



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ SEKTÖRÜNDE FİRMALARIN
KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSININ ÖLÇÜMÜ**

HAKKI AYYILDIZ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. AHMET ÖZEL

BARTIN-2025



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞLETME ANABİLİM DALI ANABİLİM DALI

**YENİLENEBİLİR ENERJİ SEKTÖRÜNDE FİRMALARIN KURUMSAL
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSININ ÖLÇÜMÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakkı AYYILDIZ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL

Üye : Doç. Dr. Mehmet APAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Pınar ÇELEBİ DEMİRARSLAN

BARTIN-2025

KABUL VE ONAY

Hakkı AYYILDIZ tarafından hazırlanan “YENİLENEBİLİR ENERJİ SEKTÖRÜNDE FİRMALARIN KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSININ ÖLÇÜMÜ” başlıklı bu çalışma, 01.07.2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL

Üye : Doç. Dr. Mehmet APAN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Pınar ÇELEBİ DEMİRARSLAN

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../2025 tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zafer CEYLAN

Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL danışmanlığında hazırlamış olduğum “YENİLENEBİLİR ENERJİ SEKTÖRÜNDE FİRMALARIN KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSININ ÖLÇÜMÜ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi hâlinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

01.07.2025

Hakkı AYYILDIZ

ÖN SÖZ

Yüksek lisans eğitim hayatına başladığım öğrenim süresince hiçbir zaman bana desteğini esirgemeyen, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, her adımda engin bilgisi ve tecrübeleriyle bana yol göstericisi olan, çalışmalara farklı açılardan bakmamı sağlayan, her zaman öğrencisi olmaktan şeref duyduğum ve her alanda kendisinden gururla bahsetmekten övünç duyacağım saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL’ e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca kendi içerisinde farklı zorluklar bulunduran bu süreçte bu çalışmayı gerçekleştirmeme olanak tanıyan ve Sahil Güvenlik Komutanlığı’nın mensubu olmaktan her zaman gurur duyacağım. İş hayatımda ve öğrenim süresince beni daima destekleyerek ve yanımda durarak yoluma ışık tutan, tüm bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen saygı değer amirlerim SG Gv.Asb.Kd.Bçvş. Suat ÇIRAK ve SG Gv.Asb.Kd.Bçvş. Hakan TÖRE’ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Değerli katkılarınızı hiçbir zaman unutmayacağım.

Hayatı ve hayatın muhasebesini öğreten çok kıymetli büyüğüm SMMM Zeki AYAN’a, bana kazandırdığı bilgi, deneyim ve ahlaki değerler için sonsuz şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Kendisi, bana muhasebenin ötesinde insan ilişkileri, dürüstlük ve meslek etiği konusunda rehberlik ederek iş hayatında hem de günlük yaşamda sağlam bir duruş kazanmamı sağlamıştır. Bu anlamda, kendisinden edindiğim değerler hayatım boyunca bana yol gösterici olacaktır.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca yanımda olan, beni daima motive eden ve bilgilerinden faydalandığım Dr. İbrahim BOZ’a ve hayatım boyunca daima varlığından güç aldığım kardeşim Nazifcan AYYILDIZ’a şükranlarımı bir borç bilirim.

Beni bu günlere getiren, maddi ve manevi desteklerini üzerimden eksik etmeyen babaannem Ayşe AYYILDIZ’a annem Fadime AYYILDIZ’a ve kız kardeşim Ayşenur AYYILDIZ İBİK’e şükranlarımı bir borç bilirim.

Bu zorlu hayat yolculuğumda kendime rehber edindiğim, “Herkes kendi geleceğini kendi hazırlar” sözünü bir kez daha hatırlayarak ve bu söze sadık kalıp tüm süreci tamamlayarak

hayatımda bir adım daha atabilmenin bahtiyarlığını yaşamaktayım. Bu noktaya ulaşmak, bana derin bir huzur ve gurur veriyor, gelecekte de aynı kararlılıkla yol almam için bana güç sağlıyor.

Her ne kadar bu satırları okuyamıyor olsalar da hayatım boyunca bana unutamayacağım çok değerli hayat dersleri veren, dürüstlük ve azimle çalışmayı öğreten, beni her zaman destekleyen sevgili dedem ve babama şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Onların bana kattıkları değerler ve bana olan inançları, bugünlere ulaşmamda en büyük ilham kaynağım oldu. Bu başarıyı, aramızda olmasalar dahi, onlara adıyorum. Sonsuz minnet ve sevgiyle...

Hakkı AYYILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİLENEBİLİR ENERJİ SEKTÖRÜNDE FİRMALARIN KURUMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSININ ÖLÇÜMÜ

Hakkı AYYILDIZ

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet ÖZTEL

Bartın-2025, sayfa: 170

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarının nesnel bir yaklaşımla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Türkiye’de Borsa İstanbul’da işlem gören AYDEM Yenilenebilir Enerji A.Ş.’nin 2019-2023 yılları arasındaki sürdürülebilirlik düzeyi analiz edilmiştir. Çalışmada kurumsal sürdürülebilirlik üç temel boyutta ele alınmıştır: ekonomik, çevresel ve sosyal. Bu boyutlara ilişkin çok sayıda gösterge kullanılarak değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmanın yöntemsel kısmında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımlarından Entropi ve MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Öncelikle kriterlerin görelî önem derecelerinin belirlenmesi için nesnel tabanlı Entropi yöntemi uygulanmış, ardından bu ağırlıklar MARCOS yöntemine entegre edilerek her yıl için sürdürülebilirlik performansı sıralaması elde edilmiştir.

Analiz sonucunda, AYDEM Enerji’nin sürdürülebilirlik performansının yıllara göre değişkenlik gösterdiği, 2022 yılının genel anlamda en yüksek performans yılı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, özellikle çevresel göstergelerde yapılan iyileştirmelerin ve ekonomik

istikrarın etkili olduğunu göstermektedir. 2020 yılı ise pandeminin etkisiyle tüm boyutlarda performansın gerilediği bir yıl olarak dikkat çekmektedir.

Bu çalışmayla Entropi ve MARCOS yöntemlerinin entegre kullanımının, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde karar destek aracı olarak etkin biçimde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Ayrıca bu yöntemsel çerçevenin enerji sektöründe faaliyet gösteren diğer firmalara da uygulanabilir olması, yöntemin genellenebilirliğini ve uygulama değerini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok kriterli karar verme, entropi, kurumsal sürdürülebilirlik, MARCOS, yenilenebilir enerji

Bilim Alanı Kodu: 5019

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

MEASURING THE CORPORATE SUSTAINABILITY PERFORMANCE OF FIRMS IN THE RENEWABLE ENERGY SECTOR

Hakkı AYYILDIZ

Bartın University

Graduate School

Department of Business Administration

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÖZTEL

Bartın-2025, pp: 170

This thesis aims to evaluate the corporate sustainability performance of firms operating in the renewable energy sector through an objective and systematic approach. In this context, the sustainability performance of AYDEM Renewable Energy Inc., a company listed on Borsa Istanbul, was analyzed for the period between 2019 and 2023. The study addressed corporate sustainability in three dimensions: economic, environmental, and social. Numerous indicators related to these dimensions were used in the assessment.

Methodologically, two Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods were integrated: Entropy and MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution). First, the Entropy method was applied to determine the objective weights of the evaluation criteria. These weights were then used in the MARCOS method to rank the sustainability performance of each year.

The analysis revealed that the sustainability performance of AYDEM varied over the years, with 2022 being the year with the highest overall performance. This result indicates that improvements in environmental indicators and economic stability played a significant role. In contrast, 2020 was identified as the lowest-performing year due to the adverse effects of the COVID-19 pandemic across all dimensions.

This study demonstrated that the integrated use of Entropy and MARCOS methods can serve as an effective decision-support tool in sustainability assessments. Furthermore, the applicability of this methodological framework to other firms in the energy sector enhances its generalizability and practical relevance.

Keywords: Corporate sustainability, entropy, multi-criteria decision making, MARCOS, renewable energy

Scientific Field Code: 5019



İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME	iii
ÖN SÖZ	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Araştırma Problemi.....	8
1.2. Araştırmanın Önemi.....	10
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ SEKTÖRÜ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	11
2.1. Sürdürülebilirlik	17
2.2. Kurumsal Sürdürülebilirlik.....	20
2.2.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik.....	22
2.2.2. Çevresel Sürdürülebilirlik.....	23
2.2.3. Sosyal Sürdürülebilirlik	24
2.3. Araştırmanın Amacı	25
2.4. Araştırmanın Kapsamı.....	26
2.5. Tezin Organizasyonu	27
3. FOSİL VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KÜRESEL ETKİLERİ VE SINIFLANDIRILMASI.....	29
3.1. Enerji Kaynakları.....	31
3.2. Fosil Yakıtlar: Özellikleri ve Küresel Dağılımı.....	31
3.3. Petrol.....	34
3.4. Doğal Gaz.....	40
3.5. Kömür	44
3.6. Fosil Yakıtların Avantajları.....	53
3.7. Fosil Yakıtların Dezavantajları	54
3.8. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türleri.....	56

3.8.1. Güneş Enerjisi	58
3.8.1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları	65
3.8.1.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları.....	66
3.8.2. Rüzgâr Enerjisi	66
3.8.2.1. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları	75
3.8.2.2. Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları.....	76
3.8.3. Jeotermal Enerjisi	77
3.8.3.1. Jeotermal Enerjisinin Avantajları	83
3.8.3.2. Jeotermal Enerjisinin Dezavantajları	85
3.8.4. Hidroelektrik Enerji	86
3.8.4.1. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Avantajları.....	91
3.8.4.2. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Dezavantajları	92
3.8.5. Biyokütle Enerjisi.....	93
3.8.5.1. Bitkisel Kaynaklı Biyokütle.....	96
3.8.5.2. Orman ve Ormancılığa Dayalı Biyokütle.....	96
3.8.5.3. Hayvansal Kaynaklı Biyokütle.....	96
3.8.5.4. Kentsel ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle	96
3.8.5.5. Biyokütle Enerjisinin Avantajları ve Uygulama Alanları	97
3.8.5.6. Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları	99
3.8.6. Deniz Kaynaklı Enerji Türleri: Okyanus Enerjisi.....	100
3.8.7. Dalga Enerjisi	101
3.8.8. Gelgit Enerjisi.....	103
3.8.9. Akıntı Enerjisi	104
3.8.10. Deniz Kaynaklı Enerji Türlerinin Avantajları	107
3.8.11. Deniz Kaynaklı Enerji Türlerinin Dezavantajları	108
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	111
4.1. Yenilenebilir Enerji Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	111
4.2. Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Üzerine Yapılan Çalışmalar	113
4.3. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve MARCOS Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	116
5. MATERYAL VE YÖNTEM	119
5.1. Araştırma Modeli.....	119
5.2. Veri Toplama ve Kaynaklar	119

5.3. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yaklaşımı	120
5.4. Entropi Ağırlıklandırma Yöntemi	121
5.5. MARCOS Yöntemi	123
5.6. Kullanılan Yazılım ve Araçlar	128
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	130
6.1. Göstergelerin ve Ağırlıkların Belirlenmesi.....	130
6.2. Bulgular	132
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	149
7.1. Öneriler.....	151
KAYNAKLAR.....	153
ÖZGEÇMİŞ	169



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: 2024 ve 2025 Ocak sonu itibarıyla kurulu güç kaynaklarına göre dağılımı	5
1.2: 2023-2024 Yılı elektrik üretim kaynakları.....	6
1.3: 2024 ve 2025 Yılı ocak sonu itibarıyla elektrik üretim santralleri.....	7
2.1: Kurumsal sürdürülebilirliği oluşturan temel boyutlar.....	21
3.1: Enerji kaynakları	31
3.2: Fosil yakıtların rezervleri	33
3.3: Türkiye’de petrol arama ve üretim sürecindeki tarihsel gelişmeler.....	37
3.4: Türkiye’nin 2024 yılı petrol ve doğal gaz üretiminde tarihi rekorları	38
3.5: Türkiye’nin 2025 Yılı petrol ve doğal gaz üretiminde tarihi rekorları	39
3.6: Ocak 2025 Doğal gaz ithalatı	41
3.7: Ocak 2025 sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ithalatı	42
3.8: Kategorilere göre dünya kömür rezerv dağılımı	45
3.9: Antrasit ve bitümlü kömür rezervlerinde dünya ülkelerinin payları.....	46
3.10: Alt bitümlü kömür ve linyit rezervlerinde dünya ülkelerinin payları	47
3.11: 2023 yılı Türkiye’nin kömür kaynakları dağılımı.....	47
3.12: 2023 Yılı küresel kömür üretiminde önde gelen ülkeler.....	48
3.13: 2023 Yılı küresel kömür tüketiminde öne çıkan ülkelerin karşılaştırmalı dağılımı	49
3.14: 2012-2023 Yılları Türkiye’nin yıllık linyit üretim miktarları.....	50
3.15: 2012-2023 Yılları Türkiye’nin yıllık asfaltit üretim miktarları	50
3.16: 2012-2023 Yılları Türkiye’nin yıllık taş kömürü üretim miktarları	51
3.17: 2016-2023 Yılları Türkiye’nin yıllık kömür tüketim miktarları	52
3.18: 2023 Yılı Türkiye’nin kömür tüketimin sektörlere göre dağılımı	52
3.19: Dünya nüfus oranı	56
3.20: Bell telephone system’in güneş pili teknolojisine ait 1956 yılı reklam afişi	59
3.21: İspanya’nın Sevilla kentinde yer alan ve CSP güneş enerjisi santralinin havadan görünümü	61
3.22: Konya Karapınar güneş enerjisi santrali’nin genel görünümü.....	61
3.23: Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel atlası ve yıllık güneş radyasyonu dağılımı	62
3.24: Hollanda’da konut çatılarında güneş enerjisi panelleri uygulaması	64
3.25: Türkiye’de bir rüzgâr enerjisi santralinden genel görünüm.....	69

3.26: Türkiye genelinde 100 m seviyesinde ölçülen yıllık ortalama rüzgâr hızlarının coğrafi dağılımı	70
3.27: Türkiye'nin 100 m yükseklik seviyesindeki yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğunun coğrafi dağılımı	72
3.28: Türkiye'nin 100 m yükseklik seviyesindeki rüzgâr enerjisi kapasite faktörü dağılımı	72
3.29: Türkiye'de rüzgâr enerjisi sektörüne ait 2023-2024 dönemi kurulu güç, ekipman üretimi ve istihdam göstergeleri	73
3.30: Türkiye'de tespit edilen jeotermal kaynakların coğrafi dağılımı ve yüzey sıcaklık seviyeleri	79
3.31: Türkiye'de jeotermal enerjiyle ısıtma yapılan alanların konumsal dağılımı ve kullanım amaçları	79
3.32: Türkiye'de jeotermal enerjiyle ısıtılan sera alanlarının ve TDİOSB bölgelerinin coğrafi dağılımı	80
3.33: Türkiye'deki jeotermal kaynakların ve volkanik alanların coğrafi dağılımı	81
3.34: Hidroelektrik santralinin yapısı ve çalışma prensibi	88
3.35: Türkiye'de kurulu güç bazında en büyük on hidroelektrik santralinin coğrafi dağılımı	90
3.36: Biyokütle enerji dönüşüm süreçlerinin sınıflandırılması	97
3.37: Okyanus tabanlı yenilenebilir enerji türlerinin sınıflandırılması	101
3.38: Dalga enerjisi dönüştürücüleri	102
3.39: Çanakkale Boğazı'nda yüzey ve dip akıntılarının yönünü gösteren şematik akıntı haritası	105
3.40: 38 cm uzunluğunda iki kanatlı bir türbine ait rotor bağlantısı (a), 48 cm kanat uzunluğuna sahip üç kanatlı bir türbin prototipi (b)	106
7.1: Marcos Sıralaması	151

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
6.1: Kurumsal sürdürülebilirlik karar verme göstergeleri ve optimum değer yönleri	131
6.2: Ekonomik sürdürülebilirlik entropi karar matrisi	133
6.3: Çevresel sürdürülebilirlik entropi karar matrisi	133
6.4: Sosyal sürdürülebilirlik entropi karar matrisi	134
6.5: Ekonomik sürdürülebilirlik entropi karar matrisi normalizasyonu.....	135
6.6: Çevresel sürdürülebilirlik entropi karar matrisi normalizasyonu.....	135
6.7: Sosyal sürdürülebilirlik entropi karar matrisi normalizasyonu.....	136
6.8: Ekonomik sürdürülebilirlik karar matrisi entropi e_j değerleri, d_j fark dereceleri ve w_j ağırlıkları.....	137
6.9: Çevresel sürdürülebilirlik karar matrisi entropi e_j değerleri, d_j fark dereceleri ve w_j ağırlıkları	137
6.10: Sosyal sürdürülebilirlik karar matrisi entropi e_j değerleri, d_j fark dereceleri ve w_j ağırlıkları	138
6.11: Ekonomik sürdürülebilirlik MARCOS karar matrisi.....	139
6.12: Çevresel sürdürülebilirlik MARCOS karar matrisi	139
6.13: Sosyal sürdürülebilirlik MARCOS karar matrisi.....	140
6.14: Ekonomik sürdürülebilirlik genişletilmiş karar matrisi	140
6.15: Çevresel sürdürülebilirlik genişletilmiş karar matrisi	141
6.16: Sosyal sürdürülebilirlik genişletilmiş karar matrisi	141
6.17: Ekonomik sürdürülebilirlik genişletilmiş başlangıç karar matrisi normalizasyonu	142
6.18: Çevresel sürdürülebilirlik genişletilmiş başlangıç karar matrisi normalizasyonu ...	143
6.19: Sosyal sürdürülebilirlik genişletilmiş başlangıç karar matrisi normalizasyonu.....	143
6.20: Ekonomik sürdürülebilirlik ağırlıklı karar matrisinin belirlenmesi	144
6.21: Çevresel sürdürülebilirlik ağırlıklı karar matrisinin belirlenmesi.....	145
6.22: Sosyal sürdürülebilirlik ağırlıklı karar matrisinin belirlenmesi	145
6.23: Ekonomik sürdürülebilirlik fayda derecelerinin hesaplanması ile fayda fonksiyonlarının belirlenmesi ve sıralanması	146
6.24: Çevresel sürdürülebilirlik fayda derecelerinin hesaplanması ile fayda fonksiyonlarının belirlenmesi ve sıralanması	147

6.25: Sosyal sürdürülebilirlik fayda derecelerinin hesaplanması ile fayda fonksiyonlarının belirlenmesi ve sıralanması	147
--	-----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CO ₂	: Karbondioksit
Km	: Kilometre
M	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
EJ	: Exajoule
mmBtu	: Milyon İngiliz termal birimi
Bcm	: Billion cubic meters
Kcal	: Kilokalori
Kg	: Kilogram
GW	: Gigawatt
MWp	: Megawatt Peak
Kwh	: Kilowatt Saat
MW	: Megawatt
m/s	: Metre/saniye
kW	: Kilovat
°C	: Santigrat
MWt	: Megawatt-termal
TWh	: Terawatt-saat
Mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
TW	: Terevat
Cm	: Santimetre

KISALTMALAR

IEA	: International Energy Agency
IRENA	: International Renewable Energy Agency
KEI	: Knowledge Economy Index
G20	: Group of Twenty
D-8	: Developing Eight
YEKA	: Yenilenebilir enerji kaynak alanları
COVID	: Coronavirus Disease 2019

ÇKKV	: Çok kriterli karar verme
MARCOS	: Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution
AR-GE	: Araştırma ve geliştirme
GSYİH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
YEKDEM	: Yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
GES	: Güneş enerjisi santrali
A.Ş.	: Anonim Şirketi
EPDK	: Enerji Piyasası Denetim Kurulu
TANAP	: Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
FSPO	: Yüzer üretim depolama ve boşaltma sistemi
LNG	: Sıvılaştırılmış doğal gaz
BDT	: Avrupa ve Bağımsız Devletler Topluluğu
MÖ	: Milattan Önce
ISES	: Uluslararası güneş enerjisi topluluğu
PPA	: Elektrik Satın Alma Anlaşmaları (Power Purchase Agreements)
GEPA	: Güneş enerjisi potansiyel atlası
Offshore	: Deniz üstü
REPA	: Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TDİOSB	: Tarıma dayalı ihtisas organize sanayi bölgeleri
HES	: Hidroelektrik enerji santrali

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki yaşamın başlamasından bu yana insanlar, doğada bulunan kaynakların kullanımı için çaba göstermeye başlamıştır. Medeniyetin gelişmesiyle birlikte insanlar bu kaynakların nasıl kullanıldığını öğrenmiş ve bunlardan etkin bir şekilde faydalanmaya başlamıştır. Son dönemlerde küreselleşme, teknolojik ilerleme, sanayi sektöründeki gelişmeler, nüfus artışı gibi birçok etken enerji kaynaklarının kullanımını hızlı bir şekilde artırmıştır (Özcan vd., 2017).

Enerji, insanlık için temel bir gerekliliktir ve toplumların gelişiminde kritik bir rol oynamıştır (Torunoğlu, 2015). Bu kavram, iş yapabilme yeteneğini temsil etmektedir. Tarih boyunca insanlar, enerjiyi farklı kaynaklardan temin etmiş ve kullanmışlardır. İlk dönemlerde kendi fiziksel güçlerini kullanan insanlar, zamanla hayvan gücü ve ateşin keşfedilmesiyle odun, kömür gibi doğal kaynaklara yönelmişlerdir. Fakat dünyadaki gelişen ve gelişmekte olan ülkelerin enerji talebi de yükselmiştir. Sanayi Devrimi'yle beraber buhar gücü ve elektrik gibi yeni enerji kaynakları önem kazanmıştır.

Dünyada üretim ve yaşamsal süreçlerin sürdürülmesi için enerjiye talep giderek artmıştır. Ekonomik büyümenin ve kalkınmanın itici gücü enerjidir. Bu nedenle ekonomik gelişme ve ilerlemenin sürekliliği için enerji büyük bir öneme sahiptir (Arslan ve Solak, 2019).

Enerji sektörü küresel ekonomi ile insanların günlük yaşamında hayati bir rol oynamaktadır (Anita Karkee, 2024).

Enerji, doğada kıt bulunan kaynaklardan biridir ve üretim ile tüketim arasındaki açık hızla büyümektedir. Dünya genelinde ihtiyaç duyulan enerji kaynaklarının büyük bir kısmı kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Sanayi Devrimi'nin ardından kömür, enerji ihtiyacını karşılamak için yaygın bir şekilde kullanılmış ve daha sonraları petrol, doğal gaz gibi kaynaklar da enerji üretiminde önemli bir rol oynamıştır. Ancak 1973-1979 (Yılmaz ve Hotunluoğlu, 2015), yıllarında yaşanan petrol krizi, bu enerji kaynaklarına olan güveni sarsmıştır. Bu kriz sonrasında dünya ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Ayrıca fosil yakıtları kullanmanın çevresel etkileri, bu arayışı daha da hızlandırmış ve çevre kirliliği sorununu belirgin bir hâle gelmiştir (Ürün ve Soyu, 2016).

Enerji kaynakları, yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki temel kategoriye ayrılır. Yenilenemez enerji kaynakları kullanıldıkça tükenen kaynaklardır. Bunlar genellikle petrol, doğalgaz, kömür gibi yakıtları içerir ve çevresel zararlara neden olabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise kendiliğinden yenilenen, temiz ve güvenli enerji kaynaklarıdır. Bu kategoriye giren enerji kaynakları arasında hidrolik (su), güneş, rüzgâr, jeotermal (yer altı ısı) ve biyokütle (organik malzeme) enerjileri bulunur. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşma ve bunları kullanma eğilimi artmaktadır. Bu durum, çevre dostu enerji üretimi ve enerji sürdürülebilirliği açısından olumlu bir gelişmedir (Akça ve Kamacı, 2021).

Fosil yakıt kaynaklarının önümüzdeki dönemlerde yetersiz kalacağının öngörülmesi yenilenebilir enerji kaynaklarını daha da önemli hâle getirmiştir.

Fosil yakıtlar, dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamaktadır ancak bu kaynaklar zamanla azalmaktadır. Özellikle 20. yüzyıl boyunca yoğun bir şekilde kullanılan petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların kullanımı, çevre üzerinde ciddi olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu etkiler arasında ozon tabakasının incilmesi, asit yağmurları gibi sorunlar öne çıkmaktadır (Halil vd., 2005). 1990'lı yıllarda dünyada fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ (karbondioksit) emisyonları, küresel ısınma ve çevre kirliliği sorunlarıyla mücadele etmek zorunlu bir hâle gelmiştir (Dinçer ve Aslan, 2008). Ayrıca fosil yakıtların tükenmekte olduğu ve gelecekte tamamen tükeneceği de bilinmektedir (Halil vd., 2005).

Fosil yakıtlardan kömür, bitki ve orman kalıntılarının milyonlarca yıl süren jeolojik süreçler sonucu sıkışması ve fosilleşmesiyle oluşmaktadır. Termal santrallerde ısı üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kömürün yakılması, atmosfere yayılan karbondioksit, kükürt dioksit, azot oksitler, cıva, uçucu kül, taban külü gibi ağır metallerin birincil kaynağı olarak tanımlanmaktadır ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır (Amiri vd., 2024). Ayrıca kömür yer altı kaynaklarından çıkarıldığı için insan iş gücü gerektirmekte ve bu süreç hem çalışanların sağlığını hem de çevreyi olumsuz etkilemektedir (Sağır, 2025). Petrol ise deniz altındaki organizmaların ve mikropların milyonlarca yıl süren ayrışma süreçleri sonucu meydana gelmektedir. Ulaşım, enerji üretimi ve kimya endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Doğalgaz ise yer altındaki fosil yakıtların ayrışması sırasında oluşan metan gazının birikmesi ve sıkışmasıyla ortaya çıkmaktadır. Temiz bir yanma özelliği taşır ve

elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının yaygın kullanımı birçok avantaj sağlasa da ciddi çevresel ve sosyal sorunları da beraberinde getirmektedir. Özellikle iklim değişikliğinin önlenmesi ise büyük ölçüde fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasına bağlıdır (Muhamya vd., 2024). Ancak fosil yakıtların çevresel etkilerine rağmen bu enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar sürmektedir. Mevcut politikaların bu doğrultuda devam etmesi, küresel iklim hedeflerinin gerçekleşmesini büyük ölçüde engellemekte olup sera gazı emisyonlarının azaltılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir zaman kaybına yol açmaktadır. Bu bağlamda fosil yakıt kullanımını sınırlayan ve yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik eden sürdürülebilir politikaların benimsenmesi kaçınılmaz bir hale gelmiştir (Creutzig vd., 2024).

Enerji sektörü, küresel emisyon artışında en belirleyici faktörlerden biri olarak, sürdürülebilir bir gelecek inşa etme sürecinde kilit bir role sahiptir. Bu nedenle enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların önceliklendirilmesi, çevresel etkileri azaltırken ekonomik kalkınmanın da fosil yakıtlardan bağımsız hâle gelmesini sağlayan önemli bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Sağır, 2025).

Fosil yakıtların tüketilmesi, kurumsal sürdürülebilirlik açısından çevresel, sosyal ve ekonomik sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunlar, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendiren temel faktörlerden biri olmuştur. Son yıllarda güneş, jeotermal, rüzgâr, biyokütle, hidroelektrik enerji, gelgit, dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları birçok ülke tarafından tercih edilen alternatif enerji kaynakları hâline gelmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en belirgin avantajı, tükenme riskine karşı kendini yenileyebilme özelliğine sahip olmasıdır. Ancak bu kaynaklardan faydalanmak için gerekli altyapının yüksek maliyetli olması, birçok ülke için önemli bir engel teşkil etmektedir (Bağcı ve Yüksel Yiğiter, 2019).

Sürdürülebilir bir enerji sistemine geçiş hem çevresel hem de stratejik açıdan zorunlu bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil yakıtların yoğun kullanımının küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki etkisine dair artan bilimsel kanıtlar, bu geçişin önemini daha da vurgulamaktadır. Ancak enerji dönüşümü yalnızca çevresel hedeflere ulaşmayı değil, aynı zamanda sürdürülebilir bir küresel geleceği güvence altına almayı da amaçlamaktadır. Bu

süreç, yenilenebilir enerji kaynaklarının değişkenliği gibi önemli zorluklarla şekillenmektedir (Bellini vd., 2024).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliğinin sağlanması ve bu alandaki altyapı yatırımlarının hızlandırılması, gelecek nesiller için yaşanabilir bir dünya oluşturma'nın temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir.

Dünya genelinde ve özellikle gelişmekte olan ülkeler ile Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmaya yönelik yasal düzenlemeler ve teşvikler giderek önem kazanmaktadır. Bu çabaların etkisiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının her yıl artması beklenmektedir (Çapraz, 2024).

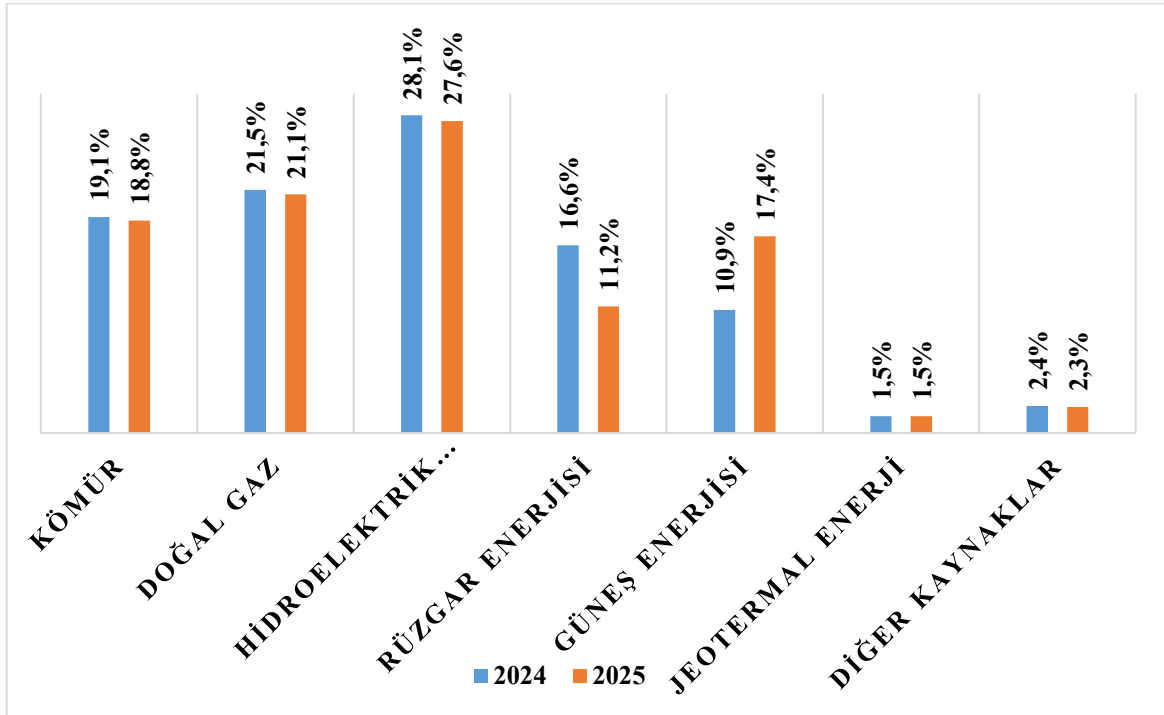
Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Türkiye zengin bir potansiyele sahiptir ve bu alanda etkili adımlar atılmaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji üzerine kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmiş, özellikle rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi alanında dikkate değer gelişmeler yaşanmıştır. Türkiye’de şebekeye bağlı rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi ilk olarak 1998 yılında başlamıştır (URL-13, 2025).

2000’li yıllardan itibaren Türkiye, ekonomik büyümesiyle paralel olarak artan enerji talebini karşılamak amacıyla farklı enerji kaynaklarını devreye almayı hedeflemiştir. Bu doğrultuda, enerji sektöründeki liberalleşme sürecinin ilk adımı 2003 yılında Enerji Piyasası Denetim Kurulunun (EPDK) kurulmasıyla atılmıştır. EPDK’nın oluşturulmasıyla birlikte kamu ve özel sektör yatırımları, belirlenen büyüme hedefleri doğrultusunda düzenlenmiş ve denetim altına alınmıştır. 2004 yılı itibarıyla küresel enerji yatırımlarındaki gelişmeler dikkate alınarak Türkiye için yeni bir strateji belirlenmiş ve bu strateji doğrultusunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Devlet Planlama Teşkilatının katkılarıyla Türkiye’nin yerli ve yenilenebilir enerji potansiyelini keşfetmesi ve bu potansiyelden etkin bir şekilde faydalanması yönünde önemli adımlar atılmıştır (Yılmaz ve Hotunluoğlu, 2015). Buna ek olarak 2005 yılında yürürlüğe giren 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu’nun çıkarılmasının ardından kurulu güç ve enerji üretiminde kayda değer bir artış yaşanmıştır. Devletin bu alandaki projeleri teşvik etmesi, yenilenebilir enerji yatırımlarının hızlanmasına katkı sağlamış ve enerji ithalatını azaltarak sürdürülebilir bir enerji yapısına ulaşma hedefine yönelik önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (URL-13, 2025).

Jeotermal enerji potansiyeli bakımından Türkiye küresel kapasitenin %8'ine sahiptir (Koç ve Kaya, 2015), ve bu özelliğiyle dünya genelinde önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Bu yüksek potansiyel Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanında güçlü bir konuma sahip olmasına etki etmektedir.

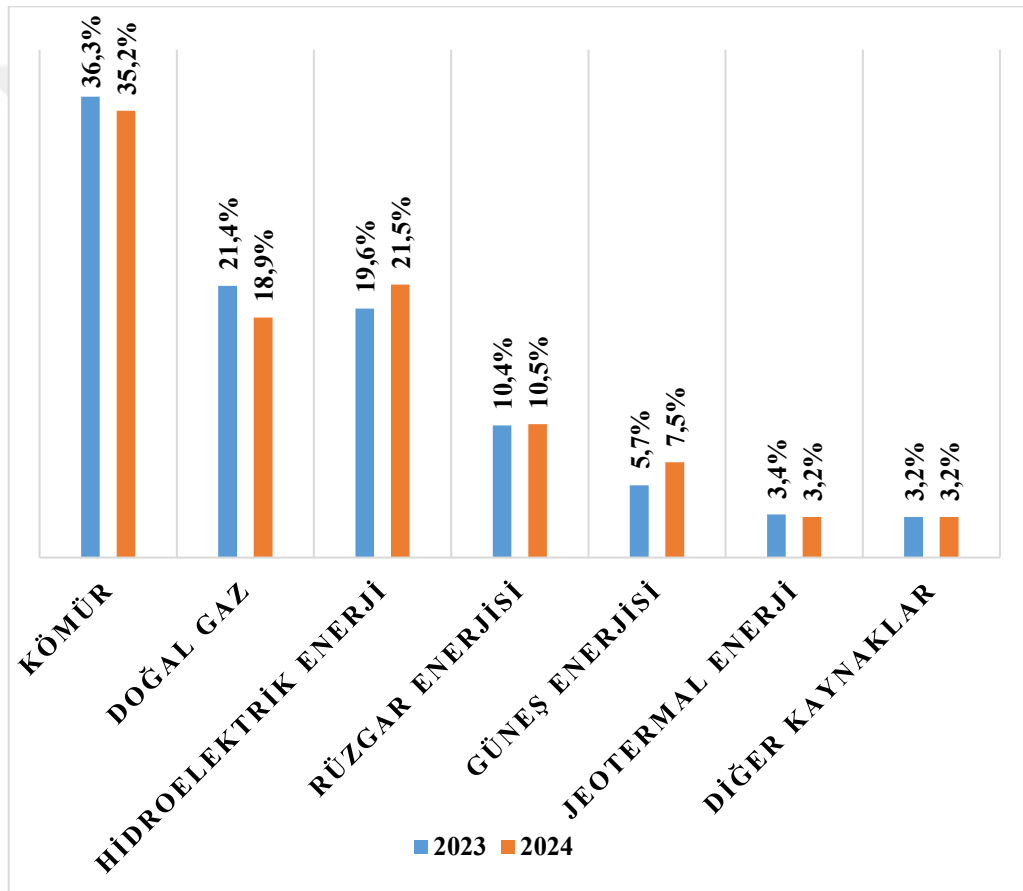
Türkiye'nin üye olduğu International Energy Agency (IEA), International Renewable Energy Agency (IRENA), Knowledge Economy Index (KEI), Group of Twenty (G20), Developing Eight (D-8) gibi uluslararası organizasyonlarla birlikte koordinasyon sağlayarak ortak çalışmalara imza atmaktadır. Türkiye'de başlatılan Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) projeleri ve yenilenebilir enerji yatırımlarına sağlanan çeşitli teşvikler sayesinde enerji üretiminde sürdürülebilir kaynakların payını artırmayı hedeflemektedir (URL-20, 2025).

Türkiye'de 2023 ve 2024 yılları itibarıyla elektrik üretimi ve kurulu güç dağılımı kaynaklara göre farklılık göstermektedir. Kurulu güç; belirli bir dönemde elektrik üretim kapasitesini ifade ederken fiili elektrik üretimi ise bu kapasitenin ne kadarının kullandığını göstermektedir. Bu iki kavram, enerji sektöründeki kapasite kullanım verimliliğini ve kaynakların etkinliğini değerlendirmek açısından kritik bir öneme sahiptir.



Şekil 1.1: 2024 ve 2025 Ocak sonu itibarıyla kurulu güç kaynaklarına göre dağılımı

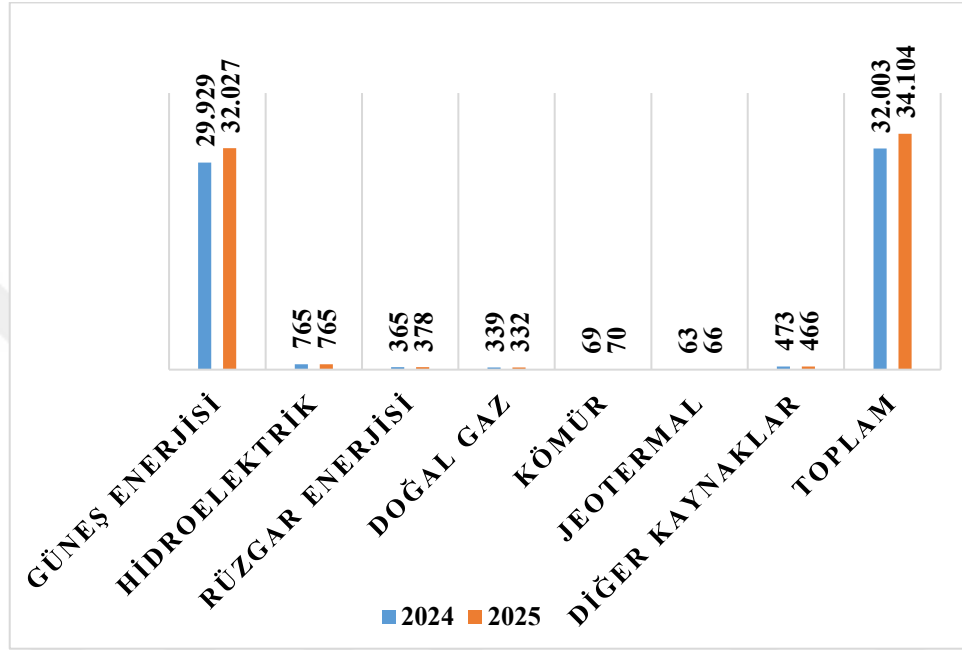
Şekil 1.1’de gösterildiği üzere 2024 yılı itibarıyla Türkiye’nin toplam elektrik üretim kurulu gücü dağılımı incelendiğinde %19,1’i kömürden, %21,5’i doğal gazdan, %28,1’i hidroelektrik enerjiden, %16,6’sı rüzgâr enerjisinden, %10,9’u güneş enerjisinden, %1,5’i jeotermal enerjiden ve %2,4’ü diğer kaynaklardan oluşmaktadır. 2025 yılı ocak ayı sonu itibarıyla ise bu dağılımda küçük değişiklikler gözlemlenmiştir: %18,8’i kömür, %21,1’i doğal gaz, %27,6’sı hidroelektrik enerji, %11,2’si rüzgâr enerjisi, %17,4’ü güneş enerjisi, %1,5’i jeotermal enerji ve %2,3’ü ise diğer kaynaklar şeklinde gerçekleşmiştir (URL-22, 2025; URL-21, 2025). Bu dağılım, Türkiye’nin enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payının giderek arttığını ancak fosil yakıtların hâlâ önemli bir rol oynadığını göstermektedir.



Şekil 1.2: 2023-2024 Yılı elektrik üretim kaynakları

Şekil 1.2’de Türkiye’de 2023 ve 2024 yılları itibarıyla elektrik üretimi, kaynak türlerine göre çeşitlilik göstermektedir. Şekil 1.2’de gösterildiği üzere 2023 yılında toplam elektrik üretiminin %36,3’ü kömürden, %21,4’ü doğal gazdan, %19,3’ü hidroelektrik enerjiden, %10,4’ü rüzgâr enerjisinden, %5,7’si güneş enerjisinden, %3,4’ü jeotermal enerjiden ve %3,2’si diğer kaynaklardan sağlanmıştır. 2024 yılı itibarıyla ise bu dağılımda küçük

değişiklikler meydana gelmiştir: %35,2 kömür, %18,9 doğal gaz, %21,5 hidroelektrik, %10,5 rüzgâr, %7,5 güneş, %3,2 jeotermal ve %3,2 diğer kaynaklar şeklinde gerçekleşmiştir (URL-22, 2025; URL-21, 2025). Bu veriler ışığında yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artmakla birlikte fosil yakıtların hâlâ enerji üretiminde baskın bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.



Şekil 1.3: 2024 ve 2025 Yılı ocak sonu itibarıyla elektrik üretim santralleri

Şekil 1.3'te Türkiye'de elektrik enerjisi üretim santrallerinin toplam kapasitesi, 2024 yılı itibarıyla lisanssız santraller de dâhil olmak üzere 32.003'tür. Bu santrallerin kaynaklara göre dağılımı şu şekildedir: 29.929'u güneş enerjisi, 765'i hidroelektrik, 365'i rüzgâr enerjisi, 339'u doğal gaz, 69'u kömür, 63'ü jeotermal ve 473'ü ise diğer kaynaklara dayalı santrallerdir (URL-20, 2025). 2025 yılı ocak ayı sonu itibarıyla toplam santral sayısı lisanssız santraller dâhil 34.104'e ulaşmıştır ve bu santrallerin 32.027'si güneş enerjisi, 765'i hidroelektrik, 378'i rüzgâr enerjisi, 332'si doğal gaz, 70'i kömür, 66'sı jeotermal ve 466'sı ise diğer kaynaklara dayalı santrallerdir (URL-22, 2025). Bu veriler, özellikle güneş enerjisi santrallerindeki artışın dikkat çekici olduğunu göstermektedir.

Rusya Federasyonu'nun, 2006 yılbaşı gecesinde Ukrayna üzerinden Avrupa'ya doğal gazı taşıyan boru hattını kapatması, enerji kaynaklarının savaş olmaksızın uluslararası politika aracı olarak kullanabileceği gerçeğini yeniden gündeme getirmiştir. Bu gelişme, Avrupa

Birliği'nin enerji güvenliği konusunu daha fazla ön plana çıkarmasına yol açmıştır. Bu erevede, Avrupa Komisyonu, 8 Mart 2006 tarihinde yayımladığı “Sürdürülebilir, Rekabete Dayalı ve Güvenli Enerji İçin Avrupa Stratejisi” başlıklı Yeşil Kitap'ta, Rusya ile ortak bir enerji stratejisi geliştirilmesinin önemini vurgulamıştır (Sökmen, 2024). Benzer şekilde Türkiye'nin enerji üretiminde fosil yakıt bağımlılığı, küresel jeopolitik riskler ve enerji arz güvenliği açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimine bağımlı ülkeler, son yıllarda Ukrayna-Rusya savaşı, İran-İsrail savaşı, İsrail-Hamas atışmaları ve COVID-19 salgını gibi küresel krizlerin neden olduğu jeopolitik gerginliklerden önemli ölçüde etkilenmiştir. Bu durum enerji tedarikinde ve fiyatlandırılmasında belirsizliklere yol açarak enerji arz güvenliğini tehdit etmektedir (Yasmeen ve Shah, 2024). Enerji arz güvenliğinin sağlanabilmesi için dış kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması zorunlu hâle gelmiştir. Olası bir enerji kaynağı kıtlığı, tükenmesi, sekteye veya üretimde yaşanabilecek aksaklıklar, hızlı ve etkili çözümler geliştirilememesi durumunda enerji arzında ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Dolayısıyla enerji güvenliğini sağlamak için kaynak çeşitliliğinin artırılması kritik bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Ataman, 2007). Ayrıca dışa bağımlı ülkelerde yaşanan bu belirsizlikler, ekonomik istikrarsızlıklara yola açarak refah düzeyinde ciddi düşüşlere sebep olmaktadır. Bu nedenle, ülkelerin enerji konusunda dışa bağımlılıklarını azaltabilmeleri için sürdürülebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç büyük önem arz etmektedir. Enerji alanında güçlü bir yapıya sahip olan ülkeler, küresel lkte stratejik bir avantaja sahip olurken gelişmekte olan ülkeler bu bağımlılığı azaltarak ekonomik ve politik glerini artırma fırsatı yakalamaktadır.

Yenilenebilir enerji sektörü, gelişmekte olan ülkelerde dışa bağımlılığını azaltırken istihdam yaratarak ekonomik büyümeye katkı sağlamaktadır. Bu çerçevede, yerel halk için sağladığı ekonomik ve sosyal faydalar sayesinde finansal gelirlerin artmasını katkıda bulunarak refah seviyesini yükseltmektedir (Kalkan, 2024). Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal açıdan da sürdürülebilir bir çözüm olduğunu göstermektedir.

1.1. Araştırma Problemi

Küresel lkte artan enerji talebi, fosil yakıtların yoğun kullanımı sonucu ortaya çıkan çevresel sorunlar ve iklim değişikliğiyle mücadele gerekliliği, yenilenebilir enerji

kaynaklarının stratejik önemini her geçen gün artırmaktadır. Sınırlı rezervlere sahip olan fosil yakıtlar hem çevresel tahribata neden olmakta hem de enerji arz güvenliği üzerinde önemli riskler oluşturmaktadır. Bu nedenle, ülkeler ve işletmeler giderek artan oranda, daha temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelme ihtiyacı hissetmektedir.

Enerji dönüşüm süreci yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve toplumsal boyutlarıyla da ele alınması gereken çok yönlü bir yapıya sahiptir. Özellikle kurumsal düzeyde faaliyet gösteren işletmelerin; ekonomik karlılığın yanı sıra çevresel sorumluluk ve sosyal etki gibi sürdürülebilirlik kriterlerine uyum sağlamaları hem rekabet avantajı elde etmeleri hem de uzun vadede paydaş güvenini kazanmaları açısından kritik öneme sahiptir. Ancak bu çok boyutlu yapının sistematik ve nesnel biçimde ölçülmesi, değerlendirme sürecinde çeşitli yöntemsel zorlukları beraberinde getirmektedir.

Kurumsal sürdürülebilirlik performansı; ekonomik, çevresel ve sosyal boyutların bir arada değerlendirildiği karmaşık bir yapı arz etmektedir. Bu bağlamda, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, söz konusu karmaşıklığın yönetilmesinde ve karar vericilerin stratejik planlamalarını desteklemede önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Entropi ve MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) gibi yöntemler, çok sayıda kriteri dikkate alarak firmaların sürdürülebilirlik düzeylerinin ölçülmesine imkân tanımaktadır. Ancak mevcut literatürde bu iki yöntemin entegre biçimde kullanıldığı çalışma sayısının sınırlı olduğu görülmektedir.

Fosil kaynakların tükenebilirliği ve neden olduğu çevresel zararlar göz önünde bulundurulduğunda firmaların yenilenebilir enerjiye geçiş süreçlerini destekleyecek karar mekanizmalarının belirlenmesi hem teorik hem de uygulamalı anlamda önemli bir araştırma problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çerçevede, kurumsal sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi enerji sektöründe uzun vadeli stratejilerin oluşturulmasına katkı sunmakta; aynı zamanda firmaların çevresel ve toplumsal etkilerini analiz ederek iyileştirme alanlarının tespit edilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu bağlamda Türkiye’de faaliyet gösteren ve Borsa İstanbul’da işlem gören Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş.’nin 2019-2023 dönemine ait sürdürülebilirlik performansının Entropi ve MARCOS yöntemleri ile analiz edilmesi hedeflenmektedir. Böylelikle söz konusu yöntemlerin bütünsel kullanımıyla hem akademik literatüre yöntemsel bir katkı

sağlanacak hem de sektörel düzeyde sürdürülebilirlik odaklı değerlendirme pratiğine özgün bir yaklaşım sunulacaktır. Çalışmanın çıktılarının, işletmelerin sürdürülebilirlik politikalarının geliştirilmesine ve uzun vadeli stratejik planlama kapasitelerinin güçlendirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Enerji üretiminde sürdürülebilir kaynakların tercih edilmesi, günümüzün en önemli çevresel ve ekonomik gerekliliklerinden biri hâline gelmiştir. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji yatırımlarının teşvik edilmesi ve bu yatırımları gerçekleştiren firmaların sürdürülebilirlik düzeylerinin izlenmesi hem kamu politikalarının etkinliğini hem de kurumsal performansın şeffaflığını artırmaktadır.

Bu araştırmanın önemi şu başlıklarda özetlenebilir:

- **Akademik katkı:** Entropi ve MARCOS yöntemlerinin birlikte uygulanması, sürdürülebilirlik değerlendirme literatürüne yenilikçi ve bütüncül bir metodolojik yaklaşım sunmaktadır. Bu sayede hem yöntemlerin etkinliği sınanmakta hem de yenilenebilir enerji sektörüne ilişkin ampirik bir değerlendirme yapılmaktadır.
- **Uygulayıcı katkı:** Yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalar açısından, kurumsal sürdürülebilirlik performansının nesnel ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, stratejik planlama süreçlerinde karar vericilere yön gösterecektir.
- **Politika yapıcı katkı:** Elde edilen bulgular, sürdürülebilir enerjiye geçiş sürecinde politika yapıcıların ve düzenleyici kurumların ihtiyaç duyduğu veriye dayalı içgörülerini sağlayarak enerji politikalarının geliştirilmesine katkı sunabilir.
- **Çevresel ve Toplumsal Katkı:** Fosil yakıtların çevresel etkileri göz önüne alındığında yenilenebilir enerjiye geçiş hem çevre koruma hem de gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakma açısından kritik bir önem taşımaktadır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ SEKTÖRÜ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

İlkel yaşam koşullarının egemen olduğu dönemlerde, yelkenli gemilerde, su ısıtma sistemlerinde ve değirmenlerde geleneksel yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmıştır. Ancak medeniyetin gelişmesiyle birlikte sanayileşmenin hız kazanması ve buharlı makinelerin yaygınlaşması sonucunda, Avrupa ve Amerika’da bu geleneksel enerji kaynakların kullanımı azalmış, buna karşılık fosil yakıtların kullanımında hızlı bir artış yaşanmıştır. 1970’li yıllara kadar yaygın biçimde kullanılan fosil yakıtlar, 1973 yılında yaşanan petrol kriziyle birlikte ciddi bir güven kaybına uğramıştır. Bu kriz, enerji politikalarında önemli bir kırılma noktası oluşturmuş ve fosil yakıtlara alternatif olabilecek yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına yönelik çalışmaları beraberinde getirmiştir. Sanayi ve teknolojiye yaşanan gelişmelere paralel olarak enerji talebi ve enerji maliyetlerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik ilginin artmasına ve bu alandaki teknolojik gelişmelerin ivedi bir şekilde hızlanmasına neden olmuştur (Karaaslan ve Gezen, 2017). Buna ek olarak iklim değişikliği üzerine yapılan akademik çalışmalar, fosil yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan sera gazı ve karbondioksit (CO₂) emisyonlarının, ekolojik bozulmanın temel unsurları arasında yer aldığını ortaya koymaktadır. Bu çevresel olumsuzluklar yalnızca enerji üretim süreçlerini sektöre uğratmakla kalmamakta; aynı zamanda tarımsal üretkenliği azaltmakta, iş gücü verimliliğini düşürmekte, bölgesel çatışmaları tetiklemekte, deniz ekosistemlerine zarar vermekte ve ekonomik altyapının zayıflamasına neden olmaktadır. Bu çerçevede, çevresel tahribatın azaltılması; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması ve bu alandaki yatırımların teşvik edilmesine yönelik kapsamlı, sürdürülebilir enerji ve çevre politikalarının hayata geçirilmesiyle mümkün olabilecektir (Bashir vd., 2025).

Enerji, günümüzde hem ekonomik hem de stratejik açıdan küresel ölçekte kritik bir öneme sahiptir. Mevcut enerji sisteminde fosil yakıtlar, toplam enerji arzının yaklaşık %80’ini karşılamakta olup bu oran son yirmi yıl içerisinde yalnızca %4’lük bir değişim göstermiştir (Şanlı,2025). Ancak fosil yakıt kaynaklarının sınırlı rezervlere sahip olması, çevresel sorunlara yol açması ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji arz güvenliği açısından dışa bağımlılığı artırması önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgisi ve bu alandaki yatırımları giderek artmaktadır (Yakıcı Ayan ve Pabuçcu, 2013).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı; dışa bağımlılığın azaltılması, döviz tasarrufunun sağlanması, cari açığın düşürülmesi ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Bir ülkenin gelecekteki jeopolitik konumunun şekillenmesinde ve uluslararası arenadaki rolünün belirlenmesinde ise sahip olduğu enerji rezervlerinin yanı sıra enerji geçiş yolları üzerindeki jeostratejik konumu belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Acaroğlu, 2013).

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kilit bir rol oynayan yenilenebilir enerji projelerinin uygulamasında karşılaşılan başlıca sorunlardan biri, finansman süreçlerinin karmaşıklığı ve zorluklarıdır. Bu tür yatırımlar, yüksek düzeyde sermaye gereksinimi doğurmakta ve finansman kaynaklara erişimde çeşitli sınırlamalarla karşılaşmaktadır. Özellikle, finansman ihtiyacı yüksek olan ve bu kaynakları etkin biçimde kullanabilecek aktörlerin fonlara ulaşamaması, sürecin yavaşlamasına ve kaynak tahsisinde riskten kaçınma eğiliminin artmasına yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji üretim tesislerinde beklenen verimliliğin doğru biçimde belirlenememesi, düşük karlılık beklentileri veya operasyonel verimsizlik gibi faktörler, projelerin gelecekteki nakit akışlarını belirsiz hâle getirmekte; bu da hem girişimcilerin hem de finansal kuruluşların yatırım iştahını azaltmaktadır. Nitekim ilgili literatürde de yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olan güneş enerjisi yatırımlarının önündeki temel en engellerden birinin, yeterli ve çeşitli finansman alternatiflerinin bulunmaması olduğu ifade edilmektedir (Aksu, 2025).

Gelişmiş ülkeler, sahip oldukları kurumsal altyapı, sermaye birikimi ve gelişmiş finansal piyasa sistemleri sayesinde yenilenebilir enerji yatırımlarının finansmanında gelişmekte olan ülkelere kıyasla daha az sorunla karşılaşmaktadır. Buna karşılık, gelişmekte olan ülkeler, bu dönüşüm sürecinde çeşitli yapısal engellerle karşı karşıya kalmaktadır. Sürdürülebilir enerji kalkınmasını destekleyecek düzeyde finansman kaynaklarının sınırlı olması, işletmelerin bu kaynaklara erişiminde yaşanan hukuki, bürokratik ve çevresel engeller ile birleşerek yenilenebilir enerjiye geçişi zorlaştırmaktadır. Ayrıca söz konusu ülkelere sürdürülebilir uygulamalara yönlendiren teşvik mekanizmalarının yetersizliği ve enerji dönüşümüne yönelik toplumsal farkındalığın düşük olması, geçiş sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir enerjiye geçişin yalnızca bir maliyet unsuru olarak görülmesi yerine, uzun vadede ekonomik büyüme, çevresel koruma ve sosyal refah açısından önemli

fırsatlar sunduğunun vurgulamak büyük önem taşımaktadır. Bu dönüşümün, istihdam artışına katkı sağlaması ve ülke refahının artmasına önemli ölçüde katkı sağlayacağı yadsınamaz bir gerçektir. Devletler, sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulmasında ve uygulamasında öncü bir rol üstlenmektedir. Bu kapsamda; çevre dostu yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi, işletmelere yönelik teşvik sistemlerinin güçlendirilmesi, altyapı yatırımlarının desteklenmesi ve uluslararası iş birliklerinin artırılması temel politika öncelikleri arasında yer almalıdır. Ancak sürdürülebilir enerji dönüşümünün yalnızca kamu kaynaklarıyla finanse edilmesi yeterli değildir. Bu nedenle, özel sektörün sürece aktif şekilde katılımını sağlayacak mekanizmaların geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özel sektör, sürdürülebilir ürün ve hizmetlere yönelik tüketici talebini yönlendirme kapasitesi sayesinde piyasa dönüşümünü hızlandırma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda, gerçekleştirdikleri yatırımlarla hem istihdam yaratmakta hem de ekonomik kalkınmayı destekleyerek enerji politikalarının şekillendirilmesinde etkin bir paydaş rolü üstlenmektedir (Sardor ve Ulmas, 2024).

Yenilenebilir enerji sistemlerinin, fosil yakıtlara kıyasla daha yüksek başlangıç maliyetleri gerektirmesi, geçmişte temiz enerji teknolojilerinin geniş ölçekte benimsenmesini zorlaştıran temel unsurlardan biri olmuştur. Ancak iklim değişikliğinin giderek daha ciddi bir küresel tehdit hâline gelmesi ve enerji güvenliğine duyulan ihtiyacın artması, yenilenebilir enerji yatırımlarını ve bu alandaki teknolojik yenilikleri önemli ölçüde teşvik etmektedir (Kırhasanoğlu ve Özdemir, 2024).

İklim değişikliğiyle mücadele, enerji güvenliğinin sağlanması ve sürdürülebilir kalkınmanın teşviki açısından, yenilenebilir enerjiye geçiş günümüzde kritik bir strateji olarak ön plana çıkmıştır (Al-Shetwi vd., 2024). Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen yasal düzenlemelerin oluşturulması ve çevre dostu yatırımları teşvik eden politikaların geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir (Sardor ve Ulmas, 2024).

Yenilenebilir enerji teknolojileri küresel ölçekte istikrarlı bir büyüme ve gelişim göstermekte olup her ne kadar bu teknolojilerin küresel enerji tüketimindeki payı hâlâ nispeten düşük olsa da artan enerji talebi ve enerji arz güvenliği ihtiyacı, bu kaynakların stratejik önemini giderek artırmaktadır. Özellikle fosil yakıtların çevresel zararları ve sınırlı rezervleri göz önünde bulundurulduğunda, yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar ve buna bağlı teknolojik gelişmeler, enerji sektörünün geleceği açısından vazgeçilmez bir rol

oynamaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerji sektörü, özel sektör yatırımcılarının dikkatini çekmekte ve önemli bir yatırım alanı olarak öne çıkmaktadır. Enerji talebindeki sürekli artış ve çevresel sürdürülebilirlik bilincinin gelişmesi, yenilenebilir enerji projelerine olan talebi artırmakta; bu da özel sektörün bu alana yönelik yatırımlarını hızlandırmaktadır. Özel sektörün artan katılımı, araştırma-geliştirme (AR-GE) faaliyetleri ile proje geliştirme süreçlerinin daha etkin yürütülmesini sağlamakta, aynı zamanda enerji ekipmanlarının üretim ve kullanım oranlarını artırarak teknolojik ilerlemeye katkı sunmaktadır. Bu bağlamda, verimli ekipman kullanımının yaygınlaşması, enerji üretim süreçlerindeki verimliliği artırmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlarla rekabet edebilir hâle gelmesine katkı sağlamaktadır. Teknolojik gelişmeler ve ekipman verimliliğindeki artış, üretim kapasitesinin yükselmesine ve yenilenebilir enerji maliyetlerinin düşmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca yapılan yatırımların geri dönüş süresinin kısalması, yatırımcılar için açısından daha cazip koşullar oluşturmakta ve sektörün büyümesini teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerji sektöründeki bu gelişmeler; çevre kirliliğinin azaltılmasına, toplumsal farkındalığın artmasına ve ekonomik büyümenin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle üretim kapasitesindeki artış, ülkelerin Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) büyümesine pozitif yönde katkıda bulunmakta, ihracat hacmini artırmakta ve küresel pazarda rekabet gücünü yükseltmektedir. Bu durum, hükümetlerin yenilenebilir enerji sektörüne yönelik teşvik mekanizmalarını güçlendirmesine ve finansal destekleri artırmasına neden olmaktadır. Vergi muafiyetleri, tarife indirimleri gibi düzenlemeler; nihai enerji fiyatlarının düşmesine, tüketici talebini artmasına ve sektörün büyüme hızının ivmelenmesine katkı sağlamaktadır. Tüm bu gelişmeler, yenilenebilir enerji sektörünün sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda stratejik bir yapı taşı konumuna taşınmaktadır (Hashemizadeh vd., 2024).

Günümüzde küresel ölçekte hükümetler, enerji kaynaklı çevresel sorunların, özellikle de karbondioksit (CO₂) emisyonlarının azaltılmasında kilit bir rol oynayan yenilenebilir enerji teknolojilerine büyük önem atfetmektedir. Özellikle Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) üyesi ülkeler, bu alanda iddialı hedefler ve stratejiler belirlemiş olup bu durum Avrupa Birliği (AB) tarafından yayımlanan Yenilenebilir Enerji Direktifi ve çeşitli üye devletlerin ulusal politikaları doğrultusunda yatırımlarını hızla artırmışlardır. Benzer şekilde Amerika Birleşik Devletleri'nde yenilenebilir enerjiye yönelik önemli adımlar atılmaktadır. Ayrıca Çin, Hindistan, Brezilya gibi gelişmekte olan ülkeler de bu alandaki dönüşümü desteklemek amacıyla çeşitli politika ve teşvik destekleri

sunmaktadır (Gross vd., 2003).

Dünya genelinde yenilenebilir enerjiye yönelik bu dönüşüm süreci hızla ilerlese de Türkiye'nin enerji arzı hâlen büyük ölçüde fosil yakıt ithalatına dayanmaktadır. Türkiye, fosil yakıt ihtiyacını ağırlıklı olarak Rusya ve İran'dan ithal ettiği doğal gaz yoluyla karşılamaktadır. Bu durum, söz konusu ülkelere olan bağımlılığı artırmakta ve olası siyasi veya ekonomik krizlerde Türkiye'nin enerji arz güvenliğini tehdit etmektedir. Nitekim geçmişte yaşanan bazı krizlerde, bu ülkelerden yapılan doğal gaz sevkiyatının kesmesi ya da kısıtlanması, Türkiye'de doğal gaza dayalı sektörlerde ciddi sorunlara yol açmış olup dışa bağımlılığın yarattığı riskleri gözler önüne sermiştir. Bu bağlamda, Türkiye'nin enerji politikalarında kaynak çeşitliliğini artırmaya yönelik stratejiler geliştirmesi (Ataman, 2007), yerli ve millî imkânlarla (Ayyıldız ve Öztel, 2024), enerji üretimini teşvik eden mekanizmaları güçlendirmesi büyük önem arz etmektedir (Ataman, 2007).

Türkiye'nin enerji arz güvenliğini artırmak ve kaynak çeşitliliğini sağlamak amacıyla alternatif tedarik yöntemlerine yönelmesi stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, Türkmenistan'dan temin edilecek doğal gazın İran üzerinden “swap” yöntemiyle Türkiye'ye ulaştırılması, enerji tedarik zincirinde yeni bir dönemin başlangıcı olarak öne çıkmaktadır. 1998 yılında anlaşması yapılan ancak uzun yıllar boyunca hayata geçirilemeyen Türkmen gazı anlaşması kapsamında doğal gazın Türkiye'ye ulaşmaya başlamış olup bu sürecin 2025 yılı sonuna kadar 1,3 milyar metreküplük bir sevkiyat ile tamamlanması öngörülmektedir. Bu miktarın yaklaşık 1,5 milyon hanenin doğal gaz ihtiyacını karşılaması beklenmektedir. Ayrıca Türkmenistan ile yapılan bu anlaşmanın beş yıl daha uzatılması planlanmaktadır. Türkmen gazının Türkiye'ye ulaşması, ülkenin enerji arz güvenliğini güçlendiren stratejik bir adım olup Devletabad-Serahs-Hangeran Doğalgaz Boru Hattı üzerinden İran'a taşınan doğal gazın, İran-Türkiye doğalgaz bağlantı noktası olan Gürbulak'tan teslim alınarak Türkiye'ye ulaştırılması sayesinde yeni bir tedarik rotası oluşturarak enerji arz esnekliğini artırmaktadır. Bu gelişme, Türkiye'nin fosil yakıt tedarikinde mevcut bağımlılık risklerini azaltarak enerji politikalarında kaynak çeşitliliğini sağlamasına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, Türkmen gazının Türkiye'ye ulaşması, doğal gaz ithalatında alternatif rotalar oluşturulmasına olanak sağlayarak fiyat rekabetinin artmasına ve uzun vadede maliyetlerin optimize edilmesine imkân tanımaktadır. Türkiye'nin doğal gaz ticaret merkezi olma hedefi doğrultusunda değerlendirildiğinde bu gelişme yalnızca enerji arz güvenliğini artırmakla

kalmamakta, aynı zamanda Türkiye'nin enerji piyasalarındaki jeopolitik konumunu da güçlendirmektedir. Özellikle batıya yönelik doğal gaz ihracatında alternatif güzergâh oluşturma potansiyeli, Türkiye'nin enerji transit ülkesi rolünü pekiştiren önemli bir unsurdur. Dolayısıyla, Türkmen gazının Türkiye'ye ulaşması hem kısa vadeli enerji arz güvenliğine katkı sağlamakta hem de ülkenin uzun vadeli enerji stratejileriyle uyumlu bir çerçeve sunmaktadır (URL-37, 2025). Öte yandan Azerbaycan ve Türkiye, Nahçıvan Özerk Cumhuriyeti'nin doğal gaz arz güvenliğini sağlamak amacıyla 2020 yılında bir iyi niyet anlaşması imzalamıştır. Bu kapsamda, Doğu Anadolu Gaz Ana İletim Hattı üzerinden çıkış alan Iğdır Doğal Gaz Boru Hattı'nın devamı niteliğinde olan ve Nahçıvan'a uzanan 85 kilometrelik boru hattının temeli 25 Eylül 2023 tarihinde atılmıştır. Yıllık 500 milyon metreküp doğal gaz taşıma kapasitesine sahip olan bu hattın ilk gaz akışı törenle gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, Bakü-Tiflis-Ceyhan, Bakü-Tiflis-Erzurum ve Trans Anadolu Doğal Gaz Boru Hattı (TANAP) projeleriyle Türkiye, Azerbaycan ile iş birliği içerisinde küresel enerji arz güvenliğinde stratejik bir rol üstlenmektedir (URL-36, 2025).

Türkiye Cumhuriyeti, enerji güvenliğini sağlamak ve enerji arzında dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji sektöründe özel sermayeyi teşvik etmekte ve bu doğrultuda çeşitli destek mekanizmaları uygulamaktadır. Bu kapsamda, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM), Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) Güneş Enerjisi Santrali (GES) destekleri, Tarım ve Orman Bakanlığı GES teşvikleri, Türkiye Kalkınma ve Yatırım Bankası kredileri, Rüzgâr Türbini Teşvik Programları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı destekleri, Avrupa Birliği fonları, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı teşvikleri, Biyoenerji Tesisleri için Teşvik Programları, Tarım ve Orman Bakanlığı biyogaz destekleri ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı teşvikleri bulunmaktadır (URL-4, 2025). Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerde kullanılan ve tamamlayıcı bileşenleriyle birlikte yurt içinde üretilen ekipmanların desteklenmesine yönelik (Yerli Aksam) teşvikleri sağlanmakta olup Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) yarışmaları da bu teşvik mekanizmaları kapsamında önemli bir yer tutmaktadır (Albayrak, 2025). Bu teşviklerin en önemlilerinden biri olan YEKDEM, yenilenebilir enerji yatırımlarını cazip hâle getirerek sektörün gelişimine önemli katkılar sağlamaktadır (URL-4, 2025). Ancak ekonomik teşviklerin yanı sıra sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması için politika ve mevzuat düzenlemeleri de büyük önem arz etmektedir.

Bu doğrultuda, Türkiye Cumhuriyeti, enerji alanındaki küresel teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek yenilenebilir enerjiye yönelik politikalar geliştirmekte ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda çeşitli yasal düzenlemeleri hayata geçirmektedir. Enerji arz güvenliğini sağlamak, çevresel sürdürülebilirliği desteklemek ve yeşil ekonomiye geçişi hızlandırmak amacıyla yürütülen çalışmalar kapsamında, iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik önemli adımlar atılmaktadır. Özellikle karbon emisyonlarının azaltılmasını ve çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmeyi amaçlayan Türkiye'nin ilk "İklim Kanunu" bu doğrultuda yürürlüğe girmiştir. Söz konusu yasa, hem mevcut enerji politikalarının çevresel etkilerini en aza indirmeyi hem de gelecek nesillere daha temiz ve yaşanabilir bir çevre bırakmayı da hedeflemektedir (Ekiz, 2019).

1990'lı yıllarda çevre bilincinin artmasıyla birlikte, fosil yakıtların neden olduğu dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve sınırlı rezervler gibi sorunlara ek olarak çevresel etkileri de daha fazla tartışılmaya başlanmıştır. Bu süreç, fosil yakıtların ekolojik ve çevresel açıdan temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmadığını ortaya koymuştur (Ataman, 2007).

Fosil yakıtların kullanımı, ekosistem üzerinde yüksek çevresel tahribata yol açtığından, sürdürülebilir kalkınma açısından değerlendirildiğinde enerji kullanımı ile çevresel etkiler arasında güçlü ve ayrılmaz bir ilişki bulunmaktadır. Sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için çevresel tahribatın minimum seviyelere indirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanılması gerekmektedir (Seydiogullari, 2013). Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları doğal süreçler aracılığıyla sürekli olarak kendini yenilediğinden gelecek nesillerin enerji gereksinimlerinin karşılanmasına ve enerji kaynaklarının korunmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (URL-13, 2025).

2.1. Sürdürülebilirlik

Sanayi Devrimi ile birlikte 18. ve 19. yüzyıllarda hız kazanan endüstriyel üretim, doğal kaynakların kontrolsüz, plansız ve aşırı biçimde tüketilmesine neden olmuş; bu durum ekosistem dengesinin bozulmasına, çevresel sorunların artmasına ve yaşam alanlarının zarar görmesine yol açmıştır. Bu gelişmeler, kaynakların yalnızca ekonomik kazanç perspektifiyle değil, uzun vadeli çevresel sürdürülebilirlik anlayışıyla değerlendirilmesi gerekliliğini gündeme getirmiştir. Sürdürülebilirlik kavramının yazılı kaynaklarda ilk sistematik

kullanımı, 18. yüzyılın başlarında muhasebeci ve maden yöneticisi olan, Hans Carl von Carlowitz'in Sylvicultura Oeconomica adlı eserinde görülmektedir (URL-16, 2021). Carlowitz, özellikle madencilik sektöründe yoğun olarak kullanılan odun kaynaklarının tükenmesini önlemek amacıyla ormanların uzun vadeli ve dengeli biçimde yönetilmesi gerektiğini savunmuş ve bu doğrultuda “sürdürülebilirlik” kavramını kullanmıştır. Bu yaklaşım, doğal kaynakların yalnızca günümüz için değil, gelecek kuşakların ihtiyaçları da gözetilerek planlanması gerektiği fikrini ortaya koymuştur. Benzer biçimde, 20. yüzyılın ortalarında H. S. Gordon, M. D. Schaefer ve A. D. Scott gibi araştırmacılar özellikle balıkçılık sektörüne ilişkin çalışmalarında sürdürülebilir kaynak yönetimi kavramını ön plana çıkarmışlardır. Bu araştırmalarda, doğal stokların tükenmesini önlemek için kaynakların en verimli düzeyde dahi olsa planlı ve dengeli bir şekilde kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Böylece sürdürülebilirlik ilkesi yalnızca çevresel koruma kapsamında değil, aynı zamanda ekonomik faaliyetlerin devamlılığı açısından da temel bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir (Yıldız, 2022).

Sürdürülebilirlik kavramı, Türkçeye İngilizcedeki “sustainable development” teriminin karşılığı olarak çevrilmiş olup farklı kaynaklarda çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır. Kent bilim Terimleri Sözlüğü'nde bu kavram, doğal kaynakların ve çevresel değerlerin savurganca tüketilmesine yol açmadan, akılcı yöntemlerle kullanılması ve bu süreçte hem bugünkü hem de kuşakların haklarının gözetilmesi temelinde ekonomik gelişmenin sağlanmasını amaçlayan çevreci bir yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Uluslararası literatürde ise Macmillan Dictionary of the Environment gibi kaynaklarda sürdürülebilirlik, yenilenebilir kaynakların tüketimine dayalı, çevresel sınırları aşmayan ve çevreye minimum zarar veren bir ekonomik kalkınma biçimi olarak ele alınmaktadır (Bozdoğan, 2005).

Sürdürülebilirlik kavramı, zaman içerisinde yalnızca çevresel kaygılarla sınırlı bir anlayış olmaktan çıkarak, ekonomik ve toplumsal boyutları da kapsayan çok yönlü bir kalkınma yaklaşımına dönüşmüştür. Günümüzde bu kavram, kısa vadeli çıkarların ötesinde, uzun vadeli refah ve kuşaklar arası adalet ilkeleri doğrultusunda değerlendirilmektedir. Sürdürülebilirliğin uluslararası düzeyde yaygınlık kazanması ise 1987 yılında Birleşmiş Milletler tarafından yayımlanan “Ortak Geleceğimiz” başlıklı Brundland Raporu ile mümkün olmuştur. Raporda sürdürülebilir kalkınma, “bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeksizin karşılamak” olarak tanımlanmış ve bu tanım, sürdürülebilirlik tartışmalarında evrensel bir referans hâline

gelmiştir (Durak vd., 2024; Teneke Oduncu, 2025).

Sürdürülebilirlik kavramı, günümüzde yalnızca çevresel bir hassasiyeti ifade etmekten öte; üretimden ulaşım, enerjiden moda, turizmden tüketim, kentleşmeden sanata kadar çok çeşitli alanlarda stratejik bir yaklaşım biçimi olarak benimsenmektedir. Bu çok boyutlu yapı, sürdürülebilirliğin yalnızca belirli sektörlerle sınırlı kalmadığını; aksine, ekonomik, sosyal ve çevresel süreçlerin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini zorunlu kıldığını göstermektedir. Özellikle enerji sektörü hem doğal kaynak kullanımı hem de sera gazı emisyonları bakımından sürdürülebilirliğin çevresel boyutunda kritik bir rol oynamaktadır. Enerji sektöründe uygulanabilirliği, yalnızca teknik ve ekonomik bir mesele değil aynı zamanda sosyal sorumluluk ve gelecek kuşaklara karşı etik bir yükümlülük olarak da değerlendirilmelidir. Günümüzde gerek özel sektör gerekse kamu otoriteleri, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda enerji verimliliğini artıran, yenilenebilir kaynak kullanımını teşvik eden ve karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik politikalar geliştirmektedir. Bu çerçevede Türkiye, uluslararası sürdürülebilirlik politikalarına uyum sağlama yönünde önemli adımlar atmıştır. Türkiye Büyük Millet Meclisi Avrupa Birliği Uyum Komisyonu, 11 Aralık 1997 tarihinde Japonya'nın Kyoto kentinde imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne bağlı Kyoto Protokolü'ne Türkiye'nin katılımını öngören yasa tasarısını 27 Haziran 2008 tarihinde kabul etmiştir. Protokol çerçevesinde taraf devletler karbondioksit başta olmak üzere beş sera gazı emisyonunu azaltmayı veya bu hedefe ulaşamadıkları durumlarda emisyon ticareti yoluyla yükümlülüklerini dengelemeyi taahhüt etmişlerdir. Türkiye Büyük Millet Meclisinin Genel Kurulu ise Şubat 2009'da aldığı kararla Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne katılımını onaylamış ve 2012 sonrası dönemde karbon temelli küresel ekonomiye uyum sağlamak amacıyla hazırlık sürecini başlatmıştır. Protokolün benimsenmesiyle birlikte sürdürülebilir büyüme hedefi doğrultusunda geliştirilen stratejiler, uygulanan politikalar ve yürütülen faaliyetler sürdürülebilirlik kavramının doğru anlaşılması ve etkinliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır (Durak vd., 2024). Ayrıca bazı ülkelerin enerji politikaları, fosil yakıtlara dayalı üretim süreçlerinin hâlâ stratejik öncelik olarak benimsendiğini göstermektedir. Bu durum, küresel ölçekte benimsenen çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle ciddi bir çelişki oluşturmakta ve iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik çabaların etkinliğini sorgulatmaktadır. Nitekim 9 Nisan 2025 tarihinde, ABD Başkanı Donald Trump tarafından imzalanan başkanlık kararnamesiyle kömür üretimini teşvik eden ve sektöre yönelik çevresel düzenlemeleri gevşeten yeni bir politika

yaklaşımı kamuoyuyla paylaşılmıştır. Trump, Paris İklim Anlaşması'nı “yeşil yeni aldatmaca” olarak tanımlamış, temiz kömür endüstrisinin yeniden canlandırılacağını ve kömür madenciliği için izin süreçlerinin kolaylaştırılacağını ifade etmiştir. Aynı zamanda, iklim değişikliği yerine nükleer ısı tehdidinde odaklanılması gerektiğini savunarak, bu tür yaklaşımların kısa vadeli ekonomik çıkarları öne çıkarırken uzun vadeli çevresel hedeflerle çeliştiğini göstermiştir. Bu durum, yüksek sera gazı emisyonuna neden olan ülkelerin, karbon azaltımında öncü politika adımları atmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır (Gökkoyun, 2025).

Artan nüfus baskısı, doğal kaynakların tükenmesi, çevresel bozulmanın derinleşmesi ve ekosistem dengesinin bozulması gibi küresel tehditler, işletmeleri ve politika yapıcılarını sürdürülebilirliğe dayalı yeni arayışlara yönlendirmiştir (Durak vd., 2024).

2.2. Kurumsal Sürdürülebilirlik

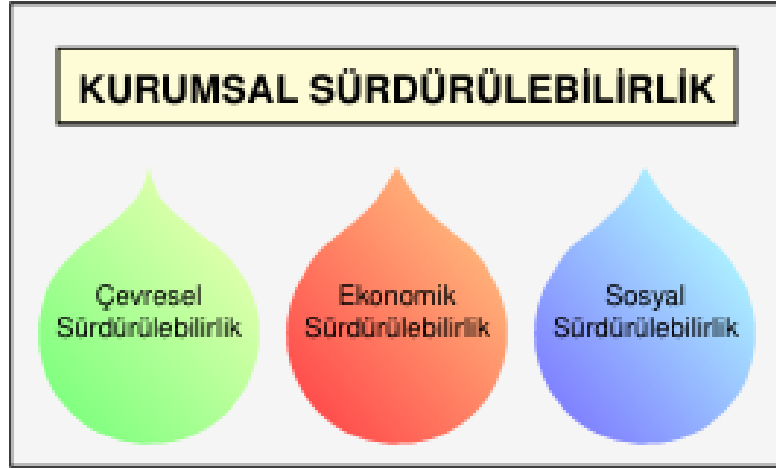
Sürdürülebilirlik kavramı, en genel anlamıyla herhangi bir olgunun veya durumun uzun vadeli olarak devam ettirilebilmesini ifade etmektedir. Günümüzde bu kavram, insanlığın doğanın kendini yenileme kapasitesini aşmadan kaynakları kullanması gerektiği yönünde bir anlayış yansıtmaktadır. Bu anlayış, işletme düzeyinde ise kurumsal sürdürülebilirlik olarak tanımlanmakta ve firmaların yalnızca ekonomik başarıyı değil, çevresel ve toplumsal sorumlulukları da dikkate almasını zorunlu kılmaktadır (Rençber, 2024).

Günümüzde sürdürülebilirlik yaklaşımı, işletmelerin yalnızca ekonomik performanslarını değil, aynı zamanda çevresel ve toplumsal sorumluluklarını da kapsayan bütüncül bir değer olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, kurumsal sürdürülebilirlik, firmaların uzun vadeli karlılık ve büyüme hedeflerini, çevrenin korunması, sosyal adaletin sağlanması ve ekonomik kalkınmanın desteklenmesi gibi toplumsal hedeflerle uyumlu şekilde gerçekleştirmelerini öngören stratejik bir yaklaşımdır (Durak vd., 2024).

1990'lı yılların ortalarından itibaren bu çok boyutlu yaklaşımın ölçülmesine yönelik ihtiyaçların artmasıyla birlikte, SustainAbility adlı İngiltere merkezli danışmanlık firmasının kurucusu John Elkington, özellikle ABD'deki işletmelerin çevresel, sosyal ve ekonomik performanslarını değerlendirmeye yönelik yeni bir çerçeve geliştirmiştir (Yıldız, 2022). Bu doğrultuda, Elkington (1997) tarafından geliştirilen “Üçlü Sorumluluk” (Triple Bottom

Line- TBL) yaklaşımı, kurumsal performansın sadece ekonomik göstergelerle değil, aynı zamanda sosyal ve çevresel boyutlarla da birlikte değerlendirilmesi gerektiğini savunur. Elkington’a göre, bir işletmenin faaliyetleri içinde bulunduğu toplumdan ve doğal çevreden bağımsız düşünülemez; dolayısıyla sürdürülebilir başarı, ekonomik karlılığın yanı sıra sosyal sorumluluk ve çevresel duyarlılığın birlikte gözetilmesiyle mümkündür (Avcu ve Bal, 2024).

Kurumsal sürdürülebilirlik, işletmelerin yalnızca ekonomik çıkarlarını değil; aynı zamanda faaliyetlerinin çevresel ve toplumsal etkilerini de dikkate alan stratejik bir yönetim anlayışını ifade etmektedir. Bu anlayış, işletmelerin karar alma ve uygulama süreçlerinde çevreye zarar vermeyen, toplumsal fayda üreten ve ekonomik değer yaratan dengeli bir yapı kurmalarını zorunlu kılmaktadır. Gelecek kuşakların refahını da gözetken bu yaklaşım, sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarının bütünlük bir şekilde işletme stratejilerine entegre edilmesini gerekli kılar. Günümüzde kurumsal sürdürülebilirlik vizyonu, bu üç boyutun eş zamanlı ve uyumlu biçimde yönetilmesine dayalı bütüncül bir çerçeve sunmaktadır. Dolayısıyla işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmeleri, söz konusu üçlü yapıyı hem stratejik hem de operasyonel düzeyde bütünlüklermelerine bağlıdır (Tutkavul, 2020).



Şekil 2.1: Kurumsal sürdürülebilirliği oluşturan temel boyutlar (Ayyıldız ve Öztel, 2024)

Kurumsal sürdürülebilirlik; işletmelerin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarını, kurumsal yönetim ilkeleriyle uyumlu içinde yönetim süreçlerine entegre ederek sürdürülebilir bir değer yaratmalarını amaçlayan kapsamlı bir yaklaşımdır. Bu çerçevede, şirketlerin yalnızca

karlılığı değil; aynı zamanda paydaşlarına ve doğal çevreye karşı olan sorumluluklarını da gözetmeleri söz konusu alanlarda oluşabilecek riskleri öngörerek stratejik biçimde yönetmeleri temel bir gereklilik hâline gelmiştir (Özevin, 2022). Bu yaklaşım, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesinin yanı sıra, topluma ve çevreye karşı sorumluluk bilinciyle hareket etmelerini de zorunlu kılmaktadır.

2.2.1. Ekonomik Sürdürülebilirlik

Yüzyıllar boyunca ülkelerin temel politika eksenini ekonomik büyüme üzerine inşa edilmiştir. Bu doğrultuda, refah düzeyinin artırılması ve tüketiminden elde edilen faydanın en üst seviyeye çıkarılması amaçlanmıştır. Ancak günümüzde sürdürülebilir ekonomi anlayışı, yalnızca ekonomik kazancı değil, aynı zamanda doğal kaynakların aşırı tüketilmeden insan ihtiyaçlarını karşılamayı hedefleyen dengeli ve uzun vadeli bir sistem olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel yaklaşım ise çevresel unsurları, ekonomik büyümenin bir aracı olarak görmüş; özellikle sanayileşmenin hız kazandığı dönemlerde kaynakların sınırsız biçimde kullanılması çevre ile ekonomi arasında önemli bir çatışmaya yol açmıştır. Bu bakış açısında, yalnızca ekonomik kalkınmaya odaklanmak, çevresel ve toplumsal etkilerin göz ardı edilmesine neden olmuştur (Heybet ve Duran, 2023).

Ekonomik sürdürülebilirlik, bir işletmenin ya da yatırım girişiminin yalnızca başlangıç maliyetlerini karşılamasıyla sınırlı kalmayıp uzun vadede istikrarlı ve sürekli bir gelir akışı sağlayabilme kapasitesini ifade etmektedir. Herhangi bir projeye, yatırıma veya Ar-Ge faaliyetine başlanmadan önce finansal kaynakların (örneğin öz kaynak, banka kredisi, dış borç vb.) temin edilmesi, nitelikli iş gücünün istihdamı, gerekli ekipmanların ve yazılımların temini ile teknik ve idari eğitimlerin planlanması gibi adımlar ekonomik sürecin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Tüm bu unsurlar, işletmenin borç yükünü ve gider kalemlerini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle, ilgili faaliyetin fizibilite analizlerinin düzenli, gerçekçi ve sürdürülebilirlik odaklı yapılması, girişimin zamanla karlılığa dönüşmesini mümkün kılmaktadır. Finansal sürdürülebilirliğin sağlanması, işletmelerin dış finansman bağımlılığını azaltırken ekonomik dalgalanma, durgunluk veya kriz dönemlerinde mali disiplinlerini koruyarak ayakta kalabilmelerini destekler. Bu durum, özellikle küresel krizlerin etkili olduğu dönemlerde daha net biçimde gözlemlenmiştir. Örneğin COVID-19 pandemisi sürecinde, ekonomik temelleri sağlam ve mali açıdan disiplinli ülkeler, yaşanan şoklara karşı daha dirençli reaksiyon sergilemişlerdir. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde

ise devletin vatandaşlara yönelik sunduğu mali destek mekanizmaları sayesinde krizden kaynaklanan olumsuzluklar daha sınırlı düzeyde hissedilmiş ve ekonomik sürdürülebilirlik perspektifi daha da önem kazanmıştır. Bu bağlamda pandemi süreci, ekonomik yapının dirençli olmasının ve sürdürülebilirlik ilkesinin stratejik planlamalarda ne denli kritik bir unsur olduğunu açık biçimde ortaya koymuştur (Durak vd., 2024).

2.2.2. Çevresel Sürdürülebilirlik

Çevresel sürdürülebilirlik, ekosistemlerin işleyişine zarar vermeksizin hem günümüz toplumlarının hem de gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir yaşam ve üretim sisteminin devamlılığını esas alır. Bu çerçevede, bireyler ve işletmeler tarafından yürütülen faaliyetlerin çevresel etkilerinin en aza indirilmesi ve mevcut doğal kaynakların korunarak sürdürülebilir şekilde kullanılması temel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Çevresel olarak sürdürülebilir bir işletme; doğaya duyarlı karar mekanizmalarına sahip, ekolojik dengeyi gözeten, çevresel riskleri en aza indirmeyi hedefleyen stratejiler geliştiren ve bu stratejileri uygulamaya koyan bir yapı sergiler. Sürdürülebilirliğin çevresel boyutunu kurumsal yönetim süreçlerine entegre eden işletmeler, kısa vadede bazı ek maliyetlerle karşılaşsalar da uzun vadede çevresel etkilerin azalmasına bağlı olarak operasyonel giderlerinde tasarruf elde edebilmektedir. Özellikle doğal kaynakların verimli kullanımı ve atık yönetiminde etkin çözümler geliştirilmesi hem girdi maliyetlerini düşürmekte hem de çevreye verilen zararların önlenmesi için gerekli harcamaları azaltmaktadır. Bu bağlamda çevresel sürdürülebilirlik, sadece bir sorumluluk değil, aynı zamanda uzun vadeli rekabet avantajı sağlayan stratejik bir yaklaşımdır (Rençber, 2024).

Çevresel sürdürülebilirlik, günümüzde kritik bir düzeye ulaşan küresel çevre sorunlarının yönetilmesine yönelik stratejik bir yaklaşımı ifade etmektedir. Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji üretim süreçlerinin neden olduğu yüksek sera gazı emisyonları, biyoçeşitliliğin azalması, ozon tabakasının incilmesi ve buna bağlı olarak gelişen küresel ısınma ve iklim değişikliği, çevresel sürdürülebilirliğin önündeki en temel tehditler arasında yer almaktadır. Ayrıca toprak, su ve hava kirliliği ile birlikte okyanuslardaki asitlenme düzeyinin artması, yalnızca mevcut nesillerin yaşam koşullarını değil, gelecek kuşakların çevresel güvenliğini de ciddi biçimde tehdit etmektedir. Enerji sektörünün çevresel etkileri göz önüne alındığında, mevcut enerji üretim ve tüketim sistemlerinin dönüştürülmemesi durumunda bu tehditlerin etkisi ilerleyen dönemlerde daha da yıkıcı hâle gelmektedir. Bu çerçevede

çevresel sürdürülebilirlik; enerji başta olmak üzere çevreye zarar verme potansiyeli taşıyan tüm ekonomik ve toplumsal faaliyetlerin uzun vadeli çözümlerle yeniden tasarlanmasını gerekli kılmaktadır. Bireylerin, işletmelerin ve devletlerin çevreye olan sorumluluklarını yerine getirmesi; kirlетici faaliyetlerin sınırlandırılması ve/veya sonlandırılması yönünde somut adımlar atması, sürdürülebilir bir çevresel gelecek inşa edebilmenin temel koşullarından biridir. Bu bağlamda çevresel sürdürülebilirlik, yalnızca bir çevre politikası değil, aynı zamanda enerji dönüşümünü de kapsayan bütüncül bir kalkınma vizyonudur (Durak vd., 2024).

2.2.3. Sosyal Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik kavramının sosyal boyutu, bireylerin içinde bulundukları toplumsal yapı içerisindeki temel ihtiyaçlarının adil, güvenli ve kapsayıcı bir şekilde karşılanmasını esas alır. Sosyal sürdürülebilirlik; yaşam kalitesinin artırılması, toplumsal eşitliğin sağlanması, ayrımcılığın ortadan kaldırılması, eğitim ve sağlık hizmetlerine erişimin yaygınlaştırılması, istihdamda adaletin gözetilmesi ve refahın toplumun tüm kesimlerine dengeli biçimde dağıtılması gibi çok boyutlu hedefleri kapsamaktadır. Bu yaklaşım tarzı aynı zamanda bireylerin huzurlu, güvenli ve insan onuruna yakışır bir yaşam sürmelerini hedeflemekte; etik değerlerin, şeffaflığın ve sosyal hizmetlerin toplumsal yapıya entegre edilmesini gerekli kılmaktadır (Durak vd., 2024).

Sosyal sürdürülebilirliğin tarihsel temellerine bakıldığında, bu anlayışın yalnızca günümüzle sınırlı olmadığı görülmektedir. Nitekim Adam Smith, 1776 yılında yayımladığı Milletlerin Zenginliği adlı eserinde, toplumların refahının yalnızca ekonomik büyüme ile değil, aynı zamanda adaletli ve eşitlikçi bir sosyal sistemle mümkün olabileceğini savunmuştur. Smith'e göre bireylerin sosyal gereksinimlerinin karşılandığı bir düzen, ekonomik kalkınmanın sürekliliği açısından da önemli bir destekleyici unsur niteliğindedir (Heybet ve Duran, 2023).

Sürdürülebilirlik hedefi doğrultusunda yürütülen tüm faaliyetlerin, sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutları da dikkate alarak planlanması ve uygulanması gerekmektedir. Her bir uygulamanın sürdürülebilir kalkınma ilkeleriyle tutarlı sonuçlar üretmesi beklenir. Örneğin güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji yatırımları doğrudan çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunarken bu projelerin tarım alanlarının tahribine yol açması

ya da kırsal bölgelerde yaşayan halkın geçim kaynaklarını olumsuz etkilemesi durumunda, bu tür yatırımların sosyal etkiler yönüyle yeniden değerlendirilmesi zorunlu hâle gelmektedir. Bu çerçevede işletmeler, faaliyetlerini yürütürken tüm paydaşlarıyla olan ilişkilerini sosyal sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirmeli ve bu doğrultuda adil, kapsayıcı ve etik ilkeler çerçevesinde hareket etmelidir. Özellikle çalışanlara yönelik ücret politikaları, terfi süreçleri, istihdam fırsatları ve sosyal haklara erişim gibi konularda adaletin sağlanması, iş sağlığı ve güvenliği standartlarına uygunluk gösterilmesi ve sorumlu üretim modellerinin benimsenmesi sosyal sürdürülebilirliğin temel gereklilikleri arasında yerini almaktadır. Ayrıca işletmelerin yalnızca kendi iç süreçlerinde değil tedarik zincirlerinde yer alan aktörlerin de sosyal uygunluk performansını izlemeleri, çalışanlarına gelişim olanakları sunmaları ve fırsat eşitliğini gözetmeleri uzun vadeli sosyal değer üretimi açısından kritik öneme sahiptir (Durak vd., 2024).

2.3. Araştırmanın Amacı

Enerji sektörü, ekonomik kalkınma ve çevresel sürdürülebilirlik açısından stratejik bir öneme sahiptir. Günümüzde, fosil yakıtların çevresel etkileri ve küresel ölçekte artan enerji talebi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını kaçınılmaz hâle getirmiştir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların kurumsal sürdürülebilirlik performansını bilimsel yöntemlerle analiz etmek ve değerlendirmektir. Bu doğrultuda, Aydem Yenilenebilir Enerji Anonim Şirketi'nin 2019-2023 yılları arasındaki kurumsal sürdürülebilirlik performansı ele alınarak firmanın sürdürülebilirlik stratejilerinin etkinliği incelenecektir. Çalışmada sürdürülebilirlik performansını oluşturan ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlar ayrıntılı bir biçimde ele alınacaktır.

Bu değerlendirmeyi gerçekleştirebilmek amacıyla, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden Entropi yöntemi kullanılarak sürdürülebilirlik performans göstergelerinin ağırlıkları belirlenecek, ardından MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) yöntemi uygulanarak firmanın yıllara göre

performansındaki değişimler analiz edilecektir. Bu yöntemler aracılığıyla firmanın sürdürülebilirlik politikalarının etkinliği tespit edilerek geliştirilmesi gereken alanlar belirlenecektir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, firmanın gelecekte sürdürülebilirlik stratejilerini daha etkin hâle getirilmeye yönelik öneriler sunulacaktır.

Çalışmanın bulgularının, yalnızca Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş. için değil, aynı zamanda sektörde faaliyet gösteren diğer yenilenebilir enerji şirketleri için de bilimsel bir referans noktası oluşturması beklenmektedir. Ayrıca kurumsal sürdürülebilirlik performansının ölçümüne ilişkin geliştirilen metodolojik çerçevenin, akademik alandaki iler araştırmalara katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2.4. Araştırmanın Kapsamı

Bu çalışma, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların sürdürülebilirlik performanslarını ölçmeye yönelik yöntemlerin uygulanabilirliğini incelemektedir. Araştırma kapsamında, Aydem Yenilenebilir Enerji Anonim Şirketi'nin 2019-2023 yılları arasındaki sürdürülebilirlik performanslarını detaylı bir şekilde analiz edilecektir.

Firmanın resmî sürdürülebilirlik raporları, finansal verileri ve kamuya açık diğer kaynaklar temel alınarak kapsamlı bir veri analizi gerçekleştirilecektir.

Çalışmada, sürdürülebilirlik performansını belirleyen ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler esas alınarak firmanın bu alanlardaki başarısı değerlendirilecektir. Entropi yöntemi, performans göstergelerinin ağırlıklandırılmasında kullanılacak, MARCOS yöntemi ise sürdürülebilirlik performansının yıllara göre karşılaştırılmasında uygulanacaktır.

Bu çalışmada kullanılan 2019-2023 yıllarına ait veriler, Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş.'nin resmi internet sitesinde yayımlanan sürdürülebilirlik raporları ve kamuya açık finansal belgelerden temin edilmiştir.

Araştırmanın amacı, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların uzun vadeli sürdürülebilirlik stratejilerini geliştirmelerine yardımcı olacak bilimsel bir model sunmayı

hedeflemektedir. Aynı zamanda, firmaların karar alma süreçlerinde daha bilinçli ve veriye dayalı stratejiler geliştirmelerine katkı sağlanması beklenmektedir.

Araştırmanın sonucunda elde edilecek bulguların, yenilenebilir enerji sektöründe uygulanan sürdürülebilirlik politikalarının etkinliğini artırmaya yönelik öneriler geliştirilmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın, sektörde faaliyet gösteren kurumsal işletmelere rehberlik etmesi ve gelecekte yapılacak akademik çalışmalara kaynaklık etmesi öngörülmektedir.

2.5. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesini konu almakta olup yedi ana bölümden oluşmaktadır. Her bir bölüm, araştırmanın kurumsal temelleri, yöntemsel yapısı ve elde edilen bulgular doğrultusunda sistematik bir çerçevede yapılandırılmıştır.

Birinci bölüm, araştırmanın genel çerçevesini oluşturan giriş kısmını içermektedir. Bu bölümde, araştırma problemi, amacı, kapsamı, araştırma soruları ve hipotezleri ele alınmış; çalışmanın dayandığı gerçekler açıklanarak tezin genel yapısına ilişkin bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde enerji kaynaklarının tarihsel gelişimi, çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirilmesi yapılmıştır.

Üçüncü bölümde fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel etkileri ile bu kaynakların sınıflandırılmasına odaklanmaktadır.

Dördüncü bölümde, çalışmanın teorik temellerini oluşturan literatür taramasına yer verilmiştir. Bu kapsamda, sürdürülebilirlik, kurumsal sürdürülebilirlik performansı, Entropi ve MARCOS yöntemleri hakkında literatürdeki güncel yaklaşımlar değerlendirilmiş ve mevcut araştırma boşlukları belirlenmiştir.

Beşinci bölüm, araştırmanın yöntemsel çerçevesini oluşturmaktadır. Bu bölümde kullanılan ÇKKV yöntemleri detaylı biçimde tanıtılmış; Entropi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve MARCOS yöntemiyle performans sıralamasının gerçekleştirilmesine ilişkin süreçler açıklanmıştır. Ayrıca veri toplama kaynakları ve analiz araçları hakkında bilgi verilmektedir.

Altıncı bölümde, Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş.'ye ait 2019-2023 dönemi verileri doğrultusunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Entropi ve MARCOS yöntemlerinin birlikte kullanımıyla ulaşılan kurumsal sürdürülebilirlik performansı analiz edilmiş, sonuçları tartışılmış ve literatürle karşılaştırılmıştır.

Yedinci ve son bölümde, araştırmanın genel sonuçları özetlenmiş, Entropi ve MARCOS yöntemlerinin analize sağladığı katkılar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için yönlendirmelerde bulunulmuştur.



3. FOSİL VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KÜRESEL ETKİLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Enerji kelimesi, köken olarak Yunanca “en” (iç) ve “ergon” (iş) sözcüklerinin birleşiminden türemiştir. Kelime anlamı itibarıyla “iç iş” olarak tanımlansa da sözlük anlamı “iş yapma kapasitesi” ve “etkinlik” şeklinde ifade edilmektedir. Zamanla enerji kavramı, iş üretme yeteneği, güç, dinamizm ve kuvvet ile eş anlamlı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fiziksel bağlamda ise enerji, ölçülebilir bir nicelik olup farklı türler arasında dönüşebilen bir büyüklük olarak kabul edilmektedir (Yıldırım, 2024).

Enerji hem ulusal hem de uluslararası düzeyde en öncelikli gündem konularından biri olarak değerlendirilmektedir (Çıtak ve Kılınç Pala, 2016). Bir ülkenin ekonomik büyümesini ve sosyal gelişimini destekleyen temel unsurlardan biri olarak enerji, büyük bir öneme sahiptir (Yılmaz, 2012). Teknolojik ilerlemelerin ivme kazanması, sanayileşme süreçlerinin giderek yoğunlaşması ve küresel nüfus artışı, enerji talebinde belirgin bir artışa yol açmıştır. Enerji, yalnızca üretim süreçlerinin temel girdisi olmakla kalmayıp toplumsal refahın artırılması açısından da kritik bir rol üstlenmektedir. Ayrıca günlük yaşamın hemen her alanında vazgeçilmez bir unsur hâline gelmiştir (Sökmen, 2024).

21. yüzyılın üçüncü on yılı itibarıyla dünya, enerji sektörü açısından kritik bir dönüm noktasına ulaşmıştır. İklim değişikliğinin yol açtığı tehditlerin giderek daha acil hâle gelmesi, enerji güvenliğine duyulan ihtiyaç ve ekonomik istikrarın korunması gereklilikleri, enerji kaynaklarının geleceğine dair küresel ölçekte yoğun bir tartışmayı beraberinde getirmiştir. Bu tartışmanın merkezinde ise yenilenebilir enerjiye geçiş süreci yer almakta olup yenilenebilir enerji yalnızca geleneksel kaynaklara bir alternatif olarak değil; aynı zamanda çevreyle kurulan ilişki, ekonomik sistemler ve toplumsal değerler üzerinde köklü bir dönüşüm yaratma potansiyeline sahip stratejik bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi farklı yenilenebilir enerji türleri, bu küresel enerji dönüşümünün yönünü tayin etmede kritik bir rol üstlenmektedir. Bu kaynaklar, yalnızca teknik alternatifler olmakla kalmayıp; enerjinin üretim ve tüketim biçimlerinde köklü bir paradigma değişimini temsil etmekte, sürdürülebilirlik, dirençlilik ve doğal çevreyle uyumlu bir dengenin kurulmasına yönelik küresel taahhütleri de yansıtmaktadır. Tarihsel süreçte ise fosil yakıtlar, özellikle kömür, petrol ve doğal gaz,

küresel enerji altyapısının inşasında ve sürdürülmesinde temel bir rol oynamış, modern dünyanın ekonomik ve teknolojik gelişimini büyük ölçüde desteklemiştir (Hassan vd., 2024).

Küresel karbon emisyonlarının büyük bir kısmı, sınırlı sayıdaki ülkenin enerji üretim ve tüketim faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle Çin, ABD, Hindistan, Rusya, Japonya, Endonezya, İran, Almanya, Suudi Arabistan, Güney Kore, Kanada, Meksika, Brezilya, Güney Afrika, Türkiye, Avusturalya, Birleşik Krallık, İtalya, Polonya ve Birleşik Arap Emirlikleri gibi ülkeler, toplam emisyonların yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Literatürde, bu ülkelerin karbon salımı bakımından küresel düzeyde belirleyici aktörler olduğu; buna karşılık, geri kalan ülkelerin toplam emisyonlara katkısının yalnızca %20 düzeyinde kaldığı ifade edilmektedir. Bu dengesiz dağılım, karbon emisyonlarında başı çeken ülkelerin emisyon azaltımına yönelik politikalar geliştirmede öncü sorumluluk üstlenmesini zorunlu kılmaktadır. Zira bu ülkelerde alınacak etkili önlemler, yalnızca iklim değişikliğiyle mücadelede değil aynı zamanda küresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada da belirleyici bir rol oynayacaktır (Ateş vd., 2025).

Son yıllarda çevresel felaketlerde yaşanan artış, küresel ısınma ve iklim değişikliği konularını hem çevresel hem de ekonomik politika tartışmalarının odak noktası hâline getirmiştir. Çevresel bozulmaların; kuraklık, arazi tahribatı ve ekosistem dengesizlikleriyle doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiş olup bu durum insan sağlığı, ekolojik sürdürülebilirlik ve küresel gıda arzı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır (Bashir vd., 2025b).

Kamu sağlığının korunması ve çevresel risklerin azaltılması, devletlerin öncelikli sorumlulukları arasında yer almaktadır. Özellikle karbon emisyonları ile sera gazı salınımlarındaki artış, insan sağlığını tehdit eden önemli çevresel sorunlar arasında gösterilmektedir (A. N. Yıldırım, 2024).

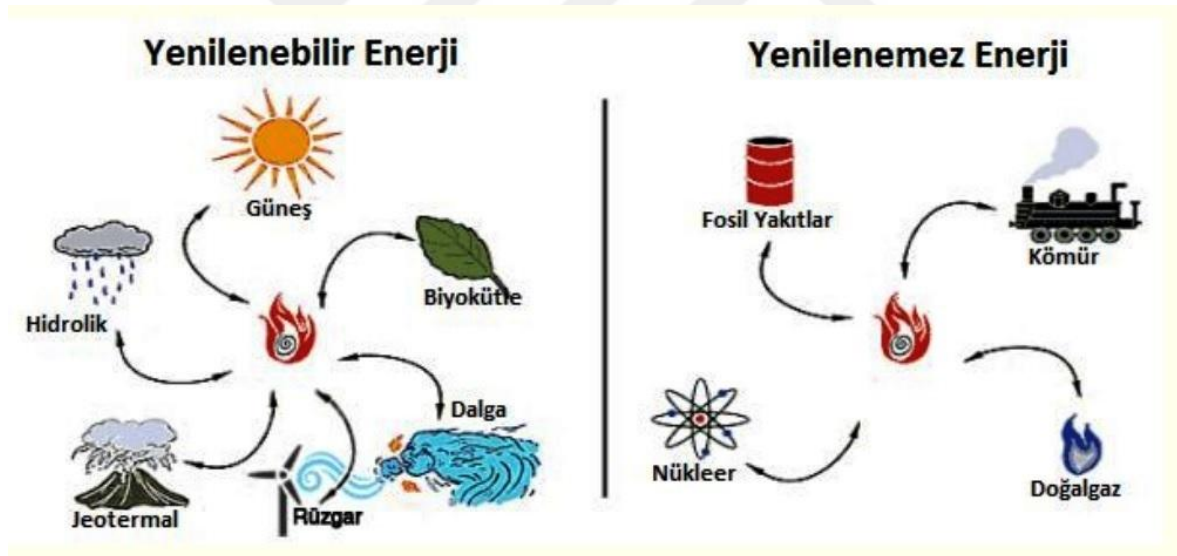
Fosil yakıtlara kıyasla daha çevre dostu ve güvenli olan yenilenebilir enerji kaynakları; gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre bırakmak, enerji arz güvenliğini temin etmek ve sürdürülebilir enerji sistemleri kurmak bakımından küresel öncelikli konular arasında yer almaktadır.

Enerji, toplumsal yaşamın tüm aşamalarını etkileyebilecek stratejik bir unsur olup, sahip

olduğu bu güç sayesinde günümüz teknoloji çağının en önemli rekabet alanlarından birini oluşturmaktadır. Bu bağlamda, günümüz dünyası “enerjiye hâkim olan, küresel dinamikleri de şekillendirme gücüne sahip olur” anlayışıyla tanımlanabilir. Ülke ekonomilerinin temel girdisi olan enerjiye olan dış bağımlılığı azaltmak ve enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla özellikle yüksek enerji talebine sahip devletler, tükenmekte olan fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarını ikame etmeye yönelmektedir (Bekar, 2020).

3.1. Enerji Kaynakları

İnsanlık, tarih boyunca çeşitli nedenlerle enerjiye ihtiyaç duymuş ve bu gereksinim, nüfus artışıyla birlikte sürekli olarak artan bir ivme göstermiştir. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla tarihsel süreçte iki temel enerji türü kullanılmıştır: yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtlara dayalı yenilenemez enerji kaynakları. Şekil 3.1, söz konusu enerji türlerini göstermektedir (Akbulut, 2024).



Şekil 3.1: Enerji kaynakları (URL-27, 2025)

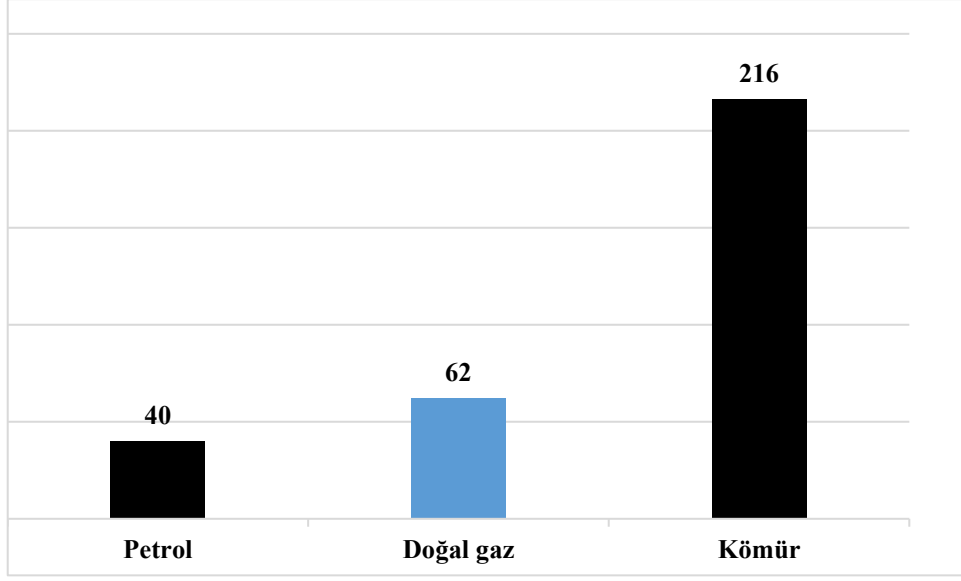
3.2. Fosil Yakıtlar: Özellikleri ve Küresel Dağılımı

Fosil yakıtların oluşumu, milyonlarca yıl öncesine dayanan karmaşık ve uzun süreli bir jeolojik süreçtir. Bu süreç, organik materyallerin yüksek basınç ve sıcaklık etkisi altında fiziksel ve kimyasal dönüşümlere uğraması sonucu gerçekleşir. Tarihsel olarak, Dünya yüzeyi yoğun ormanlar, bitki örtüsü ve denizlerle kaplıydı. Buna bağlı olarak bu ortamlarda

yaşayan bitkisel ve hayvansal organizmalar öldükten sonra çürüme sürecine girerek tortul kayaçlarının içerisine hapsolmuştur. Üzerlerine çöken kayaç ve sediment tabakaları, organik materyallerin dönüşümünü sağlayan gerekli basınç ve sıcaklık koşullarını oluşturmuştur. Oksijensiz bir ortamda gerçekleşen bu ayrışma süreci neticesinde, karbon ve hidrokarbon açısından zengin doğal enerji kaynakları olan fosil yakıtlar ortaya çıkmıştır. Organik maddeler, söz konusu jeolojik koşullar altında zamanla kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt türlerine dönüşmüştür. Bu fosil yakıtlar, günümüzde küresel enerji ihtiyacını karşılamada en önemli temel kaynaklardan biri olarak kullanılmaktadır (Dilekasan, 2025).

Ancak enerji üretiminde yoğun bir biçimde tercih edilen bu rezervlerin özellikle kömür, petrol ve doğal gaz giderek azalması, bu kaynaklara ulaşmak için daha derin ve maliyetli arama faaliyetlerini zorunlu kılmaktadır. Yapılan bilimsel çalışmalar, fosil yakıtların oluşum süreci ile tüketim hızı arasındaki uçurumu gözler önüne sermekte; dünyadaki enerji tüketim oranı, fosil yakıtların doğal yollarla oluşum hızının yaklaşık üç yüz bin katına denk gelmektedir. Diğer bir deyişle, yalnızca bir günde ortalama bin yıllık fosil yakıt birikimi tüketilmektedir. Bu çarpıcı durum, mevcut rezervlerin sürdürülemezliğini ortaya koymakta olup enerji arz güvenliğini sağlamak isteyen ülkeleri alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye teşvik etmektedir (Şenel ve Koç, 2015). Ayrıca fosil yakıtlar, doğada sınırlı miktarda bulunmaları ve çevresel etkileri yüksek olan enerji kaynakları arasında yer almaktadır.

Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar küresel ekonomik büyüme ve sanayileşme süreçlerinde temel enerji kaynağı olarak kullanılan bu yakıtlar, günümüzde de toplam enerji tüketiminde belirleyici bir paya sahiptir. Ancak fosil yakıtların yenilenemez olması ve kullanım süreçlerinin çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturması, bu kaynakların sürdürülebilirlik açısından ciddi dezavantajlar barındırmasına neden olmaktadır (Khanayev, 2024).



Şekil 3.2: Fosil yakıtların rezervleri

Şekil 3.2’de fosil yakıtların küresel rezerv dağılımı ele alındığında, petrol, doğal gaz ve kömürün tahmini kullanım ömürlerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Literatürdeki çeşitli çalışmalara göre petrol rezervlerinin yaklaşık 40 yıl, doğal gazın 62 yıl ve kömürün 216 yıl daha yetecek düzeyde olduğu öngörülmektedir. Bununla birlikte, bazı araştırmacılar bu süreleri yalnızca miktarsal tükenme açısından değil, aynı zamanda söz konusu enerji kaynaklarının coğrafi olarak dengesiz dağılımı bağlamında da değerlendirilmektedir. Özellikle petrol ve doğal gaz rezervlerinin belirli bölgelerde yoğunlaşması, enerji arz güvenliği açısından risk teşkil ederken kömür rezervlerinin görece daha dengeli bir dağılım sergilediği ifade edilmektedir. Bu durum, küresel enerji politikalarının sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde yeniden ele alınması zorunlu hâle getirmektedir. Dolayısıyla enerji güvenliğinin sağlanması, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, uzun vadeli stratejik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır (Akbulut, 2024).

Petrol, kömür, doğal gaz ve nükleer enerji, doğada kendiliğinden yenilenemeyen ve tükenebilir nitelikte olan enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Külekçi, 2009). Bu kaynaklar, uzun yıllardır küresel enerji talebini karşılamakta olup enerji alanında önemli bir rol oynamaktadır. Ancak sınırlı rezervlere sahip olmaları ve çevresel etkileri nedeniyle bu kaynakların sürdürülebilirliği konusunda çeşitli tartışmalara yol açmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı, sera gazı emisyonlarını artırarak küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlara neden olurken, nükleer enerji ise atık yöntemi ve güvenlik riskleri bakımından

önemli zorluklar barındırmaktadır. Bu bağlamda, fosil ve nükleer enerji kaynaklarının mevcut durumu, avantajları ve dezavantajları ilerleyen bölümlerde ayrıntılı biçimde ele alınacaktır.

Son yıllarda fosil yakıt kaynakları birçok zorluk ve sorunla karşı karşıya kalmış olsa da bu kaynakların enerji sektöründeki etkinliğini uzun bir süre daha sürdüreceği öngörülmektedir (Fetanat ve Tayebi, 2024). Ancak fosil yakıtların kullanımı karbon emisyonlarının artırmakta ve çevresel kirliliğe yol açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş süreci devam etse de mevcut altyapı koşulları ve ekonomik bağımlılıklar nedeniyle fosil yakıtların tamamen terk edilmesi hâlâ ciddi zorluklar içermektedir (Ray, 2024).

3.3. Petrol

Petrol, insanlık tarihinde önemli bir enerji kaynağı olarak öne çıkmış ve zamanla ekonomik, stratejik ve teknolojik gelişmelerin merkezinde yer almıştır. İlk olarak MÖ 5. yüzyılda tarihçi Herodot tarafından kaleme alınan metinlerde yer almıştır. Petrol sızıntılarının, MÖ 450’li yıllarda Yunan adalarında gözlemlendiği bilinmektedir. Antik dönemlerde petrol; tıbbi tedavilerde, yalıtım malzemesi olarak ve savaşlarda yakıcı bir unsur şeklinde kullanılmıştır. İlk petrol çıkarma işlemleri ilkel yöntemlerle gerçekleştirilmiş olup genellikle asfalt üretimi ve yakıt kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Tarihsel süreç içerisinde 1745 yılında Fransa’da ilk petrol kuyusu açılmış, 1847 yılında ise İskoçya’da petrol ürünlerinin rafinasyonu başlamıştır. Petrol üretimine yönelik ilk ticari kuyu ise Amerika Birleşik Devletleri’nin Pennsylvania eyaletinde açılmıştır (Yıldız, 2006).

Sanayi devrimi ile birlikte petrol, yalnızca yerel bir kaynak olmaktan çıkmış; küresel ölçekte stratejik bir enerji kaynağı hâline gelmiştir. 1860 yılında Pennsylvania’daki petrol sahalarından çıkarılan petrol, başlangıçta aydınlatma ve gazyağı üretimi amacıyla kullanılmıştır. Ancak 20. yüzyılın başlarında benzinle çalışan içten yanmalı motorların (1900) ve dizel motorların (1910) icadıyla birlikte petrolün önemi ve kullanım alanı hızla genişlemiştir. Bu gelişmeler, petrolü yalnızca yerel ölçekte tüketilen bir yakıt olmaktan çıkarıp küresel ölçekte stratejik bir enerji kaynağı hâline dönüştürmüştür (Sökmen, 2024).

Özellikle sanayileşmenin hız kazandığı bu dönemde, petrolün geniş rezervlere sahip olması, kolay taşınabilirliği ve yüksek enerji verimliliği sayesinde kömür karşısında güçlü bir

alternatif olarak öne çıktığı görülmektedir (Ağaçbiçer, 2010).

1970’li ve 1980’li yıllarda, küresel petrol arzında yaşanan yetersizlikler nedeniyle dünya genelinde enerji krizleri meydana gelmiştir. Ülkelerin enerji santrallerinin talebi karşılayamaması ve genellikle dışa bağımlı olmaları, enerji arz ve talep dengesinin bozulmasına neden olmuştur. Bu durum, birçok ülkede zorunlu enerji kısıtlamalarının uygulanmasına yol açmıştır (Yıldız, 2006).

Günümüzde de petrol, küresel enerji sisteminin temel yapı taşlarından biri olmayı sürdürmektedir (Ağaçbiçer, 2010).

Kelime kökeni açısından incelendiğinde, “petrol” terimi Latince petro (taş) ve oleum (yağ) sözcüklerinden türetilmiş olup “taşyağı” anlamına gelmektedir (URL-40, 2025).

Petrol, doğal süreçler sonucunda oluşan bir bileşik olup milyonlarca yıl boyunca bitki ve hayvan kalıntılarının yüksek basınç ve sıcaklık altında ayrışmasıyla meydana geldiği düşünülmektedir. Doğada hem petrojeneik hem de biyojenik hidrokarbonlar birlikte bulunmakta olup bu bileşenlerin köklerini kesin olarak ayırt etmek çoğu durumda mümkün değildir (Lin ve Tjeerdema, 2008).

Doğal hidrokarbonlar, organik maddelerin bozunması sonucu oluşmaktadır. Milyonlarca yıl önce akarsular ve rüzgârlar, dönemin havzalarına kum, çakıl, çamur ve çeşitli iyonlar taşıyarak, suyun dibinde giderek kalınlaşan çökellerin oluşmasına neden olmuştur. Bu süreçte, söz konusu ortamlarda yaşayan organizmaların kalıntıları da çökellere karışmıştır. Zamanla, alt tabakalarda biriken bu malzeme, üst üste eklenen yeni tabakaların uyguladığı yüksek basınç nedeniyle sertleşerek sedimanter kayalara dönüşmüştür. Bu süreçte çamurlara karışan organik kalıntıların içerdiği karmaşık hidrojen ve karbon molekülleri, ısı ve basıncın etkisiyle parçalanarak hidrokarbon bileşenlerini oluşturmuştur. Bu nedenle, ham petrol ve doğalgaz, kömürle birlikte fosil yakıtlar kategorisinde değerlendirilmektedir (URL-40, 2025).

Petrol, organik maddelerin bozulması ve ardından yüksek basınç ile sıcaklığa maruz kalması sonucunda oluşan doğal bir kaynaktır. Yapısında temel olarak hidrojen ve karbon bulunmakla birlikte, düşük oranlarda nitrojen, oksijen ve kükürt de içermektedir. Rafine

edilmemiş sıvı formdaki petrol “ham petrol” olarak adlandırılırken, yarı katı veya katı formda bulunan ve ağır hidrokarbonlarla katrandan oluşan türevlerine asfalt, zift ve katran gibi isimler verilmektedir. Ham petrolün ana bileşenlerinin hidrojen ve karbon olduğundan, bu bileşikler genel olarak hidrokarbonlar sınıfında değerlendirilmektedir. Petrol, modern ekonomiler için kritik bir enerji kaynağıdır. Bunun başlıca nedenlerinden biri, küresel enerji tüketimindeki yüksek payıdır. Petrolün yaygın olarak tercih edilmesinin temel nedeni, geniş kullanım alanına sahip olmasıdır. Günümüzde elektrik üretiminden taşımacılığa kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. 2022 yılında dünya genelindeki petrol tüketiminin %64,5’i ulaşım sektöründe, %16,6’sı enerji dışı uygulamalarda, %7,8’i sanayide, %5,4’ü konut sektöründe ve %5,7’si diğer alanlarda gerçekleşmiştir (URL-18, 2025).

Türkiye, jeostratejik konumu itibarıyla dünya petrol ve doğal gaz rezervlerinin büyük bir kısmının yer aldığı kritik bir coğrafyada bulunmaktadır. Bu durum, ülkeyi yalnızca enerji kaynakları açısından zengin bölgeler ile tüketici pazarlar arasında bir transit geçiş noktası değil, aynı zamanda Doğu ile Batı, Güney ile Kuzey arasında stratejik bir enerji köprüsü hâline getirmektedir. Bununla birlikte Türkiye, enerji arz güvenliğini sağlamak ve dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla kendi enerji kaynaklarını da geliştirmeye yönelik önemli adımlar atmaktadır (URL-5, 2022). Bununla birlikte Türkiye, enerji alanında dışa bağımlılığı azaltma hedefi doğrultusunda, son yıllarda petrol ve doğal gaz arama ile üretim faaliyetlerine yönelik kapsamlı çalışmalar yürütmektedir. Bu süreçte, gerçekleştirilen yapısal reformlar, teknolojik yatırımlar ve keşifler, yerli petrol üretim kapasitesini artırarak enerji arz güvenliğine katkı sağlamaktadır. Ülkenin kuruluşunun 100. yılı itibarıyla söz konusu atılımlar neticesinde yerli petrol üretiminde önemli bir artış sağlanmış olup enerji sektöründe stratejik bir dönüşüm hedeflemektedir (Yüksel ve Morrow, 2023).

Türkiye, kuruluşunun 100. yılında petrolde sınıf atladı

Enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için son yıllarda petrol ve doğal gaz arama ve üretim alanlarında atılımlar yapan Türkiye, kuruluşunun 100. yıl dönümünde yerli petrolde rekor üretim seviyelerini hedefliyor



100
TÜRKİYE CUMHURİYETİ'NİN YÜZÜNCÜ YILI



1933

Petrol Arama ve İşletme İdaresi kuruldu



1935

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) kuruldu



1940

Raman Dağı'nda 1048 metrede petrolün varlığı tespit edildi

Raman-1 kuyusu, günlük ortalama 100 varil petrolle üretime geçti



1948

Raman-8 kuyusundan petrol çıkarılmaya başlandı



1954

Petrol Kanunu yürürlüğe girdi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) kuruldu



1955

İlk modern rafineri Batman'da kuruldu



1961

İzmit Rafinerisi faaliyete geçti



1962

Mersin'de yıllık 3,2 milyon ton kapasiteli rafineri kuruldu



1972

İzmir Rafinerisi faaliyete geçti



1986

Kırıkkale Rafinerisi kuruldu



2018

İzmir Aliağa'da STAR Rafinerisi açıldı



2022

Gabar Dağı'nda 150 milyon varil net petrol rezervi keşfedildi

Üretilen petrol rezervi 600 milyon varile çıktı



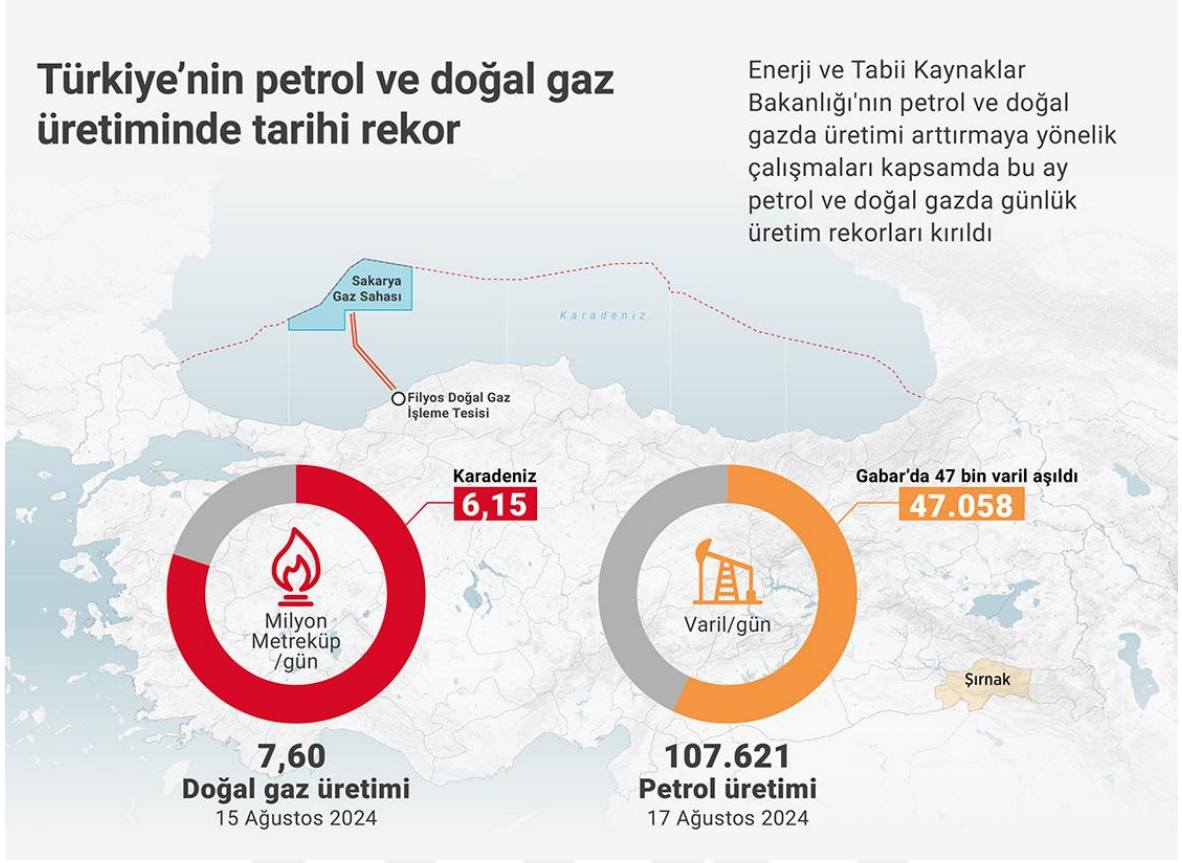
2023

Günlük 100 bin varil petrol üretim kapasitesine sahip yeni bir keşif yapıldı

Ham petrol üretimi günlük yaklaşık 80 bin varile ulaştı

Şekil 3.3: Türkiye'de petrol arama ve üretim sürecindeki tarihsel gelişmeler (Yüksel ve Morrow, 2023)

Şekil 3.3, Türkiye'nin petrol arama ve üretim sürecindeki önemli gelişmeleri kronolojik olarak sunmaktadır. 1933 yılında Petrol Arama ve İşletme İdaresinin kurulmasıyla başlayan süreç, 1954 yılında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığının (TPAO) kuruluşu ve devamında gerçekleşen rafineri yatırımlarıyla gelişimini sürdürmüştür. Son yıllarda yapılan keşiflerle birlikte yerli petrol üretiminde kayda değer artışlar yaşanmış; özellikle 2022 ve 2023 yıllarında Gabar Dağı'nda tespit edilen rezervler sayesinde günlük üretim kapasitesi rekor seviyelere ulaşmıştır. Bu şekil, Türkiye'nin enerji bağımsızlığına yönelik attığı adımları tarihsel bir perspektiften yansıtmaktadır.



Şekil 3.4: Türkiye'nin 2024 yılı petrol ve doğal gaz üretiminde tarihi rekorları (Yüksel ve Morrow, 2023).

Şekil 3.4, enerji alanında dışa bağımlılığı azaltma hedefi doğrultusunda yürütülen çalışmalar kapsamında, Türkiye'nin petrol ve doğal gaz üretiminde elde ettiği önemli artışlar yaşandığı görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan açıklamalara göre, Ağustos 2024 itibarıyla petrol ve doğal gaz üretiminde tarihi rekor seviyelere ulaşılmıştır. Bu kapsamda, 17 Ağustos 2024 tarihinde Türkiye'nin toplam ham petrol üretimi 107.621 varil olarak kaydedilmiş; bunun 95.656 varillik kısmı TPAO tarafından gerçekleştirilmiştir. Özellikle Gabar Dağı'ndaki kuyulardan sağlanan üretimin 47.058 varile ulaştığı belirtilmektedir. Türkiye'nin enerji arz güvenliğini artırma hedefi doğrultusunda yürütülen Milli Enerji ve Maden politikası kapsamında kara ve de deniz sahalarında gerçekleştirilen sondaj faaliyetleri ile yeni keşiflerin, üretimin sürdürülebilirliğini sağlaması hedeflenmektedir (URL-1, 2024). Bu çerçevede, yerli ve milli kaynaklardan maksimum düzeyde yararlanılması (Ayyıldız ve Öztel, 2024) ve yeni rezervlerin keşfine yönelik çalışmalar devam etmektedir (URL-1, 2024).



Şekil 3.5: Türkiye'nin 2025 Yılı petrol ve doğal gaz üretiminde tarihi rekorları

Şekil 3.5, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı'nın açıklamış olduğu Mart 2025 verilerine göre, Türkiye'nin günlük petrol üretimi 132 bin varil seviyesine ulaşmıştır. Bu üretimin önemli bir bölümü, Gabar sahasındaki 95 kuyudan elde edilen günlük 78 bin varillik katkıdan oluşmaktadır. Söz konusu üretim, bölgenin stratejik önemini bir kez daha ortaya koymaktadır. Ayrıca Van, Diyarbakır ve Türkiye-Suriye sınırının kuzey kesimlerinde planlanan 153 yeni arama kuyusu, üretim kapasitesinin daha da artırılmasına yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. 2021 yılında keşfedilen Gabar sahası, Cumhuriyet tarihinin en büyük petrol rezervlerinden biri olarak kabul edilmekte olup hâlihazırda ülke ekonomisine yıllık yaklaşık 2 milyar dolar katkı sağlamaktadır. Bunun yanında, denizlerde yürütülen arama faaliyetleri de dikkat çekici bir düzeye ulaşmıştır. Türkiye, 4 adet sondaj gemisi (Fatih, Yavuz, Kanuni, Abdülhamid Han) ve 2 sismik araştırma gemisi (Barbaros Hayreddin Paşa, Oruç Reis) ile Karadeniz ve Akdeniz'deki çalışmalarını aktif şekilde sürdürmektedir. Bu çerçevede, FPSO (Yüzer Üretim Depolama ve Boşaltma Sistemi) gibi ileri teknoloji yatırımları sayesinde derin deniz sondaj kabiliyetleri geliştirilmektedir (Çağatay ve Erkalın, 2025).

Her dönemde Türkiye, enerji sektöründe gerçekleştirdiği yatırımlar ve keşiflerle kendi kaynaklarını daha etkin şekilde kullanarak enerji bağımsızlığı hedefine kararlılıkla

ilerlemektedir.

3.4. Doğal Gaz

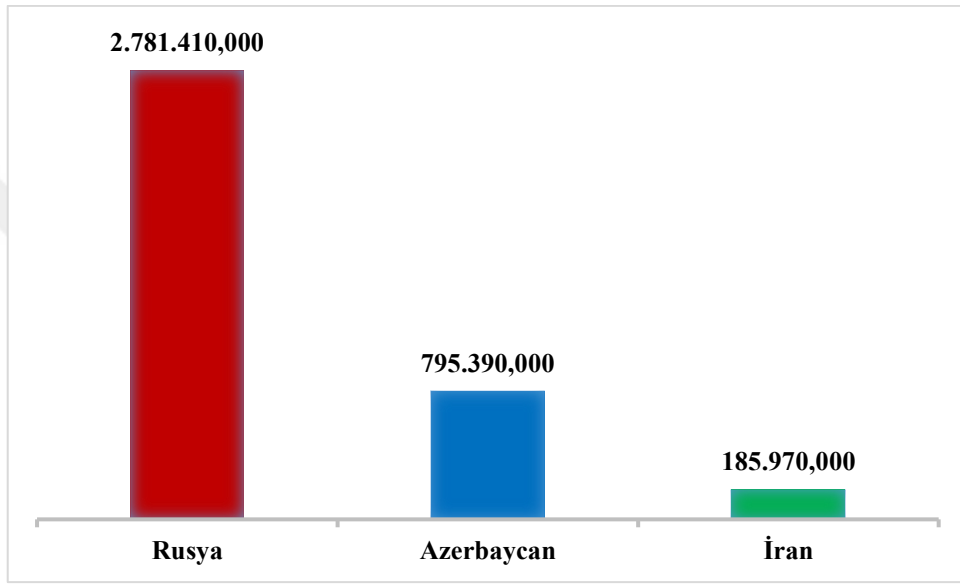
Doğal gaz, milyonlarca yıl süren jeolojik süreçlerin bir ürünü olarak, organik madde içeren bitki ve hayvan kalıntılarının, tortul tabakalar altında yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalması sonucu oluşmaktadır. Bu süreçte organik bileşenlerin termokimyasal ayrışmasıyla birlikte petrol ve doğal gaz meydana gelmektedir. Doğal gazın, petrol ile benzer oluşum mekanizmalarına sahip olması, onun genellikle petrol türevlerinden biri olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır (Yıldırım, 2024).

Yerkabuğunun derin katmanlarında oluşan bu yanıcı gaz karışımı, başta metan olmak üzere çeşitli hidrokarbon bileşenlerinden oluşur. Renksiz, kokusuz ve havadan hafif olan doğal gaz, fosil yakıtlar arasında önemli bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Küresel enerji piyasasında stratejik bir konuma sahip olan doğal gaz, yakıt kullanımı bakımından ham petrolden sonra ikinci sırada yer almakta, bu da tarihsel süreçte insanlar tarafından önemli bir enerji kaynağı olarak benimsenmesini sağlamaktadır. İlk dönemlerde, yer altından sızan gazların şimşek gibi doğal olaylar sonucu yanması, doğal gazın gizemli bir doğa olayı olarak algılanmasına yol açmıştır. Antik Yunan'da, Parnassus Dağı'nda bir çobanın gözlemlediği bu tür alevler kehanet olarak yorumlanmış ve bu olayın yaşandığı yere bir mabet inşa edilmiştir. Hindistan, Yunanistan ve Eski İran gibi medeniyetlerde de benzer doğal gaz çıkışları doğaüstü güçlerle ilişkilendirilmiştir. Öte yandan Çinliler, bambu borular yardımıyla doğal gazı taşıyarak deniz suyunu ısıtıp içme suyu elde etmişlerdir. Marco Polo'nun Bakü'deki Zerdüşt ateş tapınağında gözlemlediği doğal gaz alevleri, bu kaynağın tarihsel kullanımına dair önemli ipuçları sunmaktadır. Avrupa'da doğal gaz ilk kez 1659'da İngiltere'de keşfedilmiş ancak yaygın kullanımı 1970'li yıllarda gerçekleşmiştir. Modern üretim ve kullanım teknikleri ise ilk olarak ABD geliştirilmiştir. 1821 yılında West Virginia eyaletinde doğal gazın tuz üretiminde ilk endüstriyel kullanımı başlamış; 1855'te ise Robert Wilhelm Bunsen'in, geliştirdiği mavi alevli gaz ocağı evsel kullanımın önünü açmıştır. 1920'lerden itibaren boru hattı taşımacılığının yaygınlaşmasıyla doğal gazın kullanımı hızla artmış, özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında sürekli bir gelişme göstermiştir.

Doğal gaz, yer altında bağımsız halde bulunabildiği gibi petrol ile birlikte de mevcut olabilir. Günümüzde elektrik üretimi, konutlar, sanayi ve hizmet sektörlerinde yaygın biçimde

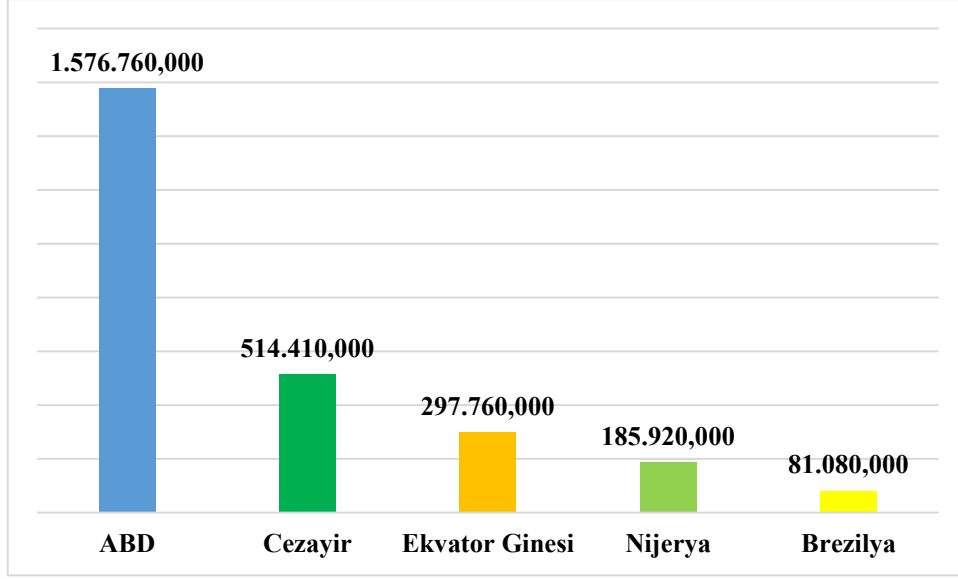
kullanılmaktadır (URL-18, 2025).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) Ocak 2025 dönemine ilişkin “Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu” na göre Türkiye’nin doğal gaz ithalatı bir önceki yılın aynı ayına göre %4,1 azalarak 6 milyar 418 milyon 880 bin m³ olmuştur. Bu ithalatın 3 milyar 762 milyon 780 bin m³’ü boru hatlarıyla 2 milyar 656 milyon 100 bin m³’ü ise sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6: Ocak 2025 Doğal gaz ithalatı

Şekil 3.6’da görüldüğü üzere, ocak ayında en fazla doğal gaz ithalatı 2 milyar 781 milyon 410 bin m³ ile Rusya Federasyonu’ndan yapılmış, ardından Azerbaycan (795 milyon 390 bin m³) ve İran (185 milyon 970 bin m³) gelmiştir.



Şekil 3.7: Ocak 2025 sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ithalatı

Aynı dönemde, LNG ithalatı kapsamında ise şekil 3.7’de görüldüğü üzere ABD’den 1 milyar 576 milyon 760 bin m³, Cezayir’den 514 milyon 410 bin m³, Ekvator Ginesi’nden 297 milyon 760 bin m³, Nijerya’dan 185 milyon 920 bin m³ ve Brezilya’dan 81 milyon 80 bin m³ doğal gaz tedarik edilmiştir. Türkiye’nin toplam doğal gaz tüketimi, Ocak 2025’te yıllık bazda %22 artarak 7 milyar 625 milyon 150 bin m³’e ulaşmıştır. Sektörel bazda incelendiğinde, sanayi sektörünün doğal gaz tüketimi %1,83 azalarak 1 milyar 227 milyon 520 bin m³ olurken elektrik santrallerindeki tüketim %118,9 artışla 1 milyar 399 milyon 240 bin m³’e yükselmiştir. Konutlardaki tüketim ise %14,4 artışla 3 milyar 719 milyon 330 bin m³ olarak kaydedilmiştir. Aynı dönemde Türkiye’nin toplam doğal gaz stok miktarı, %22,4 azalarak yaklaşık 4 milyar 51 milyon 940 bin m³’ü yer altı depolama tesislerinde, 353 milyon 680 bin m³’ü LNG terminallerinde muhafaza edilmiştir (Topbaş, 2025).

Türkiye, enerji arz güvenliğini artırmak ve dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yürüttüğü doğal gaz arama ve üretim faaliyetlerine hız vermiştir. Son yıllarda yürütülen sismik araştırmalar ve derin deniz sondajları, Türkiye’nin hidrokarbon potansiyelini ortaya çıkarmada önemli ilerlemeler sağlamıştır. Bu kapsamda Karadeniz’de keşfedilen Sakarya Gaz Sahası, ülkenin enerji politikalarında dönüm noktası niteliğindedir. Şekil 3.4’e göre 5 Ağustos 2024 tarihinde Türkiye tarihinin en yüksek günlük doğal gaz üretimi gerçekleştirilmiş ve bu üretim 7.609.427 m³ olarak kaydedilmiştir. Bu miktarın 6.146.886 m³’ü Sakarya Gaz Sahası’ndan elde edilmiştir. Sakarya Gaz Sahası’ndan sağlanan doğal gaz üretimi, ülkenin enerji bağımsızlığına katkı sağlayan stratejik bir adımdır. Buradan elde

edilen gazın iç piyasaya sunulması, dışa bağımlılığı azaltmakta ve enerji arz güvenliğini güçlendirmektedir. Ayrıca ekonomik sürdürülebilirliğe de önemli katkılar sunmaktadır. Yeni sahaların keşfi ve üretim kapasitesinin artırılması, Türkiye'nin uzun vadeli enerji açısından stratejik öneme sahiptir. Bu çalışmalar Türkiye'nin yerli enerji kaynaklarını değerlendirme konusundaki kararlılığını ortaya koymaktadır. Özellikle Sakarya Gaz Sahası'ndaki rezervlerin tam kapasiteye ulaşip üretime geçmesiyle birlikte Türkiye'nin yıllık doğal gaz üretiminin önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir (Url-1, 2024). Ayrıca Şekil 3.5 incelendiğinde Sakarya Gaz Sahasında gerçekleştirilen günlük 7 milyon m³ üretim, yaklaşık 3 milyon hanenin doğal gaz ihtiyacını karşılamaktadır. Bu durum, Türkiye'nin enerji çeşitliliği ve sürdürülebilirlik politikaları açısından kritik bir rol üstlenmektedir. 2026 yılı için öngörülen 20 milyon m³'lük günlük üretim hedefi, enerji arz güvenliğini sağlama ve ithalat bağımlılığını azaltma stratejileriyle uyumlu bir şekilde belirlenmiş olup 2028 yılında bu sahadan elde edilecek üretimin, Türkiye'nin doğal gaz ihtiyacının önemli bir kısmını karşılaması öngörülmektedir (Çağatay ve Erkalın, 2025).

The Energy Institute'nin 2024 yılında yayımladığı rapora göre 2022 yılında küresel doğal gaz piyasasında görülen rekor seviyelerin ardından, Avrupa ve Asya'da doğal gaz fiyatları ortalama %30 oranında düşerek 13 ABD doları/milyon İngiliz termal birimi (mmBtu) seviyesine gerilemiştir. ABD'de Henry Hub doğal gaz fiyatları ise %60 oranında azalmış ve yıllık ortalama 2,5 ABD doları/mmBtu seviyesine inerek 2019 yılındaki COVID-19 pandemi öncesi seviyelere dönmüştür. 2023 yılında ise küresel doğal gaz üretimi büyük ölçüde sabit kalırken ABD en büyük üretici olarak dünya arzının dörtte birini karşılamıştır. Buna karşılık, Avrupa'da üretim %7, Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) bölgesinde ise %4 oranında azalmıştır. Ülke bazında değerlendirildiğinde, Rusya Federasyonu doğal gaz üretiminde %5'lik düşüşle (32 milyar metreküp, bcm) doğal gaz üretim kaybı yaşamıştır. Küresel LNG arzı 2023 yılında %2 artarak (10 bcm) toplamda 549 bcm seviyesine ulaşmıştır. ABD, Katar'ı geride bırakarak dünyanın en büyük LNG ihracatçısı konumuna yükselmiş ve LNG arzını yaklaşık %10 artırırken Katar'ın LNG ihracatı %2 oranında azalmıştır. Buna ek olarak Rusya Federasyonu'nun hem LNG hem de boru hattı ihracatında düşüş yaşanmış, LNG ihracatı %2 (0,8 bcm), boru hattı ihracatı ise %24 (30 bcm) oranında azalmıştır. Küresel doğal gaz talebi 2023 yılında yalnızca 1 bcm artış göstermiş olup bu artış %0,02 seviyesinde kalarak 2019 yılı COVID-19 pandemi öncesi seviyelerinin ancak biraz üzerine çıkmıştır. Doğal gaz küresel fosil yakıt tüketimindeki payı 2019 yılına kıyasla %0,5 oranında azalmıştır. LNG talebindeki artış büyük ölçüde Asya-Pasifik bölgesinden

kaynaklanmış; Çin, Hindistan ve OECD üyesi olmayan Asya-Pasifik ülkelerinin talebi sırasıyla 11 bcm, 2,6 bcm ve 7,6 bcm artış göstermiştir. Buna karşılık, Avrupa ve OECD üyesi Asya-Pasifik ülkelerinin LNG ithalatı sırasıyla 3 bcm ve 11 bcm azalmıştır. Çin, 2023 yılı itibarıyla dünyanın en büyük LNG ithalatçısı konumunu yeniden kazanmış, Japonya ve Güney Kore onu takip etmiştir. Bu üç ülke birlikte küresel LNG ticaretini yaklaşık %45'ini oluşturmaktadır. Küresel doğal gaz boru hattı ticareti 2023 yılında yaklaşık %8 (35 bcm) oranında azalmış, Avrupa'nın boru hattı ile doğal gaz ithalatı ise %26 (40 bcm) düşüş göstermiştir. Bu azalışın %91'i Rusya Federasyonu'ndan yapılan tedarikteki düşüşten kaynaklanmıştır (URL-32, 2024).

3.5. Kömür

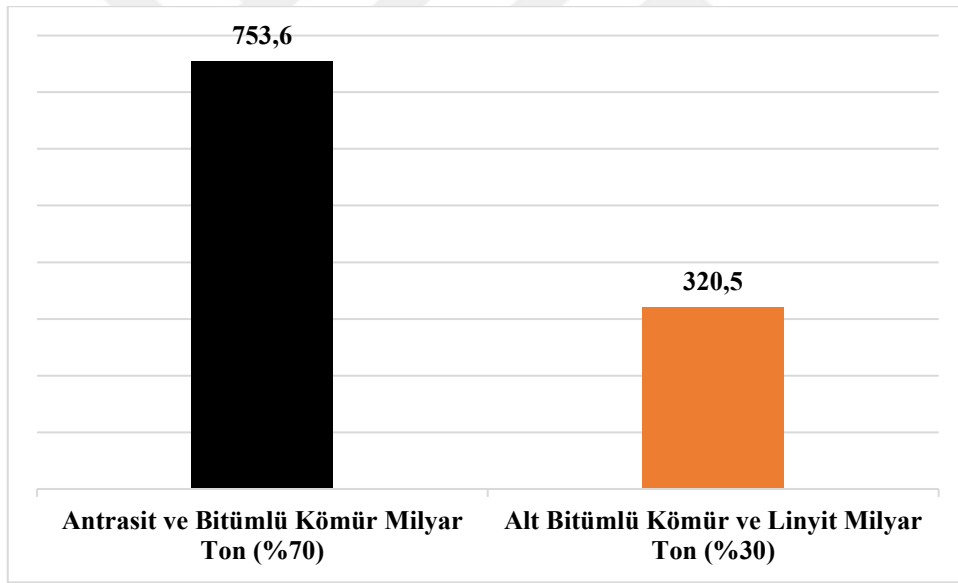
Yukarıda doğal gaz alanında yaşanan gelişmeler incelendikten sonra küresel enerji piyasasında kömürün de kritik bir rol oynamaya devam ettiği ve önemini koruduğu görülmektedir.

Tarihsel kaynaklara göre kömür, insanlık tarafından ilk kez MÖ dönemlerde Çin'de kullanılmaya başlanmıştır. Bu döneme ilişkin bazı bulgular, kömürün erken dönemlerde bir yakıt olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Ünlü seyyah Marco Polo'nun 13. yüzyılda Çin'e gerçekleştirdiği ziyareti sırasında kömürü gözlemlediği ve bu madeni, karşılaştığı en dikkat çekici unsurlardan biri olarak tanımladığı ifade edilmektedir. Kömürün varlığına ve kullanımına ilişkin ilk yazılı belgeler ise 12. yüzyıla dayanmaktadır. Ancak kömürün enerji üretiminde yaygın ve sistematik biçimde kullanılmaya başlanması, Sanayi Devrimi ile birlikte, özellikle 18. yüzyılın ikinci yarısında gerçekleşmiştir (Yıldız, 2006).

Küresel enerji üretiminin temel bileşenlerinden biri olan kömür, sanayileşme sürecinden günümüze kadar stratejik önemini sürdüren bir enerji kaynağı olarak varlığını korumaktadır. Ekonomik ve endüstriyel kalkınma süreçlerinde kritik bir rol üstlenen bu fosil yakıtın öngörülebilir gelecekte de enerji politikalarındaki belirleyici etkisini sürdüreceği öngörülmektedir. Tarihsel süreçte farklı medeniyetler tarafından kültürel ve sembolik anlamlar yüklenen kömür, çeşitli coğrafyalarda yüzyıllardır tüketilmeye devam etmekte olup bu durum söz konusu kaynağın tarihsel önemini ortaya koymaktadır. Sanayileşme öncesi dönemlerden itibaren insanlığın temel ihtiyaçlarını karşılamada kritik bir işlev üstlenen kömür, endüstriyel dönüşümle birlikte ekonomik gelişimin vazgeçilmez unsurlarından biri

hâline gelmiştir. Genellikle siyah, koyu gri veya kahverengi tonlarında; parlak ya da mat görünüme sahip olan kömür, organik ve inorganik bileşenlerden oluşan tortul bir kayadır. İçeriğinde ise belirli oranlarda serbest su, bünye suyu, metan gibi uçucu gazlar bulunmaktadır. Organik bileşenler, kömürün ağırlıkça en az %50'sini, hacimce ise %70'ini oluşturmaktadır. Bu yapı, geçmişte bataklık veya benzeri sulak ortamlarda yaşamış, karbon, hidrojen, oksijen ile az miktarda azot ve kükürt gibi elementleri içeren karmaşık bir bileşimden meydana gelmektedir (URL-35, 2023).

Kömür, enerji üretiminin yanı sıra ısınma, demir-çelik ve çimento sanayileri ile çeşitli endüstriyel süreçlerde temel bir girdi olarak kullanılmaktadır. 2023 yılı verilerine göre kömür küresel birincil enerji tüketiminin %26,5'ini oluşturarak petrolün ardından ikinci sırada yer almıştır. Elektrik üretiminde ise %35,1'lik pay ile en büyük enerji kaynağı konumundadır (URL-22, 2025).

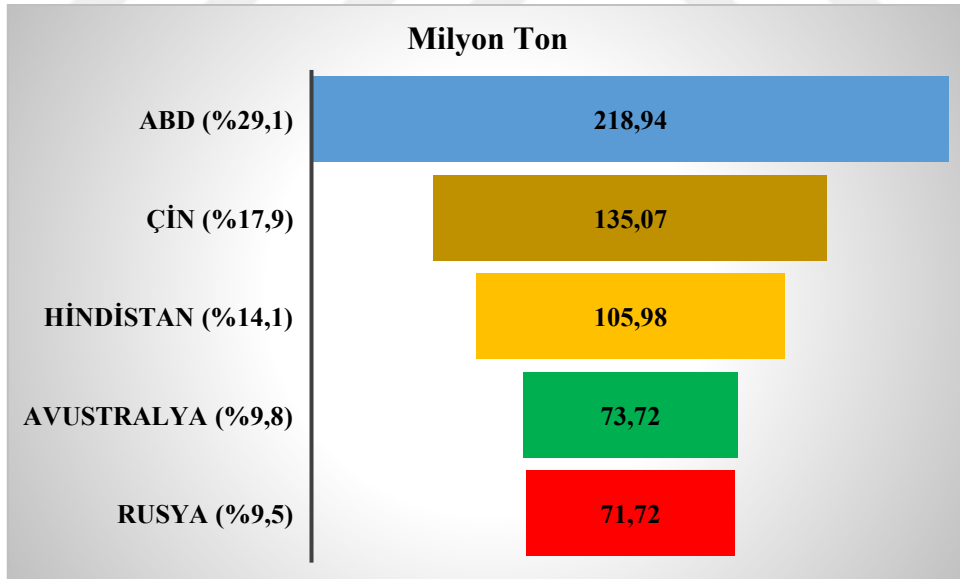


Şekil 3.8: Kategorilere göre dünya kömür rezerv dağılımı

Şekil 3.8'de The Energy Institute tarafından yayımlanan 2024 yılı verilerine göre 2020 yılı sonu itibarıyla dünya genelindeki toplam görünür kömür rezervleri 1,07 trilyon ton olarak hesaplanmıştır. Bu rezervlerin yaklaşık 753,6 milyar tonluk kısmı (%70) antrasit ve bitümlü kömürlerden (taşkömürü), kalan 320,5 milyar tonluk bölümü ise (%30) alt bitümlü kömürler ve linyitlerden oluşmaktadır (URL-22, 2025).

2022 yılında kaydedilen rekor seviyelerin ardından, kömür fiyatları ortalama %46 oranında

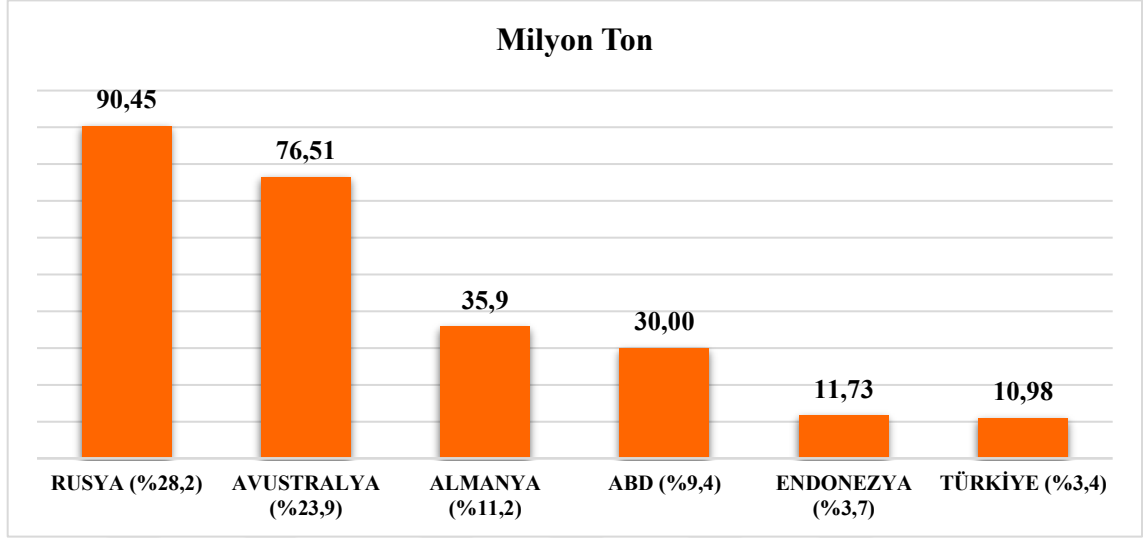
düşüş göstermiştir. Avrupa pazarında teslim edilen kömürün fiyatı yaklaşık 130 ABD doları/ton iken Asya pazarında bu değer 125 ABD doları/ton seviyesinde gerçekleşmiştir. Aynı dönemde küresel kömür üretimi, bir önceki yılın rekorunu aşarak 179 exajoule (EJ) düzeyine ulaşmış ve tarihsel olarak en yüksek üretim seviyesine erişmiştir. Burada 1 EJ, 10^{18} joule enerjiye eşdeğer olduğu ve küresel enerji sektöründe önemli bir referans birimi olarak kabul edildiği not edilmelidir. Toplam üretimin yaklaşık %80'i Asya-Pasifik bölgesinde gerçekleşmiş olup bu üretim özellikle Avustralya, Çin, Hindistan, Endonezya gibi ülkelerde yoğunlaşmıştır. Buna paralel olarak küresel kömür tüketimi de artış göstermeye devam etmiş ve ilk kez 164 EJ seviyesini aşmıştır. 2022 yılına kıyasla %1,6 oranındaki bu artış son on yılın ortalama büyüme oranının yaklaşık yedi katına ulaşarak dikkat çekici bir eğilim ortaya koymuştur. Çin, küresel kömür tüketiminde liderliğini sürdürerek 2022 yılında kaydettiği kendi rekorunu aşmış ve dünya genelindeki toplam tüketimin %56'sını gerçekleştirmiştir. Öte yandan 2023 yılı itibarıyla Hindistan'ın kömür tüketimi, Avrupa ve Kuzey Amerika'nın toplam tüketimini ilk kez geride bırakmıştır. Söz konusu bölgelerdeki toplam tüketim 10 EJ seviyesinin altına düşmüş olup son on yıldır sürekli bir azalma eğilimi sergilemektedir (URL-30, 2024).



Şekil 3.9: Antrasit ve bitümlü kömür rezervlerinde dünya ülkelerinin payları

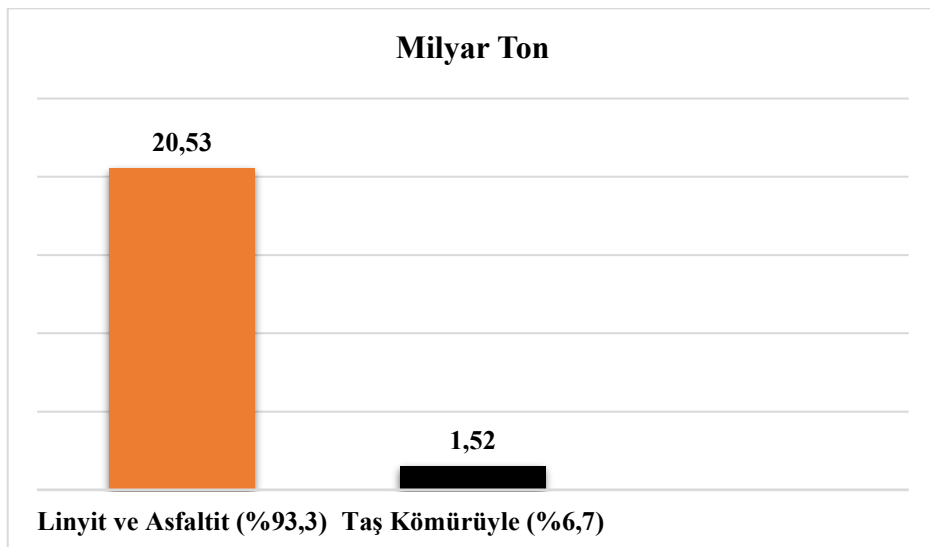
Şekil 3.9'da görüldüğü üzere dünya genelindeki antrasit ve bitümlü kömür rezervlerinin en büyük payı, %29,1'e karşılık gelen 218,94 milyar ton ile ABD'ye aittir. ABD'yi sırasıyla %17,9'luk payla 135,07 milyar ton rezerv bulunduran Çin, %14,1'lik payla 105,98 milyar ton rezerve sahip Hindistan, %9,8'lik pay ve 73,72 milyar ton rezerv ile Avusturalya,

%9,5’lik paya karşılık gelen 71,72 milyar tonluk rezerviyle de Rusya Federasyonu takip etmektedir (URL-22, 2025).



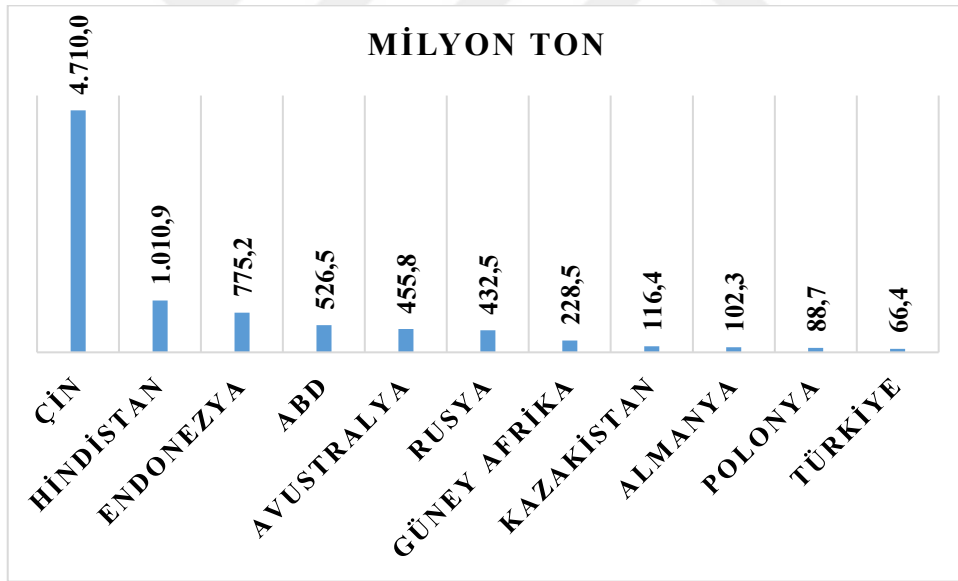
Şekil 3.10: Alt bitümlü kömür ve linyit rezervlerinde dünya ülkelerinin payları

Şekil 3.10’a göre küresel alt bitümlü kömür ve linyit rezervlerinin en büyük kısmı %28,2 oranı ve 90,45 milyar tonluk rezerv ile Rusya Federasyonu’na aittir. Bunu %23,9 ile Avustralya (76,51 milyar ton), %11,2 ile Almanya (35,90 milyar ton), %9,4 ile ABD (30,00 milyar ton), %3,7 ile Endonezya (11,73 milyar ton) ve %3,4 ile Türkiye (10,98 milyar ton) izlemektedir. Bu veriler, küresel kömür rezervlerinin coğrafi olarak belirli bölgelerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır (URL-22, 2025).



Şekil 3.11: 2023 yılı Türkiye’nin kömür kaynakları dağılımı

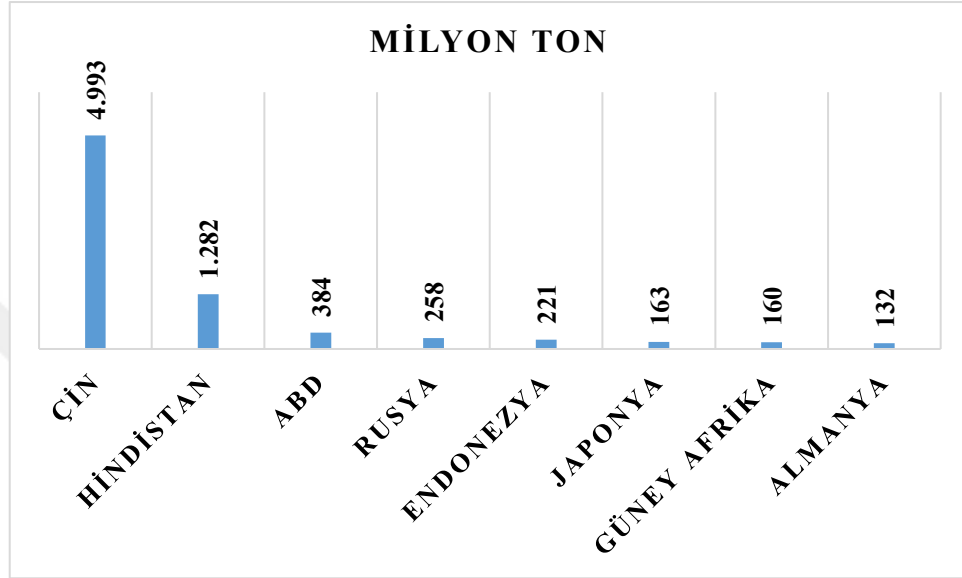
Şekil 3.11 incelendiğinde, Türkiye'nin toplam kömür rezervinin yaklaşık 22 milyar ton olduğu, bu miktarın %93,3'ünü (20,53 milyar ton) linyit ve asfaltitin, %6,7'sini (1,52 milyar ton) ise taş kömürünün oluşturduğu görülmektedir. Taş kömürünün alt ısı değeri 6.200-7.250 kcal/kg aralığında değişirken linyitin alt ısı değeri 1.000-4.200 kcal/kg arasında farklılık göstermektedir. Özellikle linyit rezervlerinin yaklaşık %79'u 2.500 kcal/kg'nin altında bir enerji değerine sahiptir (URL-22, 2025). Bu durum, linyit kaynaklarının enerji üretiminde düşük verimlilikle kullanılmasına neden olmaktadır. Türkiye, linyit rezervleri açısından küresel ölçekte orta düzeyde yer alırken taş kömürü (antrasit) rezervleri bakımından daha düşük bir seviyede bulunmaktadır. Ülkedeki en önemli taş kömürü rezervleri Zonguldak ve çevresinde yoğunlaşmış olup bu bölge uzun yıllardır taş kömürü madenciliğinin merkezi konumundadır. Ancak rezervlerin sınırlı olması ve yüksek üretim maliyetleri nedeniyle taş kömürünün enerji üretimindeki payı oldukça düşüktür. Öte yandan, linyit rezervleri yaygın olmakla birlikte, düşük ısı değerleri sebebiyle enerji verimliliği açısından dezavantajlıdır (URL-49, 2023).



Şekil 3.12: 2023 Yılı küresel kömür üretiminde önde gelen ülkeler

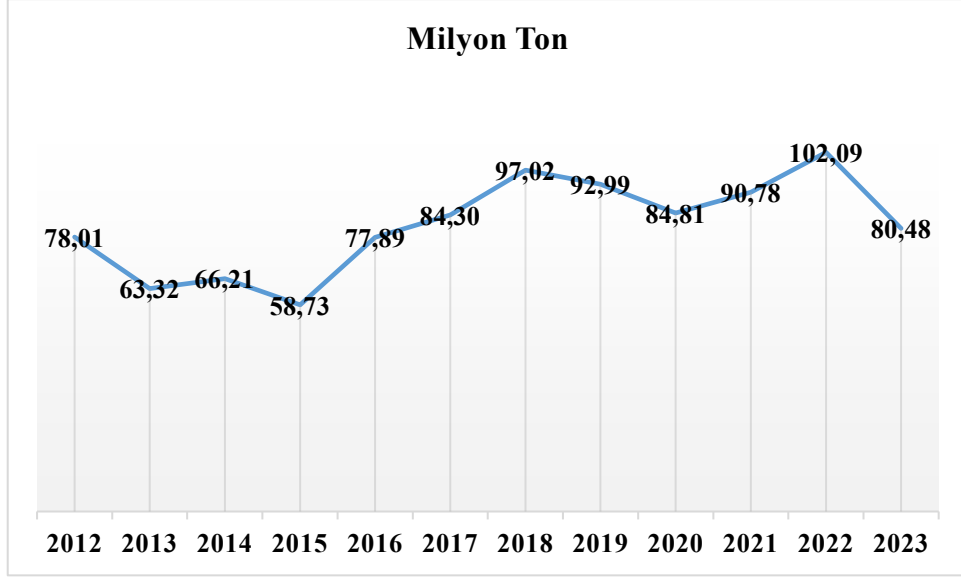
Kömür, küresel enerji üretiminde önemini koruyan bir fosil yakıt olmaya devam etmektedir. 2023 yılına ait küresel kömür üretim verileri incelendiğinde, üretimin büyük ölçüde sınırlı sayıda ülke tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. Şekil 3.12'de yer alan verilere göre Çin, 4.710 milyon tonluk üretimiyle açık ara en büyük kömür üreticisi konumundadır. Çin'i sırasıyla Hindistan (1.010,9 milyon ton), Endonezya (775,2 milyon ton), ABD (526,5 milyon ton) ve Avustralya (455,8 milyon ton) takip etmektedir. Türkiye ise 66,4 milyon tonluk

üretimiyle küresel sıralamada daha alt seviyelerde yer almaktadır (URL-17, 2025; URL-30, 2024). Bu üretim dağılımı, ülkelerin kömür rezerv potansiyelleri, sanayi altyapılarına ve enerji politikaları doğrultusunda şekillenmektedir. Özellikle Çin ve Hindistan gibi ülkeler, yüksek sanayileşme düzeyleri ve artan enerji talebi nedeniyle üretimde üst sıralarda yer almaktadır.



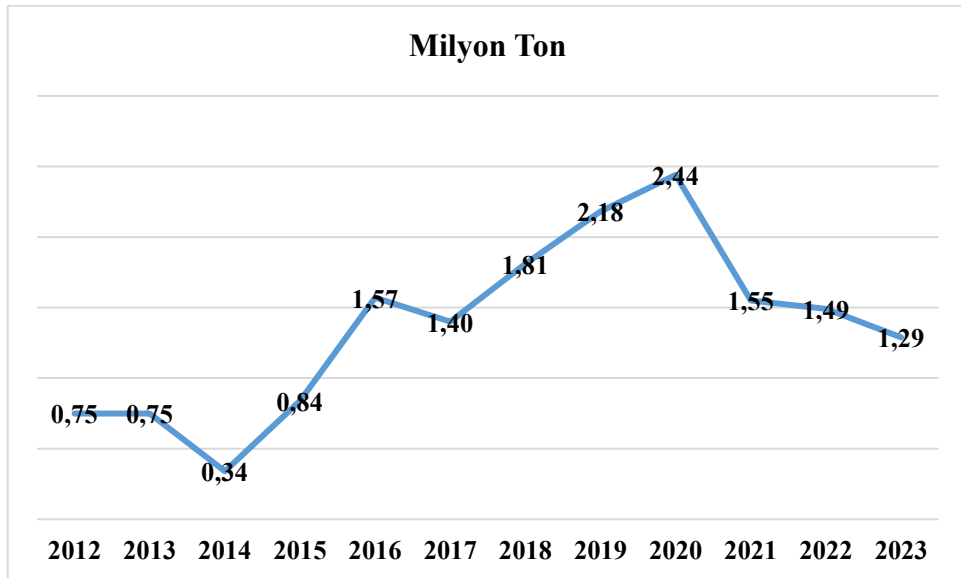
Şekil 3.13: 2023 Yılı küresel kömür tüketiminde öne çıkan ülkelerin karşılaştırmalı dağılımı

Şekil 3.13'te görüldüğü üzere 2023 yılı, küresel kömür tüketimi açısından tarihi bir artış yılı olmuş ve toplam tüketim, 8.770 milyon ton ile rekor seviyeye ulaşmıştır. Bu tüketimin %57'si, 4.993 milyon ton ile tek başına Çin tarafından gerçekleştirilmiştir (URL-22, 2025). Çin'i 1,282 milyon ton ile Hindistan takip etmektedir. Diğer önemli tüketici ülkeler arasında ABD, Rusya Federasyonu, Endonezya, Japonya, Güney Afrika ve Almanya yer almaktadır. Bu ülkelerin tüketim düzeyleri, Çin ve Hindistan'ın küresel kömür piyasasındaki baskın konumu açıkça ortaya koymaktadır.



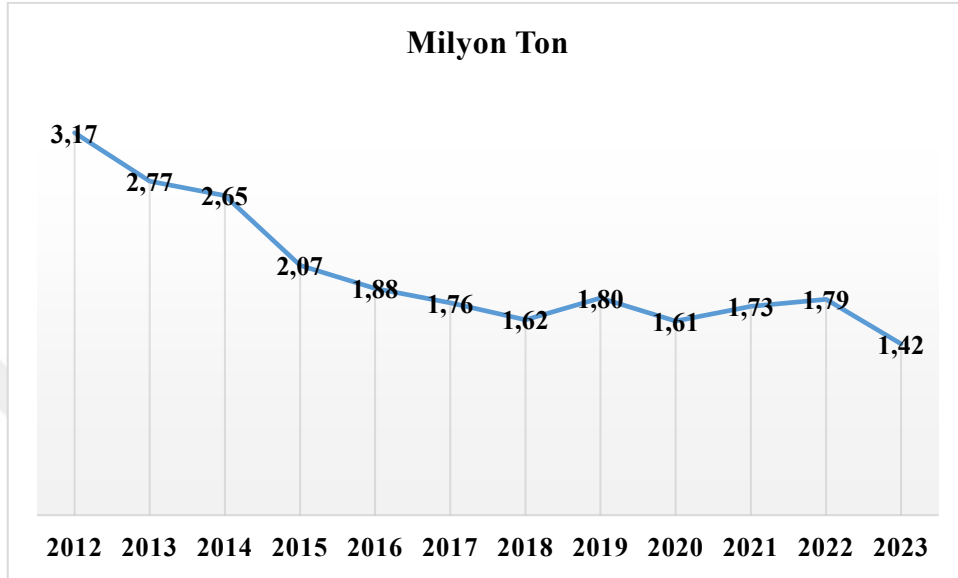
Şekil 3.14: 2012-2023 Yılları Türkiye'nin yıllık linyit üretim miktarları

Şekil 3.14, Türkiye'nin 2012-2023 yılları arasındaki linyit üretimini milyon ton bazında göstermektedir. Verilere göre üretimde dalgalanmalar yaşanmıştır. 2012 yılında 78,01 milyon ton olan üretim, 2015 yılında 58,73 milyon tona gerileyerek dönemin en düşük seviyesini görmüştür. 2016 yılından itibaren toparlanma başlamış, 2018'de 97,02 milyon ton ile zirveye ulaşmıştır. 2020 yılında COVID-19 pandemisinin etkisiyle enerji talebinde yaşanan düşüş, üretimi 84,81 milyon tona geriletmiştir. 2022 yılında ise üretim 102,09 milyon ton ile tüm zamanların en yüksek seviyesine ulaşmış ancak 2023'te 80,48 milyon tona düşerek yeniden gerileme eğilimine girmiştir.



Şekil 3.15: 2012-2023 Yılları Türkiye'nin yıllık asfaltit üretim miktarları

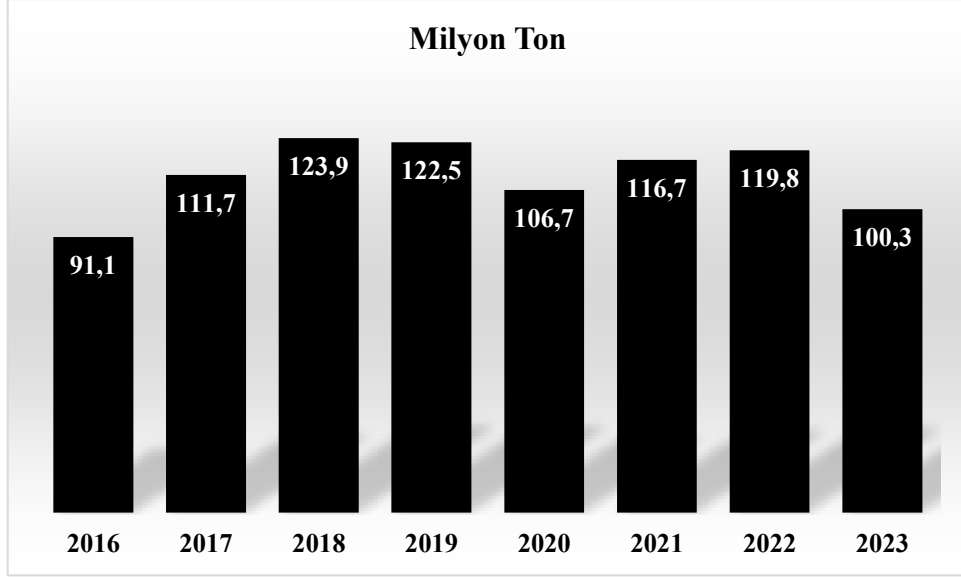
Şekil 3.15'e göre Türkiye'nin asfaltit üretimi 2012-2023 yılları arasında dalgalı bir seyir izlemiştir. 2012 ve 2013'te 0,75 milyon ton seviyesinde sabit kalan üretim, 2014'te 0,34 milyon tona düşerek en düşük seviyeye gerilemiştir. 2020 yılında 2,44 milyon ton ile zirveye ulaşmış, ardından üretim azalmaya başlamıştır. 2023 yılında ise 1,29 milyon ton seviyesinde.



Şekil 3.16: 2012-2023 Yılları Türkiye'nin yıllık taş kömürü üretim miktarları

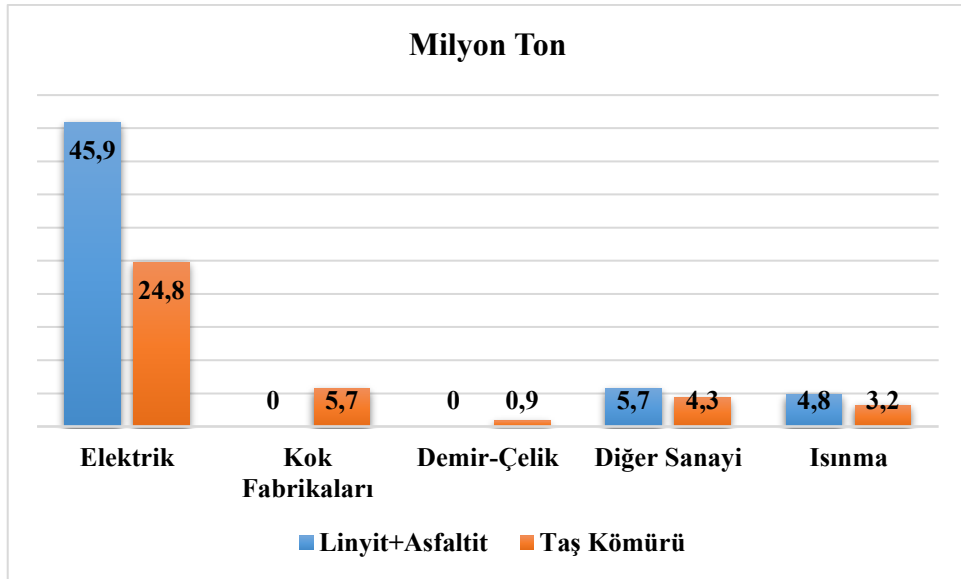
Şekil 3.16 incelendiğinde, Türkiye'nin taş kömürü üretim miktarında genel olarak azalan bir eğilim gözlemlenmektedir. 2012 yılında 3,17 milyon ton olan üretim, 2015'te 2,07 milyon tona; 2018'de ise 1,62 milyon tona gerilemiştir. 2022 yılında 1,79 milyon tona kadar çıkan üretim, 2023'te tekrar düşüş göstererek 1,42 milyon tona inmiştir. Bu veriler, taş kömürü üretiminin uzun vadede azalan bir trend sergilediğini ortaya koymaktadır.

2023 yılı itibarıyla Türkiye'de gerçekleştirilen toplam tüvenan kömür üretimi, 80,5 milyon tonu linyit (Şekil 3.14), 1,3 milyon tonu asfaltit (Şekil 3.15) ve 1,4 milyon tonu ise taş kömürü (Şekil 3.16) olmak üzere toplamda 83,2 milyon ton olarak kaydedilmiştir (URL-22, 2025; URL-49, 2023).



Şekil 3.17: 2016-2023 Yılları Türkiye'nin yıllık kömür tüketim miktarları

Şekil 3.17'ye göre Türkiye'nin yıllık kömür tüketimi 2016-2023 döneminde dalgalı bir seyir izlemiştir. 2016 yılında 91,1 milyon ton olan kömür tüketimi, 2018'de 123,9 milyon tonla zirveye ulaşmıştır. 2020'de 106,7 milyon tona gerileyen tüketim, 2022'de 119,8 milyon tona yükselmiş ancak 2023 yılında yeniden düşüşe geçerek 100,3 milyon tona inmiştir. Bu veriler, kömür tüketiminde belirgin iniş çıkışların yaşandığını göstermektedir. 2019-2023 yılları arasında taş kömürü, taş kömürü koku, linyit ve asfaltit dahil yıllık ortalama kömür tüketimi yaklaşık 113 milyon ton seviyesinde gerçekleşmiştir (URL-22, 2025).



Şekil 3.18: 2023 Yılı Türkiye'nin kömür tüketimin sektörlere göre dağılımı

Şekil 3.18'e göre Türkiye'de hem linyit ve asfaltit hem de taş kömürü tüketiminde en büyük pay, termik santrallere aittir. 2023 yılı verilerine göre, toplam 100,3 milyon ton olan kömür tüketiminin 56,6 milyon tonunu linyit ve asfaltit, 38,9 milyon tonunu taş kömürü, 4,8 milyon tonunu ise taş kömürü koku oluşturmaktadır. Linyit ve asfaltit tüketiminin %81,3'ü, taş kömürü tüketiminin ise %63,7'si termik santrallerde gerçekleşmiştir (URL-22, 2025). Bu durum, Türkiye'nin elektrik üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığını açıkça ortaya koymaktadır. Sanayi sektörü içerisinde kok fabrikaları, toplam kömür tüketimi açısından önemli bir paya sahiptir. Özellikle taş kömürü tüketiminde 5,7 milyon ton ile ikinci sırada yer almaktadır. Demir-çelik sektöründe ise taş kömürü tüketimi 0,9 milyon ton iken, linyit ve asfaltit bu sektörde kullanılmamaktadır. Isınma amaçlı kömür tüketimi daha düşük düzeyde kalmış, linyit ve asfaltit için 4,8 milyon ton, taş kömürü için 3,2 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Diğer sanayi sektörlerinde linyit ve asfaltit tüketimi, 5,7 milyon ton, taş kömürü tüketimi ise 4,3 milyon ton düzeyindedir. Tüm bu veriler değerlendirildiğinde, Türkiye'de kömür tüketiminin büyük oranda enerji üretimine dayalı olduğu, termik santrallerin talebinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sanayi sektörü özellikle taş kömürü açısından önemli bir tüketici konumundayken linyit ve asfaltitin sanayi içinde daha sınırlı kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması, Türkiye'nin enerji arz güvenliğini sağlaması ve fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltması açısından stratejik önem taşımaktadır.

3.6. Fosil Yakıtların Avantajları

Fosil yakıtlar, uzun yıllardır küresel enerji ihtiyacının karşılanmasında temel kaynaklardan biri olmuştur. Teknolojik altyapının büyük ölçüde bu kaynaklara göre şekillenmiş olması, kullanım kolaylığı ve yüksek enerji verimliliği gibi unsurlar, fosil yakıtların enerji sistemleri içerisindeki önemini günümüzde de artırmaktadır. Her ne kadar çevresel sürdürülebilirlik bağlamında çeşitli tartışmalara konu olsa da fosil yakıtlar, hâlen birçok ülke için ekonomik ve stratejik açıdan çeşitli avantajlar sunmaya devam etmektedir. Bu avantajlar, özellikle enerji güvenliği, altyapı uyumluluğu ve ekonomik erişebilirlik gibi temel faktörler çerçevesinde değerlendirildiğinde daha net bir biçimde ortaya çıkmaktadır.

Aşağıda fosil yakıtların öne çıkan avantajları maddeler hâlinde sunulmaktadır:

- Enerji arz güvenliği açısından güvenilir ve istikrarlı bir kaynak olması,

- Yüksek enerji yoğunluğu sayesinde birim hacimde daha fazla enerji sağlayabilmesi,
- Kolay taşınabilir olması ve farklı coğrafyalara rahatlıkla ulaştırılabilmesi,
- Uzun süreli depolana bilirligi sayesinde uzun vadeli kullanılabilirliğini koruması,
- Diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha düşük maliyetli olması,
- Küresel ölçekte sınırlı kaynaklar arasında yer alsa da birçok ülkede yoğun şekilde bulunması,
- Ekonomik büyümeye katkı sağlaması ve geniş istihdam olanakları sunması,
- Yoğun rezervlere sahip ülkelerde enerji bağımsızlığına katkı sağlayarak stratejik üstünlük sağlaması,
- Endüstri, ulaşım, ısınma ve elektrik üretimi gibi birçok alanda yaygın şekilde kullanılabilmesi,
- Mevcut enerji altyapısıyla tam uyumlu olması nedeniyle ek sistem yatırımı gerektirmemesi,
- Enerji dönüşüm süreçlerinde yüksek verimlilik sağlaması ve enerji talebine hızlı yanıt verebilmesi,
- Uluslararası ticarete önemli bir yer tutarak ülkeler arası ekonomik ilişkilerin gelişimine katkıda sağlaması,
- Dış ticaret dengesi açısından önemli bir döviz gelir kaynağı oluşturması ve cari açığın azaltılmasına katkı sunması.

3.7. Fosil Yakıtların Dezavantajları

Fosil yakıtlar, sağladığı avantajlar ve enerji arzı üzerindeki etkisiyle birçok ülke için önemli bir kaynak konumunda olmakla birlikte; çevresel, sağlık, ekonomik ve stratejik açılardan önemli sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlar, fosil yakıtların kullanımının sürdürülebilirlik bağlamında giderek daha fazla sorgulanmasına neden olmaktadır.

Aşağıda fosil yakıtların başlıca dezavantajları aşağıda maddeler hâlinde sunulmaktadır:

Fosil yakıtların çıkarılması sırasında gerçekleştirilen madencilik ve sondaj faaliyetleri, doğal yaşam alanlarının bozulmasına, biyolojik çeşitliliğin azalmasına ve toprak yapısında

meydana gelen tahribatlar nedeniyle ekosistem dengesinin bozulmasına yol açmakta; ayrıca bu süreçlerde çalışan bireylerde solunum yolu hastalıkları, kalp- damar rahatsızlıkları ve kanser gibi ciddi sağlık sorunları görülebilmektedir.

Yakıtların yanması sonucunda açığa çıkan sera gazları, iklim değişikliğini hızlandırmakta ve küresel ısınmayı tetiklemektedir.

Fosil yakıtların üretimi ve rafinasyonu sırasında su kaynakları önemli ölçüde kirlenmekte; yeraltı ve yüzey sularına karışan kimyasallar, suyun doğal bileşimini bozarak ekosistem üzerinde kalıcı tahribatlara neden olabilmektedir.

Atmosfere salınan karbondioksitin bir kısmı okyanuslar tarafından emilmekte, bu durum okyanus asitlenmesine yol açarak deniz canlılarının yaşamını tehdit etmekte ve deniz ekosistemlerinde bozulmalara neden olmaktadır.

Fosil yakıt kullanımına dayalı enerji üretim sistemleri, özellikle hava kirliliği yoluyla sağlık üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler oluşturmaktadır. Bu etkiler, başta çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı bulunan bireyler olmak üzere toplumun genelinde sağlık risklerini artırmaktadır.

Fosil yakıtların fiyatlarında uluslararası piyasalarda yaşanan dalgalanmalar, enerji arz güvenliği açısından belirsizlikler yaratmakta; savaşlar, siyasi krizler ve arz-talep dengesizlikleri ise tekelleşmeye ve fiyatların istikrarsızlığına neden olmakta, bu da üretim maliyetlerine olumsuz yönde yansımaktadır.

Dışa bağımlı ülkelerde fosil yakıt fiyatların yüksek seyretmesi ekonomik büyümeyi olumsuz etkilerken, düşük fiyat dönemlerinde ise üretici ülkeler ekonomik daralma riskiyle karşı karşıya kalabilmektedir.

Fosil yakıtların rezervlerinin belirli coğrafi bölgelerde yoğunlaşması, enerji ithalatçısı ülkelerde dışa bağımlılığı artırmakta ve bu durum ekonomik ve stratejik kırılganlıkları beraberinde getirmektedir.

Enerji arzında yaşanabilecek tedarik zinciri aksamaları, özellikle ithalatçı ülkeleri ekonomik

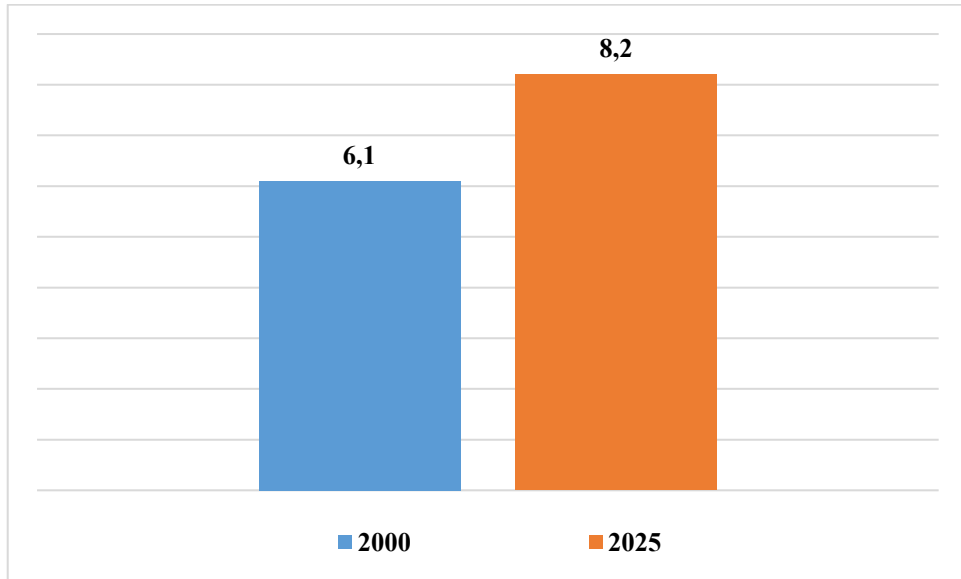
ve ulusal güvenlik açısından savunmasız hâle getirebilmektedir.

Fosil yakıt kaynaklarının çoğunlukla jeopolitik ve jeostratejik açıdan hassas bölgelerde yer alması, bu kaynaklar üzerindeki hâkimiyet mücadelelerini körüklemekte ve uluslararası siyasi gerilimlere zemin hazırlamaktadır.

Enerji kaynaklarına erişim konusunda yaşanan rekabet, diplomatik ilişkileri olumsuz yönde etkileyerek küresel düzeyde siyasi ve ekonomik istikrarlara yol açabilmektedir.

3.8. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türleri

Toplumların enerjiye yönelik artan talebi, büyük ölçüde geleneksel enerji kaynaklarıyla karşılanmakta olup (Aydın, 2021); bu talep, dünya nüfусundaki artış, sanayileşme, sağlık hizmetlerindeki gelişmeler ve yaşam koşullarının iyileşmesi gibi etkenlerle birlikte hızla artmaya devam etmektedir. 2000 yılında 6,1 milyar olan küresel nüfus (Çıtak ve Kılınç Pala, 2016), 2025 yılı mart ayı itibarıyla 8,2 milyara ulaşmıştır (URL-50, 2025). Nüfus artışındaki bu ivmelenme, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmakta, enerji talebini yükseltmekte ve sürdürülebilir kalkınma politikalarının önemini daha da ön plana çıkarmaktadır. Şekil 3.3'te dünya nüfусundaki artış oranları görselleştirilmiş olup bu değişimin yıllara göre dağılımı ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır.



Şekil 3.19: Dünya nüfus oranı

Artan enerji ihtiyacının karşılanması, ekonomik gelişmeler ve çevresel sürdürülebilirliğe yönelik endişeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ilgiyi küresel ölçekte belirgin biçimde artırmıştır (Kavcıoğlu, 2019). Bu ilginin artmasında etkili olan önemli gelişmelerden biri ise 1990'lı yıllarda çevre bilincinin yükselmesidir. Çevresel farkındalığın artmasıyla birlikte, geleneksel enerji üretim ve tüketim faaliyetlerinin çevre, doğal kaynaklar ve ekosistem üzerinde yerel, bölgesel ve küresel ölçekte ciddi olumsuz etkiler yarattığı anlaşılmıştır. Bu durum, atmosfere zararlı emisyon salımı gerçekleştirmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının “temiz enerji” olarak ön plana çıkmasına ve daha geniş ölçekte desteklenmesine zemin hazırlamıştır (Seydiogullari, 2013).

Doğal süreçler sonucunda kendiliğinden yenilenebilen bu kaynaklar, süreklilik gösteren yapıları sayesinde fosil yakıtların aksine tükenme riski taşımadan uzun vadeli enerji arzı sağlayabilmektedir (Arı, 2023). Bu potansiyelin etkin şekilde değerlendirilebilmesi ise büyük ölçüde yenilenebilir enerji teknolojilerinde son dönemde kaydedilen ilerlemelere bağlıdır. Özellikle güneş, rüzgâr ve biyoenerji teknolojilerindeki gelişmeler, bu enerji türlerinin daha verimli, ekonomik ve yaygın bir şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. Güneş fotovoltaik sistemlerinde sağlanan verimlilik artışları, maliyetlerin düşmesine katkı sağlamakta; aynı zamanda bu sistemlerin farklı iklim koşullarında uygulanabilirliğini artırarak kullanım alanlarını genişletmektedir. Benzer şekilde, modern rüzgâr türbinleri daha düşük rüzgâr hızlarında dahi yüksek verimle çalışabilecek şekilde tasarlanması hem kara hem de deniz üzeri kurulumlarda enerji üretimini daha verimli hâle gelmesini mümkün kılmaktadır. Öte yandan, yenilenebilir enerji kaynaklarının doğasında bulunan süreksizlik sorununun giderilmesi amacıyla geliştirilen enerji depolama teknolojileri ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda; lityum-iyon piller, akış pilleri ve diğer yenilikçi depolama çözümleri, enerji arz güvenliğini sağlamak ve elektrik şebekelerinin istikrarını desteklemek açısından stratejik bir rol üstlenmektedir. Söz konusu teknolojik ilerlemeler, yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaştırılması ve enerji dönüşüm sürecinin hızlandırılması bakımından kritik katkılar sunmaktadır (Oladapo vd., 2025).

Yenilenebilir enerji kaynakları, bireysel ve endüstriyel düzeyde olmak üzere; konutlarda, iş yerlerinde ve enerji üretim tesislerinde etkin bir biçimde kullanılabilir (Şahin ve Şahin, 2024).

Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmelerin sunduğu olanaklar, bu kaynakların

çeşitliliğiyle birleştğinde enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu alternatiflerin artmasını sağlamaktadır. Bu çerçevede, yenilenebilir enerji kaynakları; doğrudan ya da dolaylı olarak doğadan elde edilen ve sürekli olarak kendini yenileyebilen enerji türlerinden oluşmaktadır. Söz konusu bu kaynaklar, sahip oldukları niteliklere göre çeşitli kategorilere ayrılmakta ve her biri farklı teknolojik sistemlerle enerjiye dönüştürülmektedir. Bu bağlamda, aşağıdaki alt başlıklarda güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle ve dalga enerjisi olmak üzere başlıca yenilenebilir enerji türleri ayrı ayrı ele alınacaktır.

3.8.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisinin insanlar tarafından ilk kez bilinçli bir biçimde kullanımı, tarihsel kaynaklara göre MÖ 700'lü yıllara kadar uzanmaktadır. Bu dönemde, bireyler güneş ışınlarını basit mercekler aracılığıyla odaklanarak ateş yakmayı başarmışlardır. MÖ 300'lü yıllara gelindiğinde ise Antik Yunan ve Roma toplumlarında, “yanan aynalar” olarak adlandırılan parabolik yüzeyli aynalar yardımıyla meşalelerin tutuşturulduğu bilinmektedir. Benzer uygulamaların MÖ 20 civarında Çin’de de uygulandığına dair çeşitli tarihi kayıtlarda yer almaktadır (URL-46, 2025). Bu gelişmeler, insanlık tarihinin erken dönemlerinde dahi güneş ışığını yönlendirme ve dönüştürme çabasının var olduğunu göstermektedir.

Fotovoltaik etkinin bilimsel temelleri, 1839 yılında Fransız fizikçi Edmond Becquerel’in, iletken bir sıvı içerisindeki elektrotların ışığa maruz bırakılması sonucunda elektrik ürettiğini gözlemlemesiyle atılmıştır. Becquerel’in bu öncü niteliğindeki çalışması, günümüzde yaygın olarak kullanılan fotovoltaik teknolojilerin gelişimine yönelik önemli bir bilimsel alt yapı oluşturmuştur (Aydın, 2025). Bu gelişmeyi takiben, 1877 yılında William Grylls Adams ve Richard Evans Day, katı hâlde bulunan selenyumda fotovoltaik etkiyi deneysel olarak gözlemlemişlerdir. 1883 yılında ise Charles Fritts tarafından, ince bir altın tabakası üzerine yerleştirilen selenyum malzemesi ile yaklaşık %1 verimliliğe sahip ilk güneş hücresini geliştirilmiştir. 1880’li yılların sonlarında Wilhelm Hallwachs, ise bakır ve bakır oksit kullanarak yarı iletken geçişli bir güneş hücresi üretmiş ve bu alandaki bilimsel ilerlemelere önemli katkılarda bulunmuştur (URL-22, 2025).

1905 yılında Albert Einstein, yayımladığı çalışmasında fotoelektrik etkiyi kuantum kuramı çerçevesinde açıklamış; bu katkısından dolayı 1921 yılı Nobel Fizik Ödülü’ne layık görülmüş ve ödül kendisine 1922 yılında takdim edilmiştir (URL-40, 2025). Bu teorik

temeller üzerine inşa edilen uygulamalı araştırmalar sonucunda, 1954 yılında Bell Laboratuvarlarındaki araştırmacılar, ilk pratik silikon p-n eklemli güneş hücresini geliştirmiştir. Söz konusu buluş, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilen ilk işlevsel yapı olması bakımından tarihsel bir dönüm noktası niteliği taşımaktadır. Bell Labs, bu yeniliği 25 Nisan 1954 tarihinde New Jersey, Murray Hill’de kamuoyuna tanıtmış; güneş panelleri aracılığıyla küçük bir oyuncak dönme dolap ve güneş enerjili bir radyo vericisini çalıştırılmasıyla teknolojinin işlevselliği görsel olarak sergilenmiştir. Bu gelişme, yalnızca bilimsel bir başarı olmakla kalmamış; aynı zamanda fotovoltaiik teknolojilerinin ticarileşmesi sürecinin de ilk adımı olmuştur. Günümüzde fotovoltaiik güneş teknolojilerinde en yaygın kullanılan malzeme hâlen silisyumdur. Yarı iletken özellik taşıyan pek çok element mevcut olmakla birlikte güneş hücresi üretiminde yüksek verimlilik ve dayanıklılık sağlayan bileşikler arasında silisyumun yanı sıra kadmiyum sülfür, galyum arsenit ve kadmiyum tellür öne çıkmaktadır (Aps.Org, 2025; URL-22, 2025).



Şekil 3. 20: Bell telephone system'in güneş pili teknolojisine ait 1956 yılı reklam afişi

Şekil 3.20’de 1954 yılında Bell Telephone Laboratories tarafından geliştirilen ilk pratik silikon güneş hücresi, yalnızca teknik anlamda değil, aynı zamanda toplumsal farkındalık açısından da önemli bir dönüm noktası olmuştur. Bu teknolojinin kamuoyuna tanıtımı, 1956 yılında National Geographic dergisinde yayımlanan bir reklam aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Reklamda, güneşin yaşam üzerindeki doğal etkilerinin yanı sıra insanlık için neredeyse sınırsız bir enerji kaynağı sunduğuna vurgu yapılmakta; güneş pili teknolojisinin özellikle telefon hizmetleri başta olmak üzere birçok alanda pratik çözümler sunabileceği ifade edilmektedir. Bu noktada dikkat çeken husus, teknolojik bir gelişmenin sadece bilimsel değil, aynı zamanda görsel iletişimle halka anlatılarak yaygınlaştırılmaya çalışılmasıdır. Bu reklam, güneş enerjisine yönelik kamu algısının şekillenmesinde öncü örneklerden biri olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla güneş enerjisi teknolojilerinin tarihsel gelişimini anlamak için yalnızca teknik evrim değil, aynı zamanda bu tür tanıtımlar aracılığıyla toplumsal kabul süreci de dikkate alınmalıdır.

Güneş pili teknolojisinin temelleri 19. yüzyılın sonlarında atılmış olsa da modern anlamda gelişmiş fotovoltaiik sistemlerin ortaya çıkışı 20. yüzyılda gerçekleşmiştir. 1954 yılında, güneş enerjisinin araştırılması ve yaygınlaştırılması amacıyla Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu (ISES) kurulmuş; aynı yıl içerisinde, elektrik üretimini mümkün kılan ilk modern güneş pili geliştirilmiştir. 1970’li yıllarda yaşanan enerji krizi ve petrol fiyatlarındaki sert artışlar, güneş enerjisi teknolojilerine olan ilgiyi küresel ölçekte artırmış ve bu alandaki yatırımların hızlanmasına zemin hazırlamıştır (URL-46, 2025).

Son yıllarda çevresel sorunların artması ve sürdürülebilir enerji ihtiyacının ön plana çıkmasıyla birlikte güneş enerjisinin küresel ölçekte kullanımı önemli ölçüde artış göstermiştir. Almanya, Çin, İspanya, ABD gibi ülkeler, güneş enerjisinden elektrik üretimi alanında öncü konumunda yer almaktadır. Bu kapsamda İspanya’nın Sevilla kentinde kurulu bulunan ve güneş enerjisi CSP tesisi, şebekeye entegre çalışmasıyla dikkat çeken ve güneş enerjisinin pratik uygulama alanlarındaki başarısını yansıtan örneklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Aşağıda şekil 3.21’de İspanya-Sevilla’daki güneş enerjisi santraline ait havadan bir görüntüsüne yer verilmiştir (Aydın, 2025).



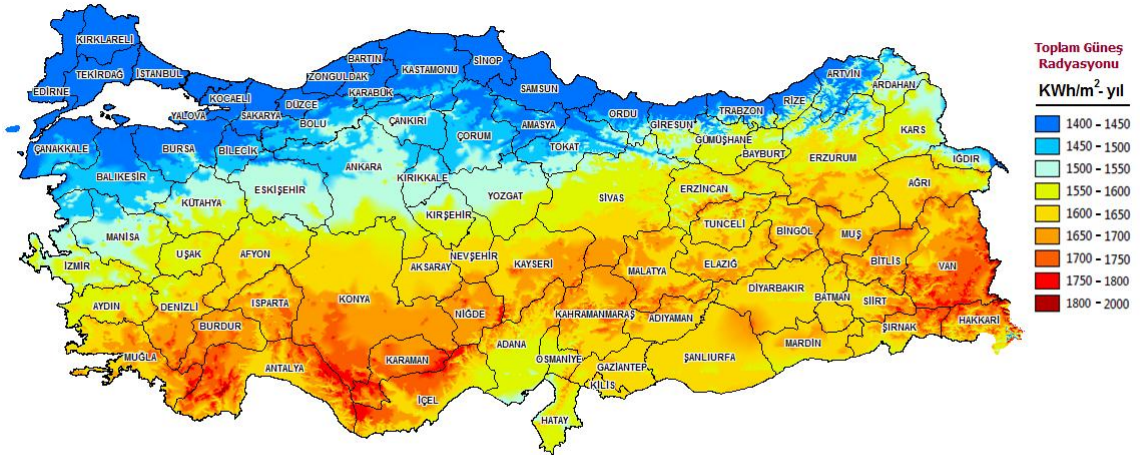
Şekil 3.21: İspanya'nın Sevilla kentinde yer alan ve CSP güneş enerjisi santralinin havadan görünümü (Aydın, 2025)



Şekil 3.22: Konya Karapınar güneş enerjisi santrali'nin genel görünümü (Mangırcıoğlu, 2023)

Şekil 3.22'de görüldüğü üzere Türkiye'nin enerji arz güvenliğini artırma ve yenilenebilir enerji kaynaklarını yaygınlaştırma stratejisi kapsamında hayata geçirilen Kalyon Karapınar GES yalnızca Türkiye'nin değil, aynı zamanda Avrupa'nın da en büyük GES olarak dikkat

çekmektedir. Yaklaşık 20 milyon m²'lik bir alan üzerine kurulan bu devasa tesis, yaklaşık 3,5 milyon adet fotovoltaik panel ile donatılmış olup çölleşme riski taşıyan ve tarımsal vasfını yitirmiş bir arazinin yeniden ekonomiye kazandırılması hedeflenmiştir. Kurulum süreci 2020 yılı ağustos ayında başlamış ve santral Mart 2023 itibarıyla tam kapasiteyle elektrik üretimine geçmiştir. Projede kullanılan fotovoltaik paneller, %80'in üzerinden yerlilik oranına sahip şekilde Ankara'da faaliyet gösteren Kalyon Güneş Teknolojileri Fabrikası'nda üretilmiş ve Karapınar Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA-1) kapsamında sahada kullanılmıştır. Ayrıca santralde, elektrik üretim verimliliğini artırmak amacıyla doğu-batı eksenli, tek eksenli güneş takip sistemleri (tracker) tercih edilmiştir. Bu sistem, sabit, açılı panel yerleşimine kıyasla yaklaşık %15 daha yüksek verimlilik sağlamaktadır. Toplam 1.350 megawatt peak (MWp) kurulu güce sahip olan Karapınar GES, yıllık bazda yaklaşık 3 milyar kilowatt saat (Kwh) elektrik üretme kapasitesi ile 2 milyon kişilik bir şehrin elektrik ihtiyacını buradan karşılayacak potansiyele sahiptir. Bu proje ile birlikte Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücünde %15 oranında artış sağlamış, ayrıca her yıl yaklaşık 1,7 milyon tonluk karbon emisyonunun önüne geçilerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sunulmuştur. Söz konusu bu tesis, dünyanın en büyük beş güneş enerji santrallerinden biri olarak küresel ölçekte de öne çıkmakta ve Türkiye'nin yerli ve milli enerji politikaları doğrultusunda dışa bağımlılığın azaltılmasına önemli bir katkı sağlamaktadır (URL-34 2023).



Şekil 3.23: Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası ve yıllık güneş radyasyonu dağılımı (URL-28, 2025)

Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum ve iklimsel özellikler sayesinde güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerine göre Türkiye’de yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2.741 saat, ortalama yıllık toplam global güneş ışıınımı ise yaklaşık 1.527,46 Kwh/m² olarak belirlenmiştir. Bu veriler, Türkiye’nin güneş enerjisinden elektrik üretimi açısından sahip olduğu doğal avantajları ortaya koymakta olup yenilenebilir enerji yatırımlarının yönlendirilmesinde stratejik bir temel sunmaktadır. Şekil 3.23’te GEPA verilerine dayalı olarak hazırlanan yıllık toplam güneş radyasyonu dağılımı görselleştirilmiştir (URL-22, 2025). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayımlanan “Renewables 2024” başlıklı rapora göre, 2024-2030 dönemine ilişkin öngörüler Çin’in yenilenebilir enerji kapasitesinde çarpıcı bir artış yaşanması beklenmektedir. Söz konusu süreçte, yaklaşık 3.207 gigawatt (GW) düzeyinde yeni yenilenebilir elektrik kurulu gücünün devreye alınacağı öngörülmekte olup, bu artış 2017-2023 dönemindeki büyümenin üç katından fazlasına karşılık gelmektedir. 2015 yılından bu yana Çin’in küresel ölçekte yıllık yenilenebilir enerji kapasite artışlarındaki payı istikrarlı biçimde artış göstermekte olup bu oranın 2030 yılı itibarıyla yaklaşık %60 düzeyine ulaşması beklenmektedir. Öngörülen dönemin sonunda, Çin’in küresel toplam yenilenebilir enerji kapasitesinin en az yarısına sahip olacağı tahmin edilmekte ve bu durum, ülkenin önceki on yıla kıyasla küresel payını iki katına çıkaracağına işaret etmektedir. Bu büyüme eğiliminin temelinde; Çin hükümetinin 2060 yılına kadar net sıfır emisyon hedefi, 14. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2021-2025) kapsamında uygulanan çeşitli teşvik mekanizmaları, yerli üretim teknolojilerine erişim kolaylığı ve düşük maliyetli finansman olanakları yer almaktadır. Aynı rapora göre AB ise Çin’in ardından yenilenebilir enerji kapasitesi artışında ikinci sırada yerini almaktadır. 2030 yılına kadar AB üyesi ülkelerin yıllık yenilenebilir enerji kapasitesine yaptıkları ilavelerin artarak devam edeceği öngörülmektedir. Üye ülkeler tarafından sunulan ulusal enerji ve iklim planları incelendiğinde, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynaklara yönelik hedeflerin AB’nin genel enerji dönüşüm politikaları ile büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir. Ancak ulaştırma, sanayi ve bina gibi diğer sektörlerdeki hedeflerin görece yetersiz kaldığı dikkat çekmektedir. Önümüzdeki altı yıllık süreçte, yenilenebilir enerji ihaleleri, özel sektör ile üreticiler arasında gerçekleştirilen Elektrik Satın Alma Anlaşmaları (Power Purchase Agreements-PPA’lar) ve dağıtık güneş enerjisini teşvik eden destek mekanizmalarının, AB’nin geçmiş dönemlerdeki kazanımlarını ikiye katlayacak şekilde kapasite artışını destekleyeceği öngörülmektedir (URL-29, 2024).



Şekil 3.24: Hollanda’da konut çatılarında güneş enerjisi panelleri uygulaması

Not: Fotoğraf, Ekim 2024 tarihinde tarafımda gerçekleştirilen kişisel bir ziyaret sırasında tarafımda çekilmiştir. Görsel Avcı’nın (2022) aktardığı Energiesprong modeline benzer biçimde, yerinde enerji üretimi ve sürdürülebilir yapılaşma uygulamalarını yansıtmaktadır.

Avrupa’da sürdürülebilir yapılaşma kapsamında geliştirilen en dikkat çekici modellerden biri olan Energiesprong yaklaşımı, binaların enerji verimliliğini artırmak amacıyla çatı üstü güneş panelleri, yüksek yalıtım sistemleri ve akıllı enerji çözümleriyle entegre bir dönüşüm süreci sunmaktadır (Avcı, 2022). Bu bağlamda, 2025 yılında Hollanda’ya gerçekleştirdiğim kişisel bir ziyaret sırasında tarafımda çekilen Şekil 3.24’te yer alan kentsel dönüşüme giren konutlar, Energiesprong felsefesini yansıtan yerinde enerji üretimi uygulamalarına örnek teşkil etmektedir. Görselde, çatılara entegre edilmiş fotovoltaik sistemler aracılığıyla bireysel konutların enerji ihtiyacını büyük oranda yerel düzeyde karşılandığı ve bu yaklaşım ile yalnızca enerji maliyetlerini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda karbon emisyonlarını düşürmeye ve enerji arz güvenliğini artırmaya da katkı sunmaktadır.

Güneş, fiziksel varlığını sürdürdüğü sürece ısı ve ışık yaymaya devam edecek olup bu doğrultuda güneş enerjisi, teorik olarak sınırsız ve sürekli bir enerji kaynağı niteliği taşımaktadır. Güneşten elde edilen bu enerji, sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler açısından temiz enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaktadır.

3.8.1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

Yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır; güneş ışığı her gün, dünyanın birçok yerinde erişilebilir durumdadır.

- Güneşli bölgelerde verimlidirler.
- Yakıt gerektirmez; bu sayede yakıt satın alma, taşıma ve depolama maliyetleri ortadan kalkar.
- Emisyonsuz çalışır; çevreye zararlı gaz ve atık salımı yapmaz, çevre dostudur.
- Düşük bakım maliyetine sahiptir; sistemin çalışması için karmaşık ve hareketli parçalara ihtiyaç duyulmaz, bu da arıza riskini azaltır.
- Uzun ömürlüdür; fotovoltaik sistemler, ekonomik ömrü boyunca kendini amorti edebilecek düzeyde elektrik üretimi sağlar.
- Modüler ve taşınabilir yapıdadır; sistem bileşenleri farklı güç kapasitelerinde kurulabilir, ihtiyaç durumunda kolayca genişletilebilir veya taşınabilir.
- Kırsal ve şebeke dışı alanlarda kullanılabilir; elektrik altyapısının ulaşmadığı bölgelerde bağımsız enerji kaynağı olarak tercih edilir.
- Yüksek güvenilirlik sunar; hareketli parça bulunmadığı için arıza sıklığı düşüktür. Herhangi bir birim arızalansa dahi sistemin tamamı etkilenmez çalışmaya devam edebilir.
- İletim kayıpları düşüktür; üretim ve tüketim noktaları aynı yerde olabileceğinden enerji kaybı minimize edilmektedir.
- Bataryalarla enerji depolama imkânı vardır; üretilen enerji, istenilen zamanda ve miktarda kullanılabilir.
- Uzun vadede ekonomiktir; ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da yakıt ve bakım tasarrufları sayesinde toplam maliyet avantajı sağlamaktadır.
- Enerji faturalarında tasarruf sağlar; elektrik ihtiyacının bir kısmı güneş panellerinden karşılandığı için aylık enerji maliyetlerinde düşüş yaşanmaktadır.
- YEKDEM kapsamında gelir sağlanabilmektedir; sistemin şebekeye bağlı olması ve fazla enerji üretimi durumunda, bu enerji şebekeye satılarak ek ekonomik kazanç elde edilebilmektedir (URL-3, 2019; Sayın ve Koç, 2011; Zhang, 2024).

3.8.1.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

Yüksek ilk yatırım maliyetlerine sahiptir; bu durum, sistemlerin geri dönüş süresini uzatmakta ve ekonomik uygulanabilirliği kısa vadede sınırlandırabilmektedir.

Verimli çalışabilmeleri için çevresel koşulların uygun olması gereklidir; sistemlerin güneş ışınlamından maksimum düzeyde yararlanabilmesi adına kuruldukları alanların açık olması ve gölgelenmeye maruz kalmaması önem arz etmektedir.

Güneş ışınlamı, kış aylarında azalma gösterirken gece saatlerinde tamamen ortadan kalkmaktadır; bu durum, özellikle enerji talebinin yüksek olduğu dönemlerde üretim kapasitesini sınırlamaktadır.

Çevresel açıdan bazı riskler barındırabilirler; fotovoltaik panellerde kullanılan kadmiyum gibi ağır metaller, panel bütünlüğü bozulduğunda toprak ve suya sızarak ciddi çevresel zararlara yol açabilir.

Kurşun içeren aküler, özellikle derin çevrimli kurşun-asit piller, toksik özellikleri nedeniyle insan sağlığı ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Ancak bu tür bileşenler, uygun geri dönüşüm süreçleriyle kontrol altına alınabilir.

Büyük ölçekli güneş santralleri önemli düzeyde arazi kullanımı gerektirebilir; bu da özellikle tarım alanları veya doğal habitatlar üzerinde baskı oluşturabilmektedir (Eldem, 2017; URL-23, 2025; Gromicko, 2025).

3.8.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisinden yararlanmaya yönelik ilk girişimlerin izleri, insanlık tarihinin oldukça eski dönemlerine uzanmaktadır. Mevcut tarihsel bulgular, rüzgâr gücünü mekanik enerjiye dönüştüren ilk araçlardan biri olan yel değirmenlerinin yaklaşık 3000 yıl önce İskenderiye yakınlarında kullanıldığını ortaya koymaktadır. Başlangıçta Mısır, İran ve Uzak Doğu gibi bölgelerde yaygın olarak kullanılan bu sistemler, zamanla Orta Doğu medeniyetleri aracılığıyla Avrupa'ya taşınmıştır. Özellikle Haçlı Seferleri sürecinde yaşanan kültürel etkileşimler, bu teknolojilerin Avrupa'ya aktarılmasında önemli bir rol oynamıştır (Şenel ve

Koç, 2015).

Tarihin çok eski dönemlerinden itibaren insanlar, rüzgâr enerjisinden çeşitli pratik amaçlarla faydalanmıştır. MÖ 5000’li yıllarda Nil Nehri üzerindeki teknelerin hareketinde rüzgâr gücünden yararlanıldığı bilinmektedir. MÖ 200 yılı civarında Çin’de rüzgârla çalışan sistemlerin su pompalama amacıyla kullanıldığı, Orta Doğu’da ise dikey eksenli yel değirmenlerinin tahıl öğütme işlemlerinde tercih edildiği görülmektedir. 11. Yüzyıla gelindiğinde, Orta Doğu’da rüzgarla çalışan değirmenlerin gıda üretiminde yaygın biçimde kullanıldığı anlaşılmaktadır. Zamanla Batı’ya yayılan bu teknoloji, Orta Çağ Avrupa’sında da önemli bir yer edinmiştir. 16. Yüzyılın sonlarında, özellikle 1590 yılı itibarıyla Hollanda’da yel değirmenleri oldukça yaygınlaşmış ve günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir. Bu sistemler kâğıt üretimi, su yollarının düzenlenmesi ve göllerin kurutulması gibi çeşitli alanlarda işlevsel hâle gelmiştir. 19. yüzyılda ise ABD’ne göç eden yerleşimciler, tarımsal sulama faaliyetlerinde rüzgâr gücüyle çalışan pompalama sistemlerinden geniş ölçüde yararlanmıştır. Rüzgâr enerjisinin yalnızca mekanik işlevlerle sınırlı kalmayıp elektrik üretiminde kullanılmaya başlanması ise 19. yüzyılın sonlarına denk gelmektedir. 1887 yılında iskoçya’da James Blyth tarafından inşa edilen türbin, elektrik üreten ilk rüzgâr türbini olarak kayıtlara geçmiştir. Bunu takiben, 1888 yılında ABD’li mucit Charles Brush da Ohio eyaletinde kendi rüzgâr türbini modelini geliştirmiştir. 1930’lu yıllara gelindiğinde, ABD genelinde 600.000’i aşkın yel değirmeninin faaliyette olduğu bilinmektedir (URL-46, 2025).

Küresel ölçekte hız kazanan sosyoekonomik gelişmeler, enerji arzına yönelik beklentileri artırmakta ve elektrik enerjisinin kesintisiz, kaliteli, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir biçimde temin edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, fosil yakıt kaynaklı krizlerin ardından yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelim, enerji politikalarının temel yapı taşı hâline gelmiştir. Güneş enerjisinde olduğu gibi 1973 petrol krizi sonrasında, enerji güvenliğini sağlama arayışı burada da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi tetiklemiş; 1980’lerde petrol fiyatlarındaki düşüş bu ilgiyi geçici olarak azaltsa da 1990’lı yıllarda çevresel farkındalığın artmasıyla söz konusu kaynaklar yeniden gündeme gelmiştir. Günümüzde ise en hızlı teknolojik gelişme gösteren ve uygulama alanı genişleyen yenilenebilir enerji türlerinden biri rüzgâr enerjisidir. Bu enerji, güneşten gelen radyasyonun yeryüzünü farklı oranlarda ısıtması sonucunda meydana gelen sıcaklık ve basınç farklarına bağlı olarak hava hareketlerinden elde edilmektedir. Bu hareketler, atmosferin belirli

bölgelerinde dinamik rüzgâr akımları oluşturarak, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Bu sebeple yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si, rüzgâr enerjisine dönüşmekte olup bu oran, küresel ölçekte değerlendirildiğinde son derece önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Rüzgârın yönü ve şiddeti; topografya, deniz-kara farklılığı ve iklim koşullarına bağlı olarak zamansal ve mekânsal değişkenlik göstermektedir. Rüzgâr enerjisi, kullanım amacına göre iki temel biçimde değerlendirilmektedir: mekanik enerji üretimi ve elektrik enerjisine dönüşüm. Tarihsel süreçte daha önce görülen uygulamalar, rüzgâr gücünün doğrudan mekanik işlerde kullanılması şeklinde olmuştur. Bu tür uygulamalarda, türbinlerin döner şaftları; su pompalama, tahıl öğütme, presleme ve benzeri mekanik faaliyetlerde kullanılmaktadır. Ancak günümüzde ise rüzgâr enerjisinin en yaygın ve stratejik kullanım biçimi, elektrik üretim alanında gerçekleşmektedir. Gerek yerel düzeyde enerji ihtiyacının karşılanması, gerekse ulusal şebekelere entegre edilen büyük ölçekli rüzgâr santralleri aracılığıyla, bu kaynak sürdürülebilir enerji dönüşümünde önemli bir rol üstlenmektedir. Özellikle megavat (MW) seviyesini aşan türbin kapasiteleri, deniz alanlarının yüksek rüzgâr potansiyeliyle birleştiğinde, off-shore (deniz üstü) rüzgâr enerjisi santrallerinin yaygınlaşmasına olanak tanımıştır. Kurulum teknolojilerindeki gelişmeler, maliyetlerin azalması ve çevresel etkilerin minimum düzeyde olması, bu santrallerin kara üzerindeki örneklerle rekabet edilebilir düzeye ulaşmasını sağlamaktadır (URL-20, 2025).

Rüzgâr enerjisi, kaynağını güneşten alan, doğa dostu, sürdürülebilir ve tükenmeyen bir yenilenebilir enerji biçimidir. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %1-2'lik bölümü atmosferdeki hava hareketlerini oluşturarak rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Güneş ışıının yeryüzünü ve atmosferi homojen biçimde ısıtmaması, farklı bölgelerde sıcaklık ve dolayısıyla basınç farklılıklarının oluşmasına yol açar. Bu basınç farkları ise atmosferdeki hava kütlelerinin yer değiştirmesini tetikler ve bu sürecin sonucu olarak rüzgâr meydana gelmektedir. Isınan hava kütleleri, daha az yoğun hâle gelerek yükselir ve bu yükselme neticesinde yerinde bir boşluk oluşur. Oluşan bu boşluğa, çevrede bulunan daha serin ve yoğun hava kütleleri hareket eder. Böylece atmosferde yüksek basınçlı alanlardan alçak basınçlı alanlara doğru gerçekleşen yatay hava akımları ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr, esasen bu iki basınç alanı arasındaki dengenin sağlanmasına yönelik bir doğa olayıdır. Rüzgârın hızını ve yönünü etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Dünya'nın kendi eksenini etrafındaki dönüşü, yer yüzeyinin sürtünme katsayısı, yerel ısı akımları, atmosferik dalgalanmalar ve arazinin topografik özellikleri, rüzgârın karakteristiği; coğrafi konum, arazi yapısı ve

iklimsel faktörlere bağılı olarak hem zamansal hem de mekânsal anlamda çeşitlilik göstermektedir (URL-20, 2025).



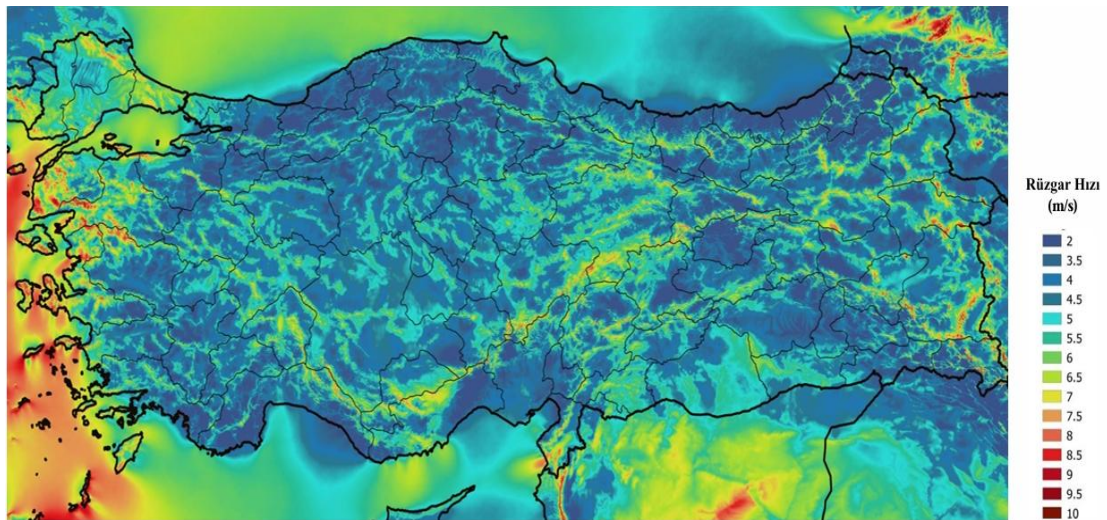
Şekil 3.25: Türkiye’de bir rüzgâr enerjisi santralinden genel görünüm (Çiftçi, 2021)

Şekil 3.25’te gösterilen rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerjisi santrallerinin temel bileşeni olup, atmosferdeki hareket hâlinde olan hava akımlarının kinetik enerjisini önce mekanik, ardından elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Yapısal olarak, türbinler dönüş eksenlerinin konumuna göre yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Uygulamada en yaygın kullanılan tasarım, yatay eksenli rüzgâr türbinleridir. Bu türbinlerde rotor ekseni rüzgâr yönüne paralel, kanatlar ise dik konumda yerleştirilmiştir. Yatay eksenli türbinler, kanat sayısına bağılı olarak farklı konfigürasyonlarda üretilebilmekle birlikte, modern türbinlerin büyük bölümü üç kanatlı ve up-wind (önden rüzgârlı) yapıya sahiptir. Bu türde rüzgâr, doğrudan rotora çarpmadan önce kule ile temas etmez. Tersine, down-wind (arkadan rüzgârlı) türbinlerde hava akımı önce kuleye çarpıp ardından rotora ulaşmaktadır. Düşey eksenli türbinlerde ise rotor ekseni yere dik olup bu sistemler, rüzgâr yönüne duyarlı olmadıkları için yön değiştirme gereksinimi duymazlar. Ancak verimlilik ve mekanik dayanım açısından, özellikle büyük ölçekli enerji üretiminde yatay eksenli türbinler tercih edilmektedir. Bir rüzgâr türbini genel olarak; kanatları ve göbeği kapsayan rotor, düşük devirli ana mil, dişli kutusu veya doğrudan tahrikli jeneratör, kule ve gövde içindeki kontrol sistemlerinden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi rotor aracılığıyla dönme hareketine

çevrilir: bu hareket, iletim sistemi vasıtasıyla jeneratöre aktarılır ve burada elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Modern türbin kanatları çoğunlukla fiber takviyeli kompozit malzemelerden üretilmekte ve yapısal dayanımı artırmak amacıyla çelik ya da karbon destekli omurgalarla güçlendirilmektedir. Günümüzde ise yaygın olarak kullanılan türbinler rotor çapı 190 m'ye, kule yüksekliği 150 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Ayrıca modern rüzgâr türbinlerinde; fren sistemleri, kontrol ve kumanda üniteleri, yönlendirme motorları, anemometre ve rüzgâr gülü gibi çeşitli yardımcı donanımlar da yerini almaktadır. Bu unsurlar, türbinin güvenli, verimli ve şebeke ile senkronize bir biçimde çalışmasını sağlamak amacıyla entegre edilmektedir (URL-20, 2025).

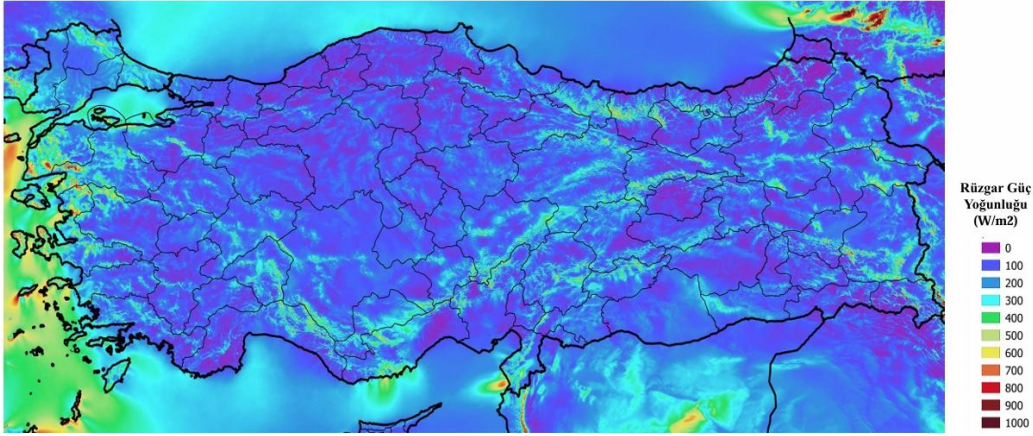
Türkiye'de rüzgâr enerjisine yönelik ilk santral yatırımı 1998 yılında gerçekleştirilmiş olsa da bu dönemdeki kurulumlar sınırlı kapasiteye sahip olup sektörel ölçekte etkili bir gelişim sağlayamamıştır. Rüzgâr enerjisinin yaygınlaşması açısından dönüm noktası ise 2005 yılında yürürlüğe giren ve yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemeye yönelik yasal düzenlemelerle başlamış olup bu tarihten itibaren rüzgâr enerjisine dayalı santral sayısında belirgin bir artış yaşanmıştır (URL-52, 2025).

Günümüzde rüzgâr enerjisi santralleri, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji üretimi kapsamında elektrik üretiminde giderek artan bir öneme sahip olmuştur. Türkiye'de ise rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda istikrarlı bir artış göstermekte olup bu üretimin enerji portföyündeki payı giderek genişlemektedir (URL-25, 2025).



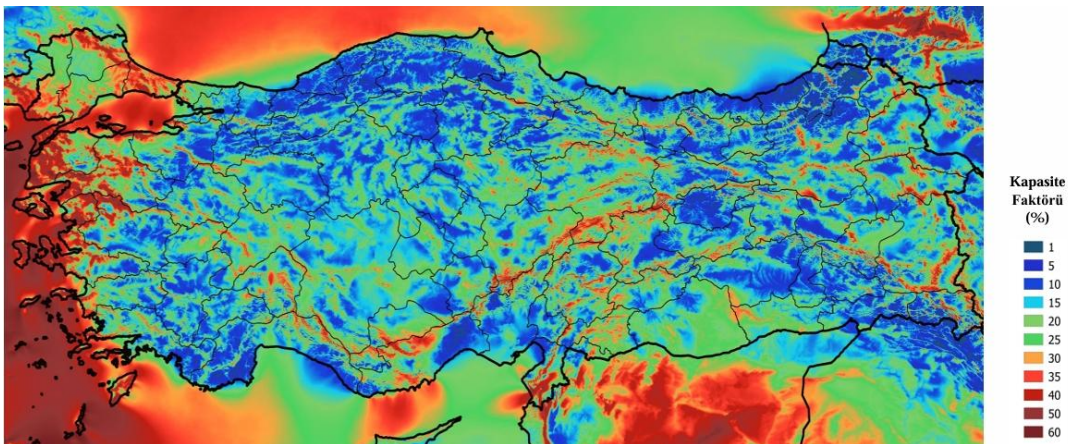
Şekil 3.26: Türkiye genelinde 100 m seviyesinde ölçülen yıllık ortalama rüzgâr hızlarının coğrafi dağılımı (URL-41, 2025)

Türkiye’de rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve yatırım planlamalarının yönlendirilmesi amacıyla Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından “Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)” geliştirilmiştir. Bu atlas aracılığıyla hazırlanan haritalar, ülke genelinde rüzgâr kaynaklarının coğrafi dağılımını ortaya koymakta ve rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulabileceği potansiyel alanlar hakkında ön bilgi sunmaktadır. Ancak bu tür haritalar yalnızca ön değerlendirme niteliğinde olup yatırım kararlarının alınabilmesi için belirlenen sahalarda standartlara uygun, yeterli süreli ve güvenilir rüzgâr ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Elde edilen ölçüm verilerinin teknik analizleriyle desteklenen saha etütleri sonucunda yatırım fizibilitesi somutlaştırılabilir. Bu bağlamda, Şekil 3.26’da REPA verilerine dayanarak oluşturulan yıllık ortalama rüzgâr hızı dağılımı haritası sunulmakta olup bu şekil, Türkiye’nin farklı bölgelerindeki rüzgâr potansiyelinin karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (URL-20, 2025).



Şekil 3.27: Türkiye'nin 100 m yükseklik seviyesindeki yıllık ortalama rüzgâr güç yoğunluğunun coğrafi dağılımı (URL-41, 2025)

REPA verilerine göre rakımı 0 ila 3.000 m arasında değişen ve yerden 100 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgâr hızı 6,5 metre/saniye (m/s)'nin üzerinde olan karasal alanlar dikkate alındığında, her bir kilometrekarelik bölgeye 5,3 MW kapasiteli rüzgâr türbinlerinin kurulması hâlinde yaklaşık 57.786 MW'lık kurulu güce ulaşılabileceği öngörülmektedir. Benzer şekilde, yıllık ortalama rüzgâr hızı 7,5 m/s'nin üzerinde ve deniz derinliğinin 0 ila 200 m arasında olan deniz üstü (offshore) alanlarının 8,0 MW kapasiteli türbinlerle değerlendirilmesi durumunda ise yaklaşık 20,788 MW'lık deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir. Bu kapsamda, Şekil 3.27'de sunulan rüzgâr güç yoğunluğu dağılımı haritası, Türkiye genelindeki karasal ve deniz üstü alanların teknik potansiyelini görselleştirerek söz konusu kurulu güç hesaplamalarının mekânsal bir temele dayandırılmasına olanak sağlamaktadır (URL-21, 2025).



Şekil 3.28: Türkiye'nin 100 m yükseklik seviyesindeki rüzgâr enerjisi kapasite faktörü dağılımı (%) (URL-41, 2025)

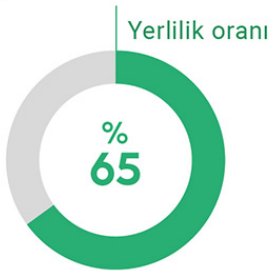
Rüzgâr enerjisi yatırımlarında kapasite faktörü, bir santralin belirli bir zaman diliminde maksimum kurulu gücüne göre ne ölçüde enerji üretebildiğini gösteren temel bir performans göstergesidir. Şekil 3.28’de sunulan harita, Türkiye genelinde 3 MW gücünde varsayılan bir rüzgâr türbininin teknik özellikleri esas alınarak oluşturulmuş olup kapasite faktörünün coğrafi dağılımını ortaya koymaktadır. Bu tür görsel analizler, yüksek verimlilik potansiyeline sahip bölgelerin ön tespiti açısından stratejik değer taşımakta olup yatırım kararları alacaklar için ön değerlendirme niteliğinde önemli bir rehber sunmaktadır (URL-41, 2025).

Türkiye'nin rüzgarı 2024'te güçlü esti



TÜRKİYE'NİN
RÜZGAR SANTRALİ
EKİPMAN ÜRETİM
HACMİ

Türkiye'nin 7 bölgesindeki işletmedeki 278 rüzgar enerjisi santrali ve toplam 4 bin 360 türbinle rüzgardan enerji üretilirken, rüzgarda toplam kurulu gücün yıl sonuna kadar yaklaşık 800 megavatlık artışla 13 bin megavata yaklaşacağı hesaplanıyor



Ekipman imalatı (2023)

2,2 milyar dolar

Hedef potansiyel **yatırımlarla**
10 milyar dolar



Rüzgar
ekipmanı
imalatını teşvik
1,7 milyar dolar



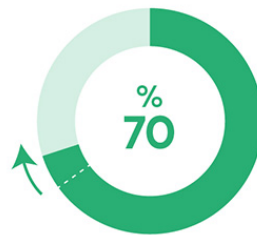
İstihdam

20.267 kişi



Hedef

25 bin kişi



Kapasite
artışı **2023'e**
oranla %70



Şekil 3.29:Türkiye’de rüzgâr enerjisi sektörüne ait 2023-2024 dönemi kurulu güç, ekipman üretimi ve istihdam göstergeleri (İpsir, 2024)

Şekil 3.29’da Türkiye rüzgâr enerjisi sektörünün 2023-2024 dönemine ait temel göstergeleri sunulmaktadır. Ülkenin yedi bölgesinde faaliyet gösteren 278 rüzgâr santrali ve 4.360 türbin

ile elektrik üretimi gerçekleştirilmekte olup, yıl sonuna kadar ise toplam kurulu gücün yaklaşık 800 MW artışla 13 bin MW seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir. 2023 yılında rüzgâr enerjisine yönelik ekipman imalatı 2,2 milyar dolar düzeyindeyken, yerli üretim oranı %65 olarak gerçekleşmiştir. Sektöre yönelik yatırım teşviklerinin toplam tutarı 1,7 milyar dolar olurken, sektörde potansiyel yatırımlar doğrultusunda hedeflenen büyüklük 10 milyar dolar olarak ifade edilmektedir. Aynı dönemde rüzgâr enerjisi sektöründe istihdam edilen kişi sayısı 20.267 olarak kaydedilmiş, 25 bin kişiye ulaşılması hedeflenmiştir. Ayrıca 2024 yılı itibarıyla kapasite artış oranının bir önceki yıla kıyasla %70 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir.

2024 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin toplam rüzgâr enerjisine dayalı kurulu gücü 13.792,50 MW seviyesine ulaşmış; yalnızca bu yıl içerisinde 1.310,07 MW'lık ilave kapasite devreye alınmıştır. Rüzgâr enerjisi, 2024 yılında toplam elektrik üretiminin %11,34'ünü karşılayarak, Türkiye'nin enerji arz güvenliğinde stratejik bir kaynak olma özelliğini sürdürmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimdeki payı %42,01'e yükselirken, konvansiyonel kaynaklara dayalı üretim oranı %57,93 olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye, 2035 yılına yönelik olarak yenilenebilir enerji kapasitesini artırma amacı doğrultusunda kapsamlı ve iddialı hedefler belirlemiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan yol haritasına göre 2035 yılı itibarıyla toplamda 120 GW'lık güneş ve rüzgâr enerjisi kurulu gücüne ulaşılması öngörülmektedir. Bu hedefin 48 GW'lık kısmını rüzgâr enerjisinden sağlanması planlanmakta olup bunun 43 GW'ı karasal, 5 GW'ı ise offshore rüzgâr projelerine ayrılmıştır. Belirlenen hedeflere ulaşmak amacıyla somut adımlar atılmakta; bu kapsamda 2024 yılı içerisinde beş farklı bölgede toplam 1.200 MW'lık YEKA rüzgâr projeleri için ihaleler gerçekleştirilmiştir. Bu ihale süreci 2025 yılı ocak ayı itibarıyla tamamlanmıştır. Ayrıca 2035 yılına kadar her yıl en az 2.000 MW kapasiteye sahip YEKA rüzgâr projelerinin tahsis edileceği Bakanlık tarafından da duyurulmuştur. Bu stratejik yaklaşım, rüzgâr enerjisi yatırımlarının sürekliliğini sağlamaya yönelik önemli bir politika aracı niteliğini taşımaktadır. Bu veriler, Türkiye'nin enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların ağırlığını artırmaya yönelik politikalarının somut yansımalarını da göstermektedir. Küresel düzeyde ise rüzgâr enerjisi sektörü 2024 yılında güçlü bir büyüme göstermiştir. Avrupa genelinde yıl boyunca 16,4 GW güzeyinde yeni kapasite devreye alınmış olup, bu kapasitenin %84'ü karasal (13,8 GW), %16'sı ise deniz üstü (2,6 GW) rüzgâr santrallerinden oluşmuştur. Böylece Avrupa'nın toplam rüzgâr enerjisi

kurulu gücü 285 GW'a ulaşmış; bu kapasitenin %87'sini karasal rüzgâr, %13'ünü ise deniz üstü rüzgâr kaynakları oluşturmuştur. Türkiye, bu bağlamda Avrupa pazarında kurulu kapasite bakımından Almanya, Birleşik Krallık, İspanya, Fransa ve İsveç'in ardından altıncı sırada yer almaktadır. Dünya genelinde ise rüzgâr enerjisi sektörü dönüşüm sürecini sürdürmekte olup, Çin bu alandaki liderliğini pekiştirmiştir. Ülkenin toplam rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2024 yılı sonunda 520,68 GW seviyesine ulaşmış, yalnızca bu yıl içinde 80,68 GW'lık yeni kapasite devreye alınmıştır. Çin, aynı zamanda şebekeye bağlı 41 GW deniz üstü rüzgâr kapasitesi ile küresel offshore kapasitenin yarısından fazlasını tek başına karşılamaktadır. Yapılan projeksiyonlara göre 2030 yılına kadar küresel rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 2.100 GW'a ulaşması beklenmekte, bu artışın %50'sinden fazlasını Çin kaynaklı olacağı öngörülmektedir. (URL-47, 2025).

Rüzgâr enerjisinin, artan çevresel kaygılar, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve enerji arz güvenliği bağlamında, önümüzdeki dönemlerde enerji sistemleri içerisindeki payını artırarak stratejik ve çevre dostu bir kaynak olarak daha da önem kazanması öngörülmektedir (URL-25, 2025).

3.8.2.1. Rüzgâr Enerjisinin Avantajları

- Çevresel ve ekonomik açıdan avantajlıdır; rüzgâr enerjisi, temiz enerji üretimi sağlayarak karbon salımını azaltır ve çevreye zarar vermez.
- Yenilenebilir ve tükenmez bir enerji kaynağıdır; doğal atmosfer hareketlerinden kaynaklandığı için süreklilik arz eder.
- Rüzgâr mevcut olduğu süre boyunca her bölgede elektrik üretimi mümkündür; bu yönüyle enerjiye erişimi artırır.
- Enerji üretimi için herhangi bir ham maddeye veya işleme ihtiyaç duyulmaz; doğrudan kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü sağlanmaktadır.
- Yakıt gerektirmez; rüzgâr tamamen ücretsiz bir kaynak olduğundan yakıt temini ve taşımacılığına ilişkin herhangi bir maliyet oluşmaz.
- Kurulum ve işletme süreçleri diğer bazı enerji sistemlerine göre daha basittir; özellikle küçük ölçekli uygulamalarda pratik çözümler sunar.
- Bakım ve onarım maliyetleri düşüktür; sistemde az sayıda hareketli parça bulunması, arıza riskini azaltır.

- Endüstriyel ve evsel kullanım için uygundur; farklı ölçeklerde sistem kurulumuna imkân tanır.
- Gece ve gündüz üretim kapasitesi vardır; üretim yalnızca gün ışığına bağlı olmadığından güneş enerjisinden farklı olarak 24 saat boyunca sürdürülebilir.
- Sera gazı salımı gerçekleştirmez; bu özelliğiyle iklim değişikliğiyle mücadelede önemli katkılar sağlar.
- Kurulum alanı açısından avantajlıdır; rüzgâr türbinleri, güneş panellerine kıyasla daha az yüzey alanı kaplar. Örneğin, 1 MW'lık bir rüzgâr türbini, aynı kapasiteye sahip bir güneş santralinden çok daha küçük bir alanda kurulabilir.
- Alan esnekliği sunar; rüzgâr türbinleri kırsal, kıyı, açık alanlar gibi pek çok bölgede kurulabilir (URL-2, 2025; URL-6, 2022).

3.8.2.2. Rüzgâr Enerjisinin Dezavantajları

- Verimli elektrik üretimi için rüzgârın belirli hız aralıklarında esmesi gereklidir; çok düşük rüzgâr hızlarında türbinler çalışmazken, aşırı rüzgâr durumlarında da güvenlik nedeniyle sistem durdurulmaktadır.
- Rüzgâr santrali kurulmadan önce uzun süreli ve kapsamlı rüzgâr ölçüm analizlerinin yapılması gerekmektedir; bu da yatırım sürecini karmaşık ve zaman alıcı hâle getirmektedir.
- Lisanssız güneş enerjisi sistemlerine kıyasla kurulum süreçleri daha karmaşıktır; prosedürler ve saha çalışmaları daha kapsamlıdır.
- Yatırım maliyetleri yüksektir; özellikle ilk kurulum ve altyapı maliyetleri, diğer bazı yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazladır.
- Göçmen kuşlar açısından risk oluşturmaktadır; dönen kanatlar, kuşların göç yollarında çarpma ve ölüm riskini artırabilir.
- Rüzgâr türbinlerinin yaygın olarak kurulu olduğu bölgelerde, elektromanyetik sinyallerin etkilenmesi nedeniyle cep telefonu ve televizyon yayınlarında parazitlenme yaşanabilir.
- Gürültü seviyesi yüksek olabilir; özellikle yerleşim alanlarına yakın kurulan türbinler, sürekli çalışan kanat ve jeneratör sesleriyle ciddi bir ses kirliliğine neden olabilmektedir.

- Estetik ve görsel kirlilik oluşturabilir; bazı bölgelerde türbinlerin doğal peyzajla uyumsuzluğu, görsel rahatsızlık yaratabilmektedir (URL-2, 2025; Birol ve Demirgil, 2022; Sağlam vd., 2024).

3.8.3. Jeotermal Enerjisi

“Jeotermal” kavramı, kökenini Yunanca “geo” (yer) ve “therme” (ısı) kelimelerinden almakta olup yer kabuğunun derinliklerinde biriken doğal ısının enerji kaynağı olarak kullanılmasını ifade etmektedir. Bu enerji, yeryüzüne sızan yağmur ve kar sularının yer altına inerek sıcak kayalarla temas etmesi, ısıyı topraktan alması ve yeniden yüzeye dönmesiyle oluşan sürekli bir döngü içerisinde yenilenmektedir (Demirkiran Göbeloğlu, 2024; Külekçi, 2009).

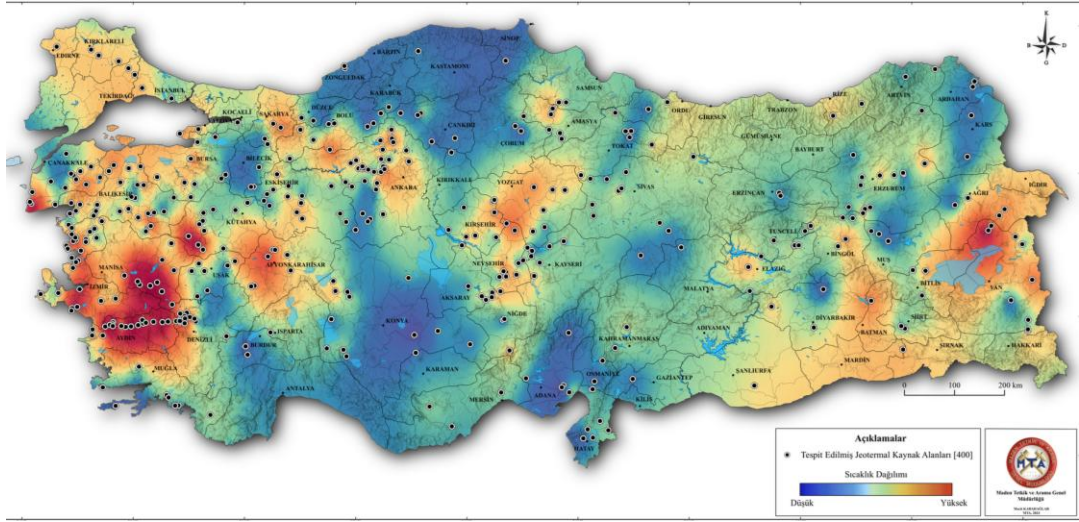
Jeotermal enerji, yer altındaki doğal kaynaklardan elde edilen ısı enerjisidir. Bu kaynaklar; genellikle volkanik aktiviteler, sıcak su rezervuarları ve diğer jeotermal sistemler gibi yer altı jeolojik oluşumlarıyla ilişkilidir. Jeotermal enerji, kaynağın sıcaklık düzeyi ve akış hızına bağlı olarak doğrudan ısınma amacıyla ya da elektrik üretiminde kullanılabilir. Elektrik üretimi sürecinde ise sıcak su ve buhar, türbinleri döndürerek önce mekanik enerjiye, ardından elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Nergiz Bulak ve Durmuş, 2025).

İnsanların jeotermal enerjiyle ilk temasının Peleolitik Çağ’a kadar uzandığı, bu dönemde sıcak su kaynaklarının ısınma ve temizlik gibi temel ihtiyaçlar doğrultusunda kullanıldığı tahmin edilmektedir (Sağsöz vd., 2025; URL-46, 2025).

Jeotermal enerjinin sistematik ve belgelenmiş kullanımına ilişkin tarihsel kayıtlar ise antik uygarlıklar dönemine dayanmaktadır (Sağsöz vd., 2025). Bu kaynakların ilk kullanımı genellikle banyo ve ısınma gibi temel ihtiyaçlara yönelik olmuş ve bu kullanım biçimi uzun süre boyunca doğal ve ücretsiz bir imkân olarak sürdürülmüştür. Jeotermal enerjinin ticari anlamda değerlendirilmesi ise 1830’lu yıllarda başlamıştır. Rivayetlere göre, o yıllarda ABD’nin Arkansas eyaletinde yer alan Hot Springs bölgesinde, üç farklı sıcak su kaynağından beslenen banyolar bir dolarlık ücret karşılığında halkın hizmetine sunulmuştur. 1890’lı yıllara gelindiğinde ise Idaho eyaleti, jeotermal enerjiyi merkezi ısıtma sistemi aracılığıyla kullanan ve sıcak suyu 200’den fazla ev ve iş yerine dağıtan ilk örnek olarak tarihe geçmiştir. ABD’de jeotermal enerjinin bu öncü uygulamalarına rağmen zamanla

Avrupa jeotermal enerjide lider konuma gelmiştir (URL-46, 2025).

Dünyanın ilk jeotermal enerji santrali 20. yüzyılın başlarında, İtalya'nın Toskana bölgesinde kurulmuştur. Bu öncü gelişme, Trevignano Prensi Piero Ginori Conti'nin çalışmaları sayesinde gerçekleşmiştir. Conti, 1904 yılında Larderello'daki kuru buhar sahasında geliştirdiği ilk jeotermal enerji jeneratörü ile 10 kilovat (kW) enerji üreterek beş ampülü aydınlatmayı başarmıştır. Bu başlangıcın ardından, 1911 yılında “Şeytan Vadisi” (Valle del Diavolo) olarak bilinen bölgede jeotermal potansiyeli daha da geliştirilmiş ve burada dünyanın ilk jeotermal enerji santrali olan Larderello 1 devreye alınmıştır. 250 kW kurulu güce sahip bu santral toplamda 2750 kW elektrik üretme kapasitesine ulaşmış; elde edilen enerji, İtalyan demir yolu sistemi ile Larderello ve Volterra yerleşimlerinin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmıştır. Jeotermal enerjinin tarihsel yolculuğu burada başlamış olsa da dünyada ikinci jeotermal enerji santrallerinin devreye alınması ancak 15 Kasım 1958 tarihinde, Yeni Zelanda'daki Wairakei sahasında mümkün olabilmıştır (Bolton, 2009; Unwin, 2019). Bu kaynaklar sürdürülebilirliği yüksek, çevresel etkileri düşük ve yerli kaynaklara dayalı bir yenilenebilir enerji türüdür. Türkiye, aktif fay hatları üzerinde yer alan jeolojik yapısı ve yaygın volkanik-magmatik formasyonları sayesinde jeotermal potansiyeli bakımından dünya genelinde dikkat çeken ülkelerden biridir. Ülke genelinde farklı sıcaklık aralıklarına sahip yaklaşık 1000 civarında jeotermal kaynak doğal çıkışları hâlinde tespit edilmiştir. Türkiye'nin toplam jeotermal potansiyelinin yaklaşık %78'i Batı Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup bunu %9 ile İç Anadolu, %7 ile Marmara, %5 ile Doğu Anadolu ve %1 oranında diğer bölgeler takip etmektedir. Bu kaynakların %90'ı düşük ve orta sıcaklık değerlerine sahip olup; konut ve sera ısıtması, termal turizm, tarımsal kurutma ve endüstriyel proses ısıtma gibi doğrudan kullanım alanlarına uygundur. Yüksek sıcaklık içeren %10'luk kısım ise elektrik üretimi gibi dolaylı kullanım alanlarına yöneliktir. Jeotermal kaynaklar günümüzde yalnızca elektrik üretiminde değil; konut ve sera ısıtmasında, termal ve sağlık turizminde, endüstriyel minerallerin eldesinde, su ürünleri yetiştiriciliğinde ve tarım ürünlerinin kurutulmasında da yaygın biçimde değerlendirilmektedir. Bu çeşitlilik, jeotermal enerjinin çok yönlü ve stratejik bir enerji kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır (URL-39, 2025).



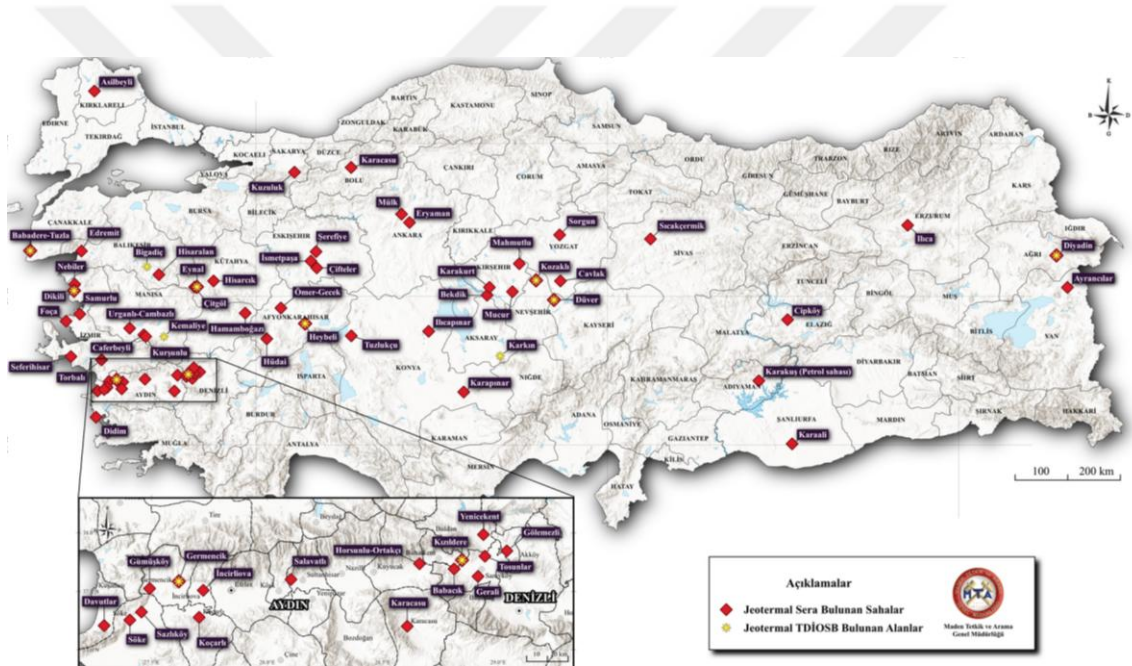
Şekil 3.30: Türkiye’de tespit edilen jeotermal kaynakların coğrafi dağılımı ve yüzey sıcaklık seviyeleri (URL-39, 2025)

Şekil 3.30’da Türkiye genelinde tespit edilmiş jeotermal kaynak alanlarının mekânsal dağılımı ile bu alanlara ilişkin yüzey sıcaklık değerleri renk skalası aracılığıyla görselleştirilmiştir. Harita üzerinde sıcaklık seviyeleri düşükten yükseğe doğru mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı tonlarla gösterilmektedir. Özellikle Batı Anadolu Bölgesi’nde yüksek sıcaklık değerlerine sahip yoğun jeotermal alanlar dikkat çekmektedir. Ayrıca haritada siyah daire sembolleri ile işaretlenen noktalar, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen 400 jeotermal kaynak sahasını göstermektedir. Bu dağılım, Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyelinin bölgesel çeşitliliğini ve kaynak yoğunluğunu görsel olarak sunmaktadır.



Şekil 3.31: Türkiye’de jeotermal enerjiyle ısıtma yapılan alanların konumsal dağılımı ve kullanım amaçları (URL-39, 2025)

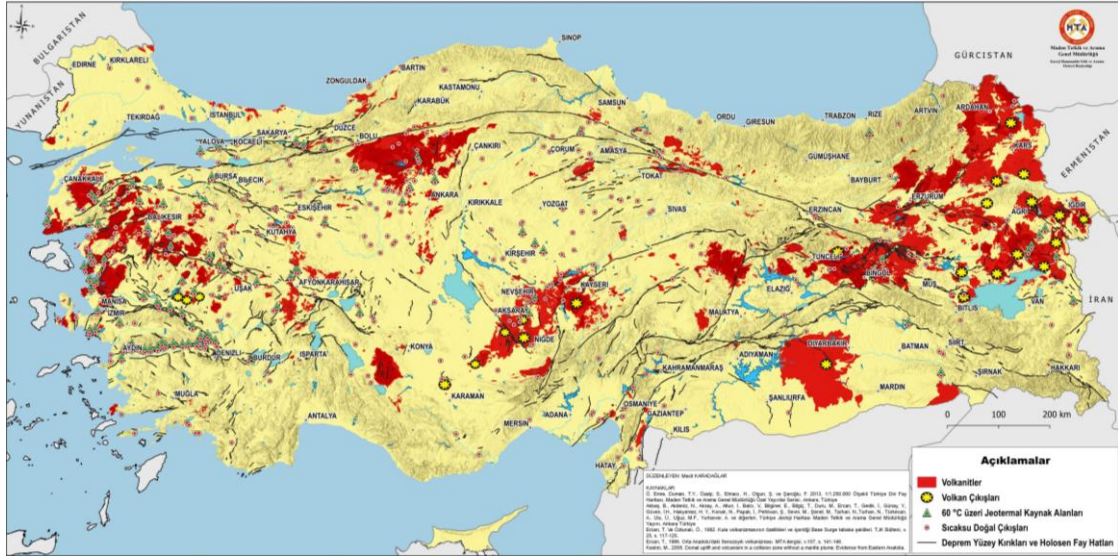
Şekil 3.31’de, Türkiye genelinde jeotermal kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilen ısıtma uygulamalarının konumsal dağılımı ve kullanım amaçlarına göre sınıflandırılması sunulmaktadır. Harita üzerinde kırmızı noktalarla jeotermal kaynaklar ile ısıtılan sahalar belirtilmiş olup bu alanlarda gerçekleştirilen uygulamalar üç ana kategori altında görselleştirilmiştir: konut ısıtması (ev simgesi), kamusal alan ısıtması (okul, cami, spor salonu vb.; bina simgesi) ve balneolojik kullanım (termal otel, yüzme havuzu, villa vd.; havuz simgesi). Söz konusu uygulamaların ülke genelindeki mekânsal dağılımı incelendiğinde, Batı Anadolu Bölgesi başta olmak üzere Ege, İç Anadolu ve Karadeniz’in bazı kesimlerinde jeotermal kaynaklı ısıtma uygulamalarının yaygınlaştığı görülmektedir. Harita, ülkemizde doğrudan ısıtma amacıyla jeotermal enerjinin nasıl ve nerelerde değerlendirildiğini kapsamlı bir şekilde sunmaktadır.



Şekil 3.32: Türkiye’de jeotermal enerjiyle ısıtılan sera alanlarının ve TDİOSB bölgelerinin coğrafi dağılımı (URL-39, 2025)

Şekil 3.32’de Türkiye genelinde jeotermal enerji kullanılarak sera ısıtması yapılan alanların ve bu kapsamda faaliyet gösteren Tarıma Dayalı İhtisas Organize Sanayi Bölgelerinin (TDİOSB) coğrafi dağılımı sunulmaktadır. Harita üzerinde kırmızı elmas semboller, jeotermal kaynaklar aracılığıyla ısıtılan ser sahalarını; sarı yıldız semboller ise TDİOSB bünyesinde yer alan jeotermal uygulama alanlarını göstermektedir. Verilere göre, jeotermal sera uygulamaları özellikle Batı Anadolu Bölgesi’nde yoğunlaşmakta olup Aydın ve Denizli illeri başı çekmektedir. Bu durum hem jeotermal potansiyelin yüksekliğini hem de bu

kaynağın tarımsal üretimde doğrudan kullanımına yönelik artan eğilimi yansıtmaktadır. Haritada ayrıca İç Anadolu ve Doğu Anadolu’da da dağınık biçimde yer alan sahalara bölgesel potansiyelin yaygınlaştığını ve jeotermal tarım uygulamalarının ülke genelinde yayıldığını göstermektedir.



Şekil 3.33: Türkiye’deki jeotermal kaynakların ve volkanik alanların coğrafi dağılımı (URL-39, 2025)

Şekil 3.33’te Türkiye’deki jeotermal kaynak alanlarının, volkanik yapılar ve aktif fay hatları ile mekânsal ilişkisi sunulmaktadır. Harita üzerinde kırmızı alanlar volkanik oluşumları, siyah çizgiler aktif fay hatlarını, yıldız simgeleri volkan çıkış noktalarını, üçgenler 60 °C’nin üzerindeki yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalara ve daire semboller doğal sıcak su çıkışlarını temsil etmektedir. Görsel analiz incelendiğinde ise özellikle Batı Anadolu, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde jeotermal kaynakların hem volkanik kuşaklarla hem de aktif fay zonlarıyla büyük oranda örtüştüğü görülmektedir. Bu durum, Türkiye’deki jeotermal sistemlerin oluşumunda magmatik etkinliklerin yanı sıra derin fay hatlarının da belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Dolayısıyla Türkiye hem tektonik hem volkanik karakterli jeotermal sistemlerin birlikte görülebildiği nadir bölgelerden biri konumundadır.

Türkiye’de jeotermal enerjiye yönelik ilk sondaj çalışması, İzmir’in Balçova ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Bu girişimi takiben, Denizli ili sınırlarında yer alan Kızıldere jeotermal sahasının keşfiyle birlikte, elektrik üretimine yönelik ilk tesisin kurulumu 1963 yılında planlanmış ve bu alanda somut adımlar atılmıştır. Türkiye’de jeotermal enerjiden elektrik

üretimi ise resmi olarak 1975 yılında başlamış; bu süreç MTA Genel Müdürlüğü tarafından kurulan ve 0,5 MW elektrik üretim kapasitesine sahip Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali ile başlamıştır (Sağsöz vd., 2025).

1990'lı yıllardan 2004 yılına kadar geçen süreçte, jeotermal enerji arama faaliyetleri uygulanan yetersiz politikalar nedeniyle büyük ölçüde yavaşlamış ve sektör durağan bir döneme girmiştir. Ancak 2005 yılından itibaren, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yönlendirmeleri ve kamu destekli stratejileri sayesinde, jeotermal aramalarda yeniden hareketlilik sağlanmıştır. Bu kapsamda MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen sondajlı arama çalışmaları, ortalama 2.000 m derinliklerden başlayarak 28.000 m kadar ulaşmış; kuruma tahsis edilen bütçeler ise yaklaşık on kat artırılmıştır. Aynı dönemde hem mevcut jeotermal sahaların değerlendirilmesine hem de yeni kaynak alanların keşfine yönelik sistematik bir arama politikası izlenmiştir. 3 Haziran 2007 tarihinde kabul edilmiş ve 13 Haziran 2007 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ile birlikte, özel sektörün jeotermal arama ve işletme süreçlerine aktif olarak katılması sağlanmış olup bu sayede hem teknik kapasite hem de yatırım hacmi önemli ölçüde artmıştır. MTA verilerine göre, Türkiye'nin toplam görünür jeotermal ısı potansiyeli 40.000 Megawatt-termal (MWt) düzeyine ulaşmış durumdadır. Mevcut kaynakların yaklaşık %15'i ısıtma, %4'ü ise elektrik üretimi amacıyla değerlendirilmektedir. Bu gelişmeler, Türkiye'nin jeotermal enerji alanında hem kaynak hem de kullanım çeşitliliği açısından önemli bir aşama kaydettiğini gözler önüne koymaktadır (URL-20, 2024; URL-38, 2007).

Son 17 yıllık dönemde, özellikle jeotermal enerji santralleri yatırımlarında dikkat çekici bir gelişme ivmesi yakalanmış ve bu alanda önemli mesafeler kat edilmiştir. Bu ilerlemeler sonucunda Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli açısından Avrupa ülkeleri arasında 1'inci sırada yer almakta olup elektrik üretimine dayalı kurulu güç bakımından ise dünya genelinde 4'üncü sırada bulunmaktadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi gerçekleştiren önde gelen ülkeler sırasıyla ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır. Türkiye'nin bu alandaki konumu, hem sahip olduğu kaynak çeşitliliğinin etkin kullanılabilirdiğini hem de sektörel yatırım politikalarının başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir (Özer, 2025).

Türkiye'nin jeotermal enerji kurulu gücü 1735 MW düzeyinde olup ve bu kapasite, 65 ayrı santral aracılığıyla işletilmektedir. Söz konusu santrallerin yıllık toplam üretimi yaklaşık 11

GW elektrik üretimiyle şebekeye katkı sağlamaktadır. Bu miktar, Türkiye'nin toplam elektrik tüketiminde kullanılan elektriğin %4'ü jeotermal kaynaklardan elde edilmektedir. Ayrıca jeotermal kaynaklardan sağlanan üretimin, Türkiye'nin toplam kurulu elektrik gücünün yaklaşık %2'sine denk geldiği ifade edilmektedir. Jeotermal enerji kaynakları yalnızca elektrik üretimi amacıyla kullanılmamakta olup aynı zamanda seracılık, konut ısıtması ve termal turizm gibi doğrudan kullanım alanlarında da değerlendirilmektedir. Türkiye genelinde yaklaşık 7 bin hektar alanda jeotermal kaynaklarla ısıtılan sera faaliyetleri yürütülmekte ve yaklaşık 160 bin konut doğrudan jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır (URL-15, 2025). Ayrıca İzlanda, El Salvador, Yeni Zelanda, Kenya ve Filipinler gibi ülkelerde elektrik talebinin önemli bir bölümünü jeotermal enerjiden karşılamaktadır. Özellikle İzlanda'da jeotermal enerji ülke genelindeki ısıtma talebinin %90'ından fazlasını karşılayarak, doğrudan kullanım alanlarında sağladığı yüksek katkı ile dikkat çekmektedir (URL-30, 2024). Bu durum, jeotermal enerjinin yalnızca elektrik üretiminde değil, aynı zamanda ısıtma gibi doğrudan kullanım uygulamalarında da stratejik bir kaynak olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Özellikle coğrafi ve jeolojik koşulları elverişli olan ülkelerde jeotermal kaynaklarının enerji arz güvenliğine ve ülke ekonomisine, sürdürülebilir enerji hedeflerine önemli katkı sunduğu görülmektedir.

3.8.3.1. Jeotermal Enerjisinin Avantajları

Jeotermal enerji, sahip olduğu birçok üstün özellik sayesinde günümüzde önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak öne çıkmakta olup, çeşitli avantajlar da sunmaktadır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

Yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Yer altındaki doğal ısıdan elde edildiği için diğer bazı kaynakların aksine zamanla tükenme riski bulunmamaktadır.

Çevre dostudur. Yanma teknolojisi kullanılmadığından ve sera gazı emisyonları sifıra yakın seviyede olduğundan jeotermal enerji elektrik üretiminde ve doğrudan kullanım alanlarında çevresel etkileri minimize eder.

Fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır. Jeotermal kaynaklar kullanılarak elektrik üretimi ve ısıtma yapılması, petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil yakıtların kullanımını önemli ölçüde düşürmekte ve enerji arz güvenliğine katkı sağlamaktadır.

Ekonomiktir. Arama ve sondaj yatırımları tamamlandıktan sonra işletme maliyetleri oldukça düşük olup uzun ömürlü tesisler sayesinde maliyet avantajı sağlamaktadır. Ayrıca uluslararası enerji piyasalarındaki fiyat dalgalanmalarından etkilenmediği için sabit maliyetli bir enerji türü sunmaktadır.

Çok amaçlı kullanım imkânı sunmaktadır. Jeotermal enerji, konut ısıtmasında, seralarda, termal turizm tesislerinde, sanayi tesislerinde ve tarımsal ürün kurutmada etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Baz yük santrali olarak kullanılabilir. Jeotermal santraller, meteorolojik koşullardan bağımsız olarak sürekli enerji üretebilme kapasitesine sahiptir ve bu yönüyle baz yük santrali niteliği taşımaktadır.

Yüksek kapasite faktörüne sahiptir. Jeotermal santraller, yıllık üretim süreleri ve verimlilik oranları açısından %95'in üzerinde kapasite faktörlerine ulaşabilmektedir.

Hızlı devreye alma ve düşük bakım maliyetleri sunar. Bir jeotermal enerji santralinin kurulumu, işletmeye alınması ve bakımı diğer yenilenebilir enerji tesislerine göre daha hızlı ve ekonomik bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (yaklaşık 6 ay-1 yıl içinde devreye alınabilmektedir).

Minimum alan ihtiyacı vardır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, jeotermal santrallerinin arazi kullanım gereksinimi oldukça düşüktür.

Güvenilir bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji üretim süreçlerinde yangın, patlama veya zehirlenme gibi riskler bulunmamaktadır.

Lokal ve stratejik bir kaynaktır. Jeotermal kaynaklar yereldir; dolayısıyla ithalat bağımlılığı yaratmaz ve uluslararası fiyat dalgalanmalarına maruz kalmadan ekonomik istikrar sağlamaktadır. Ayrıca uluslararası anlaşmazlıklara veya savaşlara neden olabilecek bir ithalat-ihracat bağı bulunmamaktadır.

Döviz tasarrufu sağlar. Fosil yakıt ithalatının azalması sayesinde ülke ekonomisinde döviz tasarrufu sağlamaktadır.

Jeotermal kaynaklardan elde edilen sıcak su, elektrik üretimi sonrasında sıcaklık seviyesi uygun olduğu sürece tarımsal seraların ısıtılması, endüstriyel üretim süreçlerinde kullanılması ve konut ısıtması gibi doğrudan kullanım alanlarında değerlendirilerek kaynak verimliliği artırılabilir (URL-24, 2025).

3.8.3.2. Jeotermal Enerjisinin Dezavantajları

Jeotermal enerji, çeşitli avantajlarının yanında bazı önemli sınırlamalar ve çevresel riskler de barındırmaktadır:

Coğrafi Sınırlılık: Jeotermal enerji kaynakları, yalnızca belirli jeotermal potansiyele sahip bölgelerde bulunmakta olup bu durum kullanım alanlarını coğrafi açıdan sınırlandırmaktadır.

Yüksek Yatırım ve İşletme Maliyetleri: Jeotermal enerji santrallerinin kurulumu ve işletilmesi yüksek maliyet gerektirmekte; özellikle derin sondaj çalışmaları, keşif süreçleri ve altyapı yatırımları ciddi finansal kaynak talep etmektedir.

Gaz Salınımı ve Hava Kirliliği: Bazı jeotermal sahalardan hidrojen sülfür, metan ve karbondioksit gibi çevre ve insan sağlığı açısından zararlı gazlar salınabilmektedir. Bu nedenle, üretim sürecinde salınan gazların kontrol altına alınması büyük önem taşımaktadır.

Yeraltı Su ve Toprak Kirliliği Riski: Jeotermal enerji üretimi sırasında kullanılan akışkanlar ve kimyasalların yer altı sularına sızması, su kaynaklarının kirlenmesine yol açabilmektedir. Ayrıca üretim sırasında ortaya çıkan jeotermal atıklar, ağır metaller ve zararlı bileşikler içerebilir ve bu durum doğal kaynakların kirlenmesine sebebiyet verebilmektedir.

Kaynakların Tükenmesi ve Verimlilik Kaybı: Jeotermal sahalarda zamanla sıcaklık ve basınç değerlerinde azalma yaşanabilmekte, bu durum enerji üretim verimliliğinin düşmesine ve kaynakların ekonomik ömrünün kısılmasına neden olabilmektedir. Yanlış yönetim ve uygulamalar, kaynakların tamamen kuruması riskini de beraberinde getirmektedir.

Toprak Yapısında Bozulmalar ve Jeoteknik Riskler: Derin sondaj faaliyetleri, yer altı yapısında değişimlere neden olabileceğinden, bazı durumlarda toprak kaymaları veya küçük ölçekli yer değişimleri meydana gelebilmektedir. Bu tür jeoteknik riskler, çevresel güvenlik açısından dikkatle yönetilmelidir.

Doğal Yaşama Olası Etkiler: Jeotermal santrallerin kurulumu ve işletilmesi sırasında yer altı su seviyelerinin değişmesi, bitki örtüsü ve hayvan yaşam alanları üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Özellikle su tüketiminin arttığı bölgelerde doğal habitatın daralması söz konusu olabilmektedir (URL-7, 2022).

Tüm bu dezavantajlara rağmen jeotermal enerji kaynaklarının doğru planlama, etkin yönetim ve çevresel önlemlerle kullanılması hem enerji üretiminde sürekliliğın sağlanması hem de doğal kaynakların korunması açısından kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, jeotermal enerjinin sürdürülebilir bir biçimde değerlendirilmesi, potansiyel çevresel etkilerin minimize edilmesine ve kaynakların uzun vadeli kullanımına katkı sunacaktır.

3.8.4. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerjinin kullanımına ilişkin ilk uygulamalar, binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Antik Yunanlılar, yaklaşık 2000 yıl önce buğdayı una dönüştürmek amacıyla su çarklarından yararlanmışlardır. Modern hidroelektrik türbinlerinin gelişimine yönelik önemli adımlar ise 18. yüzyılın ortalarında, Fransız hidrolik ve askeri mühendisi Bernard Forest de Belidor'un "Architecture Hydraulique" adlı eserini kaleme almasıyla atılmıştır. Bu gelişmeyi takiben, hidroelektrik teknolojisine yönelik birçok önemli ilerleme 19. yüzyılın ilk yarısında gerçekleştirilmiştir.

Suyun mekanik enerji kaynağı olarak kullanımının, Antik Roma döneminde geliştirilen su çarklarıyla başladığı varsayılmaktadır. Bu yenilik sayesinde, insan ve hayvan gücüne duyulan ihtiyaç azalmış ve suyun potansiyel enerjisinden çeşitli mekanik işlevlerde yararlanılmaya başlanmıştır. Ancak suyun elektrik üretimi amacıyla kullanılması daha sonraki yüzyıllarda mümkün olabilmekmiştir. Bu bağlamda, 19. yüzyılın ortalarında Britanyalı-Amerikalı mühendis James Francis tarafından geliştirilen Francis türbini, hidroelektrik enerji üretimi teknolojilerinde önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bu teknolojik ilerlemelerin bir sonucu olarak 1882 yılında ABD'nin Wisconsin eyaletinde dünyanın ilk

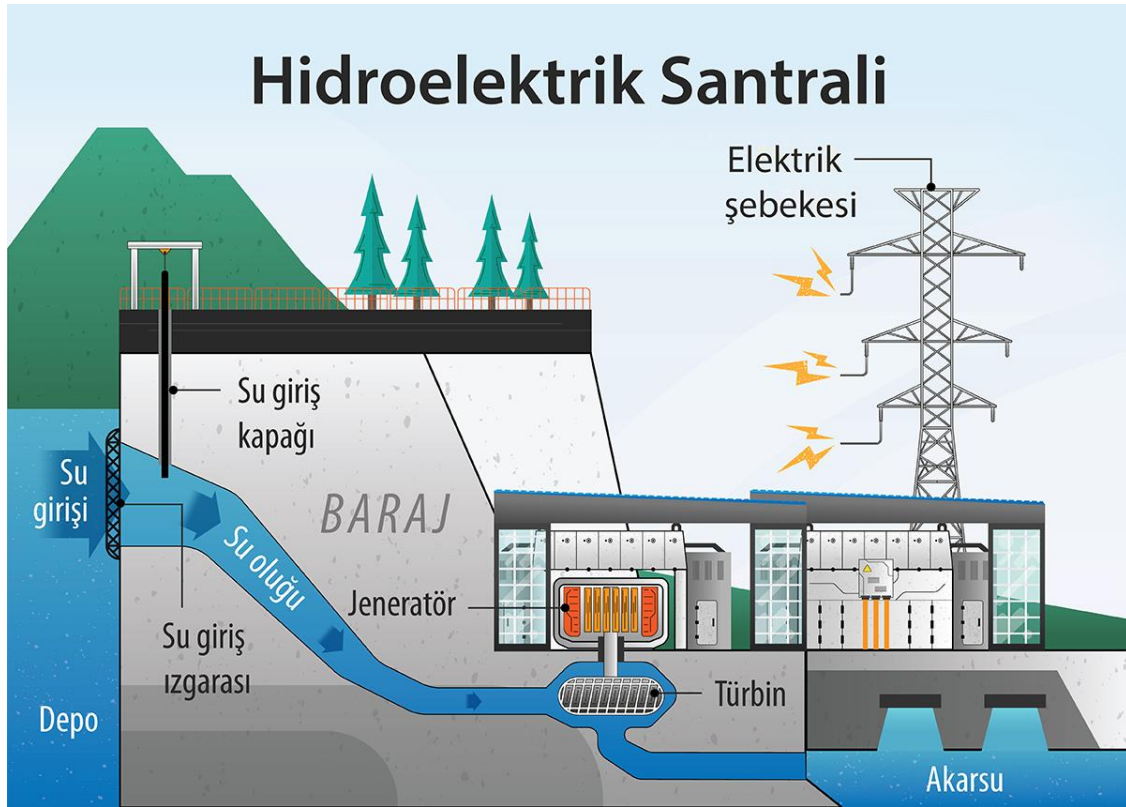
hidroelektrik santrali faaliyete geçirilmiştir (URL-46, 2025). Bu gelişmeyi takiben, 1883 yılında Kuzey İrlanda’da hidroelektrik üretimi gerçekleştirilmiş; aynı yıl içerisinde Brezilya’da da iki jeneratör, su çarkı yardımıyla çalıştırılarak elektrik üretimi sağlanmıştır (Demirkiran Göbeloğlu, 2024).

Güneş enerjisinin etkisiyle deniz, göl ve nehirlerdeki su kütleleri buharlaşmakta; oluşan su buharı rüzgâr akımlarıyla taşınarak dağlık bölgelerde yağış (yağmur veya kar) şeklinde yeryüzüne geri dönmektedir. Yeryüzüne düşen bu yağışlar, akarsu ve nehirleri besleyerek su döngüsünü sürdürmektedir. Bu doğal süreç sayesinde, hidrolik enerji sürekli yenilenen ve dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan bir güç kaynağı hâline gelmektedir (URL-12, 2025).

Hidroelektrik enerji (hidrogüç), suyun yüksek rakımlardan düşük rakımlara doğru hareketi sırasında sahip olduğu potansiyel enerjinin kinetik enerjiye ve ardından elektrik enerjisine dönüştürülmesi yoluyla elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Kanıtlanmış, olgunlaşmış, öngörülebilir ve maliyet açısından rekabetçi bir teknoloji olması, hidroelektrik enerjiyi diğer kaynaklar arasında ön plana çıkarmaktadır. Hidroelektrik santraller, tüm enerji üretim teknolojileri arasında en yüksek dönüşüm verimliliğine sahip olup suyun elektrik enerjisine dönüşümünde yaklaşık %90 oranında bir verimlilik sunmaktadır. Yüksek düzeyde başlangıç yatırımı gerektirmesine rağmen uzun ömürlü yapıları ve düşük işletme ile bakım maliyetleri sayesinde hidroelektrik enerji, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Hidroelektrik enerji, yalnızca büyük ölçekli baraj ve rezervuar sistemleri üzerinden değil, aynı zamanda çevresel etkisi daha sınırlı olan nehir tipi (run-of-the-river) kaynaklardan da elde edilebilmektedir. Ancak bu tür sistemler, düzenli bir yağış rejimine bağımlı olduklarından, yağışlardaki düzensizlikler ve öngörülemeyen değişimler enerji üretiminin yanı sıra taşkın kontrolü, içme ve sanayi kullanımına yönelik su teminini ile kuraklık dönemlerinde depolanan su aracılığıyla enerji üretimi gibi çeşitli işlevlerde etkili olmaktadır. Özellikle elektrik talebinin yüksek olduğu pik saatlerde şebeke istikrarının sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Temiz bir enerji kaynağı olarak kabul edilen hidroelektrik enerji, yalnızca elektrik üretimi ile sınırlı kalmayıp; kuraklık dönemlerinde arazi ıslahı ve sulama faaliyetlerine katkı sağlamakta, elektrik şebekesinin istikrarını desteklemekte ve balıkçılık, yerel turizm ile içme ve belediye su temini gibi çeşitli sosyoekonomik faaliyetleri

de desteklemektedir (Kabeyi vd., 2025).



Şekil 3.34: Hidroelektrik santralinin yapısı ve çalışma prensibi (Okatan, 2021)

Hidroelektrik enerji santralleri, dünyanın en eski ve en büyük yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almakta olup, suyun potansiyel enerjisinin önce kinetik enerjiye, ardından elektrik enerjisine dönüştürülmesi yoluyla çevreye zarar vermeden enerji üretimi sağlamaktadır (Erkek ve Irmak, 2025). Bu sistemlerde, yüksek rakımlarda depolanan suyun türbinlere yönlendirilmesiyle mekanik enerji elde edilmekte; bu enerji, jeneratörler aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilerek şebekeye aktarılmaktadır.

Türkiye’de tarımsal üretimin ön planda olduğu dönemlerde su kaynakları ağırlıklı olarak sulama amaçlı kullanılmıştır. Ancak 20. yüzyılın başlarına gelindiğinde, akarsular yalnızca tarımsal sulama için değil, aynı zamanda elektrik enerjisi üretiminde de değerlendirilmeye başlanmıştır. Ülkemizde ilk hidroelektrik enerji üretimi, 1902 yılında Tarsus’ta kurulan ve 2 kW gücünde olan küçük bir su türbini ile gerçekleştirilmiştir. Bu santral, birkaç evin enerji ihtiyacını karşılayabilecek kapasitede üretim yapmıştır. Türkiye’de ilk büyük ölçekli elektrik üretimi ise 1914 yılında İstanbul Silahtarğa’da kurulan ve 15 MW kurulu güce sahip olan

termik santral ile gerçekleştirilmiştir (Dinçer vd., 2017; Kemal, 2025).

Türkiye, sahip olduğu dağlık arazi yapısı ve hızlı akışa sahip akarsuları sayesinde yüksek bir hidroelektrik enerji potansiyeline sahiptir. Bu potansiyelin bölgesel dağılımına bakıldığında, en yüksek hidroelektrik kapasitesinin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunduğu görülmektedir. Buna karşılık, coğrafi yapısı ve akarsu özellikleri nedeniyle Marmara Bölgesi, ülke genelinde hidroelektrik potansiyelin en düşük olduğu bölge konumundadır (URL-8, 2022).

Dünya genelinde hidroelektrik santraller toplam elektrik üretiminin yaklaşık %29'unu sağlamaktadır. Türkiye'de ise bu oran %31 seviyesindedir. Hidroelektrik santrallerin kurulu gücü ve üretim miktarı; su debisi, net düşü ve benzeri hidrolik parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Türkiye'de 2022 yılı itibarıyla hidroelektrik santrallerin kurulu gücü 31.000 MW'lık yeni kurulu güç ile Türkiye, hidroelektrik kapasitesini en fazla artıran ülkeler arasında yer alarak dünya sıralamasında 9. sıraya yükselmiştir (Erkek ve İrmak, 2025).

2024 yılında, kuraklık koşullarına rağmen Türkiye'de hidroelektrik enerji üretiminde önemli bir artış kaydedilmiştir. Hidroelektrik santraller, 2023 yılına kıyasla 11 TWh (Terawatt-saat) (%17 oranında) daha fazla elektrik üretmiş ve bu artış, üretimin geleneksel olarak zirve yaptığı ilkbahar aylarında yaşanan ciddi kuraklığa rağmen gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, hidroelektrik santraller kuraklık nedeniyle üretim kaybı yaşarken, su depolama kapasitesine sahip barajlı hidroelektrik santraller, su rezervlerini kullanarak üretim artışı sağlamıştır. Alpaslan tarafından yayımlanan Türkiye Elektrik Görünümü 2024 Raporu'na göre hidroelektrik enerjisi, 2024 yılında Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin %22'sini karşılamış ve ülkenin enerji arz güvenliğine önemli katkılar sunmuştur (Alpaslan, 2025).



Şekil 3.35: Türkiye’de kurulu güç bazında en büyük on hidroelektrik santralinin coğrafi dağılımı

Not: Çalışmaya eklenen Şekil 3.35 tarafımda özgün olarak hazırlanmış olup yalnızca konunun mekânsal ve görsel açıdan desteklenmesi amacıyla kullanılmış ve çalışmaya destekleyici bir unsur olarak dahil edilmiştir.

Şekil 3.35’te, Türkiye’de kurulu güç kapasitesi bakımından en büyük on hidroelektrik enerji santralinin (HES) coğrafi dağılımı gösterilmektedir. Söz konusu santraller ve bunlara ait kurulu güç değerleri aşağıda sunulmaktadır:

Tablo 3.1: Türkiye’de kurulu güç bazında en büyük on hidroelektrik santralinin coğrafi dağılımı Kaynak: (URL-19, 2024)

Sıra	Santral Adı	İl	Kurulu Güç (MW)
1	Atatürk Barajı ve HES	Şanlıurfa	2.405
2	Karakaya Barajı ve HES	Diyarbakır	1.800
3	Keban Barajı ve HES	Elâzığ	1.330
4	İlisu Barajı ve HES	Mardin	1.209
5	Altınkaya Barajı ve HES	Samsun	703
6	Birecik Barajı ve HES	Şanlıurfa	672
7	Deriner Barajı ve HES	Artvin	670
8	Yukarı Kaleköy Barajı ve HES	Bingöl	627
9	Beyhan Barajı ve HES	Elâzığ	582
10	Yusufeli Barajı ve HES	Artvin	548

Türkiye'nin hidroelektrik enerji üretiminde önemli bir yere sahip olan bu santrallerin büyük bir kısmı, Fırat ve Dicle havzalarında konumlanmakta olup ülkenin hidroelektrik enerji üretiminde kritik bir rol üstlenmektedir. Özellikle Atatürk, Karakaya, Keban, Ilısu gibi büyük ölçekli tesisler, yalnızca elektrik üretimi açısından değil, aynı zamanda bölgesel kalkınma ve su yönetimi süreçlerinde de stratejik işlevler üstlenmektedir. Coğrafi dağılım incelendiğinde, hidroelektrik santrallerin ağırlıklı olarak Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, topografik yapı ile akarsu rejimi gibi doğal etkenlerin, enerji üretim altyapısının geliştirilmesinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, Samsun ve Artvin gibi Karadeniz illerinde yer alan Altınkaya, Deriner ve Yusufeli barajları ise, bölgesel hidroelektrik potansiyelin etkin bir şekilde değerlendirildiğine işaret etmektedir.

Yusufeli Barajı ve HES, 275 m yüksekliği ile Türkiye'nin en yüksek, kendi kategorisinde ise dünyanın 5'inci en yüksek barajı konumundadır. Yıllık ortalama 1,9 milyar kilovatsaat elektrik üretim kapasitesine sahip olan baraj, yaklaşık 2,5 milyon kişinin yani Antalya büyüklüğünde bir kentin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabilecek düzeydedir. Bu özelliğiyle Yusufeli Barajı, Türkiye'nin enerji arz güvenliğinin güçlendirilmesine ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen üretimin artırılmasına önemli katkılar sağlamaktadır (URL-14, 2024).

Bu veriler doğrultusunda, Türkiye'de hidroelektrik santrallerden elde edilen enerji üretiminin öneminin her geçen gün artmakta olduğu görülmektedir (Erkek ve Irmak, 2025).

3.8.4.1. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Avantajları

Hidroelektrik enerji santralleri, çevre dostu ve sürdürülebilir yapıları sayesinde enerji üretiminde önemli avantajlar sunmaktadır. Üretim sürecinde gaz, kül veya diğer zararlı atıkların oluşmaması, bu santrallerin hava kirliliğine ve sera gazı emisyonlarına neden olmadan enerji sağlamasına olanak tanımaktadır. Su gibi doğal ve yenilenebilir bir kaynağın kullanılması, hidroelektrik santrallerin çevresel etkilerini minimum düzeyde tutarken fosil yakıtlı santrallere kıyasla daha temiz bir enerji alternatifinin sunulmasına katkı sağlamaktadır.

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, hidroelektrik santraller, yüksek kurulum

maliyetlerine karşın uzun vadede düşük işletme ve bakım giderleri ile öne çıkmaktadır.

Enerji üretiminde ana kaynak olan suyun ücretsiz olması, üretim maliyetlerini düşürmekte ve enerji arzında ekonomik sürdürülebilirlik sağlamaktadır. Ayrıca hidroelektrik santral projelerinin büyük oranda yerli kaynaklarla gerçekleştirilebilmesi, dışa bağımlılığı azaltmakta ve ulusal ekonomiye katkıda bulunmaktadır.

Hidroelektrik santraller yalnızca enerji üretimiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda çeşitli sosyoekonomik ve çevresel işlevler de üstlenmektedir. Barajlar aracılığıyla hayati önem taşıyan yerleşim alanlarının içme suyu ihtiyacı karşılanabilmekte, tarım arazilerinin sulanması sağlanmakta ve taşkın kontrolü gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca bu tür projeler, bölgesel kalkınmayı destekleyerek balıkçılık, turizm ve ulaşım gibi çeşitli sektörlerin gelişimine de katkı sunmaktadır. Ağaçlandırma ve erozyonla mücadele çalışmaları kapsamında çevresel koruma faaliyetlerine de destek sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, hidroelektrik santraller, pik enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Elektrik talebinin yüksek olduğu dönemlerde kısa sürede devreye alınarak şebeke istikrarının korunmasına katkıda bulunmakta, acil durumlarda ise hızlı bir şekilde devreden çıkarılarak güvenlik risklerinin önüne geçilebilmektedir. Bu esneklik, hidroelektrik enerjinin enerji yönetimi stratejileri açısından da vazgeçilmez bir bileşen olmasını sağlamaktadır (URL-12, 2025).

3.8.4.2. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Dezavantajları

Hidroelektrik enerji santralleri, yenilenebilir ve temiz enerji üretiminde önemli bir yere sahip olmakla birlikte çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan çeşitli dezavantajlar da barındırmaktadır. Bu olumsuzluklar, santrallerin planlama, inşaat ve işletme süreçlerinde dikkate alınması gereken temel hususlardır.

Barajların inşası ve rezervuarların oluşturulması, doğal ekosistemlerde önemli değişimlere yol açmaktadır. Akarsu akış düzeninin değişmesi, geniş alanların su altında kalması ve yer altı su seviyesinin yükselmesi gibi sonuçlar hem karasal hem de sucul yaşam alanlarının bozulmasına neden olabilmektedir. Ayrıca baraj gölleri etrafında oluşan toprak tuzlanması gibi ikincil çevresel etkiler, tarımsal üretimi olumsuz etkileyebilmektedir. Sucul canlıların yaşam döngüleri, özellikle balık göçleri ve üreme süreçleri, değişen su rejimi nedeniyle zarar

görebilmektedir.

Hidroelektrik projelerinin sosyal etkileri, yerleşim yerlerinin sular altında kalması ve nüfusun zorunlu olarak başka bölgelere taşınması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu süreç, yerinden edilen toplulukların sosyal uyum sorunlarına, ekonomik kayıplara ve kültürel erozyona yol açabilmektedir. Özellikle farklı sosyal yapıya sahip toplulukların zorunlu göçü, bölgede uzun vadeli toplumsal dengesizliklere neden olabilmektedir.

Hidroelektrik santrallerinin kurulum maliyetleri oldukça yüksek olup baraj inşası öncesinde uzun süreli yağız analizleri, jeolojik çalışmalar ve su potansiyeli değerlendirmeleri yapılması gerekmekte, bu da yatırım maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca su altında kalan araziler için ödenen istimlak bedelleri ve büyük inşaat projelerinin finansmanı, ekonomik yükü daha da ağırlaştırmaktadır. Yüksek ilk yatırım maliyetine rağmen hidroelektrik santrallerin ekonomik geri dönüşü uzun yıllar alabilmektedir.

Büyük ölçekli baraj yapımı, yerel zemin yapısında değişimlere yol açarak sismik aktiviteleri tetikleyebilmektedir. Hoover Barajı gibi örneklerde, baraj gölü oluşumu sonrası küçük ölçekli depremler gözlemlenmiştir. Bu durum, özellikle fay hatlarına yakın bölgelerde hidroelektrik projelerin jeoteknik risklerini artırmaktadır.

Barajların, sınır aşan sular üzerinde kurulması durumunda, komşu ülkelerle su paylaşımı konusunda anlaşmazlıklar ortaya çıkabilmektedir. Bir ülkede yapılan su düzenlemeleri, başka bir ülkede su teminini azaltabilir ve uluslararası düzeyde su politikaları açısından sorunlara yol açabilir (URL-12, 2025; Mohamud ve Elkiran, 2023).

3.8.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, belirli bir zaman diliminde bir türün ya da türler topluluğunun sahip olduğu toplam canlı kütleyi ifade etmektedir. Bitkiler, hayvanlar ve mikroorganizmalar gibi canlı organizmalardan elde edilen her türlü organik madde biyokütle kapsamına girmektedir. Bu kaynaklar; tarım ve orman atıkları, gıda ve hayvansal atıklar, enerji bitkileri ve organik evsel atıklar gibi çeşitli formlarda doğadan sağlanabilmektedir. Bu bağlamda biyokütle; tarımsal ürünler ve kalıntılar (bitkisel ve hayvansal atıklar dahil), ormancılık faaliyetlerinden ve bu sektöre bağlı endüstrilerden (örneğin balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği) elde edilen

atıklar ile endüstriyel ve kentsel kaynaklı biyolojik olarak parçalanabilir diğer organik maddeleri kapsamaktadır. Enerji üretimi açısından değerlendirildiğinde, biyokütle doğrudan yakılarak ya da biyogaz ve biyoyakıt gibi ikincil enerji türlerine dönüştürülerek kullanılabilir. Bu dönüşüm süreçleri sayesinde elektrik, ısı ve sıvı yakıt üretimi gerçekleştirilmekte; böylece fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması ve karbon salımlarının düşürülmesi hedeflenmektedir. Aynı zamanda, biyokütlenin kompostlama yoluyla gübreye dönüştürülmesi, toprak verimliliğini artırmakta ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sunmaktadır. Endüstriyel anlamda ise biyokütle; biyoplastik, biyokimyasallar ve çeşitli yenilenebilir hammaddelerin üretiminde alternatif bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Tüm bu yönleriyle biyokütle, atıkların geri kazanımını teşvik eden, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayan ve çok yönlü kullanım alanları sunan stratejik bir enerji ve üretim kaynağıdır (Ali vd., 2024; URL-9, 2024; Kapluhan, 2014; K. Zhang, 2025).

Biyokütlenin tarihsel süreçte enerji üretiminde nasıl değerlendirildiği incelendiğinde, oldukça eski dönemlere uzanan bir kullanım geçmişi olduğu görülmektedir. Ateşin bulunmasının ardından insanlar, temel enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla odun gibi biyokütle kaynaklarını ısıtma ve yemek pişirme amaçlı kullanmışlardır. Persler ve Asurluların, hamam ısıtmasında biyogaz benzeri kaynaklardan yararlandıkları bilinmektedir. 17. yüzyılda organik maddelerin bozunması sonucunda gaz oluştuğu gözlemlenmiş olup bu bulgular 19. yüzyılda ilk biyogaz üretim uygulamalarını temel oluşturmuştur. Aynı yüzyılda biyokütle, ABD’de lamba yakıtı olarak yaygın şekilde kullanılmış; İngiltere’de ise foseptik gazları sokak lambalarının aydınlatılmasında değerlendirilmiştir. 1908 yılında Ford’un Model T araçlarında yakıt olarak etanol kullanılması, biyokütlenin ulaşım sektöründe de işlevsel hâle geldiğini göstermektedir. II. Dünya Savaşı Dönemi’nde biyogazın motor yakıtı olarak kullanımı yaygınlaşmış ve savaş sonrası bazı ülkeler, biyogaz üretimini teşvik edici yasal düzenlemeler geliştirmiştir. Türkiye’de ise biyokütleye dayalı ilk bilimsel çalışmalar 1957 yılında “Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü” tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak uygulamanın ülke koşullarına yeterince uygun olmaması nedeniyle beklenen düzeyde başarı sağlanamamıştır (URL-10, 2022).

Türkiye, günümüzde sahip olduğu geniş biyolojik çeşitlilik ve tarımsal üretim kapasitesiyle biyokütle temelli enerji üretimi açısından dikkate değer bir potansiyele sahiptir. Yapılan

hesaplamalara göre Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyeli yaklaşık 117 milyar ton olup bu miktar yaklaşık 32 milyon ton eşdeğer petrole (Mtep) karşılık gelmektedir. Bu toplam içinde en büyük pay, 14,5 Mtep ile yıllık bitkisel kaynaklara aittir. Bunu 5,4 Mtep ile orman atıkları ve 4.1 Mtep ile çok yıllık bitkiler takip etmektedir. Ayrıca hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz potansiyelinin 1,5 ila 2 Mtep arasında olduğu öngörülmektedir. Türkiye'nin biyokütle kaynakları; tarım ve orman ürünleri, hayvansal atıklar ve organik kentsel atıklardan oluşmaktadır. Özellikle bir tarım ülkesi olan Türkiye, tarımsal üretim süreçlerinden kaynaklanan ürün ve atık çeşitliliği sayesinde ciddi bir biyokütle kaynağına sahiptir. Sadece tarımsal ürün atıklarından elde edilebilecek enerji potansiyeli yaklaşık 9,5 Mtep düzeyindedir. Türkiye'de hububat üretimi sonucunda ortaya çıkan katı atık miktarının 39,2 ila 52,3 milyon ton, mısır artıkları miktarının 3,8 ila 4,8 milyon ton, şeker pancarının 1,3 ila 1,5 milyon ton ve pamuk atıklarının 522 ila 617 bin ton arasında olduğu tahmin edilmektedir. Ülke genelindeki toplam tarımsal katı atık miktarı 40 ila 53 milyon ton aralığında olup bu atıkların yıllık enerji eşdeğeri is yaklaşık 50 ila 65 milyon ton petrol olarak değerlendirilmektedir. Bu potansiyel, çeşitli teknolojik yöntemlerle işlenerek biyokütle yakıtı olarak enerji üretiminde değerlendirilebilmektedir. Öte yandan, Türkiye'nin sahip olduğu 23,7 milyon hektarlık tarıma elverişli arazi varlığı da biyokütle temelli enerji üretimi açısından güçlü bir altyapı sunmaktadır. Bu arazilerin 18,11 milyon hektarlık kısmı ekili olup, kalan alan nadas uygulamalarına ayrılmıştır. Mevcut tarım kapasitesi, biyokütle üretiminin sürdürülebilirliğini desteklerken; küresel ölçekte enerji piyasalarında yaşanan dönüşümler, biyokütle ve genel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yeni fırsatlar sunmaktadır. Artan enerji talebi ve fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması, biyokütle enerjisinin çevresel ve stratejik önemini daha da artırmaktadır (URL-51, 2025). Ancak biyokütle potansiyelinin enerjiye dönüştürülmesinde yalnızca kaynak varlığı değil, bu kaynakların etkin şekilde işlenmesini sağlayacak altyapı yatırımları da belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle hayvansal atıklardan biyogaz üretimi açısından bakıldığında, mera hayvancılığının yaygın olmasına rağmen nüfus yoğunluğunun düşük olduğu bazı illerde biyogaz enerji santrallerinin bulunmadığı görülmektedir. Türkiye'de Bilecik, Bitlis, Gümüşhane, Hakkâri, Iğdır, Kars, Kilis, Muğla, Şırnak ve Tunceli illerinde hâlen faal bir biyogaz santrali yer almamaktadır. Bu durum mevcut potansiyelin coğrafi olarak homojen bir biçimde değerlendirilemediğini ve biyokütleyle dayalı enerji yatırımlarının mekânsal dağılımında önemli boşluklar bulunduğunu ortaya koymaktadır (Türkşen, 2024).

Biyokütle kaynakları, kökenleri ve içerikleri itibarıyla farklı türlere ayrılmakta olup enerji

retiminde kullanılabilecek çeşitlilikte materyal sunmaktadır. Bu kaynaklar genel olarak bitkisel, hayvansal, orman ürünleri ve kentsel-endüstriyel atıklar olmak üzere dört ana grupta sınıflandırılmaktadır:

3.8.5.1. Bitkisel Kaynaklı Biyokütle

Yağlı tohumlu bitkiler (kanola, ayçiçeği, soya vb.), eker ve nişasta içeren bitkiler (mısır, buğday, patates, eker pancarı vb.), lif bitkileri (keten, kenevir, sorgum, miskantus vb.) ile hasat sonrası kalan sap, saman, dal, kabuk gibi bitkisel artıklar bu kapsamda değerlendirilmektedir.

3.8.5.2. Orman ve Ormancılığa Dayalı Biyokütle

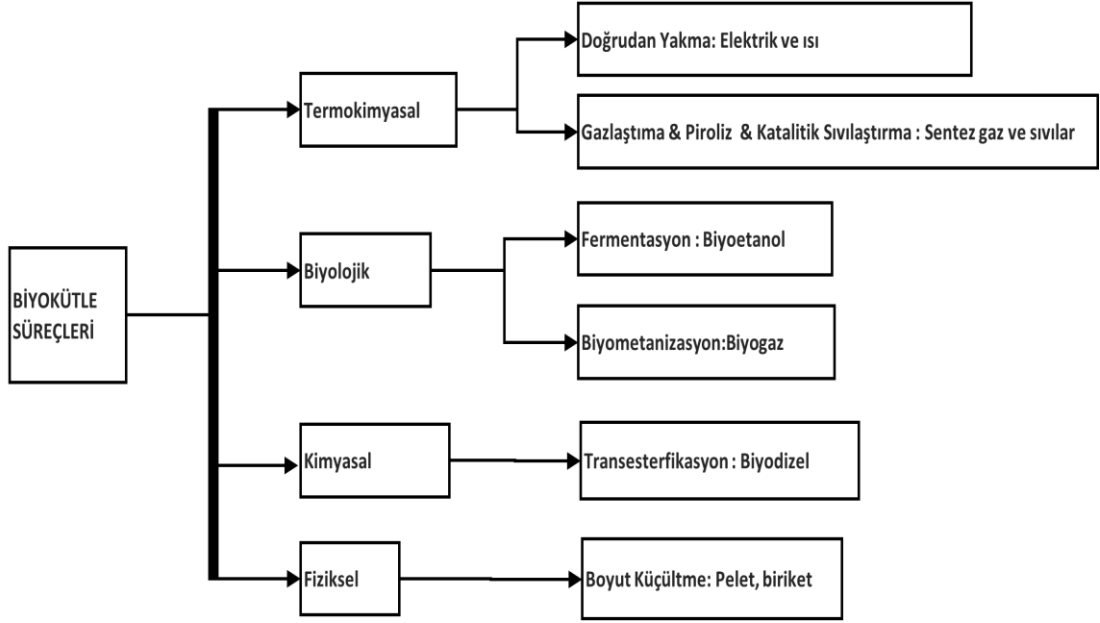
Orman ve ormancılık endüstrilerinden elde edilen atık ve artıklar, enerji ormanları ve enerji bitkileri bu gruba dahil edilmektedir.

3.8.5.3. Hayvansal Kaynaklı Biyokütle

Büyükbaş, kkba ve kanatlı hayvanların dıkıları, mezbaha atıkları ile hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında oluşan organik atıklar bu kategoride yer almaktadır.

3.8.5.4. Kentsel ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle

Biyolojik kökenli endüstriyel atıklar, belediye atıkları ve atıksu arıtma çamurları bu grup içerisinde değerlendirilmektedir (URL-26, 2024).



Şekil 3.36: Biyokütle enerji dönüşüm süreçlerinin sınıflandırılması (URL-26, 2024)

Biyokütle kaynakları; termokimyasal, biyolojik, kimyasal ve fiziksel çevrim yöntemleri ile farklı yakıt türlerine dönüştürülebilmektedir. Bu süreçler aracılığıyla katı (örneğin pelet, briket), sıvı (biyodizel, biyoetanol) ve gaz (biyogaz, sentez gazı) formunda enerji ürünleri elde edilmekte; böylece hem atık yönetimi sağlanmakta hem de yenilenebilir enerji üretimine katkı sunulmaktadır.

3.8.5.5. Biyokütle Enerjisinin Avantajları ve Uygulama Alanları

Biyokütle enerjisi hem çevresel hem de ekonomik açılardan sunduğu çeşitli faydalar sayesinde, yenilenebilir enerji kaynakları arasında stratejik bir öneme sahiptir. Organik atıkların, tarımsal ve ormansal kalıntıların veya özel olarak yetiştirilen enerji bitkilerinin dönüştürülmesiyle elde edilen bu enerji türü, sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle yüksek düzeyde uyumludur.

3.8.5.5.1. Çevresel Avantajlar

Biyokütle enerjisi fosil yakıtların aksine karbon nötr bir yapıya sahiptir. Yakım sırasında atmosfere salınan karbondioksit, biyokütle kaynağı olan bitkiler tarafından büyüme sürecinde emildiğinden, net sera gazı emisyonu önemli ölçüde düşüktür. Bu özellik, iklim

değişikliğiyle mücadelede biyokütleyi etkili bir araç haline getirmektedir. Ayrıca biyokütlenin atıklardan elde edilebilmesi, atık hacmini azaltarak çevresel kirliliği önlemekte ve bertaraf maliyetlerini düşürmektedir. Kompost ve organik gübre üretiminde kullanımı ise toprak sağlığına doğrudan katkı sunmakta, tarımsal verimliliği desteklemektedir.

3.8.5.5.2. Ekonomik ve Sosyal Katkılar

Biyokütle projeleri özellikle kırsal alanlarda tarım, toplama, işleme ve enerji üretimi süreçlerinde istihdam yaratarak bölgesel kalkınmayı desteklemektedir. Yerel kaynaklara dayalı olması, dışa bağımlılığı azaltmakta ve enerji güvenliğini artırmaktadır. Enerji bitkileri ve tarımsal atıklar sayesinde çiftçiler ek gelir olanağı sağlanmakta; biyoyakıt üretimi, ulaşım sektörü için sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.

3.8.5.5.3. Teknik ve Operasyonel Üstünlükler

Biyokütlenin diğer yenilenebilir kaynaklardan temel farkı, sürekli ve kesintisiz enerji üretimine olanak tanımasıdır. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynaklarda görülen üretim dalgalanmalarının aksine biyokütle santralleri yıl boyunca stabil enerji arzı sağlayabilmektedir. Ayrıca biyokütle kolaylıkla depolanabilir, ihtiyaç anında ise enerjiye dönüştürülebilir ve bu yönüyle arz-talep dengesine katkıda bulunabilir.

3.8.5.5.4. Uygulama Alanları

Biyokütle enerjisinin kullanım alanları oldukça çeşitlidir:

Elektrik ve Isı Üretimi: Termik dönüşüm süreçleriyle elektrik ve ısı üretiminde kullanılır.

Biyoyakıt Üretimi: Etanol ve biyodizel gibi taşıma yakıtları üretiminde değerlendirilir.

Biyogaz Üretimi: Anaerobik sindirimle elde edilen biyogaz, ısıtma ve elektrik üretiminde kullanılır.

Tarım ve Bahçecilik: Organik gübre üretiminde değerlendirilerek toprak kalitesi artırılır.

Endüstriyel Ürünler: Biyoplastikler ve biyobazlı kimyasallar gibi çevre dostu ürünlerin üretiminde kullanılır.

Hayvan Yemi ve Enerji Bitkileri: Tarımsal atıkların hayvancılıkta değerlendirilmesi ve özel olarak yetiştirilen enerji bitkileriyle biyokütle arzının artırılması mümkün olmaktadır (URL-11, 2024; URL-42, 2020; Yang vd., 2024).

3.8.5.6. Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları

Biyokütle enerjisi, yenilenebilir bir kaynak olmasına rağmen çevresel, ekonomik ve teknik açılardan bazı önemli sınırlılıklar içermektedir. Öncelikle bu enerji türünün sürdürülebilir şekilde gelişebilmesi için tutarlı politikalar ve uzun vadeli teşvik mekanizmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Politika eksiklikleri, yatırımcı güvenini zedelemekte ve sektörde istikrarlı büyümeyi engellemektedir.

Enerji üretim sürecinde biyokütle yakıtlarının bazı durumlarda fosil yakıtlarla desteklenmesi gerekliliği, bu kaynağın karbon nötr olma avantajını zayıflatmaktadır. Ayrıca biyokütlenin yanması, azot oksit ve partikül madde gibi zararlı emisyonlara neden olabilir; bu da hava kalitesi üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Su, güneş ve rüzgâr gibi diğer yenilenebilir kaynaklarla karşılaştırıldığında bu durum, biyokütle enerjisinin çevresel sürdürülebilirlik açısından görece zayıf kalmasına neden olmaktadır.

Biyokütle üretiminde kullanılan ham maddelerin büyük kısmı tarımsal kökenlidir ve bu durum geniş arazilere ve yüksek miktarda sulama suyuna olan ihtiyacı beraberinde getirmektedir. Özellikle tarıma elverişli alanların enerji üretimi amacıyla kullanılması, gıda güvenliği açısından potansiyel bir tehdit oluşturmakta; aynı zamanda kuraklık riskini artırmaktadır. Kontrolsüz üretim süreçleri ise ormansızlaşmaya yol açarak ekosistem bütünlüğünü ve biyoçeşitliliği tehdit etmektedir.

Biyoyakıt üretiminde kullanılan gübre ve kimyasallar, toprak kalitesini bozmakta ve yer altı sularının kirlenmesine neden olabilmektedir. Ayrıca biyokütle santrallerinin kurulumu ve işletimi yüksek sermaye gerektirir; kaynakların toplanması, taşınması ve işlenmesi süreçleri ise lojistik açıdan önemli maliyetler doğurmaktadır. Kırsal alanlarda bu maliyetler daha da artmakta, bu durum küçük ölçekli üreticiler için erişim sorunları yaratmaktadır (URL-45,

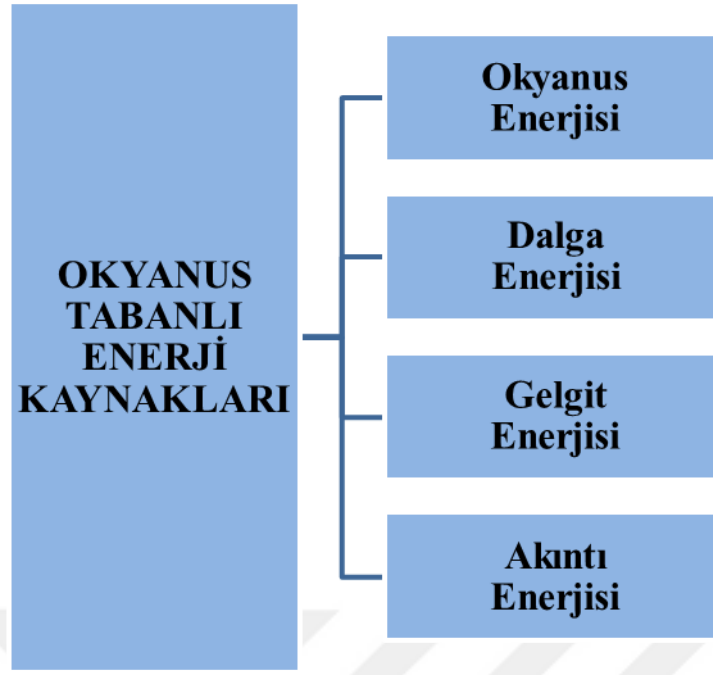
2022; Değirmenci, 2023).

3.8.6. Deniz Kaynaklı Enerji Türleri: Okyanus Enerjisi

Güneşten yayılan ışıma enerjisi, okyanus yüzeyine ulaştıktan sonra emilerek üst katmanlarda ısı enerjisi biçiminde depolanmaktadır (URL-31, 2020). Bu bağlamda, yüksek enerji yoğunluğu ve geniş potansiyel rezervleri sayesinde okyanus dalga enerjisi, deniz kökenli yenilenebilir enerji kaynakları arasında en gelecek vadeden teknolojilerden biri olarak öne çıkmaktadır (He vd., 2025). Bu potansiyelin fark edilmesiyle birlikte, 1970’li yıllardan itibaren okyanus ve deniz dalgalarından enerji üretimine odaklanan çalışmalar ivme kazanmış hem akademik çevrelerde hem de özel sektörde çeşitli enerji dönüştürme sistemleri ve deneysel cihazlar geliştirilmeye başlanmıştır (Uygur vd., 2006).

Dünya yüzeyinin yaklaşık %70’inden fazlasını kaplayan okyanuslar, dalga, gelgit ve termal enerji gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengindir. Nitekim dünya okyanuslarının toplamda en az 10 teravat (TW) düzeyinde temiz enerji potansiyeline sahip olduğu tahmin edilmektedir. Ancak okyanus enerjisinden yararlanma çabaları, başlangıçta rüzgâr ve güneş enerjisi gibi diğer yenilenebilir kaynaklarla kıyaslandığında daha yüksek maliyetli olduğu gerekçesiyle sınırlı kalmıştır (Guo vd., 2025; Kaymaz vd., 2024).

Küresel ölçekte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimin artması, okyanuslarda bulunan büyük enerji rezervlerine olan ilgiyi de beraberinde getirmektedir. Ancak mevcut durumda okyanus enerjisi, yenilenebilir enerji piyasasında en düşük paya sahip kaynak konumundadır. Bu alanda yürütülen projelerin önemli bir bölümü hâlen küçük ölçekli ve pilot düzeyde olup 2018 yılı itibarıyla dünya genelinde yalnızca 532 MW’lık bir işletme kapasitesine ulaşmıştır. Okyanus enerjisinin teknik potansiyeli oldukça yüksek olmasına rağmen, çeşitli yapısal ve ekonomik nedenlerle yaygın bir kullanım alanı bulunmamaktadır. Bununla birlikte, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika’daki hükümetlerin okyanus enerjisi teknolojilerine yönelik teşvik politikaları, bu alandaki araştırmaları ve elektrik üretimine yönelik uygulamaları destekleyerek gelişimi hızlandırmaktadır (Karabağ vd., 2021).



Şekil 3.37: Okyanus tabanlı yenilenebilir enerji türlerinin sınıflandırılması (Üçgül ve Elibüyük, 2017)

Şekil 3.37’de okyanus tabanlı enerji kaynakları; genel okyanus enerjisi kapsamında dalga, gelgit, akıntı enerjisi alt başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma, izleyen bölümlerde detaylandırılacak enerji türlerinin yapısal çerçevesini sunmaktadır.

3.8.7. Dalga Enerjisi

Deniz dalga enerjisinden yararlanma fikrine yönelik ilk patentli teknik girişimler, 1799 yılında Fransa’da Girand ve Son adına tescillenmiştir. 1930’lu yıllarda, deniz dalgalarının taşıdığı yüksek enerji potansiyelini fark eden Osborn Havelock, bu alandaki çalışmalarının sonucunda 1933 yılında dalga enerjisine ilişkin fikirlerine patent almıştır. Bu gelişmeleri takiben, Leishman ve Scobie, 1955-1973 yılları arasında İngiltere’de dalga gücünden elektrik üretmeye yönelik sistemlerin teknik evrimini incelemiş; bu süreçte elde edilen ilk İngiliz patentlerinden itibaren yaşanan ilerlemeleri kapsamlı şekilde belgelemişlerdir (Mert, 2012). Bu tarihsel gelişmeler, dalga enerjisinin günümüzde neden artan bir öneme sahip olduğunu daha iyi anlamamıza olanak tanımaktadır. Nitekim dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında hızla öne çıkan yenilikçi ve geleceğe yönelik yüksek potansiyel barındıran bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Sathyanarayana ve Seelam, 2025).

Dalga hareketleri ya da doğal deniz akıntıları aracılığıyla enerji üretimi, rüzgâr enerjisi sistemleriyle benzerlik göstermektedir. Ancak suyun havaya göre yaklaşık 1000 kat daha yoğun olması, çok daha düşük akış hızlarında dahi yüksek miktarda kinetik enerji üretimini mümkün kılmakta; bu özelliği sayesinde deniz tabanlı enerji sistemleri, sürdürülebilir enerji üretiminde etkili bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Bostan, 2014).



Şekil 3.38: Dalga enerjisi dönüştürücüleri (URL-11, 2024)

Artan küresel enerji talebine yanıt verebilmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar her geçen gün çeşitlenmekte ve yoğunlaşmaktadır. Bu kapsamda, dalga enerjisi de üzerinde özel olarak durulan alternatiflerden biri haline gelmiştir. Dalga hareketlerinden elde edilen kinetik enerji, bu amaçla Şekil 3.38 ‘de geliştirilen özel türbin sistemleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve elde edilen enerji doğrudan tüketim süreçlerine entegre edilebilmektedir. Doğal yapısı gereği tükenme riski bulunmayan ve çevresel etkileri son derece düşük olan dalga enerjisi, sürdürülebilirlik ilkeleriyle tam uyum içinde olan bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye, bu enerji türünden faydalanma potansiyeli yüksek ülkeler arasında yer almaktadır. Nitekim Karadeniz’in batı kıyıları, İstanbul Boğazı’nın kuzey kesimi, Ege Denizi’nin güneybatı kıyı hattı ile Marmaris-Finike arasındaki kıyı şeridi, dalga enerjisinden elektrik üretimi için uygun fiziksel koşulları barındıran bölgeler olarak öne çıkmaktadır (URL-11, 2024).

Dalga enerjisinin, ülkelerin enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayabilecek potansiyele sahip olması nedeniyle okyanus kıyısında yer alan birçok ülkede bu alandaki araştırma ve uygulamalara büyük önem verilmektedir (Sağlam ve Uyar, 2004). Bu doğrultuda, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) da sürdürülebilir enerjiye geçiş sürecinde dalga enerjisi dahil olmak üzere okyanus tabanlı yenilenebilir enerji kaynaklarının stratejik rolünü kapsamlı biçimde değerlendirmektedir. Kurumun 2024 yılı raporunda, güneş enerjisi teknolojilerinin mevcut seyriyle küresel hedeflerle büyük ölçüde uyumlu ilerlediği belirtilmekte; buna karşın, dalga enerjisi gibi okyanus kaynaklı diğer yenilenebilir enerji türlerinin, artan enerji talebini karşılayabilmek ve küresel iklim hedeflerine ulaşabilmek için daha hızlı ve yaygın biçimde hayata geçirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Shanto vd., 2025).

3.8.8. Gelgit Enerjisi

Gelgit enerjisi, Güneş ve Ay'ın Dünya üzerindeki kütle çekim etkileriyle okyanus ve denizlerde meydana gelen periyodik su seviyesi değişimlerinden kaynaklanan bir yenilenebilir enerji türüdür. Bu hareketler, günde genellikle iki kez yükselme ve iki kez alçalır; bu döngü 12 ila 24 saatlik periyotlarla gerçekleşir. Oluşan bu düzenli su akımları, önemli miktarda kinetik enerji barındırmakta ve bu enerji uygun sistemler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Gelgit enerjisi üretiminde en verimli alanlar, suyun hız kazandığı koylar, haliçler ve nehir ağızları gibi dar ve sık coğrafi bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu bölgelerdeki akıntılar, türbinlerin çalışması için gerekli olan hareketli su kütlesini sağlayarak enerji dönüşüm verimliliğini artırmaktadır. Deniz ortamları; gelgit hareketlerinin yanı sıra dalga enerjisi, termal gradyanlar ve tuzluluk farkları gibi farklı dinamikler aracılığıyla da yüksek enerji potansiyeli sunmaktadır. Bu çerçevede, gelgit enerjisi son yıllarda hem akademik dünyada hem de enerji sektörü yatırımlarında dikkat çeken bir araştırma ve uygulama alanı haline gelmiştir. Gelgit enerjisi sistemleri hâlen gelişmekte olan teknolojiler arasında yer almakta ve dünya genelinde ticari ölçekte kurulan santral sayısı oldukça sınırlıdır. Dünyada ilk ticari gelgit enerjisi santrali, 1966 yılında Fransa'nın Brittany bölgesindeki La Rance nehrinde kurulmuştur. Günümüzde ise en büyük kurulu güce sahip tesis, Güney Kore'de bulunan Sihwa Gölü Gelgit Santrali'dir. Bu durum gelgit enerjisinin hâlâ erken gelişim aşamasında olduğunu göstermektedir (Guo vd., 2025; Kaymaz vd., 2024; Çalapkulu, 2022; Wang ve Wang, 2019).

3.8.9. Akıntı Enerjisi

Okyanus akıntılarına dayalı enerji, deniz suyunun sahip olduğu kinetik enerjinin dönüştürülmesiyle elde edilen çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji türüdür. Bu akıntılar; rüzgâr, yerçekimi kuvveti ve sıcaklık ile farklı sıcaklık ve yoğunluklara sahip su kütlelerinin etkileşimi sonucunda meydana gelen hidrodinamik hareketlerin bir ürünüdür. Ayrıca gelgit hareketleri ve genel okyanus sirkülasyonu akıntıların oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Nehirlerin denize dökülmesi ile oluşan tatlı su girişleri ile sıcaklık ve tuzluluk seviyelerindeki farklılıklar da bölgesel akıntıların yönü ve hızını etkileyebilmektedir. Özellikle boğazlar ve deniz altı kanalları gibi dar su yollarında gözlemlenen sabit ve güçlü akıntılar, enerji üretimi açısından yüksek potansiyel sunmaktadır. Akıntı enerjisi, diğer pek çok yenilenebilir enerji biçimiyle karşılaştırıldığında daha yüksek enerji yoğunluğu sağlayarak dikkat çekmektedir. Bu nedenle, okyanus akıntılarından elde edilen enerji, deniz tabanlı yenilenebilir enerji sistemleri arasında önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Rourke vd., 2010; Su vd., 2021; S. Wang vd., 2011; Wei vd., 2022; Wei ve Su, 2022; Yıldırım, 2023).

Deniz akıntısı enerjisinin geliştirilmesi, Avrupa, ABD, Birleşik Krallık ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler nezdinde stratejik bir önem kazanmıştır (Wei vd., 2022). Türkiye açısından da özellikle boğaz akıntıları ve kıyı bölgelerinde benzer potansiyellerin değerlendirilmeye başlanması, bu küresel eğilime paralel bir gelişim süreci olarak değerlendirilebilir.

Türkiye, su altı akıntı enerjisi potansiyeli bakımından stratejik bir coğrafi konuma sahiptir. Bu kapsamda, biri İstanbul, diğeri ise Çanakkale olmak üzere iki doğal boğaz öne çıkmaktadır. İstanbul Boğazı, yaklaşık 30 km uzunluğunda olup; gemi, feribot ve yat gibi deniz taşıtlarının yoğun olarak kullandığı kritik bir su yoludur. Çanakkale Boğazı ise İstanbul Boğazı'na kıyasla daha sakin bir yapıya sahip olmasına karşın, derinlik açısından benzer özellikler göstermektedir. Her iki boğaz da kendine özgü akıntı yönleri, hızları ve yoğunluk yapılarıyla dikkat çekmektedir. Bu bölgelerde akıntı enerjisinden yararlanmak amacıyla kurulması planlanan sistemlerde, çevresel etkilerin yanı sıra su altı koşulları da dikkate alınmalıdır. Uygun teknik koşullar sağlandığında, her iki boğazın da enerji üretimi açısından önemli bir potansiyel sunduğu aşıkardır. Özellikle Çanakkale Boğazı'nda biri yüzeyden Ege Denizi'ne diğeri ise dip seviyesinden Marmara Denizi'ne doğru hareket eden zıt yönlü iki akıntı sistemi bulunmaktadır. Bu özgün yapı, çok yönlü türbin yerleşimi



Şekil 3.40: 38 cm uzunluğunda iki kanatlı bir türbine ait rotor bağlantısı (a), 48 cm kanat uzunluğuna sahip üç kanatlı bir türbin prototipi (b)

Şekil 3.40'ta Yücel ve Tarhan (2019) tarafından Çanakkale Boğazı'nda kullanılması için tasarlanan bir türbin sistemi, akıntı özelliklerinin farklılık gösterdiği üç ayrı bölgede saha testlerine tabi tutulmuştur. Yaklaşık 5 kW gücündeki bu türbinler, belirlenen noktalarda çeşitli akıntı hızları altında çalıştırılmış ve enerji verimliliği ölçülmüştür. Test sürecinde, farklı boyutlara sahip iki kanat modeli değerlendirilmiştir. 38 cm uzunluğundaki kanatlar rotor sistemine iki kanatlı olarak monte edilmiş (şekil 3.40, sol), 48 cm uzunluğundaki kanatlar ise üç kanatlı düzende kullanılmıştır (Şekil 3.40, sağ). Bu uygulamalarda, akıntı hızındaki değişimlerin güç üretimi üzerindeki etkileri akıntı yönündeki sapmalara karşı türbinin performansı incelenmiştir. Saha deneyleri sonucunda, türbinin %40,5 düzeyinde bir verime ulaşabildiği belirlenmiştir. Çanakkale Boğazı'ndaki akıntı derinliği ve hız dağılımı dikkate alındığında, bu tür türbin sistemlerinin bölgede uygulanabilir olduğu görülmektedir. Enerji üretim sistemlerinin boğazda mevcut olan yoğun deniz trafiğini aksatmaması açısından, kurulumların kıyıya yakın alanlara yapılması önerilmektedir. Ayrıca boğazda yüzey ve dip olmak üzere zıt yönlü iki akıntı sistemi bulunduğundan, türbinlerin alt akıntıya yerleştirilmesi gemi geçişlerini engellemeden enerji üretimini mümkün kılmaktadır. Yerleşim yerlerinin akıntı bölgelerine yakınlığı sayesinde, bu sistemlerin ulusal şebekeye bağlanmaksızın doğrudan yerel kullanım için devreye alınması da mümkündür. Böylece enerji iletim hatlarında meydana gelebilecek kayıpların önüne geçilerek sistem verimliliği artırılabilir (Yücel ve Tarhan, 2019). Söz konusu saha testleri, yalnızca yerel ölçekteki enerji verimliliğini değerlendirmekle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda denizcilik teknolojilerinin geliştirilmesi açısından da önemli bir uygulama örneği sunmaktadır.

Özellikle hidrolik enerji dönüşümüne dayalı, dağılmış yapıda çalışan deniz akıntı türbinleri üzerine yürütülen araştırmalar; denizcilik teknolojilerinde çığır açıcı bir gelişme olarak kabul edilmekte ve bu alandaki mühendislik uygulamalarının ön safhalarında yer almaktadır. Bu tür sistemlerin yalnızca yüksek düzeyde ticari potansiyele sahip olması değil, aynı zamanda askeri kullanım açısından da stratejik bir öneme sahip olması dikkat çekicidir (Wei ve Su, 2022). Dolayısıyla Türkiye'nin sahip olduğu eşsiz boğaz yapıları ve kıyı akıntı bölgeleri, bu alanda hem enerji bağımsızlığını destekleyen hem de savunma sanayine katkı sağlayabilecek yerli ve yenilikçi çözümler üretme potansiyelini barındırmaktadır.

3.8.10. Deniz Kaynaklı Enerji Türlerinin Avantajları

Okyanus tabanlı enerji türleri, özellikle dalga ve gelgit enerjisi sistemleri, sürdürülebilir enerji dönüşümünde önemli avantajlar sunmaktadır. Bu enerji kaynaklarının başlıca üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır:

Dalga enerjisi, fosil yakıtlara kıyasla oldukça düşük çevresel etkiye sahiptir.

Hidroelektrik barajlar ya da kara tabanlı rüzgâr çiftliklerinin aksine dalga enerjisi sistemleri açık denizlerde konuşlandırılabilmekte ve bu sayede deniz ekosistemine olan müdahale minimum seviyede tutulabilmektedir (Shanto vd., 2025).

Gelgit ve dalga enerjisi sistemleri, enerji üretimi sırasında sera gazı salınımına neden olmamaktadır. Bu yönüyle çevre dostu, yenilenebilir ve sıfır emisyonlu enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda herhangi bir yakıt kullanımına gerek duyulmaması, enerji üretiminde dışa bağımlılığı ortadan kaldırmaktadır (Almerini, 2025).

Ay'ın kütle çekim gücü ve okyanus akıntıları gibi doğal süreçlere bağlı olarak ortaya çıkan gelgit hareketleri ile rüzgârın etkisiyle oluşan dalgalar, süreklilik arz eden enerji kaynaklarıdır. Bu özellikleri sayesinde enerji üretimi istikrarlı, öngörülebilir ve mevsimsel değişimlerden daha az etkilenmektedir (URL-11, 2024).

Dünya genelinde henüz tam olarak değerlendirilememiş geniş bir okyanus enerjisi potansiyeli mevcuttur. Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin devam etmesi hâlinde, bu potansiyel küresel enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynayabilir (Çalaplı, 2024).

2022).

Dalga ve gelgit enerjisi sistemlerinin genellikle kıyı bölgelerde konumlandırılması, bu alanlarda yoğun enerji talebine doğrudan karşılık verebilme avantajı sağlamaktadır. Bu durum, enerji nakil hatlarında oluşabilecek kayıpları azaltmakta ve üretim- tüketim dengesi açısından yüksek verimlilik sunmaktadır (Yücel ve Tarhan, 2019).

Okyanus enerjisi sistemleri; güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre biçimde çalışmaya uygundur. Bu da enerji üretiminde çeşitliliği artırmakta ve enerji arz güvenliğini desteklemektedir (Almerini, 2025).

3.8.11. Deniz Kaynaklı Enerji Türlerinin Dezavantajları

Dalga enerjisi teknolojileri, çevre dostu ve yenilenebilir bir kaynak sunmasına rağmen en önemli dezavantajı, coğrafi konumla ilgili kısıtlamalardır. Öncelikle bu enerji türü yalnızca okyanus veya deniz kıyılarına yakın bölgelerde etkin şekilde kullanılabilir. Kaynağın doğası gereği bu enerji türü tüm ülkeler için uygun bir çözüm değildir. Denize kıyısı olmayan veya kıyıdan uzak şehirle, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için alternatif enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalmaktadır. Bu bağlamda, enerji arzında bölgesel eşitsizlikler söz konusu olabilmektedir. Bunun yanı sıra dalga enerjisi sistemlerinin kurulumu deniz ekosistemine doğrudan müdahaleyi gerektirir. Açık denizlerde veya kıyı bölgelerinde enerji üretmek amacıyla su altına ve kıyıya yakın bölgelere yerleştirilen büyük ölçekli cihazlar, deniz tabanını ve yakın çevredeki habitatları (örneğin yengeçler ve deniz yıldızları) yaşam alanlarını tahrip edebilir ve bu durum biyoçeşitlilik üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Ayrıca bu sistemlerin oluşturduğu gürültü nedeniyle deniz canlılarının davranışlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dalga enerji platformlarında kullanılan bazı teknik bileşenlerde bulunan kimyasalların sızıntı riski ise deniz suyu kirliliğini, kalitesini tehdit eden bir başka unsurdur.

Dalga enerjisi santralleri, genellikle kıyıya yakın, dolayısıyla yoğun deniz trafiğinin bulunduğu bölgelerde konumlandırılmaktadır. Bu durum, ticari gemiler, yolcu tekneleri ve balıkçı filoları açısından seyir güvenliği sorunlarına yol açabilmekte; ayrıca kıyı turizmini ve rekreasyonel faaliyetleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu tür sistemlerin yatırımlarında ve planlamasında, yerel toplulukların, özel sektör, kamu otoritelerinin ihtiyaç

ve beklentileri birlikte değerlendirilmelidir.

Enerji üretim kapasitesi açısından bakıldığında, dalga enerjisi teknolojileri hâlen tam anlamıyla güvenilir ve kesintisiz bir üretim sağlayamamaktadır. Dalga oluşumu; rüzgâr hızı, su yoğunluğu ve hava koşulları gibi doğal değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterdiğinden enerji üretimi öngörülebilirlikten uzak bir yapı sergileyebilmektedir. Özellikle bazı bölgelerde dalga davranışları mevsimsel değişkenlik göstermekte ve bu da sistemin sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır.

Zorlu hava koşulları da bu sistemler açısından ciddi bir dezavantajdır. Fırtına, kasırga ve deniz kabarması gibi durumlarda sistemlerin performansı düşmekte, hatta ekipmanlar kalıcı hasar görebilmektedir. Bu durum, sistemin dayanıklılığı ve uzun ömürlü kullanımı açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Dalga enerjisi dönüştürücüleri kıyı bölgelerinde yaşayanlar için estetik kaygılar ve gürültü kirliliği rahatsızlık yaratabilmektedir. Açık denizde konumlandırılan bu sistemler, gürültü kirliliğine yol açabilmektedir.

Dalga enerjisi sistemlerinin kurulum ve bakım maliyetleri açısından oldukça yüksek yatırım gerektirmektedir. Kullanılan teknolojinin ömrü ve dayanıklılığı belirsizdir. Çünkü aşırı dalga hareketleri ekipmanlara geri dönüşü olmayan hasarlar verebilmektedir. Onarım ve yeni ekipman temini için gereken maliyetler, bu enerji türünün yaygınlaşmasının önündeki en büyük engellerden biridir.

Ticari ölçekte uygulanabilirliğin sınırlı olması, bu teknolojinin yaygınlaşmasının önündeki bir diğer engeldir. Bugüne dek İskoçya, Avustralya, Hawaii gibi bölgelerde test edilen sistemlerin üretim kapasitesi, en verimli durumda bile yalnızca 2,5 MW seviyesindedir. Sektörün büyüme potansiyeli olmasına rağmen kullanılabilir ölçekte santrallerin kurulumu hâlen zorluklar barındırmaktadır.

Dalga enerjisi teknolojisi 18. Yüzyıldan bu yana geliştirilmesine rağmen hâlen emekleme aşamasındadır. Bu yavaş ilerleyiş, özel sektör yatırımcıların bu alana yönelmesini engelleyen faktörlerden biridir.

Okyanus dalgalarından üretilen elektriğin iç bölgelere taşınması ciddi bir teknik ve ekonomik altyapı gerektirir. Özellikle karasal bölgelere uzun mesafeli iletim hatları hem enerji kayıplarına hem de yüksek maliyetlere neden olmaktadır.

Şu ana kadar dünya genelinde dalga enerjisi konusunda gerçekleştirilen uygulamalar sınırlı sayıdadır. Bu teknolojinin uzun vadeli etkileri, ekonomik performansı ve çevresel sonuçları henüz yeterince araştırılmamıştır. Daha fazla saha çalışmasına ve bilimsel verilere ihtiyaç duyulmaktadır (Lavaa, 2023).



4. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür incelemesi sonucunda MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) yönteminin sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi bağlamında hem ulusal hem de uluslararası düzeyde çeşitli sektörlerde kurumsal sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi amacıyla kullanıldığı farklı çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalar, yöntemin ÇKKV bağlamında etkinliğini ortaya koymakta ve sürdürülebilirlik odaklı analizlerde karar destek aracı olarak işlevselliğini vurgulamaktadır. Ancak yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin kurumsal sürdürülebilirlik performanslarını MARCOS yöntemi ile değerlendiren özgün ve bütüncül nitelikte herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu durum, mevcut literatürde önemli bir boşluk bulunduğunu göstermekte ve söz konusu yöntemin bu sektördeki uygulanabilirliğini ortaya koyma ihtiyacını gündeme getirmektedir.

4.1. Yenilenebilir Enerji Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, ileri düzey optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Özer (2025) jeotermal enerjisi sistemlerinin performansını artırmak amacıyla derin yapay sinir ağlarını uygunluk fonksiyonu olarak kullanan genetik algoritma tabanlı bir optimizasyon yöntemi geliştirmiştir. Çalışma, yapay zekâ destekli algoritmaların enerji sistemlerinde hem verimlilik hem de kaynak yönetimi açısından önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Yapay zekâ teknolojileri, yenilenebilir enerji sistemlerinin optimizasyonu ve verimliliğinin artırılmasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Dirik vd. (2023) yenilenebilir enerji kaynaklarının yönetiminde yapay zekâ tabanlı uygulamaların kullanım alanlarını incelemiş; özellikle üretim tahmini, arıza teşhisi ve sistem kontrolü gibi konularda sağladığı katkılara dikkat çekmiştir. Bu kapsamda, yapay zekâ destekli sistemlerin enerji dönüşüm süreçlerinde karar destek mekanizmalarını güçlendirdiği vurgulanmaktadır.

Karabağ vd., (2021) Türkiye'nin %100 yenilenebilir enerjiye geçiş potansiyelini değerlendirirken güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımlarının artırılmasının stratejik bir öncelik olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca küresel ölçekte yenilenebilir enerji teknolojilerindeki

ilerlemelerin maliyetleri düşürdüğü ve bu gelişmenin enerji dönüşüm sürecini hızlandırdığı belirtilmektedir. Araştırmacılar, Türkiye'nin enerji dönüşüm sürecinde politika yapıcılara uzun vadeli stratejiler geliştirmeyi ve yerli üretimi teşvik etme önerisinde bulunmaktadır.

Enerji jeopolitiği, ülkelerin uluslararası ilişkilerdeki konumunu ve stratejik önemini belirleyen temel unsurlardan biridir. Bekar (2020) Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları bağlamındaki jeopolitik konumunu analiz ederek, bu kaynakların enerji bağımsızlığına ve dış politikadaki etkilerine dair kapsamlı bir değerlendirme sunmuştur. Çalışmada, Türkiye'nin sahip olduğu doğal potansiyelin etkin kullanımıyla bölgesel enerji merkezi olma hedefinin desteklenebileceği ifade edilmektedir.

Yenilenebilir enerji tüketiminin artırılması, enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltarak ekonomik ve stratejik avantajlar sunmaktadır. Arslan ve Solak (2019b), Türkiye'de yenilenebilir enerji tüketimi ile enerji ithalatı arasındaki ilişkiyi ekonometrik analiz yöntemleriyle incelemiş ve yenilenebilir kaynak kullanımının ithalatı azaltıcı yönde etkide bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca enerji politikalarının yerli kaynaklara yönelmesinin, dış ticaret dengesi açısından da olumlu sonuçlar doğuracağı vurgulanmaktadır.

Rüzgâr enerjisi, dünya genelinde hızlı gelişen ve enerji arz güvenliğini destekleyen önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Şenel ve Koç (2015) hem küresel ölçekte hem de Türkiye özelinde rüzgâr enerjisi potansiyelini ve mevcut uygulamaları değerlendirerek sektörün mevcut durumunu kapsamlı biçimde analiz etmişlerdir. Ayrıca Türkiye'nin rüzgâr enerjisi alanındaki teknik kapasitesi, yatırım eğilimleri ve mevzuat altyapısı incelenerek geleceğe yönelik stratejik öneriler sunulmuştur.

Mert (2012) dalga enerjisinden elektrik üretimine yönelik bir dönüşüm sistemi tasarlamış, bu sistemin performansını deneysel yöntemlerle test etmiş ve uygulanabilirliğini değerlendirmiştir. Çalışma, dalga enerjisi teknolojilerinin yerli imkânlarla geliştirilmesine katkı sunacak nitelikte önemli teknik bulgular içermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan dalga enerjisi, özellikle kıyı bölgelerinde önemli bir potansiyel sunmaktadır. Uygur vd., (2006) Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki dalga enerjisi potansiyelini inceleyerek bölgenin enerji üretimi açısından değerlendirilebilir

niteliklere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada, dalga yüksekliği ve periyodu gibi deniz parametreleri analiz edilerek bölgenin kıyı şeridinde sürdürülebilir enerji üretimi için elverişli koşullara sahip olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde Sağlam ve Uyar (2004) Türk karasularında dalga enerjisi üretimine yönelik gerçekleştirdikleri fizibilite çalışmasında, belirli bölgelerde bu sistemlerin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmada, dalga enerjisi sistemlerinin yerli koşullara uygun mühendislik çözümleriyle geliştirilebileceği vurgulanmaktadır.

4.2. Sürdürülebilirlik ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Üzerine Yapılan Çalışmalar

Biyokütle enerjisi, sürdürülebilir enerji sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Zhang (2025) biyokütlenin farklı kullanım yöntemlerini çevresel etkiler, verimlilik ve uygulanabilirlik açısından karşılaştırarak her bir yöntemin özgün avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur. Ayrıca biyokütle teknolojilerinin yaygınlaştırılabilmesi için Ar-Ge yatırımlarının artırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Kurumsal sürdürülebilirlik alanında yapılan çalışmalar, çok boyutlu bir yapı arz etmekte ve giderek daha stratejik bir hâle gelmektedir. De Oliveira vd., (2023) işletmelerin sürdürülebilirlik uygulamalarını benimsemelerinin önünde bazı yapısal engeller bulunmakta ancak bu sürece yönelik yenilikçi çözümler ve uygulama fırsatları da gelişmektedir. Çalışma, sürdürülebilirlik literatürüne katkı sağlayan temel eğilimleri sistematik bir çerçevede inceleyerek gelecek araştırmalar için kapsamlı bir yol haritası sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji yatırımları, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği desteklemekle kalmamakta, aynı zamanda yeşil finansal araçların gelişimini de teşvik etmektedir. Şahin ve Şahin (2024), yeşil tahviller, sürdürülebilir yatırım fonları ve çevresel kriterlere dayalı kredi sistemleri gibi mekanizmaların yenilenebilir enerji finansmanındaki rolünü ele alarak, bu araçların ekonomik geçiş sürecindeki önemini ortaya koymuştur. Çalışma, yeşil finansın çevresel faydaların yanı sıra sosyal ve ekonomik etkiler yaratarak çok yönlü katkılar sağlayabileceğini vurgulamaktadır.

Yenilenebilir enerji projeleri, kırsal kalkınmaya olan etkileriyle de öne çıkmaktadır. Sağlam vd., (2024) Çanakkale'deki rüzgâr enerjisi santrallerinin kırsal sürdürülebilirlik üzerindeki sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerini incelemiş; projelerin yerel halkın yaşam kalitesi,

istihdam düzeyi ve çevreyle etkileşim açısından çok boyutlu sonuçlar doğurduğunu tespit etmiştir.

Benzer biçimde, Kalkan (2024) dünya genelinden örnek uygulamalar aracılığıyla topluluk sahipliğine dayalı yenilenebilir enerji projelerinin yerel halkın ekonomik, sosyal ve yönetsel güçlenmesine katkı sunduğunu belirtmektedir. Çalışma, bu tür modellerin katılımcılığı artırarak enerji demokrasisinin gelişimini desteklediğini göstermektedir.

Enerji politikaları, sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik bağımsızlık hedefleri açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ghannadi (2024) Türkiye'nin enerji ekonomi politliğini tarihsel ve yapısal bir çerçevede ele alarak yenilenebilir enerji politikalarının gelişimi ile karşılan yapısal sorunları incelemiştir. Bu kapsamda, enerji arz güvenliğini artırmayı ve dışa bağımlılığı azaltmayı hedefleyen politikaların, uzun vadeli kalkınma vizyonu ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Enerji dönüşüm süreçlerinin çevresel etkilerinin azaltılmasında yalnızca arz taraflı değil, aynı zamanda talep taraflı stratejiler de büyük önem taşımaktadır. Creutzig vd., (2024) enerji geçişlerinde malzeme temelli çevresel etkilerin azaltılmasında davranışsal değişim, verimlilik artışı ve sürdürülebilir tüketim modellerinin belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, politika tasarımlarında bütüncül talep yönetimi yaklaşımlarının önceliklendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminin çevresel etkileri, günümüz enerji dönüşüm politikalarının temelini oluşturmaktadır. Amiri vd., (2024) Kanada'daki Point Aconi termik santralının yenilenebilir enerji kaynakları ile ikame edilmesini konu alan çalışmalarında, bu dönüşümün ekolojik ve çevresel etkilerini kapsamlı biçimde analiz etmişlerdir. Araştırma, yenilenebilir kaynakların hem çevresel sürdürülebilirlik hem de enerji güvenliği açısından önemli fırsatlar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Arı (2023) fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarını çevresel etkileri bakımından karşılaştırmalı olarak analiz ederek, fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliği ve ekosistem tahribatına dikkat çekmiştir. Çalışma, yenilenebilir kaynakların bu açıdan daha sürdürülebilir seçenekler sunduğunu ortaya koymaktadır.

Yenilenebilir enerji santrallerinin çevresel etkileri, yalnızca karbon salınımı ile sınırlı kalmayıp ekosistemler üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileriyle de değerlendirilmektedir. Sebestyén (2021) bu santrallerin çevresel etkileri, karmaşık ve çok katmanlı etkileşim ağları üzerinden analiz edilerek daha bütüncül şekilde ortaya konulabilir. Çalışma, sürdürülebilir enerji altyapılarının çevresel etkilerini yönetebilmek adına sistem yaklaşımına dayalı değerlendirme modellerinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Moustakas vd., (2020) yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmeleri kapsamlı şekilde inceleyerek bu alandaki başlıca zorlukları ve gelecek perspektiflerini ortaya koymuştur. Çalışmada, teknolojik gelişmelerin yanı sıra politika, finansman ve altyapı eksikliklerinin enerji dönüşüm sürecinin önündeki başlıca engeller olduğu ifade edilmektedir.

Kavcıoğlu (2019) Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarını ekonomik ve yapısal boyutlarıyla ele almış, mevcut potansiyelin etkin kullanımıyla dışa bağımlılığın azaltılabileceğini belirtmiştir. Çalışmada ayrıca yatırım projelerinin finansal sürdürülebilirliği ve uzun vadeli etkileri değerlendirilmiştir.

Wang ve Wang (2019) gelgit enerjisinin çevresel sürdürülebilirlik açısından potansiyelini vurgulayarak, farklı sistem konfigürasyonlarını performans kriterleri çerçevesinde karşılaştırmış ve teknolojik ilerlemelerin bu enerji türünün ekonomik uygulanabilirliğini artırabileceğini göstermiştir.

Gelişmekte olan ülkelerde güneş fotovoltaik teknolojilerine yönelik yatırımlar, enerji arz güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından stratejik bir öneme sahiptir. Sahoo (2016) göre, Hindistan'da güneş enerjisi kapasitesindeki hızlı artış devlet destekli politikalar, mali teşvikler ve teknolojik ilerlemelerle doğrudan ilişkilidir. Çalışma, güneş sistemlerinin yaygınlaştırılmasında karşılaşılan teknik ve yapısal engellerin aşılması için kapsamlı çözüm önerileri sunmaktadır.

Çıtak ve Pala (2016) yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji güvenliğine katkılarını değerlendirerek özellikle dışa bağımlılığın azaltılması ve arz sürekliliğinin sağlanması bakımından bu kaynakların stratejik değer taşıdığını belirtmişlerdir.

Bostan (2014) dalga ve akıntı enerjisi sistemlerinde kullanılan hidrolik çözümleri teknik

açından analiz ederek, verimliliği artırmaya yönelik mühendislik yaklaşımlarının sürdürülebilir enerji üretimi açısından kritik olduğunu vurgulanmaktadır.

Yılmaz (2012) Türkiye'nin enerji potansiyelini değerlendirerek yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının artırılmasının ekonomik ve çevresel açıdan önemli faydalar sağlayacağını ortaya koymuştur. Ayrıca yerli üretimin, enerji ithalatını azaltma potansiyeli üzerinde durulmuştur.

Gazlaştırma teknolojileri, sürdürülebilir enerji üretimi açısından önemli alternatifler arasında yer almakta ve özellikle biyokütle kaynaklarının değerlendirilmesinde öne çıkmaktadır. Pereira vd., (2012) göre farklı gazlaştırma yöntemleri çevresel etkiler, enerji verimliliği ve teknik uygulanabilirlik açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmelidir. Çalışmada, bu teknolojilerin enerji sistemlerine entegrasyonu ile karbon emisyonlarının azaltılabileceği ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlanabileceği vurgulanmaktadır.

Külekçi (2009) Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelini değerlendirerek bu kaynağın sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm olarak daha etkin kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Çalışmada, jeotermalin bölgesel kalkınma ve enerji arz güvenliği açısından sunduğu fırsatlar ön plana çıkmaktadır.

Ataman (2007) Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarını kapsamlı bir biçimde analiz ederek özellikle güneş, rüzgâr ve hidroelektrik potansiyelinin çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlayabileceğini vurgulamıştır.

4.3. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve MARCOS Üzerine Yapılan Çalışmalar

Nergiz Bulak ve Durmuş (2025) Borsa İstanbul'da işlem gören enerji şirketlerini, GRI 302: Enerji standardı kapsamında değerlendirmiş ve sürdürülebilirlik performanslarını TOPSIS yöntemi ile analiz etmişlerdir. Çalışmada firmaların enerjiye ilişkin çevresel raporlama düzeyleri dikkate alınarak ÇKKV yaklaşımıyla sıralamaları yapılmıştır.

Çapraz (2024) Denizli ili özelinde yenilenebilir enerji kaynaklarını ÇKKV yöntemleri aracılığıyla analiz ederek bölgesel düzeyde en uygun enerji türlerini belirlemeyi

amaçlamıştır. Çalışmada, AHP-ARAS ve SWARA-TOPSIS gibi bütünleşik ÇKKV yöntemleri kullanılarak enerji alternatifleri çevresel, ekonomik ve teknik kriterler çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerin, yerel enerji planlamasında karar vericilere sistematik ve nesnel bir analiz zemini sunduğu vurgulanmaktadır.

Fetanat ve Tayebi (2024) gelişmiş petrol geri kazanımı süreçlerinde kullanılabilecek güneş termal teknolojilerini sürdürülebilirlik ve uygulanabilirlik açısından değerlendirmiş ve T-küresel bulanık küme tabanlı sıralı önceliklendirme yaklaşımı kullanarak en uygun teknolojileri belirlemiştir. Çalışma, çok kriterli karar verme tekniklerinin yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçiminde stratejik bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Öztürkçü ve Özcan (2024) proje lojistiği operasyonlarında üçüncü parti lojistik hizmet sağlayıcılarının seçimine yönelik karar sürecini bütünleşik ÇKKV yöntemleriyle analiz etmişlerdir. Çalışmada, kriter ağırlıklandırması için ANP yöntemi kullanılmış; MARCOS, WASPAS ve MAIRCA yöntemleriyle alternatif sağlayıcılar farklı perspektiflerden performans açısından sıralanmıştır.

Altıntaş (2023) Akdeniz ülkelerinin deniz sağlığı performanslarını değerlendirmek amacıyla CRITIC tabanlı MARCOS yöntemini kullanarak çok kriterli bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, objektif ağırlıklandırma sağlayan CRITIC yöntemi ile belirlenen kriterler doğrultusunda MARCOS yöntemiyle ülkelerin performans sıralamaları elde edilmiştir.

Karaaslan vd. (2022) Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarını sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde bölgesel düzeyde değerlendirmiş ve bu amaçla AHP-MARCOS bütünleşik yöntemini uygulamışlardır. Çalışmada AHP yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda MARCOS yöntemi kullanılarak iller performans açısından karşılaştırılmış ve sıralanmıştır.

Altıntaş (2022) Avrupa ülkelerinin enerji inovasyonu performanslarını değerlendirmek amacıyla MABAC ve MARCOS yöntemlerini kullanarak çok kriterli bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, belirlenen kriterler doğrultusunda ülkeler performans açısından sıralanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Karaaslan ve Aydın (2020) Türkiye örneği üzerinden gerçekleştirdikleri çalışmalarında, yenilenebilir enerji alternatiflerini ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak analiz etmiş; kriter ağırlıklandırmasında AHP yöntemini, alternatiflerin sıralanmasında ise COPRAS ve MULTIMOORA tekniklerini kullanmışlardır.

Bağcı ve Yüksel Yiğiter (2019) Borsa İstanbul'da işlem gören enerji şirketlerinin finansal performanslarını SD (Similarity Degree) ve WASPAS yöntemleriyle analiz ederek firmaların görece başarı düzeylerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymuşlardır. Çalışmada, bu tür yöntemlerin karar vericilere şirket performanslarını objektif ölçütlerle değerlendirme imkânı sunduğu vurgulanmaktadır.

Ünlüsoy vd., (2017) Türkiye'deki yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerini ANP (analitik Ağ Süreci) ve TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirerek, alternatiflerin belirlenen kriterlere göre sıralana bilirliliğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada ÇKKV yöntemlerinin enerji politikalarının şekillendirilmesinde etkili bir analiz aracı olduğu vurgulanmaktadır.

Yakıcı Ayan ve Pabuçcu (2013) yenilenebilir enerji yatırımlarını Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile değerlendirerek farklı yatırım projelerini çeşitli kriterler doğrultusunda karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Çalışmada AHP yöntemi sayesinde karar vericilerin yatırım kararlarının nesnel ve tutarlı biçimde alınabileceği vurgulanmaktadır.

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Aydem Yenilenebilir Enerji firmasının 2019-2023 yılları arasındaki kurumsal sürdürülebilirlik performansı, nesnel veri analitiğine dayalı bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Araştırma sürecinde, sürdürülebilirlik performansını etkileyen çok sayıda kriterin sistematik biçimde analiz edilebilmesi amacıyla ÇKKV yöntemlerinden faydalanılmıştır. Kriterlerin göreceli önem düzeylerini belirlemede, karar verici öznelliğini minimize eden ve literatürde de çok kullanılan veri temelli sonuçlar sunan Entropi yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemle elde edilen ağırlıklar, yıllara göre performans düzeylerini değerlendirmek amacıyla MARCOS sıralama yöntemi ile entegre edilmiştir. MARCOS yöntemi, karar noktalarının ideal ve anti-ideal çözümlerle karşılaştırmalı analizini mümkün kılarak, alternatif yılların sürdürülebilirlik düzeylerinin bütüncül olarak ortaya konmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, firmanın sürdürülebilirlik alanındaki performans eğilimleri yıllık bazda kıyaslanabilir hâle getirilmiş olup zaman serisi analitiği desteklenmiştir. Bölümün devamında araştırma modeli, veri kaynakları, kullanılan yöntemler detaylı şekilde sunulmaktadır.

5.1. Araştırma Modeli

Bu tezde, kurumsal sürdürülebilirlik performansının çok kriterli bir yaklaşımla değerlendirilmesi amacıyla Entropi ve MARCOS yöntemlerinden oluşan bütünleşik bir analiz modeli benimsenmiştir. Model kapsamında öncelikle seçilen performans kriterlerinin yıllar içindeki değişimlerine dayanarak Entropi yöntemi aracılığıyla kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra her yıl bir alternatif olarak ele alınarak MARCOS yöntemi ile sıralama yapılmış ve yıllar arasındaki sürdürülebilirlik performansları açısından göreceli üstünlükleri belirlenmiştir. Bu yöntemsel yaklaşım, hem kriterlerin içerdiği bilgi düzeyini dikkate almakta hem de firma performansının yıllık bazda karşılaştırmalı olarak analiz edilmesine olanak tanımaktadır.

5.2. Veri Toplama ve Kaynaklar

Araştırmada kullanılan veriler, Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş. firmasının 2019-2023 yılları arasında yayımladığı faaliyet raporları, sürdürülebilirlik raporları ve kamuya açık

finansal tablolar gibi kurumsal kaynaklardan temin edilmiştir. Her yıl için çevresel, sosyal ve ekonomik alanlarda belirlenen performans göstergeleri, ÇKKV analizine temel teşkil edecek biçimde nicel verilere dönüştürülerek analizde kullanılmıştır.

5.3. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) Yaklaşımı

Günümüzde, gelişmiş ülkelerin öncülüğünde, küresel düzeyde işletmelere yönelik çevresel ve toplumsal sürdürülebilirlik baskıları artarak devam etmektedir. Bu baskılar, firmaların yalnızca ekonomik performanslarıyla değil, aynı zamanda çevresel ve sosyal etkileriyle de hesap verebilir olmalarını zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, kurumsal sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi, stratejik yönetim süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Ancak sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesi, çok sayıda ve birbirinden farklı kriterin bütüncül biçimde ele alınmasını gerektirmesi nedeniyle önemli analitik zorluklar içermektedir. Bu kriterlerin nesnel bir yaklaşımla ağırlıklandırılması ve tek bir karar ölçütü altında birleştirilmesi süreci hem teorik hem de uygulama düzeyinde karmaşık yapılar barındırmaktadır (Öztel vd., 2012).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerine ilişkin ilk tarihsel referans, Benjamin Franklin'in 1772 yılında Joseph Priestley'e yazdığı mektuba dayanmaktadır. Bununla birlikte, ÇKKV alanındaki sistematik ve uygulamaya yönelik gelişmeler esas itibarıyla 1960'lı yıllarda, toplumun ve iş dünyasının karmaşıklaşan ihtiyaçları doğrultusunda ivme kazanmıştır. Bu dönemin ardından, farklı amaçlara ve karar ortamlarına yönelik birçok ÇKKV yöntemi geliştirilmiştir. Söz konusu yöntemler; ihtiyaç duyulan veri miktarı, kullanıcı dostu olma düzeyi, analiz sürecinin karmaşıklığı ve sahip oldukları matematiksel altyapıları bakımından birbirlerinden ayrılmaktadır (Yenilmez Alıcı, 2023). Bu bağlamda, çok sayıda alternatifin ve değerlendirme ölçütünün bulunduğu karar verme durumlarında, karar süreçlerini desteklemek amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve uygulamaya alınmıştır. Özellikle son dönemde öne çıkan ÇKKV yöntemleri, bu karmaşıklığı yönetmede etkili bir çözümler sunmaktadır. Bu yöntemler, karar vericilere tüm kriterlerin görece önem düzeylerini dikkate alarak rasyonel, şeffaf ve katılımcı değerlendirme süreçleri oluşturma olanağı sağlamaktadır. Ayrıca disiplinler arası çalışmalara uygun yapıları sayesinde sürdürülebilirlik odaklı kurumsal analizlerde önemli bir metodolojik katkı sunmaktadır (Öztel vd., 2012). Bununla birlikte ÇKKV teknikleri, enerji yatırımlarının stratejik olarak yönlendirilmesinde karar vericilere sistematik ve nesnel bir yaklaşım da sağlamaktadır.

5.4. Entropi Ağırlıklandırma Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinin uygulama sürecinde ilk adım, karar sürecini etkileyen kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesidir. Bu kapsamda, kriterlerin firma açısından taşıdığı göreceli önemi ortaya koymak için iki temel yaklaşım öne çıkmaktadır: öznel (sübjektif) ve nesnel (objektif) ağırlıklandırma yöntemleri. Öznel yaklaşımlar, karar vericilerin deneyim ve değerlendirmelerine dayalı olarak kriter ağırlıklarının belirlendiği yöntemlerdir. Buna karşılık, nesnel yaklaşımlar yalnızca mevcut verilerden elde edilen istatistiksel ölçütlere dayanır. Entropi yöntemi karar vericilerin kişisel yargılarına ihtiyaç duymaksızın, kriterlerin bilgi içeriğine dayalı olarak ağırlıklandırılmasına olanak sağlayan etkili bir karar destek aracı olarak kullanılmaktadır (Özevin, 2022).

ÇKKV yaklaşımlarında sıkça başvurulanan entropi tabanlı ağırlıklandırma yöntemi, kriterlerin önem düzeylerini nesnel biçimde belirlemeyi amaçlayan matematiksel bir tekniktir. Bilgi kuramına dayanan bu yöntem, veri kümesindeki belirsizliği ölçerek her bir kriterin karar sürecine katkısını nicel olarak ortaya koyar. Öznel yargıların etkisini en aza indirmesi ve yalnızca mevcut veri üzerinden işlem yapması, yöntemin tarafsızlık ve şeffaflık gibi değerlere dayalı karar mekanizmalarında yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Roszkowska vd., 2024).

Bu yöntem ilk olarak Clausius (1865) tarafından termodinamik bağlamda bir sistemdeki düzensizliğin ölçülmesi amacıyla tanımlanmıştır. Bu fiziksel temele dayanan kavram, daha sonra Shannon (1948) tarafından bilgi kuramına uyarlanarak, bir veri setindeki belirsizliğin ve bilginin miktarının hesaplanmasında kullanılan matematiksel bir ölçüt haline getirilmiştir. Böylece entropi hem fiziksel sistemlerde hem de karar verme süreçlerinde faydalı bilgi düzeyini değerlendirmeye yönelik çok yönlü bir araç olarak literatürde yerini almıştır (Ersoy, 2018).

Entropi yöntemi olasılık dağılımına dayalı bir hesaplama süreci içerdiğinden, elde edilen olasılık değerlerinin toplamı her zaman 1'e eşit olmalıdır (Özevin, 2022). Bu nedenle, toplam değerinin 1'in üzerinde çıkması durumunda hesaplamalarda bir hata yapıldığı kabul edilir ve ilgili verilerin yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Söz konusu yöntem beş temel adımdan oluşmaktadır.

1. Aşama: Karar matrisinin oluşturulması

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Entropi yönteminin birinci aşaması, karar matrisinin oluşturulmasıdır. Bu matris yapısında, her bir satır farklı bir alternatifi, her bir sütun ise değerlendirme sürecinde dikkate alınan kriterleri temsil etmektedir. Matrisin x_{ij} elemanı, i . Alternatife ait olan j . kriter bazında elde edilen performans değerini göstermektedir.

2. Aşama: Karar matrisinin normalize edilmesi

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

$i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$

3. Aşama: Entropi değerlerinin hesaplanması

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij=1,2,\dots,n}) \quad (3)$$

Burada $k = \frac{1}{\ln(m)}$

4. Aşama: Bilginin Farklılaşma Derecesinin Tespit Edilmesi

$$d_j = 1 - e_j \quad j=1,2,\dots,n \quad (4)$$

5. Aşama: Entropi ağırlıklarının belirlenmesi

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_{j=1,2,\dots,n}} \quad (5)$$

$\sum_{j=1}^n w_j = 1$ sağlanmaktadır.

Entropi yönteminin uygulanmasında karar matrisinde yer alan negatif değerler, özellikle logaritmik işlemlerin tanımsız hâle gelmesine neden olduğu için hesaplamalarda önemli bir sorun teşkil etmektedir. Zira logaritma fonksiyonu yalnızca pozitif reel sayılar üzerinde tanımlıdır. Bu sorunun aşılması amacıyla Zhang ve arkadaşları, negatif değerlerin uygun bir dönüşümle standartlaştırılarak pozitif forma getirilmesini öneren alternatif bir yöntem geliştirmiştir. Söz konusu yaklaşım, iki aşamadan oluşmakta olup öncelikle negatif değerlerin yeniden ölçeklendirilmesi, ardından pozitif değerlere dönüştürülerek logaritmik işlemlere uygun hâle getirilmesini kapsamaktadır (Durak vd., 2024).

Yöntemin birinci aşaması

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_i} \quad (6)$$

Karar matrisinde yer alan her bir x_{ij} değeri, yöntemin ilk aşamasında uygulanan standartlaştırma formülü ile dönüştürülerek normalize edilmiş veriye ulaşılır. Bu işlemde x_i ilgili kriterin ortalama değeri, s_i ise aynı kriterin standart sapmasıdır. Böylece veriler istatistiksel olarak karşılaştırılabilir bir forma getirilmiş olur.

Yöntemin ikinci aşaması

$$x'_{ij} = x_{ij} + A \quad A > |\min x_{ij}| \quad (7)$$

İlgili yöntem aracılığıyla gerçekleştirilen standartlaştırma işlemi sonucunda, negatif veriler pozitif değerlere dönüştürülerek logaritmik hesaplamalara uygun hâle getirilmekte ve karar matrisinde karşılaştırılabilir bir yapı elde edilmektedir.

5.5. MARCOS Yöntemi

Bu bölümde, MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution – Uzlaşıl Çözüme Göre Alternatifleri Değerlendirme ve Sıralama) yönteminin ÇKKV sürecindeki uygulama adımları ele alınmaktadır. MARCOS yöntemi, alternatiflerin ideal ve anti-ideal referans noktalarına göre değerlendirilmesi ve sıralanmasına dayalı bir karar destek yaklaşımıdır. İlk olarak her bir alternatifin bu referans değerlere göre konumunu belirleyen karşılaştırmalı bir çerçeve oluşturulmaktadır. Bu

çerçeve üzerinden alternatiflerin ideal çözüme yakınlığı ve anti-ideal çözüme uzaklığını gösteren fayda fonksiyonları hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu fayda değerleri, alternatiflerin göreceli üstünlüklerine göre sıralanmasını sağlayan uzlaşma temelli bir değerlendirme yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, en yüksek fayda değerine sahip olan alternatif hem ideale yakın hem de anti-ideale en uzak olan seçenek olarak en uygun tercih olarak belirlenmektedir. MARCOS yöntemi, bu süreci sistematik adımlarla gerçekleştirmektedir (Stević ve Brković, 2020; Yenilmez Alıcı, 2023).

İdeal ve anti-ideal çözümlerin belirlenmesinde, her bir kriterin niteliği yani fayda mı yoksa maliyet temelli mi olduğu mutlaka dikkate alınmalıdır. Fayda kriterlerinde, en yüksek değere sahip alternatif ideal olarak değerlendirilirken maliyet kriterlerinde ise en düşük değere sahip alternatif ideal değer kabul edilmektedir. Buna karşılık, anti-ideal çözüm belirlenirken bu durum tersine çevrilir: fayda kriterleri için en düşük, maliyet kriterleri için ise en yüksek değer anti-ideal durumu temsil etmektedir. Bu ayrımın doğru yapılması, sıralama sonuçlarının geçerliliği ve yorumlana bilirliliği açısından büyük önem taşımaktadır (Öztürkçü ve Özcan, 2024).

MARCOS yöntemi diğer ÇKKV yöntemlerine kıyasla çeşitli yönlerden avantajlar sunmaktadır. Öncelikle, kriter ağırlıklarının sıralama üzerindeki etkisinin görece düşük olması sayesinde elde edilen sonuçların yöntem bağımlılığı azalmakta ve daha nesnel bir değerlendirme yapılabilmektedir. Ayrıca karar matrisinde bir alternatifin çıkarılması durumunda sıralamanın radikal biçimde değişmemesi, yöntemin tutarlılık ve istikrar düzeyini ortaya koymaktadır. MARCOS yönteminin bir diğer önemli üstünlüğü ise farklı sektör ve uygulama alanlarında başarılı biçimde uygulanabilmesi olup bu durum yöntemin esnekliğini ve geniş bir karar problemi yelpazesinde kullanılabilirliğini göstermektedir (Gökmenoğlu vd., 2024).

Söz konusu yöntem yedi temel adımdan oluşmaktadır (Stević ve Brković, 2020).

1. Aşama: Karar matrisinin oluşturulması

İlk adımda, karar verme sürecinde değerlendirilecek alternatifler ve kriterler dikkate alınarak karar matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris x_{ij} ile gösterilmektedir; burada i , alternatifleri j , ise kriterleri temsil etmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2. Aşama: Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada, başlangıç karar matrisi iki referans alternatifin eklenmesiyle genişletilmektedir: ideal çözüm (AI) ve anti-ideal çözüm (AAI). Bu referans değerler, her bir kriterdeki en iyi (maksimum) ve en kötü (minimum) performans seviyeleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Böylece alternatiflerin göreceli üstünlüklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Eşitlik (9), genişletilmiş karar matrisini göstermektedir.

$$X = \begin{array}{c} \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ AAI & x_{aa1} & x_{aa2} & \cdots & x_{aan} \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \\ AI & x_{ai1} & x_{ai2} & \cdots & x_{ain} \end{matrix} \end{array} \quad (9)$$

Bu kapsamda, Eşitlik (10) ve Eşitlik (11) yardımıyla her bir kriter için ideal (AI) ve anti-ideal (AAI) referans değerler hesaplanmaktadır.

$$AAI = \min_i x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max_i x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (10)$$

$$AI = \max_i x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min_i x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (11)$$

Burada:

$j \in B$ ifadesi, fayda (kazanç) esaslı kriterleri;

$j \in C$ ifadesi ise maliyet esaslı kriterleri temsil etmektedir.

Fayda kriterlerinde, ideal çözüm her bir kriter için en yüksek değeri; anti-ideal çözüm ise en düşük değeri ifade eder. Buna karşılık maliyet kriterlerinde ideal çözüm minimum değeri, anti-ideal çözüm ise maksimum değeri temsil etmektedir.

3. Aşama: Genişletilmiş Başlangıç Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Bu aşamada, kara sürecinde tutarlı ve anlamlı bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla genişletilmiş karar matrisinde yer alan tüm değerler, Eşitlik (12) doğrultusunda [0 1] aralığına dönüştürülerek normalize edilmektedir (Ayçin ve Arsu, 2021).

$$N = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} AAI \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \\ AI \end{matrix} & \begin{bmatrix} n_{aa1} & n_{aa2} & \cdots & n_{aan} \\ n_{11} & n_{12} & \cdots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & \cdots & n_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \cdots & n_{mn} \\ n_{ai1} & n_{ai2} & \cdots & n_{ain} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

Normalize karar matrisinin elemanları, kriterin niteliğine bağlı olarak farklı şekilde hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, maliyet (minimizasyon) yönlü kriterler için ise Eşitlik (13), fayda (maksimizasyon) yönlü kriterler için Eşitlik (14), kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

$$n_{ij} = \frac{x_{ai}}{x_{ij}} \text{ if } j \in C \quad (13)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ai}} \text{ if } j \in B \quad (14)$$

4. Aşama: Ağırlıklı Karar Matrisinin Belirlenmesi

Bu aşamada, Entropi yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları W_j kullanılarak, normalize edilmiş karar matrisindeki her bir değer, ilgili kriterin ağırlık katsayısı ile çarpılır ve bu yolla ağırlıklı karar matrisi (V) oluşturulur. Bu işlem, her bir kriterin karar sürecindeki görece önemini yansıtarak daha dengeli ve tutarlı bir değerlendirme yapılmasına imkân tanımaktadır. Ağırlıklı matrisin her bir elemanı aşağıda verilen eşitlik (15) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$v_{ij} = n_{ij} \times w_j \quad (15)$$

Eşitlik (15) doğrultusunda elde edilen ağırlıklı normalize karar matrisinin tüm elemanlarını içeren yapı, Eşitlik (16)'da gösterilmektedir.

$$V = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} AAI \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \\ AI \end{matrix} & \begin{bmatrix} v_{aa1} & v_{aa2} & \cdots & v_{aan} \\ v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \cdots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \cdots & v_{mn} \\ v_{ai1} & v_{ai2} & \cdots & v_{ain} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (16)$$

5. Aşama: Alternatif Fayda Derecelerinin Hesaplanması

Alternatiflerin fayda dereceleri, her bir alternatifin ideal (AI) ve anti-ideal (AAI) çözüme göre görece performansını ortaya koymak amacıyla hesaplanmaktadır. Bu kapsamda, Eşitlik (17) ve Eşitlik (18) yardımıyla alternatiflerin anti-ideal çözüme (K_-) ve ideal çözüme (K_+) göre görece fayda düzeyleri belirlenir. Bu göstergeler, karar verme sürecinde her bir alternatifin bütünsel değerlendirmedeki konumunu nicel olarak ifade eder.

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (17)$$

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (18)$$

Bu aşamada, her bir alternatif için ağırlıklı karar matrisinde yer alan kriter değerlerinin toplamı hesaplanmaktadır. S_i ile gösterilen bu değer, i 'inci alternatifin toplam ağırlıklı performansını ifade etmekte olup Eşitlik (19) yardımıyla elde edilmektedir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (19)$$

6. Aşama: Alternatiflerin Fayda Fonksiyonlarının Hesaplanması

Bu aşamada, her bir alternatifin ideal ve anti-ideal çözümlere göre görece konumu dikkate alınarak nihai fayda fonksiyonu $f(K_i)$ hesaplanmaktadır. Bu fonksiyon, alternatifin karar verici açısından tercih edilebilirliğini temsil eden uzlaşım düzeyini ifade etmekte olup Eşitlik (20)'den faydalanarak hesaplanmaktadır.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1-f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1-f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (20)$$

Burada:

K_i^+ : i'inci alternatifin ideal çözüme göre fayda derecesi,

K_i^- : i'inci alternatifin anti-ideal çözüme göre fayda derecesini göstermektedir.

$f(K_i^+)$ ve $f(K_i^-)$: sırasıyla ideal ve anti-ideal çözüme göre fayda fonksiyonlarıdır.

Söz konusu bu fonksiyonlar aşağıdaki Eşitlikler kullanılarak elde edilmektedir:

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad (21)$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad (22)$$

Elde edilen $f(K_i)$ değeri, alternatiflerin genel başarı düzeyini nicel olarak ifade ederek sıralama süreci için temel girdi niteliği taşımaktadır.

7. Aşama: Alternatiflerin Sıralanması

Bu son aşamada, her bir alternatifin karar sürecindeki toplam fayda düzeyini temsil eden $f(K_i)$ değerleri esas alınarak sıralama yapılmaktadır. Bu değer, her bir alternatifin bütünsel fayda düzeyini temsil eder ve karar verici açısından tercih edilebilirliği yansıtır. Fayda fonksiyonu değeri arttıkça alternatifin ideal çözüme olan yakınlığı artar ve dolayısıyla sıralamada daha üst konumda yer almaktadır.

En yüksek, $f(K_i)$ değerine sahip alternatif, en uygun seçenek olarak değerlendirilirken; en düşük değere sahip olan alternatif, en az tercih edilen olarak kabul edilmektedir. Bu aşama MARCOS yönteminin karar verme sürecine sunduğu sistematik, nesnel ve rasyonel değerlendirme çerçevesini tamamlamaktadır.

5.6. Kullanılan Yazılım ve Araçlar

Bu araştırmada, veri analiz sürecinin tüm aşamalarında Microsoft Excel yazılımı kullanılmıştır. Karar matrislerinin oluşturulması, normalizasyon işlemleri, ağırlıklandırma hesaplamaları, MARCOS yöntemine ait eşitliklerin uygulanması ve nihai sıralamanın elde edilmesi gibi tüm matematiksel işlemler Excel ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca formül

temelli hesaplamalar aracılığıyla sistematik ve hatasız bir analiz süreci yürütülmüştür. Excel'in sunduğu esnek yapılar ve formül desteği, ÇKKV sürecinde uygulanan yöntemlerin kolaylıkla uygulanmasına olanak sağlamıştır.



6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, araştırmanın önceki aşamalarında uygulanan Entropi ve MARCOS yöntemleri aracılığıyla elde edilen bulgular detaylı şekilde sunulmakta ve yorumlanmaktadır. İlk olarak belirlenen sürdürülebilirlik göstergeleri için hesaplanan kriter ağırlıkları açıklanmış, ardından her bir yıl için Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş. firmasının görelî sürdürülebilirlik performansları değerlendirilerek sıralamalar elde edilmiştir. Analiz sonuçları hem dönemsel eğilimleri ortaya konulmasına hem de araştırma soruları yanıt verilmesine olanak sağlamaktadır. Mevcut literatür incelendiğinde, MARCOS yönteminin yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarının ölçümüne yönelik olarak daha önce kullanılmadığı görülmektedir. Bu bağlamda elde edilen bulgular, alan yazına özgün bir katkı sunmakta ve yöntemin bu alandaki uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

6.1. Göstergelerin ve Ağırlıkların Belirlenmesi

Bu çalışmada ilk olarak karar verme sürecinde kullanılacak kriterler belirlenmiş, ardından analiz kapsamına alınan alternatifler tanımlanmıştır. Türkiye'nin önde gelen yenilenebilir enerji şirketlerinden biri olan Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş. kurumsal sürdürülebilirlik performansı açısından değerlendirmeye alınmıştır. Bu kapsamda, şirketin 2019-2023 yıllarına ait 15 ekonomik performans göstergesi (EPG), 12 sosyal performans göstergesi (SPG) ve 14 çevresel performans göstergesi (ÇPG) olmak üzere toplam 41 gösterge, sürdürülebilirliğin üç temel boyutu çerçevesinde ele alınmıştır.

Söz konusu göstergeler, şirketin kamuya açık olarak yayımlanan sürdürülebilirlik raporlarından elde edilmiştir. Belirlenen kriterlerin ağırlıkları Entropi yöntemi ile hesaplanmış, alternatiflerin yıllık performans sıralamaları ise MARCOS yöntemi kullanılarak her yıl için ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Aşağıda yer alan Tablo 6.1, kurumsal sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesinde esas alınan göstergeleri ve bu göstergelere ilişkin optimum yönleri (maksimizasyon veya minimizasyon) göstermektedir.

Tablo 6.1: Kurumsal sürdürülebilirlik karar verme göstergeleri ve optimum değer yönleri

Kodu	Sürdürülebilirlik Performans Göstergeleri: Ekonomik (EPG), Çevresel (CPG), Sosyal (SPG),	Fayda Maliyet Yönlü Göstergeler
EPG1	Toplam Kurulu Güç (MWm)	Maks
EPG2	Kapasite Kullanım Oranı HES (%)	Maks
EPG3	Kapasite Kullanım Oranı RES (%)	Maks
EPG4	Toplam Enerji Üretimi (MWh)	Maks
EPG5	Faaliyet Kârı (TL)	Maks
EPG6	FAVÖK (TL)	Maks
EPG7	Toplam Varlıklar (TL)	Maks
EPG8	Toplam Yatırım Miktarı (TL)	Maks
EPG9	Yaratılan Doğrudan Ekonomik Değer- Net Satış Geliri (TL)	Maks
EPG10	Yerel Tedarikçi (TL)	Maks
EPG11	Net Borç (TL)	Min
EPG12	Dağıtılan Doğrudan Ekonomik Değer (TL)	Min
EPG13	Faaliyet Masrafları (tedarik dâhil, ücretler hariç TL)	Min
EPG14	Çalışanlara Ödenen Ücret ve Yan Haklar (TL)	Min
EPG15	Yerel Olmayan (Yurt dışı) Tedarikçi (TL)	Min
CPG1	Toplam Yenilenebilir Enerji Tüketimi (kWh)	Maks
CPG2	Geri Kazanılmış Su (tesis dışından geri kazanım m3)	Maks
CPG3	Geri Kazanılan (R kodlu) Tehlikesiz Atık (ton)	Maks
CPG4	Geri Kazanılan (R kodlu) Tehlikeli Atık (ton)	Maks
CPG5	Toplam Doğrudan Enerji Tüketimi (kWh) (yakıtlar bazında)	Min
CPG6	Toplam Enerji Tüketimi (kWh) (Elektrik)	Min
CPG7	Satın Alınan Enerji (kWh) (Elektrik)	Min
CPG8	Su Kullanımı (m3) Kuyu Suyu	Min
CPG9	Su Kullanımı (m3) Şebeke Suyu	Min
CPG10	Su Kullanımı (m3) Türbinlenen Su (milyar m3)	Min
CPG11	Toplam Atık Miktarı (ton)	Min
CPG12	Toplam Doğrudan Sera Gazı Emisyonu (scope 1) (ton CO2)	Min
CPG13	Toplam Dolaylı Sera Gazı Emisyonu (scope 2) (ton CO2)	Min
CPG14	Üretim Başına Enerji Tüketimi (%) RES, HES	Min
SPG1	Yetenek ve Mesleki Gelişim Eğitimleri- Katılımcı Sayısı (insan)	Maks
SPG2	Yetenek ve Mesleki Gelişim Eğitimleri- Toplam Saat (insanxsaat)	Maks
SPG3	Çalışan Başına Eğitim Saati (saat/çalışan)	Maks
SPG4	Çalışanlara Sunulan İSG Eğitimleri- Toplam Saat (insanxsaat)	Maks
SPG5	Afet ve Acil Durum Eğitimleri Katılımcı Sayısı	Maks
SPG6	Toplam İş Gücü (Sayı)	Maks
SPG7	Doğrudan İstihdam Kadın (%)	Maks
SPG8	Toplam Engelli Çalışan Sayısı	Maks
SPG9	Toplu Sözleşme Kapsamında Çalışan İş gücü (Sayı)	Maks
SPG10	Devlete Ödenen Vergi ve Benzeri Ödemeler (TL)	Maks
SPG11	Kayıtlı Kaza Frekansı (saat/çalışan)	Min
SPG12	Yaralanma Oranı (%)	Min

Not: ÇPG14 kodlu “Üretim Başına Enerji Tüketimi (%)” göstergesi Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş.’nin RES (Rüzgâr Enerji Santrali) ve HES (Hidroelektrik Santral) tesislerine ilişkin veriler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu iki alt kategoriye ait değerlerin aritmetik ortalaması alınarak tek bir gösterge değeri elde edilmiştir.

6.2. Bulgular

Bu bölümde, araştırmanın önceki aşamalarında uygulanan Entropi ve MARCOS yöntemleri aracılığıyla elde edilen bulgular sistematik bir biçimde sunulmaktadır. İlk olarak belirlenen sürdürülebilirlik göstergeleri doğrultusunda Entropi yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıklarına yer verilmiştir. Devamında ise 2019-2023 yılları arasındaki döneme ilişkin olarak Aydem Yenilenebilir Enerji A.Ş.'nin kurumsal sürdürülebilirlik performansı MARCOS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve yıllara göre elde edilen göreceli performans düzeyleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, ilgili tablolar aracılığıyla aşağıda detaylı şekilde sunulmaktadır.



Tablo 6.2: Ekonomik sürdürülebilirlik entropi karar matrisi

Göstergeler	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
Birim	MWm	%	%	MWh	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min
2019	1.020,00	33	30	2.800.559	671.711.233	968.448.475	10.242.416.788	154.696.366	1.197.000.764	200.817.998	4.227.466.418	348.853.195	172.466.254	58.552.448	41.334.198
2020	1.020,00	30	33	2.636.219	683.241.931	1.039.205.100	12.470.698.190	74.590.248	1.340.375.223	265.290.348	4.783.416.254	505.314.343	264.501.448	68.320.010	17.668.020
2021	1.020,00	18	35	1.793.409	450.168.938	904.865.477	22.531.356.887	358.975.553	1.240.753.398	373.201.590	8.530.802.291	567.056.866	275.837.180	95.242.652	263.682.233
2022	1.019,48	27	35	2.469.177	4.716.291.228	6.863.794.209	59.788.434.916	2.245.851.364	7.565.576.718	1.474.944.970	19.011.623.225	2.167.650.141	1.579.803.893	331.303.826	34.543.954
2023	1.179,63	25	34	2.380.312	3.057.416.254	5.187.110.111	55.606.785.506	2.252.382.780	6.358.818.133	1.602.460.006	18.078.664.302	3.023.150.591	2.188.881.915	495.058.956	91.793.048

Tablo 6.3: Çevresel sürdürülebilirlik entropi karar matrisi

Göstergeler	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	Ç11	Ç12	Ç13	Ç14
Birim	kWh	m3	Ton	Ton	kWh	kWh	kWh	m3	m3	Milyar m3	Ton	Ton	Ton	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
2019	36.058.018,00	243,15	1,00	33,00	2.799.706,06	36.058.018,00	137.409.863,38	8.515,10	8.567,86	12,79	37,26	925,32	6.477,28	1,31
2020	36.751.538,00	224,96	2,00	26,00	2.403.556,44	36.751.538,00	143.676.027,80	10.782,70	6.902,83	12,41	74,41	775,45	4.729,06	1,16
2021	31.523.172,00	189,83	6,00	50,00	2.919.241,81	31.523.172,00	107.781.309,21	8.090,30	4.292,54	7,84	73,98	1.364,72	3.534,47	1,01
2022	37.133.839,00	198,54	70,1	27,4	2.830.330,00	37.133.839,00	125.577.000,00	9.759,12	12.211,85	10,85	97,5	1.587,93	3.120,07	1,02
2023	33.208.967,00	224,52	12,07	39,59	3.409.265,78	33.208.967	143.605.376	10.881	7.628	9,67	51,66	1.802,51	2.617,49	1,10

Tablo 6.4: Sosyal sürdürülebilirlik entropi karar matrisi

Göstergeler	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Birim	İnsan	İnsanxSaat	Saat/Çalışan	İnsanxSaat	Katılımcı Sayısı	Sayı	%	Sayı	Sayı	TL	Saat/Çalışan	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min
2019	341	7.552,00	13,30	13.956	342	690	8,1	14	32	117.663.802	5,42	5,42
2020	539	10.173,00	17,90	18.062	329	753	8,8	15	31	169.453.885	5,77	5,77
2021	540	15.718,00	29,30	19.378	370	704	9,7	16	31	191.493.371	3,36	3,36
2022	571	13,192	23,70	24.402	500	930	9,5	16	29	587.846.248	1,6	1,6
2023	562	13.141	23,17	24.411	475	827	9,7	15	25	834.268.676	3,32	3,32

Tablo (6.2-6.4)'te sırasıyla ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarına ilişkin performans göstergelerini içeren Entropi karar matrislerini göstermektedir. Her bir tabloda, 2019-2023 dönemine ait yıllar alternatifleri, sütunlar ise ilgili sürdürülebilirlik boyutuna ait kriterleri temsil etmektedir. Göstergelere ait birimler ile optimizasyon yönleri (maksimizasyon/minimizasyon) tablolar içinde ayrıca belirtilmiştir. Söz konusu karar matrisleri, Entropi yönteminin ağırlıklandırma işleminin ilk adımını oluşturmakta olup karar matrisleri Eşitlik (1) temel alınarak oluşturulmaktadır.

Tablo 6.5: Ekonomik sürdürülebilirlik entropi karar matrisi normalizasyonu

Göstergeler	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
Birim	MWm	%	%	MWh	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min
2019	0,1939	0,2481	0,1796	0,2318	0,0701	0,0647	0,0638	0,0304	0,0676	0,0513	0,0774	0,0528	0,0385	0,0558	0,0921
2020	0,1939	0,2256	0,1976	0,2182	0,0713	0,0694	0,0776	0,0147	0,0757	0,0677	0,0876	0,0764	0,0590	0,0652	0,0393
2021	0,1939	0,1353	0,2096	0,1485	0,0470	0,0605	0,1403	0,0706	0,0701	0,0953	0,1562	0,0858	0,0616	0,0908	0,5872
2022	0,1939	0,2030	0,2096	0,2044	0,4924	0,4587	0,3722	0,4415	0,4274	0,3766	0,3480	0,3278	0,3525	0,3160	0,0769
2023	0,2243	0,1880	0,2036	0,1971	0,3192	0,3467	0,3462	0,4428	0,3592	0,4091	0,3309	0,4572	0,4884	0,4722	0,2044

Tablo 6.6: Çevresel sürdürülebilirlik entropi karar matrisi normalizasyonu

Göstergeler	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	Ç11	Ç12	Ç13	Ç14
Birim	kWh	m3	Ton	Ton	kWh	kWh	kWh	m3	m3	Milyar m3	Ton	Ton	Ton	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
2019	0,2064	0,2249	0,0110	0,1875	0,1949	0,2064	0,2088	0,1773	0,2163	0,2388	0,1113	0,1433	0,3163	0,2337
2020	0,2104	0,2081	0,0219	0,1477	0,1674	0,2104	0,2183	0,2245	0,1743	0,2317	0,2222	0,1201	0,2309	0,2077
2021	0,1805	0,1756	0,0658	0,2841	0,2033	0,1805	0,1638	0,1684	0,1084	0,1464	0,2210	0,2114	0,1726	0,1808
2022	0,2126	0,1837	0,7689	0,1557	0,1971	0,2126	0,1908	0,2032	0,3084	0,2026	0,2912	0,2460	0,1524	0,1817
2023	0,1901	0,2077	0,1324	0,2250	0,2374	0,1901	0,2182	0,2266	0,1926	0,1805	0,1543	0,2792	0,1278	0,1961

Tablo 6.7: Sosyal sürdürülebilirlik entropi karar matrisi normalizasyonu

Göstergeler	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Birim	İnsan	İnsanxSaat	Saat/Çalışan	İnsanxSaat	Katılımcı Sayısı	Sayı	%	Sayı	Sayı	TL	Saat/Çalışan	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min
2019	0,1336	0,1621	0,1239	0,1393	0,1696	0,1767	0,1769	0,1842	0,2162	0,0619	0,2784	0,2784
2020	0,2111	0,2183	0,1667	0,1802	0,1632	0,1929	0,1921	0,1974	0,2095	0,0892	0,2964	0,2964
2021	0,2115	0,3373	0,2729	0,1934	0,1835	0,1803	0,2118	0,2105	0,2095	0,1007	0,1726	0,1726
2022	0,2237	0,0003	0,2207	0,2435	0,2480	0,2382	0,2074	0,2105	0,1959	0,3093	0,0822	0,0822
2023	0,2201	0,2820	0,2158	0,2436	0,2356	0,2118	0,2118	0,1974	0,1689	0,4389	0,1705	0,1705

Tablo (6.5-6.7)'de sürdürülebilirlik boyutlarına ait karar matrislerinin, Entropi yönteminin ikinci adımı kapsamında Eşitlik (2) kullanılarak normalize edildiği tabloları göstermektedir. Bu adımda, her bir kriter sütunundaki alternatife ait değerler, ilgili sütunun toplamına bölünerek [0,1] aralığına indirgenmiş ve karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir. Normalizasyon işlemi Excel ortamında uygulanmış olup söz konusu işlem kriter sütunu x kriter sütunu / TOPLA (kriter sütunu x kriter sütunu) formülüyle gerçekleştirilmiştir. Örneğin, ilgili kriter değerleri B4:B8 aralığında yer alıyorsa =B4:B8/TOPLA (B4:B8) formülüyle sütun bazlı normalize değerler elde edilmiştir.

Tablo 6.8: Ekonomik sürdürülebilirlik karar matrisi entropi e_j değerleri, d_j fark dereceleri ve w_j ağırlıkları

Göstergeler	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
Birim	MWm	%	%	MWh	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min
e_j	0,9989	0,9881	0,9990	0,9934	0,7653	0,7809	0,8602	0,6691	0,8046	0,8028	0,8913	0,7989	0,7341	0,7924	0,7340
d_j	0,0011	0,0119	0,0010	0,0066	0,2347	0,2191	0,1398	0,3309	0,1954	0,1972	0,1087	0,2011	0,2659	0,2076	0,2660
w_j	0,0005	0,0050	0,0004	0,0028	0,0983	0,0918	0,0586	0,1386	0,0819	0,0826	0,0455	0,0842	0,1114	0,0870	0,1114

Tablo 6.9: Çevresel sürdürülebilirlik karar matrisi entropi e_j değerleri, d_j fark dereceleri ve w_j ağırlıkları

Göstergeler	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	Ç11	Ç12	Ç13	Ç14
Birim	kWh	m3	Ton	Ton	kWh	kWh	kWh	m3	m3	Milyar m3	Ton	Ton	Ton	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
e_j	0,9988	0,9975	0,4860	0,9811	0,9961	0,9988	0,9966	0,9956	0,9671	0,9908	0,9692	0,9710	0,9664	0,9971
d_j	0,0012	0,0025	0,5140	0,0189	0,0039	0,0012	0,0034	0,0044	0,0329	0,0092	0,0308	0,0290	0,0336	0,0029
w_j	0,0018	0,0036	0,7471	0,0274	0,0056	0,0018	0,0050	0,0064	0,0477	0,0134	0,0448	0,0422	0,0488	0,0042

Tablo 6.10: Sosyal sürdürülebilirlik karar matrisi entropi e_j değerleri, d_j fark dereceleri ve w_j ağırlıkları

Göstergeler	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Birim	İnsan	İnsanxSaat	Saat/Çalışan	İnsanxSaat	Katılımcı Sayısı	Sayı	%	Sayı	Sayı	TL	Saat/Çalışan	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min
e_j	0,9904	0,8407	0,9793	0,9874	0,9906	0,9961	0,9985	0,9992	0,9977	0,8347	0,9485	0,9485
d_j	0,0096	0,1593	0,0207	0,0126	0,0094	0,0039	0,0015	0,0008	0,0023	0,1653	0,0515	0,0515
w_j	0,0197	0,3263	0,0423	0,0258	0,0192	0,0080	0,0030	0,0016	0,0047	0,3386	0,1054	0,1054

Tablo (6.8-6.10)'da sürdürülebilirlik boyutlarına ilişkin karar matrisleri sunulmakta olup Entropi yönteminin üçüncü adımı kapsamında e_j Entropi değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik (3) kullanılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Yöntemin dördüncü adımında, her bir kriter için bilgi fark derecesi d_j değerleri Eşitlik (4) yardımıyla hesaplanmış; beşinci ve son adımda ise kriter ağırlıkları olan w_j değerleri Eşitlik (5) kullanılarak elde edilmiştir. Excel ortamında e_j değerlerinin hesaplanması için normalizasyon işlemi sonucunda elde edilen matrisin her bir kriterine ait alternatif değerleri dikkate alınarak aşağıdaki formül uygulanmaktadır:

$$=-(1/\text{LN}(\text{alternatif sayısı}))*\text{TOPLA.ÇARPIM}(B11:B15;\text{LN}(B11:B15)).$$

Ardından d_j değerleri e_j değerlerinden hareketle $=1-B16:O16$ formülüyle elde edilmektedir.

Son olarak, kriter ağırlıkları w_j değerleri, d_j değerlerinin toplamına oranlanarak $=B17:O17/\text{TOPLA}(B17:O17)$ formülü aracılığıyla hesaplanmıştır.

Tablo 6.11: Ekonomik sürdürülebilirlik MARCOS karar matrisi

Göstergeler	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
Birim	MWm	%	%	MWh	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min
2019	1.020,00	33	30	2.800.559	671.711.233	968.448.475	10.242.416.788	154.696.366	1.197.000.764	200.817.998	4.227.466.418	348.853.195	172.466.254	58.552.448	41.334.198
2020	1.020,00	30	33	2.636.219	683.241.931	1.039.205.100	12.470.698.190	74.590.248	1.340.375.223	265.290.348	4.783.416.254	505.314.343	264.501.448	68.320.010	17.668.020
2021	1.020,00	18	35	1.793.409	450.168.938	904.865.477	22.531.356.887	358.975.553	1.240.753.398	373.201.590	8.530.802.291	567.056.866	275.837.180	95.242.652	263.682.233
2022	1.019,48	27	35	2.469.177	4.716.291.228	6.863.794.209	59.788.434.916	2.245.851.364	7.565.576.718	1.474.944.970	19.011.623.225	2.167.650.141	1.579.803.893	331.303.826	34.543.954
2023	1.179,63	25	34	2.380.312	3.057.416.254	5.187.110.111	55.606.785.506	2.252.382.780	6.358.818.133	1.602.460.006	18.078.664.302	3.023.150.591	2.188.881.915	495.058.956	91.793.048

Tablo 6.12: Çevresel sürdürülebilirlik MARCOS karar matrisi

Göstergeler	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	Ç11	Ç12	Ç13	Ç14
Birim	kWh	m3	Ton	Ton	kWh	kWh	kWh	m3	m3	Milyar m3	Ton	Ton	Ton	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
2019	36.058.018,00	243,15	1,00	33,00	2.799.706,06	36.058.018,00	137.409.863,38	8.515,10	8.567,86	12,79	37,26	925,32	6.477,28	1,31
2020	36.751.538,00	224,96	2,00	26,00	2.403.556,44	36.751.538,00	143.676.027,80	10.782,70	6.902,83	12,41	74,41	775,45	4.729,06	1,16
2021	31.523.172,00	189,83	6,00	50,00	2.919.241,81	31.523.172,00	107.781.309,21	8.090,30	4.292,54	7,84	73,98	1.364,72	3.534,47	1,01
2022	37.133.839,00	198,54	70,1	27,4	2.830.330,00	37.133.839,00	125.577.000,00	9.759,12	12.211,85	10,85	97,5	1.587,93	3.120,07	1,02
2023	33.208.967,00	224,52	12,07	39,59	3.409.265,78	33.208.967	143.605.376	10.881	7.628	9,67	51,66	1.802,51	2.617,49	1,10

Tablo 6.13: Sosyal sürdürülebilirlik MARCOS karar matrisi

Göstergeler	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Birim	İnsan	İnsanxSaat	Saat/Çalışan	İnsanxSaat	Katılımcı Sayısı	Sayı	%	Sayı	Sayı	TL	Saat/Çalışan	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min
2019	341	7.552,00	13,30	13.956	342	690	8,1	14	32	117.663.802	5,42	5,42
2020	539	10.173,00	17,90	18.062	329	753	8,8	15	31	169.453.885	5,77	5,77
2021	540	15.718,00	29,30	19.378	370	704	9,7	16	31	191.493.371	3,36	3,36
2022	571	13,192	23,70	24.402	500	930	9,5	16	29	587.846.248	1,6	1,6
2023	562	13.141	23,17	24.411	475	827	9,7	15	25	834.268.676	3,32	3,32

MARCOS yönteminin ilk adımı kapsamında, karar verme sürecinde dikkate alınan alternatifler ve kriterler doğrultusunda oluşturulan karar matrisi, Eşitlik (8) kullanılarak düzenlenmiş ve Tablo (6.11-6.13)'te sunulmuştur.

Tablo 6.14: Ekonomik sürdürülebilirlik genişletilmiş karar matrisi

Göstergeler	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
Birim	MWm	%	%	MWh	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min
Anti İdeal (A _{AI})	1.019,48	18	30	1.793.409	450.168.938	904.865.477	10.242.416.788	74.590.248	1.197.000.764	200.817.998	19.011.623.225	3.023.150.591	2.188.881.915	495.058.956	263.682.233
2019	1.020,00	33	30	2.800.559	671.711.233	968.448.475	10.242.416.788	154.696.366	1.197.000.764	200.817.998	4.227.466.418	348.853.195	172.466.254	58.552.448	41.334.198
2020	1.020,00	30	33	2.636.219	683.241.931	1.039.205.100	12.470.698.190	74.590.248	1.340.375.223	265.290.348	4.783.416.254	505.314.343	264.501.448	68.320.010	17.668.020
2021	1.020,00	18	35	1.793.409	450.168.938	904.865.477	22.531.356.887	358.975.553	1.240.753.398	373.201.590	8.530.802.291	567.056.866	275.837.180	95.242.652	263.682.233
2022	1.019,48	27	35	2.469.177	4.716.291.228	6.863.794.209	59.788.434.916	2.245.851.364	7.565.576.718	1.474.944.970	19.011.623.225	2.167.650.141	1.579.803.893	331.303.826	34.543.954
2023	1.179,63	25	34	2.380.312	3.057.416.254	5.187.110.111	55.606.785.506	2.252.382.780	6.358.818.133	1.602.460.006	18.078.664.302	3.023.150.591	2.188.881.915	495.058.956	91.793.048
İdeal (A _I)	1.179,63	33	35	2.800.559	4.716.291.228	6.863.794.209	59.788.434.916	2.252.382.780	7.565.576.718	1.602.460.006	4.227.466.418	348.853.195	172.466.254	58.552.448	17.668.020

Tablo 6.15: Çevresel sürdürülebilirlik genişletilmiş karar matrisi

Göstergeler	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	Ç11	Ç12	Ç13	Ç14
Birim	kWh	m3	Ton	Ton	kWh	kWh	kWh	m3	m3	Milyar m3	Ton	Ton	Ton	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
Anti İdeal (A _{AI})	31.523.172,00	189,83	1,00	26,00	3.409.265,78	37.133.839,00	143.676.027,80	10.881,00	12.211,85	12,79	97,50	1.802,51	6.477,28	1,31
2019	36.058.018,00	243,15	1,00	33,00	2.799.706,06	36.058.018,00	137.409.863,38	8.515,10	8.567,86	12,79	37,26	925,32	6.477,28	1,31
2020	36.751.538,00	224,96	2,00	26,00	2.403.556,44	36.751.538,00	143.676.027,80	10.782,70	6.902,83	12,41	74,41	775,45	4.729,06	1,16
2021	31.523.172,00	189,83	6,00	50,00	2.919.241,81	31.523.172,00	107.781.309,21	8.090,30	4.292,54	7,84	73,98	1.364,72	3.534,47	1,01
2022	37.133.839,00	198,54	70,1	27,4	2.830.330,00	37.133.839,00	125.577.000,00	9.759,12	12.211,85	10,85	97,5	1.587,93	3.120,07	1,02
2023	33.208.967,00	224,52	12,07	39,59	3.409.265,78	33.208.967	143.605.376	10.881	7.628	9,67	51,66	1.802,51	2.617,49	1,10
İdeal (A _I)	37.133.839,00	243,15	70,1	50,00	2.403.556,44	31.523.172,00	107.781.309,21	8.090,30	4.292,54	7,84	37,26	775,45	2.617,49	1,01

Tablo 6.16: Sosyal sürdürülebilirlik genişletilmiş karar matrisi

Göstergeler	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Birim	İnsan	İnsanxSaat	Saat/Çalışan	İnsanxSaat	Katılımcı Sayısı	Sayı	%	Sayı	Sayı	TL	Saat/Çalışan	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min
Anti İdeal (A _{AI})	341	13,192	13,30	13.956	329	690	8,1	14	25	117.663.802	5,77	5,77
2019	341	7.552,00	13,30	13.956	342	690	8,1	14	32	117.663.802	5,42	5,42
2020	539	10.173,00	17,90	18.062	329	753	8,8	15	31	169.453.885	5,77	5,77
2021	540	15.718,00	29,30	19.378	370	704	9,7	16	31	191.493.371	3,36	3,36
2022	571	13,192	23,70	24.402	500	930	9,5	16	29	587.846.248	1,6	1,6
2023	562	13.141	23,17	24.411	475	827	9,7	15	25	834.268.676	3,32	3,32
İdeal (A _I)	571	15.718,00	29,30	24.411	500	930	9,7	16	32	834.268.676	1,6	1,6

Tablo (6.14-6.16)'da MARCOS yönteminin ikinci adımı kapsamında ideal ve anti-ideal çözümleri içeren genişletilmiş karar matrisi, Eşitlik (9) kullanılarak oluşturulmuştur. Bu adımda, kriterlerin niteliğine göre maksimum ve minimum değerlerin belirlenmesine olanak tanıyan Eşitlik (10, 11) kullanılarak gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Söz konusu hesaplamalar Excel ortamında ideal (AI), kriterlerin yönüne göre aşağıdaki formalize edilmiştir: Fayda (maksimizasyon) yönlü kriterler için her bir sütundaki maksimum değer belirlenmesinde örneğin =MAK (B4:B8); maliyet (minimizasyon) yönlü kriterler için ise minimum değer =MİN (kriter:kriter) formülleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Anti-ideal (AAI) için ise fayda yönlü kriterlerde minimum değer =MİN (B4:B8), maliyet yönlü kriterlerde ise maksimum değer =MAK (kriter:kriter) formülü kullanılarak ilgili değerler elde edilmektedir.

Tablo 6.17: Ekonomik sürdürülebilirlik genişletilmiş başlangıç karar matrisi normalizasyonu

Göstergeler	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
Birim	MWm	%	%	MWh	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min
Anti İdeal (AAI)	0,8642	0,5455	0,8571	0,6404	0,0954	0,1318	0,1713	0,0331	0,1582	0,1253	0,2224	0,1154	0,0788	0,1183	0,0670
2019	0,8647	1,0000	0,8571	1,0000	0,1424	0,1411	0,1713	0,0687	0,1582	0,1253	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,4274
2020	0,8647	0,9091	0,9429	0,9413	0,1449	0,1514	0,2086	0,0331	0,1772	0,1656	0,8838	0,6904	0,6520	0,8570	1,0000
2021	0,8647	0,5455	1,0000	0,6404	0,0954	0,1318	0,3769	0,1594	0,1640	0,2329	0,4956	0,6152	0,6252	0,6148	0,0670
2022	0,8642	0,8182	1,0000	0,8817	1,0000	1,0000	1,0000	0,9971	1,0000	0,9204	0,2224	0,1609	0,1092	0,1767	0,5115
2023	1,0000	0,7576	0,9714	0,8499	0,6483	0,7557	0,9301	1,0000	0,8405	1,0000	0,2338	0,1154	0,0788	0,1183	0,1925
İdeal (AI)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tablo 6.18: Çevresel sürdürülebilirlik genişletilmiş başlangıç karar matrisi normalizasyonu

Göstergeler	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	Ç11	Ç12	Ç13	Ç14
Birim	kWh	m3	Ton	Ton	kWh	kWh	kWh	m3	m3	Milyar m3	Ton	Ton	Ton	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
Anti İdeal (AAI)	0,8489	0,7807	0,0143	0,5200	0,7050	0,8489	0,7502	0,7435	0,3515	0,6130	0,3822	0,4302	0,4041	0,7739
2019	0,9710	1,0000	0,0143	0,6600	0,8585	0,8742	0,7844	0,9501	0,5010	0,6130	1,0000	0,8380	0,4041	0,7739
2020	0,9897	0,9252	0,0285	0,5200	1,0000	0,8577	0,7502	0,7503	0,6219	0,6317	0,5007	1,0000	0,5535	0,8707
2021	0,8489	0,7807	0,0856	1,0000	0,8233	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,5036	0,5682	0,7406	1,0000
2022	1,0000	0,8165	1,0000	0,5480	0,8492	0,8489	0,8583	0,8290	0,3515	0,7226	0,3822	0,4883	0,8389	0,9951
2023	0,8943	0,9234	0,1722	0,7918	0,7050	0,9492	0,7505	0,7435	0,5627	0,8108	0,7213	0,4302	1,0000	0,9224
İdeal (AI)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tablo 6.19: Sosyal sürdürülebilirlik genişletilmiş başlangıç karar matrisi normalizasyonu

Göstergeler	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Birim	İnsan	İnsanxSaat	Saat/Çalışan	İnsanxSaat	Katılımcı Sayısı	Sayı	%	Sayı	Sayı	TL	Saat/Çalışan	%
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min
Anti İdeal (AAI)	0,5972	0,0008	0,4539	0,5717	0,6580	0,7419	0,8351	0,8750	0,7813	0,1410	0,2773	0,2773
2019	0,5972	0,4805	0,4539	0,5717	0,6840	0,7419	0,8351	0,8750	1,0000	0,1410	0,2952	0,2952
2020	0,9440	0,6472	0,6109	0,7399	0,6580	0,8097	0,9072	0,9375	0,9688	0,2031	0,2773	0,2773
2021	0,9457	1,0000	1,0000	0,7938	0,7400	0,7570	1,0000	1,0000	0,9688	0,2295	0,4762	0,4762
2022	1,0000	0,0008	0,8089	0,9996	1,0000	1,0000	0,9794	1,0000	0,9063	0,7046	1,0000	1,0000
2023	0,9842	0,8360	0,7908	1,0000	0,9500	0,8892	1,0000	0,9375	0,7813	1,0000	0,4819	0,4819
İdeal (AI)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Tablo (6.17-6.19)'da MARCOS yönteminin üçüncü adımı kapsamında genişletilmiş başlangıç karar matrisinin normalize edilmiş hali eşitlik (12) ile sunulmaktadır. Bu adımda, normalizasyon işlemi, kriterlerin niteliğine bağlı olarak farklı biçimlerde uygulanmaktadır. Buna göre maliyet (minimizasyon) yönlü kriterler için Eşitlik (13), fayda (maksimizasyon) yönlü kriterler için ise eşitlik (14) kullanılarak normalleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplar Excel ortamında aşağıdaki şekilde formalize edilmektedir.

- Fayda (maksimizasyon) yönlü kriterler için her bir alternatifin değeri ideal çözüme (AI) bölünerek normalizasyon sağlanmaktadır. Bu işlem şu formülle uygulanmaktadır. $=B20:B26/B20$ burada B20, ilgili kriterin ideal (maksimum) değerini temsil etmektedir.
- Maliyet (minimizasyon) yönlü kriterler için ise ideal çözüm (AI) değeri her bir alternatif değerine bölünerek normalize edilir bu işlem aşağıdaki formülle ifade edilmektedir.
- $=J20/J20:J26$ bu formülde J20, minimizasyon kriteri için ideal (minimum) değeri göstermektedir.

Tablo 6.20: Ekonomik sürdürülebilirlik ağırlıklı karar matrisinin belirlenmesi

Göstergeler	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	
Birim	MWm	%	%	MWh	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	TL	
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	
Wj	0,0005	0,0050	0,0004	0,0028	0,0983	0,0918	0,0586	0,1386	0,0819	0,0826	0,0455	0,0842	0,1114	0,0870	0,1114	Si
Anti İdeal (AII)	0,0004	0,0027	0,0004	0,0018	0,0094	0,0121	0,0100	0,0046	0,0130	0,0104	0,0101	0,0097	0,0088	0,0103	0,0075	0,1110
2019	0,0004	0,0050	0,0004	0,0028	0,0140	0,0130	0,0100	0,0095	0,0130	0,0104	0,0455	0,0842	0,1114	0,0870	0,0476	0,4541
2020	0,0004	0,0045	0,0004	0,0026	0,0142	0,0139	0,0122	0,0046	0,0145	0,0137	0,0402	0,0582	0,0726	0,0745	0,1114	0,4381
2021	0,0004	0,0027	0,0004	0,0018	0,0094	0,0121	0,0221	0,0221	0,0134	0,0192	0,0226	0,0518	0,0697	0,0535	0,0075	0,3086
2022	0,0004	0,0041	0,0004	0,0024	0,0983	0,0918	0,0586	0,1382	0,0819	0,0760	0,0101	0,0136	0,0122	0,0154	0,0570	0,6603
2023	0,0005	0,0038	0,0004	0,0023	0,0637	0,0694	0,0545	0,1386	0,0688	0,0826	0,0106	0,0097	0,0088	0,0103	0,0215	0,5455
İdeal (AI)	0,0005	0,0050	0,0004	0,0028	0,0983	0,0918	0,0586	0,1386	0,0819	0,0826	0,0455	0,0842	0,1114	0,0870	0,1114	1,0000

Tablo 6.21: Çevresel sürdürülebilirlik ağırlıklı karar matrisinin belirlenmesi

Göstergeler	Ç1	Ç2	Ç3	Ç4	Ç5	Ç6	Ç7	Ç8	Ç9	Ç10	Ç11	Ç12	Ç13	Ç14	
Birim	kWh	m3	Ton	Ton	kWh	kWh	kWh	m3	m3	Milyar m3	Ton	Ton	Ton	%	
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	
Wj	0,0018	0,0036	0,7471	0,0274	0,0056	0,0018	0,0050	0,0064	0,0477	0,0134	0,0448	0,0422	0,0488	0,0042	Si
Anti İdeal (AII)	0,0015	0,0028	0,0107	0,0143	0,0040	0,0015	0,0037	0,0048	0,0168	0,0082	0,0171	0,0182	0,0197	0,0033	0,1266
2019	0,0017	0,0036	0,0107	0,0181	0,0048	0,0016	0,0039	0,0061	0,0239	0,0082	0,0448	0,0354	0,0197	0,0033	0,1859
2020	0,0018	0,0034	0,0213	0,0143	0,0056	0,0015	0,0037	0,0048	0,0297	0,0085	0,0224	0,0422	0,0270	0,0037	0,1900
2021	0,0015	0,0028	0,0639	0,0274	0,0046	0,0018	0,0050	0,0064	0,0477	0,0134	0,0226	0,0240	0,0362	0,0042	0,2617
2022	0,0018	0,0030	0,7471	0,0150	0,0048	0,0015	0,0043	0,0053	0,0168	0,0097	0,0171	0,0206	0,0410	0,0042	0,8922
2023	0,0016	0,0034	0,1286	0,0217	0,0040	0,0017	0,0037	0,0048	0,0269	0,0109	0,0323	0,0182	0,0488	0,0039	0,3105
İdeal (AI)	0,0018	0,0036	0,7471	0,0274	0,0056	0,0018	0,0050	0,0064	0,0477	0,0134	0,0448	0,0422	0,0488	0,0042	1,0000

Tablo 6.22: Sosyal sürdürülebilirlik ağırlıklı karar matrisinin belirlenmesi

Göstergeler	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
Birim	İnsan	İnsanxSaat	Saat/Çalışan	İnsanxSaat	Katılımcı Sayısı	Sayı	%	Sayı	Sayı	TL	Saat/Çalışan	%	
Optimum	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min	Min	
Wj	0,0197	0,3263	0,0423	0,0258	0,0192	0,0080	0,0030	0,0016	0,0047	0,3386	0,1054	0,1054	Si
Anti İdeal (AII)	0,0118	0,0003	0,0192	0,0148	0,0126	0,0060	0,0025	0,0014	0,0037	0,0478	0,0292	0,0292	0,1784
2019	0,0118	0,1568	0,0192	0,0148	0,0131	0,0060	0,0025	0,0014	0,0047	0,0478	0,0311	0,0311	0,3401
2020	0,0186	0,2112	0,0259	0,0191	0,0126	0,0065	0,0027	0,0015	0,0045	0,0688	0,0292	0,0292	0,4298
2021	0,0186	0,3263	0,0423	0,0205	0,0142	0,0061	0,0030	0,0016	0,0045	0,0777	0,0502	0,0502	0,6152
2022	0,0197	0,0003	0,0343	0,0258	0,0192	0,0080	0,0030	0,0016	0,0042	0,2386	0,1054	0,1054	0,5654
2023	0,0194	0,2728	0,0335	0,0258	0,0182	0,0072	0,0030	0,0015	0,0037	0,3386	0,0508	0,0508	0,8252
İdeal (AI)	0,0197	0,3263	0,0423	0,0258	0,0192	0,0080	0,0030	0,0016	0,0047	0,3386	0,1054	0,1054	1,0000

Tablo (6.20-6.22)'de, MARCOS yönteminin dördüncü adımı olan ağırlıklar karar matrisinin belirlenmesi süreci, eşitlik (15,16) doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada kullanılan ağırlıklar w_j Entropi yöntemi ile daha önce belirlenen kriter ağırlıklarını temel almaktadır. Hesaplamalar Excel ortamında şu şekilde formalize edilmiştir.

Üçüncü adımda elde edilen normalize edilmiş genişletilmiş karar matrisi ile Entropi yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları çarpılarak ağırlıklı karar matrisi oluşturulmuştur. Bu işlem için kullanılan formül:

=B27*B29:B35 bu formülde, B27 hücresinde ilgili kriterin Entropi ağırlığı w_j yer almakta; B29:B35 aralığı ise normalize edilmiş genişletilmiş karar matrisinin ilgili kriterine ait değerleri temsil etmektedir.

Her bir alternatif için toplam performans değeri olan S_i değerleri, ağırlıklı karar matrisindeki ilgili kriter değerlerinin toplanmasıyla elde edilmiştir. Bu işlem, her alternatifin kriterler bazındaki ağırlıklı performanslarının genel bir değerlendirmesini yansıtmaktadır. Excel ortamında bu hesaplama aşağıdaki formül ile gerçekleştirilmiştir. =TOPLA(B43:M43) bu formülde, B43:M43 aralığı ilgili alternatifin tüm kriterlerine ilişkin ağırlıklı değerleri ifade etmekte olup bu değerlerin toplamı S_i performans skorunu vermektedir. Burada Eşitlik (19) kullanılarak bulunmuştur.

Tablo 6.23: Ekonomik sürdürülebilirlik fayda derecelerinin hesaplanması ile fayda fonksiyonlarının belirlenmesi ve sıralanması

Alternatifler/Adımlar	Ki+	Ki-	f(Ki+)	f(Ki-)	f(Ki)	Sıralama
2019	0,4541	4,0899	0,9001	0,0999	0,4491	3
2020	0,4381	3,9455	0,9001	0,0999	0,4333	4
2021	0,3086	2,7794	0,9001	0,0999	0,3052	5
2022	0,6603	5,9474	0,9001	0,0999	0,6531	1
2023	0,5455	4,9130	0,9001	0,0999	0,5395	2

Tablo 6.24: Çevresel sürdürülebilirlik fayda derecelerinin hesaplanması ile fayda fonksiyonlarının belirlenmesi ve sıralanması

Alternatifler / Adımlar	Ki+	Ki-	f(Ki+)	f(Ki-)	f(Ki)	Sıralama
2019	0,1859	1,4684	0,8876	0,1124	0,1833	5
2020	0,1900	1,5007	0,8876	0,1124	0,1873	4
2021	0,2617	2,0671	0,8876	0,1124	0,2580	3
2022	0,8922	7,0476	0,8876	0,1124	0,8797	1
2023	0,3105	2,4524	0,8876	0,1124	0,3061	2

Tablo 6.25: Sosyal sürdürülebilirlik fayda derecelerinin hesaplanması ile fayda fonksiyonlarının belirlenmesi ve sıralanması

Alternatifler / Adımlar	Ki+	Ki-	f(Ki+)	f(Ki-)	f(Ki)	Sıralama
2019	0,3401	1,9070	0,8486	0,1514	0,3312	5
2020	0,4298	2,4098	0,8486	0,1514	0,4185	4
2021	0,6152	3,4493	0,8486	0,1514	0,5991	2
2022	0,5654	3,1700	0,8486	0,1514	0,5505	3
2023	0,8252	4,6263	0,8486	0,1514	0,8035	1

Tablo (6.23-6.25)'te, MARCOS yönteminin beşinci adımı olan alternatiflerin fayda derecelerinin K- ve K+ hesaplamasına yer verilmiştir. Bu adımda, alternatiflerin anti-ideal ve ideal çözüme göre göreceli yakınlık dereceleri sırasıyla Eşitlik (17) ve Eşitlik (18) kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplamalarda Excel ortamında aşağıdaki şekilde formalize edilmiştir:

K- değeri, her bir alternatifin toplam performans skoru S_i ile anti-ideal performans skorunun oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Bu işlem şu formülle yapılmaktadır: $=V41:V47/V42$ burada V41:V47 aralığı, alternatiflerin S_i değerlerini; V42 ise anti-ideal performans değerini temsil etmektedir. K+ değeri ise her bir alternatifin toplam performans skorunu ideal performans skoruna oranlanmasıyla elde edilmektedir. Bu işlem için kullanılan formül: $=V41:V47/V41$ bu formülde V41 ideal performans değerini ifade etmektedir.

Tablo (6.23-6.25)'te, MARCOS yönteminin altıncı adımı olan alternatiflerin fayda fonksiyonlarının hesaplanmasına yer verilmiştir. Bu aşamada her bir alternatifin göreceli fayda

düzeyleri; genel fayda fonksiyonu $f(K_i)$ Eşitlik (20), ideal çözüme göre normalize edilmiş fayda fonksiyonu $f(K_i^+)$ Eşitlik (22) ve anti-ideal çözüme göre normalize edilmiş fayda fonksiyonu $f(K_i^-)$ ise Eşitlik (21) kullanılarak hesaplanmıştır. Excel ortamında bu hesaplamalar şu şekilde formalize edilmiştir:

$$=(X_{43}+Z_{43}) / (1+(1- AB_{43}) / AB_{43}+ (1- AD_{43}) / AD_{43})$$

Bu formülde:

X_{43} hücresi, ilgili alternatifin K^+ değerini,

Z_{43} hücresi, K^- değerini,

AB_{43} ideal çözüme göre normalize edilmiş fayda fonksiyonunu $f(K_i^+)$,

AD_{43} ise anti- ideal çözüme göre normalize edilmiş fayda fonksiyonunu $f(K_i^-)$ temsil etmektedir.

Tablo (6.23-6.25)'te, MARCOS yönteminin yedinci ve son adımı olan alternatiflerin sıralamasına yer verilmiştir. Bu adımda, alternatifler genel fayda fonksiyonu $f(K_i)$ değerlerine göre karşılaştırılmıştır. En yüksek $f(K_i)$ değerine sahip olan alternatif, en uygun seçenek olarak değerlendirilirken en düşük $f(K_i)$ değerine sahip alternatif, en az tercih edilen seçenek olarak kabul edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların kurumsal sürdürülebilirlik performanslarını nesnel ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında Borsa İstanbul'da işlem gören AYDEM Yenilenebilir Enerji A.Ş.'nin 2019-2023 yılları arasındaki sürdürülebilirlik performansı, ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç ana boyut altında incelenmiştir. Bu değerlendirmede, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Entropi yöntemi, alternatiflerin sıralanmasında ise MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) yöntemi kullanılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre incelenen beş yıllık dönemde şirketin sürdürülebilirlik performansı yıllara göre değişim göstermektedir. Özellikle 2022 yılı, ekonomik ve çevresel göstergelerdeki olumlu gelişmeler sayesinde en yüksek genel performans düzeyine ulaşmıştır. Bu yıl içinde firma, karbon emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliği yatırımları ve çalışan eğitimi gibi alanlarda belirgin ilerlemeler kaydetmiştir. Buna karşılık, 2020 yılında, ekonomik, çevresel ve sosyal performans düzeyleri birbirine yakın seyretmiş ve her üç boyut da 4. sırada konumlanmıştır. Bu durum, COVID-19 pandemisinin etkileri nedeniyle önceki yıla kıyasla çevresel ve sosyal göstergelerde belirli bir iyileşme kaydedilirken ekonomik performansta ise bir gerileme yaşandığı gözlemlenmiştir. Diğer yıllarda ise genel olarak iyileşen bir eğilim gözlemlenmiştir.

Entropi yöntemi ile elde edilen ağırlıklar, çevresel kriterlerin sürdürülebilirlik performansında önemli bir yer tuttuğunu göstermiştir. MARCOS yönteminin sağladığı sıralamada da bu durum desteklenmiş ve özellikle çevresel yatırımlarda süreklilik sağlayan yılların daha yüksek puanlar aldığı görülmüştür.

Çalışmanın bulguları doğrultusunda çeşitli politika ve uygulama önerileri geliştirilmiştir. Öncelikle, çevresel performansın daha da iyileştirilmesi amacıyla enerji verimliliği, yenilenebilir kaynak kullanımı ve atık yönetimi gibi alanlara yönelik yatırımların sürdürülmesi önemlidir. Bu tür projeler hem firma itibarını artırmakta hem de ulusal ve uluslararası çevre politikalarına uyum sağlamaktadır.

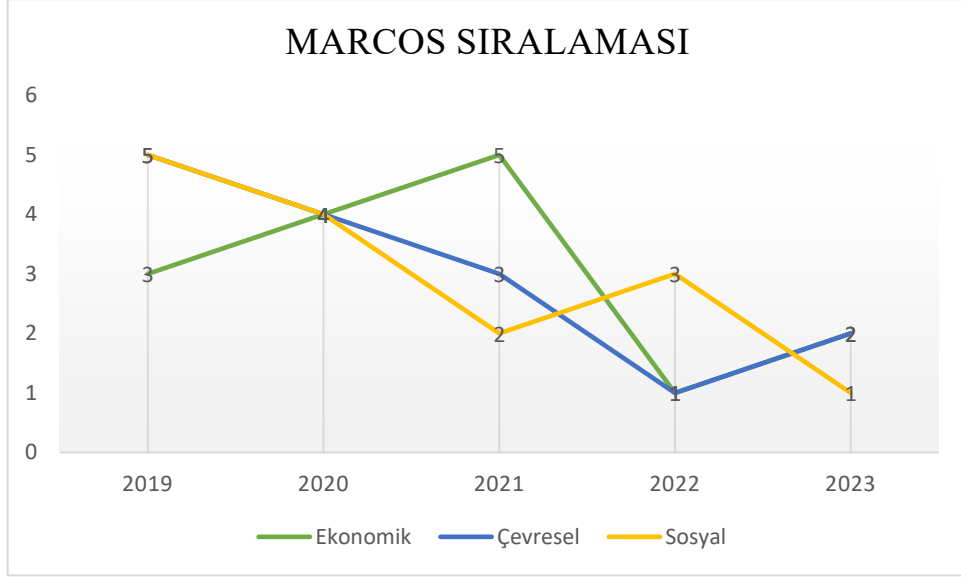
Sosyal sürdürülebilirlik açısından, çalışan haklarının güçlendirilmesi, kadın istihdamının desteklenmesi, iş güvenliği uygulamalarının yaygınlaştırılması gibi alanlara daha fazla önem verilmelidir. Bu sayede şirket, sadece ekonomik değil, toplumsal açıdan da sorumlu bir kurumsal vatandaş profili sergileyebilecektir.

Kurumsal performans ölçüm süreçlerinde kullanılan verilerin standartlara uygun şekilde raporlanması hem iç hem dış paydaşlar açısından şeffaflığı artıracaktır. GRI (Global Reporting Initiative) gibi uluslararası raporlama standartlarının benimsenmesi, sürdürülebilirlik raporlamasının güvenilirliğini pekiştirebilir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin, yalnızca akademik çalışmalarda değil, aynı zamanda şirketlerin stratejik yönetim süreçlerinde de aktif olarak kullanılması önerilmektedir. Bu tür yöntemlerle, yönetim kademeleri çok boyutlu kararları daha nesnel biçimde değerlendirebilir ve kaynak tahsisini daha verimli şekilde planlayabilir.

Bu çalışmada yalnızca bir firmanın verileri kullanılmıştır. Gelecek araştırmalarda sektör genelini temsil edecek şekilde birden fazla firmanın dahil edilmesi ve yatay karşılaştırmalar yapılması, sektörel sürdürülebilirlik eğilimlerinin daha kapsamlı biçimde analiz edilmesine imkân tanıyacaktır.

Sonuç olarak Entropi ve MARCOS yöntemlerinin entegre biçimde uygulanması, kurumsal sürdürülebilirliğin ölçülmesinde etkili ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, yalnızca akademik literatüre yönetsel bir katkı sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların sürdürülebilirlik politikalarını değerlendirme ve geliştirme süreçlerine yönelik pratik bir kılavuz işlevi de görmektedir. Elde edilen sonuçların, firma yöneticileri, politika yapımcılar ve akademisyenler için yol gösterici olması beklenmektedir.



Şekil 7.1: Marcos Sıralaması

7.1. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren firmaların sürdürülebilirlik performanslarını artırmalarına katkı sağlayabilecek çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Aşağıda, bu öneriler kurumsal sürdürülebilirliğin temel boyutları ve yönetsel süreçler çerçevesinde sunulmaktadır:

Ekonomik Boyut Açısından: Kurumsal sürdürülebilirliğin ekonomik boyutu kapsamında, kaynakların etkin kullanımı, finansal istikrar ve uzun vadeli değer yaratımı büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda firmaların, yatırım kararlarını çevresel ve sosyal etkilerle birlikte değerlendirmeleri ve bütünleşik raporlama sistemleri geliştirmeleri önerilmektedir. Ayrıca dış finansmana erişim kolaylaştırılmalı ve sürdürülebilir projeler için yeşil finansman kaynaklarından (yeşil tahvil, sürdürülebilirlik kredileri vb.) daha fazla yararlanılmalıdır.

Çevresel Boyut Açısından: Analiz sonuçlarında çevresel kriterlerin yüksek ağırlık değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, şirketlerin çevre odaklı performanslarını artırmalarının sürdürülebilirlik başarılarını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Bu çerçevede, sera gazı emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir enerji üretim oranlarının artırılması, enerji verimliliği projelerinin yaygınlaştırılması ve atık yönetim sistemlerinin güçlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca çevresel etki değerlendirme raporlarının düzenli olarak kamuoyu ile paylaşılması, şeffaflık açısından önem arz etmektedir.

Sosyal Boyut Açısından: Kurumsal sürdürülebilirliğin sosyal boyutu, çalışan hakları, toplumsal etki, cinsiyet eşitliği ve kurumsal sosyal sorumluluk uygulamalarını kapsamaktadır. Bu doğrultuda, çalışan memnuniyeti ve iş sağlığı-güvenliği konularında sürekli iyileştirme politikalarının benimsenmesi; kadın istihdamının artırılması, kariyer gelişimi ve eğitim programlarının güçlendirilmesi tavsiye edilmektedir. Toplumsal fayda sağlayan projelere yatırım yapılması ve paydaş katılımının artırılması da sosyal sürdürülebilirlik açısından önemli bir adımdır.

Yöntemsel ve Stratejik Öneriler: Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin, firmaların stratejik karar süreçlerine entegre edilmesi; performans değerlendirme, önceliklendirme ve kaynak planlama gibi alanlarda daha rasyonel kararların alınmasına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada kullanılan Entropi ve MARCOS yöntemlerinin sektördeki diğer firmalara da uygulanması, karşılaştırmalı analizler yapılmasına imkân tanıyacaktır.

Bununla birlikte, sürdürülebilirlik performansının sadece yıllık bazda değil, dönemsel hedeflerle izlenmesi, stratejik yönetim sistemlerinin bir parçası haline getirilmesi önerilmektedir. Ayrıca uluslararası standartlara uygun raporlama sistemleri (örneğin GRI, CDP, SASB) geliştirilerek hem ulusal hem de küresel düzeyde yatırımcı güveni artırılabilir.

Politika Geliştiricilere Yönelik Öneriler: Kamu kurumlarının, yenilenebilir enerji yatırımlarına yönelik teşvik mekanizmalarını sürdürmesi ve firmaların sürdürülebilirlik kriterlerine uyum sağlamasını teşvik edici düzenlemeler geliştirmesi önerilmektedir. Bu çerçevede, yerli üretimi destekleyen teşviklerin kapsamı genişletilmeli, sürdürülebilir yatırımların finansmanı için kamu-özel iş birlikleri güçlendirilmelidir.

Sonuç olarak, kurumsal sürdürülebilirlik çok boyutlu bir süreçtir ve bu sürecin etkin biçimde yönetilebilmesi için firmaların stratejik planlamalarını ekonomik kârlılığın ötesine taşıyarak çevresel ve sosyal sorumlulukları da içerecek şekilde yeniden yapılandırmaları gerekmektedir. Bu bağlamda, entegre yaklaşımların benimsenmesi, sektörde rekabet gücünü artıracak ve çevresel-toplumsal faydayı birlikte maksimize edecektir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M. (2013). *Alternatif Enerji Kaynakları* (3. Baskı). İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Ağaçbiçer, G. (2010). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ekonomisine katkısı ve yapılan swot analizler*. Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Çanakkale, 190 s.
- Akbulut, A. (2024). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Sistemleri Yatırım Risklerinin ÇKKV Yöntemleri ile Analizi.
- Akça, Y. ve Kamacı, A. (2021). TR81 Bölgesinin Yenilenebilir Enerji Durumu. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (24): 400–412.
- Aksu, M. (2025). Yenilenebilir Enerji Finansmanında Fintek ve Blokzincir Uygulamaları: Türkiye Açısından Bir Değerlendirme. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26 (1): 362–378.
- Albayrak, M. (2025). https://ticaret.gov.tr/data/65dc9d3113b8762768385d66/ETKB%20SKDM%20Sunum-Yenilenebilir%20Enerji_23022024.pdf, Yenilenebilir Enerji Yatırımları Ve Destekleme Mekanizmaları, (20.05.2025).
- Ali, F., Dawood, A., Hussain, A., Alnasir, M. H., Khan, M. A., Butt, T. M., Janjua, N. K. ve Hamid, A. (2024). Fueling the future: biomass applications for green and sustainable energy. *Discover Sustainability*, 5 (1): 1–18.
- Almerini, A. (2025). <https://www.solarreviews.com/blog/wave-energy-pros-and-cons>, Wave Energy Pros and Cons, (20.05.2025).
- Alpaslan, U. (2025). <https://ember-energy.org/app/uploads/2025/03/TR-Turkiye-Electricity-Review-2025.pdf>, Türkiye Elektrik Görünümü 2025, (20.05.2025).
- Al-Shetwi, A. Q., Abidin, I. Z., Mahafzah, K. A. ve Hannan, M. A. (2024). Feasibility of future transition to 100% renewable energy: Recent progress, policies, challenges, and perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 478.
- Altıntaş, F. F. (2022). Avrupa Ülkelerinin Enerji İnovasyonu Performanslarının Analizi: Mabac ve Marcos Yöntemleri ile Bir Uygulama. *İşletme Akademisi Dergisi*, (2): 188–216.
- Altıntaş, F. F. (2023). Akdeniz Ülkelerinin Deniz Sağlığı Performanslarının Analizi: CRITIC Tabanlı MARCOS Yöntemi ile Bir Uygulama. *Acta Aquatica Turcica*, 19 (1): 1–20.

- Amiri, N., Shaterabadi, M., Ben-Brahim, L. ve Ahmadi Jirdehi, M. (2024a). Assessing the eco-environmental aspects of fossil fuels-based units substitution of Point Aconi thermal power plant by green-based energies: a case study of Canada. *Electrical Engineering*, 107:1331–1346
- Arı, F. (2023). Başlıca Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13 (26): 697-718.
- Arslan, E., & Solak, A. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tüketiminin İthalat Üzerindeki Etkisi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 10 (17): 1380-1407.
- Aşan, D. (2023). <https://www.dilekasan.com/fosil-yakit-nedir-cevresel-etkileri-ve-alternatif-enerji-kaynaklari/>, Fosil Yakıt Nedir? Çevresel Etkileri ve Alternatif Enerji Kaynakları, (10.05.2025).
- Ataman, A. R. (2007). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi ve Siyaset Bilimi, Anabilim Dalı, Ankara, 325 s.
- Ateş, M. H., Dağıdır Çakan, C. ve Kurtoğlu, S. (2025). Finansal Gelişmenin, Yeşil Teknolojik İnovasyonların ve Yenilenebilir Enerji Kullanımının Karbon Emisyonlarının Azaltılmasındaki Rolü. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 27 (Özel Sayı): 149–176.
- Avcı, H. (2022). <https://www.arkitera.com/haber/energiesprong-binalari-daha-verimli-hale-getirmenin-yollarini-arastiriyor/>, Energiesprong: Binaları Daha Verimli Hale Getirmenin Yollarını Araştırıyor, (10.05.2025).
- Avcu, G. ve Bal, C. G. (2024). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Kurumsal Sürdürülebilirlik Çerçevesinde Sürdürülebilirlik Zirvesi: Değer Odaklı Yaklaşım Paneli Doküman Analizi. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 25 (1): 1–14.
- Ayçin, E. ve Arsu, T. (2021). Sosyal gelişme endeksine göre ülkelerin değerlendirilmesi: MEREC ve MARCOS yöntemleri ile bir uygulama. *İzmir Yönetim Dergisi*, 2 (2): 75–88.
- Aydın, C. (2025, April 12). <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-gunes-enerjisi-nedir-nasil-elde-edilir>, Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Güneş Enerjisi Nedir? Nasıl Elde Edilir, (20.05.2025).
- Aydın, M. (2021). *Yenilenebilir Enerji Finansmanında Yeşil Sukuk Potansiyel, Fırsat ve Avantajlar*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İslam İktisadi ve Finansı Anabilim Dalı, İstanbul, 130 s.
- Ayyıldız, H. ve Öztel, A. (2024). Türk Savunma Sanayisi Sektöründeki Firmaların Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Ölçümü: Aselsan Örneği. *Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşerî Bilimler Dergisi*, 8 (2): 299–318.

- Bağcı, H., & Yüksel Yiğiter, Ş. (2019). Bist'te Yer Alan Enerji Şirketlerinin Finansal Performansının SD ve WASPAS Yöntemleriyle Ölçülmesi. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (18): 877–898.
- Bashir, M. F., Pata, U. K. ve Shahzad, L. (2025). Linking climate change, energy transition and renewable energy investments to combat energy security risks: Evidence from top energy consuming economies. *Energy*, 314: 134175.
- Bekar, N. (2020). Bekar, N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği. *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3 (1): 37-54.
- Bell Telephone System. (1956). <https://www.cuttersguide.com/.https://www.cuttersguide.com/pdf/National-Geographic/1956-08.pdf>
- Bellini, F., Campana, P., Censi, R., Di Renzo, M. ve Tarola, A. M. (2024). Energy Communities in the Transition to Renewable Sources: Innovative Models of Energy Self-Sufficiency through Organic Waste. *Preprints.org*, 1-14.
- Birol, Y. E. ve Demirgil, B. (2022). Rüzgâr Enerjisi Üretimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Ab-15 Ülkeleri İçin Bir Panel Veri Analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 61: 305–327.
- Bolton, R. S. (2009). The early history of Wairakei (with brief notes on some unforeseen outcomes). *Geothermics*, 38 (1): 11–29.
- Bostan, B. (2014). Yenilenebilir: Akıntı ve Dalga Enerji Üretiminde Hidrolik Çözümler. Uluslararası Katılımlı VII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, İstanbul.
- Bozdoğan, R. (2005). Sürdürülebilir gelişme düşüncesinin tarihsel arka planı. *Journal of Social Policy Conferences*, 50: 1011–1028.
- Clausius, R. (1865). The Mechanical Theory of Heat with its Applications to the Steam Engine and to Physical Properties of Bodies, London: John van Voorst, 1 Paternoster Row. MDCCCLXVII.
- Creutzig, F., Simoes, S. G., Leipold, S., Berrill, P., Azevedo, I., Edelenbosch, O., Fishman, T., Haberl, H., Hertwich, E., Krey, V., Lima, A. T., Makov, T., Mastrucci, A., Milojevic-Dupont, N., Nachtigall, F., Pauliuk, S., Silva, M., Verdolini, E., van Vuuren, D., ... Wilson, C. (2024). Demand-side strategies key for mitigating material impacts of energy transitions. *Nature Climate Change*, 14 (6): 561–572.
- Çağatay, G. ve Erkalın, B. (2025). <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/bakan-bayraktar-turkiyenin-gunluk-petrol-uretimi-132-bin-varile-ulasti/3503673>, Bakan Bayraktar: Türkiye'nin günlük petrol üretimi 132 bin varile ulaştı, (20.05.2025).
- Çalapkulu, S. (2022). <https://www.sektorumdergisi.com/gelgit-enerjisi/>, Gelgit Enerjisi, (20.05.2025).

- Çapraz, O. (2024). Denizli ili için yenilenebilir enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi Evaluation of renewable energy sources for Denizli using multi-criteria decision-making methods. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31 (2): 0-0.
- Çapraz, O. (2025). Evaluation of renewable energy sources for Denizli using multi-criteria decision-making methods, *Pamukkale Univ Muh Bilim Dergisi*, 31 (2): 180-198.
- Çıtak, E., & Kılınç Pala, P. B. (2016). Yenilenebilir Enerjinin Enerji Güvenliğine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (25): 79-102.
- Çiftçi, M. Y. (2021). <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/turkiyenin-yukselen-enerji-kaynagi-ruzgar-575794.html>, Türkiye'nin yükselen enerji kaynağı: Rüzgar, (20.05.2025).
- De Oliveira, U. R., Menezes, R. P. ve Fernandes, V. A. (2023). A systematic literature review on corporate sustainability: contributions, barriers, innovations and future possibilities. *Environment, Development and Sustainability*, 6 (2): 3045–3079.
- Değirmenci, T. (2023). *Yenilenebilir Enerjinin Yaygınlaşmasında Mali Araçların Etkinliği: Ab Ülkeleri Örneği*. Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Maliye Anabilim Dalı. Sakarya.
- Demirkiran Göbeloğlu, E. (2024). *Türkiye’de Güneş Enerjisi Santrali Yer Seçiminin Ahp-Vikor Hibrit Yöntemi ile Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü, Sakarya, 117 s.
- Dinçer, F., Atik, İ., Yılmaz, Ş. ve Çingı, A. (2017). Hidrolik enerjisinden yararlanmada ülkemiz ve gelişmiş ülkelerin mevcut durumlarının analizi, *DÜMF MD*, 8 (3): 555–561.
- Dinçer, M. Z. ve Aslan, Ö. (2008). *Sürdürülebilir Kalkınma, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Hidrojen Enerjisi: Türkiye Değerlendirmesi*. İstanbul: Sektörel Yayınlar.
- Dirik, R., Taşkesen, E. ve Dirik, Ö. (2023). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında Yapay Zekâ Kullanımı. *International Conference on Recent Academic Studies*, 1: 28–35.
- Durak, İ., Arslan, H. M., Ayyıldız, H., Öztel, A., Çıplak, T., Şahin, S., Eş, A., Eğilmez, G., Mutlu, H. T., Yaldirak, B. İ., Doğan, K. ve Yıldız, M. S. (2024). *Bütünleşik Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Güncel Uygulamaları*. İstanbul: Özgür Yayınları.
- Ekiz, A. (2029). <https://www.aa.com.tr/tr/politika/turkiyenin-ilk-iklim-kanunu-teklifi-tbmm-cevre-komisyonunda-kabul-edildi/3494427>, Türkiye'nin ilk "İklim Kanunu Teklifi", TBMM Çevre Komisyonunda kabul edildi, (20.05.2025).
- Eldem, M. O. (2017). https://www.emo.org.tr/ekler/1076c3237c38c7f_ek.pdf?dergi=1123, Güneş Enerjisi, (20.05.2025).

- Elkington, J. ve Rowlands, I. H. (1999). Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business, *Alternatives Journal Waterloo*, 25, (4): 42-43.
- Erkek, I. ve Irmak, E. (2025). Enhancing Cybersecurity of a Hydroelectric Power Plant Through Digital Twin Modeling and Explainable AI. *IEEE Access*, 13: 41887–41908.
- Ersoy, N. (2018). Entropy Tabanlı Bütünleşik ÇKKV Yaklaşımı ile Kurumsal Sürdürülebilirlik Performans Ölçümü. *Ege Academic Review*, 18 (3): 367-385.
- Fetanat, A. ve Tayebi, M. (2024). Sustainability and availability prioritization of solar thermal energy technologies for enhanced oil recovery using T-spherical fuzzy set-based ordinal priority approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27: 2585–2614
- Gedik, Ö. T. (2015). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 178 s.
- Gökkoyun, S. C. (2025). <https://www.aa.com.tr/tr/dunya/abd-baskani-trump-komur-uretimine-yonelik-kararnameyi-imzaladi/3532165>, ABD Başkanı Trump, kömür üretimine yönelik kararnameyi imzaladı, (20.05.2025).
- Gökmenoğlu, M., Bozkurt, A. A. ve Şimşek, A. (2024). Critic Temelli Aras ve Marcos Yöntemleriyle Kırılgan Beşli Ülkelerin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına Göre Yeniden Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Akşehir Meslek Yüksekokulu Sosyal Bilimler Dergisi*, 18: 11–37.
- Gromicko, N. (2025). <https://www.nachi.org/disadvantages-solar-energy.htm>, Disadvantages of Solar Energy, (17.04.2025).
- Gross, R., Leach, M. ve Bauen, A. (2003). Progress in renewable energy. *Environ Int.* 29 (1): 105-22.
- Guo, S., Chen, S., Zahoor, M., Guo, S., Chen, S. ve Zahoor, M. (2025). Ocean Energy Harvesting History and Technologies. *Advances in Energy Recovery and Efficiency Technologies*.
- Hashemizadeh, A., Ju, Y. ve Abadi, F. Z. B. (2024). Policy design for renewable energy development based on government support: A system dynamics model. *Applied Energy*, 376.
- Hassan, Q., Viktor, P., J. Al-Musawi, T., Mahmood Ali, B., Algburi, S., Alzoubi, H. M., Khudhair Al-Jiboory, A., Zuhair Sameen, A., Salman, H. M. ve Jaszczur, M. (2024). The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus*, 48.
- He, J., Wang, X., Nan, Y. ve Zhou, H. (2025). Research Progress of Triboelectric Nanogenerators for Ocean Wave Energy Harvesting. *Small*, 21 (6): 2411074.

- Heybet, K. ve Duran, C. (2023). Sürdürülebilirlik Sinyali Olarak Faaliyet ve Sürdürülebilirlik Raporlarının İncelenmesi: BIST Sürdürülebilirlik Endeksinde Bir Araştırma. *JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy*, 8 (1): 23–38.
- İpşir, E. (2024). <https://www.aa.com.tr/tr/info/infografik/42760>, Türkiye'nin rüzgârı 2024'te güçlü esti, (20.05.2025).
- Kabeyi, M. J. B., Olanrewaju, O. A., Kabeyi, M. J. B. ve Olanrewaju, O. A. (2025). Hydroelectric Power Plants and Their Sustainability. *Advances in Hydropower Technologies*.
- Kalkan, G. (2024). Dünya'daki Örnek Uygulamaları ile Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinin Topluluk Sahipliği Yoluyla Toplulukları Güçlendirmesi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8 (2): 261–280.
- Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30: 30.
- Karaaslan, A. ve Gezen, M. (2017). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi Türkiye Örneği*. Ekin Basım Yayın Dağıtım.
- Karaaslan, A., Adar, T. ve Delice, E. K. (2022). Regional evaluation of renewable energy sources in Turkey by new integrated AHP-MARCOS methodology: a real application. *International Journal of Sustainable Energy*, 41 (2): 103–125.
- Karaaslan, A., ve Aydın, S. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 1351-1375.
- Karabağ, N., Belit, C., Kayıkcı, Ç. ve Öngen, A. (2021). %100 Yenilenebilir Enerjiye Geçiş Yolunda Dünya ve Türkiye. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21: 230–240.
- Karkee, A. (2024) *Digital transformation in Energy Business Enhancing Efficiency, Sustainability, and Flexibility*. Vaasan Ammattikorkeakoulu.
- Kavcıoğlu, Ş. (2019). Yenilenebilir Enerji ve Türkiye. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 11 (21): 209–227.
- Kaymaz, S., Bayraktar, T., & SEL, Ç. (2024). Su Dalga Enerjisi Üretimi ve Yapay Zekâ: Asya, Avrupa ve Türkiye'nin Potansiyeli. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29 (2): 798-822.
- Kemal, H. (2025). https://www.emo.org.tr/ekler/0082ac261d74f5a_ek.pdf, Türkiye'de Elektrik Enerjisi Gelişiminin Kısa Tarihçesi ve Genel Üretim Bilgileri, (20.05.2025).
- Khanayev, A. (2024). *Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilirlik Konularının Almanya-Fransa Açısından Karşılaştırmalı Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, İstanbul, 99 s.

- Kırhasanoğlu, Ş., & Özdemir, M. (2024). Fosil Yakıt Endeks Fiyatlarının Yenilenebilir Enerji Hisse Endeks Fiyatları Üzerindeki Etkisi: Eriş Örneği. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 0 (104), 115–138.
- Killingtveit, Å. (2014). Hydroelectric Power. *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet*, 453–470.
- Koç, E. ve Kaya, K., (2015). Energy Resources-State Of Renewable Energy Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu. *Mühendis ve Makina*, 56 (668): 36-47.
- Kumbur, H., Özer, Z., Duygu Özsoy, H. ve Avcı, E. D. (2005). Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması. Yeksem 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 19-21.
- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 1 (2): 83-91.
- Kürüm Varolgüneş, F., Doğan, E. ve del Río-Rama, M. de la C. (2025). A strategic approach to the development of sustainable rural tourism using the A’WOT–TOWS method: an example from the hydroelectric power plant (HPP) in Turkey. *Quality and Quantity*, 1–24.
- Lavaa, A. (2023). <https://www.linquip.com/blog/wave-energy-advantages-disadvantages/>, Wave Energy Advantages and Disadvantages (2023 Update), (20.05.2025).
- Lin, C. Y. ve Tjeerdema, R. S. (2008). Crude Oil, Oil, Gasoline and Petrol Introduction Composition and Chemistry of Crude Oil and Gasoline Fate of Oil Toxic Effects of Oils on Marine Organisms and Ecosystems Summary and Conclusions Further Reading.
- Mangırcıoğlu, Z. (2023). <https://arsiv.turkiyegazetesi.com.tr/ekonomi/konya-karapinar-gunes-enerjisi-santrali-962440>, Avrupa’nın en büyüğü: Konya Karapınar güneş enerjisi santrali, (20.05.2025).
- Mert, S. (2012). *Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemi Tasarımı ve Deneysel Çalışması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mohamud1, M. A. ve Elkiran, G. (2023). Hydroelectric Power Advantages Of Production And Usages. *Acta Biomed*, 94 (1).
- Moustakas, K., Loizidou, M., Rehan, M. ve Nizami, A. S. (2020). A review of recent developments in renewable and sustainable energy systems: Key challenges and future perspective. *In Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119.
- Muhamya, H., Ocan, J. ve Adyanga, A. F. (2024). Climate Change: An Obvious Phenomenon or Myth, in the African Context. *African Journal of Climate Change and Resource Sustainability*, 3 (1): 183–195.

- Nergiz Bulak, B. ve Durmuş, A. F. (2025). Yenilenebilir Enerjinin Muhasebeleştirilmesi ve Gr1 302: Enerji Standardı Çerçevesinde Bist Enerji Şirketlerinin Topsis Yöntemi ile İncelenmesi. *International Journal of Business Economics and Management Perspectives*, 2 (2): 279–307.
- Okatan, A. (2021). <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/hidroelektrik-santrallerinde-surdurulebilirlik-saglayan-proje-milhes>, Hidroelektrik Santrallerinde Sürdürülebilirlik Sağlayan Proje: MİLHES, (25.05.2025).
- Oladapo, B. I., Olawumi, M. A., Olugbade, T. O. ve Ismail, S. O. (2025). Data analytics driving net zero tracker for renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 208:115061.
- Özçay, B. (2022). <https://yeserenerji.com/su-alti-akinti-turbinleri/>, Su Altı Akıntı Türbinleri, (20.05.2025).
- Özer, Ö. (2025). Derin Yapay Sinir Ağlarını Uygunluk Fonksiyonu Olarak Kullanan Genetik Algoritma ile Jeotermal Sistemlerin Optimize Edilmesi Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 110 s.
- Özevin, O. (2022). Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Entropi ve TOPSİS Yöntemleriyle Ölçülmesi: BIST Şirketleri Üzerine Bir Uygulama. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 95: 75–98.
- Öztel, A., Köse, S. ve Aytekin, İ. (2012). Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Ölçümü İçin Çok Kriterli Bir Çerçeve: Henkel Örneği. *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 1 (4): 32-44.
- Öztürkçü, N. ve Özcan, S. (2024). Bütünleşik Anp, Marcos, Waspa ve Mairca Yöntemleri Kullanılarak Proje Lojistiği Operasyonlarında Üçüncü Parti Lojistik Hizmet Sağlayıcı Seçimi. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14 (27): 98-125.
- Pereira, E. G., Da Silva, J. N., De Oliveira, J. L., & MacHado, C. S. (2012). Sustainable energy: A review of gasification technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (7): 4753–4762.
- Ray, S. (2024). International Journal Of Multidisciplinary Research Sustainability and Green Future: a Review. *Engineering and Technology*, 7 (5).
- Rençber, İ. (2024). Türk Hava Yollarının Kurumsal Sürdürülebilirlik Performansının Entropi ve TOPSİS Yöntemleriyle İncelenmesi. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 22 (52): 597–628.
- Roszkowska, E., Filipowicz-Chomko, M., Łyczkowska-Hanćkowiak, A. ve Majewska, E. (2024). Extended Hellwig's Method Utilizing Entropy-Based Weights and Mahalanobis Distance: Applications in Evaluating Sustainable Development in the Education Area. *Entropy*, 26 (3).

- Rourke, F. O., Boyle, F. ve Reynolds, A. (2010). Marine current energy devices: Current status and possible future applications in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (3): 1026–1036.
- Sağır, H. (2025). Enerji Politikaları ve Paradigma Değişimi: İklim Değişikliği Bağlamında Dönüşüm. *Uluslararası Ekonomi ve Siyaset Bilimleri Akademik Araştırmalar Dergisi*, 8 (20): 84–95.
- Sağlam, M. ve Uyar, T. S. (2004). https://www.emo.org.tr/ekler/c394e9935fbd62c_ek.pdf, Türk suları için Dalga Enerjisi Örnek Proje Fizibilite Çalışması, (20.06.2025).
- Sağlam, N. A., Dalfidan, F. ve Kızıltepe, B. (2024). Çanakkale’deki Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Kırsal Sürdürülebilirliğe Etkileri. *Akademik İncelemeler Dergisi*, 19, (2): 258-288.
- Sağsöz, A. E., Caf, M., Yıldız, A. T. ve Polat, R. (2025). Türkiye’deki Jeotermal Suların Piper Diyagramı ile Sınıflandırılması ve Beton Üzerine Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (1): 193–203.
- Sahoo, S. K. (2016). Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 927–939.
- Sardor, T. ve Ulmas, R. (2024). <https://pmcg-i.com/exploring-the-green-economys-role-in-sustainable-development/>, Exploring the Green Economy’s Role in Sustainable Development, (20.05.2025).
- Sathyanarayana, A. H. ve Seelam, J. K. (2025). Wave energy potential along the Indian coast: A comprehensive review. *Ocean Engineering*, 316, 120033.
- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26 (3): 89-106.
- Sayısı, Ö. ve Ürün, E. (2016b). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/352678>, Sosyal Bilimler Dergisi Icebss Türkiye’ Nin Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üzerine Bir Değerlendirme, (14.05.2025).
- Sebestyén, V. (2021). Renewable and Sustainable Energy Reviews: Environmental impact networks of renewable energy power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151: 111626.
- Seydiogullari, H. S. (2013). Renewable Energy for Sustainable Development. *Journal of Planning*, 23 (1): 19–25.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27 (3): 379–423.

- Shanto, M. A. R., Tonmoy, M. M. H., Islam, M. N., Jaman, A. ve Amin, I. K. (2025). Modeling and Control Strategy of PMSG-Based Ocean Wave Energy Conversion Systems. *Transactions of the Indian National Academy of Engineering*. 1-19.
- Sökmen, T. E. (2024). Yeşil Enerjiye Geçiş Döneminde Yenilenebilir Enerjinin Enerji Güvenliği Üzerine Etkileri: Ampirik Bir Uygulama (20.05.2025).
- Stević, Ž. ve Brković, N. (2020). A novel integrated FUCOM-MARCOS model for evaluation of human resources in a transport company. *Logistics*, 4 (1): 4.
- Su, W., Wei, H., Guo, P., Hu, Q., Guo, M., Zhou, Y., Zhang, D., Lei, Z. ve Wang, C. (2021). Research on Hydraulic Conversion Technology of Small Ocean Current Turbines for Low-Flow Current Energy Generation. *Energies*, 14 (20): 6499.
- Şahin, B. ve Şahin, Y. (2024). Renewable Energy Sources and Green Finance: A Bibliometric Overview. *Kesit Akademi*, 10 (40): 454–474.
- Şahingöz, D. (2016). *Genel Doğal Gaz*. İstanbul: İstanbul Matbaacılık Basılı Yayıncılık Reklamcılık Sanayi ve Tic. Ltd. Şti
- Şanlı, B. (2025). <https://dunyaenerji.org.tr/3raporu-3-enerji-donusumunde-zor-kisim-mckinsey-kuresel-enstitusu/>, 3Raporu – 3 -Enerji Dönüşümünde Zor Kısım – McKinsey Küresel Enstitüsü, (10.04.2025).
- Şenel, M. C. ve Koç, E. (2015). Dünyada ve Türkiye’de rüzgâr enerjisi durumu-genel değerlendirme.
- Teneke Oduncu, B. (2025). Sürdürülebilir Enerji Politikaları: Küresel Hedeflerden Yerel Uygulamalara TR33 Bölgesi Üzerine Bir Analiz. *Uluslararası Sosyal Siyasal ve Mali Araştırmalar Dergisi*, 5 (1): 94–117.
- Topbaş, G. (2025). <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/dogal-gaz-ithalati-ocakta-yuzde-4-1-azaldi/3521478>, Doğal gaz ithalatı ocakta yüzde 4,1 azaldı, (20.05.2025).
- Tutkavul, K. (2020). Kurumsal Sürdürülebilirlik Bağlamında Sürdürülebilirlik Raporları ve Sürdürülebilirlik Performansının Ölçümü: Arçelik A.Ş.’De Bir Uygulama Sustainability Reporting In The Context Of Corporate Sustainability And Measurement Of Sustainability Performance: An Application In Arçelik Corp. *Financial Analysis/Mali Cozum Dergisi*, 30 (158).
- Türkşen, Ö. (2024). Türkiye’deki Biyokütle Enerji Santrallerinin Mekânsal İstatistiksel Yöntemlerle Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 22 (2): 588–613.
- Unwin, J. (2019). <https://www.power-technology.com/features/oldest-geothermal-plant-larderello/>, The oldest geothermal plant in the world, (20.05.2025).
- URL 10 (2022). <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/jeotermal-enerji-nedir-nasil-elde-edilir>, Jeotermal Enerji Nedir? Nasıl Elde Edilir, (20.05.2025).

- URL 11 (2024). <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/dalga-enerjisi-nedir-nasil-uretilir>, Dalga Enerjisi Nedir, Nasıl Üretilir, (20.05.2025).
- URL-1 (2024). <https://www.aa.com.tr/Tr/Ekonomi/Turkiye-Petrol-ve-Dogal-Gaz-Uretiminde-Rekora-Imza-Atti/3310066>, Türkiye'nin petrol ve doğal gaz üretiminde tarihi rekor, (20.05.2025).
- URL-12 (2025). https://cdn.bartın.edu.tr/insaat/175974f24e771dc1c5de0eb101adcbb4/hidroelektrik-santraller_0pNb8wN.pdf, Hidroelektrik Santralleri, (20.05.2025).
- URL-13 (2025). <https://www.denizbank.com/blog/surdurulebilirlik/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir-111559>, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Nelerdir, (25.05.2025).
- URL-14 (2024). <https://www.dsi.gov.tr/Haber/Detay/11485>, Türkiye'nin Toplam Elektrik Kurulu Gücünün Üçte Birini Hes'ler Oluşturuyor, (15.06.2025).
- URL-15 (2025). <https://dunyaenerji.org.tr/turkiye-jeotermal-enerji-kapasitesini-10-katina-cikarabilir/>, Türkiye jeotermal enerji kapasitesini 10 katına çıkarabilir, (20.05.2025).
- URL-16 (2021). <https://www.ekoiq.com/hans-carl-von-carlowitz-dogdu/>, Hans Carl von Carlowitz doğdu!, (20.05.2025).
- URL-17 (2025). <https://www.energy.gov/eere/water/hydropower-basics>, Hydropower Basics, (20.05.2025).
- URL-18 (2025). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol>, Petrol, (20.05.2025).
- URL-19 (2024). <https://www.enerjiatlası.com/en-buyuk/hidroelektrik>, En Büyük 10 Hidroelektrik Enerji Santrali, (17. 05.2025).
- URL-2 (2025). https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/62106/mod_resource/content/0/1.%20HAFTA.pdf, Ankara Üniversitesi Gama Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi, (20.05.2025).
- URL-20 (2024). <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal>, Jeotermal, (20.05.2025).
- URL-21 (2024). <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar>, Rüzgar, (20.05.2025).
- URL-22 (2025). <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiiikaynaklar-komur>, Kömür, (20.05.2025).
- URL-23 (2025). <https://enerjikaynagim.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-ve-dezavantajlari-nelerdir/>, Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları Nelerdir? (20.05.2025).

- URL-24 (2025). <https://enerjikaynagim.com/jeotermal-enerji-avantajlari-ve-dezavantajlari-nelerdir/>, Jeotermal Enerji Avantajları ve Dezavantajları Nelerdir?, (20.05.2025).
- URL-25 (2025). https://www.enerjisa.com.tr/tr/isimin-enerjisi/enerji-cozumlerimiz/ruzgar-enerjisi?gad_source=1&gbraid=0AAAAADIT0tKLyCAkAWvG2ejxf4-2L8IE&gclid=CjwKCAjw8IfABhBXEiwAxRHlsJXhXY731DaYHL6jwKT9T3ff8DhGXTYQggAE8i2nTFDrdQ-wZi6u9xoCZykQAvD_BwE#item-1, Rüzgar Enerjisi, (18.06.2025).
- URL-26 (2024). <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>, Biyokütle, (20.05.2025).
- URL-27 (2025). <https://www.gelisenbeyin.net/yenilenebilir-enerji-projeleri.html>, Yenilenebilir Enerji Projeleri, (20.05.2025).
- URL-28. (2025). <https://Gepa.Enerji.Gov.Tr/>, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, (15.05.2025).
- URL-29 (2024). <https://www.iea.org/Reports/Renewables-2024/Electricity>, Looking for something?, (20.05.2025).
- URL-3 (2019). <https://www.afaenerji.com/blog/2019/09/13/artilari-ve-eksileri-ile-gunes-enerjisi/>, Artıları ve Eksileri ile Güneş Enerjisi, (20.05.2025).
- URL-30 (2024). https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf_file/0006/1542714/684_EI_Stat_Review_V16_DIGITAL.pdf, Statistical Review of World Energy, (20.05.2025).
- URL-31 (2020). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Innovation_Outlook_Ocean_Energy_2020.pdf, Innovation Outlook Ocean Energy Technologies, (20.05.2025).
- URL-32 (2024). <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Geothermal-energy>, Geothermal, (20.05.2025).
- URL-33 (2025). <https://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Jeotermal-Enerji-Nedir->, Jeotermal Enerji Nedir, (20.05.2025).
- URL-34 (2023). <https://www.kalyonenerji.com/tr/portfoyumuz>, Güneş Santralleri, (20.05.2025).
- URL-35 (2023). Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi, www.madencilikturkiye.com, (20.05.2025).
- URL-36 (2025). <https://www.memurlar.net/haber/1128665/turkmen-gazi-bugun-geliyor-on-haneden-birini-isitacak.html>, Türkmen gazı bugün geliyor! On haneden birini ısıtacak, (20.05.2025).

- URL-37. (2025). <https://www.memurlar.net/haber/1129098/turkiye-den-nahcivan-a-dogal-gaz-sevkiyati-basladi.html>, Türkiye'den Nahçıvan'a doğal gaz sevkiyatı başladı, (20.05.2025).
- URL-38 (2007). <https://Mevzuat.Gov.Tr/Mevzuat?Mevzuatno=5686&Mevzuattur=1&Mevzuattertip=5>, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, (10.05.2025).
- URL-39 (2025). <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>, Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları, (10.04.2025).
- URL-4 (2022). <https://www.aydemenerji.com.tr/blog/219/yenilenebilir-enerjide-devlet-tesvikleri/>, Yenilenebilir Enerjide Devlet Teşvikleri, (20.05.2025).
- URL-40 (2025). <http://www.petform.org.tr/arama-uretim-sektoru/petrol-nedir/>, Petrol Nedir, (17.04.2025).
- URL-40 (2025). <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/einstein/facts/>, Albert Einstein Facts, (20.05.2025).
- URL-41 (2025). <https://Repa.Enerji.Gov.Tr/Repa/Bolgeler/Turkiye-Genel.pdf>, Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı – 100 Metre (08.04.2025).
- URL-42 (2020). <https://webdosya.csb.gov.tr/db/edirne/haberler/3-b-yokutle-enerji-s--n-hat-20200601154926.pdf>, Biyokütle Enerjisi, (20.05.2025).
- URL-43 (2025). <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-yenilenebilir-enerji#:~:text=%C3%9C%20kemiz%20baz%C4%B1%20Yenilenebilir%20Enerji%20Kaynak,belirlenen%20alanlar%C4%B1%20YEKA%20ilan%20edilmektedir,Yenilenebilir Enerji>, (10.05.2025).
- URL-44 (2025). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>, Elektrik, (20.05.2025).
- URL-45 (2022). <https://www.serka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/tra2-bolgesi-biyokutle-enerji-atlasi.pdf>, TRA2 Bölgesi Biyokütle Enerjisi Atlası, (20.05.2025).
- URL-46 (2025). <https://thesustainableagency.com/blog/history-of-renewable-energy/>, The History of Renewable Energy, (20.05.2025).
- URL-47 (2025). <https://www.tureb.com.tr/lib/uploads/HQ-kisa-Tureb-istatistik-raporu-Ocak2025.pdf>, Türkiye’de Rüzgar Enerjisi, (20.05.2025).
- URL-48 (2022). <https://tudav.org/calismalar/deniz-alanlari/turk-bogazlari/istanbul-ve-canakkale-bogazi-akinti-haritalari/>, İstanbul ve Çanakkale Boğazı Akıntı Haritaları, (18.06.2025).
- URL-49 (2023). <https://turkiyedekomur.org/wp-content/uploads/2024/12/Ko%CC%88mu%CC%88r-Sekto%CC%88r-Raporu-2023.pdf>, Kömür Sektör Raporu, (20.05.2025).

- URL-5 (2022). <https://www.aydemenerji.com.tr/blog/159/ruzg-r-turbini-nasil-calisir-ruzg-r-gucunden-nasil-elektrik-elde-edilir-/>, Rüzgâr Türbini Nasıl Çalışır? Rüzgâr Gücünden Nasıl Elektrik Elde Edilir, (20.05.2025).
- URL-50 (2025). <https://www.worldometers.info/world-population/>, Current World Population, (10.06.2025).
- URL-51. (2025). https://yenader.org/tr_tr/biyokutle-enerjisi-nedir/, Biyokütle Enerjisi Nedir, (20.06.2025).
- URL-52 (2025). https://yenader.org/tr_tr/ruzgar-enerjisi-nedir/, Rüzgar Enerjisi Nedir?, (20.06.2025).
- URL-6 (2022). <https://www.aydemenerji.com.tr/blog/161/hidroelektrik-enerjisi-nedir-hidroelektrik-enerjisi-nasil-uretilir-/>, Hidroelektrik Enerjisi Nedir? Hidroelektrik Enerjisi Nasıl Üretilir, (20.05.2025).
- URL-7 (2022). <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/biyoenerji-nedir-biyokutle-enerjisi-nasil-elde-edilir#:~:text=Biyok%C3%BCtlenin%20modern%20tesislerde%20biyoenerjiye%20d%C3%B6n%C3%BC%C5%9F%C3%BCr%C3%BClmesinin,Brezilya%2C%20Hindistan%20ve%20%C3%87in%20bulunur.,> Biyoenerji Nedir? Biyokütle Enerjisi Nasıl Elde Edilir, (20.25.2025).
- URL-8 (2022). <https://www.aydemenerji.com.tr/blog/166/turkiye-de-ruzgar-enerjisi/>, Türkiye’de Rüzgar Enerjisi, (20.05.2025).
- URL-9 (2024). <https://www.aydemenerji.com.tr/blog/196/biyokutle-nedir-/>, Biyokütle Nedir? (20.25.2025).
- Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A. ve Belenli, İ. (2006). Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (1): 7-13.
- Üçgül, İ. ve Elibüyük, U. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Jeopolitiği. *Anka E-Dergi*, 2 (1).
- Ünlüsoy, S., Eren, T. ve Özcan, E. (2017). ANP VE TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye De Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Journal of Engineering, Science and Technology*, 5 (2): 204–219.
- Wang, S., Yuan, P., Li, D. ve Jiao, Y. (2011). An overview of ocean renewable energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1): 91–111.
- Wang, Z. J. ve Wang, Z. W. (2019). A review on tidal power utilization and operation optimization. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 240 (5).
- Wei, H. B. ve Su, W. Bin. (2022). Simulation Based on AMESim and Performance Experiment of Ocean Current Hydraulic Power Generation. 2022 5th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering, CEEPE, 1265–1269.

- Wei, H. B., Su, Bin, W. ve Gao, X. Q. (2022). Design and Experimentation of Hydraulic Turbine for Low-flow Ocean Current Energy Transmission and Control Power Generation Equipment. *2022 5th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering, CEEPE 2022*, 938–943.
- Yakıcı Ayan, T. ve Pabuçcu, H. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Değerlendirilmesi 1 Evaluation Of The Renewable Energy Investment Project With Analytic Hierarchy Process Method. *In Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 18, (3).
- Yang, X., Zhang, Y., Sun, P. ve Peng, C. (2024). A review on renewable energy: Conversion and utilization of biomass. *Smart Molecules*, 2 (4): e20240019.
- Yasmeen, R. ve Shah, W. U. H. (2024). Energy uncertainty, geopolitical conflict, and militarization matters for Renewable and non-renewable energy development: Perspectives from G7 economies. *Energy*, 306.
- Yenilmez Alıcı, S. (2023). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Bir İşletme İçin İnsan Kaynakları Yönetimi Uygulaması Seçimi*. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı, Denizli, 105 s.
- Yıldırım, A. (2023). Akdeniz’de Deniz Akıntı Hızı ve Güç Potansiyelinin İstatistiksel Analizi. *Journal of The Institute of Science and Technology*, 6, (1).
- Yıldız, M. (2006). Dünyada ve Türkiye’de Alternatif ve Fosil Enerji Kaynaklarının Geleceğe Yönelik Etüdü. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 102 s.
- Yıldız, S. (2022). *Sürdürülebilirlik performansının çok kriterli karar verme yöntemleri ile ölçümü*. Yüksek Lisans Tezi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Alanya.
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4 (2).
- Yılmaz, O. ve Hotunluoğlu, H. (2015). Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye. *Journal of Institute of Social Sciences*, 2.
- Yücel, M., ve Tarhan, İ. (2019). Çanakkale Boğazı Akıntı Türbin Modellenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24 (3): 59-74.
- Yüksel, F. ve Morrow, S. (2023). <https://www.aa.com.tr/tr/cumhuriyetin-yuzuncu-yili/turkiye-kurulusunun-100-yilinda-petrolde-sinif-atladi/3026920#>, Türkiye, kuruluşunun 100. yılında petrolde sınıf atladı, (20.05.2025).
- Zhang, K. (2025). A Review of Biomass Energy: Comparison of Utilization Methods and Future Prospects. *E3S Web of Conferences*, 606.

Zhang, Y. (2024). Electrical Engineering and Intelligent Control Strategies in Renewable Energy Integration: Enhancing Energy Sustainability. *Journal of Theory and Practice of Management Science*, 4 (05): 41–48.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Tarihi :

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi :

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar :

Aldığı Ödüller :

İş Deneyimi

Stajlar :

Projeler ve Kurs Belgeleri :

Çalıştığı Kurumlar :

İletişim

E-Posta Adresi :

Tarih :