  $H(I) - I$  eğrileri

Çizelge 3.1'den görüldüğü gibi Cheung fonksiyonları ile elde edilen mikro elektronik parametreler birbiri ile uyumludur. Doğru beslem  $\ln(I)-V$  eğrilerinden elde edilen  $n$  değerlerinin,  $dV/d\ln(I)-I$  grafiği ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Benzer şekilde,  $H(I)-I$  grafiği Denklem 3.3'e göre doğrusaldır ve Şekil 3.4'deki grafiğin eğimi yine  $R_s$  değerini verir. Literatürde bu metod yardımıyla organik arayüzey içeren diyotların parametreleri incelenmiştir. Örneğin Karabulut ve ark. (Karabulut, A Dere, et al. 2019) yaptığı çalışmada organik katmanlı ve katmansız diyot için bariyer yüksekliği değerinin değişimi rapor edilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada Cheung grafiklerin eğiminden MS ve MIS diyot için seri direnç  $R_s$  değerleri sırasıyla 142 ve 143  $\Omega$  olarak belirlenmiştir, ve aynı çalışmada  $dV/d\ln(I)-I$  grafiğinin eğiminden elde edilen seri direnç değerleri,  $H(I)-I$  grafiğinden elde edilen değerlerle mükemmel bir uyum içinde olduğu rapor edilmiştir (Gencer Imer, A Korkut, et al. 2019). Soylu ve ark. (Soylu et al. 2013) Al/MB:DCF/p-Si diyodunu üretmiş ve karakterize etmiş ve  $n$ ,  $R_s$  ve  $\Phi_b$  değerlerini Cheung fonksiyonları ile sırasıyla 5.8, 100.5 k $\Omega$  ve 0.77 eV olarak bildirmiştir. Bu çalışmada incelenen aygıtların aynı metotla elde edilen değerleri literatürdeki Al/MB:DCF/p-Si değerinden daha iyi olup, bu değerler aygıt performansının geliştirilebileceğini kanıtlar.

### 3.2.3. Norde fonksiyonu ile mikroelektronik parametrelerin belirlenmesi

Alternatif bir yöntem olarak, mikroelektronik parametrelerin ( $\Phi_b$  ve  $R_s$ ) hesaplanmasında Norde fonksiyonu kullanılabilir (Dayan et al. 2020),

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \frac{kT}{q} \left( \frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (3.8)$$

Burada  $\gamma$  bir tamsayıdır. Bu değeri idealite faktörü sınırlar. Bu çalışmada tasarlanan arayüzeyli ve arayüzeyli hibrit eklemler için sırasıyla  $\gamma$  değeri 3 ve 4 alındı.  $\Phi_b$  değeri aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır (Abdel-Khalek et al. 2018),

$$\Phi_b = F(V)_{min} + \frac{V_{min}}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (3.9)$$

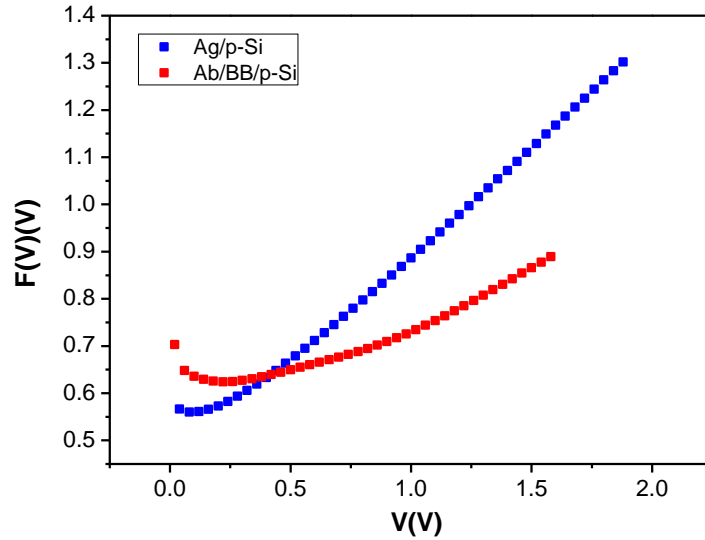
Bu eşitlikte Norde fonksiyonun extremum noktası yardımıyla  $F(V)_{min}$  ve  $V_{min}$  değerleri belirlenir. Şekil 3.4 organik arayüzeylere sahip heteroeklemlerin  $F(V)-V$  grafiklerini göstermektedir. Bir aygıt için  $I-V$  verilerinden minimum gerilime ( $V_{min}$ ) karşılık gelen akım



değeri bulunduktan sonra, Norde fonksiyonu ile  $R_s$  metodunda seri direnç değerleri (Benhaliliba 2020),

$$R_s = \frac{kT(\gamma-n)}{qI} \quad (3.10)$$

eşitliği ile hesaplanır. Çizelge 3.1’ de üretilen organik arayüzey katmanlı heteroeklemlerin  $F(V)$  yardımıyla belirlenen mikroelektronik parametrelerini göstermektedir. Çizelge 3.1’de mikroelektronik parametrelerin arayüzey varlığında modifikasyonunun mümkün olduğu görülmekle birlikte önceki bölümde sunulan sonuçlarla uyumludur.  $R_s$  değerlerindeki farklılık kullanılan hesaplama metotlarının doğasından kaynaklanmadır ve literatürle uyumludur. (Gencer Imer et al. 2018; Gencer Imer, Tombak, and Korkut 2016; Güllü and Türüt 2010; Tombak et al. 2014). Örneğin, Gencer Imer ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada,  $\ln(I)-V$  grafiğinden  $n$ , ve  $\Phi_b$  sırasıyla 3.57 ve 0.75 eV olarak belirlenmiş, aynı parametreler Cheung fonksiyonu ile sırasıyla 3.93 ve 0.78 eV bulunmuştur. Cheung (1156  $\Omega$ ) ve Norde (2875  $\Omega$ ) fonksiyonu ile  $R_s$  değerleri farklı bulunmuş ve bunun nedeni uygulanan yöntemlerin doğasında kaynaklanan farklılıklara atfedilmiştir (Gencer Imer, Karaduman, and Yakuphanoglu 2016).



**Şekil 3.5.** Oluşturulan Ag/p-Si ve Ag/ Organik molekül /p-Si hibrit aygıtın  $F(V)-V$  grafiği

Karataş ve ark. (Karataş and Berk 2022), Sn/p-Si Schottky diyotunun sıcaklığa bağlı elektriksel taşıma özelliklerini araştırmışlar, bu çalışmada diyot için bu değerden daha düşük olan Norde yöntemini kullanarak  $R_s$  değerini 56  $\Omega$  olarak bildirmişlerdir. Uğur ve ark. (Karataş and Berk 2022) Al/QY/p-Si heteroeklemlerini üretilen analiz etmişler ve Norde yöntemi ile  $\Phi_b$  ve  $R_s$  değerlerini sırasıyla 0.91 eV ve 1.8 k $\Omega$  olarak belirlemişlerdir. İncelenen organik/inorganik hetero eklem aygıtların parametreleri literatürdeki değerlere göre bariyer yüksekliğindeki değişim için oldukça iyidir. Üretilen aygıtların doğru beslem  $\ln(I)-V$  (Çizelge 3.1), Cheung fonksiyonları (Çizelge 3.1) ve Norde fonksiyonları (Çizelge 3.1.) verilerinden hesaplanan mikroelektronik parametre değerleri iyi bir uyum içindedir.

### 3.2.4. Kapasitans-gerilim ölçümü ile mikroelektronik parametrelerin belirlenmesi

Ag/p-Si ve Ag/BB/p-Si aygıtlarının kapasitans-gerilim (C-V) ölçümleri 250 kHz frekans ve  $\pm 2V$  gerilimde yapılmaktadır. Şekil 3.6.(a) ve Şekil 3.6.(b), sırasıyla oda sıcaklığında altında Ag/p-Si Schottky ve Ag/BB/p-Si hibrit cihazların C-V eğrileri çizildi. Kapasitans, birikim rejiminde her iki cihaz için voltajla artarken, kapasitansın uygulanan voltaja bağımlılığı ters beslem bölgesinde daha zayıftır. Arayüz yüklerinin alternatif sinyali takip edememesi

nedeniyle her iki numunenin frekansa bağlı kapasitans davranışı da açıktır (Altındal et al. n.d.). C-V ölçümlerinin daha ileri kantitatif analizleri için, belirlenen cihazların tükenme katmanının kapasitansı aşağıdaki denklem (Imer et al. 2020)] ile Schottky-Mott teorisi ile belirlenir.

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi}+V)}{q\epsilon_s\epsilon_0A^2N_a} \quad (3.11)$$

Burada,  $\epsilon_0$  dielektrik geçirgenliğidir ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m),  $\epsilon_s$  yarı iletkenin görece geçirgenliğidir ( $\epsilon_s=11.9$ ) ve  $V_{bi}$  sıfır sapmada yerleşik potansiyeli sembolize eder. Ters beslemede 250 kHz frekans altında Ag/p-Si Schottky ve Ag/BB/p-Si hibrit cihazların  $C^2$ -V eğrilerini göstermektedir. Şekil 3.7'de, eğrilerin düz kısmının eğimi ve gerilim eksenine ekstrapolasyonu sırasıyla  $N_a$  ve  $V_{bi}$ 'yi verir (Gomaa et al. n.d.).

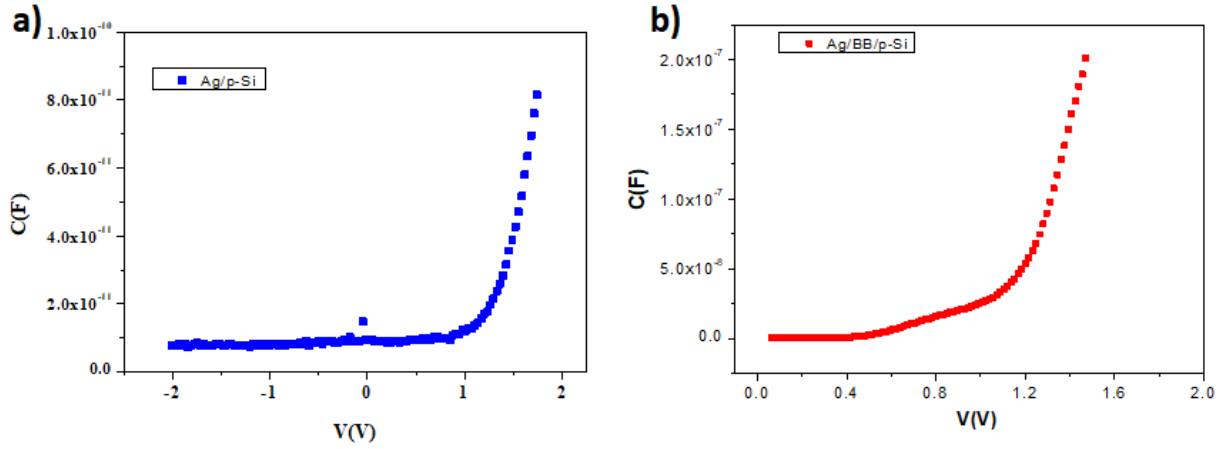
$C^2$ -V eğrilerinin uygun parametrelerinden, belirlenen cihazlar için  $\Phi_b$  değerleri Denklem kullanılarak tahmin edilebilir.(Gomaa et al. n.d.)

$$\Phi_b = V_{bi} + \frac{kT}{q} + V_n \quad (3.12)$$

burada  $V_n$ , p-Si için etkin Fermi seviyesidir ve  $V_n$  aşağıdaki gibi gösterilir ,

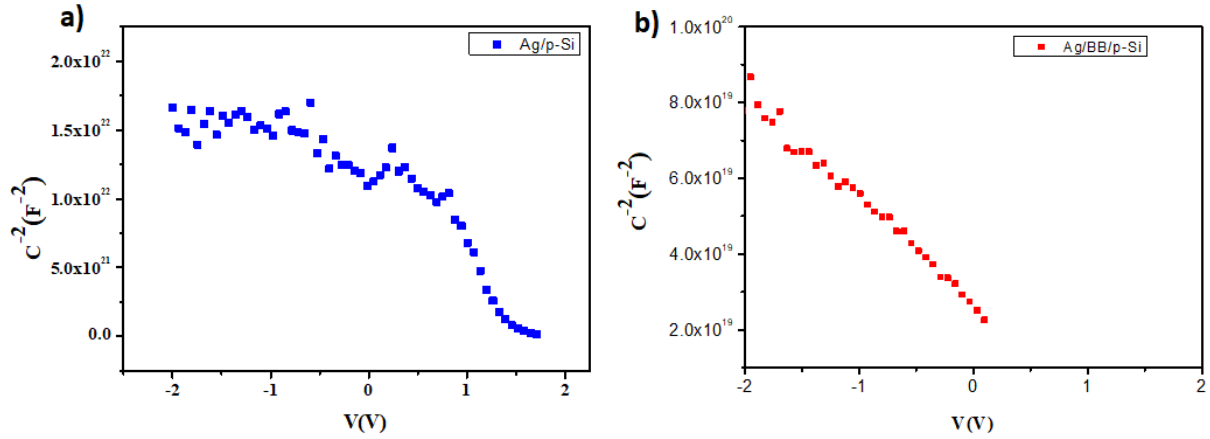
$$V_n = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_v}{N_a}\right) \quad (2.13)$$

Burada  $N_a$ , p-Si'nin valans bandındaki alıcı(acceptor) konsantrasyon yoğunluğunu göstermektedir. Cihazların elektronik parametreleri frekans-kapasitans verilerinden hesaplanmış ve Çizelge.3.2 de gösterilmiştir. Hazırlanan Ag/BB/p-Si ve Ag/p-Si cihazlarının  $\Phi_b$  değeri sırasıyla 0,824 eV ve 0,966 eV olarak elde edilmiştir.



**Şekil 3.6.** Oluşturulan Ag/p-Si ve Ag/ Organik molekül /p-Si hibrit aygıtın C-V grafiği

Şekil.3.6.(b)' de yapılan arayüzey ile kapasitenin arttığı görülmektedir. Kapasitenin artması da yük yoğunluğunun düzgün davranmasına neden olmuştur.



**Şekil 3.7.** Oluşturulan Ag/p-Si ve Ag/ Organik molekül /p-Si hibrit aygıtın  $C^2$ -V grafiği

Engel yüksekliği I-V grafiğinde de elde edilen değerden daha yüksek çıkığı görülmektedir. Bu durum hesaplama yönteminin doğasında kaynaklanmakta olup literatür ile uyumludur. (Ugur et al. n.d.) (Karataş and Berk 2022)

**Çizelge 3.2.** Oluşturulan Au/Organik Molekül/p-Si hbrit aygıtın Norde fonksiyonu ile bulunan mikroelektronik parametreleri

Numune ismi	$V_{bi}$	$E_f$	$\Phi_b$	$N_d$
Ag/p-Si	0,561	0,263	0,824	$3,972.10^{14}$
Ag/bb/p-Si	0,772	0,194	0,966	$5,740.10^{15}$

## SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma sonucunda dönel kaplama yöntemi ile organik boya, arayüze başarılı bir şekilde kaplandı. Termiyonik emisyon, Cheung ve modifiye edilmiş Norde fonksiyonu yardımıyla karakteristik mikroelektronik parametreler hesaplandı. Oluşturulan aygıtın karanlıkta yapılan I-V ölçümlerinden heteroeklemlerin tek yönlü akım ilettikleri, yani rektifikasyon özelliğine sahip oldukları, birer doğrultucu gibi davrandıkları görüldü. Aygıt yüzeyinde oluşturan organik arayüzeyin idealite faktörünü ( $n$ ), engel yüksekliğini ( $\Phi_b$ ), katkı konsantrasyon yoğunluğu ( $N_a$ ) arttırdığını, seri direnç ( $R_s$ ) Fermi enerji seviyesi ( $E_f$ ) 'nin ise azaldığı görülmektedir. Beklenen bu durum aynı zamanda yapılan benzer çalışmalarla da uyumludur. Ag/organik molekül/p-Si yapıları arasında engel yüksekliğini değiştirme nedeni ise kullanılan organik arayüzey katmana, ara yüzey durum yoğunluğuna ve seri direnç etkisine atfedilebilir. Oluşturulan Ag/organik molekül/p-Si aygıtın akım eğrisi seri direnç etkisi nedeniyle yüksek gerilim değerlerinde lineerlikten uzaklaşmaktadır. Bu sonuç, organik arayüzey katman ile silisyum arayüzeydeki boş bağların doldurulmasına, arayüzeyde dipollerin oluşmasına, ya da difüzyon akımının artmasına bağlanabilir. Bu organik arayüzey katmanı varlığı ile aygıt parametrelerinin iyileştirilebilirliğini kanıtlamaktadır.

## KAYNAKÇA

Abdel-Khalek, H., E. Shalaan, Mohamed Abd-El Salam, and Ahmed M. El-Mahalawy. 2018. "Effect of Illumination Intensity on the Characteristics of Cu(Acac)<sub>2</sub>/n-Si Photodiode." *Synthetic Metals* 245:223–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2018.09.009>.

Ben Ahmed, A., M. Benhaliliba, Y. S. Ocağ, A. Ayeshamariam, and C. E. Benouis. 2022. "Photovoltaic Parameters and Computational Spectroscopic Investigation of Third Order Nonlinear Optical of CuPc/Si Organic Diode." *Optical Materials* 126:112071. doi: [10.1016/J.OPTMAT.2022.112071](https://doi.org/10.1016/J.OPTMAT.2022.112071).

Altındal, Ş., A. Barkhordari, ... G. Pirgholi-Givi-Physica, and undefined 2021. n.d. "Comparison of the Electrical and Impedance Properties of Au/(ZnOMn: PVP)/n-Si (MPS) Type Schottky-Diodes (SDs) before and after Gamma-Irradiation." *Iopscience.Iop.Org* Altındal, A Barkhordari, G Pirgholi-Givi, M Ulusoy, H Mashayekhi, S Özçelik *Physica Scripta*, 2021 • *iopscience.Iop.Org*.

Altındal, Şemsettin, Ahmet Faruk Özdemir, Şakir Aydoğın, and Abdülmecit Türüt. 2022. "Discrepancies in Barrier Heights Obtained from Current–Voltage (IV) and Capacitance–Voltage (CV) of Au/PNoMPhPPy/n-GaAs Structures in Wide Range of Temperature." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 33(15):12210–23. doi: [10.1007/s10854-022-08181-1](https://doi.org/10.1007/s10854-022-08181-1).

Benhaliliba, M. 2020. "A Growth of A–Z Phthalocyanine Layers onto Si by Thermal Evaporation Process to Achieve Organic Heterojunction Diodes." *Optik* 217:164832. doi: [10.1016/J.IJLEO.2020.164832](https://doi.org/10.1016/J.IJLEO.2020.164832).

Benhaliliba, M., A. Ben Ahmed, M. Kaleli, and S. E. Meftah. 2022. "Structural, Optical, Nonlinear Optical, HUMO-LUMO Properties and Electrical Characterization of Poly(3-Hexylthiophene) (P3HT)." *Optical Materials* 132:112782. doi: [10.1016/J.OPTMAT.2022.112782](https://doi.org/10.1016/J.OPTMAT.2022.112782).

Benhaliliba, M., C. E. Benouis, M. S. Aida, F. Yakuphanoglu, and A. Sanchez Juarez. 2010. "Indium and Aluminium-Doped ZnO Thin Films Deposited onto FTO Substrates: Nanostructure, Optical, Photoluminescence and Electrical Properties." *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 55(3):335–42. doi: [10.1007/S10971-010-2258-X](https://doi.org/10.1007/S10971-010-2258-X).

Dayan, O., AG Imer, AG Al-Sehemi, ... N. Özdemir-Journal of Molecular, and undefined 2020. n.d. "Photoresponsivity and Photodetectivity Properties of Copper Complex-Based Photodiode." *Elsevier*.

Dayan, Osman, Arife Gencer Imer, Abdullah G. Al-Sehemi, Namık Özdemir, A. Dere, Z. Şerbetçi, Ahmed A. Al-Ghamdi, and F. Yakuphanoglu. 2020. "Photoresponsivity and Photodetectivity Properties of Copper Complex-Based Photodiode." *Journal of Molecular Structure* 1200:127062. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.127062>.

Demirezen, S., H. G. Çetinkaya, M. Kara, F. Yakuphanoglu, and Altındal. 2021. "Synthesis, Electrical and Photo-Sensing Characteristics of the Al/(PCBM/NiO: ZnO)/p-Si Nanocomposite Structures." *Sensors and Actuators A: Physical* 317:112449. doi: [10.1016/J.SNA.2020.112449](https://doi.org/10.1016/J.SNA.2020.112449).

Demirezen, Selçuk, Şemsettin Altındal, Yashar Azizian-Kalandaragh, and Ahmet Muhammed Akbağ. 2022. "A Comparison of Au/n-Si Schottky Diodes (SDs) with/without a Nanographite (NG) Interfacial Layer by Considering Interlayer, Surface States (N<sub>ss</sub>) and Series Resistance (R<sub>s</sub>) Effects." *Physica Scripta* 97(5):55811. doi: [10.1088/1402-4896/ac645f](https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac645f).

Gencer Imer, A., O. Karaduman, and F. Yakuphanoglu. 2016. "Controlling of the Photosensing Properties of Al/DMY/p-Si Heterojunctions by the Interface Layer Thickness." *Synthetic Metals* 221:114–19. doi: 10.1016/j.synthmet.2016.08.014.

Gencer Imer, A., A. Tombak, and A. Korkut. 2016. "Electrical and Photoelectrical Characteristic Investigation of a New Generation Photodiode Based on Bromothymol Blue Dye." *Journal of Physics: Conference Series* 707(1). doi: 10.1088/1742-6596/707/1/012012.

Gencer Imer, Arife, Aysegül Dere, Esra Kaya, Abdullah G. Al-Sehemi, Osman Dayan, Ahmed A. Al-Ghamdi, and F. Yakuphanoglu. 2023. "The Photodetection Properties of a Ruthenium Electro-Optic Device for Organic Material-Based Device Industry." *Optical Materials* 142:114085. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.114085>.

Gencer Imer, Arife, A. Korkut, W. A. Farooq, A. Dere, M. Atif, Atif Hanif, and Abdulkerim Karabulut. 2019. "Interface Controlling Study of Silicon Based Schottky Diode by Organic Layer." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 30(21):19239–46. doi: 10.1007/S10854-019-02282-0.

Gencer Imer, Arife, A Korkut, W. A. Farooq, A. Dere, M. Atif, Atif Hanif, and Abdulkerim Karabulut. 2019. "Interface Controlling Study of Silicon Based Schottky Diode by Organic Layer." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 30(21):19239–46. doi: 10.1007/s10854-019-02282-0.

Gencer Imer, Arife, Ranjdar Hamad Basha Syan, Mehmet Gülcan, Yusuf Selim Ocak, and Ahmet Tombak. 2018. "The Novel Pyridine Based Symmetrical Schiff Base Ligand and Its Transition Metal Complexes: Synthesis, Spectral Definitions and Application in Dye Sensitized Solar Cells (DSSCs)." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 29(2):898–905. doi: 10.1007/s10854-017-7986-z.

Gomaa, HM, IS Yahia, HY Zahran-Physica B: Condensed Matter, and undefined 2021. n.d. "Correlation between the Static Refractive Index and the Optical Bandgap: Review and New Empirical Approach." *Elsevier*.

Güllü, Ö., and A. Türüt. 2010. "Electrical Analysis of Organic Dye-Based MIS Schottky Contacts." *Microelectronic Engineering* 87(12):2482–87. doi: 10.1016/J.MEE.2010.05.004.

İkram, O., A. Turut, M. Toprak-Synthetic Metals, and undefined 2015. n.d. "The Comparison of Electrical Characterizations and Photovoltaic Performance of Al/p-Si and Al/Azure C/p-Si Junctions Devices." *Elsevier*.

İkram, ORAK, Abdulmecit Turut, and Mahmut Toprak. 2015. "The Comparison of Electrical Characterizations and Photovoltaic Performance of Al/p-Si and Al/Azure C/p-Si Junctions Devices." *Synthetic Metals* 200:66–73.

Imer, A. Gencer, RHB Syan, M. Gülcan, ... YS Ocak-Journal of Materials, and undefined 2018. n.d. "The Novel Pyridine Based Symmetrical Schiff Base Ligand and Its Transition Metal Complexes: Synthesis, Spectral Definitions and Application in Dye Sensitized." *Springer*.

Imer, Arife Gencer, Mehmet Gülcan, Metin Çelebi, Ahmet Tombak, and Yusuf Selim Ocak. 2020. "Effects of the R-GO Doping on the Structural, Optical and Electrical Properties of CdO Nanostructured Films by Ultrasonic Spray Pyrolysis." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 31(3):2111–21. doi: 10.1007/S10854-019-02732-9.

Karabulut, A., A. Dere, O. Dayan, ... AG Al-Sehemi-Materials Science in, and undefined 2019. n.d. "Silicon Based Photodetector with Ru (II) Complexes Organic Interlayer." *Elsevier*.

Karabulut, Abdulkerim, A. Dere, Osman Dayan, Abdullah G. Al-Sehemi, Z. Serbetci, Ahmed A. Al-Ghamdi, and F. Yakuphanoglu. 2019. "Silicon Based Photodetector with Ru(II)

Complexes Organic Interlayer.” *Materials Science in Semiconductor Processing* 91:422–30. doi: 10.1016/J.MSSP.2018.11.035.

Karabulut, Abdulkerim, A Dere, Osman Dayan, Abdullah G. Al-Sehemi, Z. Serbetci, Ahmed A. Al-Ghamdi, and F. Yakuphanoglu. 2019. “Silicon Based Photodetector with Ru(II) Complexes Organic Interlayer.” *Materials Science in Semiconductor Processing* 91:422–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.11.035>.

Karabulut, Abdulkerim, D. E. Yıldız, D. A. Köse, and M. Yıldırım. 2022. “Photosensing Performances of Heterojunctions-Based Photodiodes with Novel Complex Interlayers.” *Materials Science in Semiconductor Processing* 146:106647. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2022.106647>.

Karataş, Şükrü, and Niyazi Berk. 2022. “Performance of the Illumination Dependent Electrical and Photodiode Characteristic of the Al/(GO:PTCDA)/p-Si Structures.” *Optical Materials* 126:112231. doi: 10.1016/J.OPTMAT.2022.112231.

Sevgili, Ömer, Mert Yıldırım, Yashar Azizian-Kalandaragh, and Şemsettin Altındal. 2020. “A Comparison Study Regarding Al/p-Si and Al/(Carbon Nanofiber–PVP)/p-Si Diodes: Current/Impedance–Voltage (I/Z–V) Characteristics.” *Applied Physics A* 126(8):634. doi: 10.1007/s00339-020-03817-7.

Soylu, M., Omar A. Al-Hartomy, Said A. Farha Al Said, Ahmed A. Al-Ghamdi, I. S. Yahia, and Fahrettin Yakuphanoglu. 2013. “Controlling of Conduction Mechanism and Electronic Parameters of Silicon–Metal Junction by Mixed Methylene Blue/2'-7'-Dichlorofluorescein.” *Microelectronics Reliability* 53(12):1901–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2013.05.008>.

Tombak, Ahmet, Yusuf Selim Ocak, Sezai Asubay, Tahsin Kilicoglu, and Fatma Ozkahraman. 2014. “Fabrication and Electrical Properties of an Organic–Inorganic Device Based on Coumarin 30 Dye.” *Materials Science in Semiconductor Processing* 24:187–92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.03.004>.

Ugur, A., AG Imer, YS Ocak-*Materials Science in Semiconductor Processing*, and undefined 2015. n.d. “Electrical and Photoelectrical Characterization of an Organic–Inorganic Heterojunction Based on Quinoline Yellow Dye.” *Elsevier*.

# Yapı Malzemesi Olarak Corten Çeliği

Aydın ŞİK<sup>1</sup>  
Asena SOYLUK<sup>2</sup>  
Emre BAYRAK<sup>3</sup>

## Giriş

İnşaat yapıları, yük taşıyan yapılar ve genel dış mekân inşaat bileşenleri ve parçaları, zorlu çevre koşullarına dayanabildikleri ve dayanıklı kalabildikleri için corten çelikten yapılmıştır. Corten çeliği (diğer adıyla hava şartlarına dayanıklı çelik), birçok dış mekân uygulaması için ideal bir metal malzemedir (Morcillo, 2013). Dış etkenlere maruz kaldığında on yıllar boyunca dayanma yeteneği, büyük ölçüde, birkaç aydan birkaç yıla kadar maruz kalma süresi içinde koruyucu ve korozyona karşı oldukça dirençli bir kaplamayı yenileme kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Bu, tipik olarak diğer alaşımsız metal türlerinin gerektirdiği ıslak ve kuru hava döngülerinden geçmek zorunda kalmadan gerçekleşir (Cui, 2014).

Ayrışma çeliği (WS: Weathering Steel) olarak da bilinen corten çeliği, bakır, krom, fosfor, silikon ve nikelden oluşan yüksek mukavemetli düşük alaşımlı bir çeliktir (Jones, 1987). Hava koşullarına dayanıklı çelikler, bu kadar yüksek tuzluluk seviyeleri nedeniyle aşırı korozyona maruz kalmak zorunda kalabilir (Wu, 2017) (Kihira, 2011). Hava koşullarına dayanıklı çeliğin korozyon direnci, yüzeyinde oluşturulan pas önleyici kaplama nedeniyle karbon çeliğine göre daha yüksektir. Bu özellik bazı alaşımlar dahil edilmesiyle yakından bağlantılıdır. Cu, Cr ve Ni, hava koşullarına dayanıklı çeliğin korozyon davranışını iyileştirmek için uygulanan en yaygın araştırılan alaşım elementleridir (Chen, 2007) (Zhang, 2002) (Ocampo, 2006). Nikel, çelik yüzeyindeki bakır zenginleşmesine bağlı olarak haddeleme aşamasında sıcak gevrekleşmeyi azaltmak ve deniz ortamlarında korozyon direncini arttırmak için geleneksel WS'nin sentezinde kullanılmıştır (Kim, 2002) (Townsend, 1995) (Murata, 2000). Bu çelikler 1930'ların başında geliştirilmiş ve atmosferik korozyona karşı mükemmel dirençleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmıştır. Ayrıca, maruz kalma süresi boyunca hafif, sağlam, yapışkan ve koruyucu bir pas kaplaması oluşturma yeteneklerinden dolayı birçok atmosfer türünde karbon çeliğine göre korozyona karşı nispeten daha yüksek direnç gösterirler (Natesan, 2006) (Kamimura, 2006). Alaşım elementlerinin varlığına ek olarak çevre koşullarının kimyasal doğası da koruyucu pas tabakasının oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve dolayısıyla korozyon oranının azalmasına neden olur (McCuen, 2005).

Corten çeliği, yüksek derecede korozyon direnci ve çekme mukavemeti sergileyen bir grup kombine çelik alaşımıdır. Demiryolu kömür vagonlarının geliştirilmesine yardımcı olmak için US Steel Corporation (USS) tarafından 1930'larda geliştirilmiş ve tanıtılmıştır. Tipik olarak corten olarak yazılsa da, resmi ticari marka adı COR-TEN'dir ve bu ürünün belirli niteliklerine ve özelliklerine atıfta bulunur: Corten çelik demir-karbon alaşımıdır. Bu alaşım bakır, krom, fosfor, nikel, silisyum ve manganez içermektedir. İsmi "CORrosion resistance-TENSile stregth" ifadesinden gelmiştir.

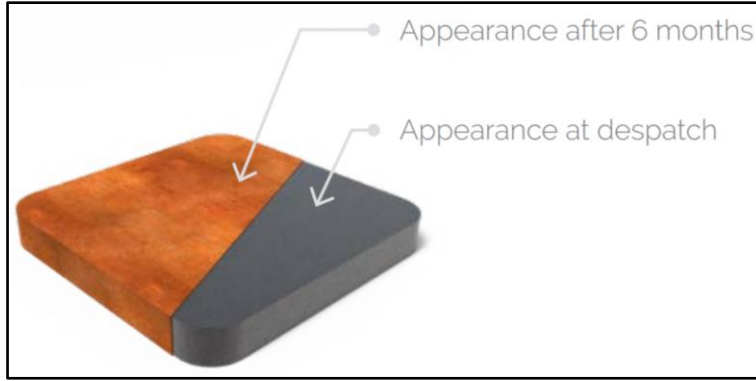
**COR:** Korozyon Direnci **TEN:** Çekme Dayanımı

<sup>1</sup> Prof. Dr., Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü

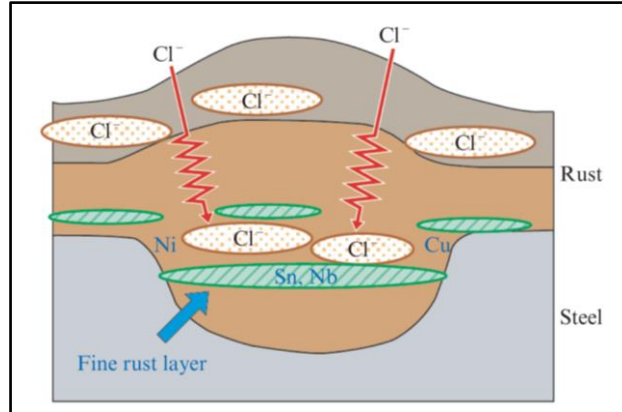
<sup>2</sup> Doç. Dr., Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

<sup>3</sup> PİMEKS Alüminyum PVC ve Metal San. Tic. A. Ş.

Corteni oluşturan alaşımlar öncelikle **bakır** ve **kromdur**. Bunların birleştirilme şekli, çeliğin yüksek derecede mukavemetini korumasına ve onu genellikle korozyona ve yapısal hasara neden olan atmosferik elementlerden koruyan doğal pas (patina) oluşturmaya olanak tanır. Geliştirdiği pas kaplama aynı zamanda ona doğal görünümlü ve son derece güzel bir görünüm kazandırır. Hava koşullarına dayanıklı, yüksek mukavemetli ve estetik açıdan hoş özellikleri, onu dış inşaat ve peyzaj projeleri için ideal bir metal haline getirir. Aynı özellikler aynı zamanda düzenli bakım ve boyama ihtiyacını da azaltır; bir proje tamamlandığında, herhangi bir ek iş yapılmasına gerek kalmadan genellikle yıllarca tek başına bırakılabilir. Corten çeliğin üzerinde oluşan pas, geçirimsiz bir pasivasyon tabakası oluşturarak alttaki corten çeliğin daha fazla korozyona uğramasını önler. Ayrıca corten çeliği, düşük alaşımlı çelikler segmentinde minimum alaşımlama ile mekanik özelliklerin iyi bir kombinasyonuna sahiptir. İyi bir ağırlık/mukavemet oranına sahip olduğundan, demiryolu vagonları, ulaştırma endüstrisi, köprüler, yapılar vb. imalatında yaygın olarak kullanılır. Corten çeliğin çok yönlülüğü, kaynaklanabilme, şekillendirilebilme, işleme ve ısıl işlemlere tabi tutulabilme yeteneğinde yatmaktadır ve bu nedenle özellikleri, çeşitli ürünler, ekipman, yapılar vb. üretmek üzere tasarlanabilmektedir (Kim, 2002) (Townsend, 1995) (Su, 2019).



Şekil 1. Corten çeliğinin 6 ay sonraki renk değişimi



Şekil 2. Geliştirilmiş çeliğin korozyona direnç mekanizması

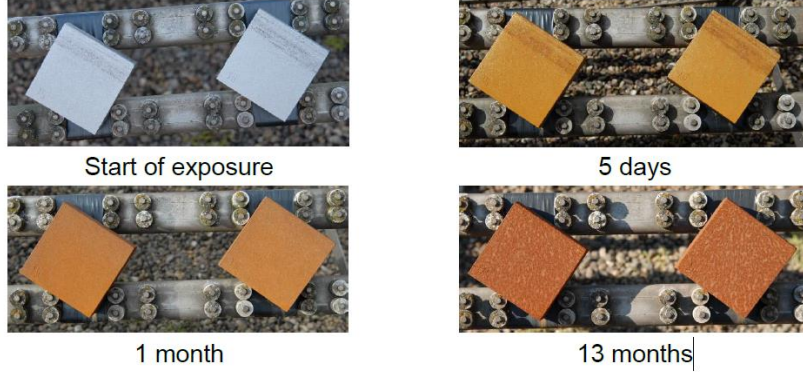
Şekil 2, korozyon direnci mekanizmasının şematik bir diyagramını göstermektedir. Cu ve Ni iç tabaka pası içinde dağılır ve Sn ve Nb konsantrasyonu ile yoğun bir pas tabakası oluşur. Bir korozyon faktörü olan klorür iyonunun nüfuz etmesi, bu şekilde oluşan yoğun pas tabakası tarafından bastırılır (Chen, 2007).





Şekil 3. Yıllara göre farklı maruz kalma koşulları altında gelişen olası oksit tabakası

Şekil 3'te gösterilen oksit tabakası renklerinde olan koyu tonlar genellikle endüstriyel ortamlarda üretilir. Kırsal ortamlarda oksit tabakası daha yavaş oluşur ve üretilen tonlar genellikle daha açık olur. Yüzey püskürtme, düzgün bir görünüme sahip düzenli bir oksit tabakasının oluşmasını sağlar ve özellikle kısa sürede düzgün bir görünüm gerektiğinde genellikle tavsiye edilir. Maruz kalmanın yaklaşık ilk yılında yüzey görünümünün gelişimine bir örnek Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 5'te oksit tabakası olmadan montaj sırasında kompozit bir köprünün çelik yapısını göstermektedir (Guo, 2019). Şekil 6 açıldıktan ve birkaç hafta dış mekâna maruz kaldıktan sonra tamamlanmış köprüyü göstermektedir.



Şekil 4. Yıl içinde yüzey görünümünün değişimi (CRP H. Tudor, Esch sur-Alzette)



Şekil 5. Çelik yapının oksit tabakası olmadan montajı sırasında kompozit köprü, San Martin à Fontes, Fransa

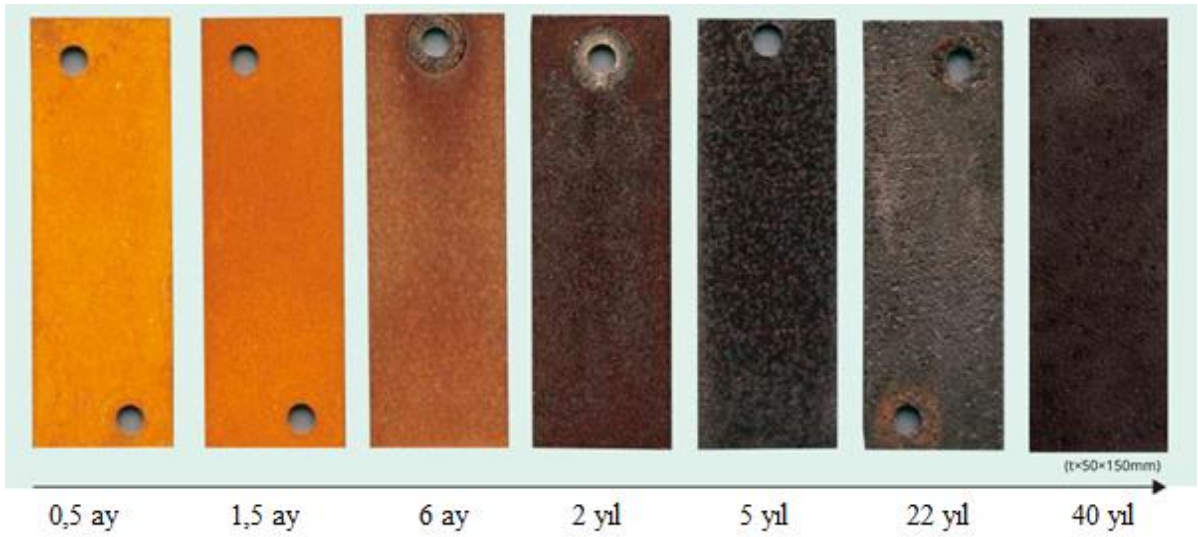


Şekil 6. Birkaç hafta dış mekâna maruz kaldıktan sonra tamamlanmış köprü

*San Martin à Fontes, Fransa*

Corten çelikleri her türlü kaynak yöntemiyle birleştirilebilirler. Yüksek akma mukavemetinin olması petrokimya endüstrisinde tercih edilmesine imkân tanımıştır. Çelik malzemelerin içinde ise yüksek akma ve çekme dayanımı, minimum bakım ihtiyacı, gelişmiş pas patina yüzeyin yapıya estetik değer katması gibi özellikleri bir arada bulunduran corten çelik yapı malzemesi de günümüzde daha da ayrıcalıklı bir yer kazanmıştır. Corten çelik malzemenin bu tip ayrıcalıkları ve günümüz tasarım dünyasındaki özellikli yeri açısından araştırılması düşünülmüş ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmiştir. Corten çelik malzemenin ilk yapımı maliyetli olmasından kullanımını azaltmaktadır. Ancak corten çelik malzemesinin uzun ömürlü olması, bakım gerektirmemesi, yalın karbon çeliğe kıyasla daha mukavemetli olmasından kaynaklı kalınlığının daha az olması gibi özelliklerinden dolayı malzemeyi hayat boyu döngüsünde daha ekonomik kılmaktadır.

Şekil 7 ve Şekil 8’de pas görünümünde kalıcı değişiklikler görülmektedir. Uygulamanın ilk aşaması corten sarımsı bir görünüm gösterir. Bunu, genel uygulama ortamlarında bir yıl sonra koruyucu pasın renginin kahverengiden sabit koyu kahverengiye kademeli olarak değişmesi izler. Daha sonra renklenme, belki daha koyu bir kahverengiye dönüşmesi dışında belirgin bir değişiklik göstermez.



Şekil 7. Corten çeliğin zaman içindeki renk değişimi (Nippon Steel, 2022)



Şekil 8. Corten çeliğin zaman içindeki renk değişimi (Yüzüncü Yıl Anıt Kulesi, Ken Iguchi, Hokkaido Hokkaido, Japonya) (Nippon Steel, 2022)

İyi detaylandırılmış hava koşullarında, dayanıklı çelik yapı, ayakta durma kapasitesi boyunca çok sayıda değişikliğe dayanabilir. Bu alternatif malzemenin ilk uygulaması, 1964 yılında Mimar Eero Saarinen tarafından Amerika Birleşik Devletleri'ndeki John Deere Genel Merkezi'nin yapımında görüldü. 1967'ye geldiğinde, bu düşük alaşımlı karbon, çeliğinin kullanımı arttı ve şehir genelindeki çoğu dış mekân yapısında kullanılabilir hale geldi (Es, 2018).



Şekil 9. John Deere Genel Merkezi (Es, 2018)

İlk aşınmaya dayanıklı çelik yaya köprüsü, 1967'de İngiltere'de inşa edildi. Daha sonra corten çeliği İngiltere ve Avrupa'da köprü inşaatı için ana malzeme olarak kullanıldı. Corten çeliğinin kullanımı o zamandan beri dünya çapında yayıldı. Şu anda bile köprü güverteleri için en çok tercih edilen malzemelerden biridir. Corten çeliği, diğer karbonlu çelik elemanlara veya yumuşak çelik konstrüsiyona düşündürücü bir alternatif malzeme olmaya devam etmektedir. Bu malzemenin bugüne kadar bina yapımında kullanılması; tasarımcıları, avantajları ve sınırlamaları ve inşaatta alternatif bir malzeme olarak tercih edilmektedir.

### **John Deere Genel Merkezi, Moline, Illinois, ABD**

John Deere Genel Merkezi, inşaatında aşınmaya dayanıklı çelik kullanımını birleştiren üç binadan oluşan karmaşık bir tasarımdır. Şirket başkanı William Hewitt tarafından verilen özel talimatlara göre binalar, gerçekçi bir dış cephe elde etmek için corten çeliğinden inşa edildi. Bu şekilde malzeme korozyona direndi ve olgunlaştıkça toprak rengi oluşturan koruyucu bir demir oksit kaplaması oluşturdu.



*Şekil 10. John Deere Genel Merkezi*

Zaman geçtikçe oksitlenen corten, binaya zamanla topraksı bir görünüm kazandırdı. Düşük bakım ve uzun vadeli performans standartları gibi özelliklerle 1964'te tamamlanan bina John Deere'in dünya genel merkezi olmaya devam ediyor.

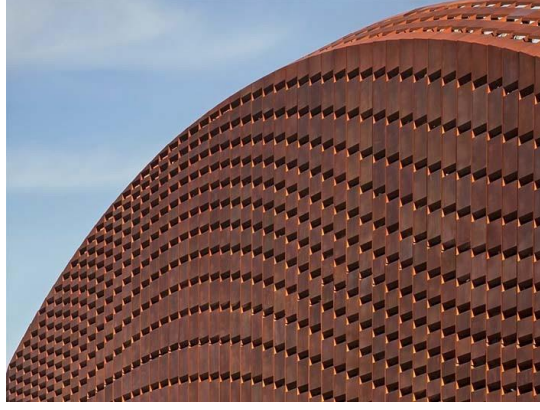
### **Barclay's Center, New York, ABD**

Barclays Center, Brooklyn, New York'ta bulunan ve 19.000 kişilik oturma kapasitesine sahip birinci sınıf bir spor arenasıdır. Merkez, bitişikteki kumtaşı blokların rengini ve ölçeğini hatırlatan, yıpranmış çelikten ve 12.000 benzersiz şekilli panelden oluşan bir dış cephe ile dengeyi sağlamaktadır. Bu ikonik dış cephe ile elde edilen öncü inşaat teknolojisi, aydınlık ve karanlığın kontrastını vurgulayan cephe panelleri ile bütünleşen, aerodinamik bir tasarım sunmaktadır.



*Şekil 11. Bruce Damonte, Barclays Center*

Binanın değişen hava koşullarına dayanıklı, çelik ve cam şeritleriyle sarılmış cephesi; zengin ve dinamik olarak dokulu bir yüzey yaratan ve kıvrımlı metal kafes işinin ölçekli karmaşıklığını betimleyen bir çıktıya karşılık gelir. Kullanılan çelik benzersizdir. Çünkü malzemedeki zengin patina havadaki değişiklikleri yansıtır. Cam kaplamanın kullanımı ise çevredeki şehir manzarasının renklerini gösterir. Corten çeliği, inşaat sırasında katı bir bütçe kısıtlamasını gerektiren diğer yapı malzemeleriyle karşılaştırılmayacak bir estetik çekiciliğe sahiptir.



Şekil 12. Bruce Damonte, Barclays Center

Corten çelik heykellerin sanata girdiği altmışlı yılların ortalarından beri yavaş renk değiştiren yüzeyi ve tabii ki hava koşullarına dayanıklılığı nedeniyle günümüzde sanatçılar tarafından tercih edilen bir malzeme olarak hâkimiyetini korumaktadır.



Şekil 13. Antony Gormley, Kuzeyin Meleği, 1998, Gateshead, England (Kuiper, 2022)

Britanya'nın en büyük halka açık heykeli olan Kuzey Meleği, Antony Gormley tarafından yapılmış (Şekil 13) ve 1998'de Gateshead'de kullanılmayan bir maden ocağının yerine monte edilmiştir. Bunun bir yol güvenliği tehlikesi ve paslanan bir metal yığını olacağını tahmin eden eleştirmenler, çok hızlı bir şekilde yerel bir simge ve Gateshead'in olumlu bir sembolü haline geldiğinde yanılmışlardır. Tyneside'a yaklaşan A1 yolunun kenarında ve doğu kıyısı demiryolu hattından pek de uzak olmayan kilometrelerce ufuk çizgisine hakim olan Angel'i her yıl 33 milyon gezginin gördüğü tahmin edilmektedir ve bu da onu Britanya'nın en çok izlenen kamusal modern sanat eseri yapmaktadır. Heykel, Gormley'in 1989'da yapmaya başladığı insan ve mekanik formları melezleştiren A Case for an Angel heykel serisinden geliştirilmiştir. İlk heykelin gövdesi, Gormley'in 8,5 m kanat açıklığına sahip planör benzeri kanatların monte edildiği kurşun levhalarla kaplı kendi vücudundan bir alçı dökümdü. Kuzey Meleği, 200 ton ağırlığında, 20 m yüksekliğinde ve 54 m kanat açıklığıyla neredeyse bir Boeing 747 ile aynı oranda olan anıtsal bir projedir. Daha endüstriyel bir biçim almıştır, özellikle de corten veya eskitme çeliği boyama ihtiyacını ortadan kaldıran ve doğal olarak çeliğin yüzeyini stabilize eden pas renkli bir patina oluşturmak için hava koşullarına maruz kalan bakır içeren bir alaşım kullanımıyla oluşturulmuştur (Kaya, 2023) (Nicholson, 2018).



*Şekil 14. PİMEKS GROUP tarafından yapılan Kuzu Grup Ankara Merkez Binası*

Birkaç esrarengiz örnek, ayrıca İngiltere'deki Leeds Yayın Kulesi, İsrail'deki Tasarım Müzesi ve dünyanın her yerindeki daha birçok arketipsel yapıyı içerir. Maliyet, bakım, inşaat hızı ve çevre dostu özellikleri ile corten çeliği her ülkede tanınmıştır. Bu özelliklerinden dolayı inşaat için alternatif bir malzeme olarak kullanılabilir (Yüzer, 2022).

Corten çeliği, inşaat ve inşaat endüstrisinde büyük ölçekli projelerin yanı sıra, yüksek düzeyde estetiğin gerekli olduğu orta ve küçük projelerde (Örn. mimari, heykel, ev ve bahçe) yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha popüler uygulamalarının bir özeti aşağıda verilmiştir:

**Yapı ve Mimarlık:** Dış mekândaki yük taşıyan binalar, köprüler ve gemilerin yanı sıra sahil evleri ve müzeler gibi estetik nitelikteki mimari yapılar.

**Sanat, Heykel ve Bahçe Tasarımı:** Dış mekân sanat projeleri, özellikle heykelleri içerenlerin yanı sıra nemli ve rutubetli ortamlara maruz kalan peyzaj ve bahçe yapıları.

**Görsel Ekranlar:** Çitler, kapılar ve duvar panelleri gibi yapıları çevrelemek, bölmek ve korumak için kaplama malzemesi.

Yukarıdaki yaygın kullanımların yanı sıra, daha az bilinen ve alışılmadık dış mekân yapıları ve uygulamaları oluşturmak için corten hava koşullarına dayanıklı çelik de kullanılmaktadır;

- Mikro evler,
- Yayın/iletim kuleleri,
- Demiryolu elektrikli arabalar,
- Bacalar,
- Dış mekân kütük brülörleri,
- Çim kenarı,
- Bahçe merdivenleri,
- Dış aydınlatma ve su armatürleri,
- Açık ve kapalı ahşap depolar,
- Bisiklet çemberleri,

- Ağaç ızgaralarıdır.

Yukarıdaki listelerden de görülebileceği gibi aşınmaya dayanıklı çelik, orta ölçekli sanat ve heykel tasarımlarının yanı sıra büyük ölçekli inşaat projelerinde de kullanılabilir esnek bir malzemedir. Kamu hizmeti uygulamaları ile küçük ve kişiselleştirilmiş ev ve bahçe hobileri için de aynı derecede uygundur (Ai-hua, 2012) (Guo, 2019) Coburn, 1963).

### Corten Çelik Üretim Süreci

Corten çelik, özel bir çelik türüdür ve üretimi belirli bir süreç gerektirir. Corten çeliğin üretim süreci genellikle şu adımları içerir:

1. *Ham malzeme seçimi:* Belirli kimyasal bileşime sahip çelik levhaların kullanılmasıyla üretilir. Bu çelik levhalar, genellikle ASTM A588 veya ASTM A242 gibi standartlara uygun olarak üretilen düşük alaşımlı çelik levhalardır. Ham malzeme seçimi, Corten çeliğin son özelliklerini belirler.
2. *Çelik şekillendirme:* Ham çelik levhalar, özel bir şekillendirme sürecine tabi tutulur. Levhalar, rulo şekillendirme, presleme, bükme ve kesme gibi yöntemlerle istenen boyutlara ve şekillere getirilir. Bu süreç, corten çeliğin nihai kullanım amacına bağlı olarak değişebilir.
3. *Çelik yüzey işlemi:* Özel bir oksidasyon sürecine tabi tutularak kendine özgü pas tabakasının oluşması sağlanır. Çelik levhalar, yüzeylerinde istenen pas tabakasını oluşturmak için su, tuz ve oksijen içeren bir çözelti ile muamele edilir. Bu oksidasyon süreci, çeliğin karakteristik paslı görünümünü ve hava koşullarına karşı dayanıklılığını sağlar.
4. *Son işlem ve muamele:* Üretilen corten çelik, son olarak özel müşteri taleplerine göre şekillendirilir, kesilir, kaynaklanır ve diğer işlemlere tabi tutulabilir. Bu, çeliğin son kullanım amacına uygun olarak son şeklini almasını sağlar.

Corten çeliğin üretim süreci, özel bir çelik türü olduğu için belirli bir uzmanlık gerektirir ve üretim süreçleri üreticiden üreticiye farklılık gösterebilir. Üreticiye ve üretim sürecine bağlı olarak, corten çeliğin üretim detayları da değişebilir.

Günümüzde kullanılan başlıca WS (Weathering Steel) çeliklerinin yüzde kimyasal bileşenleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’de alaşım elementlerinin %’leri görülmektedir. Alaşım elementlerinin düşük oranda eklenmesine rağmen, hava şartlarına dayanıklı çelik, alaşımsız yapısal çelikten benzer malzeme, teknoloji ve işçilik özelliklerine sahiptir. Yüksek fosforlu (yaklaşık %0,1) bazı hava şartlarına dayanıklı çelik sınıfları mevcuttur, ancak bu Avrupa Tasarım Kılavuzunun yazarları tarafından köprü inşaatında yapısal, yük taşıyan elemanlar için kullanılması tavsiye edilmemektedir ve hatta bazı Avrupa ülkelerinde yasaklanmıştır (Ungermann, 2021).

Corten çeliği üretim süreci, üç ana elementin (**bakır, krom ve nikel**) yanı sıra **fosfor, silikon ve manganez** gibi diğer alaşım elementlerinin harmanlanmasıyla başlar. Esneklik, dayanıklılık ve dayanıklılık sağlamak için karıştırma işlemi sırasında çok az (yüzde 0,2-0,3’ten az) **karbon** kullanılır (Ocampo, 2006).

Tablo 1. Corten (S355J0WP) çeliğinin kimyasal bileşimleri (%)

SINIF	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	V	Ni
S355J0WP (COR-TEN A) A242: ASTM)	0,12	0,25-0,75	0,20-0,50	0,01-0,20	0,030	0,50-1,25	0,25-0,55		0,65
S355J2WP (COR-TEN B) (A588: ASTM)	0,16	0,30-0,50	0,80-1,25	0,030	0,030	0,40-0,65	0,25-0,40	0,02-0,10	0,40

Çeliğe eklenecek alaşım elementinin tipleri, oranları ve verimliliği konusundaki çalışmalar sonucunda, atmosferik korozyona dayanıklı çelikler (Weathering Steel, (WS)) şimdiki kimyasal bileşimine ulaşmıştır (Es, 2017).

Corten çeliğinin **corten A** (S355J0WP) Corten B (S355J2W) olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Corten çeliklerinin A ve B çeşitlerindeki ana farklılık, bileşimindeki P miktarından kaynaklanmaktadır. Corten A, en yüksek (%0.07-0.15) ve Corten B ise en düşük P miktarını (%0.04) gösterir. Corten A çeşidine eklenen fosfor çekme mukavemetini azalttığı için ağır yük taşıyan uygulamalar için Corten A önerilmez. Corten B iki türden daha yaygın olanıdır. Koruyucu pas kaplamasını oluşturan ve kaynak için yeterli dövülebilirliğin yanı sıra yüksek derecede çekme mukavemetini koruyandır. Corten B özellikle zorlu dış ortamlarda bulunan ağır, yük taşıyan yapılar için ihtiyaç duyulan çelik parçalarda kullanışlıdır. Tablo 2 Corten (S355J0WP) çeliğinin mekanik özellikleri görülmektedir.

Tablo 2. Corten (S355J0WP) çeliğinin mekanik özellikleri

Akma Dayanımı (Re)	Çekme Dayanımı (Rm)	Uzama (%)	Darbe Dayanımı (Charpy V-notch)
355 MPa min.	470-630 MPa	22% min	-20°C'de 27 J min.

Mekanik özellikleri, alaşıma ve malzeme kalınlığına bağlıdır. A 242 alaşımı, 340 MPa akma, 480 MPa çekme mukavemetine sahiptir. Corten çelikler, ferritik perlitik mikroyapıya sahiptir. Bu çelikler çok saldırgan olmayan atmosfer koşullarında yüzeylerinde koruyucu bir tabaka oluşturdukları için atmosferik korozyona dayanıklıdırlar. Ancak atmosferde bulunan klorür, sülfat, vb. saldırgan iyonlar, tabakanın koruyuculuğunu olumsuz etkiler. Koruyucu tabakanın korozyonu geciktirici etkisi, içindeki alaşım elementlerinin konsantrasyonu ve dağılımları ile ilgilidir. Koruyucu tabaka oluşturması için çeliğin önce paslanmasına izin verilir. Birkaç yıl atmosfere maruz kalırsa, yüzeyinde, kararlı pas görünümlü bir tabaka oluşur. Bu tabaka korozyonun metal yüzeyinde devam etmesini engellediğinden boyamaya ihtiyaç göstermez (Zhang, 2014) (<https://www.ozdemirçelik.com/>).

Tablo 3. Corten (S355J0WP) çeliğinin fiziksel özellikleri

Yoğunluk	Erime Noktası
7.85 g/cm <sup>3</sup>	~1450°C

Hava koşullarına dayanıklı çelik, uygun ortamlarda “patina” olarak da adlandırılan, daha fazla korozyonu en aza indiren yapışkan bir koruyucu oksit tabakası oluşturan, düşük alaşım elementi içeriğine sahip bir yapısal çeliktir ve hava koşullarına dayanıklı çelik, ek bir kaplama olmadan kullanılabilir. Bu nedenle teknik adı “atmosferik korozyon direnci geliştirilmiş yapı çeliğidir (EN, 2019).

**Corten çeliğinde paslanma süreci aynı şekilde başlar ancak bunun yerine metalden ayrılmak yerine ona yapışkan sabit bir pas (yani patina) tabakası oluşturur.** Bu, metal içindeki gözenekli boşlukların sayısının azaltılmasına yardımcı olur ve aynı zamanda bu boşluklara sıklıkla nüfuz eden oksijen ve nem miktarını da azaltır, böylece daha fazla paslanmayı önler.

Corten çelik üzerinde koruyucu patinanın oluşması için geçen süreyi çeşitli faktörler etkiler. Spesifik ortam, nem ve nem parçacıkları arasındaki mesafe, patinanın oluşma hızını etkiler. Ancak kesin olan bir şey var: Corten çeliği ne kadar çok çevresel döngüye maruz kalırsa yüzeyinde istenen koruyucu pası o kadar hızlı oluşturacaktır. Havanın ıslak ve kuru çevresel döngülerini beklemek istemeyenler için süreci hızlandırmak amacıyla tuzlu su ve bazı kimyasallar kullanılabilir.



Tuzlu su, corten çelik panellerin tüm bölümlerine püskürtülür ve tüm yüzey boyunca eşit turuncu bir renk görünene kadar işlem her gün tekrarlanır. Kullanılan panellerin miktarına ve boyutuna bağlı olarak bir ay gibi kısa bir sürede (standart olarak 2-3 ay) patinanın oluştuğu görülebilir.

### **Corten Çeliğinin Yaşlanma Süresi**

Yaşlandırma; malzemenin H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içine daldırılması ile üzerindeki koruyucu tabaka oluşum hızının arttırılması, böylece daha kısa surede istenilen dokuya ulaşılması işlemidir. Uygulama sonucunda kurumaya bırakılan malzeme üstüne poliüretan vernik (Penetrol vb) sürülür, böylece işlem sabitlenmiş olur. Vernik, yüzeydeki aşınmayla oluşan penetrasyonu ve yapışmayı önler (Es, 2017).

Corten çeliği, doğal olarak paslanma süreci ile ilgili birçok test ve deneylerden geçirilebilir. Bu testler, çeliğin paslanma direncini, yaşlanma sürecini ve özelliklerini değerlendirmek için kullanılabilir. Corten çelik için potansiyel yaşlanma testleri:

1. *Sıcaklık ve nem testi*: Belirli bir sıcaklık ve nem ortamında uzun süre bekletilir. Bu test, çeliğin paslanma direncini ve yaşlanma sürecini değerlendirmek için kullanılabilir.
2. *Tuzlu su testi*: Tuzlu su buharı içeren bir ortamda maruz bırakılır. Bu test, çeliğin korozyon direncini ve yaşlanma sürecini değerlendirmek için kullanılabilir.
3. *Yüksek nem testi*: Yüksek nemli bir ortamda uzun süre bekletilir. Bu test, çeliğin paslanma direncini ve yaşlanma sürecini değerlendirmek için kullanılabilir.
4. *Simüle edilmiş hava koşulları testi*: Simüle edilmiş hava koşullarına maruz bırakılır. Bu test, çeliğin paslanma direncini ve yaşlanma sürecini değerlendirmek için kullanılabilir.

Bu gibi yaşlanma testleri, corten çeliğin paslanma direncini, yaşlanma sürecini ve dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılabilir. Ancak, bu testlerden doğru sonuçlar elde etmek için standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Üreticinin talimatlarına ve deneyimli uzmanların tavsiyelerine dikkat edilmeli ve uygun test yöntemleri kullanılmalıdır.

### **Corten Çeliğinin Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi**

Hava şartlarına dayanıklı çeliğin kaynak işlemi nispeten kolaydır. ASTM A36 ve ASTM A572 gibi yaygın olarak kullanılan bazı düşük karbonlu çeliklere çok benzer şekilde kaynak yapılabilir. ASTM A588 (Corten A) hava şartlarına dayanıklı çelik, AWS D1.1 kapsamına giren bir yapısal çeliktir. Yapısal Kaynak Kodu; Grup II çeliğidir, yani önceden onaylanmış kaynak prosedürleri kullanılabilir. Hava şartlarına dayanıklı çelikler büyük ölçüde köprülerde kullanıldığından, AWS D1.5 (Köprü Kodu), bu çeliklerin kaynaklanmasına ilişkin belirli gereksinimler ve sınırlamalar da getirmektedir. Tek geçişli kaynak gerekliyse E7018 ve ER70S-6 gibi standart elektrotlar kullanılabilir. Kaynağa koruyucu tabakanın oluşmasına izin veren aynı özellikleri kazandırmak için ana malzemedan yeterli miktarda alaşım alınır.

İster köşe kaynağı ister oluk kaynağı olsun, birden fazla geçiş gerekli olduğunda, kaynağa istenen kimyayı vermek için kaynakta yeterli ana metal seyreltmesi olmayacaktır. Bu durumlarda nikel ile alaşımlanmış bir dolgu metali kullanılması gerekir. Hava şartlarına dayanıklı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar, %1'e kadar nikel içerirler. Örnekler; ER80S-Ni1 (GMAW) ve E81T1-Ni1C (FCAW) elektrotlardır. Çubuk elektrotlar (SMAW), %1 nikel ile alaşımlandığını gösteren "C3" işaretine sahip olacaktır. Kodlar bazen bu elektrotların yalnızca kimyayı eşleştirmek için değil aynı zamanda çentik dayanıklılığını artırmak (soğuk sıcaklıklarda servis performansını artırmak) için kullanılmasını gerektirmektedir.

Corten çelik, kaynak süreçleri açısından diğer çelik türlerinden farklılık gösterebilir. Corten çeliğin kaynak süreçleri şu şekilde özetlenebilir:

1. *Kaynak malzemeleri:* Corten çeliğin kaynağı için uygun kaynak elektrotları, teller veya gazlar kullanılmalıdır. Corten çeliğin kimyasal bileşimine ve mekanik özelliklerine uygun kaynak malzemeleri seçilmelidir.
2. *Temizleme ve hazırlık:* Kaynak yapılacak corten çelik yüzeyi, temizlenmeli ve uygun şekilde hazırlanmalıdır. Pas, kir, yağ ve diğer yabancı maddeler yüzeyden temizlenmelidir. Ayrıca, uygun kaynak pozisyonu ve tutma ekipmanları kullanılmalıdır.
3. *Kaynak işlemi:* Corten çelik, genellikle Elektrik Ark Kaynağı, MIG/MAG (Metal Inert Gaz/Metal Aktif Gaz) veya TIG (Tungsten Inert Gaz) kaynak yöntemleri ile kaynaklanır. Kaynak işlemi, uygun kaynak parametreleri (akım, voltaj, hız, gaz akışı vs.) kullanılarak gerçekleştirilmelidir.
4. *Paslanma:* Corten çeliğin kaynak bölgesi, kaynak işlemi sonrasında paslanabilir. Bu nedenle, kaynak yapılan bölge, hızlı bir şekilde açık havada bırakılarak paslanması sağlanmalıdır. Bu, kaynak sonrası paslanma sürecini hızlandırarak kaynak bölgesinde homojen bir pas tabakası oluşmasını sağlar.

Corten çeliğin kaynak işlemi, diğer çelik türlerinden farklılık gösterebilir ve deneyimli kaynakçılar tarafından gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, corten çeliğin kaynak işlemi sonrasında paslanma süreci dikkate alınmalı ve uygun önlemler alınmalıdır. Üreticinin talimatlarına ve kaynakçının deneyimine dikkat edilmeli ve uygun kaynak süreçleri ve parametreleri kullanılmalıdır.

Hava koşullarına dayanıklı çelikler genellikle diğer yüksek mukavemetli çeliklerin çoğundan daha yüksek bir karbon eşdeğer değerine sahiptir. Bundan dolayı kaynak sırasında normal olarak daha fazla ön ısıtma gerekir. Teslimat durumu +M (termomekanik haddelenmiş) olan çeliklerin kullanımı daha düşük karbon eşdeğerlerine yol açar ve bu etkiyi tekrar azaltabilir.

Elektrot seçiminde gereken ekstra özen ve ön ısıtmaya ihtiyaç duyma olasılığının daha yüksek olması nedeniyle, saha kaynağı bazen hava koşullarına dayanıklı çelik için cıvatalamaya göre daha az cazip bir seçenek olarak kabul edilir. Buna ek olarak, kaynaktan sonra lokal kumlama veya taşlama gerekebilir ve lokal görünüm, en azından ilk birkaç yıl için çelik işinin geri kalanından farklı olabilir. Ancak dikkatli olduğunda bu sorunların nispeten önemsiz olduğu görülmektedir.

### **Corten Çelik Ürünlerinin Temizliği ve Bakımı**

Köprülerde hava şartlarına dayanıklı çelik kullanmanın en büyük avantajı, inşaatın yaşam döngüsü boyunca bakım maliyetlerinin önemli ölçüde azalmasıdır. Doğru şekilde detaylandırılırsa, hava koşullarına dayanıklı çelik köprülerin bakım maliyetleri, çelik bir yapının düzenli olarak yeniden boyanması maliyetleriyle karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeydedir. Bu aynı zamanda, özellikle yoğun demiryolu hatları veya otoyollar üzerindeki köprüler gibi bakımı zor olan yerlerde bakım işlemleri gerçekleştirilirken trafik yönetimi ve trafik gecikmesinden kaynaklanan harici maliyetleri de büyük ölçüde azaltır. Köprünün tatmin edici bir şekilde performans göstermeye devam etmesini sağlamak için genellikle boyalı köprülerde olduğu gibi yalnızca biraz inceleme ve belki de sınırlı alanların temizlenmesi veya ara sıra yeniden düzenlenmesi gerekir. Bu nedenle, hava şartlarına dayanıklı çelikten yapılmış iyi işleyen bir köprü neredeyse hiç bakım gerektirmez ve boyalı yapısal çelik ve betonarme köprülerle karşılaştırıldığında işletme açısından avantajlara sahiptir.

Patina tabakası oluştuktan sonra corten çeliği son derece az bakım gerektirir. Bununla birlikte, yüzeyin düzenli olarak temizlenmesi ve herhangi bir değişiklik olup olmadığının kontrol edilmesi (yılda bir veya iki kez) önerilir.

- Malzemeyi temizlemek için temizlik maddeleri kullanmaz. Kirlenmeyi gidermek için genellikle yüzeyi hafifçe fırçalamak yeterlidir.
- Kesinlikle klor içeren temizlik maddeleri kullanmamalıdır.
- Demir içermeyen temizleme aletleri kullanılmalı; Malzemenin yüzeylerine asla paslanmaya dayanıklı olmayan aletler (kazıyıcı, ege, vb.), demirli süngerler veya paslanmaz çelik malzemeler ile dokunulmamalıdır.
- Koruyucu filmleri erkenden çıkarılmalıdır. Aksi halde film ve çelik yüzey birbirine yapışabilir. Yapışkan kalıntıları ispirtoyla çıkarılmalıdır. Biraz ısıtmak çıkarmayı kolaylaştırır.
- Kireç ve derz lekeleri fosforik asitle çözülmeli ve temiz suyla durulanmalıdır. Kesinlikle çimento filmi sökücü veya seyreltilmiş hidroklorik asit kullanmamalıdır.
- Malzemeye güçlü ısı transferinden kaçınılmalıdır. (Örn. açılı taşlama makinesiyle çalışmaktan, emülsiyonsuz delmeden veya plazma kesmeden, yangının etkilerinden, vb.)
- Corten çelik yüzeylere kıvılcımların temas etmesine izin verilmemelidir.
- Yeni kaynak yapılan alanlar uygun şekilde kürlenmelidir.
- Corten çeliğinin pasif katmanına nüfuz edip korozyona neden olabileceğinden demir parçacıkları derhal temizlenmelidir. Bu amaçla ferrit içermeyen temizleme süngerleri veya benzeri kullanılabilir. Korozyon zaten oluşmuşsa bir asitleme işlemi gerekli olabilir.
- Yüzeydeki pası derhal temizlenmelidir.
- Tuzla temastan kaçınılmalıdır.
- Yağ ve gres organik temizlik maddeleri ile temizlenebilir. Tüm temizlik maddesi kalıntıları giderilmelidir.
- Artık boya alkali veya solvent bazlı bir temizlik maddesiyle temizlenebilir. Tüm temizlik maddesi kalıntıları giderilmelidir.
- Yabancı pastan kaçınılmalıdır.
- Corten çeliği üzerinde fiziksel olarak ayrı alanlarda çalışılmalıdır.
- Corten çeliği için ayrı aletler kullanılmalı veya aletlerin tamamen demir parçacıkları içermediğinden emin olunmalıdır.
- Çelikten yapılmış taşıma ekipmanı veya kaldırma ekipmanı (forklift, vb.) kullanmamalı veya bu tür ekipmanların kullanılması durumunda corten çelik ürünlerini koruyucu sistemlerle uygun şekilde korunmalıdır ([www.richard-brink.com](http://www.richard-brink.com)).
- Ürünler sürekli ıslak ortamlarda kullanıma uygun değildir çünkü bu, korozyona dayanıklı koruyucu patina tabakasının düzgün şekilde oluşmasını engeller. Ürünlerin denizden güçlü bir şekilde etkilenen bölgelerde (Almanya'da denizden 500 metreye kadar) kullanılması da iyi bir fikir değildir çünkü atmosferdeki yüksek klorür içeriği malzemeye zarar verir.

### **Corten Çelik Kullanmanın Avantajları ve Dezavantajları**

Daha önce de tartışıldığı gibi corten çeliği diğer çeliklerden ayıran eşsiz özellik hava koşullarına dayanıklılıktır. Hava koşullarına dayanıklı corten çelik, doğal olarak, diğer çeliklerin sağlayabileceğinden daha fazla atmosferik korozyon koruması sunan yeni bir yüzey bileşimi oluşturan kimyasal bir süreçten geçer. Bu da bazı özellikleri ortaya çıkarır;

- **Azaltılmış inşaat süresi:** Organik kaplama sisteminin (boya sistemi) kullanılmaması inşaat süresinin azalmasına neden olmakta, bu da yükleniciye ve sonuçta müşteriye avantaj sağlamaktadır. Boya katmanlarının hazırlanması, uygulanması ve kuruma süresinin ortadan kaldırılmasının yanı sıra, nakliye sırasında daha az korumaya ihtiyaç

duyulur ve hassas korozyon koruma sisteminde herhangi bir kusurun onarılmasına gerek kalmaz.

- **Boya Dayanıklılığı;** Birçok üretici cortenin rustik görünümünü olduğu gibi tercih etse de, diğer çeliklerin boyandığı şekilde boyanabilir, ancak pas oranının düşük olması nedeniyle daha az sıklıkta yeniden boyama döngüsü gerektirir.
- **Kaynaklanabilirlik;** Düşük karbon içeriğine sahip olduğundan çelik, kaynak için yeterince esnek kalır.
- **İşlenebilirlik;** Corten çeliği soğuk şekillendirilebilir, sıcak şekillendirilebilir ve gazla kesilebilir. Bu da proje gereksinimleri ne olursa olsun çalışmayı kolaylaştırır.
- **Güvenilirlik;** Normal çeliğe göre 2-8 kat daha fazla anti-korozyon direnci gösterir, sıradan karbon çeliğine göre 1 ½ - 10 kat daha fazla boyanabilir ve 445 MPa'dan az olmayan bir çekme mukavemetine sahiptir, bu da onu yüksek performanslı kılmaktadır.

## Avantajları

### Üst yüzey görünümü

Yüzeyinde doğal olarak oluşan kırmızımsı kahverengi pas, onu sanatsal ve çağdaş yapılar ve uygulamalarla çalışan mimarlar ve tasarım mühendisleri arasında popüler bir seçim haline getirmektedir. Corten hava şartlarına dayanıklı çelik üzerinde oluşan patina, boya ihtiyacını azaltır ve çoğu durumda ortadan kaldırır. Bu sadece bakım ve malzeme maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda bazı boyalarda bulunan tehlikeli ve uçucu bileşenlerin kullanılmasının önlenmesine de yardımcı olur. Bina inşaatında mimarlar, doğal ve sürdürülebilir görünümü vurgulamak için genellikle mimari tasarım ögesi olarak hava şartlarına dayanıklı çeliği seçmektedirler.

### Güçlü ve dayanıklı malzeme

Cortenin yüksek gerilme mukavemeti ve dayanıklılığı (Corten B), onu ağır hizmet tipi, yük taşıyan yapılar için çok kullanışlı kılar. Hava şartlarına dayanıklı çelik, geleneksel çeliğe göre dört ile sekiz kat daha dayanıklıdır.

### Çok az bakım

Corten çeliği, kimyasal bileşimi nedeniyle ıslak ve nemli iklimlere ve diğer çelik türlerine aşındırıcı zarar verebilecek ısıya dayanabilir. Cortenin erime noktası 1450-1510<sup>0</sup> derece civarındadır. Corten aşınma çeliğinden yapılan yapılar uzun yıllar bütünlüğünü koruyabilir. Çok az bakıma ihtiyaç duyulur veya hiç bakım gerektirmez, bu da bakım için daha az para harcanması anlamına gelmektedir.

### İyi işlenebilirlik ve kaynak özellikleri

Corten çeliği, çok sağlam olmasına rağmen yüksek derecede esnekliği korur. Bu, özelleştirilmiş spesifikasyonlara göre kesilebileceği, şekillendirilebileceği, kıvrılabileceği ve kaynaklanabileceği anlamına gelir. Hava koşullarına dayanıklı çelik, günümüzde kullanılan hemen hemen her türlü kaynak yöntemi kullanılarak soğuk ve sıcak şekillendirilebilir, gazla kesilebilir ve kaynak yapılabilir.

### Çevreye dostu

Ekolojik olarak %100 geri dönüştürülebilir malzemelerden yapıldığından çoğu yapısal standart ve yönetmeliğe uygundur. Bu nedenle çevre dostu yapı malzemesi arayanlar için cazip bir seçenek sunmaktadır. Geri dönüşümü %100 olduğundan, korozyona karşı doğal koruma

gösterdiğinden, boyasız kullanıldığında atmosfere uçucu gaz bırakmadığından ve bakım ihtiyacı olmadığından çevre dostu olarak kabul edilmektedir (Yüzer, 2022).

Boya sistemlerinin cihazı ve bakımı, tehlikeli uçucu kimyasal bileşikler salınması nedeniyle çalışanların sağlığına zararlı olabilir ve ayrıca çevreye zarar verebilir. Dahası, boyaların bozulması çevreye mikroplastik salınımına neden olur. Bu nedenle, uygulayıcıların sağlığının ve güvenliğinin korunması ve aşındırıcı püskürtme temizleme kalıntılarının kontrol altına alınması ve imha edilmesi gibi kapsamlı çevresel önlemler gereklidir. Böylece hava şartlarına dayanıklı çelik kullanılarak ilave bir boya sisteminin çıkartılması ciddi sağlık getirisi sağlamaktadır.

### **Corten Çeliğın Dezavantajları**

Corten hava şartlarına dayanıklı çeliğın pek çok avantajı olduğundan, hemen hemen her türlü dış mekân projesi için ideal bir yapı malzemesi gibi görünmektedir. Ancak corten çelikte çalışılırken bazı faktörlerin dikkate alınması gerekir. Öncelikle, yüksek klorlu ortamlar gibi belirli çevresel koşullar, onun korozyona dayanıklılık ve dayanıklılık özelliklerini azaltabilir. Ayrıca ıslak ortamlar, özellikle su altında bulunanlar, korozyona dayanıklılık özelliklerini engelleyebilir.

### **Düzensiz Renklendirme**

Cortenın pas rengi turuncu-kahverengi olma eğiliminde olsa da zamanla bu şekilde kalacağının garantisi yoktur. Panelin bir kısmının değiştirilmesi ve tam uyumlu bir rengin yeniden düzenlenmesi gerektiğinde bu büyük bir zorluk teşkil edebilir.

### **Zayıf Uyumluluk**

Corten çeliği, özellikle belirli ortamlarda bulduklarında diğer metallerle her zaman iyi uyum sağlamayabilir. Galvanik korozyon sıklıkla farklı elektrolitik özelliklere ve potansiyellere sahip iki metalin su varlığında bir araya gelmesiyle meydana gelir. Çoğu zaman bu tür sorunlar ortaya çıktığında, iki farklı metalin birbirine temas etmesini önlemek için su geçirmez bağlantı elemanları ve plastik ara parçalar gibi ekstra malzemeye ihtiyaç duyulur.

### **Sürekli ıslak veya nemli koşullar**

Corten çeliği, suya batmış, toprağa gömülü veya bitki örtüsüyle kaplı yapılar için uygun değildir. Bu gibi durumlarda, sürekli nemli çeliğın korozyon performansı, stabil koruyucu oksit tabakası oluşmadığından sıradan yapısal çelik kaliteleriyle aynı olacaktır. Bunu önlemek için, önemli dalga hareketi olmaksızın su üzerinden geçişler için minimum tavan boşluğunun 2,5 m olması ve hava şartlarına dayanıklı çeliklerin yerden 1 m'den daha yakın olmaması gerekir (Guo, 2019). Doğal kuruma sürecini engelleyebilecek yakındaki ağaçlar, çalılar veya diğer bitki örtüsü kaldırılmalıdır (DaSt, 1993).

Bu nitelikler özellikle dış mekân projeleri için kullanışlıdır. Burada, hava koşullarına dayanıklı çeliğın, yukarıdaki özelliklerin bir kısmını veya tamamını daha büyük veya daha az ölçüde sergileyen iki sınıfta (Corten A ve Corten B) bulunduğunu belirtmek gerekir.

### **Sonuç ve Öneriler**

Hava şartlarına dayanıklı çeliğın korozyon önleyici özellikleri, onu diğer çeliklerden ayıran niteliğidir ve onu dış mekân metal parçaları ve yapıları için daha iyi bir seçim haline getirir.

Corten çeliği, özellikle sıradan çelik türü malzemelerden üretilen ve açık alanlarda kullanılan malzemelerin yüzeylerinde yapılan boya, cila gibi benzeri koruyucu uygulamaları ortadan kaldırmış, hem maddi açıdan bir avantaj sağlamış, hem de zaman içinde yapılması

gereken bakım ve onarım türü işlemleri gereksiz kılmıştır. Corten çeliği asidik ortamlara karşı direncinden dolayı daha az korozyon oranı gösterir. Corten, endüstride ve yapıda kullanılan malzemelerde bu özelliklerinden dolayı avantajlı bir malzeme haline gelmiştir. Paslı yüzeyinin boya, zımpara veya kaplama gibi farklı bir malzeme ve uygulamaya gerek duymadan kullanılabilir olması bu avantajı sağlamaktadır. Doğaya duyarlı ve sürdürülebilir bir malzeme olarak görülmektedir.

Doğal olarak oluşan pas, herhangi bir yapının ömrünü uzatabilir ve böylece bakım ve değiştirme maliyetlerini azaltabilir.

Yapılarda ve endüstride malzeme seçimi yapılırken, ihtiyaca göre parametreler göz önünde bulundurularak, dayanıklılık, estetik kaygılar, maliyet, mekanik büyüklükler, insan ve çevre sağlığı üstüne etkileri gibi kriterler göz önüne alınarak gerçekleştirilmelidir.

Ülkemizde henüz kullanımının çok az olduğu corten çeliğin sürdürülebilirlik ekonomik ve çevresel kriterleri doğrultusundan ele alındığında oldukça fazla olumlu yönleri bulunmaktadır. Bu özellikler, dış etkenlere maruz kaldığında yüzeyinde oluşan doğal ve otomatik koruyucu pas tabakasından kaynaklanmaktadır. Paslanma özelliklerinin yanı sıra, yüksek derecede çekme mukavemeti, kaynaklanabilirlik ve işlenebilirlik özelliklerine de sahiptir. Bu, onu büyük dış mekân inşaatları ve mimari projeler için uygun kılar. Rustik görünümü, çalışmaları için doğal görünümlü bir malzemeye ihtiyaç duyan sanatçılar, heykeller, mimarlar ve tasarım mühendisleri tarafından da takdir edilmektedir. Gözü yormayan, çok fazla bakım ve bakım gerektirmeyen, aynı zamanda çevre dostu ve uyumlu, korozyona dayanıklı, yüksek mukavemetli ve esnek bir malzeme olması nedeniyle corten çelik en iyi seçenek olarak kullanılabilir.

## Kaynaklar

Ai-hua, C. X. (2012). Corrosion Resistance of High Performance Weathering Steel for Bridge Building Applications, *Journal of Iron and Steel Research, International* 19 (6), 59-63 [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60128-9](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60128-9).

Chen, X. J. D. (2007). Effect of Ni on the ion-selectivity of rust layer on low alloy steel. *Mater. Lett.* 61, 4050–4053 <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.01.014>.

Coburn, S. K. G. G. (1963). Bare steel structures-A new concept. *Journals & Magazines Electrical Engineering*, 666-672.

Cui, Z. X. L. (2014). Corrosion behavior of field exposed zinc in a tropical marine atmosphere, *Corros.* 70 (7), 731–748 <https://doi.org/10.5006/1177>.

DASt. (1993). *DASt Richtlinie 007 - Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle*. Deutscher Ausschuss für Stahlbau-DASt e.v., Köln: Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH. Almanya.

EN, 1.-5. (2019). Hot rolled products of structural steels. *Part 5: Technical delivery conditions for structural steels with improved atmospheric corrosion resistance*. Brussels: CEN European Committee for Standardization.

Es, K. (2018). Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çeliklerin Yapılarda Cephe Elemanı Olarak Kullanılabilirlik Şartlarının İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.

Es, K. C.. (2017). Cephe Malzemesi Olarak Atmosferik Korozyona Dayanıklı Çelikler Ve Dayanıklılığa Etki Eden Faktörler. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2 109-120.

Guo, X. H., Y. Z. (2019). Segregation and precipitation at grain boundaries of weathering steels without/with Sb addition. *Mater. Chem. Phys.* 236, 1-8 <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.121783>.

<https://www.ozdemirsac.com> 18.10.2023

<https://www.richard-brink.de/en/> 18.10.2023

Jones, D.A. (1987). Effect of alternating current on the atmospheric corrosion of low-alloy weathering steel in bolted lap joints,. *Corrosion* 43 (2), 66-70.

Kamimura, T. S. H. (2006). Composition and protective ability of rust layer formed on weathering steel exposed to various environments. *Corrosion Science Volume 48, Issue 9*, 2799-2812 <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.10.004>.

Kaya İ. (2023) Corten Çeliğın Heykeldeki Avantajları ve Pas Estetiğı The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication - TOJDAC Volume 13 Issue 2, p. 368-378 Art and Communication 368

Kihira, H., M. K. (2011). Advancements of weathering steel technologies in Japan. *Corros.* 67 (9), <https://doi.org/10.5006/1.3628684>.

Kim, K.Y. Y. H. (2002). Effect of Silicon Content on the Corrosion Properties of Calcium-Modified Weathering Steel in a Chloride Environment. *Corrosion* 58, 570-583 <https://doi.org/10.5006/1.3277648>.

Kuiper, K. (2022). Antony Gormley [Heykel]. *Encyclopedia Britannica*, 26 Aug. 2022, <https://www.britannica.com/biography/Antony-Gormley>

McCuen, R. H. M. A. (2005 ). Effect of alloy composition on atmospheric corrosion of weathering steel. *Journal of Materials in Civil Engineering Volume 17, Issue 2*, 117-125.

Morcillo M. I. D. (2014). Weathering Steels: From Empirical Development To Scientific Design. A Review. *Corrosion Science*, Volume 83 6-31.

Morcillo, M. (2013 ). Atmospheric corrosion data of weathering steels. *A review, Corros. Sci.* 77, 6–24 <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.08.021>.

Murata, T. ( 2000). *Weathering Steel, in: R.W. Revie (Ed.), Uhlig's Corrosion Handbook*, New York,: John Wiley and Sons Inc .

Natesan, M. G. V. (2006). Kinetics of atmospheric corrosion of mild steel, zinc, galvanized iron and aluminium at 10 exposure stations in India. *Corros. Sci.* 48, 3584-3608 <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.02.006>.

Nicholson, P. J. (2018). Antony Gormley, The Angel of the North, 1998, *Occupational Medicine*, 68, ( 6). 352–353.

Nippon Steel C., (2022). *Nippon Steel Product*. Nippon Steel: [https://www.nipponsteel.com/product/catalog\\_download/pdf/A006en.pdf](https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/A006en.pdf)

Ocampo, L. M. C. (2006). Influence of Cu and Ni on the morphology and composition of the rust layer of steels exposed to industrial environment. *ICAME 2005 Proceedings of the 28th International Conference on the Applications of the Mössbauer Effect (ICAME 2005) held in Montpellier, 4-9 September 2005, Volume II ( Part III-V/V)*, (s. 739–746). Fransa.

Su, H. J. W. (2019). Experimental and numerical study of fatigue behavior of bridge weathering steel. *J. Constr. Steel Res.* 161, 86-97

Townsend, H.E. (1995). *Effects of silicon and nickel contents on the atmospheric corrosion resistance of ASTM A588 weathering steel*. ASTM special technical publication.

Ungermann, Dieter. P. H. (2021). *European design guide for the use of weathering steel in bridge construction*. ECCS AC3 Bridge Committee.

Wu, W. Z. Z. (2017). Atmospheric corrosion behavior and mechanism of a Ni-advanced weathering steel in simulated tropical marine environment,. *J. Mater. Eng. Perform.* 26 (12), 6075–6086 <https://doi.org/10.1007/s11665-017-3043-6>.

Yüzer, M. (2022). Mimari Sürdürülebilirlik Kavramı Açısından Yapılarda Corten Çelik Kullanımı: Troya Müzesi Örneği. Bursa, Türkiye: Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.

Zhang, Q. C. J. W. (2002). Study on the color reaction of nickel with 1-hydroxy-2-(5-nitro-2-pyridylazo)-8-aminonaphthalene-3,6-disulfonic acid. *Mater. Chem. Phys.* 77, 603–608  
Zhang, X., Y., S., Zhang, W., Guo, H., He, & X. (2014). Influence Of Outer Rust Layers On Corrosion Of Carbon Steel And Weathering Steel During Wet-Dry Cycles. *Corrosion Science* 82, 165-172.



# Renkli Aydınlatma Lambalarının Aydınlatma Şiddeti Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Fatma Nur Şavata<sup>1</sup>  
Engin ÖZDEMİR<sup>2</sup>

## 1.Giriş

İş yerinde aydınlatma, işyerini kullanan herkesin sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önem arz etmektedir. Bir tehlikeyi görmek ne kadar hızlı ve kolay olursa, ona karşı alınabilecek tedbirler daha kolay olmaktadır. Bu nedenle çalışma alanlarında mevcut olan tehlike türlerini görmek ve sınıflayarak güvenli çalışma ortamı oluşturabilmek için yeterli aydınlatma gereksinimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yetersiz aydınlatma sadece iş yerindeki insanların sağlığını etkileyerek göz yorgunluğu, migren ve baş ağrısı gibi semptomlara yol açmakla kalmaz, aynı zamanda yeni ve yenilenmiş binalarda Hasta Bina Sendromu ile de bağlantılıdır. Bunun belirtileri arasında baş ağrıları, uyuşukluk, sinirlilik ve zayıf konsantrasyon yer alır. İş yerindeki yetersiz aydınlatma, işletme açısından önemli bir maliyet oluşturabilir: Bunlardan en temeli; kazalar ve yaralanmalar nedeniyle işten izin alınması, devamsızlığı artmasına bağlı kayıp gün süreleri oluşturur, personel verimliliğini ve üretkenliğini azaltmasıdır. İşverenler, serbest meslek sahipleri ve ev dışı tesislerin kontrolünü elinde bulunduran kişiler, aydınlatmanın güvenli olmasını ve çalışanlar ve tesisleri kullanan diğer kişiler için sağlık riski oluşturmamasını sağlama görevine sahiptir. İşverenlerin ayrıca sağlık ve güvenlik konularında çalışanlarına danışmaları gerekmektedir. Güvenlik temsilcilerinin tanınmış bir sendika tarafından atandığı durumlarda, istişare süreci sırasında tavsiyede bulunmak onların görevlerinin bir parçasıdır. Çalışanların sendika tarafından atanan güvenlik temsilcileri kapsamında olmadığı durumlarda, işverenler doğrudan veya bu amaç için seçilen temsilciler aracılığıyla çalışanlara danışmalıdır (Akella vd., 2009; Shafiullah vd., 2010; Cullen vd, 2011; Galasiu vd, 2007; Özdemir ve Dolmaz, 2022). Bir işyerindeki aydınlatmanın uygun olabilmesi için aşağıdaki parametreleri sağlaması gerekmektedir.

- İnsanların tehlikeleri fark etmesine ve riskleri değerlendirmesine olanak sağlar.
- Ortama ve yapılan işin türüne uygun olmalıdır
- Yeterli ışık sağlar
- Güvenliği artırmak için insanların düzgün görmesine ve renkler arasında ayırım yapmasına olanak tanır
- Parlamaya, titremeye veya stroboskopik etkilere neden olmaz
- Yansımaları perdeleyen etkilerden kaçınır
- Bir alan içinde veya bitişik alanlar arasında aydınlatmada aşırı farklılıklara yol açmaz
- Bireylerin özel ihtiyaçlarını karşılamaya uygundur.
- Işık kaynağının kendisi sağlık ve güvenlik riski oluşturmaz

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği ABD, ORCID ID: 0009-0008-9723-6883

<sup>2</sup> Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, Malatya MYO, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, ORCID ID: 0000-0002-6043-0403

- Uygun şekilde bakımı yapılabilecek veya değiştirilebilecek ve güvenliği sağlamak üzere imha edilebilecek şekilde uygun şekilde konumlandırılmıştır.
- Gerektiğinde uygun ve güvenli acil durum aydınlatmasını içerir.

İşverenlerin uygun bir aydınlatma tasarımına karar verirken gerçekleştirilecek işin türünü dikkate alması gerekir. Örneğin bir görev detaylı çalışma gerektiriyorsa işin güvenli bir şekilde yürütülebilmesi için genel aydınlatmanın yanı sıra yerel aydınlatmaya da ihtiyaç duyulabilir. Elektronik montaj gibi özel işler, çalışanların telin renkleri arasında ayırım yapmasını gerektirebilir. Bu durumlarda işverenlerin, çalışanlarının güvenli bir şekilde çalışabilmesi için renklerin doğal görünümünü etkilemeyen aydınlatmayı dikkate alması gerekecektir (Jafrancesco vd., 2008; Dounis vd., 2011; Özbudak vd. 2003). Çalışma ortamının dikkate alınması gereken yönleri şunlardır;

- Doğal ışık düzeyi
- İç tasarımı
- Çalışma koşulları

Çoğu insan doğal gün ışığında çalışmayı tercih eder, bu nedenle gün ışığından tam anlamıyla yararlanmak önemlidir. Gün ışığı genellikle tek başına çalışma alanının tamamında veya çalışma gününün tamamında yeterli aydınlatma sağlamaz; Çoğu durumda yeterli ve uygun aydınlatma, doğal ve yapay aydınlatmanın birleşimiyle sağlanabilir. Ancak bazı işyerleri mimari düzenden dolayı doğal ışığa sahip değildir ve bu durumlarda işin güvenli ve verimli bir şekilde yapılabilmesi için uygun yapay aydınlatmanın mevcut olması gerekir. Doğal ışık tek başına veya yapay aydınlatmayla birleştiğinde parlama ve/veya yansıma kaynağı olabilir. Görüntüleme ekranının veya iş istasyonunun konumunu veya konumunu ayarlamamanın mümkün olmadığı durumlarda, işyerindeki aydınlatmanın ayarlanması sorunu çözebilir. İşyerinin düzeninin getirdiği kısıtlamalar, işverenin belirli bir aydınlatma tasarımını seçmesine neden olabilir. Örneğin, büyük pencereye sahip açık planlı bir ofisin aydınlatma gereksinimleri, az pencereye sahip küçük bireysel ofislerden farklı olacaktır. Açık planlı bir ofisteki mobilya ve ekipmanlar, alanlar arasında aşırı aydınlatma farklılıklarına neden olabilir; Aydınlatma tasarımının, özellikle aydınlatmanın bir görevi güvenli bir şekilde yerine getirmek için yetersiz olabileceği alanlarda buna izin vermesi gerekir. Bir odadaki renk seçimi de önemlidir çünkü koyu yüzeyler ışığı çok az yansıtır. Duvarlardan yansıyan ışık genellikle doğrudan aydınlatmaya göre daha eşit şekilde dağıtılır. Gölgeleme yumuşatabilir ve örtücü yansımaların ve parlamaların etkilerini azaltma eğiliminde olacaktır (Singh ve Garg, 2010; Özdemir ve Dolmaz, 2022; TS EN 12464-1 2021).

## 2.Literatür Taraması

Taşkın (2020), bir alışveriş merkezindeki ışık, renk ve müziğin tüketicilerin tercih algıları üzerindeki etkilerini incelemek için 2 farklı renk, 2 farklı müzik ve 2 farklı aydınlatmayı farklı kombinasyonlar kurarak istatistiksel bir ilişki araştırmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, yüksek aydınlatmadan ziyade düşük ve loş aydınlatmanın daha etkili olduğunu, canlı renklerin ise soluk renklere nazaran daha çok ilgi çektiği kanısına ulaşmıştır.

Hemalatha vd. (2022), Hindistan'da bir giyim mağazasında farklı aydınlık düzeyleri ve renk sıcaklıkları kullanılarak müşterilerinin aydınlatma memnuniyetlerine bağlı alışveriş üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu kapsamda 4 farklı renk sıcaklığı ve 4 farklı aydınlık düzeyi ile farklı kombinasyon oluşturulmuş ve 93 kişi ile tercihleri üzerindeki etkiyi anket vasıtasıyla test etmiştir. Anket sonucunda 500 lx ve 5700 K'de en iyi sonuçlar aldığını belirlemişlerdir.

Tonello vd. (2019), yedi kişilik bir katılımcı ile aydınlık düzeyi, renk sıcaklığına bağlı duygusal ve biyolojik değişimleri incelemişlerdir. 3000-4000 K arasında renk sıcaklığı ile 450-

800 lüks aydınlık düzeyi kullanarak dört farklı aydınlatma kombinasyonu oluşturmuşlardır. Aynı zamanda Kasım ve Haziran gibi iki farklı mevsim ayı tercih etmiştir. Ruh hali açısından sıcak renkli ışığın pozitif katkılar sağladığı, ılık renkli ışığında özellikle uyanıklık açısından daha etkili olduğuna dair değerlendirmişlerdir.

Baniya vd. aydınlatma düzeylerinin görsel konfor, oda görünümü, kişi memnuniyeti ve ortamın ferah hissedilmesine dair ilişkisini incelemek için 53 katılımcı ile bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmaya katkı sağlayan kişiler Asya, Afrika ve Avrupalı olmak üzere farklı etnik kökene sahip üç gruptan oluşturmuşlardır. 300-750 lüks aydınlık düzeyi ile 3000-5000 K aralığına sahip renk sıcaklığı tercih etmişlerdir. Görsel konfor açısından 750 lüks ve 4000 K sıcaklık değeri en çok tercih edilen olmuştur. Ferahlık ve uyarıcı sağlama açısından 5000 K ve 750 lüks en çok tercih edilen olduğunu ifade etmişlerdir. 750 lüks-3000K, 500 lüks-3000K ve 500 lüks-4000 K en az tercih edilen ve az memnuniyet sağlandığını ifade etmişlerdir.

Hidayetoğlu vd. (2012) çeşitli iç ortamlarda ışık ve rengin algı üzerindeki etkisini incelemiştir. Örneğin yarı sıcak ve yarı soğuk tonlar olan sarı ve mor renklerin kafe/restoran ortamlarındaki etkisi incelenmiş ve mor ortamın sarı ortama göre daha olumlu algılandığı öne sürülmüştür. Farklı olarak kuaförlerde duvarlardaki renklerin de algıyı etkilediğini, lila renkli mekân algısının krem-lila-turuncu gibi renklere göre daha olumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Acar (2017) çalışmasında sıcak renklerin mekânın daha düşük algılanmasına, soğuk renklerin ise mekânın daha yüksek algılanmasına neden olduğunu belirtmiştir. Sergilenen ürünler kadar, ortamdaki duvar, zemin, tavan gibi alanların renkleri de algı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmiştir. Örnek olarak bir mekâna girildiğinde gözlem duvarlardan başlar, ardından tavanlar ve zeminler takip ettiğini ifade etmiştir.

Gündüz (2016) yapmış olduğu çalışmada siyah, beyaz ve kurşun renkleri nötr renkleri olduğunu, bunlar rahatlatıcı, tatmin edici, olgunlaştırıcı bir etkiye sahip olmanın yanı sıra çeşitli renklerin oluşmasına da yardımcı olduğunu ifade etmiştir. Siyah mekânlarda derinlik ve karanlık hissi verirken beyaz, aydınlık ve temizlik gibi bir etki yarattığını vurgulamıştır. Renklere yüklenen bazı sembolik anlamlar olduğunu, tamamen olmasa da psikolojik olarak bu anlamların etkisi altında kaldığımızı söylemek mümkün olduğunu, örneğin “kırmızı” aşk, romantizm, kan, mücadele, hareket, ateş, tehlike gibi anlamlara sahipken, “sarı” ise dikkatli olma, hareket etme gibi anlamlara sahip olduğunu ifade etmiştir. “Mavi” genellikle su ve hava gibi huzur ve sakinlik etkisi veren unsurlar için kullanılırken “Yeşil” doğa, huzur, güven gibi anlamlara sahip olduğunu, “Turuncu” zenginlik, üretkenlik, neşe; “mor” huzursuzluk, mistisizm; pembe nezaket, çekingenlik; “beyaz” saflık, temizlik; “siyah” ciddiyet, asalet, korku, karanlık; “Gri” tarafsızlık vb. gibi birçok anlam için kullanılabildiğini belirtmiştir.

Miller (2014) çalışmasında, perakende mağazalarında doğru aydınlatmanın seçilmesi önemli olduğunu mağazanın karakterini oluşturarak, çekici ve yönlendirici olmasıyla müşterileri içeriye yönlendirebileceğini ve bunları yaparken ışık ve renge, kontrasta ve dengeye sahip olmaları gerektiğini, örneğin çok fazla vurgu yapmak kontrastın olmadığı, odaklanmanın olduğu anlamına geldiğini ifade etmiştir.

Margues vd., (2013) yapmış oldukları çalışmada, iyi tasarlanmış bir mağaza, yarattığı atmosferle müşterilerde olumlu bir ruh hali yaratabildiğini, bunlarla ilgili farklı varsayımlar olduğunu, örneğin iyi bir aydınlatma tasarımı tüketiciyi daha fazla zaman harcamaya, daha fazla ürün incelemeye ve hatta daha fazla satın alma yapmaya teşvik edebileceğini ifade etmişlerdir.

Şener Yılmaz (2018), görsel olarak konforlu bir ortam elde etmek için aydınlatmanın mekânın amacına uygun olarak yapılması ve tasarım aşamasından itibaren buna dikkat edilmesi gerektiğini, aydınlatma ile ortamda heyecan, olumlu ruh hali, yönelim gibi pek çok etki yaratılabileceğini belirtmiştir. Farklı aydınlatma tasarımları sadece alışveriş davranışlarını

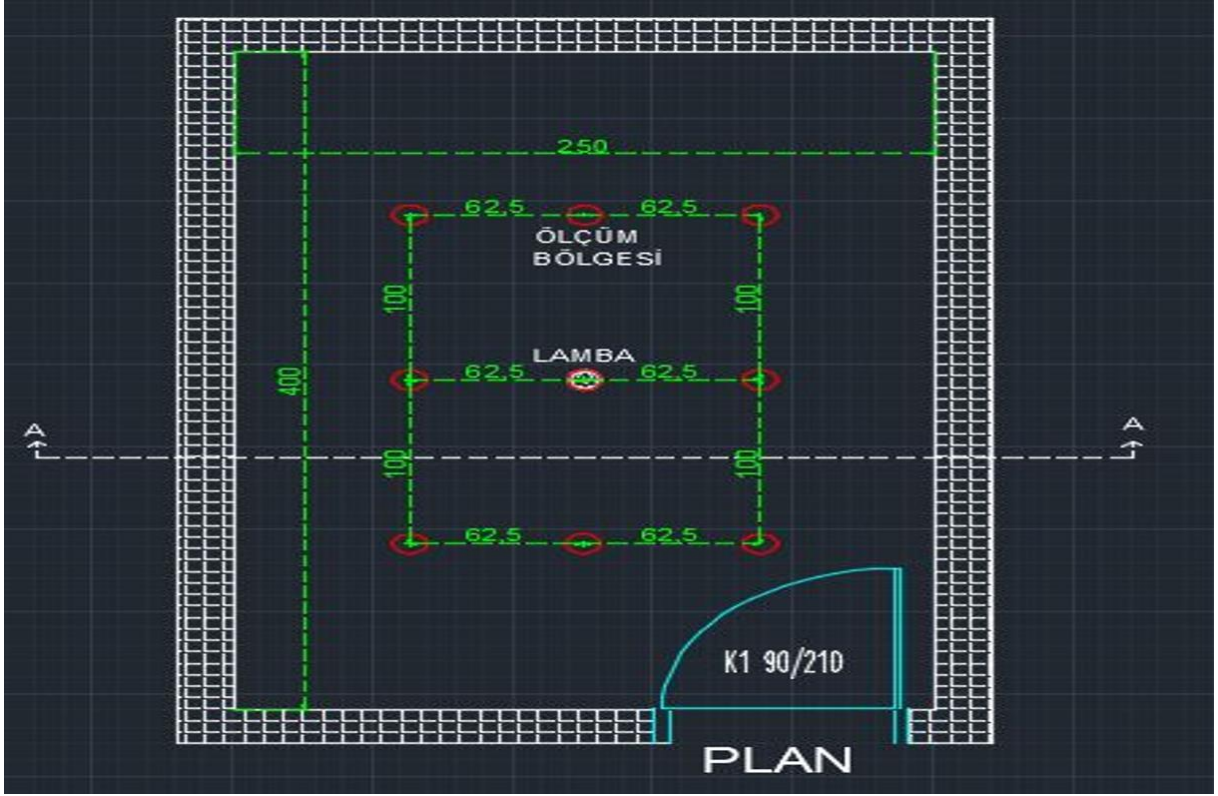
etkilemekle kalmayacak, aynı zamanda marka kimlikleri açısından ürünlerin görselliği üzerinde de önemli bir etkiye sahip olacağından, aydınlık ortam algısı, algılanan ürün kalitesi ve müşteri memnuniyeti arasında bir ilişki olduğunu vurgulamıştır.

### 3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada aynı watt özelliğinde farklı renkler oluşturan lambaların renk dağılımlarına bağlı olarak aydınlatma şiddetlerini lüksmetre yardımıyla belirlenerek yorumlamaya çalışılmıştır. Farklı renklerin aydınlatma şiddeti üzerine etkisini incelemek için Malatya Meslek Yüksekokulu bünyesinde yer alan ve doğal aydınlatma kaynağı bulunmayan bir sınıf çalışma alanı olarak kabul edildi ve açık renkli bir renge boyanarak deneysel çalışma için hazırlanmıştır (Şekil 1). Sınıfın Autocad çizim görüntüsü Şekil 2’de verilmiştir. Duvar rengine ait bilgiler ise CIELAB cihazı yardımıyla tayin edilmiştir (Şekil 3). CIELAB’e ait renk deseni Şekil 4’te verilmiştir. Sınıf içerisinde ölçüm noktaları tayin edilerek standart 90 cm çubuklar lüksmetre ölçüm noktaları olarak tayin edilmiştir. Farklı renklerde aydınlatma özelliğine sahip 9 Watt RGB Led Ampül ile R0, R1, R2, R3, R4, R5, G0, G1, G2, G3, G4, G5, B0, B1, B2, B3, B4, B5 ve W0 olarak kodlanan (Şekil 5 ) renkler için 9 farklı lokasyondan ölçümler alınarak ortalama değerleri saptanmıştır. 90 cm yüksekliğinde ve 9 farklı lokasyondan Extech SDL400 marka lüksmetre kullanılmıştır (Şekil 7).



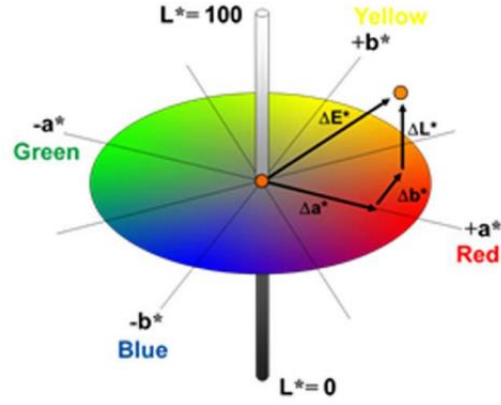
Şekil 1. Malatya MYO bünyesinde yer alan deneysel çalışma için kullanılan sınıf



Şekil 2. Sınıfın AutoCAD çizimi



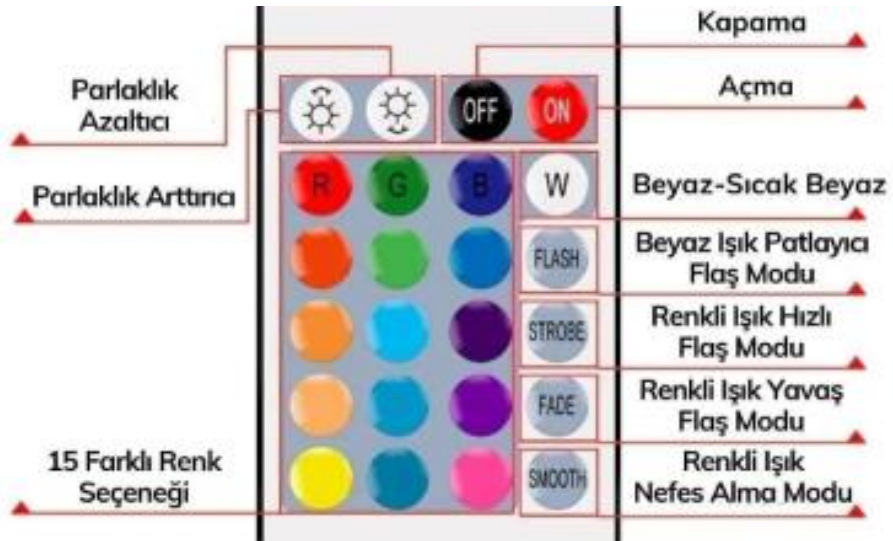
Şekil 3. CIELAB renk ölçüm cihazı



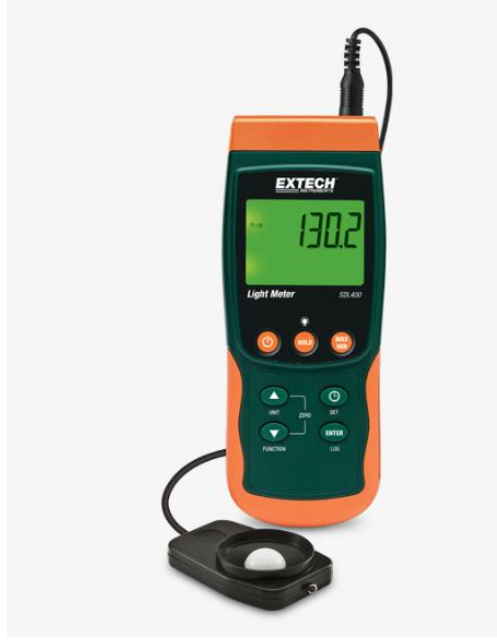
Şekil 4. CIELAB renk değerler deseni



Şekil 5. Kumanda renk kodları



Şekil 6. Kumanda kullanım bilgileri



Şekil 7. Extech SDL400 marka Lüxmetre

#### 4.Araştırma Bulguları

Malatya Meslek Yüksekokuluna ait güneş ılığı almayan (doğal aydınlatması olmayan) bir sınıfta, 90 cm yükseklikte ve 9 farklı noktada (her bir noktada 3 kez ölçüm alınıp ortalaması kaydedildi) alınan sonuçlar ve ortalama değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda elde edilen farklı renlere ait görüntüler Şekil 8’de verilmiştir. CIELAB cihazı yardımıyla duvar rengine ait nicel veriler Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde R1-R4, G3-G5, B1-B5 aralığında aydınlatma değerinin 20 lüx değerden daha düşük olduğu görülmektedir. Düşük aydınlatma, insan sağlığı ve yaşam kalitesi üzerinde çeşitli zararlar ve olumsuz etkiler yaratabilir. Düşük ışık koşullarında uzun süreli çalışma veya faaliyetler gözlerin yorgunluğuna neden olur. Bu da göz ağrısı, göz kuruluğu, baş ağrısı ve bulanık görüş gibi sorunlara yol açabilmektedir. Fiziksel aktivitelerde veya hareket halindeyken tehlikeli koşulların oluşmasına neden olabileceğinden düşme ve sakatlanma riski de artabilir. Konsantrasyon eksikliği ve iş performansında düşüşe neden olmasına bağlı olarak, okuma, çalışma gibi günlük aktiviteleri olumsuz etkiler oluşturacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Ruh halini etkileyebilir ve özellikle uzun süreli maruziyet, depresyon ve anksiyete riskini artırabilir. Uzun vadede düşük aydınlatma koşullarına maruz kalmak, göz sağlığı sorunlarının gelişimini tetikleyebilir veya kötüleştirebilir. Özellikle yaşa bağlı makula dejenerasyonu gibi hastalıklar risk altında olabilir.



*Şekil 8. Farklı renkler ile ölçümlere ait görüntü*



Çizelge 1. Farklı noktalarda alınan ölçüm değerleri ve ortalaması

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ortalama
<b>R1</b>	6	6	5	7	8	7	5	6	6	<b>6,2</b>
<b>R2</b>	10	9	8	11	14	12	7	11	10	<b>10,2</b>
<b>R3</b>	13	13	12	15	19	17	10	14	13	<b>14,0</b>
<b>R4</b>	16	16	15	19	25	20	13	18	15	<b>17,4</b>
<b>R5</b>	19	19	17	24	29	26	16	21	19	<b>21,1</b>
<b>G1</b>	23	23	20	28	35	29	17	25	22	<b>24,7</b>
<b>G2</b>	18	18	16	23	29	26	16	21	19	<b>20,7</b>
<b>G3</b>	16	16	15	19	21	21	14	17	15	<b>17,1</b>
<b>G4</b>	12	12	11	15	18	16	11	14	7	<b>12,9</b>
<b>G5</b>	8	8	8	9	12	10	7	9	3	<b>8,2</b>
<b>B1</b>	8	7	8	8	7	8	8	7	5	<b>7,3</b>
<b>B2</b>	6	5	6	6	6	6	5	6	6	<b>5,8</b>
<b>B3</b>	5	5	5	5	7	5	5	5	6	<b>5,3</b>
<b>B4</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>5,0</b>
<b>B5</b>	9	8	8	9	9	8	9	9	8	<b>8,6</b>
<b>W1</b>	26	25	23	28	36	31	18	27	22	<b>26,2</b>

Diğer kalan noktalarda aydınlatma değeri 20 lüks ve üzerinde değerler elde edilmiştir. En iyi sonuç ise W1 ve G1 kodlu renklerde elde edilmiştir. İyi aydınlatma, gözlerinizi korur ve görsel konfor sağlar. Doğru aydınlatma koşulları altında çalışmak veya faaliyet göstermek daha az göz yorgunluğuna neden olur ve daha rahat bir deneyim sunmaktadır. İş ortamlarında çalışanların performansını ve verimliliğini artırır ve iş görevlerini daha iyi görmelerine yardımcı olarak hataları azaltabilir. Tehlikeli koşulları tespit etmek ve önlemek daha kolaydır. Ayrıca, iyi aydınlatma iş kazalarının azalmasına da yardımcı olabilir. İyi tasarlanmış aydınlatma sistemleri enerji verimliliğini artırarak, daha düşük enerji tüketimi ve daha uzun ömürlü ampuller, enerji maliyetlerini azaltmaktadır. Sonuç olarak, iyi aydınlatma sadece görsel konfor sağlamakla kalmaz, aynı zamanda iş verimliliğini artırır, güvenliği sağlar ve yaşam kalitesini artırır. Bu nedenle, aydınlatma tasarımı ve kullanımı konusunda dikkatli olunmalıdır.

Çizelge 2. CIELAB'e göre sınıfa ait duvar renk bilgileri

CIELAB Değerleri	L	a	b	c	h
1-Giriş Sol	93,91	0,82	-0,48	0,95	329,94
2-Giriş Sol	93,86	0,80	-0,17	0,82	347,86
3-Giriş Sol	93,85	0,88	-0,59	1,07	325,13
4-Giriş Sol	93,80	0,75	-0,39	0,85	332,42
5-Giriş Sağ	93,90	0,79	-0,21	0,81	345,09
6-Giriş Sağ	93,94	0,82	-0,36	0,90	336,15
7-Giriş Sağ	93,84	0,78	-0,23	0,81	343,79
8-Giriş Sağ	93,74	0,66	-0,20	0,69	343,30

9-Karşı	93,93	0,80	-0,33	0,86	337,24
10-Karşı	93,55	0,61	-0,03	0,61	357,11
11-Karşı	93,81	0,70	-0,16	0,71	346,83
12-Karşı	93,88	0,72	-0,24	0,76	341,81
13-Kapı Yanı	93,69	0,62	-0,17	0,64	344,62
14-Kapı Yanı	93,78	0,64	-0,17	0,69	345,39
15-Kapı Yanı	93,79	0,67	-0,39	0,78	329,69
16-Kapı Yanı	93,70	0,58	-0,11	0,59	349,41
<b>Ortalama</b>	<b>93,81</b>	<b>0,73</b>	<b>-0,26</b>	<b>0,78</b>	<b>340,99</b>

## 5.Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada sabit duvar rengi sabit olan ve doğal aydınlatması olmayan kapalı bir sınıfta 9 W ampul ile 16 farklı renkte aydınlatma ölçümü gerçekleştirildi. Yapılan çalışmalar sonucunda renklerin aydınlatma değerleri üzerinde etkin bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Buna göre şu torumlar yapılabilir;

- Aydınlatmada renk seçimi, mekânın atmosferini, görsel konforu ve işlevselliği büyük ölçüde etkileyen önemli bir faktör olduğunun bilinmesi gereklidir.
- Renk seçimi, aydınlatmanın kullanıldığı ortamın genel hissini ve kullanım amacını belirleyen ana faktör olmalıdır.
- Renk sıcaklığı ve tonu, bir mekânın atmosferini belirler. Sıcak renkler (örneğin, sarı veya kırmızı) sıcak ve davetkar bir atmosfer yaratırken, soğuk renkler (örneğin, mavi veya yeşil) daha serin ve rahatlatıcı bir atmosfer sağlar. Bu nedenle, mekânın kullanım amacına uygun renkler seçmek, istenen atmosferi oluşturmak için kritik öneme sahiptir.
- Renk seçimi, gözlerin konforunu etkiler. Işık rengi ve tonu, mekandaki nesnelerin doğru bir şekilde görülmesini sağlar. Örneğin, yiyeceklerin doğru renklerde görünmesi restoranlarda önemlidir. Renk seçimi, göz yorgunluğunu azaltabilir veya artırabilir.
- Renkler, bir mekânın genel estetiğini etkiler. İyi seçilmiş renkler, mekânın görünümünü ve cazibesini artırabilir. Özellikle dekoratif aydınlatma ürünleri ve renk değiştirilebilir LED ışıklar, mekânın dekorasyonunda büyük bir rol oynar.
- Renk seçimi, güvenlik açısından da önemlidir. Örneğin, acil durum aydınlatmasının renkleri, acil durumlarda hızlı ve doğru yönlendirmeyi sağlamak için belirli standartlara sahiptir.
- Renk seçimi, enerji tasarrufu ve çevre dostu aydınlatma sistemleri tasarlarırken de önemlidir. Enerji verimli LED ışıkların renk sıcaklığı ve spektrumu, enerji tasarrufu ve çevresel etki açısından dikkate alınır.

Sonuç olarak, aydınlatmada renk seçimi, bir mekânın genel hissini ve işlevselliğini belirleyen önemli bir tasarım unsuru olarak kabul edilir. Doğru renk seçimi, mekânın amacına ve kullanımına uygun bir atmosfer oluşturmanıza yardımcı olur ve görsel deneyimi iyileştirir.

## **Teşekkürler**

Yazarlar, FYL-2022-2981 kodlu ve ‘Aydınlatma Cihaz Yüksekliği ve Duvar Renginin Işık Şiddetine Etkilerinin Belirlenmesi’ adlı proje desteğinden dolayı İnönü üniversitesi BAP birimine teşekkür ederler.

## KAYNAKÇA

Acar, B. (2017). Avmdeki Değişik Konseptteki Mağazaların Aydınlatmalarının Kişiler Üzerindeki Psikolojik Etkileri. Master's Thesis, Haliç University, İstanbul.

Akella, A.K., Saini, R.P., Sharma, M.P., (2009). Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems, *Proceedings of Renewable Energy*, Elsevier, vol. 34, pp. 390-396.

Cullen, J. M., Allwood, J. M., Borgstein, E. H., (2011). Reducing energy demand: What are the practical limits?, Vol. 45, pp. 1711-1718, Cambridge, United Kingdom.

Dounis, A.I., Tiropanis, P., Argiriou, A., Diamantis, A., (2011). Intelligent control system for reconciliation of the energy savings with comfort in buildings using soft computing techniques, *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 66–74, Greece

G. Tonello, N. H. de Borsetti, H. Borsetti, L. Tereschuk, and S. Lopez Zigarán, (2019). Perceived well-being and light-reactive hormones: An exploratory study, *Lighting Res. Technol.*, 51, pp. 184-205.

Galasiu, A.D., Newsham, G.R., Suvagau, C., Sander, D.M., (2007). Energy saving lighting control systems for open-plan offices: a field study, *Leukos*, vol. 4, pp. 7-29, Canada

Gündüz, HY., (2016). Alışveriş Merkezlerindeki Aydınlatmanın Teknik ve Estetik Yönden İç Mekan Tasarımına Etkileri. Master's Thesis, Haliç University, İstanbul.

Hemalatha, K. , Chandramathy, I., Shanthy Priya R., Amardeep M. Dugar, (2022). Effects of lighting conditions on user preferences in retail apparel stores, within the cultural context of India, *Building and Environment*, 221.

Hidayetoğlu, M.L, Yıldırım, K., Akalın, A., (2012). The Effects of Color and Light on Indoor Wayfinding and the Evaluation of the Perceived Environment. *Journal of Environmental Psychology* 32, no. 1, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.09.001>.

Jafrancesco, D., Mercatelli, L., Fontani, D., Francini, F., Sansoni, P., (2008). In door illumination by solar light collectors”, *Chartered Institution of Building Services Engineers, Lighting Research & Technology*, Vol. 40, pp. 323–332, Italy.

Marques, Susana Henriques, Maria Margarida Cardoso, and Ana Patrícia Palma. (2013). Environmental Factors and Satisfaction in a Specialty Store. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research* 23, no. 4 456–74.

Miller, P., (2014). Mi Store Lighting Know-How: Part I. *MMR Magazine - Musical Merchandise Review*, April 9,

Özbudak B.Y., Gümüş B., Çetin F.D., (2003). İç Mekan Aydınlatmasında Renk ve Aydınlatma Sistemi İlişkisi, II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi Bildirileri, Diyarbakır. 2003.

Özdemir, E. ve Dolmaz, O., (2022). Evaluation Of Malatya Vocational School Classrooms in Terms Of Noise And Lighting, *Contemporary Educational Research I*, Editor Assoc. Prof. Dr. Osman Kubilay Gül, İksad Yayınevi

R. R. Baniya and E. Tetri, (2015). A study of preferred illuminance and correlated colour temperature for LED office lighting, *Light and Engineering*, 23 (3), pp. 39-47.

Shafiullah, G.M., Amanullah M. T. , Jarvis D., Shawkat A, Wolfs P., (2010). Prospects of solar energy in Australia, 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 350- 353, 2010, Dhaka, Bangladesh.

Singh, M.C., Garg, S.N., (2010). Illuminance estimation and daylighting energy savings for Indianregions”, Renewable Energy, Vol. 35 pp. 703-711, India.

Şener Yılmaz, F., (2018). Human Factors in Retail Lighting Design: An Experimental Subjective Evaluation for Sales Areas. Architectural Science Review 61, no. 3 156–70.

Taşkın, E., (2020). Mağaza ortamındaki renk, ışık ve müziğin tüketicilerin mağaza imajı ve mağaza kişiliği algıları ile mağaza tercihleri üzerindeki rolü, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

TS EN 12464-1 (2021). Işık ve aydınlatma- Çalışma yerlerinin aydınlatılması- Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, TSE, Ankara.

# Android için kötü amaçlı yazılım tespiti: mobil güvenliği sağlamak için teknikler, araçlar ve stratejiler

Yavuz Selim BALCIOĞLU<sup>1</sup>

## 1. GİRİŞ

Android platformunun hızlı büyümesi ve akıllı telefon pazarındaki küresel hakimiyetiyle, Android cihazlarını hedef alan kötü amaçlı uygulamaların sayısı katlanarak artmıştır. Bu kötü amaçlı programlar gelişmeye devam ettikçe, hassas bilgileri korumak ve mobil cihazların genel bütünlüğünü sağlamak için başarılı algılama yöntemleri geliştirmek giderek daha önemli hale gelmiştir (Rahandinasari, 2018). Bu makale, Android için yazılan kötü amaçlı yazılım tespiti için çeşitli teknikleri anlatmakta, ilgili araçları ve çözümleri tartışarak ve mobil güvenliği artırmaya yönelik stratejileri ana hatlarıyla açıklamıştır.

Akıllı telefonların yaygın olarak benimsenmesi, iletişim kurma, çalışma ve eğlenme şeklimizi değiştirdi. Dünya çapında en yaygın mobil işletim sistemi olan Android (Kim ve ark., 2018), yalnızca yasal uygulama geliştiricilerin değil, aynı zamanda platformun popüleritesinden yararlanmaya çalışan kötü niyetli aktörlerin de dikkatini çekti. Android kötü amaçlı yazılımı (Divya ve Kumar, 2016), dünya çapında milyonlarca akıllı telefon kullanıcısının güvenliği ve mahremiyeti için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Son yıllarda, yeni tehdit biçimlerinin ortaya çıkması ve mevcut tehditlerin daha karmaşık hale gelmesiyle, Android için yazılan kötü amaçlı yazılımların sayısı hızla artmıştır.

Android kötü amaçlı yazılım bulaşmalarının sonuçları geniş kapsamlıdır ve hem bireysel kullanıcıları hem de kuruluşları etkilemektedir (Qiu ve ark., 2020). Oturum açma kimlik bilgileri, mali bilgiler ve özel iletişimler gibi kişisel veriler, siber suçlular tarafından çalınabilir ve kötüye kullanılabilir; bu da mali kayba, kimlik hırsızlığına ve mahremiyet ihlallerine yol açabilir (Fang ve ark., 2020). Kuruluşlar için kötü amaçlı yazılım bulaşması, hassas iş verilerinin ele geçirilmesine, itibarlarının zarar görmesine ve hatta yasal sonuçlara yol açabilir.

Bu kötü amaçlı programlar gelişmeye devam ettikçe, hassas bilgileri korumak ve mobil cihazların genel bütünlüğünü sağlamak için başarılı algılama yöntemleri geliştirmek giderek daha önemli hale gelmiştir. Etkili kötü amaçlı yazılım tespiti, çeşitli tehdit türlerinin tanımlanmasını ve analiz edilmesini, uygun karşı önlemlerin geliştirilmesini ve uygulanmasını ve kullanıcı farkındalığının ve en iyi güvenlik uygulamalarının teşvik edilmesini içeren çok yönlü bir zorluktur.

Bu makale, mobil güvenliği artırmak için kullanılacak çeşitli teknikler, araçlar ve stratejiler hakkında bilgiler sunarak, Android kötü amaçlı yazılım tespitinin mevcut durumuna kapsamlı bir genel bakış sağlamayı amaçlamaktadır (Christiana ve ark., 2020). Android kötü amaçlı yazılımlarını tespit etmek için statik (Schmeelk ve ark., 2015), dinamik (Feng ve ark., 2018) ve hibrit analiz tekniklerini keşfedeceğiz (Lu ve ark., 2020), popüler ve özel araçları ve çözümleri tartışacağız ve hem bireysel hem de kurumsal düzeylerde kötü amaçlı yazılım tespitini iyileştirmeye yönelik stratejileri özetleyeceğiz. Ayrıca, ortaya çıkan tehditlerin bir adım önünde olmak ve tüm kullanıcılar için güvenli bir mobil deneyim sağlamak için sürekli araştırma ve geliştirme ihtiyacını vurgulayarak, Android kötü amaçlı yazılım tespitindeki gelecekteki eğilimlere ve zorluklara değineceğiz.

---

<sup>1</sup> Dr., Gebze Technical University

## 2. KÖTÜ AMAÇLI YAZILIMLARI ANLAMAK (UNDERSTANDING ANDROID MALWARE)

Android malware, Android işletim sistemini hedeflemek için özel olarak tasarlanmış kötü amaçlı yazılımları ifade eder. Bu kötü amaçlı yazılım kategorisi, fidye yazılımları, truva atları ve reklam yazılımları gibi her birinin kendine özgü davranış ve hedefleri olan çeşitli türleri içermektedir. Kötü amaçlı uygulamalar genellikle üçüncü taraf uygulama mağazaları, kimlik avı e-postaları veya kötü amaçlı web siteleri aracılığıyla dağıtılır. Android kötü amaçlı yazılımının sonuçları hem bireyler hem de kuruluşlar için mali kayıp ve veri ihlallerinden itibaren kaybına kadar uzanmaktadır.

### 2.1. Kötü amaçlı yazılım türleri

#### (Types of android malware)

- **Fidye yazılımı:** Bu tür kötü amaçlı yazılım, kullanıcının verilerini şifreler ve şifresinin çözülmesi için fidye talep eder. Önemli aksamalara ve mali kayıplara neden olmaktadır (Sharma ve ark., 2021).

- **Truva atları:** Bunlar, meşru yazılım kılıfına giren kötü amaçlı uygulamalardır. Kurulduktan sonra hassas verileri çalabilir, kullanıcı etkinliğini izleyebilir veya saldırıya uzaktan kontrol erişimi verebilirler (Bai ve ark., 2019).

- **Reklam yazılımı:** Reklam yazılımı, cihazda istenmeyen reklamlar görüntüleyerek genellikle performans sorunlarına neden olur ve bant genişliğini tüketir. Bazı reklam yazılımları da kullanıcı verilerini izinsiz olarak toplamaktadır (Liu ve ark., 2020).

- **Casus yazılımı:** Casus yazılım, kullanıcının bilgisi veya onayı olmadan konum, kişiler ve mesajlar gibi kullanıcı verilerini gizlice izler ve toplar (Abualola ve ark., 2016).

- **Bankacılık kötü amaçlı yazılımı:** Bu tür kötü amaçlı yazılım, kimlik bilgilerini çalmak ve yetkisiz işlemler gerçekleştirmek için bankacılık uygulamalarını hedefler.

### 2.2. Yaygın saldırı vektörleri ve dağıtım yöntemleri

#### (Common attack vectors and distribution methods)

- **Üçüncü taraf uygulama mağazaları:** Kötü amaçlı uygulamalar genellikle Google Play Store'un katı güvenlik önlemlerinden yoksun olan resmi olmayan uygulama mağazaları aracılığıyla dağıtılmaktadır.

- **Kimlik avı e-postaları ve SMS'ler:** Saldırganlar, kullanıcıları kötü amaçlı yazılım yüklemeleri veya hassas bilgileri ifşa etmeleri için kandırmak için kimlik avı kampanyalarını kullanabilmektedir (Bhanu ve ark., 2021).

- **Kötü amaçlı web siteleri:** Güvenliği ihlal edilmiş web sitelerini ziyaret etmek, bir kullanıcının cihazına kötü amaçlı yazılım yüklemek için güvenlik açıklarından yararlanarak indirmelere neden olabilir.

- **Sosyal mühendislik:** Saldırganlar, güvenlerini kullanarak kullanıcıları kötü amaçlı yazılım yüklemeleri veya aşırı izinler vermeleri için manipüle edebilir.

### **3. KÖTÜ AMAÇLI YAZILIM TESPİTİ İÇİN STATİK ANALİZ TEKNİKLERİ (STATIC ANALYSIS TECHNIQUES FOR ANDROID MALWARE DETECTION)**

Statik analiz teknikleri, bir uygulamanın kodunu ve özelliklerini çalıştırmadan incelemeyi içerir. Bu yöntemler, potansiyel tehditleri belirlemek için hızlı ve kaynak açısından verimli bir yol sağlayabilmektedir.

Statik analiz teknikleri, bir uygulamanın kodunu ve özelliklerini çalıştırmadan incelemeyi içermektedir. Araştırmacılar, statik analiz kullanarak Android kötü amaçlı yazılımını tespit etmek için imza tabanlı algılama, buluşsal analiz ve makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar dahil olmak üzere çeşitli yöntemler önermişlerdir.

İmza tabanlı algılama, bir uygulamanın kodunu bilinen kötü amaçlı yazılım imzalarından oluşan bir veritabanıyla karşılaştırarak bilinen kötü amaçlı yazılımları belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Martin ve ark., 2019). Bilinen tehditleri tespit etmede etkili olmasına rağmen, imza tabanlı yöntemler yeni veya değiştirilmiş kötü amaçlı yazılımları tespit etme yetenekleriyle sınırlıdır (Atzeni ve ark., 2018).

Uygulamanın kodundaki şüpheli kalıpları ve yapıları arayarak imza tabanlı tespitin bazı sınırlamalarının üstesinden gelmek için buluşsal analiz teknikleri önerilmiştir (Ali ve Abdul Qawy, 2021). Bununla birlikte, bu yöntemler yanlış pozitifler üretebilir ve kod şaşırtma tekniklerine karşı hassastır (Urooj ve ark., 2022).

Makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar, yeni tehditlere uyum sağlama yetenekleri nedeniyle son yıllarda popülerlik kazanmıştır (Liu ve ark., 2020). Araştırmacılar, Android uygulamalarını kodlarından ve meta verilerinden çıkarılan özelliklere göre iyi huylu veya kötü amaçlı olarak sınıflandırmak için karar ağaçları, destek vektör makineleri ve derin öğrenme teknikleri gibi çeşitli makine öğrenimi algoritmalarını araştırmışlardır (Qamar ve ark., 2019).

#### **3.1. İmza tabanlı tespit (Signature-based detection)**

İmza tabanlı algılama, uygulamanın kodunu bilinen kötü amaçlı yazılım imzalarından oluşan bir veritabanıyla karşılaştırır. Bu yöntem, bilinen tehditleri hızlı bir şekilde tanımlayabilir ancak yeni veya değiştirilmiş kötü amaçlı yazılımları tespit edemeyebilir.

#### **3.2. Sezgisel analiz (Heuristic analysis)**

Sezgisel analiz, uygulamanın kodundaki şüpheli kalıpları ve yapıları aramaktadır. Bu teknik, bilinen tehditlerle benzerliklere dayalı olarak bilinmeyen kötü amaçlı yazılımları tanımlayabilir, ancak yanlış pozitifler üretebilir.

Hibrit analiz teknikleri, bir uygulamayla ilişkili potansiyel risklerin daha kapsamlı bir görünümünü elde etmek için statik ve dinamik analizin güçlü yanlarını birleştirir. Çeşitli araştırmalar, bireysel tekniklerin sınırlamalarının üstesinden gelmeyi amaçlayan Android kötü amaçlı yazılım tespitine hibrit yaklaşımlar önermiştir (Arshad ve ark., 2018).

#### **3.3. Makine öğrenimi temelli yaklaşımlar (Machine learning-based approaches)**

Makine öğrenimine dayalı yaklaşımlar, kötü amaçlı yazılımları tanımlamak için etiketli örneklerden otomatik olarak öğrenen algoritmalarından yararlanmaktadır. Bu teknikler yeni tehditlere uyum sağlayabilir ancak kapsamlı eğitim verileri gerektirmektedir. Makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar, yeni tehditlere uyum sağlama ve büyük hacimli verileri verimli bir şekilde işleme yetenekleri nedeniyle son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Araştırmacılar, Android kötü



amaçlı yazılımlarını tespit etmek için her biri benzersiz avantajlar ve zorluklar sunan çeşitli makine öğrenimi algoritmalarını ve tekniklerini araştırmışlardır.

#### **4. KÖTÜ AMAÇLI YAZILIM TESPİTİ İÇİN DİNAMİK ANALİZ TEKNİKLERİ (DYNAMIC ANALYSIS TECHNIQUES FOR ANDROID MALWARE DETECTION)**

Dinamik analiz teknikleri, bir uygulamanın yürütülmesi sırasındaki davranışını izler. Bu yöntemler, karmaşık ve gizli kötü amaçlı yazılımları algılayabilir, ancak genellikle statik analizden daha yoğun kaynak kullanmaktadır.

Dinamik analiz teknikleri, bir uygulamanın yürütülmesi sırasındaki davranışını izlemeyi içerir. Davranış analizi, öykünme ve korumalı alan oluşturma ve sistem çağrısı izleme dahil olmak üzere, dinamik analiz kullanarak Android kötü amaçlı yazılımını tespit etmek için yöntemler geliştirmeye odaklanan birçok çalışma bulunmaktadır.

Davranışsal analiz, hassas verilere yetkisiz erişim veya aşırı ağ kullanımı gibi şüpheli etkinlikleri belirleyerek kötü amaçlı yazılımları tespit etmenin bir yolu olarak önerilmiştir (Zhu ve Dumitraş, 2016). Rastogi ve ark. (2013), kötü amaçlı etkinlikleri belirlemek için Android uygulamalarının çalışma zamanı davranışını izleyen AppsPlayground adlı dinamik bir analiz çerçevesi geliştirmiştir (Rastogi ve ark., 2013).

Bir uygulamanın eylemlerini kontrollü, yalıtılmış bir ortamda gözlemlemek için öykünme ve sanal alan oluşturma teknikleri kullanılmıştır (Rastogi ve ark., 2013). DroidBox (Sugunan ve ark., 2018) ve TaintDroid (Enck ve ark., 2014) gibi araçlar, Android uygulamalarının dinamik analizini güvenli ve kontrollü bir şekilde kolaylaştırmak için geliştirilmiştir.

Sistem çağrısı izleme, uygulamanın temeldeki işletim sistemiyle etkileşimini analiz etmeye odaklanır (Sarwar ve ark., 2013). Araştırmacılar, sistem çağrı kalıplarını inceleyerek, kötü amaçlı yazılımın göstergesi olan anormal davranışları belirleyebilirler (Kim ve ark., 2015).

##### **4.1. Davranış analizi (Behavioral analysis)**

Davranış analizi, hassas verilere yetkisiz erişim veya aşırı ağ kullanımı gibi şüpheli etkinlikleri tanımlar. Bu yaklaşım, kodu gizlenmiş olsa bile bir uygulamanın gerçek amacını ortaya çıkarabilir.

##### **4.2. Emülasyon ve korumalı alan oluşturma (Emulation and sandboxing)**

Emülasyon ve korumalı alan oluşturma, uygulamanın eylemlerini gözlemlemek için kontrollü, izole bir ortamda çalıştırılmasını içerir. Bu teknik, araştırmacıların kötü amaçlı yazılımları gerçek cihazlara zarar verme riski olmadan analiz etmelerine olanak tanır.

##### **4.3. Sistem çağrısı izleme (System call monitoring)**

Sistem çağrısı izleme, uygulamanın temeldeki işletim sistemiyle etkileşimini analiz etmeye odaklanır. Araştırmacılar, sistem çağrı kalıplarını inceleyerek, kötü amaçlı yazılımın göstergesi olan anormal davranışları belirleyebilirler.

#### **5. KÖTÜ AMAÇLI YAZILIM TESPİTİ İÇİN HİBRİT ANALİZ TEKNİKLERİ (HYBRID ANALYSIS TECHNIQUES FOR ANDROID MALWARE DETECTION)**

Hibrit analiz teknikleri, bir uygulamayla ilişkili potansiyel risklerin daha kapsamlı bir görünümünü elde etmek için statik ve dinamik analizin güçlü yanlarını birleştirir. Hibrit analiz, her iki yaklaşımın avantajlarından yararlanarak, her bir yöntemin doğasında bulunan bazı sınırlamaların üstesinden gelebilir, bu da gelişmiş algılama oranlarına ve daha iyi genel güvenliğe yol açar. Ancak, daha fazla hesaplama kaynağı ve zaman gerektirmektedir.

## 6. KÖTÜ AMAÇLI YAZILIM ALGILAMA ARAÇLARI VE ÇÖZÜMLERİ (ANDROID MALWARE DETECTION TOOLS AND SOLUTIONS)

Android kötü amaçlı yazılımlarıyla mücadele etmek için popüler antivirüs yazılımlarından araştırmacılar ve geliştiriciler için özel, açık kaynaklı araçlara kadar çeşitli araçlar ve çözümler geliştirilmiştir. Bu çözümler, algılama yeteneklerini geliştirmek ve ortaya çıkan tehditlerin bir adım önünde olmak için genellikle makine öğrenimi ve yapay zekâ tekniklerini birleştirir. Bir kötü amaçlı yazılım algılama aracı seçerken uyumluluk, performans etkisi ve sağlanan korumanın kapsamlılığı gibi faktörleri göz önünde bulundurmak önemlidir.

### 6.1. Android için popüler antivirüs yazılımları (Popular antivirus software for android)

- Norton Mobil Güvenlik
- Avast Mobil Güvenlik
- Kaspersky Mobil Antivirüs
- McAfee Mobil Güvenlik
- Bitdefender Mobil Güvenlik

### 6.2. Araştırmacılar ve geliştiriciler için açık kaynak araçları (Open-source tools for researchers and developers)

- Androguard: Android uygulamaları için tersine mühendislik ve analiz aracı
- DroidBox: Android uygulamaları için dinamik bir analiz sanal alanı
- JADX: Android uygulamaları için bir Java kod çözücü
- MobSF (Mobile Security Framework): Mobil uygulama güvenlik değerlendirmesi için hepsi bir arada çözüm

## 7. KÖTÜ AMAÇLI YAZILIM TESPİTİNİ GELİŞTİRMEYE YÖNELİK STRATEJİLER (STRATEGIES FOR ENHANCING ANDROID MALWARE DETECTION)

Android kötü amaçlı yazılım tespitini geliştirmek, çok yönlü bir yaklaşım gerektirir. Kullanıcılar, güvenlik açıklarını en aza indirmek için cihazlarını ve uygulamalarını düzenli olarak güncellemelidir. Farkındalık yaratma kampanyaları, güvenli tarama alışkanlıklarının ve uygulama yükleme uygulamalarının desteklenmesine yardımcı olabilmektedir. Güvenlik duvarları ve VPN'ler gibi çok katmanlı güvenlik önlemlerinin uygulanması da korumayı artırabilir. Kuruluşlar için mobil cihaz yönetimi (MCY) çözümleri, güvenli bir mobil ortamın sürdürülmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır.

### 7.1. Düzenli güncellemeler (Regular updates)

Kullanıcılar, cihazlarının Android işletim sisteminin en son sürümünü çalıştırdığından ve yüklü tüm uygulamaların güncel olduğundan emin olmalıdır. Güncellemeler genellikle bilinen güvenlik açıklarına karşı koruma sağlayabilen önemli güvenlik yamaları içermektedir.

### 7.2. Kullanıcı farkındalığı (User awareness)

Kullanıcıları Android kötü amaçlı yazılımlarının riskleri konusunda eğitmek ve güvenli gezinme alışkanlıklarını teşvik etmek, kötü amaçlı yazılımların bulaşma olasılığını önemli ölçüde azaltabilir. Kullanıcılar, bilinmeyen kaynaklardan uygulama yüklerken dikkatli olmalı

ve şüpheli bağlantılara tıklamaktan veya güvenilmeyen e-postalardan gelen ekleri indirmekten kaçınmalıdır.

### **7.3. Çok katmanlı güvenlik önlemleri (Multi-layered security measures)**

Güvenlik duvarları, VPN'ler ve şifreleme gibi güvenlik önlemlerinin bir kombinasyonu, kötü amaçlı yazılımlara karşı daha kapsamlı bir savunma sağlayabilir. Bu çözümler, hassas verilere yetkisiz erişimi önlemeye ve kötü amaçlı yazılım bulaşmasının olası etkisini en aza indirmeye yardımcı olabilir.

### **7.4. Mobil cihaz yönetimi (MCY) (Mobile device management (MDM))**

Kuruluşlar, çalışanlarının mobil cihazlarını yönetmek ve güvenliğini sağlamak için MCY çözümlerini uygulamaktan yararlanabilir. MCY sistemleri, güvenlik ilkelerini uygulayabilir, kayıp cihazları uzaktan kilitleyebilir veya silebilir ve olası tehditleri izleyebilir.

## **8. KÖTÜ AMAÇLI YAZILIM TESPİTİNDE GELECEK EĞİLİMLERİ VE ZORLUKLARI (FUTURE TRENDS AND CHALLENGES IN ANDROID MALWARE DETECTION)**

Teknoloji geliştikçe, Android kötü amaçlı yazılım tespitindeki zorluklar da gelişmektedir. Ortaya çıkan kötü amaçlı yazılım türleri ve saldırı vektörleri, etkili korumayı sürdürmek için sürekli araştırma ve geliştirme gerektirir.

Android kötü amaçlı yazılım tespitine ilişkin literatür, gelecek yıllarda bu alanı şekillendirebilecek gelecekteki trendleri ve zorlukları da tartışmıştır. Çalışmalar, 5G ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi gelişmekte olan teknolojilerin Android kötü amaçlı yazılım tespiti üzerindeki potansiyel etkisini vurgulamıştır (Wang ve Talim, 2020). Yapay zekanın (AI) ve makine öğreniminin hem saldırı hem de savunma önlemlerindeki rolü de tartışılmış ve araştırmacılar gelişen tehditlerin bir adım önünde olmanın önemini vurgulamışlardır (Ullah ve ark., 2021). Ayrıca literatür, kötü amaçlı yazılım algılama teknikleri daha gelişmiş hale geldikçe gizlilik ve güvenliği dengeleme ihtiyacını ele almıştır (Chen ve ark., 2021).

### **8.1. 5G ve IoT'nin etkisi (Impact of 5G and IoT)**

5G'nin ve Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) ortaya çıkışı, artan bağlantı ve hız, saldırganların güvenlik açıklarından yararlanmaları için daha fazla fırsat yarattığından, yeni güvenlik endişelerini ortaya çıkaracaktır. 5G ağlarının yüksek hızlı, düşük gecikmeli doğası, cihazlar arasında daha hızlı veri iletimi ve daha verimli iletişim sağlamaktadır. Bu avantajların pozitif etkileri olmakla birlikte, kötü amaçlı yazılımların hızlı ve verimli bir şekilde yayılmasını da kolaylaştırırlar. Artan ağ hızı, kötü niyetli aktörlerin daha karmaşık ve büyük ölçekli saldırılar başlatmasına izin vererek geleneksel kötü amaçlı yazılım algılama tekniklerini daha az etkili hale getirebilir (Ribeiro ve ark., 2020).

### **8.2. Yapay zekanın rolü (Role of artificial intelligence)**

YZ ilerlemeleri hem saldırı hem de savunma önlemlerinde artan bir rol oynayacaktır. Makine öğrenimi algoritmaları, kötü amaçlı yazılım tespitinin iyileştirilmesine yardımcı olabilir, ancak saldırganlar ayrıca daha karmaşık tehditler geliştirmek için yapay zekadan yararlanabilirler.

### 8.3. Gizlilik ve güvenlik dengesi (Balancing privacy and security)

Kötü amaçlı yazılım algılama teknikleri daha gelişmiş hale geldikçe, kullanıcı gizliliğiyle ilgili endişeler ortaya çıkmaktadır. Gizliliği korumakla, etkili güvenliği sağlamak arasında bir denge kurmak çok önemlidir. Şeffaf ve etik veri işleme uygulamalarının yanı sıra gizliliği koruyan tekniklerin uygulanması bu endişelerin giderilmesine yardımcı olabilir.

## 9. SONUÇ (CONCLUSION)

### 9.1. Pratik etkiler (Practical implications)

- **Kullanıcı Eğitimi:** Android kötü amaçlı yazılım riskini azaltmanın en etkili yollarından biri, kullanıcıları güvenli gezinme alışkanlıkları, yazılım yükleme uygulamaları ve düzenli güncellemelerin önemi hakkında eğitmektir. Farkındalığı artırarak, kullanıcılar daha bilinçli kararlar alabilir ve olası güvenlik risklerinden kaçınabilir.

- **Çok Katmanlı Güvenlik:** Virüsten koruma yazılımı, güvenlik duvarları ve VPN'ler gibi güvenlik önlemlerinin bir kombinasyonunu uygulamak, kötü amaçlı yazılımlara karşı daha kapsamlı bir savunma sağlamaktadır. Kullanıcılar ve kuruluşlar, kötü amaçlı yazılım bulaşmasının olası etkisini en aza indirmek için çok katmanlı bir yaklaşım benimsemelidir.

- **Düzenli Cihaz Bakımı:** Kullanıcıları, cihazlarını en son güvenlik yamaları ve uygulama güncellemeleriyle güncel tutmaya teşvik etmek, kötü amaçlı yazılım bulaşma olasılığını önemli ölçüde azaltabilir. Düzenli cihaz bakımı hem bireyler hem de kuruluşlar için bir öncelik olmalıdır.

### 9.1. Yönetimsel etkiler (Managerial implications)

- **Mobil Cihaz Yönetimi (MCY):** Kuruluşlar, çalışanlarının mobil cihazlarını yönetmek ve güvenliğini sağlamak için MCY çözümlerini uygulamayı düşünmelidir. MCY sistemleri, güvenlik ilkelerini uygulayabilir, kayıp cihazları uzaktan kilitleyebilir veya silebilir ve potansiyel tehditleri izleyerek güvenli bir mobil ortam sağlayabilir.

- **Güvenlik Politikası Geliştirme:** Kuruluşlar, uygulama yükleme, cihaz güncellemeleri ve üçüncü taraf uygulama mağazalarının kullanımı dahil olmak üzere Android kötü amaçlı yazılım risklerini ele alan kapsamlı güvenlik politikaları oluşturmalıdır. Bu politikaların çalışanlara açık bir şekilde iletilmesi, etkili bir şekilde uygulanmaları için çok önemlidir.

- **Olay Müdahale Planlaması:** Kuruluşlar, potansiyel Android kötü amaçlı yazılım bulaşmalarıyla başa çıkmak için bir olay müdahale planı geliştirmelidir. Bu plan, etkilenen cihazların izole edilmesi, kötü amaçlı yazılımın analiz edilmesi ve olayın ilgili makamlara bildirilmesi gibi bir bulaşma durumunda atılacak adımları özetlemelidir.

- **Güvenlik Çözümlerine Yatırım:** Kuruluşlar, ortaya çıkan tehditlerin bir adım önünde olmak için yapay zekâ güdümlü kötü amaçlı yazılım algılama araçları da dahil olmak üzere gelişmiş güvenlik çözümlerine yatırım yapmak için kaynak ayırmalıdır. Kötü amaçlı yazılım algılama teknolojilerindeki gelişmelere ayak uydurmak, bir kuruluşun mobil altyapısını koruma becerisini önemli ölçüde artırabilir.

- **Sektör Uzmanlarıyla İş Birliği Yapın:** Kuruluşlar, en son kötü amaçlı yazılım trendleri ve algılama teknikleri hakkında bilgi sahibi olmak için siber güvenlik firmaları ve araştırmacılar gibi sektör uzmanlarıyla iş birliği yapmaktan yararlanabilir. Ortaklıklar kurmak ve endüstri etkinliklerine katılmak, kuruluşların ortaya çıkan tehditlere karşı uyanık kalmasına yardımcı olabilir.

Özetle, Android kötü amaçlı yazılım tespiti, kullanıcıları korumak ve mobil cihazların genel bütünlüğünü sürdürmek için tekniklerin, araçların ve stratejilerin bir kombinasyonunu gerektiren, devam eden ve karmaşık bir çabadır. Kullanıcılar ve kuruluşlar, en son tehditler hakkında bilgi sahibi olarak ve güvenliğe proaktif bir yaklaşım benimseyerek, Android kötü amaçlı yazılımlarının neden olduğu riskleri azaltabilir. Teknoloji gelişmeye devam ettikçe, kötü amaçlı yazılım tespitinde sürekli araştırma ve geliştirme ihtiyacı, ortaya çıkan tehditlerin bir adım önünde olmak ve güvenli bir mobil deneyim sağlamak için kritik olmaya devam edecektir.

## KAYNAKLAR

Rahandinasari, S. (2018). DEVELOPING ANDROID-BASED HISTORYTOON MEDIA FOR HISTORY LEARNING. **ISTORIA Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sejarah**, 14(2).

Kim, K., Milne, G. R., & Bahl, S. (2018). Smart phone addiction and mindfulness: an intergenerational comparison. **International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing**, 12(1), 25-43.

Divya, K., & Kumar, V. K. (2016). Comparative analysis of smart phone operating systems Android, Apple IOS and Windows. **International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)**, 2(2), 432-439.

Qiu, J., Zhang, J., Luo, W., Pan, L., Nepal, S., & Xiang, Y. (2020). A survey of android malware detection with deep neural models. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, 53(6), 1-36.

Fang, Y., Gao, Y., Jing, F., & Zhang, L. (2020). Android malware familial classification based on dex file section features. **IEEE Access**, 8, 10614-10627.

Christiana, A., Gyunka, B., & Noah, A. (2020). Android malware detection through machine learning techniques: A review.

Schmeelk, S., Yang, J., & Aho, A. (2015, April). Android malware static analysis techniques. **In Proceedings of the 10th annual cyber and information security research conference** (pp. 1-8).

Feng, P., Ma, J., Sun, C., Xu, X., & Ma, Y. (2018). A novel dynamic Android malware detection system with ensemble learning. **IEEE Access**, 6, 30996-31011.

Lu, T., Du, Y., Ouyang, L., Chen, Q., & Wang, X. (2020). Android malware detection based on a hybrid deep learning model. **Security and Communication Networks**, 2020, 1-11.

Sharma, S., Kumar, R., & Rama Krishna, C. (2021). A survey on analysis and detection of Android ransomware. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, 33(16), e6272.

Bai, C., Han, Q., Mezzour, G., Pierazzi, F., & Subrahmanian, V. S. (2019).  $\$ \{DBank\}$   $\$$  DBank: Predictive Behavioral Analysis of Recent Android Banking Trojans. **IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing**, 18(3), 1378-1393.

Liu, T., Wang, H., Li, L., Luo, X., Dong, F., Guo, Y., ... & Klein, J. (2020, April). Maddroid: Characterizing and detecting devious ad contents for android apps. **In Proceedings of The Web Conference 2020** (pp. 1715-1726).

Abualola, H., Alhawai, H., Kadadha, M., Otrok, H., & Mourad, A. (2016). An Android-based Trojan Spyware to study the notificationlistener service vulnerability. **Procedia Computer Science**, 83, 465-471.

Bhanu, J. S., Sastry, J. K. R., & Reddy, T. C. (2021). Protecting Android based applications from malware affected through SMS messages. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, 22(3), 1580-1589.

Martín, I., Hernández, J. A., & De Los Santos, S. (2019). Machine-Learning based analysis and classification of Android malware signatures. **Future Generation Computer Systems**, 97, 295-305.

Atzeni, A., Díaz, F., Marcelli, A., Sánchez, A., Squillero, G., & Tonda, A. (2018). Countering android malware: A scalable semi-supervised approach for family-signature generation. **IEEE Access**, 6, 59540-59556.

Ali, A. A., & H Abdul-Qawy, A. S. (2021). Static analysis of malware in android-based platforms: a progress study. **International Journal of Computing and Digital Systems**, 10(1), 321-331.

Urooj, B., Shah, M. A., Maple, C., Abbasi, M. K., & Riasat, S. (2022). Malware detection: a framework for reverse engineered android applications through machine learning algorithms. **IEEE Access**, 10, 89031-89050.

Liu, K., Xu, S., Xu, G., Zhang, M., Sun, D., & Liu, H. (2020). A review of android malware detection approaches based on machine learning. **IEEE Access**, 8, 124579-124607.

Qamar, A., Karim, A., & Chang, V. (2019). Mobile malware attacks: Review, taxonomy & future directions. **Future Generation Computer Systems**, 97, 887-909.

Arshad, S., Shah, M. A., Wahid, A., Mehmood, A., Song, H., & Yu, H. (2018). SAMADroid: a novel 3-level hybrid malware detection model for android operating system. **IEEE Access**, 6, 4321-4339.

Zhu, Z., & Dumitraş, T. (2016, October). Featuresmith: Automatically engineering features for malware detection by mining the security literature. In **Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security** (pp. 767-778).

Rastogi, V., Chen, Y., & Enck, W. (2013, February). Appsplayground: automatic security analysis of smartphone applications. In **Proceedings of the third ACM conference on Data and application security and privacy** (pp. 209-220).

Sugunan, K., Gireesh Kumar, T., & Dhanya, K. A. (2018). Static and dynamic analysis for android malware detection. In **Advances in Big Data and Cloud Computing** (pp. 147-155). Springer Singapore.

Enck, W., Gilbert, P., Han, S., Tendulkar, V., Chun, B. G., Cox, L. P., ... & Sheth, A. N. (2014). Taintdroid: an information-flow tracking system for realtime privacy monitoring on smartphones. **ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)**, 32(2), 1-29.

Sarwar, G., Mehani, O., Boreli, R., & Kaafar, M. A. (2013). On the effectiveness of dynamic taint analysis for protecting against private information leaks on android-based devices. In **10th International Conference on Security and Cryptography, SECRIPT 2013-Part of 10th International Joint Conference on E-Business and Telecommunications, ICETE 2013** (pp. 461-468). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Kim, Y., Oh, T., & Kim, J. (2015). Analyzing user awareness of privacy data leak in mobile applications. **Mobile Information Systems**, 2015.

Wang, Y., & Talim, J. (2020). Online mobile teaching methods based on Android in the 5G environment. **International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning**, 30(2), 133-147.

Ullah, F., Naeem, M. R., Mostarda, L., & Shah, S. A. (2021). Clone detection in 5G-enabled social IoT system using graph semantics and deep learning model. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, 12, 3115-3127.

Chen, L., Xia, C., Lei, S., & Wang, T. (2021). Detection, traceability, and propagation of mobile malware threats. **IEEE Access**, 9, 14576-14598.

Ribeiro, J., Saghezchi, F. B., Mantas, G., Rodriguez, J., Shepherd, S. J., & Abd-Alhameed, R. A. (2020). An autonomous host-based intrusion detection system for android mobile devices. **Mobile Networks and Applications**, 25, 164-172.



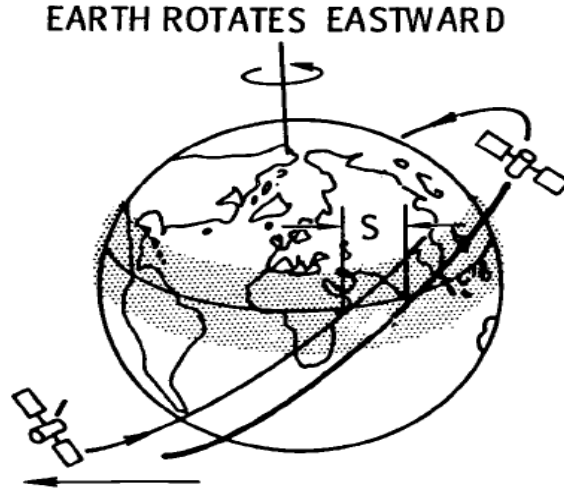
# Cowell Yöntemiyle İstatistiksel Yörünge Analizi

Hüseyin Yaşar

## Yerin Basıklığının ( $J_2$ ) Etkisi

Yerin basıklığından ya da diğer bir deyişle yerin zonal harmoniği  $J_2$  nedeniyle ortaya çıkan temel etkiler yörünge çıkış düğümünün boylamı  $\Omega$  ve enberi boylamı  $\omega$ 'nın seküler hareketidir. Yörünge düzleminin batı yönündeki dönüş hareketi Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şekilde  $S$ , ekvatorun ardışık iki geçiş arasındaki boylam farkını göstermektedir. Çıkış düğümünün boylamı  $\Omega$ 'nın sürekli değişiminin nedeni yerin ekvatorial bölgesinin kutuplara göre daha şişkin olması ve bunun da ekvator doğrultusunda bir kuvvet çifti etkisi doğurmasıdır. Ortaya çıkan net kuvvet uydunun yörünge düzleminin dönmesine dolayısıyla çıkış düğümünün ekvator boyunca her bir dolanım başına  $\Delta\Omega$  kadar batıya kaymasına neden olur. Bu etkiyi, yerin basıklığının doğurduğu ek kuvvetin, uydunun açısal momentum vektörüne uygulayacağı torkun neden olduğu jirodinamik presesyon olarak da ele alabiliriz.

Çıkış düğümünün seküler gerileme hızını, basıklık parametresi  $J_2$ 'nin sayısal olarak birinci mertebeden değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:



Şekil 1 Ekvatorial şişkinlikten kaynaklanan çekim kuvvetinin neden olduğu batı yönlü kayma (Vallado, 2007)

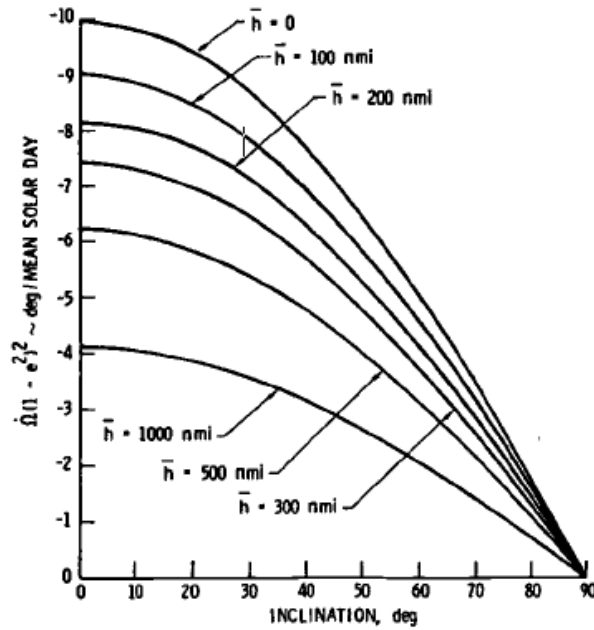
$$\dot{\Omega} = \frac{-9.9358}{(1-e^2)^2} \left( \frac{R}{R+h} \right)^{3.5} \cos i \frac{d\Omega}{dt} \text{ort.güneşgünü} \quad (1)$$

$$\bar{h} = \frac{h_a+h_p}{2}, e = \frac{h_a-h_p}{h_a+h_p+2R} \quad (2)$$

ve  $R$  de daha önce ifade ettiğimiz gibi yerin ekvatorial yarıçapıdır. Burada yer ile aynı yönde hareket eden uydular için ( $0^\circ < i < 90^\circ$ )  $\Omega$  parametresindeki değişimin geri yönlü, ters yönde hareket uydular içinse ( $90^\circ < i < 180^\circ$ ) bu değişim ileri yönlü olduğunu belirtmek gerekir. Kutupsal yörüngelerde dolanan uydular içinse birinci mertebeden bir çıkış düğümü kayması söz konusu değildir. Şekil 2, farklı ortalama yüksekliklere sahip uyduların için yörünge eğim açısının bir fonksiyonu olarak çıkış düğümünün kayma hızının değişimini göstermektedir. Yerin basıklığından kaynaklanan diğer etkenlerden biri de eksen dönmesidir ( $\dot{\omega}$ ). Şekil 2'den anlaşılacağı üzere eksen dönmesi sonucunda enberi noktası bir kayma hareketi yapar. Bu hareketin nedeni kuvvetin artık ters kare yasasına göre işlemiyor olmasıdır. Sonuç olarak, enberi kayması  $i < 63.4$  derece olduğunda pozitif,  $i > 63.4$  derece olduğunda ise negatif yöndedir.

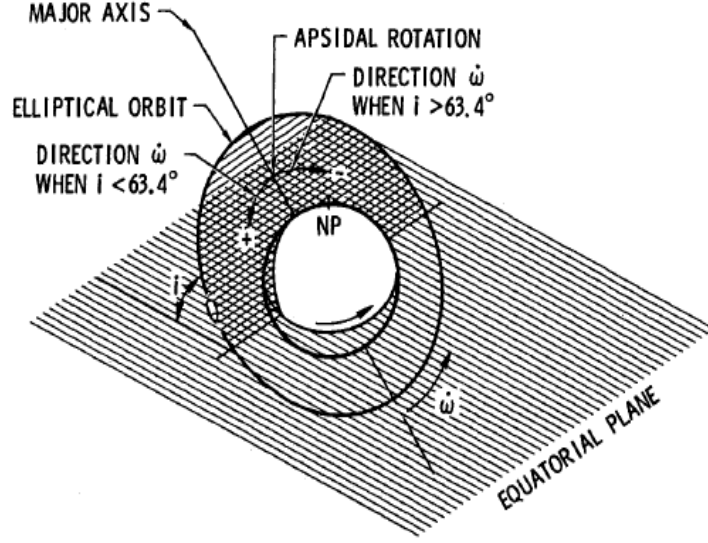
Eksen dönme hızı ( $\dot{\omega}$ )'yı nümerik olarak aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$\dot{\omega} = \frac{9.9358}{(1-e^2)^2} \left( \frac{R}{R+h} \right)^{3.5} \left( 2 - \frac{5}{2} \sin^2 i \right) \frac{\text{der}}{\text{ortgüneşünü}} \quad (3)$$



Şekil 2 Farklı yörüngeler için basıklıktan kaynaklanan regresyonun yörünge eğikliği ve ortalama yükseklikle değişimi (Curtis, 2013)

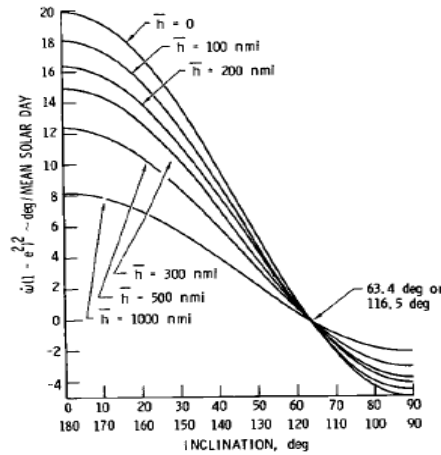
Şekil 2'de farklı ortalama yüksekliklerine ( $\bar{h}$ ) sahip uydular için eksen dönme hızı, yörünge eğim açısı  $i$  ve fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3 Eksen dönmesi (Battin, 1999)

### Kritik Yörünge Eğim Açısı

Denk3.2'ye baktığımızda  $(2 - \frac{5}{2} \sin^2 i)$  ifadesinin sıfır olduğu durumda ya da diğer bir deyişle  $i = 63.43$  ya da  $i = 116.57$  olduğunda  $J_2$  etkisiyle oluşan eksen dönmesinin de sıfır olacağı anlaşılır.  $i$ 'nin bu iki değeri kritik eğim olarak adlandırılır ve bu değerler için  $\dot{\omega} = 0$ 'dır. Kritik değerlerin ne  $J_2$  değerine ne de diğer yörünge öğelerine bağımlı olmaması ilginçtir. Bu yörünge özelliğinin bir uygulaması Molniya türü yörünge dediğimiz son derece yüksek basıklıklığa ( $e = 0.73$ ) sahip, kritik eğimli ve 12 saat dönemli yörüngelerde bulunabilir. Enberi boylamının  $270^\circ$  olduğu durumlarda uydu zamanının çok büyük bir kısmını enöte civarında harcar. Bu nedenle böyle bir uydu kuzey yarım küreye yerleştirilen yer istasyonlarının görüş alanında çok uzun bir süre kalmış olur. Kritik eğime sahip yörüngelerde enberi boylamı  $270$  derecede ya da tercih edilen diğer bir değerde değişmeden kalır. Bu özellik yörüngeyi diğerlerinden ayrıcalıklı kılar ve yer istasyonunun uyduyu görüş geometrisi değişmeden kalır. Gerçekte üçüncü cismin çekim etkisinden ya da yerin çekim harmoniğinden kaynaklanan olası bozulmalar nedeniyle enberi boylamı seçilen başlangıç değerinde sabit kalmaz ancak değişimler oldukça küçüktür ve bu şekildeki olası bozulmalar konum düzeltme manevralarıyla giderilebilmektedir.



Şekil 4 Farklı ortalama yükseklikler için yörünge eğikliğinin fonksiyonu olarak yerin basıklığı kökenli eksen dönme hızı

## Güneş ile Eş-Zamanlı Yörüngeler

Bu yörüngeleri özel kılan, yörünge çıkış düğümünün sağ açıklığının değişim hızının ortalama güneşin sağ açıklığının değişim hızına eşit olmasıdır (Prussing & Conway, 1993). Bu yörüngelerin yörünge eğim açıları, yarı büyük eksen uzunlukları ve dışmerkezlikleri aşağıdaki bağıntıyı sağlarlar

$$\left(\frac{d\Omega}{dt}\right)_s = -\frac{3}{2}nj_2\left(\frac{R}{p}\right)^2 \cos i = \dot{a}_{sun} = 0.9856 \frac{\text{der}}{\text{gün}} \quad (4)$$

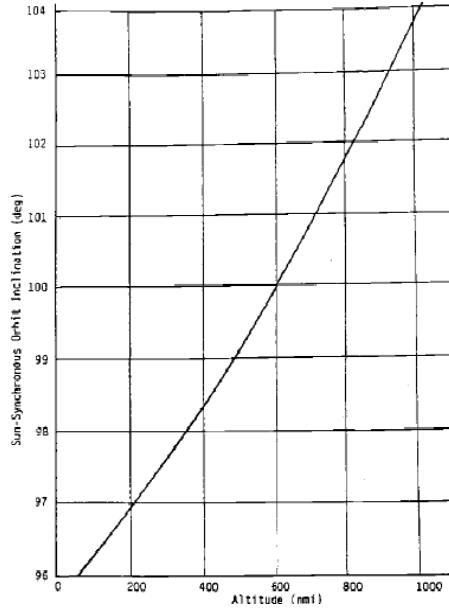
Burada,

$$n = \sqrt{\mu/a^3} \text{ ortalama açısal hız,}$$

$R$  = Yerin ekvatorial yarıçapı,

$$p = a(1 - e^2),$$

$\dot{a}_{sun}$  = ortalama güneşin sağ açıklığının değişim hızıdır.



Şekil 5 Alçak irtifalı güneş-eş zamanlı yörünge eğimleri

Bilinen bir güneş eş-zamanlı yörünge eğim açısı 98,7 derece ve ortalama yüksekliği 833 km'dir. Alçak irtifalı çember yörüngeler durumunda güneş eş-zamanlı eğim açısı ve yarı büyük eksen uzunluğu Denk. (4)'den hesaplanmış ve Şekil 5'te gösterilmiştir (Bate & White, 1971). Bu yörüngelerin benzersiz olan özelliği uydunun yerdeki izinin, yörünge çıkış düğümünde tek bir yerel zamana ve iniş yarısında da diğer bir yerel zamana (12 saat farklı) sahip olmaları ve bu yerel zamanların tüm görev süresince aynı kalmasıdır. Güneş eş-zamanlı

yörüngeler sıklıkla çıkış düğümünün yerel zamanı ile anılırlar. Örneğin 6 saat yörüngesi denildiği zaman çıkış düğümünün yerel zamanı 6 saat olan güneş eş-zamanlı yörüngesi kastedilmiş olur. Uydunun yörüngesindeki herhangi bir noktanın yerdeki izine ilişkin yerel zamanlar aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir:

$$t = t_{\Omega} - \frac{\tan^{-1}[\tan u \cos(\pi-i)]}{\omega_e} \quad (5)$$

Burada,

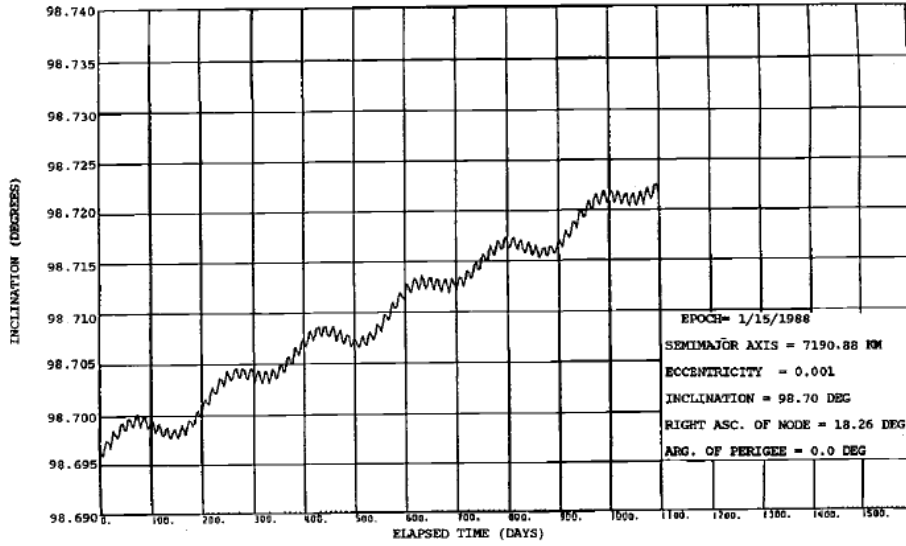
$t_{\Omega}$  = uydunun çıkış düğümüne ilişkin yerel zaman

$u$  = uydunun enlem açısı

$i$  = yörünge eğim açısı

$\omega_e$  = yerin açisal dönme hızı

Böylesi yörüngelerde iki farklı tedirginlik söz konusu olur. Bunlardan ilki atmosferik sürüklenme ikincisi ise güneşin çekim etkisidir. Güneş-eş zamanlı yörüngede dolanan bir uyduyu gözlemlediğimizi varsayalım; bu etkiler nedeniyle uydunun hem güneş eş-zamanlı olma özelliği hem de uyduya ilişkin yerel zaman değişim gösterecektir. Sürüklenme etkisi yörüngeye ilişkin  $p$  ve  $n$  parametrelerinin, güneşin tedirginlik etkisi de yörünge eğim açısının değişmesine yol açar (Yaşar & Eronat, 2023). Güneş eş-zamanlı olma özelliği, yörünge eğim açısının, güneş kaynaklı tedirginliklerin neden olduğu değişimleri ifade eden denklemde kuvvetli rezonans doğurur.



Şekil 6 Güneş-eş zamanlı yörüngelerde herhangi bir düzeltme yapılmaksızın eğimdeki kayma (Chobotov, 2002)

Yörünge eğiminde bir sapmaya neden olan bu kuvvetli rezonansın özel bir terimi

$$\frac{di}{dt} = -0,047 \sin 2(\alpha_{\text{güneş}} - \Omega) \text{ der/yıl} \quad (6)$$

şeklinindedir. Kuvvetli rezonans durumunda  $\dot{\alpha}_{\text{güneş}} = \dot{\Omega}$  olduğunu bir kez daha belirtelim.

Denk 6'dan anlaşılacağı üzere güneş-eş zamanlı yörüngelerde yörünge eğimindeki en büyük sapma  $2 * (\alpha_{güneş} - \Omega)$  ifadesinin 90 ya da 270 derece olduğu durumlarda  $0,047 \frac{\text{der}}{\text{yıl}}$  ile olur. Şekil 6, 5:30 saat yerel zamanlı N-ROSS uydusu için düzeltilme yapılmamış üç yıllık yörünge eğim açısı değişimini göstermektedir. Uydu için  $(\alpha_{güneş} - \Omega)$  değeri 277,5 derece, yörünge eğim açısının değişim hızı ise 0.012 der/yıl olup bu değer, Şekil 7'deki eğim değişiminin ortalama eğimi ile uyumludur (David, 2010).

### **$J_3$ Etkileri ve Sabit Yörünge**

Yer için üçüncü harmonik  $J_3$  yaklaşık olarak  $10^{-3}J_2$  mertebesinde ve bu nedenle kısa dönemli tedirginliklerin genliği çok küçüktür. Bununla birlikte, dışmerkezlik için uzun dönemli değişimlere ilişkin denklemlerde, dışmerkezliğin kendisi denklemin bir teriminin paydasında yer almaktadır. Bu nedenle dışmerkezliğin yeterince küçük olduğu durumlarda bu terimin büyüklüğü neredeyse  $J_2$  'nin büyüklüğüne kadar yükselebilmektedir. Sonuç olarak, dışmerkezliğin uzun dönemli değişimi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Delta e = -\frac{1}{2} \frac{J_3}{J_2} \left(\frac{R}{a}\right) \sin i \sin \omega \quad (7)$$

Denklem 7'yi incelediğimizde dışmerkezliğin, uzun zaman aralığında  $\left(\frac{2\pi}{\dot{\omega}}\right)$  dönemli ve  $\frac{J_3}{J_2} \left(\frac{R}{a}\right)$  genlikli sinüsoidal bir değişime sahip olduğunu anlarız. Benzer şekilde, yörünge eğim açısının uzun dönemli değişim denklemi de aşağıdaki biçimde elde edilebilir:

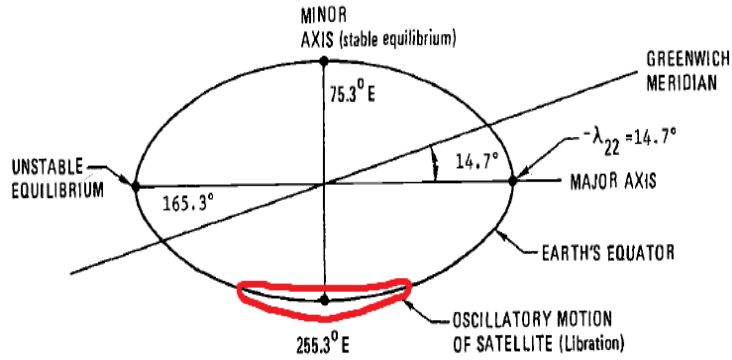
$$\Delta i = \frac{1}{2} \frac{J_3}{J_2} \left(\frac{R}{a}\right) \frac{e}{1-e^2} \cos i \sin \omega \quad (8)$$

Denklemden anlaşılacağı gibi, dışmerkezliğin çok küçük, eğim açısının ise çok büyük olmadığı durumlarda eğim açısının değişimi önemli olacaktır. Genel anlamda sabit yörünge şu şekilde tanımlanabilir: eğer verilen bir yörünge dönemi için dışmerkezlik ve yörünge eğim açısının uygun seçilen başlangıç değerleri ile dışmerkezlik ve enberi boylamında  $J_3$  mertebesinde bir değişim oluşmuyorsa bu yörünge sabit yörünge olarak adlandırılır. Başka bir deyişle yörünge eylemsizlik uzayında sabittir ve yörünge yüksekliğinin değişimi her bir dolanmada yeniden ve aynen tekrarlanır (Miele ve Mancuso, 1972). Bu özellik atmosferik sürüklenme ve güneşin ışınım basıncı tedirginliklerinden etkilenebilir. Bu nedenle, gerçek uygulamalarda bu tedirginlikleri ortadan kaldıracak düzeltme manevralarına gereksinim duyacaktır. Uzaktan algılama uydularının büyük bir kısmı güneş-eş zamanlı yörüngelerde hareket eder (Yaşar&Eronat, 2023a). Bu yörüngelerde uzay aracını en çok etkileyen faktörler bir tanesi yerin tam küre olmayışından kaynaklı ivlenme etkisidir. Bu durum, kuzey yarımkürede yapılan interferometri analizlerinde yükselim yönündeki veri setleri ile alçalım yönündeki veri setleri arasında analiz farklarına neden olmaktadır (Yaşar&Eronat, 2023b).

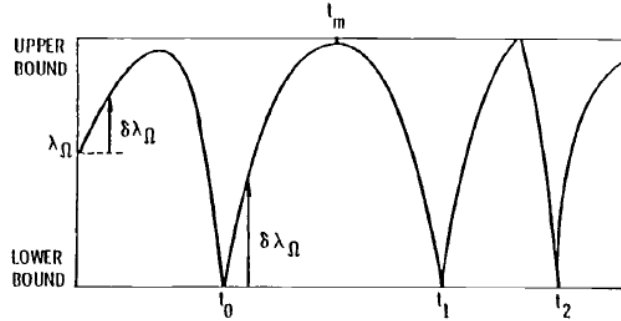
### **Yer'in Üç Eksenli Yapısından Kaynaklanan Etkiler ve Doğu-Batı Konum Düzeltmeleri**

Yerin ekvatorial kesiti çember olmayıp, Şekil 7'de gösterildiği gibi elips benzeri yapıdadır. Bu elips benzeri kesit  $C_{22}$ ,  $S_{22}$ ,  $C_{32}$ ,  $S_{32}$ , ... yersel harmonikleri ile temsil edilir. Temel yersel tesserial harmonik,  $J_{22}$ ,  $C_{22}$  ile  $S_{22}$  harmoniklerinin birleşiminden oluşur.  $J_{22}$  harmoniğinin  $\lambda_{22}$  ile gösterilen simetri boylamı gözlemlerle elde edilir ve değeri yaklaşık

olarak  $-14.7$  derecedir. Denge noktaları iki kısma ayrılmaktadır:  $75^\circ.3$  doğu ve  $255^\circ.3$  doğu noktaları kararlı denge boylamları iken  $14^\circ.7$  batı ve  $165^\circ.3$  doğu noktaları ise kararsız denge boylamlarıdır. Yer ile eş-zamanlı (24 saat) yörüngelerdeki rezonans etkisi, kararlı boylamlar etrafında yaklaşık 800 gün dönemli ve yaklaşık 90 derece genlikli salınıma sahip yavaş bir hareketin oluşmasına yol açar. Doğu-batı doğrultusunda konumunda tutabilmek amacıyla uyduya, boylamın kabul edilebilir sınır değerlerini aşmak üzere olduğu  $t_0$  anında Şekil 8'de gösterildiği gibi bir V düzeltme manevrası yaptırılır. Düzeltme miktarı, uydunun  $t_0$  anında diğer sınır boylam değerini aşmasından önce rezonans etkileri sayesinde kabul edilebilir sınır içerisinde tutacak şekilde belirlenir. Boylam için kabul edilebilir tipik kayma miktarı  $\pm 1$  derece ve iki manevra arasındaki süre yaklaşık 100 gündür. Bazı görevlerde  $\pm 0,1$  derecelik boylam kaymalarına izin verilmektedir.



Şekil 7 Yer eş-zamanlı yörüngede denge noktaları ve salınımlar



Şekil 8 Boylam düzeltme yönteminin şematik çizimi

### Üçüncü Cisimin Tedirginlik Etkileri ve Kuzey-Güney Konum Düzeltmeleri

Yerin basıklığından kaynaklanan tedirginlikler irtifa arttıkça önemini kaybeder. Diğer taraftan güneş ve ayın oluşturduğu çekimsel tedirginlikler ise yükseklikle orantılı bir şekilde artar. Güneş-ay diziliminin oluşturduğu bileşke çekimsel kuvvetin etkisi yüksek irtifalı yörüngelerin dışmerkezliğinin, eğim açısının, çıkış düğümü boylamı ile enberi boylamında uzun-dönemli seküler değişimlerine yol açar. Yörünge eğim açısındaki tedirginlik esas itibarıyla güneş-ay çekim etkisinden kaynaklanmaktadır. Başlangıçta sıfır derece eğimli bir yörüngede yer eş-zamanlı biçimde dolanan bir uydunun yörünge eğim açısını, ay ve güneşin çekim etkisinden kaynaklanan tedirginlik nedeniyle ilk on yıl içerisinde ortalama 1der/yıl değerinde bir değişim gösterdiği ve yaklaşık 17 yılda 15 dereceye ulaştığı anlaşılmıştır (Prussing & Tapley, 2003). Yörünge eğimi bu değere ulaştıktan sonra tekrar aşamalı bir şekilde azalmaya başlar ve diğer bir yaklaşık 27 yıl içerisinde sıfır derecelik eğime geri dönmüş olur. Konum düzeltme manevraları çok maliyetli olacağından dolayı eğimde oluşan tedirginlikten

kaynaklanan düzeltmeler yapılmaz. Bunun yerine başlangıçtaki eğim ve düğümler çizgisinin sağ açıklığı, uydunun görev süresi boyunca eğiminin bulunduğu noktadan sıfıra sıfırdan da bulunduğu noktaya gelecek şekilde seçilmelidir. Örneğin başlangıçtaki eğimi 3,5 derece seçilen bir yörünge için eğim zamanla sıfıra yaklaşır sonra tekrar başlangıçtaki değerine ulaşır (Wisdom, 1985). Buna karşılık gelen çıkış düğümü boylamı 270 derecedir ve iterasyon yöntemiyle belirlenir. Bu örnekte yörünge eğim açısının salınım süresi yaklaşık yedi yıldır ve bu da uydunun görev süresine eşittir. Yer eş-zamanlı bir uydu için yörünge eğimindeki  $\Delta V$  düzeltmesi, belirlenen bir konumda yörünge düzlemine dik doğrultuda uygulanmak suretiyle başarılıdır. Aslında oldukça pahalı olan bu manevralar için en ucuz maliyetli noktalar çıkış ya da iniş düğümleridir. Bununla birlikte büyük dışmerkezlikli yörüngelerde  $\Delta V$  düzeltmesini minimize etmek amacıyla diğer konumlarda da böylesi kuzey-güney konum düzeltmesi yapılabilir. Düzeltme miktarı

$$\Delta V = 2V \sin \frac{\Delta\theta}{2} \quad (9)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada ,

$V$ , düzeltme noktasındaki çembersel hız ve  $\Delta\theta$  ise

$$\Delta V = \cos^{-1}[\sin i_1 \sin i_2 \cos(\Omega_2 - \Omega_1) + \cos i_1 \cos i_2] \quad (10)$$

bağıntısıyla verilen toplam düzlem değişimidir. Denk 10'daki  $i$  ve  $\Omega$  parametreleri, sırasıyla yörünge eğim açısı ve yörüngeye ilişkin çıkış düğümünün sağ açıklığıdır. Denklemdaki 1 ve 2 indisleri ise eğim (kuzey-güney) düzeltmesinin yapılmasından önceki ve sonraki değerleri göstermektedir. Yer eş zamanlı yörüngeler için 0.1 derecelik kuzey-güney tolerans için yılda dört ya da beş kez  $50 \frac{m}{s}$ 'lik eğim açısı düzeltmesi yapılması gerekir.

### Güneş Işınım Basıncının Tedirginlik Etkileri

Işınım basıncı etkisini kısaca, güneşten gelen fotonların parçacık etkisi göstererek uydunun yüzey alanında baskı oluşturması olarak tarif edebiliriz. Bir astronomik birim için (yer-güneş arası mesafe) ışınım basıncı sabiti  $P_0$  'nin değeri  $4.65 \times 10^{-5} \frac{dyn}{cm^2}$  'dir. Yerin merkezci kuvveti etrafında hareket eden uydular için ışınım basıncı etkisini aşağıdaki ifade ile hesaplayabiliriz:

$$a_p = 4.65 \times 10^{-6} (1 + \beta) \left(\frac{A}{m}\right) \left(\frac{a_{\odot}}{r_{\odot}}\right)^2 \quad (11)$$

Burada,  $a_p$ , güneşin ışınım basıncı etkisinden kaynaklanan ivmelenmenin şiddeti ve yakın yer uyduları için  $a_{\odot}/r_{\odot}$  'nin değeri yaklaşık 1'dir. Ayrıca  $A$ , uydunun etkin izdüşümsel alanı ( $m^2$  cinsinden);  $m$ , uydunun toplam kütlesi (kg cinsinden);  $a_{\odot}$  ve  $r_{\odot}$ , güneşin yer etrafındaki yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu ve verilen tarihteki yarıçap vektörünün büyüklüğü;  $\beta$  ise optik yansıtma parametresidir. 1 değeri toplam yansıtma (ayna), 0 değeri



toplam soğurmaya (kara cisim) ve -1 değeri de toplam geçirgenliğe karşılık gelir. Güneş ışınları uydu yüzeyine dik gelsin ya da gelmesin ışınım basıncının oluşturduğu ivmelenmenin doğrultusu uydunun izdüğümsel alanına diktir. Güneş ışınlarına dik bir küre yüzeyi ya da düz bir levha yüzeyi için güneş ışınım ivmelendirmesinin normalize edilmiş bileşenleri aşağıdaki bağıntılarla ifade edilebilir (Battin, 1965).

$$F_w = \sin i \cos^2 \frac{\varepsilon}{2} \sin(\lambda_{\odot} - \Omega_{\odot}) - \sin i \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} \sin(\lambda_{\odot} + \Omega_{\odot}) - \cos i \sin \varepsilon \sin \lambda_{\odot} \quad (12)$$

Burada,  $F_r$ , ivme vektörünün uydu yörüngesinin yarıçap vektörü boyunca bileşeni iken,  $F_s$  yörünge düzleminde ve  $F_r$ 'ye dik doğrultudaki ve  $F_w$  de yörünge düzleminin normal doğrultusundaki bileşenleridir. Ayrıca,  $\varepsilon$ , tutulum düzleminin eşlek düzlemine eğikliği ve  $\lambda_{\odot}$  de güneşin tutulum boylamıdır.  $\varepsilon$ ,  $\lambda_{\odot}$  ve  $a_{\odot}/r_{\odot}$  nicelikleri aşağıdaki bağıntılarla yeterli duyarlılıkla hesaplanabilirler.

$$\begin{aligned} d &= \text{MJD} - 15019.5 \\ \varepsilon &= 23^{\circ}.44 \\ M_{\odot} &= 358^{\circ}.48 + 0^{\circ}.98560027d \\ \lambda_{\odot} &= 279^{\circ}.70 + 0^{\circ}.9856473d + 1^{\circ}.92 \sin M_{\odot} \\ a_{\odot}/r_{\odot} &= [1 + 0.01672 \cos(M_{\odot} + 1^{\circ}.92 \sin M_{\odot})]/0.99972 \end{aligned}$$

Burada, MJD, modifiye edilmiş Julian günüdür (MJD= JD – 2400000.5).

$F_r$ ,  $F_s$  ve  $F_r$  bileşenlerini Denk (2.20)'de yerine yazarak yörünge elemanlarının ışınım basıncının tedirginlik etkisi nedeniyle ortaya çıkan değişimlerini elde edebiliriz. Bu bağıntılardaki baskın terimler incelendiğinde en önemli etkinin  $e$  parametresi üzerinde olduğu anlaşılır. Yer eş-zamanlı uydu yörüngeleri durumunda dışmerkezliğin değişim denklemindeki en baskın terim  $\sin(\lambda_{\odot} - \omega - \Omega)$  terimidir (Deprit, 1985). Bu terim incelendiğinde, yörünge dışmerkezliğinin yıl mertebesinde uzun dönemli bir değişime maruz kaldığını ve değişimin genliğinin  $\beta$ ,  $\frac{A}{w}$  ve başlangıç koşullarına bağlı olduğunu anlarız. Benzer bir değişim, enberi boylamı için de söz konusudur.

### Yer eş-zamanlı Yörüngeler İçin Dışmerkezlik Değişiminin Hesaplanması İçin Bir Algoritma

Yer eş-zamanlı yörüngelerin dışmerkezliklerinde ışınım basıncı etkisinden kaynaklanan değişimi aşağıdaki bağıntıyla ifade edebiliriz.

$$e = \left[ \left( \frac{g}{z} \right)^2 - 2\rho \left( \frac{g}{z} \right) \cos \theta + \rho^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Burada,

$$\rho = \left[ e_0^2 - \left( \frac{2g}{z} \right) e_0 \cos \varphi_0 + \left( \frac{g}{z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

$$\theta_0 = \sin^{-1} \left( \frac{e_0}{\rho} \sin \varphi_0 \right) \quad (15)$$

$$\varphi_0 = \lambda_\theta - \omega_0 - \Omega_0 \quad (16)$$

$$g = \frac{3(1+\beta)(A/M)P}{2V} (1 - e_0^2)^{\frac{1}{2}} \cos^2 \left( \frac{\varepsilon}{2} \right) \quad (17)$$

Burada,

$e_0$  = Başlangıçtaki dışmerkezlik,

$A/M$  = uydunun kesitsel alanı / kütlesi,

$P$  =  $4.65 \times 10^{-6} \text{N/m}^2$

$\lambda_\odot$  = Güneşin başlangıç zamanındaki tutulum boylamı,

$\omega_0$  = Başlangıç zamanında enberi boylamı,

$\Omega_0$  = çıkış düğümünün başlangıç zamanındaki sağ açıklığı

$z$  =  $\dot{\lambda}_\odot - \dot{\Omega}$

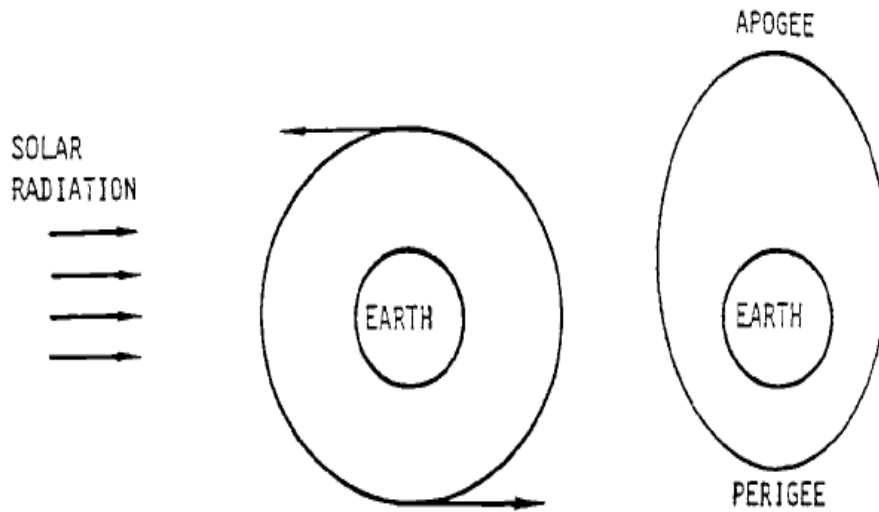
$\theta$  =  $\theta_0 + z(t - t_0)$

$V$  = uydunun hızı

$\varepsilon$  = tutulumun eğikliği ( $\approx 23^\circ.5$ )

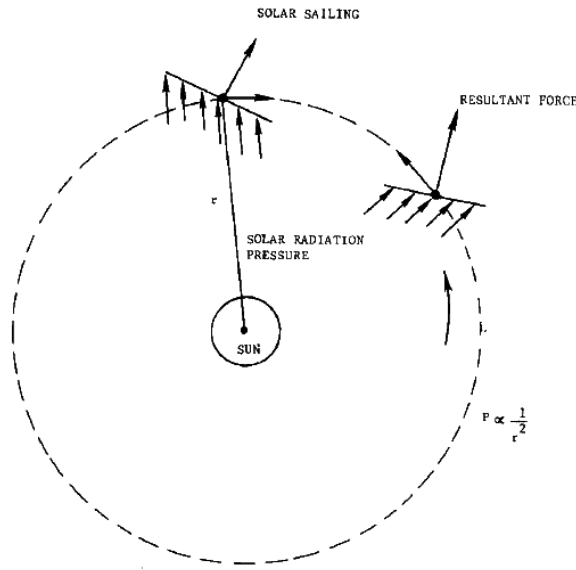
$\dot{\lambda}_\odot$  = güneşin tutulum boylamının değişim hızı ( $\approx 1$  derece/gün)

$\dot{\Omega}$  = çıkış düğümünün değişim hızıdır.



Şekil 9 Bir yer uydusu için güneşin ışınım basıncı etkisi

Yer eş zamanlı yörüngelerde dışmerkezliğin uzun dönemli değişimi enerji eklemek ya da çıkarmak suretiyle aşağıdaki şekilde açıklanabilir. Şekil 9'un merkezi kısmında gösterildiği gibi çembersel yörüngede, saatin dolanma yönünün tersi yönde dolanan bir uydu dikkate alalım. Sol taraftan gelen güneş ışınları, şeklin alt kısmında uyduya bir  $\Delta V$  hızının eklenmesine ve üst kısımda ise  $\Delta V$  büyüklüğünde bir hızın uydunun hızından çıkarılmasına eşdeğer bir etki gösterir. Sonuç olarak yörünge şeklin sol tarafında gösterildiği gibi giderek daha eliptik bir biçime doğru gelişir (Brouwer & Clemence, 1961). Yılın diğer altı ayında ise güneşin konumu yörüngenin diğer tarafında olacağından dolayı uydu yörüngesinin alt kısmında daha öncekinin aksine frenlenme üst kısmında ise hızlandırma etkisi gösterecektir. Böylece dışmerkezlik zamanla azalacağından yörünge zamanla çembersel yörüngeye doğru gelişecektir (Danbay, 1992). Gezegenler arası yörüngeler için ışınım basıncı etkisi göz ardı edilmemesi gerekir. Bu etki aracının tersi yönünde frenleyici ya da hızlandırıcı bir etkiye sahip olabilir. Bu durum Şekil 10'da temsili olarak gösterilmiştir. Burada güneş ışınımı tıpkı rüzgarın deniz yelkenlisindeki etkisine benzer bir etkiye sahiptir. Bu nedenle bu olaya güneş yelkenlisi de denilir.



Şekil 10 Güneş ışınım basıncı kavramı

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, iyi tasarlanmış bir enerji transferi, uzay aracı hedef gezegene yönlendirmede de kullanılabilir. Ancak bunun gerçekleşmesinde iki teknik zorluk vardır. Bunlardan ilki, güneşin ışınım basıncının uzay aracı ile güneş arasındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olmasıdır. Bu nedenle bu teknik uydunun güneşe yakın olduğu durumlarda etkilidir. Diğer taraftan iç gezegenlere gidildikçe sıcaklık artacağından bu şiddetli sıcaklığa dayanabilecek uzay aracını üretmek oldukça zor olacaktır. İkinci teknik problem ise büyük alana sahip buna karşın hafif olan bir uydunun tasarlanması ve üretilmesidir.

### Atmosferik Sürüklenme Etkileri

Yer sahip olduğu atmosferden dolayı uydu üzerinde sürüklenme etkisine neden olur. Bu etki uydunun hareketini ve yörüngesinin şeklini etkiler. Yörüngedeki atmosferik yapıdan dolayı sürüklenme oranı atmosferik yoğunluğa; bu zamana ve coğrafi pozisyona göre değişir ve önceden kestirilemez. Yükseklik, balistik katsayı gibi yörünge parametrelerine bağlıdır. Balistik sürüklenme katsayısı  $\left(\frac{C_D A}{M}\right)$  sürüklenme miktarının kütleyle oranıdır. Kütle büyük olması durumu ya da sürüklenme miktarının küçük olma durumunda balistik katsayının değerinin küçük olmasına neden olacaktır. Uydu atmosferik yapıdan geçerken irtifa kaybeder ve bununla beraber hız kazanır.

Sürüklenme katsayısı  $C_D$  uzay aracının şekline bağlı olarak, hız vektörünün durumu, aracın dengedemi sürüklenmedemi olduğunu gösterir (Howel, 1984). 200 km'nin üstündeki irtifalarda sürüklenme katsayısı, küresel yapı için 2.2, silindirik yapı için 3.0, diğer şekiller için bu iki değer arasında olur. Sürüklenme katsayısının gerçek değeri ancak uçuş testleriyle saptanabilir. 1000 km'den daha aşağı irtifalarda ise sürüklenme katsayısı uzun dönemlerde etkisini gösterir. Uydu için atmosferik sürüklenme etkisini aşağıdaki denklemle ifade edebiliriz.

$$\vec{a}_D = -\frac{1}{2}\rho V^2 \frac{C_{DA}}{M} \vec{i}_v \quad (18)$$

Burada,

$\vec{a}_D$  = Atmosferik sürüklenmenin ivme vektörü

$\rho$  = Atmosfer yoğunluğu

$V$  = Uydunun gerçek hızı

$A$  = Uydunun kesit alanı

$M$  = Uydunun kütlesi

$\vec{i}_v$  = Uydunun hız yönündeki birim vektörü

$C_D$  = Uydunun boyutsuz sürüklenme katsayısı

Atmosferik yoğunluğun modellenmesi ve buna bağlı olarak sürüklenme etkilerini önceden saptayabilmek, yüksekliğe ve zamana bağlı bir fonksiyon olduğundan, oldukça zordur. Atmosferik yoğunluk gece ve gündüze göre farklılık gösterir. Bu fark, herhangi bir bölge için güneşin maksimum yüksekliğine çıktığında yoğunluk maksimum, gece için ise gece süresinin yarısında olduğu konumda minimum yoğunlukta olur. King Hele atmosfer modeline göre 600 km'lik bir irtifa için minimum (gece) yoğunluğu ile maksimum (gündüz) yoğunluğu arasında yaklaşık sekiz kat fark vardır. Hava kütleesindeki diğer bir yoğunluk değişimi, 27 günlük döngüde oluşan UV ışınlarının etkisidir. 1950 yılından bu yana atmosferik yapı hakkında çokça çalışmalar yapılmış olsa da bunlar arasında en çok kullanılanları şunlardır.

- 1) ARDC-1959 modeli, ilk uydu gözlem verileri kullanılarak yapılan istatistiksel modelledir.
- 2) Standart U.S. atmosfer modeli-1962, güneş lekelerinin maksimum ve minimum olduğu durumları göz önüne alarak yıl boyunca orta enlemlerde yapılan gözlemlerden çıkarılan ortalama modeldir. Diğer enlemlerde duyarlılığı düşüktür.
- 3) Dinamik Jacchia atmosfer modeli-1964, atmosferik modellemeler arasında en gelişmiş ve en yaygın olarak kullanılanıdır.
- 4) Emsis90 yoğunluk modeli, en fazla duyarlılık gösteren modellerden bir tanesidir. Tüm yer yüzeyi boyunca uzanan ortalama atmosfer yoğunluğunu modeller.

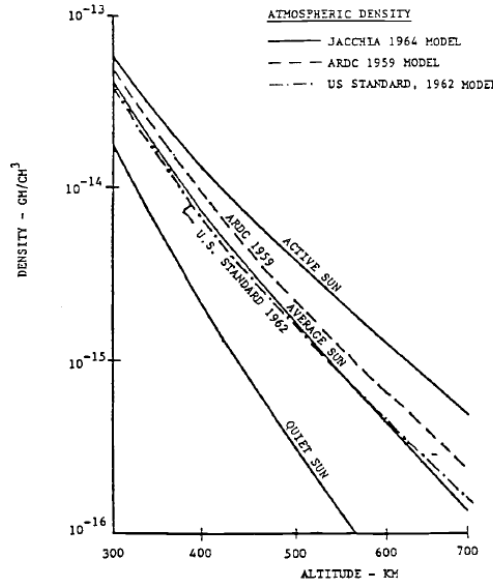
Atmosferik sürüklenme uydunun enerji kaybetmesinde önemli rol oynar. Atmosferik sürüklenmeye maruz kalan elips yörüngede bir uydu düşünelim. Uydu atmosferik yapıdan her geçişi sırasında enerji kaybedecek ve yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğunun kısılacaktır. Büyük dışmerkezliğe sahip bir yörünge için bu etki yörüngeyi aşamalı bir şekilde dairesel hale dönüştürecek, sonrasında ise yörünge yarıçapında azalmaya ve yer yüzeyine çakılmasına neden

olacaktır. Dairesel yörüngeler için yer yüzeyindeki bozulma aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$\frac{da}{dt} = -\sqrt{\mu a} \rho B \quad (19)$$

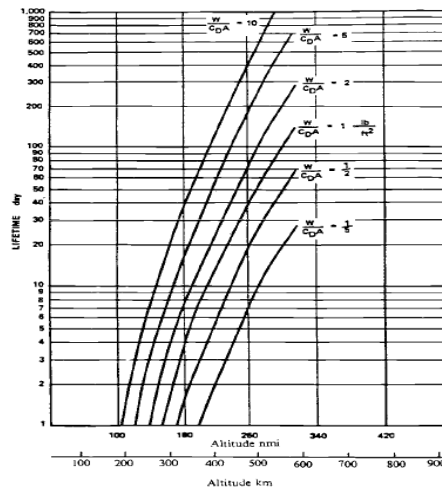
Burada,

$\mu$ , yer için gravitasyonel sabit,  $a$  yarı-büyük eksen uzunluğu,  $B$ , balistik katsayı  $\left(\frac{C_D A}{M}\right)$  'dır.



Şekil 8 Yüksekliğe göre atmosferik yoğunluk

Şekil 8'i incelediğimizde atmosferin yükseklikte ters orantılı olduğunu görebiliriz. Son çalışmalarda atmosferik sürüklenme, yörünge manevralarında yakıttan tasarruf etme amaçlıda kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek irtifadan istenilen düşük irtifaya sürüklenme etkisini kullanarak yakıt harcamasına gerek duymadan atmosferik sürüklemeyi kullanarak manevralar gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 9 Dairesel yer yörüngelerinin ömürleri

Şekil 9’u incelediğimizde yerin çekim kuvveti etkisi altında dairesel yörüngelerde dolanan uydular için verilen bazı balistik katsayı değerleriyle yükseklik-gün mertebesinde yaşam ömürlerini göstermektedir. Buradan anlaşılacağı üzere balistik katsayı ile yaşam ömrü doğru orantılıdır.

### Gelgit etkileri

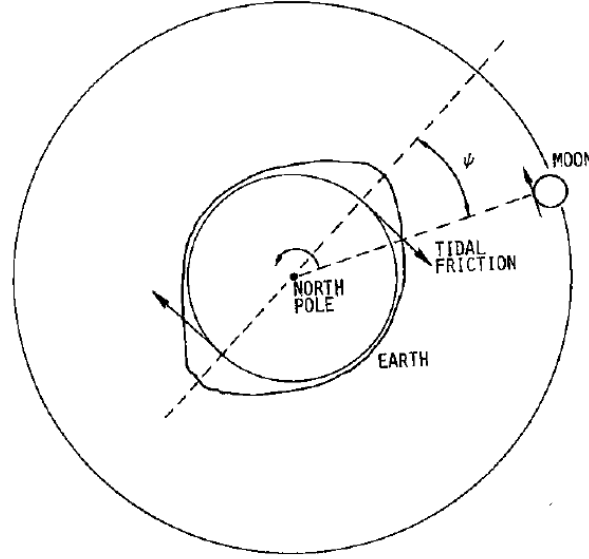
Gel-git sürtünme etkileri, yer-ay sistemi için Şekil 10’da gösterildiği gibi açıklanabilir. Şekildeki şişim ayın çekim kuvvetinden kaynaklanır ve gel-git sürtünmesi yer üzerine net bir tork (döndürme momenti) uygular. Yer kendi eksenini etrafında, atın yer etrafındaki dolanmasından daha hızlı döndüğü için  $\psi$  ile gösterilen bir evre gecikmesi ortaya çıkar. Sürtünme nedeniyle enerji kaybı ve yer-ay sisteminin açısal momentumunun korunmasının bir sonucu olarak yerin dönmesi yavaşça yavaşlar ve ay yavaşça yerden uzaklaşır (Izzo, 2007). Bu mekanizma büyük kütleli uydulara sahip diğer dış gezegenler için de geçerlidir. Jüpiter’in dört büyük uydusu ay ile aynı özelliklere sahiptir. Bu özellikler şu şekilde özetlenebilir:

- Yörüngelerinin gezegenin yörünge düzlemi ile küçük açı yapması (küçük yörünge eğim açısı)
- Küçük dış merkezlik
- Yörünge-yörünge rezonansıdır.

Son yıllarda yukarıda ifade edilen özellikleri açıklamak için son derece geniş ve kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Goldreich’e göre dinamik yaklaşımlar, basık ve öncelikle yapan bir gezegenin uyduları için küçük yörünge eğim açılarını daha olası kılmaktadır. Küçük dış merkezlik ve yörünge-yörünge rezonansının enerjinin gel-git sürtünmesiyle dağılmasının (kaybının) bir sonucu olduğuna inanılmaktadır. Küçük dış merkezliğin evrimi için bir mekanizma Urey ve arkadaşlarının önerilmiştir. Bu mekanizma dış merkezlik ile uydunun yörünge enerjisi arasındaki aşağıdaki basit bir ilişki ile açıklanabilir:

$$e = \left( 1 + \frac{2EL^2}{M_S^3 M_P^2} G \right)^{1/2} \quad (20)$$

Burada,  $E$  yörünge enerjisi,  $L$  açısal momentum,  $M_P$  ve  $M_S$  sırasıyla gezegen ve uydunun kütleleri ve  $G$  evrensel çekim sabitidir (Valtonen, Mikkola ve Innanen, 2006). Eğer uydu dönmüyorsa onun yüzeyindeki gel-git yükselmeleri yalnızca dikine bir tedirginlik kuvveti ortaya çıkarır. Yani  $L$  açısal momentumu gel-git yükselmeleriyle değişmez. Uydunun enerjisindeki azalmalar  $E$ ’yi azaltacağından ve  $E < 0$ ,  $0 < e < 1$  ve  $L$  sabit olduğundan  $e$ ’nin de azalması gerektiği sonucuna ulaşırız. Gel-git yükseklikleri, gezegen ile uydu arasındaki uzaklıkta meydana gelen salınımlar nedeniyle değişeceğinden dolayı bu süreç  $e=0$  oluncaya kadar durmadan devam eder. Her ne kadar çekimsel dağılma küçük dış merkezlik ve kararlı ölçekler durumunda önemli olsa da Galile uydularının maruz kaldıkları çekimsel kuvvetlerin büyüklüğü, basıklık ya da güneşin çekim etkisi gibi diğer tedirginlik mekanizmalarının ortaya çıkardığı tedirginlik kuvvetlerine nazaran daha küçüktür. Gözlemsel duyarlıklar içerisinde en içteki üç Galileo uydusunun  $m_1 - 3m_2 + 2m_3 = 0$  ilişkisini sağladıklarını görmek ilginçtir. Uydunun ortalama boylamları, Şekil 11’de gösterildiği gibi  $\lambda_1 - 3\lambda_2 + 2\lambda_3 = 180$  şeklindeki librasyon denklemini gerçeklerler (Russel, 1977).



Şekil 10 Yer-ay gelgit mekanizması

### Uzun Dönemli Eğim Değişimleri

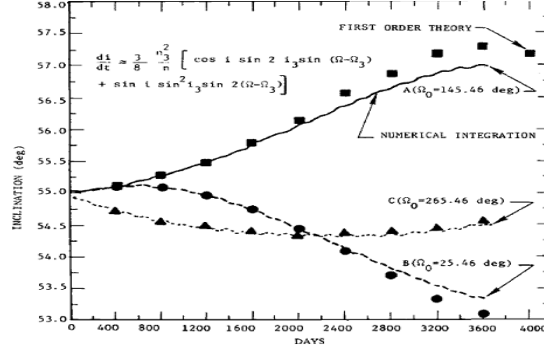
Uzun dönemli yörünge eğim değişimi, yörünge seçimi ve görevin dizaynında önemli öğelerden biridir. Eğim açısı kontrol manevraları, boylam ya da uyduyu rotada tutma manevralarından çok daha fazla güç ve dolayısıyla yakıt gerektirir. Bu nedenle eğim açısı tedirginliklerinin iyice anlaşılması ve başlangıç yörüngesinin uygun bir şekilde seçilmesi oldukça pahalı olan  $\Delta V$  harcamalarını ortadan kaldırmış ve böylece maliyeti düşürmüştür. Bu uzun dönemli eğim açısı değişimlerinin temel nedeni güneş/ay ikilisinin çekim etkisidir. Eğim açısı ve çıkış düğümünün sağ açıklığının değişimine ilişkin basitleştirilmiş ifadeler aşağıdaki gibidir:

$$\frac{di}{dt} = \sum_{j=1}^2 \frac{3}{8} y_j \left[ \cos i \sin 2 i_j \sin(\Omega - \Omega_j) + \sin i \sin^2 i_j \sin 2(\Omega - \Omega_j) \right] \quad (21-a)$$

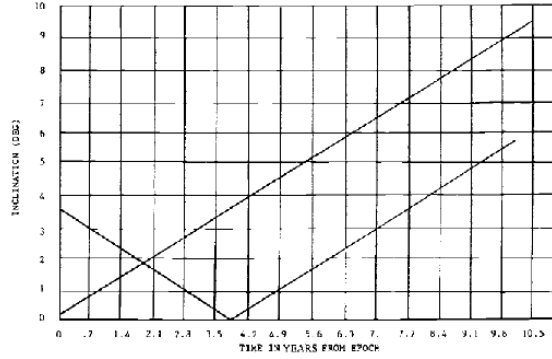
$$\frac{d\Omega}{dt} = \sum_{j=1}^2 \frac{3}{16} \frac{y_j}{\sin i} \left[ \sin 2 i (1 - 3 \cos^2 i_j) + 2 \cos 2 i \sin 2 i_j \cos(\Omega - \Omega_j) + \sin 2 i \sin^2 i_j \cos 2(\Omega - \Omega_j) \right] - \frac{3}{2} j_2 \left( \frac{a_e}{a} \right)^2 n \cos i \quad (21-b)$$

Bu denklemler eğim açısı ile çıkış düğümünün uzun dönemli değişimlerini ve güneş/ay ve  $J_2$  vasıtasıyla eğim açısı ile çıkış düğümünün sağ açıklığı arasındaki eşleşme etkilerini ortaya koymaktadır. Burada,  $\Omega - \Omega_j$  değerinin sıfır ya da 180 olduğu durumlarda eğimdeki kaymanın sıfır olacağını vurgulamak gerekir.  $\Omega - \Omega_j$  değerinin 180'den küçük olduğu durumlarda kayma pozitif ve eğim giderek azalır. Bir örnek olarak, GPS/NAVSTAR uydularına ilişkin yörüngelerin eğim açılarının uzun dönemli değişimlerinin alt ve üst sınırları yukarıdaki denklemler yardımıyla elde edilebilir. Şekil 11, farklı başlangıç düğüm açıları ( $\Omega_0 = 25,265$  ve  $145$  derece) için GPS yörüngelerinin 10 yıllık tarihçesini göstermektedir. Semboller (kare, üçgen ve içi dolu daireler) Denk.(10.22) ifadeleri ile hesaplanan tahminleri göstermektedir. Görüldüğü üzere, uydu için seçilen yörünge özellikleri durumunda ( $\Omega_0 = 265$  derece) hesaplamaların başladığı andaki  $55^\circ$  lik değerden maksimum sapma en çok  $1^\circ$  civarında kalmıştır. Bir diğer örnek yer eş zamanlı bir uydunun başlangıç eğim açısı ile başlangıç çıkış düğümü açısının belirlenmesidir. Şekil 10.18 yer eş zamanlı iki uydunun eğim açılarının uzun dönemli tarihçesini göstermektedir. Bunlarda biri  $0^\circ$  lik başlangıç değerinden başlayarak 10 yıl sonunda doğrusal olarak artarak  $9.5$  derece değerine ulaşmıştır. Bu tarz değişimler uydu görev tasarımcıları tarafından arzu edilmez çünkü beş yıl içerisinde yaklaşık

olarak 5 derecelik bir değişim ortaya çıkmaktadır. Şekil 10.19'daki ikinci eğri, 3,5 derecelik eğim açısı ve 270 derecelik düğüm açısı başlangıç değerleriyle başlamaktadır. Denklem 22'nin temelinde eğim açısı bir süre negatif eğim açısı ile devam ederek 3,5 yıl sonunda sıfır değerine ulaşmaktadır. Çok geçmeden düğüm açısı da sıfır değerinden geçer ve böylece eğim açısının değişim eğimi Şekil 11'de gösterildiği gibi işaret değiştirir. Sonuç olarak yer eş zamanlı uydusunun eğim açısı uydular için ortalama görev süresi olan 7,7 yıl içerisinde 3,5 derecenin altında kalmış olur. Böylece, 7,7 yıllık bu süre zarfında eğim açısı için herhangi bir manevraya gerek kalmamıő olur.



Şekil 11 Farklı başlangıç açılara göre eğim değişimi

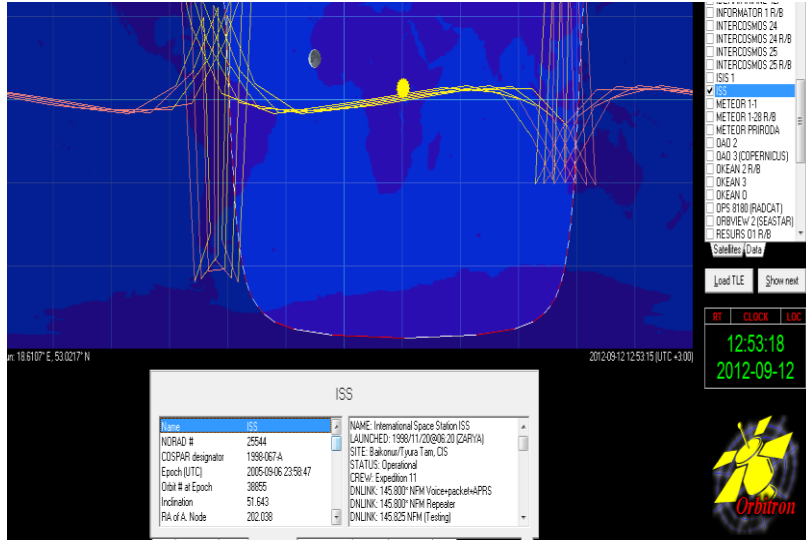


Şekil 12 Yer-eş zamanlı iki uydunun eğim değişimi

### Cowell Matlab Uygulamaları

Çalışmanın önceki bölümünde yörüngeleri tedirgin eden faktörlerin teorik ve numerik analizi yapılmıştır. Buradan yola çıkarak bu bölümde, Matlab ortamında Cowell metodu kullanarak yörünge parametrelerinin değişiminin hesaplanması üzerine örneklere yer verilecektir. Uyduların hesaplamalardaki kullanılmak üzere güncel yörünge parametreleri Orbitron programıyla elde edilmiştir.





Şekil 13 Konum-teğet vektörleri ile ISS'nin yörüngesi

Şekilde 13 'de görüldüğü gibi TLE verilerini kullanarak ISS'nin 12.09.2012 12:53:18 tarihine ilişkin yörünge bilgilerine ulaştık. Bundan sonraki adım olarak edindiğimiz anlık yörünge parametrelerini Matlab' ta kullanacağımız Cowell yöntemine uygulamak olacaktır. Kodları çalıştırıp, TLE verilerinden elde ettiğimiz yörünge bilgilerini programın gerektirdiği başlangıç konum bilgileri olarak girip işlemin sonucunda elde edilen yörünge parametrelerini Tablo 1'de görebiliriz. Buradaki gözlem süresi 30 gün olarak belirlenmiştir ve etki faktörleri, yerin tam küre olmayışı, atmosferik sürüklenme, ışınım basıncı ve ay-güneş etkisinden kaynaklanan çekim kuvvetleri göz önüne alınarak 30 gün sonunda uydunun yörünge bilgileri  $10^{-8}$  duyarlılıkla sonuçla Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 ISS 12.09.2012'den ve 15.09.2012 zaman aralığı arasındaki yörünge parametreleri değişimi

```

program cowell1

< Earth orbital motion - Cowell's method >

initial calendar date      12-Sep-2012
initial universal time     12:53:18.000

final calendar date       15-Sep-2012
final universal time      12:53:18.000

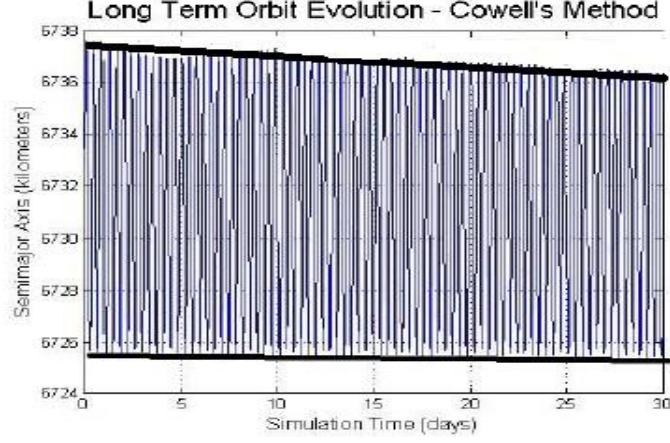
      sma (km)      eccentricity      inclination (deg)      argper (deg)
+6.73647997829673e+003 +8.75154940165977e-004 +5.16665522650309e+001 +2.08051712566544e+002

      raan (deg)      true anomaly (deg)      arglat (deg)      period (min)
+1.86708005786011e+002 +3.49601026484936e+002 +1.97652739051481e+002 +9.17084314079962e+001

degree of gravity model   2
order of gravity model    2

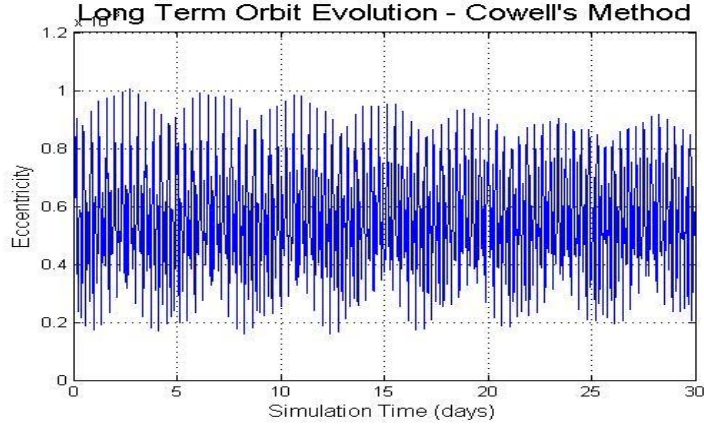
simulation includes solar perturbations
simulation includes lunar perturbations
simulation includes drag perturbations

```



Şekil 14 ISS uydusunun yarı-büyük eksen uzunluğunun değişimi

ISS uydusunun yarı-büyük eksen uzunluğunun zamanla aşamalı olarak azaldığını görüyoruz. Bu sonuç bize doğrudan atmosferik sürüklenmeye götürüyor. Çünkü atmosferik sürüklenme korunumsuz bir etkidir. Yani uydu bu etkiye maruz kaldığında enerjini kaybedecek ve irtifasında azalmalar gözlenecektir. Atmosferik sürüklenmenin etkisinin görüldüğü diğer bir parametre ise dış merkezliktir. Elips yörüngede alçak irtifada (<1000) bir uyduyu göz önüne alırsak, yörüngesinde hareketi sırasında atmosferdeki moleküller sebebiyle harekete zıt yönlü bir kuvvet ortaya çıkacak, bu kuvvet enberi noktasında en fazla, en öte noktasında en zayıf olacaktır. Bu sürüklenme elips yörüngesinin zamanla çember olması sonucunu doğurur.



Şekil 15 ISS uydusunun dış merkezliğinin değişimi

Konik tanımından yola çıkarak bir yörüngesinin elips olabilmesi için dış merkezliğin ( $e$ ) 0 ile 1 arasında bir değere sahip olması gerekir. Yörüngesinin şekli dış merkezlik ( $e$ ) 0'a yaklaştıkça çembere, 1'e yaklaştıkça kritik eğimli yörüngeye benzecektir.

Tablo 2 Türksat -2A uydusunun simülasyon süresi boyunca yörünge değişimi

```
program cowell1

< Earth orbital motion - Cowell's method >

initial calendar date      15-Sep-2012
initial universal time     15:17:40.000

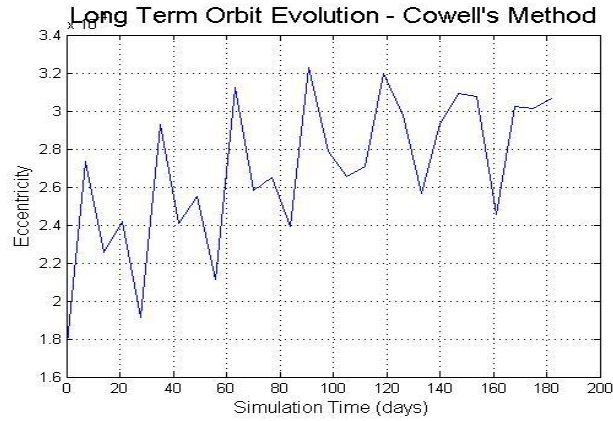
final calendar date       16-Mar-2013
final universal time      15:17:40.000

      sma (km)      eccentricity      inclination (deg)      argper (deg)
+4.21496747129744e+004 +3.06738118143930e-004 +3.94497320652629e-001 +9.20298381624150e+001

      raan (deg)      true anomaly (deg)      arglat (deg)      period (min)
+8.07032281116997e+001 +6.83412930493258e+001 +1.60371131211741e+002 +1.43532771657954e+003

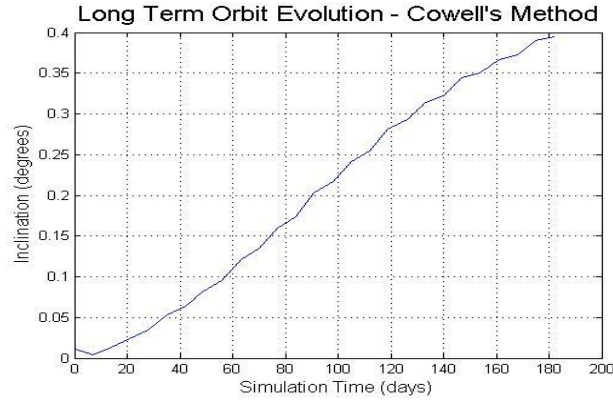
degree of gravity model   2
order of gravity model    2

simulation includes solar perturbations
simulation includes lunar perturbations
simulation includes srp perturbations
```



Şekil 16 Türksat 2A Dışmerkezlik değişimi

Türksat-2A uydusunun dış merkezliğine bakıldığında bu değer in yakın yani, olduğunu yani hemen hemen çember yörünge olduğunu görmekteyiz. Fakat bir Cowell metodu ile bir yıllık zaman dilimi içerisinde herhangi bir müdahale yapılmadan dış merkezlik değerinin zamanla arttığını dolayısıyla elips yörünge şekline yaklaşıyor olduğunu görürüz. Bu değişim temel nedeni ışınım basıncıdır. Uydu yönelimini güneşe doğru yaptığında güneşten uydu yüzeyine çarpan ışınlar parçacık özelliği gösterir ve harekete zıt yönlü bir kuvvet oluşturur bunun aksine yönelimini zıt yönde yaptığında ışınım kuvveti de uydu ile aynı yönlü olur ve uydunun ivmelenmesini sağlar. Yörünge üzerindeki en büyük hız ve en küçük hızların olduğu noktalar sırasıyla perige (enberi) ve apoge (enöte) noktalarıdır. Fakat göz ardı edilmemesi gereken önemli bir husus uydu yörüngesinin altı ayını bir aralıkta geçiriyorsa diğer altı ayında bu aralığın güneşe göre simetrisi olan bir aralıkta geçirecektir. Buna bağlı olarak uydu, ışınım basıncı etkisiyle enberi noktasında negatif ivmelenmeye, enöte noktasında da pozitif ivmelenmeye maruz kalarak tekrar çember yörünge şeklini alacaktır.



Şekil 17 3. Cisim etkisinden kaynaklanan tedirginlik

Grafikten anlaşılacağı üzere Türksat-2A uydusunun eğiminin zamanla değiştiği görülmüyor. Bu değişimin gerçekleşmesinin nedeni güneş/ay'ın (3. cisim) uyguladığı çekim kuvvetinden kaynaklanan tedirginliktir. Yer-eş zamanlı uydulara doğru irtifa arttıkça yerin tam küre olmayışından kaynaklanan veya atmosferik sürüklenmeden kaynaklanan bozulmalar görülmeyecektir. Bunların yerini ışınım basıncı ve çekimsel tedirginlik alacaktır. Grafikteki değeri incelediğimizde yılda yaklaşık bir derecelik bir eğim artışı söz konusudur. Tam bir salınımı göz önüne alırsak bu artış 17 yılda 15 dereceye yani maksimum değerine ulaşacaktır. Bu salınım yaklaşık 27 yıl sürecektir. Yani sıfır derece eğime sahip bir uydu yaklaşık 27 yılda 15 derelik bir eğimi tarar ve tekrar 0 değerine ulaşır.  $\Delta V$  manevraları, oldukça maliyetli olduğundan bu etkiyi manevralar kullanmadan göz ardı edebilmek için eğim ve çıkış düğümünün sağ açıklığı uydunun ömrü göz önüne alınacak şekilde seçilmiş olmalıdır. Örneğin başlangıçtaki eğimi 3,5 derece seçilen bir yörünge için eğim zamanla sıfıra yaklaşır sonra tekrar başlangıçtaki değerine ulaşır. Bu salınım süresi uydunun ömrüne eşit olduğunda herhangi bir konum düzeltmesi yapmadan bu tedirginlik giderilmiş olur.

## Sonuçlar

Düşük irtifadaki uydular için başlıca tedirginlik unsurları atmosferik sürüklenme ve yerin tam küre yapıda olmayışındır. Basit alçak yörünge çözümleri için diğer tedirginlik unsurları (3. cisim, ışınım basıncı vb) göz ardı edilebilir. Tedirginlik çeşitliliği bakımından en fazla etkilenen uydular orta irtifadakilere aittir. Işınım basıncı ve 3. cisim etkisi yer eş zamanlı uydular için en önemli tedirginlik unsurlarıdır. Tedirginlik etkileri ne kadar göz önüne alınırsa alınsın hata payı hiçbir zaman sıfır olamaz. Atmosferik sürüklenme uydular için korunumsuz bir tedirginliktir; 1000 km'nin altındaki uydular itki kuvvetleriyle sürüklenmeden dolayı kaybettiği enerji kazandırılması gerekir. Aksi halde zamanla irtifasının azalarak yere çakılması kaçınılmazdır. Gönderilecek herhangi bir yer eş zamanlı uydu için yörünge eğimi, uydunun ömrüne göre tasarlandığı takdirde uzun dönemli değişimler için kullanılacak  $\Delta V$  konum düzeltmelerinden tasarruf edilebilir. Yörünge eğimi ve bu eğime bağlı diğer parametrelerin tedirginliğinden güneş ve ayın uyguladığı çekim kuvveti etkileri sorumludur. Işınım basıncı etkisi yörünge dış merkezliği üzerinde oldukça önemli bir faktördür. Gelgit etkileri ve gezegenlerin birbirlerine göre konumları yapay uydular için ciddi bir tedirginlik unsuru oluşturmaz. Yerin tam küre olmayışından kaynaklanan tedirginlikler düşük irtifadan orta irtifaya gidildikçe önemini yitirir.

## Kaynaklar

- 1) Vallado, D. A. (2007). *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*. Microcosm Press.
- 2) Curtis, H. D. (2013). *Orbital Mechanics for Engineering Students*. Elsevier.
- 3) Battin, R. H. (1999). *An Introduction to the Mathematics and Methods of Astrodynamics*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- 4) Prussing, J. E., & Conway, B. A. (1993). *Orbital Mechanics*. Oxford University Press.
- 5) Bate, R. R., Mueller, D. D., & White, J. E. (1971). *Fundamentals of Astrodynamics*. Dover Publications.
- 6) Chobotov, V. A. (2002). *Orbital Mechanics* (3rd ed.). AIAA.
- 7) David, P. (2010). *Analytical Mechanics of Space Systems* (2nd ed.). American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- 8) Prussing, J. E., & Tapley, B. D. (2003). AAS-92-049 Lecture Notes on Astrodynamics: The Motion of Artificial Satellites. University of Texas at Austin.
- 9) Miele, A., & Mancuso, S. (1972). Optimal Low-Thrust Orbital Transfers. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 10(6), 434-460.
- 10) Wisdom, J. (1985). The Restricted Three-Body Problem: Analytical and Computational Methods. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 36(4), 393-401.
- 11) Battin, R. H. (1965). A Universal Formulation of the Kepler Problem. *The Astronomical Journal*, 70, 360-363.
- 12) Deprit, A., & Rom, A. (1985). The Gauss Equations and the Computation of the N-Body Problem. *Celestial Mechanics*, 37(4), 387-410.
- 13) Brouwer, D., & Clemence, G. M. (1961). *Methods of Celestial Mechanics*. Academic Press.
- 14) Danby, J. M. A. (1992). *Fundamentals of Celestial Mechanics* (2nd ed.). Willmann-Bell.
- 15) Howell, K. C. (1984). Three-Dimensional, Periodic, Planar, Elliptic Three-Body Solutions. *Celestial Mechanics*, 32(1), 53-62.
- 16) Izzo, D., & Miele, A. (2007). Introduction to the Optimal Control of the Keplerian Problem. In *Optimal Trajectories in Atmospheric Flight* (pp. 249-276). Springer.
- 17) Valtonen, M. J., Mikkola, S., & Innanen, K. A. (2006). *Stability of Orbits in Three-Body Systems*. Cambridge University Press.
- 18) Russell, R. P. (1977). An Introduction to the N-Body Problem. *Celestial Mechanics*, 16(3), 285-313.
- 19) Sidi, M. J. (2001). *Spacecraft Dynamics and Control: A Practical Engineering Approach*. Cambridge University Press.
- 20) Yaşar, H. & Eronat, A. H. (2023). Ground Deformation Control In Ankara Batıkent Mesa Region: Metro Line Control . *International Journal of Environment and Geoinformatics* , 10 (3) , 86-92 . DOI: 10.30897/ijegeo.1209886

21) Yaşar, H. & Eronat, A. H. (2023). Monitoring the Ground Deformation Caused by Ankara M4 Subway Tunnel with SAR Images . International Journal of Environment and Geoinformatics , 10 (2) , 145-150 . DOI: 10.30897/ijegeo.1209420

## Ekler

% Orbital Mechanics with Matlab, 2023

```
clear all;

global dtr flat req mu smu mmu aunit omega j2 lgrav mgrav jdate0 gst0 isun imoon idrag isrp;
om_constants;

dsun = 696000;
dmoon = 1738;
ps = 0.00456;
atr = dtr / 3600;
rkcoef = 1;
neq = 6;
[ccoef, scoef] = readegm('egm96.dat');
j2 = -ccoef(3, 1);
if strcmp(gmfile, 'egm96.dat')
    mu = 398600.4415;
    req = 6378.1363;
    omega = 7.292115e-5;
end

clc; home;
fprintf('\nprogram cowell1\n< Earth orbital motion - Cowell''s method >\n');
fprintf('\ninitial calendar date and time\n');
[month, day, year] = getdate;
[uthr, utmin, utsec] = gettime;

while 1
    fprintf('\nplease input the simulation period (days)\n');
    ndays = input('? ');
    if ndays > 0, break; end
end

while 1
    fprintf('\nplease input the algorithm error tolerance (recommended between 1.0e-8 and 1.0e-12)\n');
    tetol = input('? ');
    if tetol > 0, break; end
end
```

```

fprintf('\n\ngravity model inputs \n');
lgrav = input('please input the degree of the gravity model (zonals): ');
mgrav = input('please input the order of the gravity model (tesserals): ');

isun = input('include solar perturbations? (y/n): ', 's') == 'y';
imoon = input('include lunar perturbations? (y/n): ', 's') == 'y';
idrag = input('include drag perturbations? (y/n): ', 's') == 'y';
isrp = input('include srp perturbations? (y/n): ', 's') == 'y';

if idrag
    [fid, ad76] = read76;
    cd = input('please input the drag coefficient (non-dimensional): ');
    areadrag = input('please input the cross-sectional area (square meters): ');
    scmass = input('please input the spacecraft mass (kilograms): ');
    bcoeff = 1.0e-6 * areadrag * cd / scmass;
end

if isrp
    reflect = input('please input the reflectivity constant (non-dimensional): ');
    areasrp = input('please input the cross-sectional area (square meters): ');
    scmass = input('please input the spacecraft mass (kilograms): ');
    csrps = 0.000001 * reflect * ps * aunit^2 * areasrp / scmass;
end

fprintf('\n\nplease wait, computing data ... \n\n');
[ri, vi] = orb2eci(mu, getoe([1;1;1;1;1;1]));
yi = [ri; vi];
jdate0 = julian(month, day, year) + uthr / 24 + utmin / 1440 + utsec / 86400;
gst0 = gast1(jdate0);
ti = -60; % initial time (set to -60 to avoid the initial point)
npts = 0;

while 1
    h = 30;
    if ti >= 0, ti = 0; end
    tf = ti + 60; % time step
    yfinal = rkf78('ceqm1', neq, ti, tf, h, tetol, yi);

    if npts == 0 || ti >= 0
        npts = npts + 1;
    end
end

```

```

        tf = tf - ti;
        yi = yfinal;
    else
        % Break the loop when the simulation completes
        break;
    end
end

for i = 1:3
    rf(i) = yfinal(i);
    vf(i) = yfinal(i + 3);
end

oev2 = eci2orb1(mu, rf, vf);

[cdstr0, utstr0] = jd2str(jdate0);
jdatef = jdate0 + tf / 86400;
[cdstrf, utstrf] = jd2str(jdatef);

fprintf('\nprogram cowell\n< Earth orbital motion - Cowell''s method >\n');
fprintf('\ninitial calendar date      %s\n', cdstr0);
fprintf('initial universal time      %s\n', utstr0);
fprintf('\ninitial orbital elements and state vector\n');
oeprint1(mu, getoe([1;1;1;1;1;1]));
svprint(ri, vi);
fprintf('\nfinal calendar date      %s\n', cdstrf);
fprintf('final universal time      %s\n', utstrf);
fprintf('\nfinal orbital elements and state vector\n');
oeprint1(mu, oev2);
svprint(rf, vf);

fprintf('\ndeegree of gravity model    %2i\n', lgrav);
fprintf('order of gravity model    %2i\n', mgrav);
if isun, fprintf('simulation includes solar perturbations\n'); end
if imoon, fprintf('simulation includes lunar perturbations\n'); end
if idrag, fprintf('simulation includes drag perturbations\n'); end
if isrp, fprintf('simulation includes srp perturbations\n'); end

fprintf('\n');

```



# Türkiye’de Helal Gıda Sertifikasyon Faaliyetlerinde Bulunan Kuruluşların Çalışma Prensiplerinin Karşılaştırılması

Savaş FINDIK<sup>1</sup>  
Halime PEHLİVANOĞLU<sup>2</sup>

## Giriş

Helal gıda; söz konusu gıdanın tohumdan çatala kadar olan tüm girdi ve proses basamaklarının temizlik ve sağlık kuralları yanında, şer’i olarak da İslam dinine uygunluğunu ifade eder. Helal gıda sertifikalandırması ise; bu tanım çerçevesinde üretilen ürünleri belgelendiren bir gıda kalite kontrol sistemini ifade etmektedir (Yetim ve Türker, 2020; Boran, 2019; Çayıroğlu, 2014; Özdemir ve Yaylı, 2014; Fındık, 2013; Batu, 2012; Büyükozer, 2012).

Helal gıda kuralları, Kuran-ı Kerim’de geçen bazı ayetler ve Peygamber Efendimizin (s.a.v.) sünneti ve hadisleri temel alınarak oluşturulmuştur. Kuran-ı Kerim ve hadislerde belirtilen yasaklanmış gıdaların dışında Allah’ın verdiği tüm nimetler helal olarak kabul edilmektedir (Güneş ve Yetim,2020). Helal Sertifikalandırmada ana sınır çizgileri olarak görülen haramlar Kur’an-ı Kerim’de beş ana grup adı altında toplanır:

- 1) Leş/Meyte (kendiliğinden ölen hayvanı),
- 2) Kan,
- 3) Domuz eti,
- 4) Allah’tan başkası adına kesilenler,
- 5) Şarap (Sarhoşluk veren her türlü İçki) (Özdemir, 2009).

Helal sertifikalandırma İslam dinine inanan Müslümanları kapsar; ancak standartlarının özellikle tüketici sağlık bakışındaki hassasiyet nedeniyle diğer din mensupları da helal sertifikalı ürünleri kullanabilmekte olduğu bilinmektedir. Helal sertifikalandırma inanç sistemini baz alan Koşer Sertifikası ile bu yönden ortak nokta olarak kabul edilebilir. Helal ve Koşer Sertifikalandırma sistemleri standartlar olarak yine birçok noktada farklılığa sahip olduğu bilinmektedir(Yetim ve Türker 2020; Çayıroğlu 2014; Büyükozer, 2012) .

Dolayısı ile yiyecek ve içeceklerin helal ve sağlıklı olması konusunda ki tüketici hassasiyetleri de sertifikalandırma işleminin önemini artırmıştır. Ülkemizde helal gıda ile ilgili meraklar 1970’li yıllarda margarin ile gündeme gelmiştir. Ayrıca dini hassasiyeti olan kişiler günlük et ihtiyaçlarını dernekler ve vakıflar aracılığı ile çözmeye çalışmış olup, bu konudaki önem zamanla kendini belgelendirme adı altında toplayarak özel ve kamu nezdinde birçok kurumu oluşturmuştur (Batu,2012a). Helal gıda ile ilgili tüketici hassasiyetleri her geçen gün artmaktadır. Tüketicilerin gıda maddesi satın alırken dikkat ettikleri özellikler arasında ilk sırada % 72,1 oranında ‘‘dini ihtiyaçlara uygun olup olmadığı’’ konusu gelmektedir (Güzel, 2015).

Helal gıda ile ilgili çalışmaların geçmişi 1960’lı yıllara dayandığı, 1963 yılında ABD’de çalışmalara başlayan ISNA(Islamic Society of North America) isimli kuruluşun ilk helal standart çalışmasını yaptığı ifade edilmektedir. Bunun yanında Malezya ve Endonezya ülkeleri de bu

<sup>1</sup> Orcid : 0000-0002-9676-1298, Gıda Güvenliği Şefi. Aydın Kuruyemiş San ve Tic A.Ş., savas\_fndk@hotmail.com

<sup>2</sup> Orcid :0000-0003-3138-9568, Assist. Prof., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, hpehlivanoglu@nku.edu.tr

konuda ciddi çalışmalar yaparak devlet desteği ile helal gıda sertifikalandırma çalışmaları daha da önemli bir hal almıştır (Yetim ve Türker, 2020; Fındık, 2019; Yalçın, 2019; Köseoğlu, 2014). Helal sertifikalandırma kuruluşlarında standartlar oluşturulurken iki kurul oluşturulmaktadır. Bunlardan bir tanesi fıkıh kurulu, diğeri ise bilim kuruludur. Fıkıh kurulu günümüzde birçok yeni üretim teknolojisi ve metodolojisini tüm girdi ve çıktılarını inceleyerek 4 basamaklı fetva yolunu takip ederek üretilen ürün hakkında hüküm(fetva) vermektedirler. Kurulun verdiği karara göre ürüne helal sertifikası verilebilmekte ya da verilmemektedir. Bu durum aynı zamanda sertifikalandırma kurumlarının standart farklılıklarını etkileyen bir maddedir.

2020 yılı itibariyle Dünya’da 1500’ün üzerinde Türkiye’de ise 60 civarında, helal sertifikalandırma kuruluşunun olduğu tahmin edilmektedir (Yetim, 2019). Ancak bu kurumların sertifikalandırma standart ve işlemleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bazı kurum ve kuruluşlar özellikle gıda katkı maddeleri ve çözügen olarak kullanılan çözücülerde Türk Gıda Kodeksindeki limit değerleri esas alırken bazı kuruluşlar bunları şüpheli kategorisinde değerlendirmektedir. Bu konu ile ilgili yapılan bir çalıştay da tüketiciler ve firmaların Müslüman olmayan kuruluşların helal sertifikalandırma sistemine müdahil olmasından, sertifikalandırma çalışmalarında yüksek meblaların talep edilmesinden duydukları rahatsızlıkları ifade etmişlerdir. Ayrıca helal sertifikalandırma kurumlarının kefalet sistemini algılayamadıklarını ve gereklilikleri sağlayamadıklarını, yetmiş helal denetçi ve kabul olmuş ortak helal standart eksikliğini belirterek, HAK kurumundan daha fazla beklentileri olduğunu ve kurumun etkinliğini artırması gerektiğini bildirmişlerdir (İZU,2021).

Günümüze kadar yapılan birçok araştırmada helal gıdalardan teorik olarak bahsedilirken, helal gıdanın sadece fıkhi yönlerine genel olarak değinilmekle yetinilmiştir. Bununla birlikte mezhepler açısından helal, haram gıdalar, helal sertifikalandırma sisteminde yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri, ürün bazlı kullanılan gıda katkı ve yardımcı malzemelerindeki helallik riskleri, tüketicilerin helal sertifikalandırmaya eğilimleri gibi konulara değinilmiştir (Türker, 2020; Gültekin vd., 2020; Arslan, 2018; Boran, 2016; Köseoğlu, 2014; Batu, 2012a; Kahraman, 2011).

Bu araştırmada, ülkemizde ve dünyada akredite olarak helal gıda sertifikası veren kuruluşlar, bu kuruluşlara ait standartlar, bazı kuruluşlar arasındaki farklılıklar ile, Türk Standartları Enstitüsü ve özel bir kuruluş olarak ülkemizde ilk ve en fazla helal sertifikalandırma yapan GİMDES’in helal standartları örnek olarak incelenmiş ve aralarında bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmamızda incelenen bu iki kuruluş arasında, helal uygunluk belgesi düzenlenme prosedürü ve standartları bakımından önemli farklılıkların bulunduğu ve benzer şekilde bu tür farklılıkların muhtemelen diğer sertifika kuruluşlarında da bulunmasına rağmen bilgi paylaşımı olmaması nedeniyle bunların neler olduğu çalışmada tespit edilememiştir.

## **2. Helal Gıda Sertifikasyonu Veren Kurumlar**

Helal Güvence Sistemi, üretilen ürünün hammaddeden son tüketiciye ulaşıncaya kadar olan tüm aşamalarında helal sertifikalandırma açısından herhangi bir risk oluşturmayarak, ürünün son tüketiciye ulaştırılması için gerekli tüm tedbirlerin helal ve tayyib kavramlarına göre alınarak, üretimin sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla kurulmuş olan sistemin adıdır. Bu hizmeti veren birçok kurum bulunmaktadır.

### **2.1.Helal Gıda Sertifikalandırmasının Genel Özellikleri**

Helal gıda ile ilgili çalışmaların geçmişi 1960’lı yıllara dayandığı, 1963 yılında ABD’de çalışmaya başlayan ISNA (Islamic Society of North America) isimli kuruluşun ilk helal standart çalışmasını yaptığı ifade edilmektedir. Bunun yanında Malezya ve Endonezya ülkeleri de bu konuda ciddi çalışmalar yaparak devlet desteği ile helal gıda sertifikalandırma çalışmaları daha da önemli bir hal almıştır (Yetim ve Türker, 2020; Fındık, 2019; Yalçın, 2019; Köseoğlu, 2014).

Türkiye’de helal gıda sertifikalandırma ile ilgili çalışmaların ilki 2005 yılında GİMDES ile başlamış olup, farklı dernek ve sivil toplum kuruluşlarının oluşturduğu kuruluşlar haricinde, 2011 yılında devlet destekli TSE helal sertifikalandırma vermesi ile resmi bir kimlik ortaya çıkmıştır. Günümüzde ise Türkiye’de 60 civarında, dünyada ise 1500’ün üzerinde helal sertifikalandırma kuruluşunun olduğu tahmin edilmektedir (Yetim, 2019).

Helal Sertifikalandırma kuruluşu, sertifika almak isteyen üretici ile helal ürün tüketmek isteyen tüketici arasında aracı bir kurumdur. Bu özelliği nedeniyle kefil olma konumuna geçer. Kefil olan kişi, kefil olduğu kişinin tüm haklarına herhangi bir olumsuzluk durumunda sorumlu olmalıdır. Bu özelliğe istinaden, helal sertifikalandırma işlemini yapan kuruluş çok dikkatli ve İslami kurallara uygun standartlar ile helal sertifikalandırma işlemini gerçekleştirmesi gerekmektedir (Büyüközer, 2013).

## **2.2. Helal Gıda Sertifikalandırma Sistemi ile Diğer Yönetim Sistemlerinin Karşılaştırılması**

**Helal Gıda Sertifikalandırma sistemin diğer yönetim sistemi ile bazı ortak yönleri vardır. Bunlar:**

- Belirli süreli sertifika verilir, ara denetimler vardır.
- Yönetim taahhüdü gereklilik olarak görülür ve sözleşme yapılır.
- İnsan sağlığı önemsenir ve bir sistematik çerçevesinde önlemler alınır. Tüketici sağlığının korunması esas alınır. Temizlik sonrası kimyasal ya da ürün kalıntısı istenmez.
- Tüm çalışanların katılımı gerekmektedir.
- Yasal izin belgeleri olan kayıt/onay belgesinin alınması, izlenebilirlik sisteminin olması, tesis yerleşim planı ve personellerinin sağlıklı ürün üretimi için gerekli olan temizlik şartlarını yerine getirmesi beklenmektedir.
- Ön Gereklilikler (işletmenin temizliği, alt yapı, cihaz bakımı ve kalibrasyonlar, pest kontrol yönetimi, ürüne fiziksel bulaşma ihtimali olan yerlerin kontrolü, kesici alet, cam, sert, malzeme kontrolleri vb.) ve GMP kuralları uygulanması talep edilir.
- DÖF sistemi kontrol edilir, Müşteri Şikâyetleri değerlendirilmesi beklenir, alınan aksiyonlar incelenir.
- Talimatlar, Planlar, Görev tanımları hazırlanır ve diğer uygulamalar denetimlerde kontrol edilir.

Helal Sertifikalandırma sisteminin diğer kalite sistemleri ile farklı yönleri, BRC V8, IFS V7, ISO 9001:2015, ISO 22000:2018 Standartları ile GİMDES ve TSE Helal Standartları kıyaslanarak Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Helal Sertifikalandırma Sistemi-Kalite Sistemleri Karşılaştırması

	Helal Sertifikalandırma Sistemi	Diğer Kalite Sistemleri
Farklı Yönler	Standart maddeleri Allah(c.c.) emir ve yasakları, Fetva kaynakları( <i>Kur'an, Sünnet, İcma ve Kıyas</i> ) dikkate alınarak oluşturulur.	Standart maddeleri yasal oteriteler, mevcut bilimsel veriler, müşteri talep ve şikayetleri değerlendirilerek oluşturulur.
	Helal ve Haram kavramları ve kapsamaları, helal kesim şartları, alkol kullanımındaki yasaklar vb.	Bu tarz kavramlar bulunmamaktadır.
	Ürünün tüm girdi ve yardımcı maddeleri kaynak ve elde edilmiş yöntemi açısından İslam dini kurallarına göre incelenir	Üretim yeri, menşei kavramları sorgulanmaktadır. Kaynak itibarıyla sorgulama sadece ISO 22000:2018 yeni versiyonda mevcut.
	İç Helal Koordinatörü, Kefalet Sistemi, Helal El Kitabı	Kalite Yönetim Temsilcisi, Kalite El Kitabı
	Ara denetimler habersiz denetim yapılmaktadır.	Ara denetimler haberli yapılmakta ve yılda 1 denetim dışında ek denetim yapılmamaktadır.
	Sertifikalandırma kuruluşunun kamera sistemi ile izleme talebi vardır.	Sertifikalandırma kuruluşu tarafından izlenmesi gerekliliği yoktur.

**Kaynak:** BRC V8,2018; IFS V7,2003;TSE,2015; TSE,2018; GİMDES,2011a; TSE, 2019a

### 2.3.Helal Gıda Sertifikalandırma Kuruluşları

Helal sertifikalandırma sistemine olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Dünyada helal sertifikalandırma çalışmaları Türkiye'deki helal sertifikalandırma çalışmalarından çok daha önce başlamıştır(Türker, 2020; Batu, 2012b). Bunun ana sebebinin Ülkemizin Müslüman bir ülke, üreticilerimizin de Müslüman olması ve Müslüman bir üreticiden alınan bir üründe şüpheli ya da haram içerikli bir ürün satılmayacağı yani güven duygusu olduğu düşünülmektedir. Ancak dünyanın zamanla küçük bir kasaba haline gelmesi, üretimde kullanılan maddelerin yurt dışı ağırlıklı olması ve herkesin istediği ürüne kısa bir sürede sahip olabilmesi vb. nedenler helal gıdanın önemini arttırmıştır.

Dünyada helal sertifikalandırmayı gerekli kılan ve geliştiren bir diğer nokta ise gayrimüslim ülkelerde Müslüman işçilerin sayısının artması ve Yahudilerin 1920'li yıllardan beri kendi inançlarına uygun Koşer sertifikalı ürünleri çok rahatça bulabildiklerinin, Müslümanlar tarafından gözlenerek arz talep mekanizmasının oluşmasıdır. Bununla birlikte üretim zincirindeki birçok girdi ve yardımcı malzemenin Müslüman olmayan ülkelere temin edilmesi konusu da helal gıda sertifikalandırma gerekliliğini daha da elzem hale getirmektedir (Boran, 2016; Batu 2012b).

Dünyada ilk helal sertifikalandırma çalışma örneğinin 1960'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde bazı İslami gruplar tarafından gerçekleştirildiği, 1963 yılında ABD'de çalışmalara başlayan ISNA (Islamic Society of North America) isimli kuruluşun ilk helal standart çalışmasını yaptığı, 1970'li yıllarda helal sertifikalandırma çalışmalarını ülke düzeyinde ilk başlatan ülkenin Malezya hükümeti olduğu bilinmektedir. Malezya'yı bu çalışmalara iten ana etkenin özellikle gıda sektöründe faaliyet gösteren gayrimüslimler olduğu ifade edilmektedir(Yalçın, 2019; Fındık, 2019; Köseoğlu, 2014).

Aşağıda günümüze kadar Dünyada ve Türkiye'de helal sertifikalandırma yapan kuruluşlar ile ilgili bilgiler özetlenmiştir:

## 2.3.1. Dünyada Helal Sertifikalandırma Yapan Kuruluşlar

### 2.3.1.1. JAKIM (Department of Islamic Development Malaysia)

1972 yılında JAKIM (Malezya İslam Kalkınma Bölümü) Malezya’da kurulmuştur. 1998 yılından itibaren İslami kurallara uygun gıdaların sertifikalandırılmasına yönelik ilk belgelendirme işlemlerinin Malezya tarafından yapıldığı bilinmektedir. 2000’li yıllarda Malezya tarafından çıkarılan MS 1500:2004 Helal Standardının sadece helal değil, ISO 9000 gibi üretim standartlarını da içine alan hükümet tarım politikası olarak yayımladığı ifade edilmiştir. 2004 yılında MS 1500:2004 standardı tekrar gözden geçirip yayımlanması ile Malezya Devletinin helal sertifikalandırma yapmak üzere çeşitli ülkelerde bazı kuruluşlara yetki vermeye başladığı ifade edilmektedir. 2009 yılında MS1500:2004 standardı üzerinde bir takım değişiklikler yapılarak ikinci kez revize edilerek MS 1500: 2009 Helal Gıda-Üretim, Hazırlama, Ambalajlama, Depolama-Genel Kılavuzu adıyla, 2019 yılında üçüncü kez revize edilerek MS1500:2019 Helal Gıda-Genel Koşullar halini almıştır (Fındık, 2019; Köseoğlu, 2014).

Malezya’da Devletin desteği ile helal standardının oluşturulması, diğer ülkelerdeki bazı dernek, sivil toplum kuruluşu gibi bireysel yapılanmalar tarafından oluşturulan helal sertifikalandırma yapılarına göre çok daha kuvvetli bir yapıda olmuştur. Devletin farklı kurum ve kuruluşlarında helal standartların geliştirilmesi için kurullar kurulmuştur. Bununla birlikte standartların içine gıda güvenliği konuları da dahil edilerek helal sertifikalandırma sistematığının daha geniş kapsamlı oluşturulması sağlanmıştır. Malezya 2019 yılı başı itibariyle helal endüstrisi için 15 adet helal standart yayınladığı görülmektedir. Bu standartlar Tablo 2’de verilmiştir. Bu standartlar incelendiğinde Malezya’nın devlet desteği ile birlikte helal endüstri anlamında birçok ülkeye göre önde bir ülke olduğu görülmektedir (Fındık, 2019; Batu, 2012a).

*Tablo 2. Malezya Helal Standartları*

MS 1500: 2019	Helal Gıda-Genel Koşullar (Üçüncü Revizyon)
MS 2634: 2019	Helal Kozmetik-Genel Koşullar (Birinci Revizyon)
MS 2200-2: 2012	İslami Tüketim Malları-Bölüm 2: Hayvan kemiğinin, derisinin ve kıllarının kullanımı-Genel Kılavuzu
MS 2424: 2012	Helal İlaçlar-Genel Kılavuzu
MS 1900: 2005	Kalite Yönetim Sistemleri-İslami Açından Gereksinimler
MS 1900: 2014	Şeriata Dayalı Kalite Yönetim Sistemleri-(Birinci Revizyon)
MS 2300: 2009	Değere Dayalı Kalite Yönetim Sistemleri-İslami Açından Gereksinimler
MS 2393: 2013	İslami ve Helal Prensipler-Terminolojiye İlişkin Tanımlar ve Açıklamalar
MS 2400-1:2019	Helal Tedarik Zinciri Yönetim Sistemi-1. Kısım: Nakliye-Genel Koşullar (Birinci Revizyon)
MS 2400-2:2019	Helal Tedarik Zinciri Yönetim Sistemi-2. Kısım: Depolama-Genel Koşullar (Birinci Revizyon)
MS 2400-3:2019	Helal Tedarik Zinciri Yönetim Sistemi-3. Kısım: Perakendecilik-Genel Koşullar (Birinci Revizyon)
MS 2565: 2014	Helal Paketleme-Genel Kılavuz
MS 2594: 2015	İçilebilir Su Arıtma Kullanımı İçin Helal Kimyasallar-Genel Kılavuz
MS 2610: 2015	Konaklama Hizmetleri; Koşullar
MS 2627: 2017	Domuz DNA’sı tespiti, Test Metodu, Gıda ve Gıda Ürünleri

**MS: Malezya Standart**

*Kaynak: Fındık, 2019*

### **2.3.1.2. IFANCA (Islamic Food and Nutrition Council of America)**

1982 yılında IFANCA (Amerika İslami Gıda ve Beslenme Konseyi Helal Endüstriyel Üretim Standartları) kuruluşu Amerika’da kurulmuştur. Standartları 1997’de yayımlanmıştır. Merkezi Chicago, Illinois’ te bulunmaktadır. Ayrıca verdiği sertifikalar Tayland İslami Komite Ofisi, Endonezya Ulema Meclisi (M.U.I.), Singapur Ulema İslam Meclisi (M.U.I.S.), İslam Dünyası Birliği (MWL), Filipinler Helal Birliği ve ABD Tarım Bakanlığı tarafından tanınmaktadır (Şimşek, 2013). 20 ülkede helal sertifikalandırma yaptığı ifade edilmektedir (Eryılmaz, 2021).

### **2.3.1.3. HCS (Halal Certification Services)**

1987 yılında HCS (Helal Sertifika Servisi) İsviçre merkezli olarak kurulmuştur. Avrupa’da faaliyet yürütmektedir. Dünya çapında Müslüman tüketiciler ve helal işletmelerle bağlantı kurma amacını taşıdığı ifade edilmektedir. HCS kuruluşunun LPPOM MUI (Endonezya), JAKIM (Malezya), MUIS (Singapur), CICOT (Tayland), Birleşik Arap Emirlikleri, Suudi Arabistan ve dünyadaki diğer helal sertifika kuruluşları tarafından tanınmakta olduğu ifade edilmektedir (HCS, 2021; Eryılmaz, 2021).

### **2.3.1.4 MUI(Majelis Ulama Indonesia)**

1989 yılında Endonezya Ulema Meclisi bünyesinde Helal Gıda ve İlaç Dairesi kurulmuş ve helal sertifikalandırma çalışmalarına bu tarihten itibaren MUI (Endonezya Ulema Meclisi) kurumu ile başlanılmıştır. Bu çalışmaların temeli 1988 yılında yapılan bir çalışma da jelatin ve benzer gıda bileşenlerinde % 30’ a yakınında domuz tespit edilmesi ile farkındalık oluşmaya başlamıştır. Ardından jelatin bulunan gıda ürünlerinin tüketimini büyük ölçüde azalmıştır. Bununla birlikte 2001 yılında, Endonezya halkı tarafından sevilerek tüketilen ve Japon firması Ajinomoto tarafından üretilen MSG(Mono Sodyum Glutamat) içeriğinde domuz tespit edilmesi üzerine ülkede helal konusundaki farkındalık artmıştır. MUI bünyesinde olan LPPOM (Gıda, İlaç ve Kozmetik Ürünleri Değerlendirme Enstitüsü) tarafından yürütülen helal belgelendirme ve etiketleme uygulaması 2019 yılı itibariyle zorunlu hale getirilmesi öngörülmüş; ancak yasada yapılan değişiklikle 2036’ ya kadar kademeli bir geçiş olacağı ifade edilmiştir. LPPOM tarafından Ocak 2019’da yayımlanan ve MUI tarafından tanınan helal sertifikalandırma kuruluşları listesinde 26 ülkeden 45 helal sertifikalandırma kurumu sertifikasının kabul edildiği görülmektedir (Anonim, 2021a).

### **2.3.1.5.WHC (World Halal Council)**

1999 yılında Dünyadaki helal belgelendirme kuruluşlarının çatı kuruluşu niteliğinde WHC(Dünya Helal Konseyi) Endonezya-Jakarta’da kurulmuştur. Endonezya’da kurulmasının nedeni, Endonezya’nın Dünya da en fazla Müslüman nüfusa sahip ülke olması sebebiyledir. Dünya çapında farklı ülke ve milletleri temsil eden üye kuruluşlar arasında helal belgelendirme ve akreditasyon sürecini standartlaştırmak amacıyla kurulmuştur. Tüzük hazırlık ve onay sürecinin ardından 2005 yılında Güney Amerika Cape Town’da onaylanmıştır. Birkaç yıl süren çalışmalardan sonra ortak bir standart hazırlanmış ve 2007 yılında WHC Helal Standardı tüm üyelerce kabul edilmiştir. O döneme kadar her üye kendi usulüne ve kabulüne göre helal sertifika veriyordu, bu ortak kabul, ortak standart için önemli bir gelişme olarak ifade edilmektedir (Gedikli, 2019). Kurulduğu yıllardan itibaren farklı ülkelerden başkanlıkları seçilen WHC, 2011 yılı Ekim ayı itibariyle Türkiye’de bulunan GİMDES kurumu Başkanı Dr. Hüseyin Kami Büyükozer başkanlığında faaliyetlerini yürütülmektedir. WHC tarafından Nisan 2021 itibariyle 29 kurum tanınmaktadır (Anonim, 2021i).

### 2.3.1.6 WHF (World Halal Foundation)

2006 yılında WHF (Dünya Helal Forumu) Kuala Lumpur'da, Malezya merkezli uluslararası çatı kuruluş niteliğinde kurulmuştur. Birleşmiş milletlerin akredite ettiği bir kurum oluşturarak 'HELAL-ISO' ve helal gıda standardı hazırlamakta olduğu ifade edilmektedir (Batu, 2012b). Uluslararası Helal Entegrasyon Birliği'nin (IHIA), kararıyla helal akreditasyon ve entegrasyon faaliyetlerini sürdürmekte olduğu ifade edilmektedir (Eryılmaz, 2021).

### 2.3.1.7.IHIA(International Halal Integratin Association)

2007 yılında Malezya'da devlet destekli olarak kurulan bir diğer kuruluş Uluslararası Helal Entegrasyon Birliği (IHIA)'dir. Helal sektörüne uyum için standartlar ve düzenlemeler sağlamak amacıyla kurulmuştur. Avrupa, Asya ve Amerika'daki Helal yönetim organları dahil olmak üzere çok sayıda akredite kuruluş ve dünya çapındaki üyelerden oluştuğu ifade edilmektedir (Eryılmaz, 2021).

### 2.3.1.8.SMIIC(The Standards and Metrology Institute for the Islamic Countries)

2010 yılında İslam İşbirliği Teşkilatı (OIC) çatısı altında SMIIIC (İslam Ülkeleri Standardizasyon ve Metroloji Enstitüsü) faaliyetlerine başlamıştır. Helal sertifikalandırmada uluslararası geçerliliği olan akredite tek bir standart oluşturma amacıyla kurulmuştur. SMIIIC 1. Genel Kurul toplantısını 2-3 Ağustos 2010 tarihinde Ankara'da gerçekleştirmiş ve kuruluş resmen faaliyete geçmiştir. SMIIIC Teknik Komitesi tarafından helal gıda belgelendirme alanında, Mayıs 2011'den itibaren yürürlükte olan üç adet OIC/SMIIIC Standardı mevcuttur. Bu standartlar ayrıca Türk Standartları olarak da kabul edilmiştir (Zülküfoğlu vd., 2016). Ardından 2019 yılında yapılan açıklamada yayınlanmış 10 adet OIC/SMIIIC standardı bulunmakta olup 4 tanesi helal alanında geliştirildiği ifade edilmiştir. Bu 4 standart Tablo 3'te verilmiştir (Övüt, 2019).

*Tablo 3. Helal Alanında Geliştirilen OIC/SMIIIC Standartları*

Standart Adı	Kapsamı
OIC/SMIIIC 1: 2019	Helal Gıda Genel Kılavuzu (İkinci Baskı 31-07-2019)
OIC/SMIIIC 2:2019	Helal Belgelendirme Yapan Kuruluşlar İçin Şartlar (İkinci Baskı 22 Temmuz 2019)
OIC/SMIIIC 3	Helal Uygunluk Değerlendirme Kuruluşlarını Akredite Eden Helal Akreditasyon Kuruluşları İçin Şartlar Standartları
OIC/SMIIIC 4: 2018	Helal Kozmetik Ürünleri İçin Kurallar

**OIC:** İslam İşbirliği Teşkilatı, **SMIIIC:** İslam Ülkeleri Standardizasyon ve Metroloji Enstitüsü

*Kaynak: Övüt, 2019*

### 2.3.1.9.GAC(Gulf Cooperation Council)

2013 yılında Körfez Arap Ülkeleri ve Yemen Cumhuriyeti İşbirliği Konseyi'nin altı üye devleti, hükümetlerinin kararıyla GAC (Körfez İşbirliği Teşkilatı Akreditasyon Kurumu) kurulmuştur. Merkez helal sertifikasyonu dahil ilgili standartlara uyan şirketlere akreditasyon ve sertifika vermektedir. Günümüzde GAC tarafından Türkiye'den helal sertifikalandırma için akreditasyon alan bir kuruluş olmadığı, toplamda 55 farklı kuruluşun aktif olarak helal akreditasyona sahip olduğu görülmektedir (GAC, 2021).

### 2.3.1.10.WHA(World Halal Authority)

WHA (Dünya Helal Kurumu), Helal Belgelendirme ve hizmetler ile ilgili uzun yıllarca edindikleri tecrübe sonucunda oluşturulduğu, en fazla akreditasyon ve tanınırlığa sahip bir kuruluş olduğu ifade edilmektedir. Birçok Farklı ülkelerdeki ofisleri çok sayıda uluslararası işbirliği yapan Avrupa bazlı bir kuruluştur. Dünya çapında Endonezya (MUI), Malezya (JAKIM), Brunei, Arap Körfezi ülkeleri, Türkiye (GIMDES), Libya, Fas, Tunus, Irak, Mısır ve diğer Müslüman ülkelerde, ABD, Avrupa, Asya ve Avustralya gibi diğer ülkelerde akreditasyon ve kurum bazlı tanınırlık faaliyetleri yürütmektedir. WHFC, HDC, IHAB, VH üyesidir (WHA, 2021). Dünyada yaygın olarak helal standartları kullanılan bazı Helal Sertifikalandırma Kurumlarının bazı Kriterlerinin Kıyaslaması Tablo 4’de verilmiştir (Şencal, 2021; Latif vd., 2014).

Tablo 4. Helal Sertifikalandırma Kurum Kriterleri Karşılaştırması

Kriter	Sertifika-Akreditasyon Veren Kurum					
	JAKIM	MUIS	MUI	IFANCA	SMIIC	WHC
Temizliği gereklilik olarak görme durumu	E	E	E	E	E	E
Devlet destekli bir kurum olma özelliği	E	H	H	H	E	H
Onaylı tesislerde yalnızca helal ürünler üretilecek, satılacak ve depolanacak	E	E	E	H	H	E
Tesisler ve ekipmanlar, Helal olmayan maddelerle kirletilmemelidir	E	E	E	E	E	E
Helal ürünler için sadece Helal malzemeler kullanılmalıdır	E	E	E	E	E	E
İntoksike edici ve gıda boyası gibi yüksek riskli içerik maddelerinden kaçınılmalıdır	E	E	E	BY	E	E
Sersemletmeye izin verilir	E	E	E	E	E	E
Son üründe bulunmama şartı ile çözücü veya taşıyıcı olarak etilalkole izin verme durumu	H	BY	BY	BY	E	H
Hammaddeler, onaylı bir laboratuvar tarafından rastgele test edilmelidir	E	E	E	BY	E	E

**E:** Evet, **H:**Hayır, **BY:** Bilgi Yok, **JAKIM:** Department of Islamic Development Malaysia, **MUIS:** Majlis Ugama Islam Singapura, **MUI:** Majelis Ulama Indonesia, **IFANCA:** Islamic Food and Nutrition Council of America, **SMIIC:** The Standards and Metrology Institute for the Islamic Countries, **WHC:** World Halal Council

Kaynak: Şencal, 2021; Latif vd., 2014



### 2.3.2. Türkiye'de Helal Sertifika Veren Kuruluşlar

Türkiye'de Helal belgelendirme ile ilgili ilk örnek 1500'lü yıllarda Osmanlı İmparatorluğu döneminde tüketilen gıdaların üzerine 'tahirdir' damgası vurularak 'bu gıdanın tüketilmesinde sakınca yoktur' anlamında kullanıldığı ifade edilmektedir (Batu, 2012b).

Türkiye de yakın geçmişimize kadar helal belgelendirmesinin gerekliliği uygun karşılanmıyordu. Özellikle Türkiye'den farklı ülkelere ihracat yapacak olan firmalar müftülükten helaldir yazısı alarak ihracat yapmak durumunda kaldıkları bilinmektedir.

#### 2.3.2.1. HAK (Helal Akreditasyon Kurumu)

2017 yılında T.C. Ticaret Bakanlığına bağlı olarak HAK Helal Akreditasyon Kurumu Türkiye'de kurulmuştur. Kuruluş amacı yurt içinde ve dışında helal akreditasyon alanında faaliyette bulunmak, uluslararası platformlardaki helal akreditasyon çalışmalarında ülkemizi temsil etmek ve yürütülen çalışmaların öncülüğünü üstlenmektir. HAK, OIC/SMIIC standartları ve bu standartta atıfta bulunulan diğer ISO standartlarını temel alarak helal akreditasyon talep eden kuruluşların denetim, onay ve izleme süreçleri yapılmakta, firma bazlı helal sertifikalandırma çalışması yapmamaktadır (Anonim, 2021d).

HAK tarafından İslam Ülkeleri Standartlar ve Metroloji Enstitüsü standardına göre dünya genelinde düzenlenen ilk helal akreditasyon sertifikası 31.12.2019 tarihinde TSE'ye verilmiştir (Anonim, 2021e).

HAK'ın temel görev ve yetkileri maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- Türkiye ve yurt dışında yerleşik helal uygunluk değerlendirme kuruluşlarına helal akreditasyon hizmeti sunmak, helal akreditasyon ile ilgili kıstas ve tedbirleri belirlemek ve bunları uygulamak.
- Faaliyet alanı kapsamında, uluslararası ve bölgesel akreditasyon birlikleri ve örgütleri nezdinde Türkiye'yi temsil etmek.
- Helal akreditasyon alanında uluslararası ilişkileri yürütmek ve bu kapsamda ikili veya çok taraflı karşılıklı tanıma anlaşmalarını imzalamak,
- Helal akreditasyonun önemini artırıcı faaliyetler yapmak, bu kapsamda eğitim vermek, araştırma, inceleme ve yayın yapmak veya yaptırmak, ulusal ve uluslararası kongre, seminer ve benzeri toplantılar düzenleme, olarak ifade edilmiştir (Anonim, 2021f).

HAK, Avrupa da akreditasyon verme anlamında ilk adımını Avusturya'da yerleşik "Islamic Information Documentation and Certification" (IIDC) adlı kuruluşu akredite ederek atmıştır. Bu suretle HAK'ın akreditasyonu kapsamındaki helal belgesi sayısı 500'ü geçtiği ifade edilmiştir (Anonim, 2021g). Ayrıca günümüzde 34 kurumun akredite olmak için başvurduğu bu kurumlardan 5 tanesine gerekli şartlar sağlandığı için akreditasyon verildiği ifade edilmektedir (Doğru Haber, 2020).

#### 2.3.2.2. TSE (Türk Standartları Enstitüsü)

TSE(Türk Standartları Enstitüsü), 4 Temmuz 2011 tarihinde Helal Gıda Belgelendirmesine başlamıştır. TSE'nin Helal Gıda Belgelendirmesine başlamasıyla hem özel hem de Devlet nezdinde helal sertifikalandırmanın boyutu daha da önemli bir hale gelmiştir. TSE, Helal Gıda Belgelendirmesinde Diyanet İşleri Başkanlığı ile işbirliği içerisinde çalışmaktadır. İslam Ülkeleri Standardizasyon ve Metroloji Enstitüsü (SMIIC) tarafından yayınlanan Helal Gıda Standartları, 14.07.2011 tarihinde yapılan Teknik Kurul Toplantısında İngilizce dilinde Adapte Türk Standardı olarak kabul edilerek millileştirmiştir. Adapte edilen bu standartların Türk Standardı olarak

kabulü esnasında TSE tarafından başka herhangi bir değişiklik yapılmadığı bildirilmiştir. Bu doğrultuda TSE Helal Belgelendirmesini TS OIC/SMIIC 1: 2011 Helal Gıda Genel Kılavuzu Standardı ile başlamıştır. İlgili standardın ikinci revizesi 2019 yılında yayınlanmıştır. Günümüzde helal sertifikalandırma yapılırken TS OIC/SMIIC 1/Eylül 2019 Helal Gıda Genel Kılavuz Standardı baz alınmaktadır (Şimşek, 2013; TSE, 2021a).

TSE, sertifikanın adını helal uygunluk belgesi olarak nitelendirmekte olup, sertifikalandırma standartlarında gıda güvenliği, tüketici hakları, hayvan hakları ve refahı, gıda hijyen ve sanitasyonu, ambalaj ve etiketleme gibi konular yer almaktadır. Başvurular web sayfası (www.tse.org.tr) üzerinden başvuru formu doldurarak yapılabilmektedir. Başvurunun uygun bulunması durumunda TSE ve Diyanetten 2 uzman teknik inceleme için üretim sahasına denetime gitmektedir. Denetimde TS OIC/SMIIC 1 Helal Gıda Genel Kılavuzu Standardı baz alınmaktadır. Ürünün ait olduğu ürün grubu Helal Gıda Belgelendirme föyü ve inceleme raporuna göre denetimler gerçekleştirilmektedir. İlgili üründen alınan numuneler, içerik bilgileri ve mevzuata uygunluk kriterleri de değerlendirilerek rapor hazırlanmaktadır. Ardından bu rapor içlerinde Diyanet İşleri Başkanlığından en az 1 üyenin bulunduğu 5 kişiden oluşan Helal Belgelendirme Komitesi'ne öneri niteliğinde sunulmaktadır. Helal belgelendirme kararı ise komisyon tarafından verilmektedir. Komisyon çalışmalarında oy birliği esas alınmaktadır. Ancak Diyanet İşleri Başkanlığı mensubu üyenin katılmaması durumunda hiçbir karar alınmadığı ifade edilmektedir. Bu işlemler sonunda onaylanan firma ile sözleşme imzalanarak 1 yıllık sertifika, ardından en çok üç yıla kadar helal uygunluk belgesi verilebilmektedir. Belge verildikten sonra yılda en az 1 kez habersiz ara denetim yapılmaktadır. Ara denetimlerde sözleşme kurallarına uygun olmayan bir durum tespitinde TSE helal belgesi iptal edilmektedir (Standart Ekonomi ve Teknik Dergi, 2016; TSE, 2021b).

TSE tarafından helal sertifikalı firmalara kurumun internet adresi(www.tse.org.tr) üzerinden ulaşılabilir. Bununla birlikte helal ürün kapsamına ve üretici firma detaylarına ulaşım sağlanabilmektedir. TSE helal uygunluk belgesine ilk başvuru 2011 yılı Temmuz ayında Ayaç Gıda tarafından yapılmıştır. Ayaç, TSE tarafından kırmızı ve beyaz et üretiminin İslami kurallara uygun olarak yapıldığını gösteren 'Helal Et' belgesini alan ilk tesis ünvanına sahip olmuştur (Anonim, 2011).

TSE helal sertifikalarını yayınladığı site incelendiğinde helal sorgulama altında farklı sektörel ayırım yapıldığı görülmektedir. Ancak sertifika iptal durumları ile ilgili özel bir sekme bulunmamaktadır. Detaylı arama kısmında yapılan inceleme ile sözleşmesi feshedilen tüm kurumlara ulaşmak mümkündür. Ancak bu kısımda da ilgili kuruluşun tüm verdiği sertifika türlerinin olması nedeniyle sertifikası iptal edilen firmaları bulmak oldukça zordur. Bu aşamalar incelenerek yapılan inceleme de 2 tane gıda firmanın durumunda fesih ibaresi bulunduğu gözlenmiştir. Ancak bu firmalarında iptal nedenleri açıklanmamıştır. Bu kısım özellikle helal belgelendirme açısından önem arz etmekte olup ulaşımın daha kolay sağlanması ve tüketicilerin detaylı bilgiye ulaşabilmesinin daha doğru olduğu düşünülmektedir. Tarafımdan TSE kurumuna helal sertifika iptal edilme nedenleri konusunda resmi başvuru yapılmış ancak detaylı bilgi edinilememiştir. Yapılan yayınlardan anladığımız kadarıyla kuruluşun helal standartlarına uygun olmayan bir tespit olması durumunda helal uygunluk sertifikası iptal edilmektedir (Anonim, 2021h). TSE helal standartları, gıda zincirinin alım, hazırlama, işleme, sınıflandırma, elde etme, ambalajlama, etiketleme, işaretleme, kontrol etme, yükleme, boşaltma, nakliye, dağıtım, depolama ve servis etme gibi ürünün geçtiği her aşamada uyulması gereken genel kuralları kapsamaktadır. TSE'nin kullandığı helal standartlar Tablo 5'de verilmiştir(TSE, 2012; TSE, 2016; TSE, 2021a).

*Tablo 5. TSE Helal Standartları*

Standard Kodu	Açıklama
TS OIC/SMIIC 1	Helal Gıda Genel Kılavuzu (CODEX, ISO 22000, ISO 22005 vb. atfları ve İslami Fıkıh Kuralları)
TS OIC/SMIIC 2	Helal Belgelendirmesi Yapan Kuruluşlar için Kılavuz (ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17021, ISO/IEC 17025, ISO/TS 22003 vb. atfları ve İslami Fıkıh Kuralları)
TS OIC/SMIIC 3	Helal Belgelendirme Kuruluşlarını Akredite Eden Akreditasyon Kuruluşu Kılavuzu için Kılavuz (ISO/IEC 17011 vb. atfları ve İslami Fıkıh Kuralları)

**TS:** Türk Standartları, **OIC:** İslam İşbirliği Teşkilatı, **SMIIC:** İslam Ülkeleri Standardizasyon ve Metroloji Enstitüsü, **ISO:** Uluslararası Standartlar Teşkilatı, **IEC:** Uluslararası Elektroteknik Komisyonu

**Kaynak:** TSE, 2016.

TSE'nin yıllara göre vermiş olduğu helal sertifika sayısı 2012 yılından itibaren yayınlanan faaliyet raporları incelenerek Tablo 7'de verilmiştir. Belge verilen firma sayısının toplam 2908 adet olduğu Tablo 7'de görülmektedir. Ancak verilen sertifikalı ürünlerin tür ve sayı bazında herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır.

TSE'nin baz aldığı TS OIC/SMIIC 1: 2019 Helal Gıda İçin Genel Gereklilikler standardı 13 bölümden oluşmakta olup, bölüm başlıkları Tablo 6'da verilmiştir.

*Tablo 6. TS OIC/SMIIC 1:2019 Helal Standardı Bölümleri*

TS OIC/SMIIC 1:2019 Helal Standardı Bölümleri		
Önsöz, Giriş	6. Gıda İşleme	12. Piyasaya Arz
1. Kapsam	7. Makineler, Araç Gereçler ve Üretim Hatları	13. Yasal Gereklilikler
2. Bağlayıcı Atıflar	8. Depolama, Teşhir, Sunum ve Taşıma	Ek A(Elektrikle sersemletme için kılavuz parametreler)
3. Terimler ve Tanımlar	9. Hijyen, Sanitasyon ve Gıda Güvenliği	Ek B(İslami Kurallara göre temizlik yöntemi, Toprak ile ilgili şartlar, Su ile ilgili şartlar)
4. Gıda Ürünleri/Hizmetleri (farklı gıda sektörleri için gereklilikler belirtilir)	10. Geçerli Kılma ve Doğrulama	Ek C(Mekanik kesim)
5. Gereklilikler	11. Tanımlama ve İzlenebilirlik	Kaynaklar

**Kaynak:** TSE, 2019 a,b

Tablo 7. TSE Helal Belgeli Firma Sayısı

Yıl	Belgelenen Firma Sayısı	Kaynak
2012	52 Firma	TSE,2012(ekonomi dergisi)
2014	136 Firma	Köseoğlu, 2014(Mevlana Kalkınma Ajansı)
2015	337 Firma	TSE, 2016 (faaliyet raporu)
2016	390 Firma	TSE, 2017 (faaliyet raporu)
2017	439 Firma	TSE, 2018 (faaliyet raporu)
2018	487 Firma	TSE, 2019 (faaliyet raporu)
2019	503 Firma	TSE,2020 (faaliyet raporu)
2020	564 Firma	TSE,2021 (faaliyet raporu)
<b>Toplam</b>	<b>2908 Firma</b>	

*Kaynak: TSE, 2021b.*

TS OIC/SMIIC 1 kapsamında üretimde girdilerin kaynağının tanımlanması, tesisin uygunluğu, üretim donanımı, yasal düzenlemeler, gıda güvenliği yönetim sistemi ve gereklilikleri (hijyen, kalite kontrol dokümanlarının yeterliliği, personel, deney kabiliyeti, deney ekipmanları vb.) gibi özellikler aranmaktadır(Anonim 2018b).

### 2.3.2.3 GİMDES (Gıda ve İhtiyaç Maddeleri Denetleme ve Sertifikalandırma Derneği)

Türkiye’de ilk somut helal gıda sertifikalandırma çalışması yapan kuruluş GİMDES(Gıda ve İhtiyaç Maddeleri Denetleme ve Sertifikalandırma Derneği)’tir. GİMDES, 2005 yılında gıda sektöründeki helallik riskinin ithal ürün ve yardımcı malzemelerinin yurt dışındaki gayrimüslim üreticiler tarafından sağlanma durumunu idrak eden bir kısım insanla birlikte, bir sivil toplum kuruluşu olarak dernek statüsünde kurulmuştur. Ardından alt yapı çalışmaları(fıkıh ve ilim kurulları, denetçiler vb.) ile bir takım helal standartlar oluşturmuştur. Ülkemizdeki ciddi bir boşluğu doldurarak helal sertifikalandırma işleminin yaygınlaştırılmasında, tüketicilerin bilinçlenmesi konusunda önemli bir rol almıştır. İlk helal ve tayyib sertifikalandırma işlemi 23.05.2008 yılında fındık ve fındık ürünleri üreten bir işletmede gerçekleştirilmiştir(Anonim, 2019a).

GİMDES kurumunun helal sertifikalandırma faaliyetlerinin ardından birçok dernek/kurum tarafından helal sertifikalandırma işlemi gerçekleştirilmeye başlanmış olup yıllar içerisinde sertifikalandırma kuruluşu sayısı arttığı görülmüştür. Helal uygulamalar ile ilgili standartları ‘GİMDES Helal Standardı’ adı altında toplanarak bir kitapçık haline getirilmiştir. Bu standartlar ile Türkiye’de daha önce hiçbir kalite sertifikalandırma denetimlerinde olmayan helal gereklilikleri üretici firmalar tarafından gündeme alınmaya başlamıştır. Bu standartlar içerisinde haram yiyecek/içecek sınıfları, istihale konusu, helal sertifikalandırma adımları, helal sertifikalandırma için ön gereklilikler, helal logo ve etiketleme gereklilikleri, helal kesim şartları, helal el kitabı, helal güvence sistemi vb. konuları yer almaktadır(Büyüközer, 2011).

GİMDES, Türkiye’de WHC ve JAKIM tarafından onaylı tek kuruluştur. GİMDES Helal sertifikalı ürünlere, ürün kapsamlarına, sertifikalı markalara, sertifika geçerlilik sürelerine vb. bilgilere ulaşmak isteyen herkes, [www.gimdes.org](http://www.gimdes.org) sitesi üzerinden şeffaf bir şekilde ulaşabilmektedir. En önemlisi de firmanın helal standartlarına aynı site üzerinden ücretsiz olarak ulaşabilmektedir. Firma düzenli olarak ulusal ve uluslararası çalışmalar(konferans, kongre, fuar vb.) düzenlemekte ve 2 ayda bir helal sertifikalandırma sistemi ile ilgili farklı uzmanların katılımı ile makaleler içeren dergi yayınlanmaktadır(GİMDES, 2005).

GİMDES sertifikalandırma işlemini gerçekleştirirken kendisini kefalet kurumu olarak görmekte ve üreticileri ilk ve yenileme denetimleri haricinde(bu denetimlerde belge sunulması

zorunluluğu nedeniyle haberli yapılmakta) ara denetimlerini habersiz yapmaktadır. Bu bağlamda firmanın risk grubuna göre 2-12 habersiz ara denetim gerçekleştirilmektedir. Özellikle kesimhanelere kesim bölgeleri için kamera sistemi kurdurulmasını ön şart olarak getirtmekte ve merkezde kameraların izlenmesi için görevli personeller bulundurmaktadır. Bu özelliği ile Türkiye deki diğer helal sertifikalandırma kurumlarından farklıdır (GİMDES, 2021a; GİMDES, 2011a,b).

Firmalardan helal güvence sistemi kurulumu anlamında sertifikalandırma aşamasından önce, Helal El Kitabını(HEK) gereklilik olarak talep etmektedir. Bazı helal sertifikalandırma kuruluşlarında HEK yerine Kalite El Kitabına helal ile ilgili kavramlar ekletilip, kavramlar açıklanarak gereklilik sağlanmaktadır(Anonim, 2011).

Kırmızı Et Kesimhaneleri, Beyaz Et Kesimhaneleri ve Diğer Firmaların olmak üzere 3 tip HEK uygulaması mevcuttur. Bu ayırım sertifikalandırma gerekliliklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

GİMDES tarafında verilen helal sertifikası ilk başvuruda 1 yıllık, sonrasında ise firma talebine göre en fazla 2 yıllık gerçekleştirilmektedir. Sertifikası olan bir firmanın ara denetimlerinde standartlarına uygun olmayan bir proses ya da girdinin tespitinde firmanın helal sertifikası iptal edilerek internet sitesi üzerinden paylaşmakta ve 5 yıl süre ile tekrar sertifikalandırılma yapılmamaktadır. İnternet sitesi üzerinden duyurunun yaygın olarak diğer sertifikalandırma kurumları tarafından da yapıldığı bilinmektedir (GİMDES, 2011a,d,e).

Firmanın diğer sertifika iptal sebepleri;

- Firmaya ara denetime giden denetçilerin fabrikaya alınmaması,
- Kesimhanede kesimlerin kamera ile izlenebilirliğinin sağlıklı bir şekilde sağlanamaması,
- Kesimhanelerde sersemletme değerlerinin belirlenen standart değerlerden yüksek olması ve bu üniteye gözlemsel olarak tavukların kesilmeden ölümünün gerçekleştiğinin tespit edilmesi,
- Kesimhanelerdeki kasapların İslami kriterlere göre kesim yapmaması,
- Helal sertifikasının geçerlilik süresi içerisinde Helal Güvence Takip Ekibi tarafından talep edilen ve ürünün tanımlı standartlara göre üretildiğini ispat edecek belge ve dokümanların gönderilmemesi,
- Helal güvence sistemi gereği yapılan analizlerde ürünlerde tağşiş durumunun veya helali etkileyen riskli girdilerin tespit edilmesi,
- Firma üretim alanı ve diğer alanlarının temizlik ve hijyen kriterlerine uygun olmaması ve/veya tespit edilen uygunsuzluğun mükerrer olması,
- Helal kapsam içi ürünler ile kapsam dışı kritik ürünlerin kontamine halde olması(aynı hatta üretilmesi),
- Üretici firmanın el değiştirmesi ve bu durumun firmaya bildirilmemesi buna bağlı olarak yeni firma yetkilileri ile sözleşmenin yenilenmemesi,
- Firmanın helal kapsamdaki markasının farklı firmalara satılması,
- Firmanın helal kapsam içindeki ürünleri GİMDES' ten habersiz fason olarak ürettirmesi,

- Firmanın sertifika geçerliliği süresince saha değişiklikleri, formülasyon revizyonları(kritik olan katkılar), faaliyet alanı/kapsam değişiklikleri konusunda önceden bilgi vermemesi,
- Üretimde kullanılan helal sertifika gerektiren onaylı hammadde yerine haber verilmeden onaylı olmayan hammadde kullanılması.
- Makineli kesime kesinlikle helal sertifikası verilmemekte olup, kesimhanelerde giyotin makinasının tespit edilmesi durumunda direk sertifika iptal edilmektedir.

Tablo 8’de GİMDES’ ten yıllara göre sadece ilk Helal Sertifika alan firma sayıları verilmiştir. İlk sertifika haricinde parti bazlı üretim, yenileme, kapsam genişletme sertifikaları da bulunmaktadır. GİMDES tarafından günümüze kadar yaklaşık 900 firmanın toplam 15 bin çeşit ürüne Helal ve Tayyib Sertifikası verildiği bildirilmiştir (İşbilir, 2021).

*Tablo 8. GİMDES’ ten Yıllara Göre İlk Helal Sertifika Alan Firma Sayıları*

<b>Yıllar</b>	<b>Helal Sertifikalı Firma Sayısı</b>
2008-2009	18 firma
2009-2010	57 firma
2010-2011	95 firma
2012-2013	78 firma
2013-2014	59 firma
2014-2015	59 firma
2015-2016	52 firma
2016-2017	55 firma
2017-2018	53 firma
2018-2019	73 firma
2019-2020	48 firma
<b>Toplam</b>	<b>647 firma</b>

*Kaynak: Anonim, 2019a; Anonim 2021i*

Firmanın helal sertifikalandırma şartları çok açık ve kesin kuralları içermektedir. Örneğin, makineli kesim uygulanan kesimhaneler ve ürünleri, kaynağının kesin bir şekilde bilinmediği hayvansal ürünler, MSG, nitrit-nitrat kullanılan ürünler ve etilalkolün çözen ya da taşıyıcı olarak kullanıldığı ürünlere helal sertifikalandırma işlemi asla yapılmamaktadır (GİMDES, 2011a,e).

Firmanın helal Standartları 18 bölümden oluşmakta olup, bölüm başlıkları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. GİMDES Helal Standartları

<b>GİMDES Helal Standardı Bölümleri</b>		
Giriş-Kapsam	7. Helal Et Ürünleri İçin Şartlar	13. Yiyecek Hizmeti Tesislerinin Helal Sertifikalaması İçin Kurallar
2.Helal Denetleme	8. Hijyen(Tayyib) ve Sağlıklı Olma	14. Diğer Helal Gıdalar Ve Bileşenler/Türevleri İçin Gereklilikler
3.Helal Gıda Tanımı	9. Helal Şartlara Uyum	15. Diğer Bileşenler Ve Türevleri
4.Biyoteknoloji Yöntemi İle Elde Edilen(GDO) Gıda Ve İçecekler	10. Helal Sertifikalamada Uygunluk Derecesi	16. Mezhep – Sertifika İlişkisi
5. Helal Gıda ve İçeceklerin Kökenleri	11. Helal Sertifikalama	17. İptal/Helal Statünün Geri Alınması
6. Helal Kesim	12. Helal Statü Başvurusu	18. Helal Sertifikalama Denetimi İçin Talepler

Kaynak: GİMDES, 2011a

#### 2.3.2.4.HEDEM (Helal Gıda Denetim ve Sertifikalandırma Merkezi)

HEDEM(Helal Gıda Denetim ve Sertifikalandırma Merkezi), İstanbul'da 2010 yılında tüm insanlara, özellikle Müslümanlara inançları doğrultusunda hizmet etmek amacıyla kurulmuştur. Uluslararası Helal Entegrasyon Birliği (IHI)'nin üyesidir. HEDEM'de 3 kurul bulunmaktadır:

- Denetim ve sertifikalandırma yapan denetim kurulu,
- Bilim ve teknoloji yüksek kurulu,
- İlahiyat ve fıkıh yüksek kurulu (Alıç, 2019).

Sertifika alacak ürünler; Gıda Kodeksi, Hijyen kuralları ve Helal Gıda Denetim standartlarına uygunluğuna göre denetlenmektedir. Bazı üretimler Gıda Kodeksi ve hijyenik şartlara uygun olabildiği halde, Helal Denetim şartlarını içermediği için helal sertifikalandırma yapılamamaktadır. HEDEM Helal Gıda Standartları internet sitesi üzerinden bilgiler alınarak Tablo 10'da verilmiştir. HEDEM, İnternet sitesi üzerinden başvuru alabilmekte ve 24 saat denetim şartını kabul eden firmalara sertifika vermektedir (Anonim, 2018a).

Tablo 10: HEDEM Helal Gıda Standartları

Standart No	Türü	Standart No	Türü
HGET-1000	Et ve Et Ürünleri	HGKSY-8000	Katı ve Sıvı Yağlar
HGKÜ-2000	Kümes Hayvanları Ürünleri	HGSİ-9000	Sıvı İçecekler
HGSE-3000	Sebze ve Meyve Ürünleri	HGGEN-13000	Genetiği Değişmiş Ürünler
HGSÜ-4000	Süt ve Süt Ürünleri	HGORG-14000	Organik Gıdalar
HGDE-5000	Deniz Ürünleri(Çiftlik)	HGTOY-16000	Tohum ve Yem Ürünleri
HGTÜ-6000	Tarım Ürünleri	HGAK-17000	Ambalaj ve Kutu Malz.
HGŞE-7000	Şeker ve Şekerli Gıdalar	HGİTH-19000	İthalat Ürünleri

*Kaynak: HEDEM, 2018.*

### 2.3.2.5 Dünya Helal Birliği

Dünya Helal Birliği, İslam dünyasında üretilen ürün ve hizmetlerin tek bir işaretle veya tanınmış işaretlerle, ikinci bir denetime tabi tutulmadan serbest dolaşmasını sağlamak amacıyla bir grup akademisyen tarafından 2010 yılında kurulan bir sivil toplum kuruluşudur. Helal belgelendirmede SMIIC standartlarını kullanmaktadır (Anonim, 2017b).

Avrupa'da birçok belgelendirme yapan kuruluş firma ve kişiler bulunmakta, fakat girdilerin kontrolü, yapılan uygulamalar ve alınan kararlar yetersiz ve çoğu zamanda yanlış yapılmakta olduğu bu nedenle Dünya Helal Birliği Avrupa Koordinatörlüğü oluşturduğu ve burada da çalışmalarını sürdürdüğü ifade edilmektedir (Malhatun, 2019).

### 2.3.2.6.HELALDER (Sağlık, Güvenlik ve Helal Derneği)

HELALDER(Sağlık, Güvenlik ve Helal Derneği), Konya'da 2010 yılında kurulan bir dernektir. Uluslararası Helal Entegrasyon Birliği (IHI) ve Batı Afrika İslam Ekonomik Formu (WAIEF) üyesidir. Belgelendirme denetimleri yapmamaktadır. Helal denetim faaliyetlerini izlediği ve kontrol ederek yetki verdiği uluslararası akredite kuruluşlar vasıtası ile yapmaktadır. HELALDER; Gıda güvenliği konusunda Uluslararası kabul gören ISO 22000-Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi standardını ve sistemini temel alan Helal 22-Helal Gıda Yönetim sisteminin standardını ve sistemini oluşturmuştur. Bu standardın uygulama yetkisini ise; ISO 22000 standardın da uluslararası kurumlardan akredite olmuş belgelendirme kuruluşlarına vermiştir. Bu kuruluşlar arasında; Artibel, BBS, Lloyd's Register, CTR, Proks, Naviga, Rina, SQ Mart ve Bureau Veritas olmak üzere toplam sayıları sekizi aşan belgelendirme kuruluşlarına yetki vermiştir. Aynı zamanda Helal belgelendirmesi yapacak denetçilerin, akreditasyon yetkinlik onayları dışında kendi onayından da geçmesini şart koşmaktadır. Farklı gıda güvenliği yönetim sistemlerinin profesyonel gıda denetçileri, Helal 22 baş denetçi geçiş eğitimlerini alarak Helal 22 standardı doğrultusunda denetimler yapmaktadırlar.

Yapılacak tüm çalışmalarda HELALDER tarafından oluşturulan İslami konular yürütme kuruluna danışılıp bilgi alınarak hareket tarzı ve temel düsturlar belirleneceği, çoğu zaman da onay (fetva) alındığı ifade edilmektedir. Firma web sitesinde ([www.helalder.org.tr](http://www.helalder.org.tr)) helal belgelendirme yapabilmesi için onay verdiği kuruluşların isimlerini açıklamaktadır (Çelik, 2019; Anonim, 2017d).



2019 yılında firma yetkilileri ile yapılan görüşmede 500'e yakın firmanın helal belgesi için başvuru yaptıklarını bunlarda 170 kadarına sertifika verebildikleri, HELAL 22 standardı sertifika alan firmalar dışında kimse ile paylaşamadığı ifade edilmiştir (Anonim, 2019c).

Helal Standartları kapsamında belirli şartların sağlanması koşuluyla makineli kesime onay vermekte ve alkolün kozmetik sektöründe kullanılmasını uygun görmektedir. Ancak kozmetikte kullanılacak alkol miktarı için Sağlık Bakanlığı'nın verdiği maksimum değer kabul edilmektedir. İnternet sitesi üzerinden yapılan incelemede yurt içinden 45 civarında yurt dışından ise 5 adet firmaya helal sertifikası verdiklerini yayınlamışlardır. Aynı site içerisinde sertifikası iptal edilen kuruluşlar ve iptal nedenleri de yazılmaktadır (Anonim, 2017c).

### **2.3.2.7. KASCERT (Uluslararası Sertifikasyon Gözetim Teknik Kontrol Hizmetleri Ltd. Şti.)**

KASCERT (Uluslararası Sertifikasyon Gözetim Teknik Kontrol Hizmetleri Ltd. Şti.), 2000 yılında helal dışında farklı alanlarda sertifikalandırma yapmaya başlayan bir kuruluştur. 2004 yılında KAS adı ile faaliyete başlamış ve 2007 yılında kesimhanelerde helal belgesi vermeye başlamıştır. 2010 yılından itibaren ise Türkiye'de JAKIM tarafından GİMDES dışında tanınan tek helal sertifikalandırma kurumu olmayı başaran Merkezi İzmir'de olan bir firmadır. Ayrıca KASCERT'in MUIS (Singapur) ve CICOT (Tayland) tarafından da akredite olduğu bilinmektedir. 2016 yılı: 20 yeni firma, 2017 yılı: 21 yeni firma, 2018 yılı: 33 yeni firmanın helal belgelendirmesini gerçekleştirmiş, 2018 itibarıyla 200-300 arası firmaya helal sertifika verildiği bildirilmiştir. Sertifika geçerlilik süresi denetim tarihinde itibaren 1 yıl olup, 2 denetim arası 1 yıl süreyi aşamaz ve ara denetimler haberli habersiz yapılmaktadır (Anonim, 2019b).

### **2.3.2.8 ISQ (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)**

Firma 2007 yılında kurulmuş olup, farklı sertifikalandırma sistemleri(ISO 9001, ISO 14001, ISO 22 000, Vegan vb.) ile ilgili sertifikalandırmalarda yapmaktadır. ISQ Malezya standartlarını, MS 1500 standartlarını, OIC/SMIIC 1 yönetmeliklerini ve HACCP hijyen-sanitasyon kriterlerini uyguladığını bildirmektedir. 2007-2019 yıllarında ISQ' ya yapılan 1.250 adet başvuru alınmış ancak sadece 415 civarında bir belgelendirme başvurusu onaylanmıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere, helal standartlarına uygulayabilmek hassasiyet istemektedir (Anonim, 2021a).

### **2.3.2.9 SZUTES (Strojirensky Zkusebni Ustav s.p.)**

SZUTEST, 2005 yılında İstanbul' da kurulmuştur. SZU Çek Cumhuriyeti'nin 15 Direktife onaylanmış kuruluşu olan Strojirensky Zkusebni Ustav s.p.'nin tam ve tek yetkili temsilcisi olarak faaliyete geçmiştir. 2007 yılından itibaren kendi akreditasyon ve notifikasyonlarına sahip olmaya başlamıştır. SZUTEST Laboratuvarları Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) ve International Accreditation Services(IAS) tarafından akredite edilmiştir (Anonim, 2021b). Farklı sertifikalandırma sistemleri ile ilgili belgelendirme hizmeti vermektedir. SZUTEST Helal Belgelendirme alanında 20.11.2020 tarihinde Helal Akreditasyon Kurumu (HAK) tarafından akredite edilmiştir (Anonim, 2021c).

SZUTEST Akreditasyon Kurumu rehberleri ve OIC/SMIIC standartları çerçevesinde İslami hassasiyetle, adil, tarafsız, bağımsız ve dürüst bir şekilde gerçekleştireceğini ifade etmektedir. Helal belgelendirme genel şartlar dokümanında helal sertifikalandırma detaylarına [www.szutest.com.tr](http://www.szutest.com.tr) sitesi üzerinden ulaşım sağlanabilmektedir. Ara kontrol sıklığını firmaların risk durumlarına göre tanımlamış olup gerekli bilgiler Tablo 11'de verilmiştir.

SMIIC standartları çerçevesinde belirlenen denetim sıklıkları en fazla yılda 2 defa olarak belirlenirken bu durum GİMDES Helal standartlarına göre yılda minimum 2 defadan başlayarak girdi ve üretim çeşitliliğine göre ayda 1 e kadar çıktığı ifade edilmektedir (GİMDES,2011a).

*Tablo 11. SZUTEST Ara Kontrol Durumu*

<b>Karmaşıklık Sınıfı</b>	<b>İş Sektörü</b>	<b>Ara Kontrol Sıklığı</b>
Çok Yüksek	Başka yerde sınıflandırılmamış kimyasallar, farmasötik ürünler, 6 ayda 1 işlenmiş et ürünleri, genetiği değiştirilmiş ürünleri, gıda katkı maddeleri, biyokültürler, kozmetik ürünler, işlem yardımcıları, mikroorganizmalar	6 ayda 1
Yüksek	Kesimhane ve tavukçuluk, peynir ürünleri, bisküvi çeşitleri, yağ, içecekler, oteller, restoranlar, besleme takviyeleri, temizlik maddeleri, ambalajlama malzemeleri, tekstil ürünleri, İslami finans	12 ayda 1
Orta	Süt ürünleri, balık ürünleri, yumurta ürünleri, arıcılık baharatlar, 12 ayda 1 bahçe ürünleri, korunmuş meyveler, korunmuş bitkiler, konserve ürünler, makarna, şeker, hayvan yemi, balık yemi, su tedariki, ürünlerin geliştirilmesi, süreç ve ekipman, veterinerlik hizmetleri, süreç ekipmanı, otomatlar, deri ürünleri	12 ayda 1
Düşük	Balık, yumurta üretimi, süt üretimi, balıkçılık, avcılık, tuzakta yakalama, meyveler, sebzeler, tahıl, taze meyve ve taze meyve suları, içme suyu, tuz, perakende satış mağazaları, dükkanlar, toptan satıcılar, nakliye ve depolama	12 ayda 1

**Not1:** Bir kuruluşun aynı üretim yerlerinde farklı ürün gruplarından belge sahibi olması durumunda gözetim sıklığı en yüksek risk durumu dikkate alınarak belirlenir.  
**Not2:** Yukarıdaki tabloda yer almakta olan ürün gruplarının ait oldukları risk sınıfları TS OIC /SMIIC 2 standardı esas alınarak belirlenmiştir.

*Kaynak: SZUTEST, 2021.*

### **3. Bazı Sertifikasyon Kuruluşlarının Çalışma Prensiplerinin Karşılaştırılması**

Helal ve sağlıklı gıda konusunda hassasiyet sahibi üretici ve tüketicilerin aydınlatılması ve piyasadaki mevcut helal sertifikalarının benzerlik veya farklılıklarının belirlenmesi amacıyla yürütülen bu çalışmada ülkemizde faaliyet gösteren kuruluşların helal kriterleri değerlendirmeye alınmıştır.

Türkiye’de helal sertifikalandırma işlemi yapan kuruluşlar ve bunlara ait genel özellikler 2.3.2 ‘de detaylı olarak açıklanmıştır. Bu kurumlar incelendiğinde kurumlardan birçoğu SMIIC standartlarına göre helal sertifikalandırma yaptığı, GİMDES kurumunun ise bu kuruluşlardan farklı olarak kendi helal standartlarını oluşturduğu ve uluslararası akreditasyon işlemlerini gerçekleştirdiği görülmektedir. Bununla birlikte mevcut araştırmalar ile Türkiye’de en fazla helal sertifikalandırma yapan 2 kuruluşun GİMDES ve TSE olduğu tespit edilmiştir. Diğer kuruluşların, haklarında halka açık fazla bilgi bulundurmadıklarından veya sorularımıza yeterli cevap vermemelerinden dolayı bu çalışmada yer alan kapsamlı karşılaştırma işlemlerine dahil edilememişlerdir.

#### **3.1. İlgili Kuruluşların Çalışma Prensiplerinin Karşılaştırılması**

Helal sertifikalandırma sisteminde çalışma prensipleri kurumların standartlarına göre değişebilmektedir. İslam dininde helaller ve haramlar belirlidir. Özellikle ayetlerde geçen haramlar tüm kurumlar tarafından kabul edildiği görülmektedir. Ancak bazı hayvan türlerinin

mezheplere göre farklı hükümlerinin olması, bir takım yeni teknolojilere ve metotlara yönelik yorumların fıkıh kurullarınca farklılıkları ve firmaların helal risklerini değerlendirme metodolojileri bu farklılığın temelini oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı Dünyada ve Türkiye’de kabul olunan ortak bir helal standart bulunmamaktadır. Helal gıda sertifikalandırma kuruluşlarının çalışma prensipleri değerlendirilirken doğru tespit ve yorumlarda bulunabilmek amacıyla öncelikle ilgili kurumların standartlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda 2017 yılı sonunda Türkiye’de en fazla helal sertifikalandırma işlemi yapan 9 kuruluşa (GİMDES, TSE, KASCERT, DÜNYA HELAL BİRLİĞİ, HELALDER,

ARTIBEL, TÜMSERT, AVRASYA HELAL, NİSSERT) mail yolu ile ulaşılmaya çalışılmış ve kullandıkları standart detayları talep edilmiş ve ek olarak aşağıdaki sorular kendilerine yönlendirilmiştir:

1. Firmanızın ilk helal sertifika vermeye başladığı tarih ve sektör adı nedir?
2. Günümüze gelene kadar ki süreçte 1 er yıllık periyotlar ile kaç firma sertifikalandırdınız?
3. 01.11.2017 tarihli güncel helal gıda sertifikalı firma sayınız ve sektörleri nelerdir? (Örneğin; 68 firma; et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri vb.)
4. Firmanızın helal sertifikalandırma aşamaları(mümkünse şema şeklinde) nelerdir?
5. Kurumunuzu akredite eden kuruluş isimleri nelerdir?
6. Kaç yıllık sertifika vermektесiniz? Bu konudaki prosedürünüz nasıl ilerlemektedir?
7. Firmanız hangi koşullarda helal sertifikasını iptal etmekte ve yaptırımlarınız nelerdir?

İlgili kurumlar içerisinde NİSSERT, AVRASYA HELAL, TÜMSERT, ARTIBEL kurumlarından herhangi bir dönüş alınamamıştır. HEDEM kurumu telefon ile dönüş sağlamıştır. DÜNYA HELAL BİRLİĞİ kullanmış olduğu helal prensipleri paylaşmış, ancak standart niteliğinde olmaması nedeniyle kurum kıyaslamasına alınamamıştır. Kurumlar içinde sadece GİMDES ve KASCERT Kurumu ankete dönüş sağlamıştır. TSE ise konu ile ilgili bilgileri almak üzere bir internet linki paylaşmıştır. Ancak bu sitede çalışmamız için önem arz eden spesifik sorularımıza cevap bulunamamış olup, helal standartlar satın alma işlemi yapılarak incelenmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışma ile helal sertifikalandırma kurumlarının helal araştırmalara yönelik ilgilerinin eksik olduğu görülmüştür. Kurumlar arasında helal standartları ve uygulamaları ile ilgili en fazla bilgi edinilebilen kurum GİMDES olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca GİMDES düzenlemiş olduğu konferans, seminer, fuar etkinlikleri ve yayınlamış olduğu kitap, makale, dergi yayınları ile helal gıda sistemini detaylı olarak tüketicilere aktardığı görülmektedir. GİMDES Helal Standartlar, sertifikalandırma yaptığı ve yapmadığı ürün grupları internet sitesi üzerinden ulaşımaya açık olarak bulunduğu gözlenmiş ve değerlendirmeler bu çalışmalar üzerinde yapılmıştır. Tüm bu nedenlerden dolayı Türkiye’de en fazla helal sertifikalandırma çalışması yapan, 2 kurum olan GİMDES ve TSE helal standartları üzerinde detaylı değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmelerimizde GİMDES Helal standartları ve TSE’nin baz aldığı TS OIC/SMIIC 1: 2019 Helal Gıda İçin Genel Gereklilikler standartları esas alınmıştır. İlgili kıyaslama firmaların helal standartları incelenerek 4 başlık altında başvuru süreci, denetim süreci, helal yönetim sistemi, ürün bazlı sertifikalandırma başlıkları altında değerlendirilmiştir:

### **3.1.1.Başvuru Süreci Değerlendirmeleri**

Kuruluşlar arasında başvuru sürecinde online başvurular kabul edilmektedir. Ancak farklılık olarak TSE kuruluşunun farklı standartları da vermesi ve kurumsal yapısının

çok geniş olması nedeniyle helal sertifika başvuru süreci daha resmi ve uzun geçebilmekte olduğu gözlenmiştir. Örneğin bir firma öncelikle TSE başvuru portalı üzerinden firma bilgilerini girmesi yalnız başına yeterli görülmeyip, başvurusunu ıslak ya da e-imzalı olarak yasal belgelerini, marka patentlerini de ekleyerek başvuruyu yapması beklenmektedir. GİMDES ve diğer kuruluşlarda başvuru internetten mail adresinden imzalı belgelerin tarama yapılması ile daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir. Sonraki aşamada sertifikalandırma kuruluşu içerisinde bir kişi gerekli belgeler ile ilgili detaylı bilgileri firma ile iletişime geçerek verebilmekte, resmi belgeler denetim anında teslim edilebilmektedir.

Başvuru formları kurum bazlı detaylandırılarak özellikle ürün gruplarının adlarının yanında içinde kullanılan yardımcı ve katkı maddelerini de içerecek şekilde doldurulması talep edilmektedir. GİMDES ve TSE kurumlarının başvuru aşamasında talep ettikleri bilgilerin karşılaştırması Tablo 12’ de verilmiştir.

*Tablo 12. Başvuru Gerekliliklerinin Karşılaştırması*

Konu	GİMDES	TSE
Başvuru Yeri	<a href="http://www.gimdes.org/mur-acaat-formu">http://www.gimdes.org/mur-acaat-formu</a>	<a href="https://basvuruportal.tse.org.tr/">https://basvuruportal.tse.org.tr/</a>
Kullanılan standartlar	GİMDES Helal Standartları	TS OIC/SMIIC 1 ve TS 13571
Sertifika İsimlendirmeleri	Helalen Tayyiben Sertifika	Helal Uygunluk Belgesi
İç Helal Koordinatörü Bulunma Durumu	Bulunmalı	Böyle bir şart bulunmamaktadır.
Farklı Gereklilikler	ISO Belge Gerekliliği	İşletme kayıt numarası yeterlidir.
	İşletmede haram üretim olması durumunda	Bölüm ve hat ayrımı yapılsa bile helal sertifikalandırma yapılmaz.
	Kamera Sistem Gerekliliği	Kesimhanelerde Merkezden izlenebilecek düzenek şartı vardır.
Ortak Gereklilikler	Başvuru formundaki bilgiler (Firma adı, ünvanı, üretim adresleri, ürün grupları, markalar vb.)	Sözleşme Yapılır, Belirli süreliğine sertifika verilir. Sözleşme şartlarına uyum temel gerekliliktir.
		Üretim hatlarında temizlik ve hijyen gereklilikleri sağlatılmak istenir.

**Kaynak:** GİMDES, 2011a; TSE, 2019 a,b .

Başvuru formu doldurulduktan sonra gerekli uygunluklar olması durumunda GİMDES kurumundaki fıkıh kurulu, TSE’de ise Diyanet İşleri Başkanlığı Din Yüksek Kurulu tarafından sertifikalandırma onayı verilmektedir. İki kuruluşta fıkıh kurullarının onay vermediği bir kuruluşa sertifika vermediklerini bildirmektedirler. İki kuruluşta sertifikalandırma onay durumunu oy çoğunluğu değil, oy birliğini esas almaktadır.

GİMDES kuruluşu tarafından firmalara gönderilen Helal El Kitabı içerisinde girdilerden alınması gereken belgeler firmaya ilk denetim öncesi bildirilmektedir. Bu liste için GİMDES helal el kitabı şablonundan alınarak örnek Tablo 13’de verilmiştir. Bununla birlikte GİMDES tarafından helal sertifikası geçerli kurumların listesi de paylaşılmaktadır.

Tablo 13. Girdi Kontrol Listesi ve Alınması Gereken Belgeler

Girdinin Adı	Helal belgesi	Spesifikasyon/MSDS	Non-GMO belgesi	Üretim akış şeması	Ürün Analiz Raporu
Mısır	-	-	+	-	+
Jelatin	+	+	-	+	+
Buğday	-	-	+	-	+
Şeker	-	+	-	+	+
Renklendirici	+	+	+	+	+
Glikoz şurubu	+	+	+	+	+
Dezenfektan	-	+	-	+	+

+ : istenecek , - : istenmeyecek, **MSDS:** Malzeme Güvenlik Bilgi Formu

*Kaynak: GİMDES, 2021a.*

### 3.1.2. Denetim Süreci Değerlendirmeleri

Helal sertifikalandırma kurumlarının denetim süreçleri değerlendirildiğinde en bariz farklılık habersiz ara denetim yapılıp, yapılmama durumu ve ara denetim sayısı olarak karşımıza çıkmaktadır. SMIIC standartları çerçevesinde belirlenen denetim sıklıkları yılda en fazla 2 defa olarak belirlenirken, bu durum GİMDES Helal standartlarına göre yılda minimum 2 defadan başlayarak girdi ve üretim çeşitliliğine göre yılda 12'ye kadar çıktığı ifade edilmektedir (TSE, 2019a; GİMDES, 2011a). Bununla birlikte ilk sertifika yılı sonrasındaki sertifika geçerlilik süreleri, kesimhanedeki gereklilikler, ISO ve HEK konusundaki gereklilikler, denetçide aranan mesleki yeterlilikler gibi farklılıklar Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14. Denetim Sürecindeki Farklılıklar

Konu	GİMDES	TSE
Denetim Süresinin Hesaplanması	Özel bir formülasyon bulunmamaktadır. Her bir sektör için minimum 1 gün belirlenir ve saha sayısı arttıkça gün sayısı artmaktadır. Sektörün türü önemlidir. Gereklilikler başvuru aşamasında detaylandırılarak belgeler önden alınır. Çalışan sayısı denetim gün sayısı için bir faktör değildir.	Özel bir formül ile gün belirlemesi yapılır. Ürün çeşitliliği, HACCP/Helal CCP ürün grubu, çalışan sayısı, süreç ve üretim süreci karmaşıklık durumu parametreleri ile belirlenir.
Sertifika Geçerlilik Süresi	İlk aşamada 1 yıl, sonrasında max. 2 yıl verilebilmektedir.	İlk yıl 1 senelik sonraki yıllarda 3 yıla kadar verilebilmektedir.
Farklı Yönler	Kesimhanelere özgü gereklilikler	Makineli kesime 9 kuralın yerine getirilmesi şartıyla onay verilir.
Denetimde Kontrol Edilen Ek Bilgiler	İç helal koordinatörü, HEK güncelliği sorgulanır, herhangi bir ISO belge şartı aranmaz.	ISO 22000 ve ISO/TS 22002 Ön koşul programlarının tamamını karşılamalıdır, İç tetkikler, Yönetim Sistemi El Kitabı güncelliği sorgulanmaktadır.
Denetçi sektör Tecrübe Şartı	Sektör şartından ziyade başdenetçi olabilmesi için belirli bir süre denetçi olarak helal denetimlere katılma şartı vardır.	ISO 19011 Standardını eğitimi almış olması, 4 sene sektör tecrübesi ya da 2 sene helal belgelendirme alanında çalışıyor olması

---

gerekmektedir.

Denetçinin Müslüman Olma Gerekliliği	Denetçinin teknik bilgisinin yanında Müslüman ve dini vecibelerini yerine getiren bir kişi olması gerekmektedir.	Denetçi helal gereklilik ve uygulamaya sahip teknik bilgisi olan bir kişi olması yeterli görülmektedir.
--------------------------------------	--	---

**ISO:** Uluslararası Standart Organizasyonu, **CCP:** Kritik Kontrol Noktası, **HACCP:** Tehlike Analizleri Kritik Kontrol Noktası

***Kaynak:** GİMDES, 2011a; TSE, 2019 a*

GİMDES ve TSE Standartları incelendiğinde Denetim Sürecindeki ortak noktalar maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

- İki kurumda denetim yapmakta ve fıkıh kurullarının onayı ile helal sertifikalandırma yapmaktadır.
- Denetim raporu tutulması gerekmektedir. Rapor içinde tetkik türü, denetim ekibi, denetim türü, denetim başlangıç bitiş saatleri, baz alınan standart ve standarda ilişkin sorular vb.
- Denetim yapacak kişilerin helal gıda eğitimine tabi olarak denetçi olmaktadır.
- Üretim sahasında gıda üretimi için gerekli olan ön gereklilik şartları (temizlik, kalibrasyon, bakım, havalandırma, giderler vb.) sorgulanır. Denetim sonunda numune alınarak akredite dış lab analiz yaptırılır. Kayıtlar incelenir.
- Denetim sonrası uygunsuzluk takip, kontrol denetimi ve sertifika iptali uygulamaları vardır. Sertifikası iptal edilen kuruluşları ilgili internet sitelerinde yayınlamaktadırlar.

### **3.1.3 Helal Yönetim Sisteminin Kurulma Değerlendirmeleri**

Helal sertifikalandırma kurumları arasında en büyük farklılığı oluşturan kısım helal yönetim sisteminin kurulma aşamasındadır. Çünkü bu noktada her kuruluşun belirlemiş olduğu bir hassasiyet durumu mevcuttur. Bazı kuruluşlar kendilerini kefaret kurumu olarak ifade ederek en ufak bir şüphelilik durumuna bile müsaade etmemektedir. Bazı kurumlar yalnızca haram olarak ayetlerde geçenleri alarak daha geniş bir bakış açısıyla değerlendirmektedir. Bir takım kurumlar ise maddi boyutu ön plana alarak standartlarını dahi paylaşmadan sertifikalandırma yapabilmektedirler. Tüm bu durumlar kurumlar arasında farklılıklara, bir kurumun helal sertifikası verdiği bir ürüne, diğer kurumun sertifika vermemesine neden olabilmektedir. Bununla birlikte en bariz farklılık helal sertifikalandırma kurumlarının fıkıh kurullarının yorumları olarak karşımıza çıkmaktadır. Fıkıh konusundaki yorum farklılıkları mezheplerdeki farklılıkların göz önüne alınmaması ya da günümüzdeki yaşayış biçimlerine göre zaruret durumlarının farklı değerlendirilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Helal El Kitabı (HEK), GİMDES kurumunun firmalardan helal güvence sistemi kurulumu anlamında sertifikalandırma aşamasından önce talep ettiği bir gerekliliktir. Bazı helal sertifikalandırma kuruluşlarında HEK yerine Kalite El Kitabı yeterli görülerek helal ile ilgili kavramlar ekletilerek, helal sertifikalandırma sistemine özgü kavramlar açıklanarak gereklilik sağlanmaktadır. TSE ise HEK yerine yönetim sistemi el kitabı olarak adlandırmaktadır (TSE, 2019a; GİMDES, 2011a,b).

GİMDES ve TSE Helal Standartları incelendiğinde Helal yönetim sistemi gereklilikleri açısından farklı yönlerinin karşılaştırması Tablo 15’te özetlenmiştir.

*Tablo 15. Helal Sertifikalandırma Kurumları Standartlarının Karşılaştırması*

	<b>Konu</b>	<b>GİMDES</b>	<b>TSE</b>
Farklı Yönler	Akreditasyon	WHC, JAKIM	SMIC, HAK
	Faaliyet Alanı	Sadece helal sertifikalandırma yapılıdır. İslam dinince haram görülen bir ürün işleyen işletmeye hiçbir belge verilmez.	Helal sertifikalandırma dışında yönetim sistemleri dahil birçok kuruma sertifikalandırma yapılıdır. Haram ürün işlenen yerlere farklı kalite sertifikaları verebilmektedir.
	Sertifika Vermeye Başlama Tarihi	2008	2011
	Sertifika İsimlendirmeleri	Helalen Tayyiben Sertifika	Helal Uygunluk Belgesi
	İç Helal Koordinatörü Bulunma Durumu	Bulunmalı	Böyle bir şart bulunmamaktadır.
	Fetva Kurulu	Alanında uzman fıkıh Alimleri	Diyanet İşleri Başkanlığı ile Ortak Çalışılır
	ISO Belge Gerekliliği	İşletme kayıt numarası olması yeterlidir.	ISO 22 000 olması şarttır. Denetçiler ve sertifikalı kuruluşlardan birçok ISO gerekliliklerine uyum beklenir.
	Firmada kurulan ve helal gereklilikleri takip edilen sistem adı	Helal Güvence Sistemi	Helal Yönetim Sistemi
	Sertifika Üzerinde Mezhep Uygunluk Bildirimi	Var	Yok

**Kaynak:** GİMDES, 2011a,b; TSE, 2019a.

GİMDES ve TSE Helal Standartları incelendiğinde Helal yönetim sistemi gereklilikleri açısından ortak yönleri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Sözleşme yapılıdır ve sözleşme şartlarına uyum temel gerekliliktir. Belirli süreliğine sertifika verilir.
- Belgelendirme kuruluşunun Müslüman kimliğine ve hassasiyetine sahip bir kuruluş olması beklenir. İslami kurallar temel alınır ve gerekliliklerin buna uyumu aranır.
- Yasal izin belgeleri olan kayıt/onay belgesinin alınması, izlenebilirlik sisteminin olması, tesis yerleşim planı ve personellerinin sağlıklı ürün üretimi için gerekli olan temizlik şartlarını yerine getirmesi beklenmektedir. DÖF,
- müşteri şikâyetleri, kullanma talimatları, görev tanımları vb. formlar denetimlerde sorgulanır.

- Her bir üretim tesisi ayrı ayrı denetlenir. Üretim hatlarında temizlik ve hijyen gereklilikleri sağlatılmak istenir. Yönetim Gözden Geçirme toplantılarında helal konusunun işlenmesi talep edilir.

### 3.1.4.Ürün Bazlı Sertifikalandırma Kriterleri Değerlendirmeleri

Helal sertifikalandırma kuruluşlarının birbirlerini tanıma ya da akreditasyon alıp ürünlerini kabul edebilme gerekliliği olarak ürün bazlı helal gereklilikler gündeme gelmektedir. Bu bağlamda özellikle GİMDES kuruluşu diğer helal sertifikalandırma kuruluşlarından daha dar bir genişlikte çalışmakta ve kendisini kefalet kurumu ilan ederek verdiği sertifikaya da diğer kurumlardan farklı olarak ‘*helalen tayyiben*’ sertifika ismini vermektedir. Bu bağlamda ürün bazlı sertifikalandırma kriterleri farklılıkları Tablo 16’da özetlenmiştir. Bu gerekliliklerin İslami kurallar ile değerlendirmesi farklı branşların konusu olduğundan bu konuda yorum yapılmamıştır.

Tablo 16. Ürün Bazlı Sertifikalandırma Kriterleri Farklılıkları

Konu	GİMDES	TSE
Mekanik kesim	Hiçbir koşulda izin verilmez	9 şart ile uygunluk verilir.
Alkol Kullanımı ve Limit Farklılıkları	Etil alkolün hiçbir şekilde taşıyıcı olarak kullanılması istenmez.	Türk Gıda Kodeksi kapsamında alkol limitleri değerlendirilir(Alkol kullanımına izin verilmediği genel madde olarak yazılmaktadır).
Kesim anında şart koşulan tesmiye	Bismillahi Allahu Ekber denilmeli ya da Allah’ın diğer isimleri anılarak kesim gerçekleştirilmeli	Bismillah denilmesi yeterlidir.
Kan akıtma süresi	Minimum 210 saniye olmalıdır.	Minimum 180 saniye olmalı
Tüylü yolma Suyu Sıcaklığı	Max. 50-54 C baz alınır.	Sıcak suya izin verilir ancak kaynar suya izin verilmez. Derece olarak bir limit belirtilmemiştir.
Farklı Yönler	Sığırın İslami kesimlere göre kesildiğini sağlamak koşulu ile izin verilir.	Sığırdan elde edilmesi yeterlidir.
Sersemletme Limit değerleri	Küçükbaş ve büyükbaşta müsaade edilmez, Beyaz Et(tavuk) limitler vardır.(Max ancak tavuk ve hindilerde bu limit 25 Volt [0,3-0,5 amper] ve 15 bulunmamıştır). saniye uygulanması)	Küçükbaş ve büyükbaş için farklı amper ve süre limitleri tanımlanmıştır.
Kesim Yapan Kasabın 5 Vakit Namaz Kılma Gerekliliği	Sorgulanır eğer 5 vakit kılmıyor ise hanbeli mezhebi kutucuğuna (X) işareti konur.	Kasabın Müslüman olma durumu, 5 vakit namaz sorgusu ile ilgili net bilgi bulunmamaktadır.
Nitrit ve Nitrat	Tayyibat açısından uygun görülmez ve helal sertifikalandırma yapılmaz.	Türk Gıda Kodeksi limitleri baz alınır.

**Kaynak:** Gimdes,2011a,b;TSE2019

Helal Sertifikalandırma kurumlarının ürün bazlı sertifikalandırma ortak kriterleri GİMDES ve TSE Helal Standartları incelenerek aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- İslam dininde ayetlerde ifade edilen helal olmayan hayvan türleri ve bunlardan elde edilen malzemeler haram olarak kabul edilir. Bu tarz içerikli olan ürünlere helal sertifikalandırma yapılmaz.



- Kesilen hayvanın helal bir hayvan türü olması, kesim esnasında canlı olması, kesim esnasında farklı uzuvlarının kesiminin yasak olması, kesim öncesinde hayvanın strese girmeden bekletilmesi, hayvanın doğasına uygun olmayan besinlerle besletilmesi uygun görülmemektedir(cellale hariç).
- Kesimde kullanılacak bıçağın keskin ve temiz olması gerekmektedir. Kesim yapılacak bölgenin temizlik şartlarını yerine getirmesi, helal olmayan veya gıdada kullanılması uygun olmayan yağlar ve dezenfektan türlerinin kullanımına izin verilmez.
- MSG(Mono Sodyum Glutamat), Karmin (E120), Şellak(E904) olan ürünlere helal sertifikalandırma yapılmaz.
- GDO'lu ürünlere sertifikalandırma yapılmaz. GDO helal olarak kabul edilmez.
- İnsan sağlığına kesin zararı olan zehirli bitkiler dahil sertifikalandırma yapılmaz.
- Depolama ve taşıma gıda güvenliği gerekliliklerini sağlayarak tanımlı, temiz ve çapraz bulaşmaları önleyecek özellikte olmalıdır.
- Peynir mayası ve jelatin gibi gıda katkı maddeleri Helal olmayan kaynaklardan üretilmesine izin verilmez.
- İnsandan elde edilen herhangi bir ürüne helal sertifikası verilmez. Örneğin insan saçından elde edilen sistein, insandan sağılan süt vb. hiçbir üründe kullanımına izin verilmez.
- Kan çeşidinin her türlü haram olarak kabul edilir.
- Balıklar için canlı iken sudan çıkartılmaları helal olarak değerlendirilir, suda ölü olarak bulunan balıklar helal olarak değerlendirilmez.
- Gıdanın üretiminde kullanılan tüm gıda katkı maddeleri, işlem yardımcıları, üretim süreçleri ve ambalajları dahil olmak üzere, Helal olmayan maddelerden arındırılmış olması gerekliliktir.
- Kesimi yapacak kasabın Müslüman olması, dini vecibelerini yerine getiren bir kişi olması talep edilir. Helal kesim sertifikasına sahip olması istenir.
- Enzimler helal kaynaktan elde edildiği takdirde helal kabul edilir. Mikroorganizmalar için besi ve gelişim ortamının da helal ürün olması talep edilir.
- Ambalaj malzemesi helal olmayan bir kaynaktan üretilmemelidir. Gıdaya temas eden materyallerin gıdaya uygun olması talep edilir.
- Helal olmayan hayvandan elde edilen her türlü çıktı haram olarak kabul edilir. Tüm gıdalar helal üretim süreçleri ile helal kaynaklardan elde edilmesi şart koşulur.
- İslami kurallar çerçevesinde, alkol içeren tüm mamuller veya meşrubat helal kabul edilmez.
- Sersemletme işlemine sersemletme sonrasında hayvanın ayılabilmek şartıyla sersemletmeye izin verilebilmektedir. Helal hayvan türlerinin çekiç, balta, iğneli silah gibi gereçlere yere yığılmasına izin verilmez. Kesim öncesi hayvanların sağlık kontrolleri yapılması, kesimde kesilen hayvanların birbirini görmelerini engelleyecek sistemin olması talep edilir. Kesim anında Allah'ın adının anılarak kesim yapılması, Allah adından başka bir şey anıldığı takdirde kesimin helal kesim özelliğini kaybettiği kabul edilir. Kesim işlemi her hayvana birkez uygulanır. Kesim

işlemi, soluk borusu, yemek borusu ve hem boyun arteri, hem de iki şah damarı kesilmesi ile gerçekleştirilmesi standart olarak alınır.

## **Sonuç**

2020 yılı itibariyle Türkiye’de 60 civarında, Dünya’da ise 1500’ün üzerinde helal sertifikalandırma kuruluşunun olduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizde ve dünyada akredite olarak helal gıda sertifikası veren bir çok kuruluş bulunmakta olup, söz konusu kuruluşların standartları arasında bir çok farklılıklar bulunmaktadır. Bazı kurum ve kuruluşlar özellikle gıda katkı maddeleri ve çözen olarak kullanılan çözücülerde Türk Gıda Kodeksindeki limit değerleri esas alırken bazı kuruluşlar bunları şüpheli katagorisinde değerlendirmektedir. Çalışmamızda ülkemizde en çok belgelendirme yapan Türk Standartları Enstitüsü ve özel bir kuruluş olarak sertifikalandırma yapan GİMDES’in helal standartları örnek olarak incelenmiş ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmamızda incelenen bu iki kuruluş arasında, helal uygunluk belgesi düzenleme prosedürü ve standartları bakımından önemli farklılıkların bulunduğu görülmüştür. Bu tür farklılıkların muhtemelen diğer sertifika kuruluşlarında da bulunmasına rağmen bilgi paylaşımı olmaması nedeniyle bunların neler olduğu çalışmada tespit edilememiştir.

## KAYNAKÇA

Alıç, S. (2019). Sertifikasyon problemleri ve çözüm önerileri. *Helal Akreditasyon Problemleri ve Çözüm Önerileri Çalıştay Kitapçığı* (s. 29-38) içinde. Sabahattin Zaim Üniversitesi.

Anonim, (2011). *TSE'den ilk 'helal et' sertifikası Aytaç'a* [Online]. (<https://www.mynet.com/tseden-ilk-helal-et-sertifikasi-aytaca-180100055323>) (Erişim tarihi: 25 Kasım 2021)

Anonim. (2017b). [Online]. <http://dunyahelalbirligi.org/baskanin-mesaji.aspx> (Erişim tarihi: 14 Kasım 2017).

Anonim. (2017c). *Helal sertifikalı firmaların listesi* [Online]. <http://www.helalder.org.tr/helal-sertifikali-firmalar-liste.asp> (Erişim tarihi: 14 Kasım 2017).

Anonim. (2017d). [Online]. <http://www.helalder.org.tr/belgelendirme-kuruluslari> (Erişim tarihi: 14 Kasım 2017).

Anonim. (2018a). [Online]. <http://www.helaldenetim.com/icerik.aspx> (Erişim tarihi: 19 Şubat 2018).

Anonim, (2018b). *SMIIC Standardlarına Göre Helal Belgelendirme* [Online]. <https://cdn2.beun.edu.tr/ilahiyat//2018/05/tek/dogan-yazar-tse.pdf> (Erişim tarihi: 25 Kasım 2021)

Anonim, (2019a). Bilgi 2019 yılında GİMDES kurumundan mail yolu ile temin edilmiştir.

Anonim, (2019b). Bilgi 2019 yılında KASCERT kurumundan mail yolu ile temin edilmiştir.

Anonim, (2019c). HELALDER Merkezi ile yapılan telefon görüşmesinde alınan bilgidir.

Anonim. (2021a). *Helal belgesi nedir? nasıl alınır?*. [Online]. <https://www.intersistemteknik.com/helal-belgesi.html> (Erişim tarihi: 9 Mayıs 2021).

Anonim, (2021b). [Online]. <https://www.szutest.com.tr/hakkimizda/> (Erişim tarihi: 1 Mayıs 2021).

Anonim. (2021c). *Helal akredite kuruluş arama* [Online]. <https://www.hak.gov.tr/helal-akreditasyon/helal-akredite-kurulus-arama> (Erişim tarihi: 1 Mayıs 2021).

Anonim. (2021d). *Helal akreditasyon süreçleri* [Online]. <https://www.hak.gov.tr/helal-akreditasyon/helal-akreditasyon-surecleri> (Erişim tarihi: 1 Mayıs 2021).

Anonim. (2021e). *İlk helal akreditasyon sertifikası TSE'ye verildi* [Online]. <https://www.hak.gov.tr/haberler/ilk-helal-akreditasyon-sertifikasi-tse-ye-verildi> (Erişim tarihi: 1 Mayıs 2021).

Anonim. (2021f). [Online]. <https://www.hak.gov.tr/kurumsal/hakkimizda> (Erişim tarihi: 22 Mayıs 2021).

Anonim. (2021g). *Islamic information documentation and certification GmbH (IIDC) HAK tarafından akredite edildi* [Online]. <https://www.hak.gov.tr/haberler/islamic->

[information-documentation-and- certification-gmbh-iidc-hak-tarafından-ak](#) (Erişim tarihi: 22 Mayıs 2021).

Anonim. (2021h). [Online]. <https://basvuruportal.tse.org.tr/Genel/FirmaArama.aspx> (Erişim tarihi: 28 Kasım 2021).

Anonim. (2021i). Bilgi 2021 yılında GİMDES kurumundan mail yolu ile temin edilmiştir.

Arslan, H. (2018). Helal gıda sektörü: Malezya ve Türkiye karşılaştırılması, 1.

*Uluslararası Battalgazi Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi, İKSAD.*

Batu, A. (2012a). Helal (mahzursuz) gıda belgelendirmesindeki sorunlar ve çözüm önerileri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2): 60-75

Batu, A. (2012b). Türkiye’de helal (mahzursuz) gıda ve helal belgelendirme sistemi.

*Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1): 51-61.

Boran, M. (2016). Gıda katkı maddelerinde helâllik ve haramlık ölçüleri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(42): 1751-1759.

Boran, M. (2019). *Yiyecek ve içeceklerimizde helal haram ölçüleri*. İstanbul, Ravza Yay. ve Mat.

BRC V8.(2018). BRC (British Retailer Consortium) Global Standards

Büyüközer, H. (2011). *Yeni Dünya Düzeni ve Helal Gıda*. 1. Baskı, İstanbul, Çevik Matbaacılık

Büyüközer, H. (2012). *Yeniden Gıda Raporu*. 9. Baskı, İstanbul, Çevik Matbaacılık

Büyüközer, H. (2013). *Her helal sertifikası gerçek helal ve tayyib sertifikası değildir* [Online]. <http://www.gimdes.org/her-helal-sertifikasi-gercek-helal-ve-tayyib-sertifika-degidir.html> (Erişim tarihi: 17 Şubat 2018).

Çayiroğlu, Y. (2014). *İslâm Hukukuna Göre Helal gıda kitabı*. Işık Yayınları.

Çelik, H. (2019). Sağlık Güvenlik ve Helal Derneği (HELALDER). *Helal Akreditasyon Uygulamaları: Sorunlar ve Çözüm Önerileri Çalıştay Kitapçığı* (s. 78-79) içinde, İstanbul.

Doğru Haber (2020). *HAK hakkında merak edilenler*. [Online]. <https://www.hak.gov.tr/basinda-biz> (Erişim tarihi: 17 Mayıs 2021).

Eryılmaz, H.S. (2021). Singapur’daki Helâl Gıda Sertifikasyonuna Kritik Yaklaşım.

*Academic Platform Journal of Halal Lifestyle*, 3(1), 01-16

Fındık, S. (2013). Helal gıda güvenli gıda. 21. *Gıda Mühendisliği 4. Öğrenci Kongresi, Yüzyılda Gıda Kongre Bildiri Kitabı* (s. 29) içinde. Sakarya.

Fındık, M. A. (2019). Malezya’nın helal gıda sertifikasyonundaki rolü. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 1(2): 82-104.

GAC, (2021) [Online]. [https://www.gac.org.sa/en/approved\\_provider/](https://www.gac.org.sa/en/approved_provider/) (Erişim tarihi: 21 Kasım 2021).

Gedikli, Z. (2019). Helal akreditasyon uygulamaları: sorunlar ve çözüm önerileri. *Helal Akreditasyon Uygulamaları: Sorunlar ve Çözüm Önerileri Çalıştay Kitapçığı* (s. 39-43) içinde. Sabahattin Zaim Üniversitesi.

GİMDES. (2005). *GİMDES Resmi Sitesi* [Online]. <http://www.gimdes.org/> (Erişim tarihi: 21 Kasım 2021).

GİMDES. (2011a).GİMDES Helal Standardı, [Online].  
<http://www.gimdes.org/gimdes-standartlari/gimdes-helal-standardi> (Erişim tarihi: 17 Nisan 2019).

GİMDES. (2011b). Helal Güvence Sistemi Takip Prosedürü [Online].  
<http://www.gimdes.org/belgelendirme/helal-guvence-sistemi> (Erişim tarihi: 17 Nisan 2019).

GİMDES. (2011c).Örnek Yol Haritası [Online].  
<http://www.gimdes.org/belgelendirme/yol-haritamiz> (Erişim tarihi: 21 Kasım 2021).

GİMDES. (2011d). Sözleşme [Online].  
<http://www.gimdes.org/belgelendirme/sertifikalamada-sozlesme> (Erişim tarihi: 21 Kasım 2021).

GİMDES. (2011e). *Beyaz Et Kesimhaneleri Helal El Kitabı* [Online].  
<http://www.gimdes.org/belgelendirme/helal-el-kitabi> (Erişim tarihi: 21 Kasım 2021).

GİMDES. (2021a). *10 soruda helal ve tayyib beslenmenin önemi ve GİMDES* [Online].  
<http://www.gimdes.org/10-soruda-helal-ve-tayyib-beslenmenin-onemi-ve-gimdes.html> (Erişim tarihi: 16 Mayıs 2021).

GİMDES. (2021b). *Sahte helal sertifika ve sahte helal logo kirliliğine dikkat!* [Online].  
<https://www.gimdes.org/sahte-helal-sertifika-ve-sahte-helal-logo-kirliligine-dikkat.html> (Erişim tarihi: 8 Ocak 2022).

Gültekin, F., Çeker, O, Elgün A., Gürbilek, M., Şimşek, M., Oral, R., Köse, S., Türker, S., Döndüren, H., Ünal, M., Küçüköner, E., Yetim, H., Aydın, A., Dede, B., Özmen, İ., Başayığit, L., Cengiz, M., Tilki, T., Akın, S., (2020). Gıda katkı maddelerinin istihale yönünden değerlendirilmesi. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 2(2): 21-33.

Güneş,Z.,Yetim,H.,(2020). Helâl Gıda Üretimi ve Tüketimi, *Journal of Halal Life Style* 2 2(2), 70-94

Güzel, Y. (2015). Helal gıda sertifikası ve tüketici. *İĞİAD Bülteni*.

Hedem,(2018). ). [Online] [www.helaldenetim.com/icerik.aspx](http://www.helaldenetim.com/icerik.aspx). (Erişim Tarihi: 28 Nisan 2019)

IFS V7,(2003).Gıda Güvenliği Standardı

HCS, (2021). [Online] <https://halalcs.org/our-history/> (Erişim Tarihi: 20 Nisan 2021).

İşbilir, H. (2021). *Erkam radyo helal hayat programından alınan bilgidir.* (Erişim:28 Kasım 2021 saat 16:05-16:35)

İZÜ, (2021). [Online]. <https://www.izu.edu.tr/arastirma/arastirma-merkezleri/helal-gida-arge-mukemmeliyet-merkezi> (Erişim tarihi: 29 Haziran 2021).

Kahraman, A. (2011). Gıda ürünlerinde helâl ve haramı belirleme yöntemi. *Güncel Dini Meseleler İstişare Toplantısı IV* (s. 36) içinde. Afyonkarahisar.

Köseoğlu, A. (2014). *Helal belgelendirme gerekliliği*. Mevlana Kalkınma Ajansı.

Latif, I. A., Mohamed, Z., Sharifuddin, J., Abdullah, A. M., & Ismail, M. M. (2014). *A Comparative Analysis of Global Halal Certification Requirements*. *Journal of Food Products Marketing*, 20(sup1), 85-101.

Malhatun, S. (2019). Helal akreditasyon uygulamaları: sorunlar ve çözüm önerileri. *Helal Akreditasyon Uygulamaları: Sorunlar ve Çözüm Önerileri Çalıştay Kitapçılığı* (s. 44-46) içinde. Sabahattin Zaim Üniversitesi.

Övüt, İ. (2019). OIC/SMIIC standartları ve helal kalite altyapısı. *Helal Akreditasyon Uygulamaları: Sorunlar ve Çözüm Önerileri Çalıştay Kitapçığı* (s. 13-16) içinde. Sabahattin Zaim Üniversitesi.

Özdemir, H.& Yaylı, A. (2014). Tüketicilerin helâl sertifikalı ürün tercihleri üzerine bir araştırma İstanbul ili örneği. *İşletme araştırmaları dergisi*, 6(1), 183-202.

Özdemir, O. (2009) *Yiyecek ve içeceklerde helallik-haramlık kriterleri* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kayseri.

Standart Ekonomi ve Teknik Dergi. (2016). Helal gıda belgelendirme süreci. (Nisan), s. 48-50.

SZUTEST, (2021). <https://www.szutest.com.tr/helal-belgelendirme/> (Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021)

Şencal, H. (2021). Helal gıda ve helal turizm sektörlerinin eleştirel bir değerlendirmesi. *Uluslararası İslam Ekonomisi ve Finansı Araştırmaları Dergisi*, 1: 105-110.

Şimşek, M. (2013). Helal belgelendirme ve SMIIC standardı. *İslam Hukuku Araştırmaları Dergisi*, 22: 19-44.

TSE, (2012). *TSE helal gıda paneli*. Bolu.

TSE, (2015).ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi Standardı

TSE,(2018).ISO:22000-2018 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Standardı

TSE, (2016). *Helal belgelendirme tanıtım broşürü* [Online]. <https://statik.tse.org.tr/upload/tr/dosya/icerikyonetimi/7357/19112015180521-2.pdf> (Erişim tarihi: 2 Temmuz 2021)

TSE, (2019a). *OIC/SMIIC 2: 2019 Standardı. Helal belgelendirmesi yapan kuruluşlar için gereklilikler*. 2. Baskı, md. 9.1.3.

TSE, (2019b). OIC/SMIIC 1: 2019 Standardı. 2. Baskı, md.5.10.1; 5.16.c; 8 ve 9.

Bölümler; EK-B-İslami kurallara göre temizlik yöntemi.

TSE, (2021a). *Helal Belgelendirme Hizmetlerimiz* [Online]. <https://www.tse.org.tr/IcerikDetay?ID=2358&ParentID=6898> (Erişim tarihi: 25 Kasım 2021).

TSE, (2021b). *TSE Faaliyet Raporları* [Online]. <https://www.tse.org.tr/Icerik/Raporlar?ID=17&ParentID=2518> (Erişim tarihi: 28 Kasım 2021).

Türker, S. (2020). Helal ve güvenilir gıda. *Helal ve Etik Araştırmalar Dergisi*, 2(1), s. 85-97.

Yalçın, B. (2019). *Ulusal ve Uluslararası Helal Gıda Standardizasyonu Ve Belgelendirilmesi* [Online].

<http://www.ugmuzman.com.tr/tr/akademikosesidetay-ulusal-ve-uluslararası-helal-gıda-standardizasyonu-ve-belgelendirilmesi-18.html>. (Erişim tarihi: 17 haziran 2021).

Yetim, H. ve Türker, S. (2020). Helal ve Sağlıklı Gıda. İZÜ Yayınları, No:51. Halkalı, İstanbul

Yetim H. (2019). Helal sertifikasyonu ve yaşanan güncel sorunlar. “*Helal Akreditasyon Uygulamaları: Sorunlar ve Çözüm Önerileri*” Çalıştay, (s. 80- 86). İst. Sabahattin Zaim Üniversitesi. Halkalı, İstanbul

Zülküfoğlu, Y., Cankurtaran, . ve zbey, S. (2016). SMIIC kurul toplantısı 2-3 ağustos 2010 tarihlerinde Ankara'da gerçekleştirilmiş ve kuruluş resmen faaliyete geçmiştir. *Standart Ekonomi ve Teknik Dergi*. (Nisan), s. 30-33.

WHA, (2021). [Online]. <https://www.wha-halal.org/who-we-are/> (Erişim tarihi: 21 Kasım 2020).

# Spintronik Aygıt Uygulamaları İçin Katkılı ZnO Seyreltilmiş Manyetik Yarıiletkenlerin Sıcak Pres Yöntemi İle Üretilmesi Ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi

İdris CANDAN<sup>1</sup>  
Hasan İsmail YAVUZ<sup>2</sup>  
Rıdvan YAMANOĞLU<sup>3</sup>

## Giriş

Modern bilgi teknolojisi, yarı iletkenlerde bilgiyi işlemek için elektronların yük serbestlik derecelerini ve manyetik malzemelerde bilgiyi depolamak için spin serbestlik derecelerini kullanır. İki serbestlik derecesinin güçlü bir şekilde etkileşime girdiği malzemeler "spintronik" olarak adlandırılmaktadır. Spintronik, elektron yükü yerine veya yüküne ek olarak elektron spininin kontrolü ve yönlendirilmesi temeline dayanmakta olup, spin alan etkili transistörler, spin depolama/bellek cihazları veya spin kuantum bilgisayarları gibi yeni elektronik cihazlara yol açarak daha az güç tüketimi, daha hızlı çalışma ve daha küçük boyut vaat etmektedir.

Seyreltik manyetik yarıiletken (SMY) malzemeler alanındaki ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda evropiyum (Eu) ve krom (Cr) bazlı kalkojenitler (EuO, EuS, EuSe, CdCr<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, ve CdCr<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> gibi) ile ilgili yapılmıştır (Schwob & Vogt, 1966; Kasuya & Yanase, 1968). Fakat, bu yapıların üretiminin oldukça zor olması ve çok düşük Curie sıcaklıklarına sahip olmalarından dolayı pratik uygulamalarda kullanımı sınırlı kalmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren SMY alanından hızlı gelişmeler yaşanmış ve moleküler ışın epitaksisi (molecular beam epitaxy, MBE) ve darbeli lazer birikimi (pulsed laser deposition, PLD) gibi teknikler kullanılarak bu malzemeler üretilebilmiştir. Bununla beraber, serbest yük taşıyıcıları elektriksel taşınımın yanı sıra, elektron spinlerinin kutuplanmış akışının dış manyetik alana ek olarak elektrik alan ve optik uyarılma ile de sağlandığı keşfedilmiştir. Elektrik alan ile sağlanan ferromagnetizma kontrollü magnetoelektronik devrelerin yapılmasına ve optik uyarılma ile sağlanan manyetizma (manyetooptik) optik bilginin manyetik bilgiye dönüşmesine olanak sağlamıştır (Akinaga & Ohno, 2002; Žutić, Fabian & Sarma, 2004). Dietl (Dietl, 2000) yaptığı bir çalışmada oda sıcaklığında ferromanyetizma özellik gösteren malzemeler için olası adayların GaN ve ZnO olabileceği fikrini ortaya atmıştır. Bu gelişmenin ardından, oda sıcaklığında SMY üretmek için hem teorik hem de deneysel pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir.

Dietl'in Mn katkılanmış ZnO yapısının oda sıcaklığında ferromanyetik olacağı öngörüsüyle, ZnO bileşiğinin optik ve elektriksel özelliklerinin birleşmesi bu malzemeyi spintronik uygulamalar için potansiyel bir aday olmasını sağlamıştır. Ayrıca, ZnO yapısı içerisinde çeşitli geçiş matallerinin yüksek çözünürlük göstermesi bu malzemeyi rakiplerine kıyasla daha avantajlı hale getirmektedir. Dietl'in öngörüsüne göre, Mn katkılı geniş bant aralıklı ZnO'nun Curie sıcaklığı, hem delik yoğunluğunun (hole concentration) hem de manyetik katkılayıcının konsantrasyonunun bir fonksiyonu olmalıdır. Ancak, Sato ve Katayama-Yoshida tarafından yapılan yerel yoğunluk yaklaşımlarına dayanan hesaplamalara göre Mn katkılı ZnO'da ferromanyetik düzen için delik (hole) aracılık etmesinin gerekli olduğu varsayılmıştır

<sup>1</sup> Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi

<sup>2</sup> Ar. Gör., Kocaeli Üniversitesi

<sup>3</sup> Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi

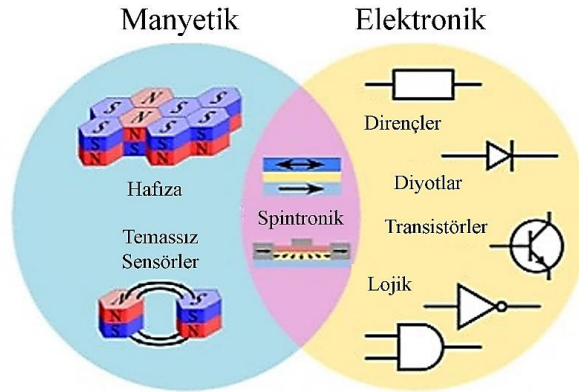


(Sato & Yoshida, 2000). Ayrıca çalışmada, V, Cr, Fe, Co ve Ni gibi diğer geçiş metalleri ile katkılanan ZnO için, ek taşıyıcılar olmadan da ferromanyetik düzen olduğu gösterilmiştir ve teorik olarak Curie sıcaklığı oda sıcaklığının üzerinde olacağı hesaplanmıştır. (Sato & Yoshida, 2002). Bu sonuçlar ve hesaplamalar neticesinde geçiş metalleri ile katkılanmış ZnO, optoelektronik ve spintronics uygulamalarında büyük potansiyele sahip geniş bantlı bir yarı iletken olarak bu alanda günümüzde yaygın olarak araştırılan bir malzeme haline gelmiştir.

Tüm bu bilgiler ışığında, çalışmada geçiş metali katkılı ZnO yarıiletken malzemeleri mevcut literatür çalışmalarında kullanılmamış bir yöntem olan sıcak pres ile üretilmiş ve malzemelerin yapısal özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, üretim yönteminde yapılan değişikliğin malzemeye olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu malzemelerin teknolojik uygulamalarda nasıl kullanıldığına dair temel bilgiler paylaşılmıştır.

## Spintronik Malzemeler

Spintronik (Spin Transport Electronics), elektronların sadece yüklerini değil, aynı zamanda “spin” adı verilen içsel manyetik özelliklerini kullanarak bilgi taşıyan elektronik cihazların ve malzemelerin çalışma prensiplerini inceleyen bir alanı tanımlamaktadır. Geleneksel elektronik cihazlar yalnızca elektronların yükünü kullanırken, spintronik cihazlar elektronların hem yükünü hem de spinini kullanarak daha fazla işlevselliğe ve verimliliğe sahip olabilir. Başka bir ifadeyle spintronik özellik bu malzemelere manyetik malzemelerin uçucu olmayan ve uzaktan algılama özellikleri ile elektronik malzemelerin işleme işlevselliğinin kombinasyonunu kazandırır. Şekil 1’de bu durum şematize edilmiştir.



Şekil 1. Spintronik özelliğın şematik gösterimi (Liu, Bryan & Xu, 2020)

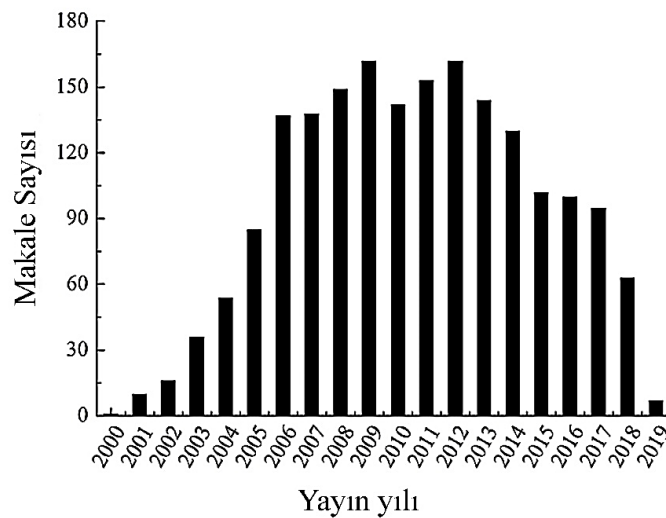
Bu malzemeler ilk olarak 1983 yılında Robert de Groot tarafından “NiMnSb” için ve Jürgen Kübler tarafından ise “Co<sub>2</sub>MnAl” ve “Co<sub>2</sub>MnSn” bileşikleri için yarı metalik ferromıknatısların keşfiyle ortaya çıkmıştır. Bu tür ferromıknatısların özelliğı, elektronik taşıma özelliklerinde yalnızca bir tür spine sahip elektronların yer almasıdır. Bu durum, elektronun yükünün değil de spininin sinyali taşıdığı ve dolayısıyla "omik" enerji dağılımının olmadığı elektronik cihazların yapılabileceğini göstermektedir. Malzemelerin Fermi enerjisinde %100 spin polarizasyonu sergilemesi gibi istisnai bir özellik, onları spin elektronüğında yani spintronikte kullanılacak spin enjeksiyon cihazları için ideal adaylar haline getirmektedir. Diğer yandan yarıiletkenlen malzemelerde yer alan spinler, bilgi depolama ve işlemenin tek bir malzeme de bütünleştirilmesine imkân sağlamaktadır. Yarıiletken spintronüğın bu uygulamaları spinlerin enjeksiyonu, tespiti, manipülasyonu, taşınması ve depolanması için teknikler gerektirmektedir. Yarıiletkenlerdeki tekli spinler aynı zamanda atom fiziğinin katı haldeki bir benzerini sunarak katı halde kuantum bilgi sistemlerine giden bir yol sağlamaktadır. Günümüzde ise ulaşılabilir uzaysal ve zamansal çözünürlükteki ilerleme sayesinde,

yarıiletkenlerdeki tekli spinler artık ilgili eşvrelilik süresinden çok daha kısa zaman ölçeğinde çeşitli sistemlerde optik olarak incelenebilmekte ve manipüle edilebilmektedir. Dolayısıyla spintronik malzemeler, spin serbestlik derecesinden yararlanan ve yeni tip hızlı elektronik cihaz türleri için oldukça umut verici ve gelişmekte olan bir malzeme grubudur. Araştırmacılar, spintronik malzemelerin kullanımıyla verilerin yüksek yoğunluk ve düşük enerji tüketimi ile uçucu olmayan şekilde depolanmasını sağlamayı hedeflemektedir. Spintronik malzemeleri, elektronların spinlerini etkili bir şekilde kontrol etmeye ve kullanmaya izin veren malzemelerdir. Bu malzemeler, farklı spin hali kombinasyonlarına dayalı olarak çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Ferromanyetik malzemeler, antiferromanyetik malzemeler, yarıiletkenler, spin aktarım malzemeleri ve manyetik tünelleme bağlantıları spintronik malzemeler grubunda yer almaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde günümüzde bu malzemeler manyetik kayıt cihazları, manyetik alan sensörleri, manyetik görüntüleme cihazları ve spintronik tabanlı veri işleme cihazları gibi birçok uygulama alanına sahip ve gelişime açıktır.

### ZnO Seyreltilmiş Yarı İletkenler

Seyreltilmiş manyetik yarıiletken (SMY) malzemeler, tek bir malzeme sisteminde hem yük hem de spin serbestlik derecesini kontrol edilebilmesinden dolayı büyük ilgi görmektedir. SMY, mantıksal hesaplama için hem yarıiletkenlerin hem de bilgi depolama için ferromanyetik malzemelerin üstün özelliklerinin kombinasyonuna sahip bir malzeme türüdür (Yang, 2013).

ZnO, büyük eksiton bağlanma enerjisi (~60 meV) ve doğrudan bant aralığı nedeniyle optoelektronik cihazlar için umut verici uygulamalara sahip, oda sıcaklığında ~3.37 eV doğrudan bant aralığına sahip geniş bant aralıklı bir yarıiletken malzemedir (Yang & ark., 2010; Yamanoglu & ark., 2012). ZnO, teorik hesaplamalara dayalı olarak oda sıcaklığının üzerinde öngörülen Curie sıcaklığı nedeniyle başlangıçta SMY araştırmaları için çalışmaların odak noktası haline gelmiştir. Şekil 2’de ZnO bazlı SMY’ler hakkında yayınlanan makalelerin yıllık miktarı görülmektedir. Görüldüğü gibi 2000’li yıllardan itibaren bu alan ile ilgili yapılan çalışmalarda yüksek ilgi görmektedir. Saf haliyle de yarıiletken özelliklere sahip olmasına rağmen ZnO’nun bu özelliği farklı elementler ile seyreltilerek geliştirilebilmektedir. ZnO seyreltilmiş yarıiletkenler, genellikle başka bir yarıiletken malzeme içine ZnO’nun az miktarda eklenmesi veya ZnO tabanlı bileşiklerin üretilmesi yoluyla elde edilir. Bu tür malzemelerin spintronik uygulamaları için ilgi çekici potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 2. “ZnO seyreltilmiş manyetik yarı iletkenler” araştırmaları hakkında yıla göre yayınlanmış makale sayıları (Web of Science)

ZnO'nun bu avantajlarına rağmen, pratik uygulamaları UV ışık aktivasyonu gerekliliği, düşük kuantum verimliliği ve ciddi foto korozyon gibi bazı kalıtsal dezavantajlar nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek için, takviye parçacıkları içeren ZnO matris kompozit yarıiletkenlerin üretimi, yeni ve gelişmiş özellikleri nedeniyle son zamanlarda artış göstermiştir. Günümüzde yapılan araştırmalar daha çok ZnO SMY'deki ferromanyetizmanın kökeni ve mekanizması üzerine yapılmaktadır. ZnO SMY hakkında daha önce yayınlanan araştırmalar incelendiğinde, (1) ZnO'da spin tutarlılığı, (2) ZnO SMY'de serbest taşıyıcı tipi ve konsantrasyona bağlı manyetik özellikler ve (3) katkısız ve geçiş metali katkılı olmayan ZnO'da ferromanyetizma hakkında ZnO SMY araştırmaları yapıldığı görülmektedir. Spin tutarlılığı, ZnO SMY cihaz uygulamaları için kritik bir fiziksel parametredir. Diğer ikisi, ZnO SMY'deki ferromanyetik düzenin kökenini ve mekanizmasını daha da netleştirmeye yardımcı olmakta ve hassas bir şekilde kontrol edilebilir ZnO SMY'nin gelecekteki gelişimini kolaylaştırmaktadır (Ogale, 2010).

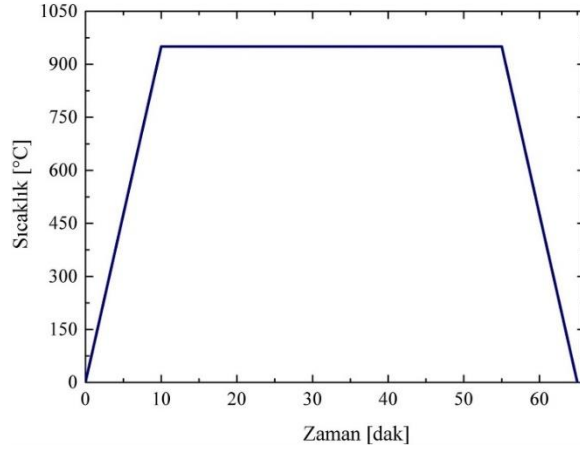
### Malzeme ve Yöntem

Çalışmada kullanılan ZnO, Ni, Cr, Co, Fe, Mn tozları ve Ni-Cr ön alaşımlı tozu Nanografi Nano Teknoloji A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Tozların partikül boyut ve şekil bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

*Tablo 1. Tozların boyut ve şekil bilgisi*

Malzeme	Partikül Boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Partikül Şekli
ZnO	3-10	Düzensiz
Fe	3-10	
Co	10-20	
Ni	43	
Cr	10-20	
Mn	10-20	
Ni-Cr	43	

Üretim öncesinde matris ve katkı malzemesi olarak kullanılacak tozların % mol cinsinden hesaplamaları yapılmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Tüm katkılar % mol (1, 2.5 ve 5) oranlarında hesaplanmış ve matris içerisinde homojen dağılması sağlanmıştır. Bu işlemler için AND GR-200 marka hassas terazi ve MSE-TEC marka bilyalı değirmen kullanılmıştır. Farklı bileşimlere sahip toz karışımları DIEX VS-50 marka sıcak pres cihazıyla sinterlenmiştir. Sinterleme çevrimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Sinterleme çevrimi

Numunelerin nihai yoğunluk değerleri Arşimet prensibine göre ölçülmüştür. Bu işlem için AND GR-200 marka hassas terazi ve yoğunluk ölçüm kiti kullanılmıştır. Ardından RigakuSA-HF3 marka XRD cihazı kullanılarak numunelerin faz tayini yapılmıştır. XRD analizi 40 V hızlandırma voltajı, 20 mA akım, Cu-K $\alpha$  ışınları ( $\lambda=1.54 \text{ \AA}$ ), 10-90° tarama alanı ve 1°/dak tarama hızında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin kimyasal kompozisyon bilgisi

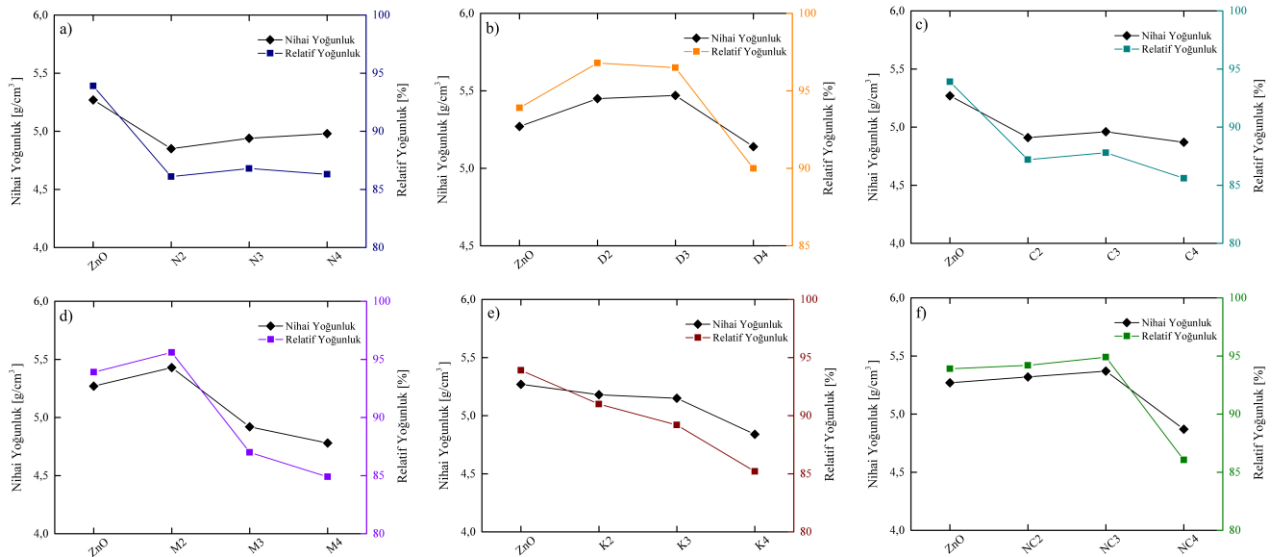
Grup	Numune Kodu	Matris	Matris Molekül Ağırlığı (g/mol)	Matris Miktarı (g)	Takviye Elemanı	Takviye Molekül Ağırlığı (g/mol)	Takviye miktarı (%mol)	Takviye Miktarı (g)
1	N2	ZnO	81.38	5.28	Ni	58.69	% 1	0.038
	N3				Ni		% 2.5	0.097
	N4				Ni		% 5	0.200
2	D2				Fe	55.84	% 1	0.036
	D3				Fe		% 2.5	0.092
	D4				Fe		% 5	0.190
3	C2				Co	58.90	% 1	0.038
	C3				Co		% 2.5	0.097
	C4				Co		% 5	0.200
4	M2				Mn	54.90	% 1	0.035
	M3				Mn		% 2.5	0.091
	M4				Mn		% 5	0.187
5	K2	Cr	52.00	% 1	0.034			
	K3	Cr		% 2.5	0.086			
	K4	Cr		% 5	0.170			
6	NC2	Ni-Cr	57.35	% 1	0.037			
	NC3	Ni-Cr		% 2.5	0.094			
	NC4	Ni-Cr		% 5	0.195			

Son olarak numunelerin yapısal özelliklerin ve Raman aktif modlarının tayini için oda sıcaklığında Renishaw inVia Confocal Raman marka 532 nm dalga boyuna ve 3 mW lazer gücüne sahip Nd:YAG lazer uyarma kaynağı kullanılarak oda sıcaklığında 200 ile 1800  $\text{cm}^{-1}$  aralığında konfokal Raman (confocal Raman) ölçümleri yapılmıştır.

## Sonuçlar ve Tartışma

### Yoğunluk Sonuçları

Çalışmada üretilen katkılı ZnO yarıiletkenler malzemelerin nihai ve relatif yoğunluk değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Sıcak pres ile üretilen katkısız ZnO referans numunesinde %93,9 yoğunluk değeri elde edilmiştir. Üretim sıcaklığının seramik karakteristiğe sahip ZnO tozunun sinterleme sıcaklığından düşük olması, yapıya ilave edilen geçiş metalleri ile ZnO tozları arasında metalurjik bağ oluşumunu engellemiştir. Bu durum katkılı numunelerin yoğunluk değerinde katkı oranının artmasıyla birlikte azalmaya sebep olmuştur. Ancak neredeyse tüm numunelerde çalışmada hedeflendiği gibi %85 ve üzeri yoğunluk değerlerine ulaşılmıştır. Dolayısıyla sıcak pres ile katkılı ZnO yarıiletkenlerin üretimi, düşük porozite miktarına sahip malzemelerin elde edilmesini sağlamıştır.



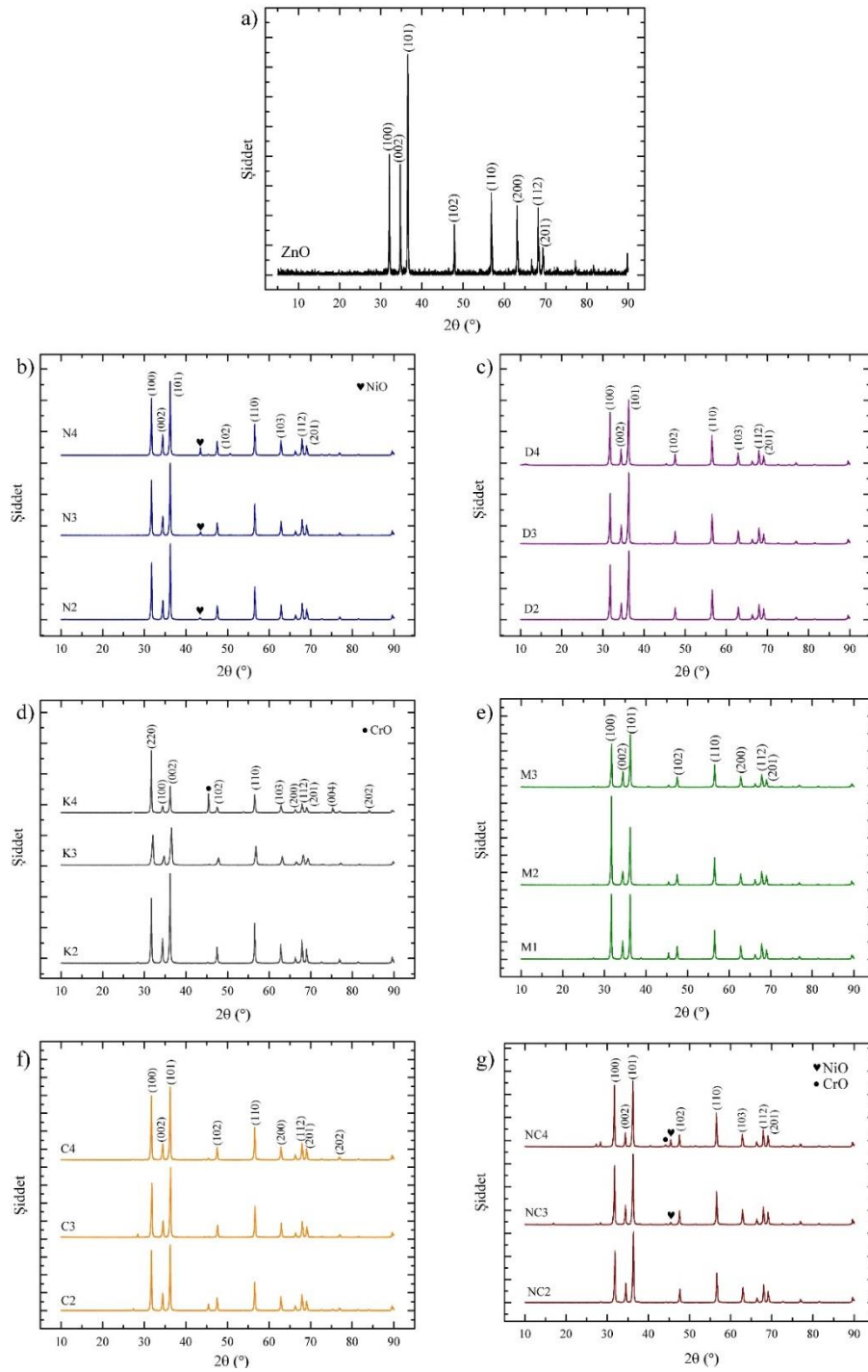
Şekil 4. Numunelerin nihai ve relatif yoğunluk değerleri; a) ZnO/Ni, b) ZnO/Fe, c) ZnO/Co, d) ZnO/Mn, e) ZnO/Cr, f) ZnO/Ni-Cr

### XRD Analizi

Katkısız ve katkılı ZnO yarıiletken malzemelere uygulanan XRD analiz sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Çalışmada üretilen tüm numunelere XRD analizi uygulanmış ve her grubun XRD datasında artan mol oranlarının yapıya olan etkisine odaklanılmıştır. Şekil 5(a)'da verilen katkısız ZnO'nun XRD grafiği incelendiğinde  $2\theta = 32^\circ$ ,  $34^\circ$  ve  $36^\circ$ 'de (100), (002), (101) düzlemlerine karşılık gelen yüksek yoğunluklu ve (102), (110), (103), (200), (112) ve (201) düzlemlerindeki düşük yoğunluklu karakteristik pikler, tavllanmış ürünün yüksek saflıkta heksagonal ZnO wurtzite yapısına sahip olduğunu doğrulayan standart ZnO için JCPDS Kart No. 89-7102 ile uyumlu olduğunu göstermektedir (Gallegos & ark., 2016; Anbuselvan & ark., 2021; Safa & ark., 2018). Şekil 5(b)'de gösterilen ZnO-Ni yapısında nikel katkılama oranının

artmasıyla birlikte NiO pikinin oluştuğu görülmüştür. Diğer yandan Ni katkılama ZnO'nun kristallilik derecesinde düşmeye yol açmıştır.

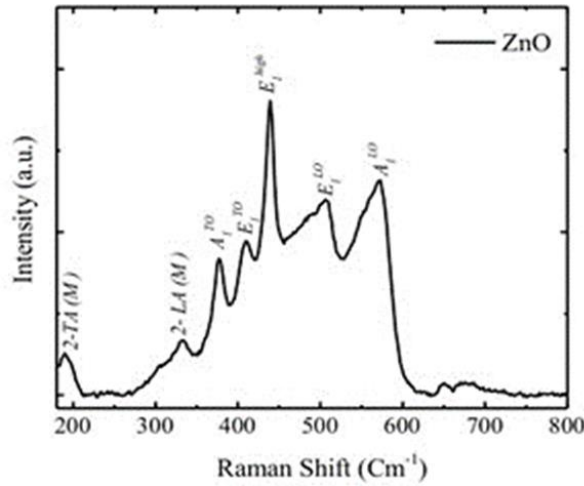
Literatürde yer alan veriler incelendiğinde, ZnO'ya Ni katkısı durumunda ZnO matrisi içinde Ni'nin iyi bir şekilde çözünebildiği ve ZnO'nun altıgen kafes yapısının katkılama işleminden sonra dahi korunduğu görülmüştür (Ajmal & ark., 2020). Şekil 5(c)'de gösterilen ZnO-Fe XRD grafiğinde ZnO'ya ait karakteristik piklerin haricinde bir pik oluşumu görülmemiştir. Ayrıca X-ışını spektrumlarının yoğunluklarının demir iyonu katkısı konsantrasyonundaki artışla azaldığı bulunmuştur. Literatür incelemesinde tek fazlı yapı ve karakteristik pik yoğunluğunun azalması, Fe iyonunun ZnO hegzagonal Wurtzite yapısına başarılı bir şekilde dahil edildiğinin kanıtı olarak gösterilmiştir (Samanta, Goswami & Mahapatra, 2020). Cr ilaveli ZnO yapısının XRD grafiğinde ise (Şekil 5(d)) CrO haricinde Cr fazına atfedilebilecek bir pik oluşumu gözlenmemiştir. Literatür verilerinde ZnO-Cr örneklerinin tek fazlı olduğu ve Cr'nin ZnO yapısına başarılı bir şekilde dahil olduğu belirtilmektedir (Hassan & ark., 2015). Ayrıca XRD desenlerinden artan Cr konsantrasyonu ile ZnO piklerinin daha yüksek açılara doğru kaydığı görülmektedir. XRD piklerinin bu tür kaymaları, ZnO kristal kafesinde Zn yerine Cr ikamesi nedeniyle bir kafes genişlemesini ortaya koymaktadır (Mote, Huse & Dole, 2012). Şekil 5(e)'de verilen Mn ilaveli ZnO yapısının XRD grafiğinde ise Mn metali, diğer oksitler veya çinko manganer fazından kaynaklanan ekstra pikler olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum üretilen numunelerin tek fazlı olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca katkılı numunelerde görülen pik tepe noktalarının katkısız ZnO'ya kıyasla az da olsa sola kaydığı belirlenmiştir. Bu durum literatürde yapıdaki Mn miktarının artmasıyla birlikte kristal kafes parametrelerinde küçük değişikliklerin meydana gelmesiyle ilişkilendirilmiştir (Ashokkumar & Muthukumaran, 2015). Şekil 5(f)'de verilen ZnO-Co XRD grafiğinde görülen pikler incelendiğinde, ZnO'nun Co çözünürlük sınırının altında katkılama yapılmasından dolayı herhangi bir safsızlık pikine rastlanmamıştır. Bununla birlikte Co katkısı ZnO'nun hegzagonal würtzit yapısında bir değişime neden olmamıştır (Mahroug & ark., 2014). Diğer bir katkı malzemesi olan Ni-Cr ön alaşımlı tozlarıyla katkılanan ZnO'nun XRD grafiğinde (Şekil 5(g)) saf ZnO'nun piklerinden farklı olarak yapıda NiO ve CrO pikleri (JCPDS kart dosyası (NiO-71-1179) ve (CrO-89-3079)) tespit edilmiştir (Vignesh ve Sundar, 2017).



Şekil 5. XRD analiz sonuçları; a) katkısız ZnO, b) ZnO/Ni, c) ZnO/Fe, d) ZnO/Cr, e) ZnO/Mn, f) ZnO/Co, g) ZnO/Ni-Cr

## Raman Spektroskopisi Analizi

Çinko oksit yapısına farklı oranlardaki Ni, Fe, Co, Mn, Cr ve ortak NiCr katkısının mikro yapı ve titreşim özelliği üzerindeki etkisini araştırmak için oda sıcaklığında Raman saçılma ölçümleri yapılmış ve sonuçlar Şekil 6 - Şekil 12'de gösterilmiştir. Ayrıca Raman ölçümlerinden elde edilen pikler, titreşim modları ve işlem mekanizmasındaki farklılıklar Tablo 3 - Tablo 8'de verilmiştir. ZnO, altıgen wurtzit yapısına sahiptir ve  $C_{6v}$  simetri grubundadır (Zhaochun & ark., 2001). Grup teorisine göre tipik Raman modları  $A_1 + E_1 + 2E_2 + 2B_1$ 'dir; burada  $A_1$  ve  $E_1$  modları polardır ve enine (TO) ve boylamsal (LO) fononlara bölünmüştür (Calleja & Cardona, 1977; Fateley & ark., 1971). Bu modlardan, iki dalga sayısına sahip ve polar olmayan  $E_2$  modları Raman aktiftir,  $B_1$  modları ise Raman aktif değildir. Katı ZnO için Raman spektrumunda yalnızca  $E_2$  ve  $A_1$  (LO) modlarının gözlemlenmesi beklenmektedir. Kristal boyutu nanometre ölçeğine küçültüldüğünde birinci dereceden Raman saçılımı gevşer ve böylece Brillouin bölgesinde fonon saçılımı görülebilir. Dolayısıyla, Raman spektrumunda birinci dereceden titreşim modlarının yanı sıra ikinci dereceden titreşim modları da mevcut olabilmektedir. Katkısız ZnO yapısının Raman saçılma spektrumu Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 7'dan Şekil 12'ye kadar olan grafikler ise sırayla, katkısız ZnO ile beraber Ni, Fe, Co, Mn, Cr ve ortak NiCr katkılı yapıların Raman Saçılma spektrumlarını göstermektedir.

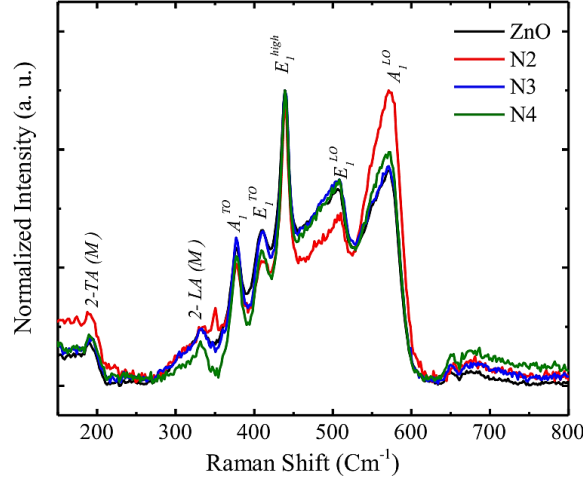


Şekil 6. Katkısız ZnO nanokristallerinin Raman spektrumu

ZnO'nun Raman spektrumunda gözlemlenen karakteristik fonon modları,  $\sim 190 \text{ cm}^{-1}$  (2-TA (M)),  $\sim 333 \text{ cm}^{-1}$  (2-LA (M)),  $\sim 377 \text{ cm}^{-1}$  ( $A_1^{TO}$ ),  $\sim 410 \text{ cm}^{-1}$  ( $E_1^{TO}$ ),  $\sim 439 \text{ cm}^{-1}$  ( $E_1^{\text{high}}$ ),  $\sim 506 \text{ cm}^{-1}$  ( $E_1^{LO}$ ), tüm örneklerde gözlenmiştir.  $\sim 573 \text{ cm}^{-1}$  ( $A_1^{LO}$ ) ve  $\sim 650 \text{ cm}^{-1}$  ( $2(E_2^{\text{high}} - E_2^{LO})$ ) titreşim modlarının ise, oksijen boşluklarına (oxygen vacancies, VO), çinko ara yerlerine (zinc interstitials, Zni), kusur durumlarına, antisite oksijene (antisite oxygen) vb. durumlara atfedilebilecek içsel bir ZnO modu olduğu düşünülmektedir (Pal & ark., 2011 ;Alaria & ark., 2006). Şekil 7-12 ve Tablo 3-8'den görüldüğü gibi, ZnO'ya Ni, Fe, Co, Mn, Cr ve ortak NiCr katkılı olduğunda, katkılı ZnO yapılarının bazılarında ek titreşim modları gözlemlenmiştir. Bu yeni titreşim modlarının yoğunlukları ZnO yapısının modlarının yanında çok zayıf kaldığı tespit edilmiştir. Bu titreşim modları, ZnO yapısı içerisine 1 mol oranında Ni katkısı ile  $350 \text{ cm}^{-1}$ , 1 mol oranında Co katkısı ile  $360 \text{ cm}^{-1}$ , 1, 2.5 ve 5 mol oranında Cr katkısı ile sırayla  $232 \text{ cm}^{-1}$ ,  $234 \text{ cm}^{-1}$ ,  $234 \text{ cm}^{-1}$  ve yine 2.5 ve 5 mol oranında Cr katkısı sırayla  $253 \text{ cm}^{-1}$  ve  $256 \text{ cm}^{-1}$ 'de ve bu piklere ek olarak, 1, 2.5 ve 5 mol oranında Cr katkısı ile sırayla  $679 \text{ cm}^{-1}$ ,  $679 \text{ cm}^{-1}$  ve  $674 \text{ cm}^{-1}$ 'de yeni pikler gözlemlendi. Öte yandan, Fe, Mn, ve NiCr katkılı ZnO yapılarının Raman spektrumlarında her hangi bir ek pik gözlemlenmedi. Fakat, ZnO yapısı içerisinde Ni, Fe, Co, Mn,



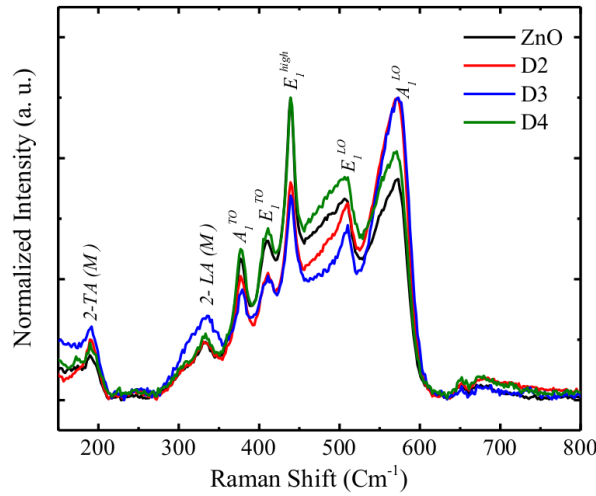
Cr ve Ni-Cr katkıları ile ZnO'nun karakteristik piklerinde kaymalar ve pik yoğunluklarında değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 7. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Ni katkılı ZnO nanokristallerinin Raman spektrumu

Tablo 3. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Ni katkılı ZnO nanokristallerinin Raman saçılması titreşim modları

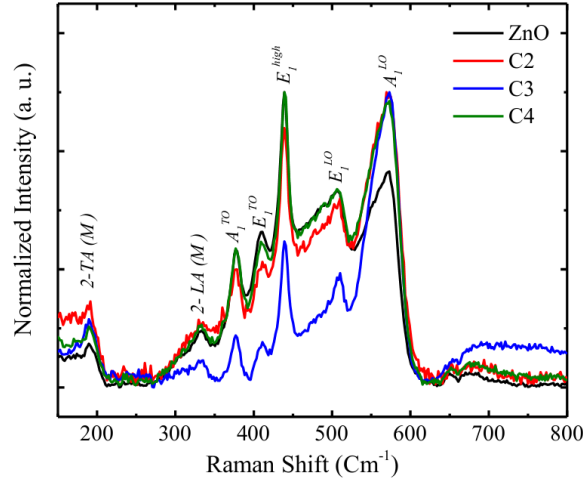
Titreşim frekansı (cm <sup>-1</sup> )				Simetri	İşlem
ZnO	N2	N3	N4		
190	188	190	190	2-TA (M)	İkinci derece
333	329	333	331	2-LA (M)	İkinci derece
--	350	--	--		Doping titreşimi
377	377	377	377	A <sub>1</sub> <sup>T0</sup>	Birinci derece
410	409	410	409	E <sub>1</sub> <sup>T0</sup>	Birinci derece
439	439	439	439	E <sub>1</sub> <sup>high</sup>	Birinci derece
506	510	508	508	E <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece
573	571	570	573	A <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece
650	654	650	650	2(E <sub>2</sub> <sup>high</sup> - E <sub>2</sub> <sup>LO</sup> )	Çoklu fonon



Şekil 8. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Fe katkı ZnO nanokristallerinin Raman spektrumu

Tablo 4. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Fe katkı ZnO nanokristallerinin Raman saçılması titreşim modları

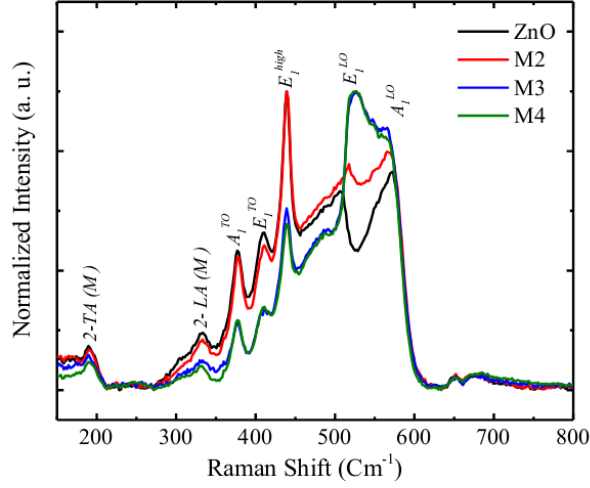
Titreşim frekansı (cm <sup>-1</sup> )						
ZnO	D2	D3	D4	Simetri	İşlem	
190	190	191	190	2-TA (M)	İkinci derece	
333	329	337	331	2-LA (M)	İkinci derece	
377	377	379	377	A <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece	
410	411	411	411	E <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece	
439	439	439	439	E <sub>1</sub> <sup>high</sup>	Birinci derece	
506	510	510	510	E <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece	
573	572	572	573	A <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece	
650	652	652	652	2(E <sub>2</sub> <sup>high</sup> - E <sub>2</sub> <sup>LO</sup> )	Çoklu fonon	



Şekil 9. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Co katkı ZnO nanokristallerinin Raman spektrumu

Tablo 5. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Co katkı ZnO nanokristallerinin Raman saçılması titreşim modları

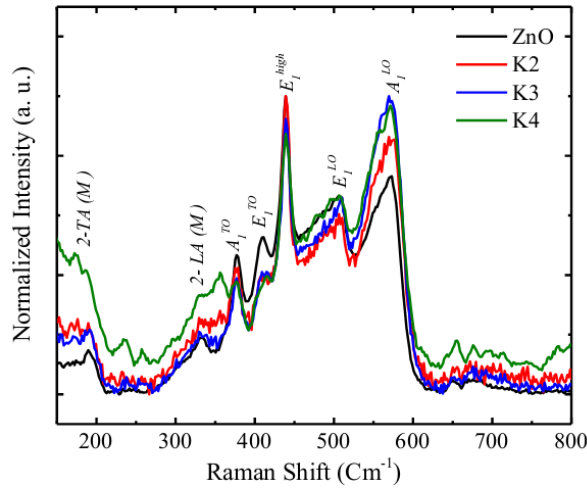
Titreşim frekansı (cm <sup>-1</sup> )						
ZnO	C2	C3	C4	Simetri	İşlem	
190	191	190	190	2-TA (M)	İkinci derece	
333	329	333	331	2-LA (M)	İkinci derece	
--	360	--	--		Doping titreşimi	
377	377	377	377	A <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece	
410	410	410	409	E <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece	
439	439	439	439	E <sub>1</sub> <sup>high</sup>	Birinci derece	
506	510	510	510	E <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece	
573	569	573	573	A <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece	
650	652	653	652	2(E <sub>2</sub> <sup>high</sup> - E <sub>2</sub> <sup>LO</sup> )	Çoklu fonon	



Şekil 10. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Mn katkılı ZnO nanokristallerinin Raman spektrumu

Tablo 6. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Mn katkılı ZnO nanokristallerinin Raman saçılması titreşim modları

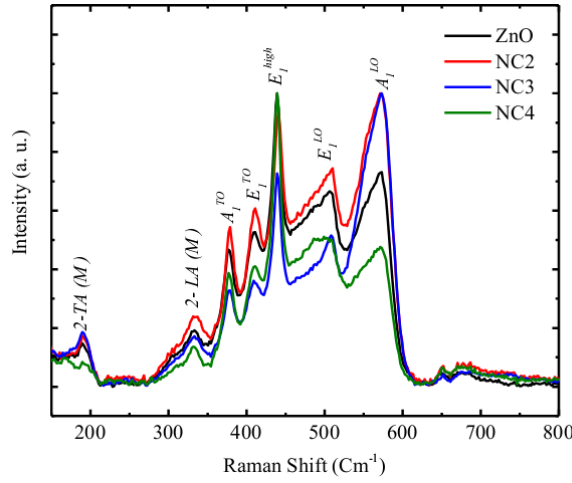
Titreşim frekansı (cm <sup>-1</sup> )						
ZnO	M2	M3	M4	Simetri	İşlem	
190	190	190	190	2-TA (M)	İkinci derece	
333	329	329	331	2-LA (M)	İkinci derece	
377	379	377	379	A <sub>1</sub> <sup>T0</sup>	Birinci derece	
410	410	410	410	E <sub>1</sub> <sup>T0</sup>	Birinci derece	
439	439	439	439	E <sub>1</sub> <sup>high</sup>	Birinci derece	
506	517	526	526	E <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece	
573	565	565	565	A <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece	
650	652	652	650	2(E <sub>2</sub> <sup>high</sup> - E <sub>2</sub> <sup>LO</sup> )	Çoklu fonon	



Şekil 11. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Cr katkılı ZnO nanokristallerinin Raman spektrumu

Tablo 7. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Cr katkılı ZnO nanokristallerinin Raman saçılması titreşim modları

Titreşim frekansı (cm <sup>-1</sup> )					
ZnO	K2	K3	K4	Simetri	İşlem
--	176	172	172		Doping titreşimi
190	190	191	187	2-TA (M)	İkinci derece
333	333	329	331	2-LA (M)	İkinci derece
377	379	377	379	A <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece
410	410	410	410	E <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece
439	439	439	439	E <sub>1</sub> <sup>high</sup>	Birinci derece
506	517	526	526	E <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece
573	565	565	565	A <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece
650	652	652	650	2(E <sub>2</sub> <sup>high</sup> - E <sub>2</sub> <sup>LO</sup> )	Çoklu fonon
--	679	679	675		Doping titreşimi



Şekil 12. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Ni-Cr katkılı ZnO nanokristallerinin Raman spektrumu

Tablo 8.. Katkısız ZnO ve 1, 2.5 ve 5 oranlarında Ni-Cr katkılı ZnO nanokristallerinin Raman saçılması titreşim modları

Titreşim frekansı (cm <sup>-1</sup> )					
ZnO	NC2	NC3	NC4	Simetri	İşlem
190	190	190	190	2-TA (M)	İkinci derece
333	337	333	331	2-LA (M)	İkinci derece
--	350	--	--		Doping titreşimi
377	379	379	379	A <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece
410	409	410	410	E <sub>1</sub> <sup>TO</sup>	Birinci derece
439	441	439	439	E <sub>1</sub> <sup>high</sup>	Birinci derece
506	510	510	510	E <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece
573	573	573	573	A <sub>1</sub> <sup>LO</sup>	Birinci derece
650	652	652	650	2(E <sub>2</sub> <sup>high</sup> - E <sub>2</sub> <sup>LO</sup> )	Çoklu fonon

## Sonuç

Çalışmada yüksek saflıktaki ZnO tozu içerisinde %mol (1, 2.5, 5) oranında ticari saflıkta ayrı ayrı Ni, Fe, Co, Mn ve Ni-Cr ön alaşımlı tozları ilave edilmiş ve seyreltik manyetik yarıiletken yapıdaki ZnO malzemeler sıcak pres yöntemiyle üretilmiştir. Katkılı ZnO yarıiletken malzemeleri 950°C, 50 MPa sabit basınç ve 10<sup>-4</sup> mbar vakum atmosferinde 45 dakika sinterlenmiştir. Yoğunluk sonuçları incelendiğinde tüm numunelerde %85 ve üzeri yoğunluk elde edilmiştir. Bu durum belirlenen üretim parametrelerin hedeflenen yoğunluk değeri için başarılı olduğunu göstermektedir.

Katkısız ve katkılı ZnO yarıiletken malzemelerin yapısal özelliklerinin belirlenmesi için XRD analizi yapılmıştır. Her grup için artan mol oranlarının yapıya olan etkisine odaklanılmıştır. Katkısız ZnO'nun XRD ölçüm sonucuna göre yüksek yoğunluklu 2θ= 32°, 34° ve 36° açılarında sırayla (100), (002), (101) düzlemlerine karşılık gelen ve düşük yoğunluklu 2θ= 46°, 49° ve 63° açılara sırayla (102), (110), (103), (200), (112) ve (201) düzlemlerine karşılık gelen karakteristik piklerin hekzagonal ZnO wurtzite yapısına sahip olduğunu ve JCPDS Kart No. 89-7102 ile uyumlu olduğunu görülmüştür. ZnO-Ni yapısında nikel katkılama oranının artmasıyla birlikte NiO pikinin oluşmuş ve ZnO'nun kristallilik derecesi düşmüştür. ZnO-Fe yapısı için XRD ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre, ZnO'ya ait karakteristik piklerin haricinde Fe kaynaklı bir pik oluşumu görülmemiştir. Tek fazlı yapı ve karakteristik pik yoğunluğunun azalması, Fe nanopartiküllerinin ZnO hekzagonal Wurtzite yapısına başarılı bir şekilde penetre edildiğini göstermektedir. ZnO-Cr yapısının XRD sonuçlarında CrO piki dışında herhangi bir başka pik oluşmamıştır. Benzer şekilde XRD sonuçları, ZnO-Cr örneklerinin tek fazlı olduğunu ve ayrıca Cr'nin ZnO yapısına başarılı bir şekilde yapıya dahil olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, Cr konsantrasyonunun artması ile XRD piklerinde kaymalar gözlemlenmiştir. XRD piklerindeki kaymalar, ZnO kristal kafesinde Zn atomlarının yerine Cr atomlarının yerleşmesi nedeniyle kafes genişlemesine sebep olduğunu göstermektedir. ZnO-Mn yapısının XRD ölçüm sonuçlarında ekstra piklerin olmadığı ve bu sonuçlara göre üretilen numunelerin tek fazlı olduğu anlaşılmıştır. Mn katkılı numunelerde XRD pik tepe noktalarının katkısız ZnO'ya kıyasla az da olsa sola kaydığı ve Mn miktarının artmasıyla birlikte kristal kafes parametrelerinde küçük değişiklikler oluşmuştur. ZnO-Co XRD ölçüm sonucunda elde edilen XRD grafiğindeki piklerde herhangi bir safsızlık pikine rastlanmamıştır. Dolayısıyla, Co katkısı ZnO'nun hekzagonal würtzit yapısında bir değişime neden olmamıştır. Ni-Cr ön alaşımlı yapısı ile katkılanan ZnO'nun XRD grafiğinde saf ZnO'nun piklerinden farklı olarak yapıda NiO ve CrO piklerinin varlığı gözlemlenmiştir.

Üretilen katkılı ve katkısız ZnO yapılarının mikro yapı, titreşim özelliklerini ve işlem mekanizmasındaki farklılıkları incelemek için oda sıcaklığında Raman saçılma ölçümleri gerçekleştirilmiştir. ZnO'nun Raman spektrumunda gözlemlenen karakteristik fonon modlarının, ~190 cm<sup>-1</sup> (2-TA (M)), ~333 cm<sup>-1</sup> (2-LA (M)), ~377 cm<sup>-1</sup> (A<sub>1</sub><sup>TO</sup>), ~410 cm<sup>-1</sup> (E<sub>1</sub><sup>TO</sup>), ~439 cm<sup>-1</sup> (E<sub>1</sub><sup>high</sup>), ~506 cm<sup>-1</sup> (E<sub>1</sub><sup>LO</sup>), tüm örneklerde mevcut olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, katkısız ZnO ile katkılı ZnO için yapılan Raman Spektroskopisi ölçümleri karşılaştırıldığında katkılı ZnO yapılarının bazılarında ZnO yapısının modlarının yanında çok zayıf olan ek titreşim modların varlığı gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak, ZnO yapısı içerisinde Ni, Fe, Co, Mn, Cr ve ortak NiCr katkıları ile ZnO'nun karakteristik piklerinde kaymalar ve pik yoğunluklarında değişimler olduğu tespit edilmiştir. ZnO yapısı içerisindeki Zn atomlarının yerine katkı için kullanılan metallerin atomlarının yerleşmesi ile kafes genişlemesine ve sonuç olarak Raman kaymalarına sebep olduklarını göstermektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FBA-2020-1572).

## KAYNAKÇA

Ajmal, H. M. S., Khan, F., Nam, K., Kim, H. Y., & Kim, S. D. (2020). Ultraviolet Photodetection Based on High-Performance Co-Plus-Ni Doped ZnO Nanorods Grown by Hydrothermal Method on Transparent Plastic Substrate. *Nanomaterials*, 10(6), 1225.

Akinaga H. & Ohno H. (2002). Semiconductor Spintronics. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 1(1), 19-31.

Alaria, J., Bieber, H., Colis, S., Schmerber, G., & Dinia, A. (2006). Absence of Ferromagnetism in Al-Doped Zn<sub>0.9</sub>Co<sub>0.10</sub> Diluted Magnetic Semiconductors. *Applied Physics Letters*, 88(11).

Anbuselvan, D., Nilavazhagan, S., Santhanam, A., Chidhambaram, N., Gunavathy, K. V., Ahamad, T., & Alshehri, S. M. (2021). Room Temperature Ferromagnetic Behavior of Nickel-Doped Zinc Oxide Dilute Magnetic Semiconductor for Spintronics Applications. *Physica E: Low-Dimensional Systems And Nanostructures*, 129, 114665.

Ashokkumar, M., & Muthukumaran, S. (2015). Enhanced Room Temperature Ferromagnetism and Photoluminescence Behavior of Cu-Doped ZnO Co-Doped With Mn. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 69, 354-359.

Calleja, J. M., & Cardona, M. (1977). Resonant Raman Scattering in ZnO. *Physical Review B*, 16(8), 3753.

Dietl, T., Ohno, O. H., Matsukura, A. F., Cibert, J., & Ferrand, E. D. (2000). Zener Model Description of Ferromagnetism in Zinc-Blende Magnetic Semiconductors. *Science*, 287(5455), 1019-1022.

Fateley, W. G., Mcdevitt, N. T., & Bentley, F. F. (1971). Infrared and Raman Selection Rules for Lattice Vibrations: The Correlation Method. *Applied Spectroscopy*, 25(2), 155-173.

Gallegos, M. V., Peluso, M. A., Thomas, H., Damonte, L. C., & Sambeth, J. E. (2016). Structural and Optical Properties of ZnO and Manganese-Doped ZnO. *Journal of Alloys and Compounds*, 689, 416-424.

Hassan, M. M., Khan, W., Azam, A., & Naqvi, A. H. (2015). Influence of Cr Incorporation on Structural, Dielectric and Optical Properties of ZnO Nanoparticles. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 283-291.

Kasuya, T., & Yanase, A. (1968). Anomalous Transport Phenomena in Eu-Chalcogenide Alloys. *Reviews Of Modern Physics*, 40(4), 684.

Liu, W., Bryan, M. T., & Xu, Y. (2020). Introduction to Spintronics and 2D Materials. *Spintronic 2D Materials*, 1-24.

Mahroug, A., Boudjadar, S., Hamrit, S., & Guerbous, L. (2014). Structural, Morphological and Optical Properties of Undoped and Co-Doped ZnO Thin Films Prepared by Sol–Gel Process. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 25, 4967-4974.

Mote, V. D., Huse, V. R., & Dole, B. N. (2012). Synthesis and Characterization of Cr Doped ZnO Nanocrystals. *World Journal of Condensed Matter Physics*, 2(4), 207-211.

Ogale, S. B. (2010). Dilute Doping, Defects, and Ferromagnetism in Metal Oxide Systems. *Advanced Materials*, 22(29), 3125-3155.

Pal, B., & Giri, P. K. (2011). Defect Mediated Magnetic Interaction and High T<sub>c</sub> Ferromagnetism in Co Doped ZnO Nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 11(10), 9167-9174.

Safa, S., Mokhtari, S., Khayatian, A., & Azimirad, R. (2018). Improving Ultraviolet Photodetection of ZnO Nanorods by Cr Doped ZnO Encapsulation Process. *Optics Communications*, 413, 131-135.

Samanta, A., Goswami, M. N., & Mahapatra, P. K. (2020). Fe-Doped ZnO Nanoparticles as Novel Photonic and Multiferroic Semiconductor. *Materials Chemistry and Physics*, 240, 122180.

Sato, K. S. K., & Katayama-Yoshida, H. K. Y. H. (2000). Material Design for Transparent Ferromagnets with ZnO-Based Magnetic Semiconductors. *Japanese Journal of Applied Physics*, 39(6B), L555.

Sato, K., & Katayama-Yoshida, H. (2002). First Principles Materials Design for Semiconductor Spintronics. *Semiconductor Science and Technology*, 17(4), 367.

Schwob P. & Vogt O. (1966). Magnetic Transitions In Euse. *Physics Letters*, 22(4), 374-375.

Vignesh, S., & Sundar, J. K. (2017). Fabrication, Structural and Optical Properties of Ni and Cr Doped ZnO Nanocomposites for Photocatalyst under UV Light. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(9), 132-136.

Yamanoğlu, R., Bradbury, W. L., Olevsky, E. A., & German, R. M. (2012). Comparative evaluation of densification and grain size of ZnO powder compacts during microwave and pressureless spark plasma sintering. *Advances in Applied Ceramics*, 111(7), 422-426.

Yang, Z. (2013). A Perspective of Recent Progress in ZnO Diluted Magnetic Semiconductors. *Applied Physics A*, 112, 241-254.

Zhaochun, Z., Baibiao, H., Yongqin, Y., & Deliang, C. (2001). Electrical Properties and Raman Spectra of Undoped and Al-Doped ZnO Thin Films by Metalorganic Vapor Phase Epitaxy. *Materials Science and Engineering: B*, 86(2), 109-112.

Žutić, I., Fabian, J., & Sarma, S. D. (2004). Spintronics: Fundamentals and Applications. *Reviews of Modern Physics*, 76(2), 323.



# Tarımda Yenilenebilir Enerjinin Kullanımı

Hacer ÇELİK ATEŞ

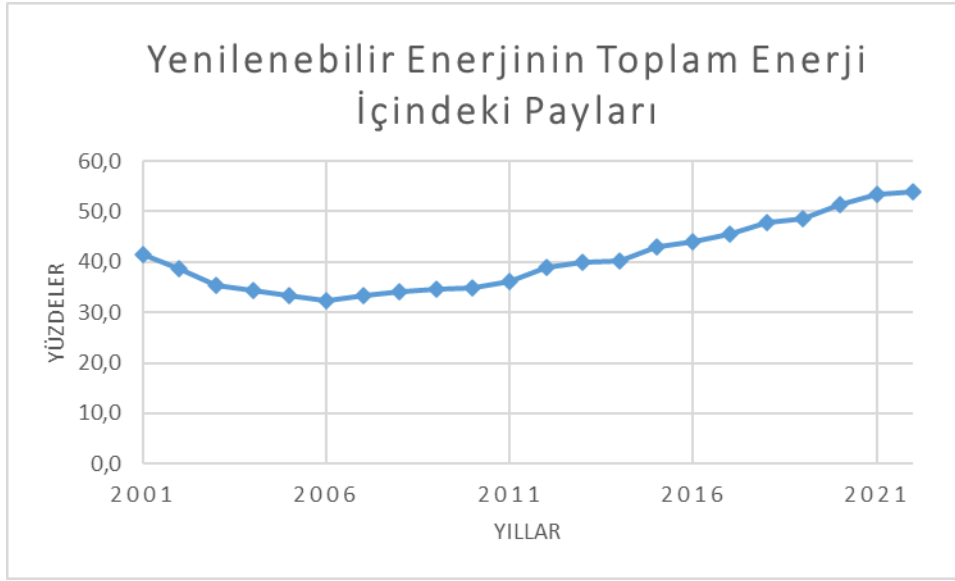
## GİRİŞ

Enerji, yaşamın tüm aşamalarında kullanılan gerekli temel ihtiyaçlardan biridir. Tüm sektörler tarafından enerji kullanılmaktadır. Enerji kaynakları, yenilenemeyen (kömür, petrol, doğalgaz, bor ve nükleer enerji) ve kendini yenileyebilme özelliğine sahip çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Doğan, 2015).

Türkiye'nin son yirmi yıldaki nüfus artışı, nüfusa bağlı olarak enerji talebini de artırmaktadır. Artan enerji talebinin iç üretimle karşılanamaması nedeniyle enerji ithalatı da zorunlu olarak artmaktadır. Türkiye, enerji politikası olarak, enerji talebindeki büyümeyi dengelemek, tüketiciler için enerji fiyatlarını düşürmek ve ithalata daha az yer vermek amacıyla enerji sistemini yeniden yapılandırma yoluna gitmiştir. Türkiye, enerji politikasının önemli noktalarından biri de enerjide tüketimin tümünü iç üretim kaynaklarından sağlamaya öncelik verilmesidir. İzlenen Enerji Politikası, yurt içinden temin edilebilecek enerji kaynaklarının (petrol ve gaz) bulunması ve çıkarılması ve yeni enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji üretiminin artırılmasını ve enerjide verimliliğinin sağlanmasını kapsamaktadır. Türkiye son on yılda enerji karışımında önemli bir çeşitlilik göstermiş ve özellikle yenilenebilir enerjide ilerleme göstermiş ve son on yılda yenilenebilir elektrik üretimi üç katına çıkmıştır (IEA,2022). Modern yenilenebilir enerji kaynaklarının payı toplam enerji tüketiminin 2019'da %11,4, 2020'de %12,5'idir (IEA,2023). Bu rakamlar yavaş da olsa bir artma eğilimini göstermektedir.

Yenilenebilir enerjiyi “doğal kaynaklardan elde edilebilen ve kendini sürekli yenileyebilen bir enerji kaynağı” olarak tanımlamak mümkündür. Yenilenebilir enerjiyi diğer enerji çeşitlerinden ayıran en önemli özellik doğal bir şekilde kendisini yenileyebilmesi ve yok olmamasıdır (Karagöl, 2017). Yenilenebilir enerji kaynakları hem geleneksel biyokütle (odun, hayvan atıkları ve bitki artıkları) hem de modern teknolojilere dayalı güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal kaynakların tümü olarak ifade edilmektedir (Martinot & ark., 2002).

Türkiye yenilenebilir enerji alanında gelişme gösteren bir ülkedir. 2015 yılında yenilenebilir enerji kaynakları hidrolik enerji %35,36, Jeotermal %0,9, rüzgâr % 6,16, güneş %0,34, biyokütle %0,37 olmak üzere toplam enerjinin %43,13 'ni oluşturmaktadır. 2021 yılında enerji üretiminde %31,5 hidrolik, %1,67 Jeotermal, %10,6 rüzgâr, %7,8 güneş ve %1,64 biyokütle olmak üzere Türkiye'nin toplam kurulu kapasitesinin yaklaşık %53,3'ü yenilenebilir enerji kaynağını oluştururken 2022 yılında bu oranlar hidrolik enerjide rüzgâr %30,41, Jeotermalde %1,63, rüzgâr enerjisinde %10,98, güneş enerjisinde %9,08 ve biyokütlerde %1,85 olmak üzere toplam %54'e çıkmıştır (TEİAŞ,2023).



*Kaynak: TEİAŞ,2023*

*Şekil 1. Yıllara Göre Yenilenebilir Enerjinin Toplam Enerji İçindeki Payları*

Gelecekte bugünkü enerji ihtiyacının büyük bölümünü karşılayan fosil yakıtların tükeneceği bilinmektedir (Kumbur, 2005). Ayrıca fosil yakıt kullanımı, iklim değişikliğine neden olarak dünyadaki ortalama sıcaklığı artırmış, çevre ve hava kirliliğine neden olmuş, doğal afetlerin (sel, fırtına gibi) şiddetini artırmıştır. Bu nedenle biran önce yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketimi azaltılarak yerine yenilenebilen enerji kaynakları kullanılmalıdır (Görez, 2005). Temiz enerji olarak yenilenebilir enerji kaynakları ise fosil kaynaklı enerjilerin aksine tükenmezdirler ve aynı zamanda çevre ve insan sağlığını korumaktadır.

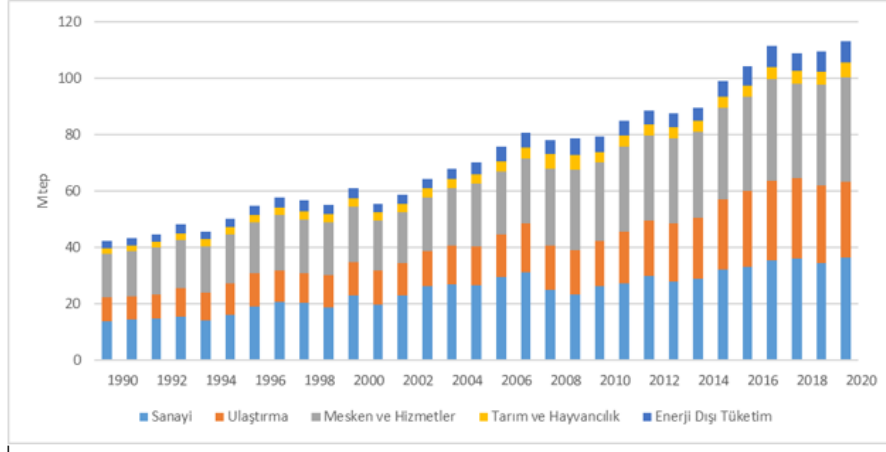
Tarım, dünya çapında enerjinin önemli bir tüketicisidir. Tarımsal üretimden tüm tarımsal ürünlerin işlenmesi ve pazara arz edilmesine kadar geçen süreçte (depolama, işleme, tasnifleme vb.) en önemli girdi maliyetini enerji oluşturur. Tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerjideki maliyetin düşürülmesi yanında, çevresel olumsuz etkilerin azaltılmasını sağlayacaktır.

## **2. TARIMDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI**

Tarımda yenilenebilir enerji kullanımı, çevresel sürdürülebilirliğin ve enerji maliyetlerinin azaltılması açısından büyük öneme sahiptir. Aynı zamanda günümüz ekonomik koşullarında çiftçi için en yüksek maliyet gruplarından biri de enerji giderleridir. Çiftçinin tarımı bırakması noktasına getiren girdi maliyetlerinin artışı gıda güvenliğini de tehlikeye atmaktadır. Diğer yandan iklim değişikliği tarımdaki risk ve belirsizliği artırmaktadır. Tüm bu durumlar ise çiftçi gelirini olumsuz olarak etkilemekte ve çiftçiyi tarımsal üretimi sürdürmez hale getirmektedir. Yenilenebilir enerjinin tarımda kullanılması çiftçinin enerji maliyetini düşürmesine katkı sağlayabilecektir.

Yenilenebilir enerji tarımın birçok aşamasında ve bölümlerinde kullanılabilir. Günümüzde teknoloji hızla ilerlemekte ve değişim ve dönüşümler yaşanmaktadır. Her alanda olduğu gibi tarıma yönelik teknolojiler de sürekli olarak gelişmektedir. Gelişen teknolojilerle birlikte tarımda da gün geçtikçe enerji tüketimi ve gereksinimi artmakta bu da doğal olarak enerji talebini artırmaktadır.

2020 yılında Türkiye’de, toplam enerji tüketiminde en fazla payı konut ve hizmetler sektörü almakta bunu sırasıyla sanayi sektörü, ulaştırma sektörü (%7) ve tarım-hayvancılık sektörü (%4,4) izlemektedir (ETKB,2022).



Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2022

### Şekil 2. Sektörlere Göre Enerji Tüketimi (Mtep)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tarım sektöründe kullanımının birçok açıdan üstünlükleri bulunmaktadır.

**Enerji güvenliğinin sağlanması:** Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenemeyen enerjiye olan bağımlılığı azaltacağından enerji güvenliğini sağlayabilir.

**Çevresel olumsuz etkilerin azaltılması:** Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltarak çevresel etkileri azaltmaya yardımcı olabilir.

**Ekonomik verimliliğin artırılması:** Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji maliyetlerini düşürerek ekonomik verimliliği artırabilir.

Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda:

- İşletme maliyetleri azalış gösterir.
- İthalatı yapılan fosil yakıtlara olan gereksinim azalır.
- Temiz enerji kullanımı artar ve çevre kirliliği azalır.
- Ekonomik anlamda pozitif katkı sağlanır (Tunçbilek, 2015).

Tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynakları çok farklı alanlarda ve şekillerde kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları; **güneş enerjisi uygulamaları** (güneş panelleri ile sulama sistemleri, güneş enerjili seralar, ilaçlama ve gübreleme) **rüzgar enerjisi uygulamaları** (sulama, ilaçlama ve gübreleme) **hidroelektrik** enerji uygulamaları (tarımsal sulama), **biyogaz uygulamaları** (hayvan gübresi ile biyogaz üretimi) **jeotermal enerji uygulamaları** (seracılıkta ısıtma, toprak ısıtması) **biyoyakıt uygulamaları** (bitkisel yağlardan biyodizel üretimi, ilaçlama ve gübreleme, seralarda) (Türk Tarım ve Orman Dergisi,2023).

Tarımsal üretim faaliyetlerinde faydalanılabilecek yenilenebilir enerji teknolojisi tercihi, ihtiyaç duyulan enerjinin türü, tarım işletmesinin düzenleniş ve planlanmasına göre değişebilir. Tarımsal üretim sırasında bazı işlemler yoğun miktarda enerji tüketmektedir, bunların bazıları: Ürünlerin kurutulması, sulama, seraların ve hayvan barınaklarının soğutulması ve ısıtılmasıdır (Ültanır, 1998).

Ulusal Enerji Eylem Planında (2017-2023) tarım sektöründeki enerji verimliliğini arttıracak önlemler olarak;

1. Tarım makinalarında enerji verimliliğini sağlayacak yeni modellerin kullanılmasını özendirme,

2. Sulamada enerji tasarrufu ve verimliliği sağlayacak yeni yöntemlere geçilmesi,
  3. Tarım sektöründe enerji verimliliği sağlayacak projelerinin desteklenmesi,
  4. Tarımsal üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının özendirilmesi,
  5. Biyokütle elde edilmesinde kullanılan tarımsal atık ve diğer malzemelerin potansiyelinin belirlenmesi ve kullanımının teşvik edilmesi,
  6. Su ürünleri üretiminde enerji verimliliğinin desteklenmesi konularına vurgu yapılmaktadır.
- Bunlar içinde eylem planında “Tarımda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının özendirilmesi” ile ilgili olarak şu konulara yer verilmiştir:

Tarımsal üretimde gerek duyulan enerjinin olabildiğince yerel kaynaklara dayalı olarak sağlanması ve tarımsal üretim sürecinde çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi için sürdürülebilir tarımsal üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle) kullanılmasının özendirilmesidir (ETKB,2018).

### **Tarımda Güneş Enerjisi Kullanımı**

Güneş enerjisi, günümüzde gittikçe yaygınlaşan ve ilerleyen teknolojilerle birlikte kurulum ve kullanım kolaylığı yanında sürekli olması, çevreyi kirletmemesi ve zararlı atık oluşturmaması nedeniyle tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır (ETKB, 2023a).

Güneş enerjisi sistemleri, ısı ve elektrik sistemleri olmak üzere iki grup altında incelenebilir. Güneşin ısı sistemlerinin düşük ve yüksek sıcaklıktaki uygulamaları bulunmaktadır. Düşük sıcaklıktaki çalışmalar; konut, sanayi ve tarımda çeşitli ısı ihtiyacının giderilmesini içermekte yüksek sıcaklıktaki çalışmalar ise buhar üretiminden maden eritmeye kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Tarımda ve çeşitli sanayi kesimlerinde Güneş enerjisinin ısı kullanım alanlarından yararlanılmaktadır. Bunların bazıları acı ve tuzlu suların arıtılması, kurutma, sıcak hava motorları ile diğer termodinamik ısı çevrimlerdir (Ültanır, 1998).

### ***Güneş enerjisiyle kurutma***

Tarım ürünlerinin içeriğinde bulunan fazla suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması işlemine kurutma işlemi denilmektedir. Kurutulmuş gıdalar, diğer muhafaza yöntemlerinden farklı olarak, taşıdığı besin öğeleri açısından yoğunlaştırılmış bir özellik taşımaktadır (Yağcıoğlu, 2005). Doğal kurutmada sağlık açısından farklı bakterilerin gelişme olasılığı gibi riskler taşınmasından dolayı, araştırmacılar, kurutmaya ilgili alternatif olabilecek modern teknolojileri geliştirmektedir. Ancak ekonomik olması açısından doğal kurutmadan sonra en ekonomik kurutma metodu ise güneş enerjisiyle ısıtılan havayla yapılan kurutmadır (Kısakürek, 1980).

İşletme maliyetlerinin çok düşük olmasından dolayı Güneş enerjili kurutuculardan, birçok gıdanın kurutulmasında yararlanılmaktadır. Yatırım maliyetleri ise diğer kurutucular ile eşdeğer düzeydedir. Güneş enerjili kurutucular, meyve ve sebzelerle birlikte; hububat, baharat, çay ve kahvenin kurutulmasında da kullanılabilir. Güneş enerjisi kullanılarak geliştirilen kurutucularda, hava güneş toplaçlarında ısıtılır. Isınan hava, kurutulacak olan gıdaların içerisinde yer aldığı alandan geçirilerek suyun buharlaştırma işlemi sağlanır. Güneşte doğal yollarla kurutmaya göre Güneş enerjili kurutma sistemlerinin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ünalın, 2006);

- Kurutulacak ürün tozlanma, zararlı böcekler ve yağmur gibi dış etkenlerden korunabilir.
- Ürün yeterli hava dolaşımı sağlanarak homojen bir şekilde kurutulur.

- Kurutma havası, ürünün zarar görmeyeceği en yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilir.
- Kurutma ortamına hava giriş ve çıkış debileri ile kurutma hızları kontrol edilebilir.

Güneş enerjisi kurutucularını hava dolaşımına göre ikiye ayırmak mümkündür (Dalgıç, 2006):

- Güneş enerjili aktif kurutucular (Zorlamalı taşınım)
- Güneş enerjili pasif kurutucular (Doğal taşınım)

Güneş enerjili aktif kurutucularda, hava akımı, zorlamalı olarak fanlar aracılığıyla taşınma ile kurutma yapılırken, pasif kurutucularda, hava çıkışlarına kurulan bacalar ile kurutma yapılır. Doğrudan etkileşimli sistemlerde ise güneş toplayıcıları altında kurutma yapılır. Sera etkisi ile ısınan hava aracılığıyla, kurutma işlemi sağlanır. Güneş enerjili dolaylı kurutucularda ise, kurutma kabini güneş ışınımının altında tutulmaz ve yalıtım ile sistemden ayrılır. Hava, sadece güneş toplaçlarında ısıtılarak sisteme iletilir. Birleşik tip kurutucularda ise hava, güneş toplaçlarında ısıtılır ve kurutucu kabin güneş altında tutularak kurutma işlemi yerine getirilir (Dalgıç, 2006).

### ***Sera ısıtmasında güneş enerjisi kullanımı***

Seraların ısıtılmasında, fosil yakıtların maliyetlerinin sürekli yükselmesi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı son yıllarda gittikçe yaygınlaşmaktadır. Özellikle sera ısıtmada güneş enerjisinin kullanımı artmaktadır. Türkiye ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi (2623 saat) ve ortalama toplam ışınım şiddeti (1303 kWh/m<sup>2</sup>) bakımından, önemli bir potansiyele sahiptir (Öztürk, 2008).

### ***Sera havalandırmasında güneş enerjisi kullanımı***

Seralardaki havalandırma gerek bitki sağlığı ve gelişimi için önemlidir. Havalandırma, mevsime ve koşullara göre değişmekle birlikte, yaz aylarındaki aşırı yüksek sıcaklıkları düşürmek, kış aylarında ise bağıl nem ve karbon dioksit oranlarını kabul edilebilir seviyede tutmak için hava akımı yolu ile yapılır. Havanın hareketi bitki solunumunun gelişmesine de yardımcı olur. (Anonim, 2014; Taşkın & Vardar,2016). Seralarda havalandırmayı sağlayacak sistemlerin kurulması ve işletilmesinde güneş enerjisinden yararlanılabilmektedir. Bunun bir örneği Tayland'da görülmektedir, bir seraya 3 adet doğru akım ile çalışan düşük gerilim eşliğine sahip fanlar monte edilmiş ve, 50W kurulu güce sahip güneş paneli ile etkin olarak kullanılabilmektedir (Janjai & ark, 2009; Taşkın & Vardar,2016).

### ***Güneş enerjisiyle sulama***

Su pompalamak için sulamada birçok uygulanan yöntemler bulunmaktadır. Su pompalama da kullanılan enerjiler farklı farklıdır. Örneğin, insan gücü, hayvan gücü, rüzgâr, güneş ve fosil yakıtlar. Su pompalamada gerekli enerjiyi kolay ve ekonomik olarak sağlayan kaynaklardan biri de güneştir. Güneş pili (PV) sistemleri son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kırsal ve uzak alanlarda elektriğin olmadığı yerlerde su temini ve tarımsal sulama amacıyla kullanılabilmektedir. Güneş enerjili sulama (GES) sistemlerinin tasarımında, sistemin çalıştığı süre boyunca, sistemdeki doğal etmenler de (iklim, hidroloji, kuyu, pompalama sistemi, sulama, tarım ve güç kaynağı) dahil olmak üzere sistemi oluşturan bütün bileşenler ayrıntılı olarak dikkate alınır (Öztürk, 2009).

GES sistemlerinin kurulmasında bazı noktaların dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar, bölgenin iklim verileri, yetiştirilecek ürünün su tüketim bilgileri, kurulacak sulama sisteminin özellikleri ve su kaynağına ilişkin özellikler dikkate alınmalıdır.

### ***Güneş enerjisiyle toprak dezenfeksiyonu (Solarizasyon)***

Toprak dezenfeksiyonu toprağın çeşitli şekillerde mikroorganizmalardan arındırılması işlemidir. Toprağı hastalık yapıcı patojen etkenlerden arındırmada çeşitli fiziksel ve kimyasal maddeler kullanılır. Toprağın güneş enerjisiyle ısıtılması yoluyla üretim öncesi toprağın dezenfeksiyonu sağlanır. (Öztürk & ark, 2010).

Toprak dezenfeksiyonu şu şekillerde yapılabilmektedir (Öztürk & ark, 2010):

- Buhar uygulaması
- Biyofumigasyon
- Toprak solarizasyonu

Buharla dezenfektasyon ve biyofumigasyon işlemleri oldukça eskiye dayanmakta ancak maliyeti yüksek yöntemlerdir. Bunlar dışındaki solarizasyon ise aksine yeni bir yöntem olup oldukça ekonomiktir. Ayrıca çevreye zarar vermeyen, kimyasal içermeyen, uygulaması kolay bir yöntemdir (Gamliel & Katan, 2012).

Toprak solarizasyonu, yılın sıcak günlerinde bir veya iki ay süre ile toprağın plastikle örtülmesi şeklinde güneş enerjisi ile toprağın ısıtılarak pastörize edilmesi işlemidir. Seralarda toprak dezenfeksiyonu için solarizasyon uygulaması ideal bir yöntemdir. Özellikle yazları yüksek sıcaklıklarda toprak solarizasyon işlemi kolaylıkla yapılabilmektedir. Solarizasyon uygulanan toprakların içeriğinde, bitki besin maddelerinde (azot, kalsiyum, magnezyum) ve organik madde miktarında artış olması, ürün verimini ve kalitesini artırmaktadır. Bunun yanında, bitkileri dona karşı koruma, toprak sağlığı ve erozyon kontrolünü sağlayabilmektedir (Öztürk, 2010).

### ***Güneş Enerjisiyle Çit Sistemi***

Güneş enerjili çit sistemleri tarım arazilerini korunmasında kullanılmaktadır. Özellikle vahşi ve yırtıcı hayvanların meralara, ağıllara ve arılıklara girmesini önleyen çitlere güneş enerjisi sisteminden yararlanılarak düşük doz elektrik verilmektedir. Güneş enerjili çit sistemi ile hayvancılık işletmelerinde hayvanların açık alanda birarada tutulması sağlanabilmekte, ayrıca tarımsal ürünlere zarar verebilecek vahşi hayvanların tarım arazilerine girişi engellenebilmektedir. Özellikle gezginci arıcılıkta sorun olan kovan güvenliğinin sağlanmasında kullanılabilir. Çit sistemine verilen elektrik (3 miliamper akım), yabani hayvanlara ve insanlara zarar vermeyecek şekildedir (Ambarlı, 2014; Taşkın & Vardar,2016).

### ***Güneş Enerjisiyle Zararlı Öldürücü***

Tarımsal mücadele birçok farklı uygulamalar şeklinde yapılabilmektedir. Bunlar arasında, kimyasal, kültürel, karantina, fiziksel ve biyolojik yöntemler sayılabilir. Genellikle tarımsal mücadele kimyasal yöntemler olarak bilinmektedir (Demir, 2005). Günümüzde zararlılarla mücadelede güneş enerjisinden yararlanılabilmektedir. Güneş enerjili zararlı öldürücüler, zararlılarla mücadelede yeni bir yöntemdir. Bu yöntem ile çevreye zarar vermeden yıl boyunca haşere kontrolü sağlanabilmektedir. Pestisit içermeyen güneş enerjili zararlı öldürücülerin, meyve bahçelerinde ve üzüm bağlarında kullanımı uygundur. Bu yöntem, yararlı böcekleri etkilemeden, sadece gece aktif olan zararlı böcekleri öldürmektedir. Gün boyunca bataryada depolanan güneş enerjisiyle geceleri ışık tuzakları çalıştırılmaktadır. Böylece, hedefte olmayan böceklerin de öldürülmesi engellenebilmiştir (Tianhua & ark, 2014; Taşkın & Vardar,2016).

### ***Güneş Enerjisiyle İlaçlama Makinası***

Verimli ve kaliteli ürünlerin üretilmesinde birçok hastalık ve zararlılarla mücadele edilmektedir. Bunlardan en yaygın kullanım ise kimyasal mücadele yöntemidir. Mücadelede doğru kimyasal ilaçların (herbisitler, fungusitler ve insektisitler) seçimi oldukça önemlidir. Ancak diğer bir önemli nokta da bu ilaçların uygulanmasındaki doğru ve uygun alet ve

ekipmanların seçimi ve kullanılmasıdır (Demir, 2005). Güneş enerji ile çalışan sırt pompaları hastalık ve zararlı mücadelesinde kullanılabilir. Bu yeni yöntem ile sıvı formda ilaçlama gerçekleştirilmiştir. Böylece akaryakıt maliyeti oldukça düşürülmüş ve yerine ücretsiz güneş enerji sistemine dönüşüm gerçekleştirilebilmiştir (Joshua & ark, 2010; Taşkın & Vardar,2016).

### **Tarımda Rüzgâr Enerjisi Kullanımı**

Rüzgâr, güneşten gelen radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yeryüzünün farklı şekillerde olmasından dolayı güneş yeryüzünü farklı ısıtmaktadır. Bu durum da, farklı sıcaklığa bağlı olarak havanın neminin ve basıncının farklı olmasına neden olmaktadır. Farklı hava basınçları ise havanın hareket etmesini sağlayarak rüzgarı oluşturur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgârlar yeryüzü şekilleri ve coğrafik özelliklere bağlı olarak mevsim, zaman ve yere göre farklılık gösterir. Rüzgâr için iki önemli parametre vardır, bunlar hız ve yöndür. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir. Rüzgâr enerjisinin bazı dezavantajları vardır. Rüzgardan kaynaklı elektrik üretiminde yatırım maliyetleri yüksektir. Ayrıca bu ünitelerin kapasiteleri düşüktür. Diğer bir nokta da rüzgar enerjisinin oldukça değişken olmasıdır. Bütün bu dezavantajları yanında avantajları da bulunmaktadır. Avantajları; Çevre dostu ve sürekli, temiz bir enerji kaynağıdır.

Yenilenebilir olduğu için tükenmez.

Yeni teknolojilerin çıkması ve fosil yakıtların sürekli fiyat artışı karşında maliyeti güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir.

Bakım ve işletme giderleri düşüktür.

İşletilmesi ve kullanımı basittir.

Kurulumu kolaydır.

Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji tesisinin temel yapı ögesidir ve hareket halindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik, sonra da elektrik enerjisine dönüştürür (ETKB,2023b).

Rüzgâr enerjisinin tarımda kullanım yerleri şöyledir (Vardar, 2009):

- Elektrik gereksinimindeki alanlar
- Seralarda
- Sulama ve drenaj uygulamalarında
- Isı pompası uygulamalarında
- Soğutma uygulamalarında
- Rüzgâr değirmen tesislerinde

Rüzgârlı ortamlar seralarda kullanılan enerji tüketimini artırmaktadır. Enerji tüketimini artıran rüzgardan enerji üretmede yararlanılabilmektedir. Herhangi bir bölgede rüzgâr enerjisinden ekonomik olarak yararlanılabilmesi için, yıllık en düşük rüzgâr hızının ortalama 5 m/s olması gerekir. Rüzgar enerjisi üretiminde bulunulan bölgenin topografik özellikleri dikkate alınmalıdır. Rüzgar enerjisinin seralarda yararlı olması öncelikle rüzgar hızı yeterli olan bölgeye kurulmuş olmasını gerektirir. Ayrıca, rüzgar enerjisinin seraların ısıtılmasından çok elektrik enerjisi kaynağı olarak kullanılması daha ekonomiktir (O'Flaherty, 1988).

### **2.3. Tarımda Jeotermal Enerji Kullanımı**

Jeotermal enerji, yer kabuğunun altında birikmiş ısı ve basıncın etkisiyle oluşan ve bulunduğu alanın havasının ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve sıcak su, buhar ve gazlar ile

yüzeğe taşınan bir ısı enerjisidir. Jeotermal enerji etrafındaki bulunan yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilmektedir (ETKB,2023b).

### **Jeotermal enerjinin farklı alanlarda kullanılmaktadır;**

**Elektrik üretiminde;** jeotermal alanlarda açılan kuyulardan elektrik üretilebilmektedir. Yeraltından çıkan akışkanlar, buhar ve su olarak ayrıştırılır daha sonra türbin ve jeneratör ile elektrik enerjisi üretilir.

**Isı üretiminde;** Jeotermal kaynaklar çıkan düşük sıcaklık, basınç ve debideki sulardan seralarda çeşitli enerji ihtiyaçlarının giderilmesinde ayrıca ürün kurutmada kullanılmaktadır.

**Sağlık turizminde;** Jeotermal su içeriğinin insan sağlığına faydalı mineraller içermesi nedeniyle sağlık turizminde ve termallerde kullanılmaktadır (ETKB,2023b).

Jeotermal enerji ayrıca gıda işleme alanında kullanılabilir. Dünya genelinde jeotermal enerjiden tarımsal alanda en fazla (%14) sera ısıtmada yararlanılmaktadır. Bunu su ürünleri yetiştiriciliği ve hayvancılık (% 12) izlemektedir. En sonda ve düşük oranda ise (% 1) ürün kurutma uygulaması yer almaktadır. jeotermal enerji, bugüne kadar gıda işlemede yeterince kullanılmamıştır ancak en başarılı ve kapsamlı kullanımı sera ısıtmadır (Tunçbilek, 2015).

### ***Jeotermal enerjinin sera ısıtmada kullanımı***

Seralardaki ısıtma işleminin gün geçtikçe artan maliyeti alternatif olarak jeotermal enerjinin bulunduğu bölgelerde ısıtma amaçlı kullanımını yaygınlaştırmaktadır (Çanakçı & Acarer, 2010). Jeotermal enerjinin ısıtma amaçlı kullanımında en uygun ısıtma yöntemi seralarda toprak altından yapılan ısıtma sistemidir. Bu sistemin aynı kaynaktan beslenen ortam havası ısıtma sistemi ile desteklenmesi ise en iyi çözümü sağlamaktadır. Sera ısıtma sistemlerinde farklı yöntemler kullanılabilir. Isıtma yöntemi seçilirken dikkat edilecek nokta yetiştirilecek ürünün türü ve sistemin ekonomik olmasıdır. (Chiasson, 2005; Taşkın & Vardar,2016).

### ***Jeotermal enerjinin açık alanlarda toprak ısıtmada kullanımı***

Jeotermal enerjiden aynı zamanda açık alanlarda toprak ısıtmada yararlanılmaktadır Bu işlem özellikle iklim geçişlerinde toprak ısısını sağlamada yani erken ilkbahar ve geç sonbahar üretim döneminde ekonomik bir uygulamadır. Bu işlemde de sera ısıtmasında olduğu gibi bazı noktaları göz önünde tutmak gerekir. Bunlar, yetiştirilecek bitki türüne göre uygun toprak ısısı ve koşulları, ısıtma borularının koşullara göre uygun derinliği ve aralığı ve ısıya uygun boru malzemesidir (Tunçbilek, 2015).

### ***Jeotermal enerjinin hayvan barınaklarında kullanımı***

Seralarda olduğu gibi jeotermal enerjiden hayvan barınaklarının ısıtılmasında yararlanılabilir. Örneğin; bir çiftlikteki 50 °C sıcaklıktaki jeotermal su kaynağından faydalanılabilir. İşletmenin ısı gücü 372 kW'dır. Jeotermal su kapalı sistem içinde pompa ile çıkarılmakta ve geriye dönen 25 °C'deki su odalardaki hava sıcaklığına bağlı olarak sistemdeki suya yeniden karıştırılmaktadır. Burada kullanılan ısıtma sistemi bir fan aracılığıyla çalışan konvektör tipi ısı değiştiricidir. Sistemden içeri giren temiz hava ısıtılarak dağıtım kanallarından üfleme deliklerine iletilmekte ve geriye dönen su bir depoda toplanmaktadır (Öztürk, 2010).

### ***Jeotermal enerjinin tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanımı***

Tarımda enerji tüketiminin en fazla kullanıldığı alanlardan birisi de çeşitli tarım ürünlerinin kurutulması uygulamalarıdır. Jeotermal enerji, kurutma işleminde sıcaklığının kontrol edilmesinde ve tüm kurutmalarda kullanılabilir. Kurutma sırasında önemli olan



jeotermal suyun sıcaklığı ile kurutmada gerekli olan sıcaklıktır. Bazı uygulamalarda ise kısmen kullanılabilir. Örneğin, sıcak hava üfleme dane ve yeşil yem kurutucularında, jeotermal enerji kurutma için gerekli ısının bir kısmını karşılamakta ya da ön kurutma veya temiz havanın ön ısıtmasında kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık gerektiren uygulamalarda ise tamamen jeotermal enerjiden yararlanılabilir. Kurutma sistemi kullanılırken enerji verimliliğini artırmak için, sera vb. diğer tarımsal yapıların ısıtma sistemleri birlikte düzenlenerek kullanılabilir (Tunçbilek, 2015).

### ***Jeotermal enerjinin su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanımı***

Jeotermal enerjinin bir başka kullanım alanı ise su ürünleri yetiştiriciliğidir. Özellikle yetiştirilecek balık türüne bağlı olarak 21-27 °C sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan yararlanılabilir. Jeotermal enerjiden yararlanarak daha az zamanda birçok balık türü yetiştirilebilir. Jeotermal enerjinin su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılması, akışkandan çok enerjinin sıcaklığına bağlıdır. Yetiştirme ortamındaki sıcaklık çok önemlidir. Örneğin, 10–20 °C gibi sıcaklıklar karada yaşayan havyanlar için, uygun olmasına rağmen, bazı su ürünlerinde (karides ve yayın balığı) en uygun sıcaklık değeri yaklaşık 30 °C dir. Bunun yanında bazı balık türleri (alabalık ve somon gibi), 15 °C'den daha yüksek olmayan düşük sıcaklıklarda yetiştirilebilir (Öztürk, 2005).

### ***Jeotermal enerjinin mantar üretiminde kullanımı***

Mantar üretimi kontrollü koşul gerektiren bir üretimdir. Mantarda uygun yetiştirme ortamında ancak verim artışı sağlanabilmektedir. Özellikle yetiştirme ortamındaki sıcaklık, nem ve havalandırmanın tam olarak yerine getirilmesi gereklidir. Bu nedenle yüksek bir enerjiye gereksinim vardır. Mantar üretiminde ortam koşullarının sağlanmasında ve pastörizasyon odalarında jeotermal enerjiden faydalanılabilir. ABD'nin Utah eyaletinde bulunan büyük bir jeotermal kaynağından yararlanarak mantar üretilmektedir. Kültür mantarından farklı yetiştirme ortamı gerektiren Kayın Mantarı üretiminde de, jeotermal enerji kompost hazırlığı aşamasında ve buğday saplarının jeotermal suyla ıslatılıp, sonra pastörizasyona alınmasında kullanılabilir. (Öztürk, 2010).

### ***Jeotermal enerjinin toprak ıslahında kullanımı***

Toprağın bitki yetişmesine olanak sağlayan ve zararlı olabilecek faktörleri sınırlayan tüm önlemlere toprak ıslahı denir. Özellikle uygun olmayan sulama yöntemleriyle araziye taşınan tuzlar, suyun buharlaşmasından sonra toprakta kalarak kaymak tabasını oluşturur. Aşırı sulamayla zaman içinde topraktaki tuz miktarı artar. Tuzların içerisindeki sodyum oranının yüksek olması durumunda değişebilir sodyum oranı artış göstererek sodyumlu toprak meydana gelir. Tuzlu toprakların ıslah yöntemiyle iyileştirilmesi mümkündür. Bunun için, öncelikle drenaj şebekesi kurulur sonra, toprak bol su ile yıkanarak, eriyen tuzlar drenaj şebekesi aracılığıyla topraktan uzaklaştırılır (Öztürk,2010). Bütün bu işlemlerdeki enerji gereksiniminde jeotermal enerji kullanılabilir.

### ***Jeotermal akışkanın sulamada kullanılması***

Jeotermal sular kimyasal özellikleri açısından, yüzeyde bulunan sulardan farklılık gösterir. Jeotermal sularda erimiş katyon ve anyon çeşidi/miktarı fazla bulunmaktadır. Bu eriyiklerin bazıları sulama açısından önemlidir. Sulama için önemli olan içerikler; sodyum, kalsiyum, magnezyum katyonları ile klorür, sülfat, bikarbonat, karbonat anyonları ve bordur. Jeotermal akışkanın sulamada kullanılabilmesi için içeriğindeki kimyasalların sulama için gerekenleri içermelidir. Sulama suyunun özellikleri içinde eriyebilir tuz miktarı, sodyum oranı ve toksik elementler dikkate alınır. Eriyebilir tuz miktarı 2250 Micromhos/cm (1.44 g/L)'yi geçen sular (4. Sınıf) normal şartlarda sulamada kullanılmamalıdır. İkinci değerlendirme ölçütü sodyum oranıdır. Sulama suyunun sodyumluluğun ölçütü olan Sodyum Absorpsiyon Oranıdır (SAR).

İçeriğinde sodyum oranı yüksek olan sular toprakta var olan ve tutunmuş sodyum oranını zaman içinde artırmaktadır. Sodyumun etkisi tuzluluğa göre değiştiğinden sodyumluluk sınıfları geniş bir dağılım gösterir. SAR değeri 3'ün altında olan sular, herhangi bir önleme gerek duyulmaksızın sulama için kullanılabilir. Üçüncü ölçüt ise sulama suyunun toksik içeriğidir. Toksik elementler içerisinde ise bor öne çıkmaktadır. Bazı jeotermal kaynakların bor oranı yüksektir. Bu tür jeotermal kaynaklar sulamada kullanılamamaktadır. Yetiştirilecek bitki türlerine göre değişmekle beraber sulamada kullanılacak suların bor sınırları değişmektedir. Ancak genellikle, ortalama 1 ppm'den fazla bor içeren suların sulamada kullanılması uygun görülmemektedir (Öztürk, 2010).

### **Tarımda Biyogaz kullanımı**

Organik atıkların fermantasyonuyla oluşan kokusuz, renksiz, havadan hafif, parlak mavi alevle yanan gaz biyogaz denir. Biyogazın bileşiminde yaklaşık olarak; %40- 70 metan, %0-3 hidrojen sülfür %30-60 karbondioksit ile az miktarda hidrojen ve azot vardır. Biyogaz, maliyeti az ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Normalde hayvan dışkısında bulunup toprakla buluşunca çimlenen yabancı ot tohumları biyogaz üretimi sırasında çimlenme özelliğini kaybeder. Hayvan gübresinin sulara karışması sonucu oluşan kirlilik sorunu yaşanmaz. Atıklar biyogaz üretim süreciyle beraber iyi bir organik gübreye dönüşürler. Biyogazın üretilmesinde bitkisel ve hayvansal atıklar kullanılır (Doğan, 2015).

Biyogaz üretiminde üç ana malzeme kullanılır. Bunlar endüstriyel atıklar, organik atıklar ve hayvansal gübrelerdir.

Biyogaz üretiminde, hayvancılık faaliyetlerinden elde edilen tüm atıklar, bunlar yanında bitkisel üretim faaliyeti sonucu ortaya çıkan atıklar ve diğer elde edilen çiftlik içi atıklar yer almaktadır. Ayrıca ormancılık ürünleri atıkları, deri ve tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar, gıda işleme ve endüstrisi atıkları, evsel katı atıklar, atık su arıtma tesisi atıkları kullanılmaktadır (Koca, 2007).

Biyogaz üretiminde tüm tarım işletmesinin faaliyet atıkları ve diğer endüstri atıkları değerlendirilebilmektedir. Aşağıda biyogaz ünitelerinin kurulabileceği işletmeler yer almaktadır (Koca, 2007):

- Küçük ve orta büyüklükteki tarım işletmeleri: Bu işletmelerde kurulacak 6-25 m<sup>3</sup> biyogaz üniteleri ile elde edilecek enerji, yemek pişirme ve ışıklandırma gereksinimini karşılayabilecek düzeydedir.
- Hayvancılık işletmeleri: Bu tip işletmelerde biyogaz üniteleri 50 m<sup>3</sup> ve daha fazla kapasiteye sahiptir. Hayvancılık işletmelerinde daha çok tavukçuluk, besi ve süt sığırcılığı işletmeleri ekonomik olmaktadır. Böylece hayvansal atıkların çevreye verdiği zarar da önlenmiş olur.
- Tarıma dayalı endüstrilerde ve kesimhanelerde: Çevreye en fazla zararlı atık bırakan bu tip işletmelerin atıkları değerlendirilerek enerji üretimde kullanılabilir. Bu yolla çevre de korunmuş olmaktadır.
- Okul, hastane ve diğer kurumlarda: Toplu hizmet götüren bu tip kurumlardaki atıkların değerlendirilmesi mümkündür. Böyle kurumların daha çok mutfak ve tuvalet artıkları hijyenik bir şekilde elimine edilerek enerji üretimi sağlanabilmektedir.

### ***Tarım işletmelerine biyogazın entegrasyonu***

Elde edilen verilere göre, ülkemizde, hayvansal gübrelerden 2,8-3,9 milyar m<sup>3</sup> biyogaz üretilebileceği ortaya konmuştur. Bu potansiyelin yıllık enerji cinsinden değeri 24,5 kWh'dir. Bununla da toplam ülke enerjisinin yaklaşık %5'i karşılanabilmektedir (Enis, 2003).

Tarımsal atıklardan biyogazın üretiminde iki yöntem bulunmaktadır, bunlar; kesik besleme ve sürekli besleme yöntemleridir. Kesik besleme yönteminde gaz elde edildikten sonra sistem boşaltılıp tekrar atık yüklemesi yapılmaktadır. Dolayısıyla her gaz üretiminde sistemin yüklenip boşaltılması söz konusudur. Sürekli besleme yönteminde ise yine sistemin yüklemesi yapılır, gaz elde edilir ancak boşaltım yapılmaksızın günlük olarak uygun miktarlarda atık yüklemesi ile sürekli olarak gaz elde edilir (Olgun, 2009).

Özellikle küçük tarım işletmelerinde biyogaz ünitelerinin verimli bir şekilde işletilebilmesinin üç koşulu bulunmaktadır. Bunlar; öncelikle sistemi çalıştırabilecek kapasitede yeterli organik artıkların bulunmasıdır. İkinci olarak, biyogaz üretimi sırasındaki artıklarının gübre olarak kullanılma olanaklarının olmasıdır. Üçüncü olarak, üretilen biyogazın işletmede verimli olarak kullanılmasıdır. Genellikle küçük ve orta ölçekli tarım işletmelerinde bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri birarada bulunmaktadır. Bu da işletmedeki üretim faaliyetleri sonucunda hem bitkisel kaynaklı hem de hayvansal kaynaklı atıkların potansiyelini göstermektedir. Yapılan araştırmalarda, bitkisel ve hayvansal üretim faaliyetleri birarada olan işletmelerin biyogaz üretimi için en uygun işletmeler olduğu bulunmuştur. Yapılan araştırmalarda günlük 20-40 kg gübre üretimi olan yerlerde biyogaz ünitesinin kurulumu mümkündür. Bu da işletmede en az 2-3 sığır ya da 16-20 koyun veya keçinin varlığını gerektirmektedir. Buradan elde edilecek biyogaz miktarı da ancak 4-6 kişilik bir ailenin yemek pişirmesine yetecek düzeydedir. Buradan anlaşılacağı üzere biyogaz ünitelerinin tarımsal üretime entegre edilmesi, yakacak maddesinden tasarrufu yanı sıra organik gübreleme vasıtasıyla toprak verimliliğini koruyup verim artışını beraberinde getirecektir (Alçıçek, 2005).

### ***Biyokütle***

5346 sayılı Kanunda biyokütle şöyle ifade edilmektedir; “İthal edilmemek kaydıyla, belediye atıklarının (çöp gazı dâhil) yanı sıra bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıkları, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri ile atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları ve sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları olarak tanımlanmaktadır” (ETKB,2023b).

Başlıca biyokütle kaynakları şöyledir;

#### **1. Tarımsal Biyokütle Kaynaklar**

Yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçeği, soya vb.)

Şeker ve nişasta bitkileri (patates, buğday, mısır, şeker pancarı vb.)

Elyaf bitkileri (keten, kenevir, sorgum, miskantus, vb.)

Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, vb.)

#### **2. Orman ve Orman Ürünlerinden Elde Edilen Biyokütle Kaynakları**

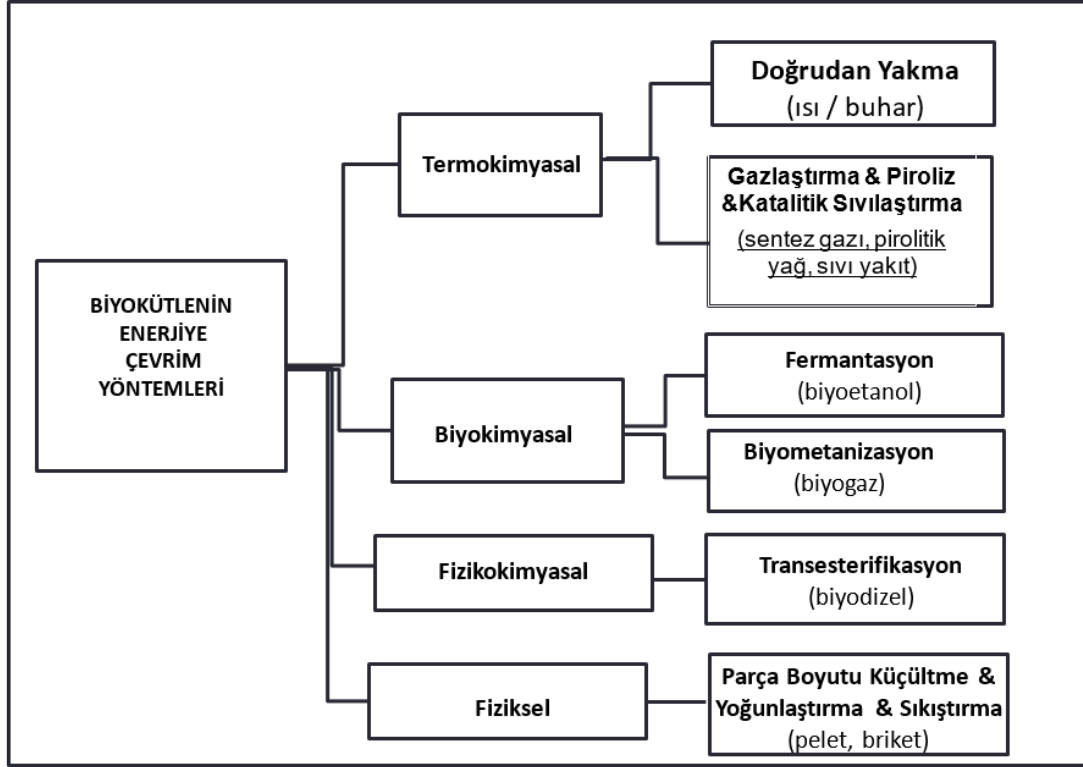
Orman ve ormancılık endüstrisi atık ve artıkları, enerji ormanları, enerji bitkileri.

#### **3. Hayvansal Biyokütle Kaynakları**

Büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbaha atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar.

#### **4. Kentsel ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Kaynakları**

Biyolojik kökenli endüstri atıkları, belediye atıkları, arıtma çamurları (ETKB,2023b).



Kaynak: ETKB,2023b

Şekil 3. Biyokütlenin Enerjiye Çevrim Yöntemleri

“Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA)” verilerine göre atıklarımızdan toplanabilecek enerjinin toplam ekonomik enerji eşdeğeri yaklaşık 3,9 MTEP/yıl’dır. Biyokütle ve atık ısı enerjisine dayalı kurulu güç Haziran 2022 sonu itibariyle 2.172 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %2.14’tür (ETKB,2023b).

### 3.SONUÇ ve ÖNERİLER

Tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, enerji maliyetlerini ve çevresel olumsuz etkileri azaltmakta ve tarımın sürdürülebilirliğini artırmaktadır. Bu kaynaklar, tarımın enerji gereksinimlerini karşılarken çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, bu enerji kaynaklarının kullanılması, karbon ayak izini azaltabilir ve enerji maliyetlerini kontrol altında tutabilir. Ancak, her bölgenin ve tarım işletmesinin özgün ihtiyaçlarına ve koşullarına bağlı olarak en uygun yenilenebilir enerji kaynağını seçmek önemlidir.

Tarım, dünya çapında enerjinin önemli bir tüketicisidir. Tarımsal üretimden tüm tarımsal ürünlerin işlenmesi ve pazara arz edilmesine kadar geçen sürede (depolama, işleme, tasnifleme vb.) en önemli girdi maliyetini enerji oluşturur. Bu nedenle, tarım sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji güvenliğinin sağlanmasına, çevresel etkilerin azaltılmasına ve ekonomik verimliliğin artırılmasına da katkıda bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanabilmek için, çiftçilerin temiz enerji kaynaklarını kullanmaları ve bu teknolojilerin de yaygınlaşması gerekmektedir. Burada en önemli konulardan biri de bu teknolojilerin çiftçi tarafından benimsenmesinin ve çiftçiler tarafından kullanımının yaygınlaştırılmasının sağlanmasıdır. Bu nedenle çiftçilerin yenilenebilir enerji kaynaklarını daha fazla kullanmaları teşvik edilmelidir.

Güney Marmara'da yapılan bir araştırmaya göre (Özkan,2023), çiftçilerin %76'sı yenilenebilir enerjinin tarımda kullanılmasını desteklemekte, %13'ü bu konuda kararsız kalmakta ve sadece %11'lik kısmı karşı olduğunu belirtmektedir. Bu yüksek destekleme oranına rağmen çiftçilerin ancak %9'u bu teknolojiye sahiptir. Bu araştırmaya göre, çiftçiler yenilenebilir enerji kaynaklarına olumlu tutum geliştirdiği ve benimsemelerinin zor olmayacağı anlaşılmaktadır. Yine aynı araştırmada (Özkan,2023), elde edilen sonuçlara göre; çiftçilerin yaşı, eğitimi, kooperatif üyeliği gibi nitelikleri yenilenebilir enerji teknolojilerini benimseme istekliliği üzerinde olumlu ve anlamlı etki yaptığı bulunmuştur. Ancak çiftçilerin maliyet konusunda bazı endişeleri olduğu tespit edilmiştir. Çiftçilerin teknolojilerin maliyetleri ve riskleri konusundaki endişeleri, yenilenebilir enerji teknolojilerini edinme istekliliğini azaltmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerini benimsememenin nedenleri olarak, yatırımın yüksek riskli bulunması, bu teknolojilerin henüz tam anlaşılammış olması ve yüksek yatırım maliyeti öne çıkmaktadır.

Ancak zaman içinde teknolojiye hızlı gelişmeler ve iyileştirmeler teknolojinin maliyetlerini de düşürebilmektedir. Son 13-15 yılda yenilenebilir enerji kaynakları içindeki güneş ve rüzgar enerjisi üretim maliyetleri düşmektedir. 2010 ile 2022 yıllarındaki rüzgar ve güneş enerjisi desteklemeler olmadan fosil yakıtlarla maliyet açısından rekabetçi bir duruma gelmiştir. Örneğin güneş enerjisinden elde edilen elektriğin küresel olarak ağırlıklı ortalama maliyeti %89 düşüşle 0,049 USD/kWh'ye düşmüştür. Bu fiyat ise dünyadaki en ucuz fosil yakıtın üçte birinden daha azdır. Aynı şekilde rüzgar enerjisindeki düşüş de 2022 yılında %69 oranında olmuş ve 0,033 USD/ kWh olmuştur. Bu fiyatta yine 2022 yılındaki fosil yakıtların fiyatının yarısından daha azdır (ETKB,2023 a). Bu nedenle çiftçilere maliyet açısından gerekli bilgi ve eğitim çalışmalarının etkin bir şekilde verilmesi ve tüm paydaşlarla katılımcı bir şekilde yayım programlarının hazırlanması gerekmektedir. Ayrıca bu konularda yatırım maliyetlerinin karşılanmasında devlet destekleri ve teşvikleri de verilmelidir. Nitekim yapılan araştırmada (Özkan,2023) çiftçilerin yenilenebilir enerji teknolojilerini benimsemelerinde devlet sübvansiyonları ve devlet teşviklerinin etkili olduğu bulunmuştur

Trakya Bölgesinde yapılan başka bir çalışmada (Dursun & ark., 2015) yenilenebilir enerji kaynakları yönünden bölgenin Türkiye ortalamasının üstünde potansiyele sahip olduğu ve özellikle biyokütle enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olduğu fakat yeterince değerlendirilmediği ortaya konulmuştur. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından yüksek bir potansiyele sahiptir. Var olan desteklemeler ise bu teknolojilerin yaygınlaşmasında yetersiz kalmaktadır. Kullanımı yaygınlaştırmada teşvik ve destekler önemli olmaktadır. Teşvik sistemi ve mevzuat gözden geçirilerek daha etkin ve kullanımı kolay bir destekleme sistemi sağlanmalıdır. Ayrıca, yenilenebilir enerji sektöründe yaşanan bürokratik engellerin giderilmesi gerekmektedir.

Yenilenebilir enerjilerle ilgili bilgilendirmeler ve eğitim çalışmaları yürütülmeli. Bu konuda katılımcı ve etkin yayım çalışmaları ve programları hazırlanmalı ve yürütülmelidir.

## KAYNAKLAR

Alçiçek, A., (2005). Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, İzmir.

Ambarlı, H. (2014). Arıcılık, Çiftlik, Hayvancılık ve Meyvecilik için uygun elektrikli çit sistemi Uygulaması. <http://www.bozayi.blogspot.com.tr/p/elektro-soklu-cit-sistemi-bilgilendirme.html>

Anonim. (2014). <http://www.sunshineworks.com/solar-greenhouse-fans-ventilation-strategies.htm>

Chiasson, A. (2005). Greenhouse Heating With Geothermal Heat Pump Systems. GHC Bulletin.

Çanakçı, C. & Acarer, S. (2010). Jeotermal Enerji ile Sera Isıtma Sistemleri Tasarım Esasları.

Dalgıç, A. C., (2006). Güneş Enerjili Kurutucular, <http://www1.gantep.edu.tr/~dalgic/gunes.htm>, (Erişim Tarihi: 20.10.2023).

Demir, C. (2005). Tekirdağ İli Tarım İşletmelerinde Kimyasal Savaşmada Kullanılan Bitki Koruma Alet ve Makinelerinin Teknik Özellikleri Ve Uygulama Sorunlarının Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ.

Doğan, M., (2015). Yenilenebilir Enerjide Tarımın Rolü, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Lisans Tezi, 5-29, Aydın.

Dursun, B., Demir, C., Kocabey, S., Gönülol, E. (2015). Trakya'da Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Etkin Kullanımı, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science) 2015, 11 (1), 47-53

Eniş, A., (2003). Enerji Politikaları ile Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları. TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu Bildirileri, Ankara.

ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), (2018). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, [www.yegm.gov.tr](http://www.yegm.gov.tr), Erişim tarihi 16.10.2023

ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), (2022)., <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tabloları,2022>

ETKB, (2023a) [Temizenerji.org/2023/08/29/irena-yenilenebilir-enerjide-rekabetsizlik-maliyet-enflasyonuna-ragmen-hizlanıyor/](https://temizenerji.org/2023/08/29/irena-yenilenebilir-enerjide-rekabetsizlik-maliyet-enflasyonuna-ragmen-hizlanıyor/), Erişim tarihi 15.10.2023

ETKB, (2023b.) <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar>, Erişim tarihi 18.10.2023

Janjai, S. Lamlert, N. Intawee, P. Mahayothee, B. Bala, B.K. Nagle, M. and Müller, J. (2009). Experimental and simulated performance of a PV-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. Solar Energy, 83(9): 1550-1565.

Joshua, R. Vasu, V. and Vincent, P. (2010). Solar Sprayer - An Agriculture Implement. International Journal of Sustainable Agriculture, 2 (1): 16-19.

Gamliel, A. & Katan J. (2012). Soil Solarization: Theory and Practice, ISBN: 978-0-89054-418-1, Pages: 280

Görez, T., Alkan, A., (2005). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Enerji Potansiyeli, Yeksem 2005 III.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semp., 19-21 Ekim 2005. Mersin, s.123-127.

IEA,(2023). <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/modern-renewables> Erişim tarihi 17.09.2023

IEA,(2022). <https://www.iea.org/countries/turkiye> Erişim tarihi 17.09.2023

Karagöl, E.T., Kavaz, İ., (2017). Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, SETA, 197s, 8-12, Ankara.

Kısakürek, B., (1980). “Kurutma Modelleri” Türkiye. Isı Bilimi ve Tekniği. Cilt 2, 37-40.

Koca, T. (2007). “Temiz Enerji Kaynağı Olarak Bor”, Termodinamik, S.141.

Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H.D., & Avcı, E.D., (2005). Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. III. Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin.

Martinot, E., Chaurey, A., Lew, D., Moreira, J.R., & Wamukonya, N., (2002). Renewable energy markets in developing countries. Annual Review of Energy and the Environment, 27(1): 309-348.

O’Flaherty, T., & Von Elsner, B., (1988). Industrial Heat Effluents. p.135-150. Edited by: C.V. Zabeltitz. Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating. FAO-Reur Technical Series 3.

Olgun, M., (2009). Tarımsal Yapılar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı:529, Yayın No:1577, Ankara.

Özkan, G, (2023). Türkiye’de Sürdürülebilir Tarım Politikaları: Tarım Sektöründe Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Öztürk, H.H., (2005). Tarımda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ulusal Sempozyumu (YEKSEM2005), Bildiriler Kitabı: 286-290, ISBN: 975-395-915-X, 19-21 Ekim 2005, Mersin.

Öztürk, H.H., (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı, Teknik Yayınevi, Ankara,

Öztürk, H.H., (2009). Güneş Pili ile Çalışan Tarımsal Sulama Sistemleri için Tasarım Ölçütlerinin Belirlenmesi, 4. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 6-7 Kasım 2009, Mersin, Bildiri Kitabı: 58-73.

Öztürk, H. H., Yaşar, B., Eren, Ö., (2010). Tarımda enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 909-932.

Taşkın O.&Vardar A. (2016). Tarımsal Üretimde Bazı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı, U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016, Cilt 30, Sayı 1, 179-184 (Journal of Agricultural Faculty of Uludag University)

TEİAŞ,(2023). <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, Erişim tarihi 13.10.2023

Tianhua, L. Zhengkun, P. Sha, Y. (2014). Research on the design and installation techniques of solar LED pest control light. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 6(7): 1366-1369.

Tunçbilek, Ö. F., (2015). “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tarımda ve Kırsal Kalkınmada Kullanımı ve Kütahya Simav Jeotermal Seracılık Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.

Türk Tarım ve Orman Dergisi, (2023). Tarım ve Orman Bakanlığı, Yenilenebilir enerji kullanımı ürün fiyatını düşürüyor, Mart-Nisan sayısı 2023.(1.06.2023 Özel haber) <http://www.turktarim.gov.tr/Haber/937/yenilenebilir-enerji-kullanimi-urun-fiyatini-dusuruyor#:~:text=Yenilenebilir%20enerji%20kaynaklar%C4%B1n%C4%B1n%20ba%C5%9F%C4%B1nda%20gelen,yandan%20sosyoekonomik%20geli%C5%9Fmelere%20katk%C4%B1%20sa%C4%9Flan%C4%B1yor.>

Ültanır, M.Ö., (1998). 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239, ISBN: 975-7249-59-9, Lebib Yalkım Yayınları ve Basım İşleri A.Ş., İstanbul.

Ünalın, S., (2006). Alternatif Enerji Kaynakları, <http://me.erciyes.edu.tr/sunalan/alt-ener-kay.pdf>, (Erişim Tarihi: 17.10.2023).

Vardar, A., (2009). Tarımda Rüzgar Enerjisi Kullanımı, Seminer Notları, Çanakkale.

Yağcıoğlu, A., (2005). Ürün işleme Tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 517, Bornova-İzmir, ISBN 975-483-303-6.



# Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar

# 10