

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖMÜR MADEN SAHALARINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI VE
KARBON DEPOLAMA OLANAKLARININ İNCELENMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOLGA PARLAK

KASIM 2023

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÖMÜR MADEN SAHALARINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI VE
KARBON DEPOLAMA OLANAKLARININ İNCELENMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga PARLAK

DANIŞMAN

: Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN

ZONGULDAK

Kasım 2023

KABUL:

Tolga PARLAK tarafından hazırlanan “Kömür Maden Sahalarında Yenilenebilir Enerji Kullanımı ve Karbon Depolama Olanaklarının İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 23/11/2023

Danışman: Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü

Üye: Doç. Dr. Mehmet BİLEN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Suat DELİBALTA

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./...../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Tolga PARLAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÖMÜR MADEN SAHALARINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI VE KARBON DEPOLAMA OLANAKLARININ İNCELENMESİ

Tolga PARLAK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN

Kasım 2023, 67 sayfa

Madencilik sektöründe elektrik enerjisine erişim sürecin devamlılığı için çok önemlidir. Sektörün, dünya ekolojisinde artan karbon salınımı ve buna bağlı küresel ısınma, iklim değişimi ile mücadelede katkıda bulabilmesi temiz teknolojilere yatırım ile mümkündür. Madencilik yapılan bölge potansiyeline göre; yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, jeolojik formasyonlar ve yapılan ağaçlandırma çalışmaları ile karbon depolama çalışmaları en önemli konulardır. Bu tezde iki ayrı pilot kömür sahasında yenilenebilir enerji kullanımı ve karbon depolama potansiyelleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda her iki bölgenin de farklı türlerde yenilenebilir enerji ve karbon depolama potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, yenilenebilir enerji, güneş, rüzgar, karbon depolama

Bilim Kodu: 607.01.00



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF RENEWABLE ENERGY USAGE AND CARBON STORAGE OPPORTUNITIES IN COAL MINING SITES

Tolga PARLAK

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mining Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
November 2023, 67 pages**

Access to electrical energy in the mining sector is very important for the continuity of the process. It is possible for the sector to contribute to the fight against increasing carbon emissions in the world ecology and related global warming and climate change, by investing in clean technologies. According to the potential of the mining region; The use of renewable energy sources, geological formations and afforestation studies and carbon storage studies are the most important issues. In this thesis, the use of renewable energy and carbon storage potentials in two separate pilot coal fields were investigated. As a result of the studies, it was concluded that both regions have different types of renewable energy and carbon storage potential.

Keywords: Mining, renewable energy, solar, wind, carbon storage

Science Code: 607.01.00



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışma konumun olgunlaştırılmasında, yaptığım araştırmalarda verdiği destek.ve yönlendirmelerden dolayı danışmanım Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN'a, değerli jüri üyelerine, yüksek lisans sürecim boyunca mesleki gelişimime çok katkısı olan yüksek lisans derslerimi aldığım tüm bölüm hocalarıma ayrı ayrı teşekkür ediyorum.

Pandemi sürecinin girmesiyle uzayan ve zorlaşan eğitim hayatımda verdiği sonsuz destek ve anlayış için eşime, anneme ve çocuklarıma çok teşekkür ediyorum. İyi ki varlar.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
2.1 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	3
2.1.1 Güneş Enerjisi	5
2.1.2 Rüzgar Enerjisi	9
2.1.3 Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	12
2.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ	16
2.2.1 Türkiye’de Elektrik Üretimi.....	16
2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Elektrik Üretimi Mevzuatı.....	17
2.3 GENEL DEĞERLENDİRMELER.....	21
BÖLÜM 3	23
3.1 GENEL BİLGİLER	23
3.2 GLİ TUNÇBİLEK KÖMÜR MADENİ SAHALARI	31
3.2.1 Kömür İşletmesi ve Sahaları Hakkında Bilgiler.....	31
3.2.2 Yenilebilir Enerji Üretim ve Kullanım Olanakları.....	33
3.2.3 Karbon Depolama Olanakları.....	38
3.2.4 Kömür Madeni Sahaları Olanaklarının Analizi ve Değerlendirilmesi	42
3.3 KİREMİTÇİLER GRUP KÖMÜR MADENİ SAHALARI	42
3.3.1 Kömür İşletmesi ve Sahaları Hakkında Bilgiler.....	44
3.3.2 Yenilebilir Enerji Üretim ve Kullanım Olanakları.....	46
3.3.3 Karbon Depolama Olanakları.....	56

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.3.4 Kömür Madeni Sahaları Olanaklarının Analizi ve Değerlendirilmesi	59
BÖLÜM 4	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67



ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 2.1 Dünyada güneş ve rüzgar elektrik üretim fiyatlarının gelişimi ve fosil kaynaklarla karşılaştırılması [2]	4
Şekil 2.3 Yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminin yıllar içinde gelişimi [2]	5
Şekil 2.4 Elektrik Üretiminde Kullanılan Fotovoltaik Güneş Panelleri [4]	6
Şekil 2.5 Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli açısından konumu [6]	7
Şekil 2.6 Ülkemizin yıllara dayalı güneş enerjisi kurulu güç değişimi [7]	7
Şekil 2.7 Türkiye'deki güneş enerji santrallerinin iller bazında kurulu güç dağılımı [8]	8
Şekil 2.8 Türkiye fotovoltaik enerji potansiyeli haritası ve pilot saha konumları [6]	8
Şekil 2.9 Marmara adasında RES	9
Şekil 2.10 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası ve incelenen saha konumları [10]	10
Şekil 2.11 Türkiye'deki rüzgar santrallerinin iller bazında kurulu güç dağılımı [11]	11
Şekil 2.12 Türkiye'de yıllar bazında rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç değişimi	11
Şekil 2.13 Hidroelektrik santrali akım şeması [12]	12
Şekil 2.14 Jeotermal Enerjinin kullanım alanları	14
Şekil 2.15 Türkiye jeotermal kaynaklar dağılımı ve uygulama haritası [13]	14
Şekil 2.16 Biyokütlenin oluşum süreci	15
Şekil 2.17 Çam ağacı için karbon miktarı ve CO ₂ depolama tahmin abağı [14]	16
Şekil 2.18 Türkiye 2007-2022 kurulu güç gelişimi [17]	21
Şekil 2.19 Türkiye 2017-2022 kurulu güç kapasitesi ve değişimi [17]	22
Şekil 3.1 Türkiye kömür havzaları [20]	24
Şekil 3.2 Garzweiler açık işletme kömür sahası ve çevresinde rüzgar türbinleri [21]	25
Şekil 3.3 Lausitzer eski kömür açık işletme sahalarının madencilik sonrası çeşitli kullanım amaçlarına ait görünüm [22]	26
Şekil 3.4 Lausitzer eski kömür açık işletme sahası gölet çevresi maden müzesi ve maden makinası [22]	26
Şekil 3.5 Hambach açık işletme kömür sahası ve madencilik sonrası gölet projesi [21]	27
Şekil 3.6 Açık işletme kömür sahası madencilik sonrası şevlerinde hibrit PV güneş enerjisi, pil depolama ve rüzgar türbini proje çalışması [21]	28
Şekil 3.7 Açık işletme kömür sahası madencilik sonrası gölet projesi [21]	29
Şekil 3.8 Açık işletme kömür sahası üretim sonrası ağaçlandırma çalışması [21]	29
Şekil 3.9 Açık işletme kömür sahası üretim sonrası arazinin yeniden düzenlenmesi ve tarımsal faaliyetler [21]	30
Şekil 3.10 Tarımsal alanlarda eş zamanlı güneş enerjisi araştırmaları [21]	30
Şekil 3.11 Yeraltında jeolojik formasyonlarda CO ₂ depolama [23]	31
Şekil 3.12 GLİ Ruhsat alanı ve çalışma yöntemleri özeti	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 3.13 GLİ açık işletme alanından görünüm.....	33
Şekil 3.14 Kütahya güneş enerjisi potansiyeli [5].....	33
Şekil 3.15 Kütahya-Tavşanlı güneş enerjisi potansiyeli [5]	34
Şekil 3.16 CW Enerji Tavşanlı GES hava fotoğrafı [25]	34
Şekil 3.17 Mevcut GES alanları ile Maden alanının konumlarını gösterir uydu fotoğrafı	35
Şekil 3.18 Kütahya rüzgar potansiyeli [26]	36
Şekil 3.19 Kütahya güç yoğunluğu dağılımı [26]	36
Şekil 3.20 Kütahya rüzgar kapasite faktörü [26]	37
Şekil 3.21 TKİ GLİ Tunçbilek Ömerler A ve Derin Sahalar görünümü.....	40
Şekil 3.22 Çam ağacı için karbon miktarı ve eşdeğer CO ₂ depolama tahmin abağı [14].....	41
Şekil 3.23 GLİ ağaçlandırma alanından bir görünüm	41
Şekil 3.24 İnceleme alanı ve yakın çevresinin 1/100.000 ölçekli Jeolojik Haritası.....	43
Şekil 3.25 Açık işletme çalışma alanı görseli	45
Şekil 3.26 Kapalı işletme çalışma alan görselleri	45
Şekil 3.27 Tekirdağ güneş enerjisi potansiyeli [5]	47
Şekil 3.28 Edirne güneş enerjisi potansiyeli [5].....	47
Şekil 3.29 Konya Çumra Bölgesi Hotamış gölü hava fotoğrafı	48
Şekil 3.30 Tekirdağ 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Hızı Haritası [26].....	49
Şekil 3.31 Tekirdağ 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası [26].....	49
Şekil 3.32 Tekirdağ 100 m yükseklikte Kapasite Faktörü Haritası [26]	50
Şekil 3.33 Edirne 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Hızı Haritası [26]	50
Şekil 3.34 Edirne 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası [26]	51
Şekil 3.35 Kaniye RES	52
Şekil 3.36 Mevcut RES ve Ruhsat alanlarını gösterir uydu fotoğrafı	53
Şekil 3.37 Rüzgar Enerjisi Potansiyel Karşılaştırması [26].....	53
Şekil 3.38 Potansiyel RES Alanında Rüzgar hızı Haritası [10]	54
Şekil 3.39 Potansiyel RES Alanında Rüzgar gücü Haritası [10]	55
Şekil 3.40 Potansiyel RES Alanında Rüzgar gücü Grafiği [10]	55
Şekil 3.41 Yerüstü Tesisleri ve ağaçlandırma çalışmaları.....	57
Şekil 3.42 Ocak döküm alanları ve ağaçlandırma çalışmaları	57
Şekil 3.43 Yerüstü Tesisleri ve ağaçlandırma haritası	58
Şekil 3.44 Çam ağacı için karbon miktarı ve eşdeğer CO ₂ depolama tahmin abağı [14].....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 2023 Yılı Ocak ayı sonu itibariyle lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı ve 2020 yılı Ocak ayı değeriyle karşılaştırılması (MW-%) [16]	18
Çizelge 2.2 Ocak 2023 döneminde lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı ve 2020 yılı Ocak ayı değeriyle karşılaştırılması (MWh %) [16]	19
Çizelge 2.3 2023 Yılı Ocak Ayı Sonu İtibariyle Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı ve 2021 Yılı Ocak Ayı Sonu ile Kıyası [16].....	20
Çizelge 2.4 Ocak 2023 döneminde lisanssız elektrik üretimi ve ocak 2021 dönemi lisanssız elektrik üretimi kıyası [16]	20
Çizelge 3.1 Kütahya'da kurulu Güneş Enerji Santralleri [8]	34
Çizelge 3.2 Kütahya'da kurulu Rüzgar Enerji Santralleri [11].....	37
Çizelge 3.3 Tekirdağ güneş enerji santralleri [8]	48
Çizelge 3.4 Edirne Güneş Enerji Santralleri [8].....	48
Çizelge 3.5 Tekirdağ ili işletmedeki rüzgar santralleri [11]	51
Çizelge 3.6 Edirne ili işletmedeki rüzgar santralleri [11].....	51
Çizelge 3.7 Subaşı Kanije RES Yıllık elektrik Üretimi [31]	52
Çizelge 3.8 İzmir Petkim RES Yıllık elektrik Üretimi [32]	53



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

AR-GE	: Araştırma ve Geliştirme
BEÜ	: Bülent Ecevit Üniversitesi
C	: Karbon
CO₂	: Karbon dioksit
EDT	: Elektrik Depolama Tesisi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü
GEPA	: Güneş Enerji Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
GLİ	: Garp Linyitleri İşletmesi
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
İRENA	: International Renewable Energy Agency
JES	: Jeotermal Enerji Santrali
MAPEG	: Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MWh	: Mega-Watt-Saat
PV	: Fotovoltaik
REPA	: Rüzgar Enerji Potansiyel Atlası
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
RWE	: Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TWh	: Teta-Watt-Saat
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerini kesintisiz yapabilmek için, kullanılan ekipmanların da kesintisiz enerjiye ihtiyacı olmaktadır. Günümüzde madencilik sektörü tarafından kullanılan enerji, ağırlıklı olarak fosil kaynaklar tabanlıdır. Sektörün küresel ısınma ve iklim değişimi ile mücadelede dünyanın karbonsuzlaşma hedeflerine katkıda bulunabilmesi için enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve karbon depolama potansiyelini araştırmaya ihtiyaç duyulacaktır. Yenilenebilir ve çevreye duyarlı güneş, rüzgar gibi enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinde üretim maliyetlerinin düşmesinin de etkisiyle birlikte bu durum madencilik şirketleri için önem kazanmaktadır. Gerekli teşvik ve yatırımlarla madencilik sektöründe yenilenebilir enerji kullanım oranı artacak ve buna bağlı karbonsuzlaşmaya katkısı da artacaktır.

Bu çalışmada kömür madenciliği yapılan sahalarda yenilenebilir enerji kullanım ve karbon depolama olanakları incelenecektir. Önce, konu ile ilgili ayrıntılı literatür araştırması yapıp güncel uygulama örnekleri incelenecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde özellikle güneş ve rüzgar enerjisi kullanım olanakları incelenecektir. Karbon depolama olanakları açısından yeraltında jeolojik formasyonlar ile ağaçlandırma sahalarında depolama olanakları incelenmiştir. Çalışma kapsamında durum incelemeleri için iki ayrı kömür madeni sahası seçilmiştir.



BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ELEKTRİK ÜRETİMİ

2.1 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilen ve tükenmeyen enerji türüdür. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle ve dalga enerjisi gibi çeşitli kaynaklar yenilenebilir enerji üretiminde kullanılabilir. Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara göre daha çevre dostu, daha sürdürülebilir ve daha ekonomiktir. Yenilenebilir enerji, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele etmek için de önemli bir rol oynamaktadır.

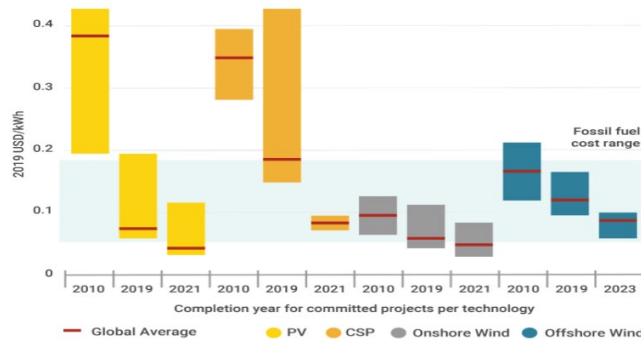
En genel yenilenebilir enerji şekli güneşten gelendir. Rüzgar ısıları farklı olan hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşmakta olup dolaylı olarak güneşe dayalı bir enerji kaynağıdır. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir.

En çok kullanılan enerji çeşidi olan elektrik temel enerji kaynakları arasında bulunan doğal gaz, kömür gibi yenilenemez enerji kaynaklarının yanı sıra hidroelektrik, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan da elde edilen ikincil bir enerji türüdür. Elektrik enerjisi günümüzde ağırlıklı olarak termik santrallerde (kömür, doğal gaz, petrol), hidroelektrik santrallerinde ve nükleer enerji santrallerinde üretilmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarının tükenebilir olması ve çevre kirliliği ile sera gazı emisyonlarına (CO₂) vb. neden olması nedeniyle dünya başta güneş ve rüzgar olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir.[1]

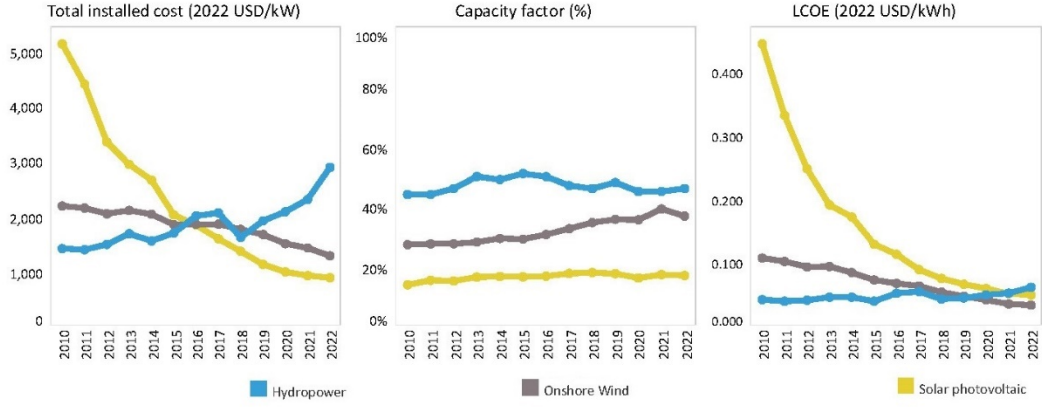
Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim maliyetlerine önemli azalmalar meydana gelmekte olup fosil enerji kaynaklarından (kömür, doğal gaz vb.) üretilen elektrik maliyeti ile rekabet edebilecek seviyelere gelmiştir. Şekil 2.1'de Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency IRENA) tarafından dünyada farklı yıllarda oluşan ihale fiyatları baz alınarak güneş ve rüzgar elektrik üretim fiyatlarının (USD/kWh) dağılımı verilmiştir. Dünya ortalaması ihale neticelenme fiyatları incelendiğinde

özellikle güneş enerjisi teknolojilerine dayalı elektrik üretim tesislerinde 2010-2021 yılları arasında önemli fiyat düşüşü meydana geldiği belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 2.2’de ise hidroelektrik, rüzgar (onshore-karada) ve güneş (PV fotovoltaiik) enerjisi için ortalama tesis kurulum maliyetleri (USD/kW), kapasite faktörleri (%) ve ihale neticelenme fiyatları (USD/kWh) karşılaştırmalı olarak verilmiştir. PV güneş enerjisinde son 10 yılda keskin bir maliyet azalması (kurulum, ihale fiyatı) görülmesine karşın hidroelektrikte bir miktar yükseliş olduğu görülmektedir. Rüzgar enerjisinde ise, güneş enerjisi kadar belirgin olmamakla birlikte, bir miktar azalma olduğu görülmektedir. 2022 yılında oluşan ihale fiyatları (USD/kWh) kıyaslandığında elektrik üretim fiyatlarının birbiriyle ve fosil yakıtlara dayalı elektrik üretimiyle rekabet edebilecek düzeye geldiği anlaşılmaktadır. Bu durumun oluşabilmesi için bu tür elektrik üretim tesislerin (güneş, rüzgar) mutlaka güneş ve/veya rüzgar enerjisi yönünden avantajlı bölgelerde kurulması gerekmektedir. Uygun konumların ön değerlendirilmesinde güneş ve rüzgar enerjisi potansiyel atlasları önemli veriler sağlamaktadır. Tez çalışmasında kömür madeni sahalarında yenilenebilir enerji kullanımı olanaklarının incelenmesinde potansiyel atlaslardan yararlanılmıştır.

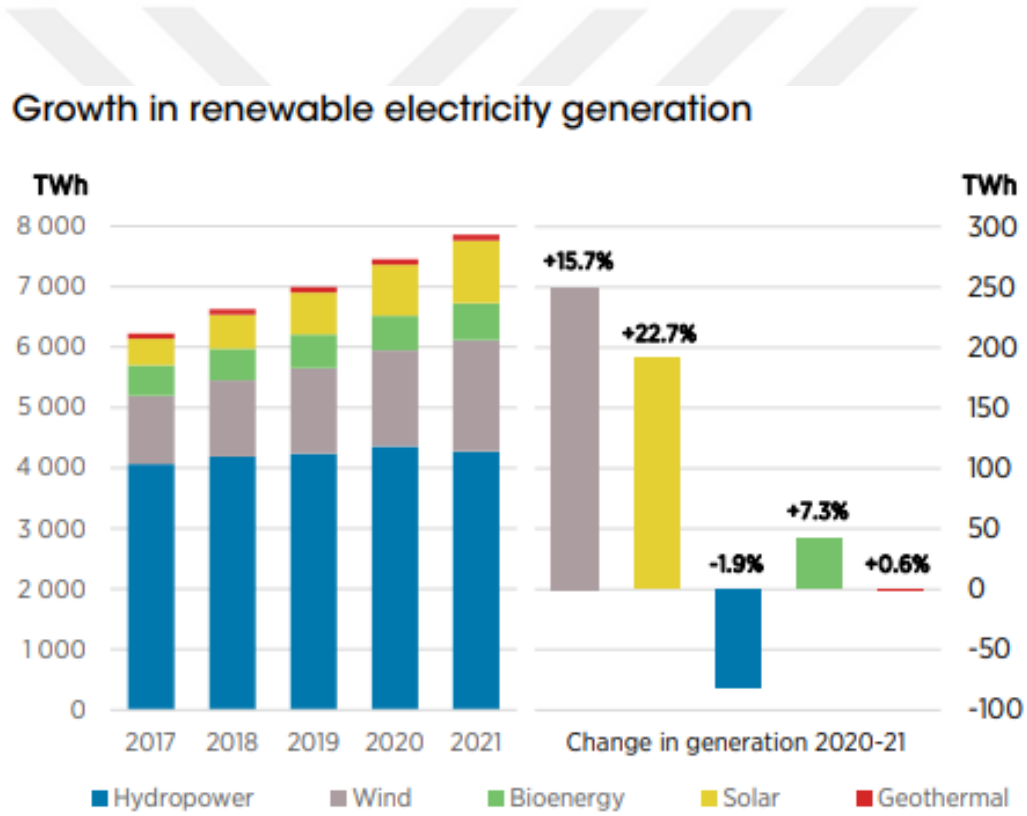
Dünyada yenilenebilir enerjide elektrik üretiminde 2017-2021 dönemi kıyaslandığında hidroelektrik enerji miktar (TWh) olarak ön planda olmasına rağmen en belirgin büyümenin rüzgar ve güneş enerjisine dayalı elektrik üretiminde olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 2.3). Jeotermal enerjinin elektrik üretimindeki payı ise sınırlı olup bu enerji kaynağından daha ziyade ısınma amacıyla yararlanılmaktadır. Tez çalışmasında yenilenebilir enerji kullanımı olanakları ağırlıklı olarak rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeli açısından incelenmiştir. Bu enerji kaynaklarının sürekli olmayan kaynaklar olması nedeniyle enerji depolama konusu da irdelenmiştir.



Şekil 2.1 Dünyada güneş ve rüzgar elektrik üretim fiyatlarının gelişimi ve fosil kaynaklarla karşılaştırılması [2]



Şekil 2.2 Hidroelektrik, karada rüzgar ve fotovoltaik güneş enerji elektrik üretim fiyatlarının yıllar içinde gelişimi [3]



Şekil 2.3 Yenilenebilir enerjiden elektrik üretiminin yıllar içinde gelişimi [2]

2.1.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten gelen ışımanın elektrik veya ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen yenilenebilir bir enerji türüdür. Güneş enerjisi, fosil yakıtlara göre daha çevre dostu, sürdürülebilir ve ekonomiktir. Güneş enerjisi, güneş panelleri, güneş kolektörleri, güneş termal santralleri ve fotovoltaik hücreler gibi farklı teknolojiler kullanılarak üretilir. Güneş

enerjisinin çalışma prensibi şöyledir: Güneş panelleri, güneş ışığını elektrik akımına çeviren ince silikon tabakalardan oluşur. Güneş kolektörleri, güneş ışığını ısı enerjisine dönüştüren metal borulardan veya plakalardan oluşur. Güneş termal santralleri, güneş ışığını yansıtan aynalarla ısıtılan bir akışkanın buhar türbinlerini döndürmesini sağlar. Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik akımına çeviren yarı iletken malzemelerden oluşur. Güneş enerjisi, dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılayabilecek potansiyele sahiptir.



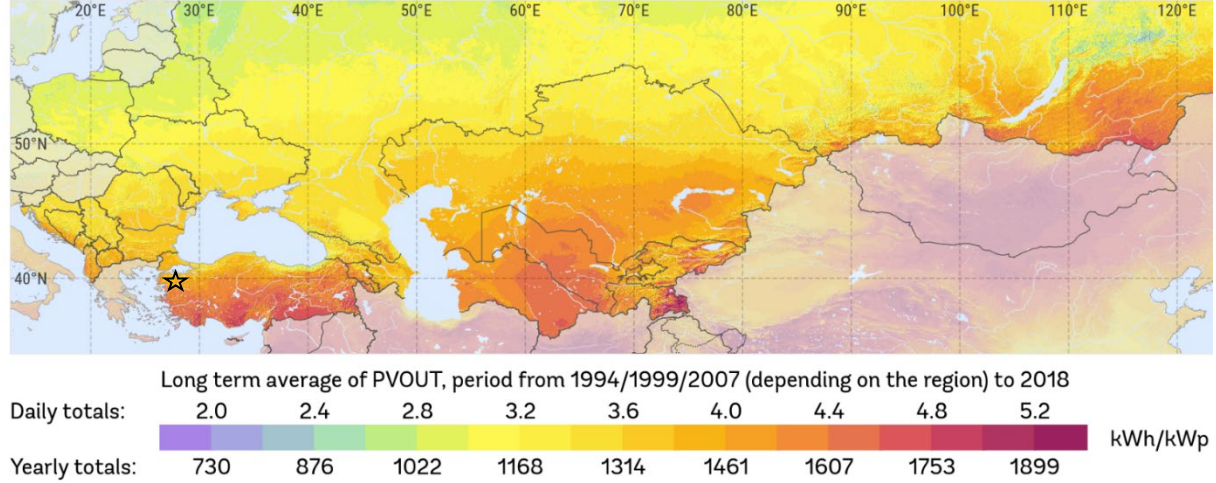
Şekil 2.4 Elektrik Üretiminde Kullanılan Fotovoltaik Güneş Panelleri [4]

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir (Şekil 2.5). Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1.527 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır [5]. Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 8479 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oran da %8,35 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.6). Grafik analiz edildiğinde 2014 yılından itibaren güneş enerjisi kurulu güç değişiminde hızlı ve devam etmekte olan bir artış görülmektedir. Bu artıştan güneş enerjisi elektrik üretim maliyetlerindeki azalmaların ve uygulanan teşvik sistemlerinin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Şekil 2.7’de Türkiye’deki güneş enerji santrallerinin iller bazında güç dağılımı bir harita üzerinde verilmiştir. Tez çalışması kapsamında yenilenebilir enerji açısından incelenen maden sahalarının konumları

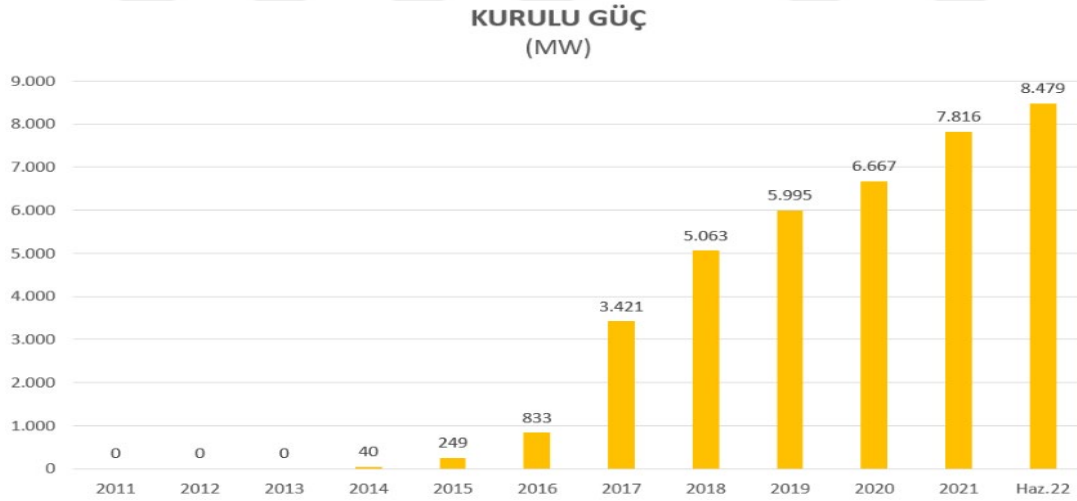
Şekil 2.8’de verilmiştir. Maden sahalarının güneş enerjisi potansiyeli Bölüm 3 ‘de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

SOLAR RESOURCE MAP

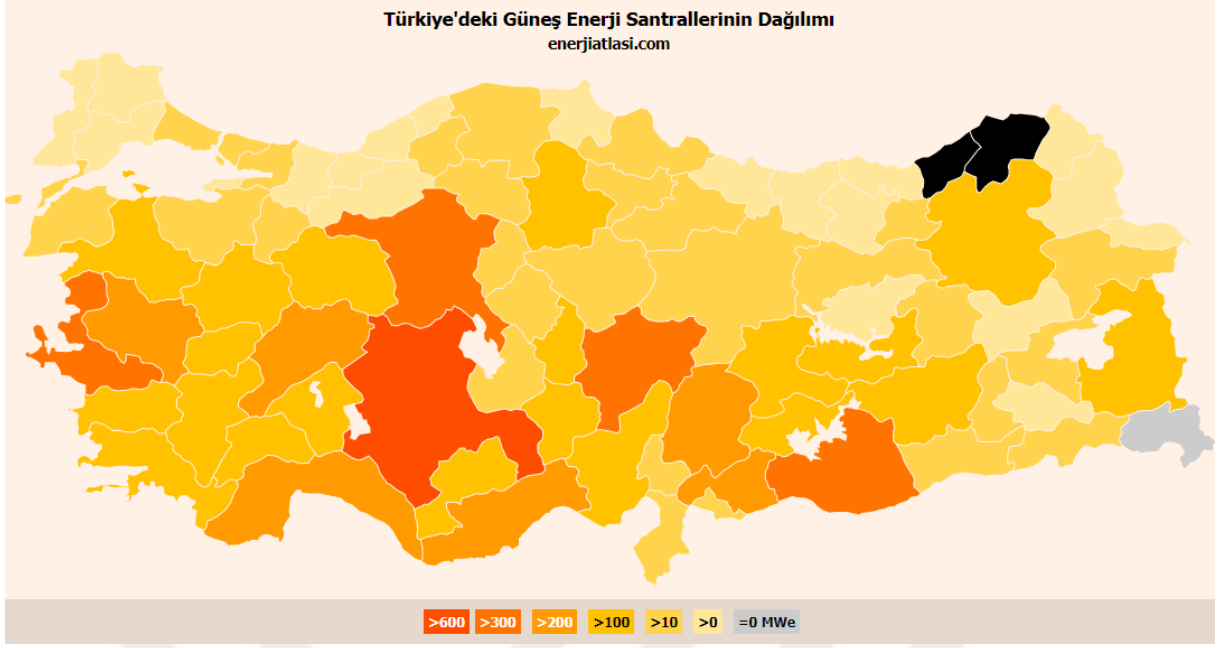
PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL EUROPE AND CENTRAL ASIA



Şekil 2.5 Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli açısından konumu [6]



Şekil 2.6 Ülkemizin yıllara dayalı güneş enerjisi kurulu güç değişimi [7]



Şekil 2.7 Türkiye'deki güneş enerji santrallerinin iller bazında kurulu güç dağılımı [8]

GÜNEŞ KAYNAĞI HARİTASI

FOTOVOLTAİK ENERJİ POTANSİYELİ TÜRKİYE



ESMAP

SOLARGIS



1994 (doğuda 1999) ile 2018 yılları arasındaki dönemde, uzun vadeli ortalama fotovoltaik enerji potansiyeli

Günlük toplamalar: 3.0 3.4 3.8 4.2 4.6 5.0 kWh/kWp

Yıllık toplamalar: 1095 1241 1387 1534 1680 1826 kWh/kWp

Bu harita, ESMAP tarafından finanse edilmiş, Solargis tarafından hazırlanmış ve Dünya Bankası Grubu tarafından yayınlanmıştır.
Daha fazla bilgi ve kullanım koşulları için lütfen <http://globalsolaratlas.info> adresini ziyaret edin.

Şekil 2.8 Türkiye fotovoltaik enerji potansiyeli haritası ve pilot saha konumları [6]

Güneş ve rüzgar gibi süresiz enerji kaynaklarının işletmelerin elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanımının yaygınlaşmasıyla elektrik depolama yapılarının önemi daha da artacaktır. Bu kapsamda kimyasal enerjiyi elektrokimyasal tepkime sonucunda elektrik enerjisine dönüştüren pillerin önemi artacaktır. Önceden sadece küçük ölçekli elektrik depolama işlevini sağlayan piller gelişen teknolojiler ve maliyelerin azalması ile birlikte MW düzeyinde şebeke ölçekli pil depolama sistemleri geliştirilmektedir. Özellikle elektrikli otomobillerin yaygınlaşması ile birlikte işletmeler için de pilli elektrik depolama uygulamalarının yaygınlaşması ön görülmektedir. Pompaj depolamalı hidroelektrik en yaygın kullanılan depolama teknolojisi olmasına karşın piller şebeke ölçekli depolama türü ve pazarı açısından son yıllarda güçlü bir büyüme göstermektedir [9].

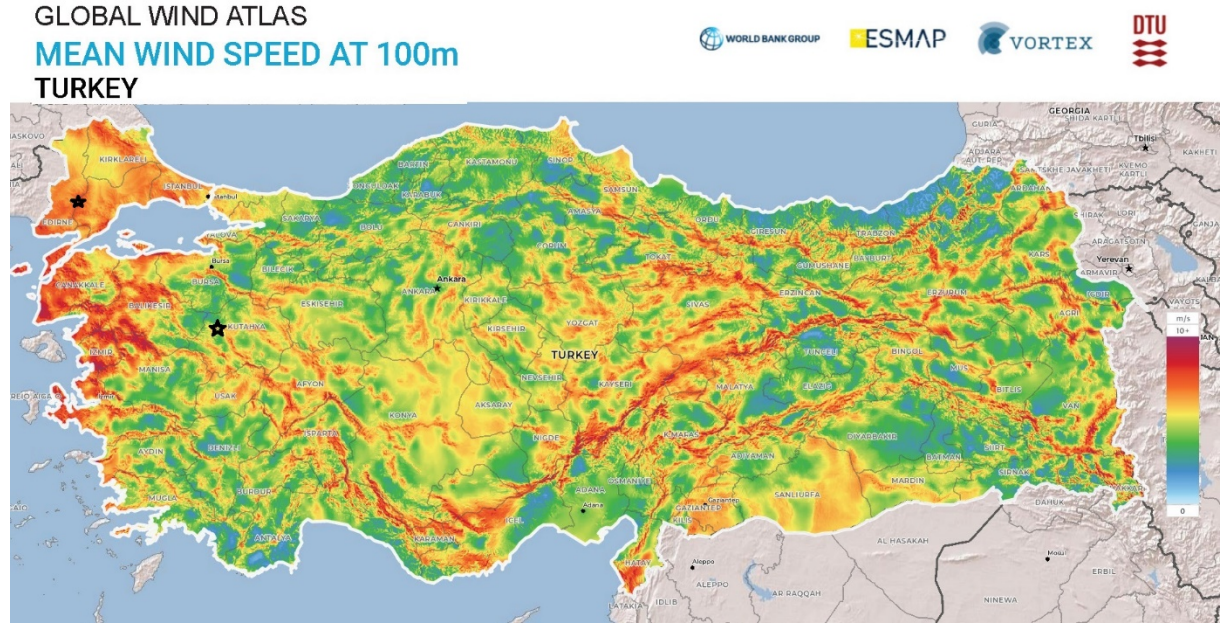
2.1.2 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine veya mekanik enerjiye dönüştüren bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi kullanımı çok eski bir tarihe dayanmaktadır. İlk olarak M.Ö. 500 yıllarında Persler, rüzgar gücünü sulama için kullanmışlardır. Daha sonra Çin, Hindistan, Yunanistan ve Roma gibi uygarlıklar da rüzgar enerjisinden faydalanmışlardır. Rüzgar enerjisinin modern anlamda kullanımı ise 19. yüzyılda başlamıştır. İlk rüzgar türbini 1887 yılında İskoçyalı mühendis James Blyth tarafından yapılmıştır. 20. yüzyılda rüzgar enerjisi, özellikle petrol krizleri sonrasında alternatif bir enerji kaynağı olarak önem kazanmıştır. Günümüzde rüzgar enerjisi, küresel elektrik üretiminin yaklaşık %5'ini sağlamaktadır. Rüzgar enerjisinin avantajları arasında çevre dostu, sınırsız ve ucuz olması sayılabilir. Dezavantajları ise rüzgarın sürekliliğinin olmaması, bazı bölgelerde estetik ve gürültü sorunları yaratması ve kuşlara zarar vermesi olarak sıralanabilir.



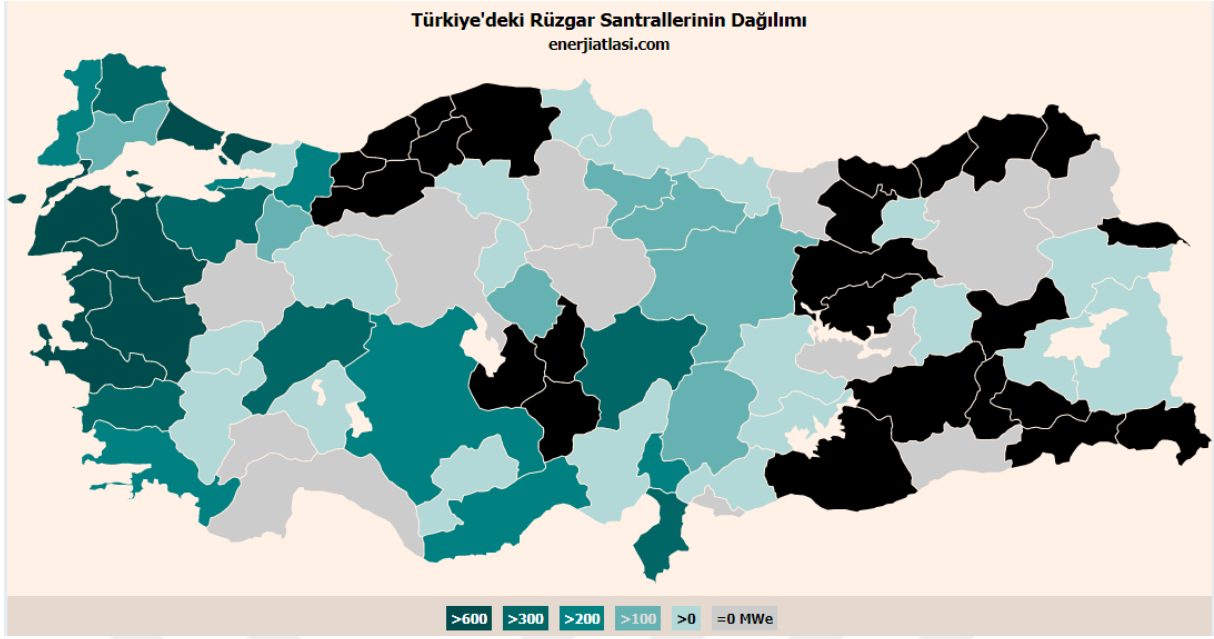
Şekil 2.9 Marmara adasında RES

Ülkemizde bölgesel ve yerel bazda rüzgar enerji potansiyeli yüksek olan alanlar mevcuttur. Şekil 2.10 da Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlasında 100 m yükseklikte ortalama rüzgar hızları baz alındığında özellikle Ege ve Marmara bölgelerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Harita üzerinde tez çalışması kapsamında yenilenebilir enerji açısından incelenen maden sahalarının konumları da verilmiştir. Rüzgar enerjisinde potansiyel ve veriminin yerel konuma göre oldukça değişkenlik gösterebilmesi nedeniyle özellikle yerel ölçüm istasyonlarına ait verilerin yatırım kararı almadan önce analiz edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.11’de Türkiye’deki rüzgar santrallerinin iller bazında kurulu güç dağılımı harita üzerinde verilmiştir.

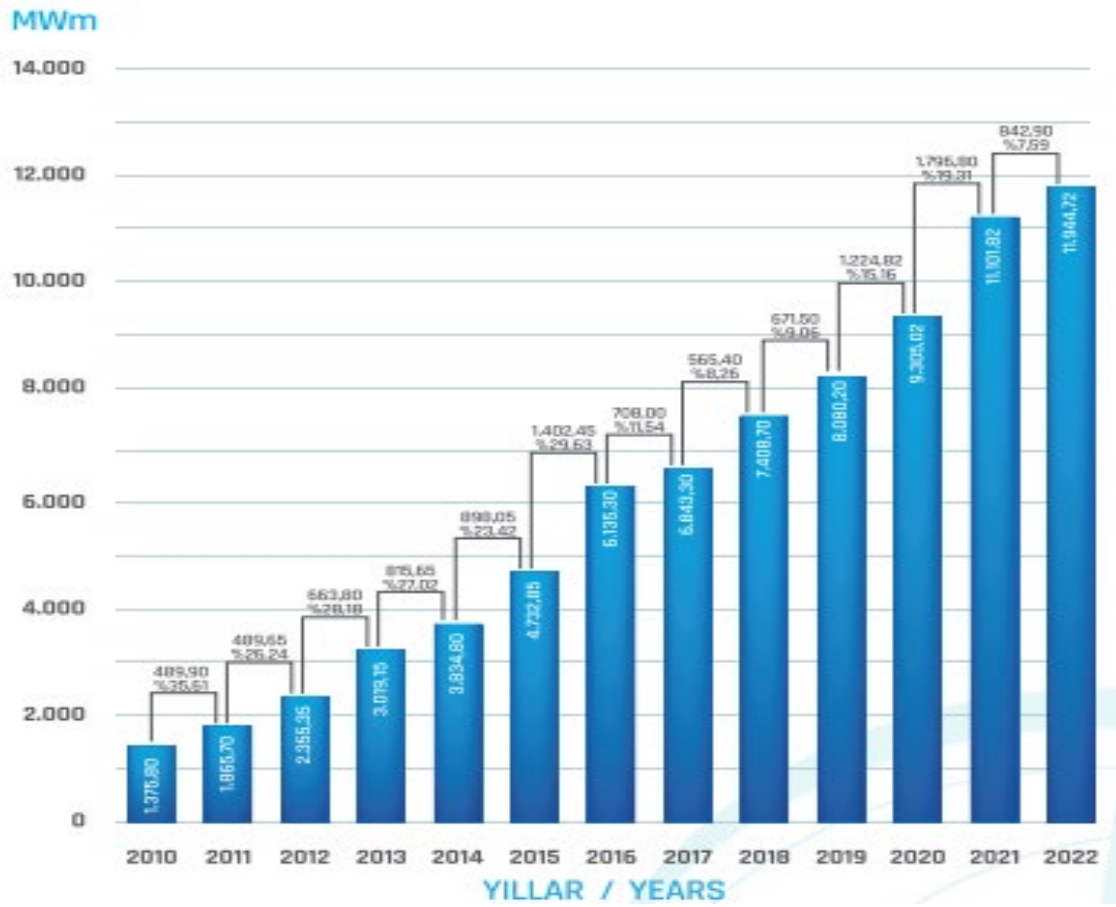


Şekil 2.10 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası ve incelenen saha konumları [10]

Ülkemizde yıllar bazında rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç değişimi Şekil 2.12 de verilmiştir. 2022 sonu itibariyle rüzgar enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz yaklaşık 12 GW olarak gerçekleşmiştir. 2010 yılından sonra rüzgar enerjisi kurulu gücünde istikrarlı yükseliş devam etmektedir.



Şekil 2.11 Türkiye'deki rüzgar santrallerinin iller bazında kurulu güç dağılımı [11]

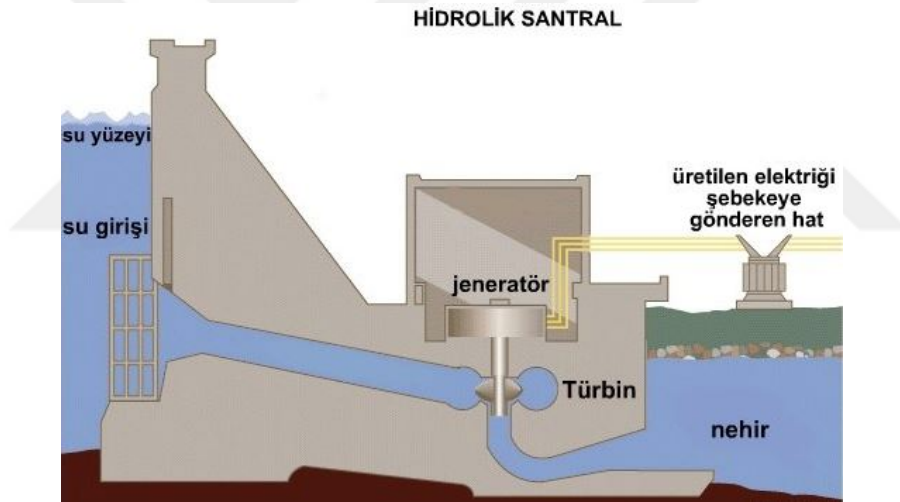


Şekil 2.12 Türkiye’de yıllar bazında rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç değişimi

2.1.3 Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları

2.1.3.1 Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerjisi, suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir enerji türüdür. Hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir, temiz ve ucuz bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Hidroelektrik enerjisi üretmek için genellikle Şekil 2.14 de şematik gösterilen barajlar, akarsu santralleri ve pompaj depolama santralleri gibi çeşitli yapılar kullanılır. Hidroelektrik enerjisinin kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. İlk hidroelektrik santrali 1878 yılında İngiltere'de kurulmuştur. 1882 yılında ise ABD'de Appleton şehrindeki bir kağıt fabrikası hidroelektrik enerjisi ile çalışmaya başlamıştır. 20. yüzyılda hidroelektrik enerjisi üretimi hızla artmış ve dünyanın pek çok ülkesinde yaygınlaşmıştır. Bugün Şekil 2.13 de akım şeması görülen hidroelektrik enerjisi, dünya elektrik üretiminin yaklaşık %16'sını karşılamaktadır.



Şekil 2.13 Hidroelektrik santrali akım şeması [12]

2.1.3.2 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yerin içindeki ısı enerjisidir. Jeotermal enerji, yer kabuğunun altındaki magma, sıcak su ve buhar kaynaklarından elde edilir. Jeotermal enerji çeşitleri, kaynakların sıcaklığına ve kullanım şekline göre değişir. Jeotermal enerji çeşitleri şunlardır:

Elektrik üretimi: Yüksek sıcaklıklı (150°C ve üzeri) jeotermal kaynaklar, buhar türbinlerini çalıştırmak için kullanılır. Böylece elektrik enerjisi üretilir. Bu yöntem, jeotermal enerjinin en yaygın kullanım şeklidir.

Isıtma ve soğutma: Orta sıcaklıklı (50°C ile 150°C arasında) jeotermal kaynaklar, binaları ısıtmak veya soğutmak için kullanılır. Bu yöntemde, jeotermal su veya buhar, ısı pompaları veya ısı değıştircileri aracılığıyla binalara taşınır.

Endüstriyel ve tarımsal uygulamalar: Düşük sıcaklıklı (50°C'nin altında) jeotermal kaynaklar, endüstriyel ve tarımsal uygulamalar için kullanılır. Bu yöntemde, jeotermal su veya buhar, seraların ısıtılması, balık yetiştiriciliğı, kurutma, kağıt üretimi gibi işlemlerde kullanılır.

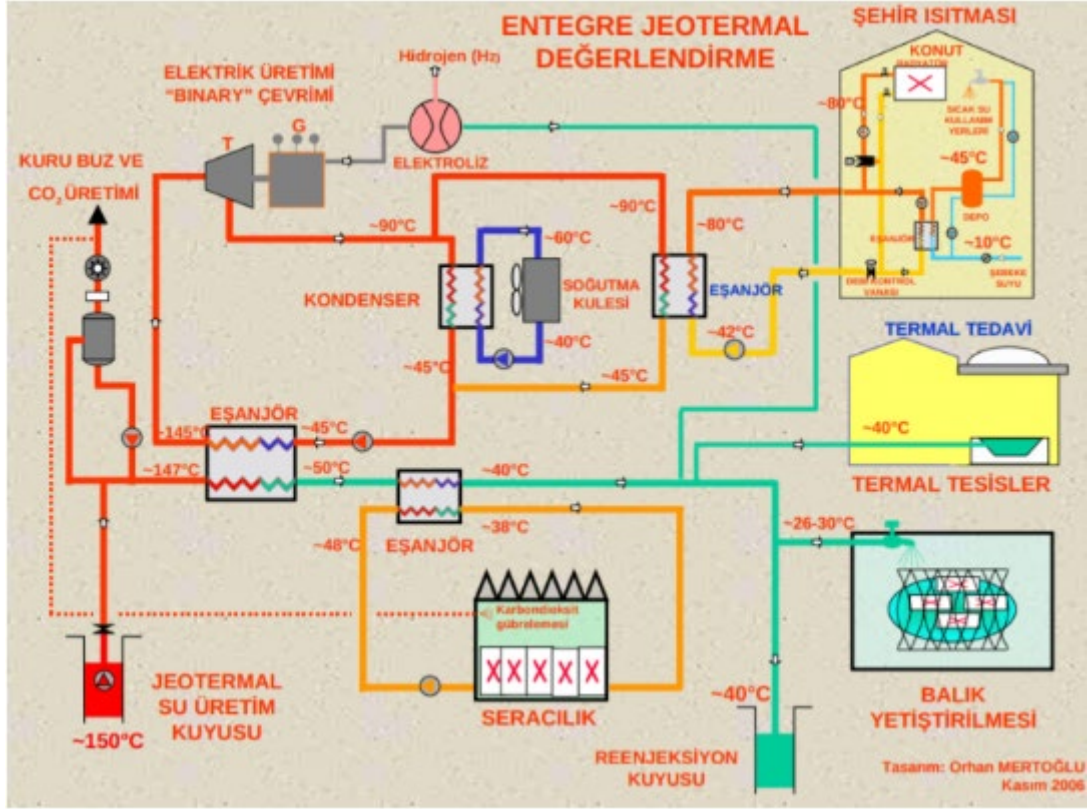
Jeotermal enerjinin kullanımının yaygınlaşma tarihçesi şöyledir:

İlk jeotermal enerji kullanımı, M.Ö. 10.000 yılında Kuzey Amerika'da yerli halklar tarafından gerçekleştirilmiştir. Yerli halklar, jeotermal suyu banyo yapmak, yemek pişirmek ve şifa bulmak için kullanmışlardır.

İlk jeotermal elektrik santrali, 1904 yılında İtalya'da Larderello'da kurulmuştur. Bu santral, 250 kW'lık bir kapasiteye sahiptir ve bugün hala faaliyettedir. İlk jeotermal ısıtma sistemi, 1930 yılında ABD'de Boise'de kurulmuştur. Bu sistem, yaklaşık 200 binayı jeotermal su ile ısıtmaktadır.

İlk jeotermal soğutma sistemi, 1946 yılında ABD'de Oregon'da kurulmuştur. Bu sistem, bir hastaneyi jeotermal su ile soğutmaktadır.

İlk jeotermal endüstriyel uygulaması, 1960 yılında Yeni Zelanda'da gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamada, jeotermal buhar, kağıt fabrikasında kurutma işleminde kullanılmıştır.



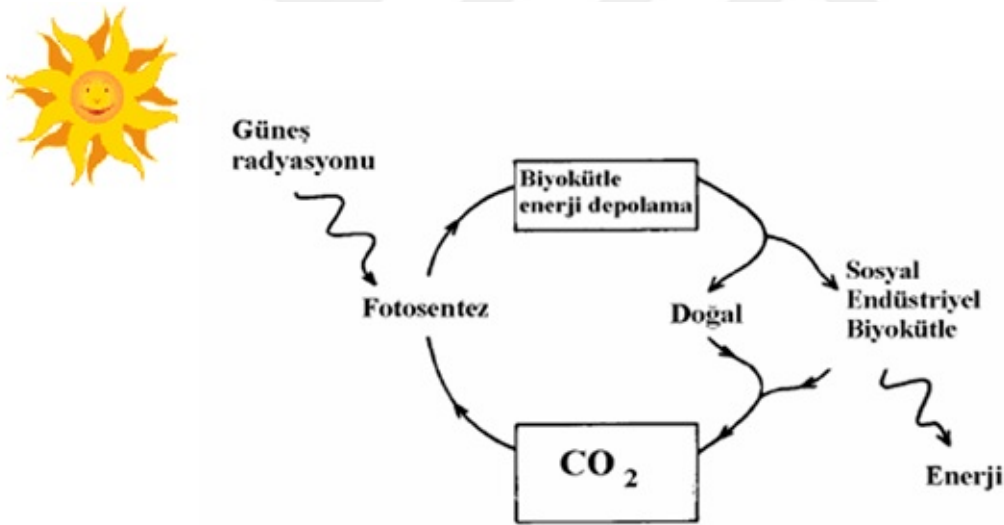
Şekil 2.14 Jeotermal Enerjinin kullanım alanları



Şekil 2.15 Türkiye jeotermal kaynaklar dağılımı ve uygulama haritası [13]

2.1.3.3 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerji, bitkilerin, hayvanların veya mikroorganizmaların organik maddelerinden elde edilen enerjidir. Biyokütle enerji çeşitleri arasında biyogaz, biyoyakıt, biyokütle gazlaştırma ve biyokütle yakma sayılabilir. Biyogaz, hayvan gübresi, evsel atık, tarımsal atık gibi organik maddelerin oksijensiz ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanması sonucu oluşan yanıcı bir gazdır. Biyogaz, ısıtma, elektrik üretimi ve araç yakıtı olarak kullanılabilir. Biyogazın kullanımı hem atıkların değerlendirilmesini hem de sera gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlar. Biyokütle enerji kullanımı çok eski bir tarihe dayanmaktadır. İnsanlar ilk ateşi yakarak biyokütle enerjisi kullandılar. Daha sonra odun, kömür, bitkisel yağlar gibi biyokütle kaynaklarından yararlanarak ısıtma, aydınlatma ve taşımacılık gibi ihtiyaçlarını karşıladılar. Biyokütle enerjisi, fosil yakıtların yaygınlaşmasıyla bir süre geri planda kaldı ancak son yıllarda yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak tekrar önem kazandı. Şekil 2.16'da biyokütlenin oluşum süreci şematik olarak verilmiştir.

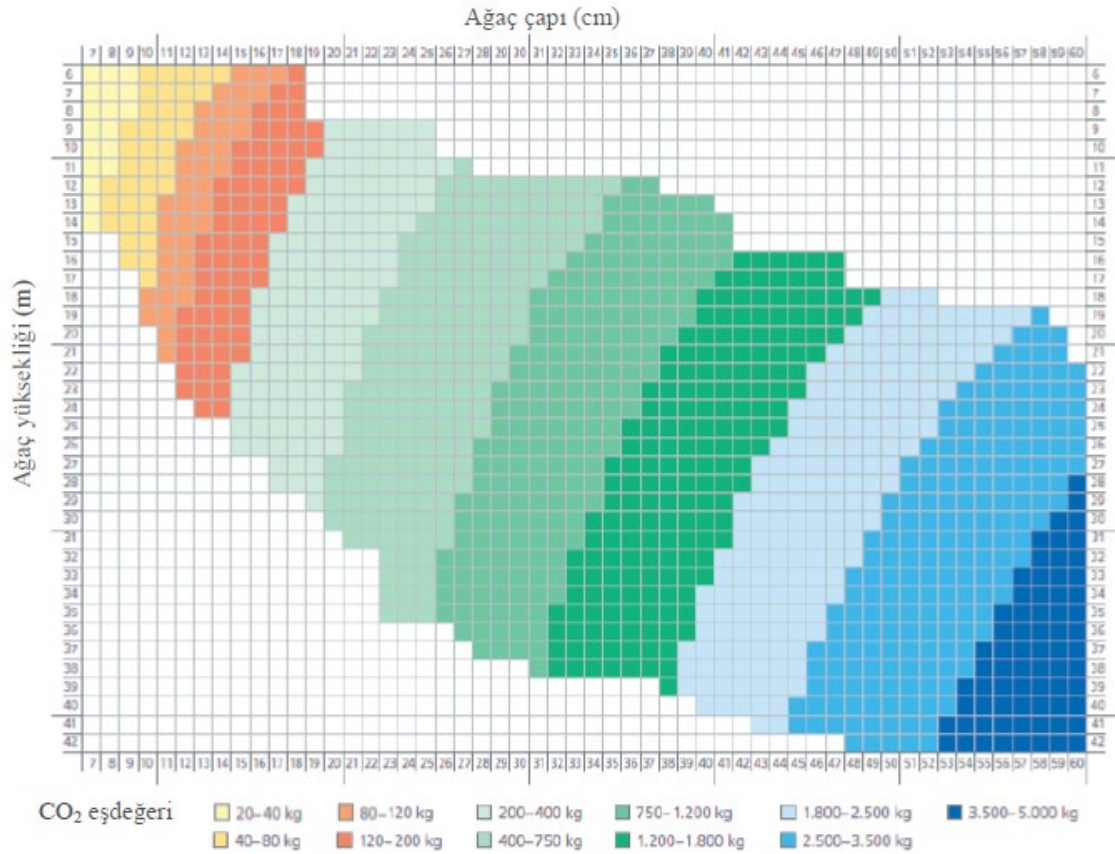


Şekil 2.16 Biyokütlenin oluşum süreci

Ağaçlar, büyümeleri nedeniyle sera gazı CO₂'yi atmosferden fotosentez yöntemiyle biokütlerde karbon olarak bünyesine alıp iklimin korunmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Fotosentez neticesinde atmosfere de oksijen (O₂) sağlanmaktadır. Kayın, meşe, ladin ve çam gibi ağaç türlerinin ne kadar karbon depoladığı basit katsayılar ve abaklar aracılığıyla kabaca tahmin edilebilmektedir. Tahmin yönteminde ana unsurlar ağaç türü, ağaç yüksekliği ve ağacın yaklaşık 1,3 m yüksekliğindeki çapıdır. Ağacın yüksekliği ağacın yaşı ile ilişkilidir. Ağaçlar

bünyesinde karbon (C) almakta olup eşdeğer CO₂ karşılığı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir. Şekil 2.17’de çam ağacı için karbon miktarı ve CO₂ depolama tahmin abağı verilmiştir. Örneğin 25 m yükseklik ve 45 cm çapa sahip bir çam ağacı yaklaşık 1800 kg eşdeğer CO₂ gazını karbona dönüştürebilme potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 2.17)

$$\text{CO}_2 = 3,67 \text{ C}$$



Şekil 2.17 Çam ağacı için karbon miktarı ve CO₂ depolama tahmin abağı [14]

2.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ

2.2.1 Türkiye’de Elektrik Üretimi

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2022 yılında bir önceki yıla göre %1,2 oranında azalarak 328,9 TWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2,5 azalarak 326,2 TWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışmasının sonuçlarına göre elektrik tüketiminin 2025 yılında 380,2 TWh, 2030 yılında 455,3 TWh, 2035 yılında ise 510,5 TWh seviyesine

ulaşması beklenmektedir. 2022 yılında elektrik üretimimizin %34,6'sı kömürden, %22,2'si doğal gazdan, %20,6'sı hidrolik enerjiden, %10,8'i rüzgardan, %4,7'si güneşten, %3,3'ü jeotermal enerjiden ve %3,7'si diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2023 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 104.672 MW'a ulaşmıştır. 2023 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; %30,2'si hidrolik enerji, %24,2'ü doğal gaz, %20,8'i kömür, %11'i rüzgâr, %9,6'i güneş, %1,6'sı jeotermal ve %2,5'i ise diğer kaynaklar şeklindedir. Ayrıca ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2023 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla 12.057'e (Lisanssız santraller dâhil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 751 adedi hidroelektrik, 67 adedi kömür, 361 adedi rüzgâr, 63 adedi jeotermal, 346 adedi doğal gaz, 9.979 adedi güneş, 490 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir [15].

2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Elektrik Üretimi Mevzuatı

2.2.2.1 Lisanslı üretim

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile piyasada elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan veya perakende satışı, elektrik ithalat ve ihracatı ve piyasa işletim faaliyetleri için lisans alınması zorunlu kılınmıştır. Bu kapsamda piyasada faaliyet göstermek isteyen ve kurulu gücü 5 MW'tan büyük olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim santralleri için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumun (EPDK)'dan üretim lisansı alınmak zorundadır. Çizelge 2.1'de ülkemizde lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.1 2023 Yılı Ocak ayı sonu itibariyle lisanslı elektrik kurulu gücünün kaynak bazında dağılımı ve 2020 yılı Ocak ayı değeriyle karşılaştırılması (MW-%) [16]

KAYNAK TÜRÜ	2020 OCAK		2023 OCAK		DEĞİŞİM (%)
	KURULU GÜÇ (MW)	ORAN (%)	KURULU GÜÇ (MW)	ORAN (%)	
DOĞAL GAZ	26,828.67	31.56	25,252.34	26.52	-5.88
BARAJLI HİDROLİK	20,645.69	24.29	23,275.23	24.44	12.74
RÜZGÂR	7,538.51	8.87	11,316.59	11.88	50.12
İTHAL KÖMÜR	8,821.85	10.38	10,373.80	10.89	17.59
LİNYİT	9,935.03	11.69	10,191.52	10.70	2.58
AKARSU	7,853.72	9.24	8,279.83	8.70	5.43
BİYOKÜTLE	729.42	0.86	1,867.53	1.96	156.03
JEOTERMAL	1,514.69	1.78	1,691.34	1.78	11.66
GÜNEŞ	174.72	0.21	1,468.80	1.54	740.66
TAŞ KÖMÜRÜ	377.50	0.44	840.77	0.88	122.72
ASFALTİT	405.00	0.48	405.00	0.43	0.00
FUEL OİL	165.49	0.19	251.93	0.26	52.23
NAFTA	4.74	0.01	4.74	-	0.00
LNG	1.95	-	1.95	-	0.00
MOTORİN	1.04	-	1.04	-	0.00
TOPLAM	84,998.02	100.00	95,222.41	100.00	12.03

Çizelge 2.1'e bakıldığında lisanslı kurulu güç, son üç yılda %12.03 artış göstermiştir. Bunlara kaynak bazlı bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarında ki artış diğer kaynak türlerine göre daha fazladır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisinde ki oranı 2020 yılında %45.25 iken 2023 yılı başında %50.30 e yükselmiştir. Bunların içinde de en fazla artış olan % 740.66 ile güneş enerji santralidir. Gelişen teknoloji ve buna bağlı azalan ilk yatırım maliyetleri ile devletin verdiği teşvik uygulamaları sayesinde yenilenebilir enerji sektöründe başta güneş olmak üzere tüm kaynaklara yatırımlar artmış ve toplam kurulu güç içerisinde sürekli artış göstermiştir. Çizelge 2.2'de ülkemizde lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı verilmiştir.

Çizelge 2.2 Ocak 2023 döneminde lisanslı elektrik üretiminin kaynak bazında dağılımı ve 2020 yılı Ocak ayı değeriyle karşılaştırılması (MWh %) [16]

KAYNAK TÜRÜ	2020 OCAK		2023 OCAK		DEĞİŞİM (%)
	ÜRETİM (MWh)	ORAN (%)	ÜRETİM (MWh)	ORAN (%)	
DOĞAL GAZ	7,469,284.75	28.17	7,116,468.83	27.19	-4.72
İTHAL KÖMÜR	6,263,862.24	23.63	7,033,772.11	26.87	12.29
LİNYİT	3,174,117.52	11.97	3,923,513.38	14.99	23.61
HİDROLİK	5,485,376.54	20.69	2,962,217.90	11.32	-46.00
RÜZGAR	2,383,883.22	8.99	2,700,211.57	10.32	13.27
JEOTERMAL	900,018.95	3.39	1,008,949.51	3.85	12.10
BİYOKÜTLE	403,915.20	1.52	825,041.12	3.15	104.26
TAŞ KÖMÜRÜ	177,644.37	0.67	232,488.18	0.89	30.87
GÜNEŞ	15,751.00	0.06	201,846.44	0.77	1181.48
ASFALTİT	211,942.44	0.80	120,118.83	0.46	-43.32
FUEL OİL	27,663.10	0.10	51,618.10	0.20	86.60
Genel Toplam	26,513,459.33	100.00	26,176,245.97	100.00	-1.27

Çizelge 2.2 incelendiğinde 2020-2023 yılları arasında elektrik üretimi olarak %1.27 düşüş olmuş, fakat özellikle güneş enerjisinden elektrik üretim oranı % 1181.48 artış göstermiş, ayrıca diğer lisanslı yenilenebilir enerji kaynaklarının üretime katkısı da hidrolik hariç artış göstermiştir.

2.2.2.2 Lisanssız üretim

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile düzenlenen faaliyet türünde elektrik enerjisi üretebilecek, gerçek veya tüzel kişilerin lisans almadan ve şirket kurmadan elektrik üretim faaliyeti yapmaları sağlanmıştır. Bu model ile elektrik piyasasında, tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarını tüketim noktasına en yakın kendi üretim tesisinden karşılaması (öz tüketim modeli), arz güvenliğinin sağlanmasında küçük ölçekli üretim tesislerinin de ülkemiz ekonomisine kazandırılması ve dağıtık üretim yöntemi ile elektrik şebekesinde iletim/dağıtım maliyetleri ile kayıp miktarlarının düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Enerji mevzuatında yapılan önemli değişiklikler ile yenilenebilir enerjinin kullanımını teşvik edici düzenlemeler yapılmıştır. Bu kapsamda madencilik faaliyetinde bulunanların ihtiyaç duydukları elektrik enerjisi tüketimini karşılamaları amacıyla maden sahalarında lisanssız elektrik üretim tesisleri kurabilme imkanı getirilmiştir. Ayrıca pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerine YEKDEM ve yerli katkı fiyat desteğinden yararlanma imkanı getirilmiştir.

Çizelge 2.3’de ülkemizde lisanssız elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı verilmiştir. Lisanssız elektrik kurulu gücünde ve elektrik üretiminde %90 üzerinde bir payla güneş enerjisi ön plana çıkmaktadır.

Çizelge2.3 2023 Yılı Ocak Ayı Sonu İtibariyle Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı ve 2021 Yılı Ocak Ayı Sonu ile Kıyası [16]

Kaynak Türü	2021		2023		DEĞİŞİM
	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)	%
Güneş	6359.91	91.81	8127.48	92.20	27.79
Doğal gaz	403.22	5.82	492.96	5.59	22.26
Biyokütle	84.51	1.22	89.91	1.02	6.39
Rüzgâr	70.83	1.02	88.38	1.00	24.78
Hidrolik	8.65	0.12	16.42	0.19	89.83
Genel Toplam	6927.12	100.00	8815.15	100.00	27.26

Çizelge 2.3 verilerine göre lisanssız yenilenebilir enerji kurulu gücü 2021-2023 yılları arasında %27.26 artış göstermiştir. Kaynaklar arasında en fazla artış %89.83 ile hidrolik enerji santrallerinde olmuş, bunu %27.79 ile güneş takip etmiştir. Yönetmeliklerde yapılan değişiklikler ile yatırımcılara sağlanan teşvik ve kolaylıklar lisanslı santrallerde olduğu gibi lisanssız santrallerde de kurulu gücün artışında etkili olmuştur.

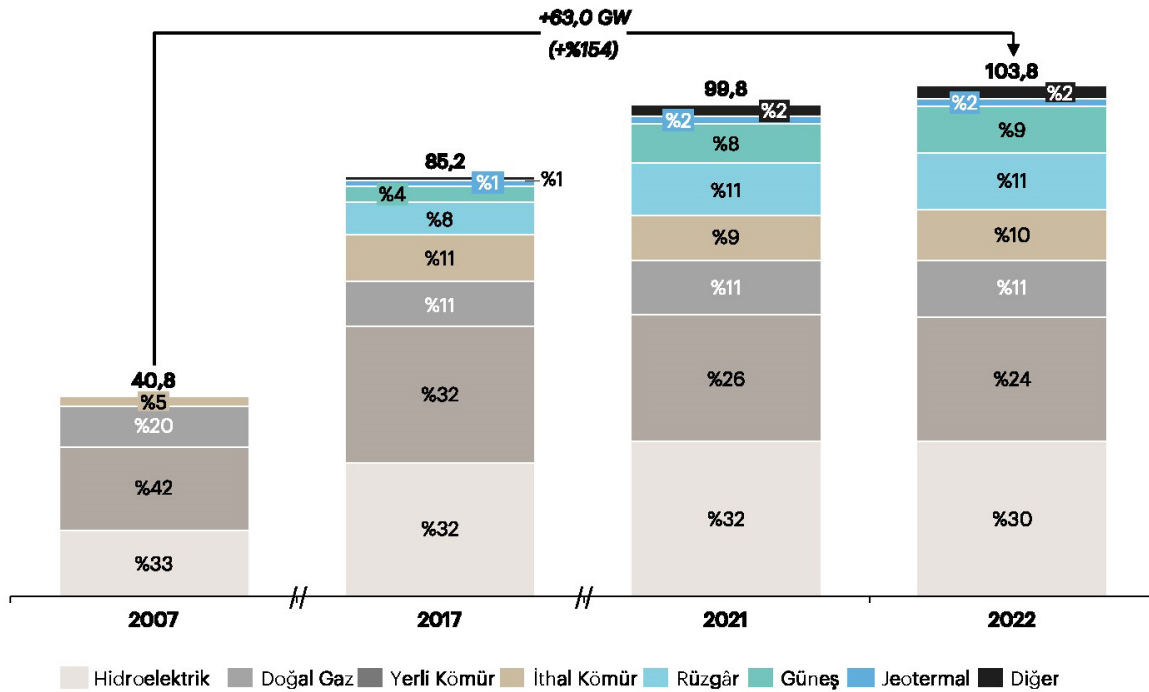
Çizelge 2.4 Ocak 2023 döneminde lisanssız elektrik üretimi ve ocak 2021 dönemi lisanssız elektrik üretimi kıyası [16]

Kaynak Türü	2021		2023		Değişim
	İhtiyaç Fazlası Satın Alınan Enerji Miktarı	Oran	İhtiyaç Fazlası Satın Alınan Enerji Miktarı	Oran	
	(MWh)	(%)	(MWh)	(%)	
Güneş	495,628.02	93.22	624,450.29	96.95	25.99
Biyokütle	22,137.21	4.16	8,143.36	1.26	-63.21
Rüzgâr	12,579.70	2.37	10,146.63	1.58	-19.34
Hidrolik	1,351.65	0.25	1,336.37	0.21	-1.13
Genel Toplam	531,696.58	100.00	644,076.65	100.00	21.14

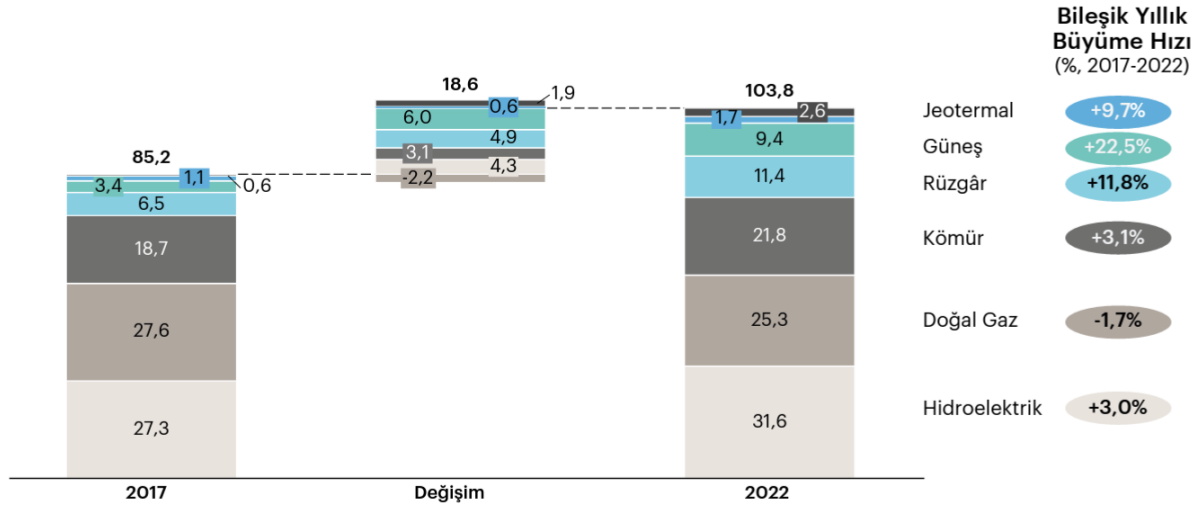
Çizelge 2.4 verilerine bakıldığında güneş enerjisinin kurulu güç ve üretimde artışların olduğu; hidrolik, biyokütle ve rüzgar enerjisi kurulu güçlerinde artış olmasına karşın üretim olarak hepsinde düşüşler olduğu görülüyor. Üretimde düşüşler olmasının birçok nedeni olabilir, fakat burada lisanssız güneş enerji santrallerinde kapasite ve üretimin artmasının en önemli nedenleri ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması ve devletin verdiği teşvikler olarak öne çıkmaktadır.

2.3 GENEL DEĞERLENDİRMELER

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de gelişen sanayi ve teknolojiye paralel olarak artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için farklı enerji kaynaklarına yatırım yapmıştır. Fakat dünyamızda hava kirliliğinin çok arttığı ve önlem alınmazsa yaşamı tehdit edeceğinden ve fosil yakıtlardan elde edilen elektrik enerjisi üretim esnasında hava kirliliğine neden olduğu için daha çevreci çözümler ön plana çıkmıştır. Gelişen teknoloji ile özellikle güneş ve rüzgar enerji santralleri kurmak daha ekonomik hale gelmiştir ve ülkemizde de yatırımlar artmıştır. Buna ek olarak mevcut kömür termik santrallerinin bacalarına yapılan filtre sistemleri ile havaya zararlı gaz salınımının önüne geçilmiştir.



Şekil 2.18 Türkiye 2007-2022 kurulu güç gelişimi [17]



Şekil 2.19 Türkiye 2017-2022 kurulu güç kapasitesi ve değişimi [17]

BÖLÜM 3

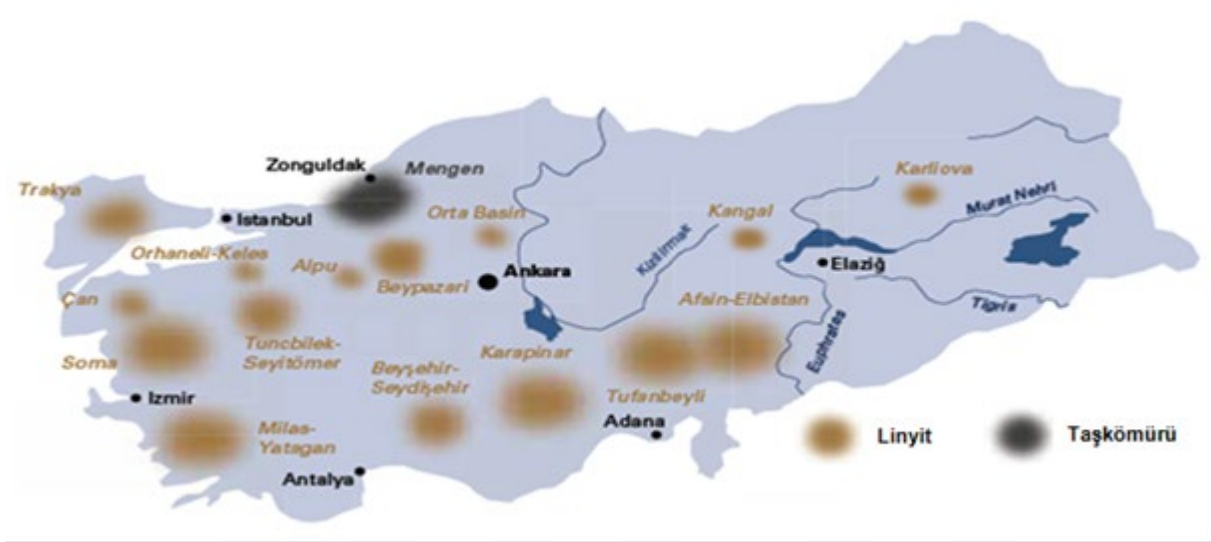
KÖMÜR MADEN SAHALARINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI VE KARBON DEPOLAMA OLANAKLARININ İNCELENMESİ

3.1 GENEL BİLGİLER

Ülkemizde birçok bölgede linyit kömür yatakları ve madenleri olmasına karşın, taşkömürü rezervi ve üretimi sadece Zonguldak Taşkömürü Havzasında gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.1). Linyit kömürü üretimleri, özellikle Ege, Trakya ve İç Anadolu Bölgeleri'nde yoğunlaşmıştır. Ülkemiz linyit üretiminin önemli bir kısmı yakın zamana kadar kamu kuruluşu olan TKİ ve EÜAŞ tarafından kendi makine parkları ya da dışarıdan hizmet alma yoluyla gerçekleştirilmekteydi. Bununla beraber, özellikle son yıllarda kömüre dayalı termik santrallerin kömür sahalarıyla birlikte özelleştirilmesi ve bazı sahaların bölünerek ruhsat devri süreci hız kazanmış ve böylelikle özel sektörün üretimdeki payı da artmaya başlamıştır. 2019 yılı itibarıyla ülkemizde linyit, taşkömürü ve asfaltit ruhsatlarına sahip 443 adet işletme bulunmaktadır. Bunların 11 adedi kamu, 432 adedi ise özel sektörün elinde bulunmaktadır [18]. Söz konusu ruhsatların yarısı toplam 7 ilde bulunmaktadır: Edirne (50 ruhsat), Tekirdağ (45 ruhsat), İstanbul (32 ruhsat), Kütahya (33 ruhsat), Manisa (23 ruhsat), Denizli (18 ruhsat) ve Şırnak (20 ruhsat). Ayrıca; Balıkesir'de 17, Muğla'da 14, Çanakkale'de 12, Çankırı'da 12 ve Çorum'da 13 kömürlü saha ruhsatı mevcuttur [19].

Şu anda dünya enerji gereksinimi büyük oranda fosil (kömür, doğal gaz vb.) kaynaklardan karşılanmaktadır. Arz güvenilirliği için sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulması ve enerji kaynaklarında dışa bağımlılığın azaltılması gerekmektedir. Ülkemiz enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında yerli kömür ve yenilenebilir enerji (hidro, güneş, rüzgar, jeotermal) kaynaklarımızın değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sektörde linyit kömürü, açık işletmecilik ve yeraltı işletmeciliği olmak üzere iki temel yöntemle üretilmektedir. Yüzeye yakın kömür oluşumları ekonomik nedenlerle açık işletmecilik yöntemi ile üretilmekte, derin kömür damarları ise yeraltı işletmeciliği yöntemi ile çıkartılmaktadır. Açık işletme kömür sahalarında, dekapaj ve üretim çalışmaları nedeniyle bozulan doğal yapının korunması, topoğrafyanın düzenlenmesi ve bozulan çevrenin eski haline getirilmesi amacıyla ağaç dikimi ile orman ve arazi düzenlemesi yapılabilmektedir.



Şekil 3.1 Türkiye kömür havzaları [20]

Tez çalışması kapsamında Kütahya Tuncbilek kömür sahaları ile Trakya kömür sahaları incelenip, yenilenebilir enerji kullanımı ve karbon depolama olanakları araştırılmıştır.

Üretimi sona eren açık işletme kömür sahalarında madencilik sonrası alternatif kullanım olanakları değerlendirilebilmek için tez çalışması kapsamında Almanya’da 2030 yılına kadar üretim sona erme kararı alınan açık işletme kömür madenlerinde üretim sonrası madencilik sahalarının kullanım uygulamaları ve planlamaları incelenmiştir. Şekil 3.2 de üretim faaliyetleri devam etmekte olan Garzweiler açık işletme kömür madenine ait saha görünümü verilmiştir.



Şekil 3.2 Garzweiler açık işletme kömür sahası ve çevresinde rüzgar türbinleri [21]

Geçmişte madencilik sonrasında açık işletme çukurları doldurularak ağırlıklı olarak tarım veya orman alanı olarak değerlendirilmekteydi. Günümüzde ise bu değerlendirmelerin dışında ağaçlandırma faaliyeti ile karbon depolama potansiyeli, açık işletme çukurlarının su ile doldurularak büyük gölet alanlarının oluşturulması amaçlanmaktadır. Gölet alanlarının kıyı şevlerinde sabit veya gölet alanlarında yüzer güneş enerji santrallerinin işletilme potansiyeli değerlendirilmektedir. Ayrıca topoğrafik koşullar ve rüzgar enerji potansiyeline bağlı olarak maden sahası çevresinde rüzgar türbinleri ile yenilenebilir enerji potansiyelleri incelenmektedir.

Almanya’da linyit kömürü açık işletme sonrası arazi rekültivasyonu ve alternatif değerlendirme hususunda iyi örnekler arasında Lausitzer maden bölgesi gösterilmektedir. Eski açık işletme çukur bölgeleri su ile doldurularak göletler bölgesi oluşturulmuştur (Şekil 3.3). Ayrıca yerleşim alanları dışında arazinin tarımsal ve orman amaçlı ve değerlendirildiği görülmektedir. Bu sayede madencilik sonrasında turizm faaliyetleri gelişmiştir. Uygun alanlarda da rüzgar türbinleri aracılığıyla temiz enerji üretimi yapıldığı görülmektedir. Bölgenin madencilik geçmişinin de yaşatılması amacıyla önceden kömür üretimi ve nakliyatı için kullanılmış olan bazı büyük açık işletme maden makinaları ziyaretçi merkezinde müze çalışması kapsamında incelenebilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Lausitzer eski kömür açık işletme sahalarının madencilik sonrası çeşitli kullanım amaçlarına ait görünüm [22]



Şekil 3.4 Lausitzer eski kömür açık işletme sahası gölet çevresi maden müzesi ve maden makinası [22]

Henüz üretim faaliyetleri sona ermemiş olan açık işletme kömür madenleri için 2030 sonrasında alternatif kullanım alanları ile ilgili olarak planlama çalışmaları devam etmektedir. Açık işletme çukurlarının hacimsel olarak büyüklüğü nedeniyle planlama çalışmalarında çukur bölgelerin su ile doldurularak gölet amaçlı olarak değerlendirilmesi ön plana çıkmaktadır (Şekil 3.5).



a- Hambach açık işletme kömür sahası



b- Hambach madencilik sonrası açık işletme sahası gölet alanı projesi

Şekil 3.5 Hambach açık işletme kömür sahası ve madencilik sonrası gölet projesi [21]

Gölet alanı çevresinde şev duraylılığının sağlanması amacıyla 1/3 oranına sahip açık işletme şevlerinin 1/5 oranına düşürülmesi planlanmaktadır. Bu durum şevlerde ilave büyük bir dolgu hacmi yaratmaktadır. Gölet alanının büyüklüğü nedeniyle suyun gölet hacmini doldurmasının 20-30 yıl süreceği ön görülmektedir. Bu süreler boyunca uygun eğimli şevlerin güneş enerjisi PV panellerinden elektrik üretimi konusunda yararlanılması konusu araştırılmaktadır. Şekil 3.6.a'da açık işletme kömür madeni üretim sonrası eğimi azaltılan şevlerde PV panellerinden oluşan güneş enerjisi pilot santral çalışması görülmektedir. Maden sahası çevresinde çok sayıda rüzgar türbini görülmektedir. Kömür sahası şevlerinde PV paneller ve büyük ölçekli pil

depolama tesisinden oluşan pilot hibrit güneş enerjisi santraline ait görünüm ise şekil 25.b de verilmiştir.



a- şevlerde PV panellerden oluşan güneş enerjisi proje şalışması ve rüzgar türbinleri



b- şevlerinde PV güneş enerjisi ve pil depolama proje şalışması

şekil 3.6 Açık işletme kömür sahası madencilik sonrası şevlerinde hibrit PV güneş enerjisi, pil depolama ve rüzgar türbini proje şalışması [21]

şekil 3.7’de açık işletme sonrası çukur alanda oluşturulacak gölet üzerinde yüzer güneş enerjisi santrali projesi görülmektedir. Yüzer güneş enerjisi santralinin elektrik üretimi dışında su yüzeyinde buharlaşmayı azaltıcı etkisi bulunmaktadır.



Şekil 3.7 Açık işletme kömür sahası madencilik sonrası gölet projesi [21]

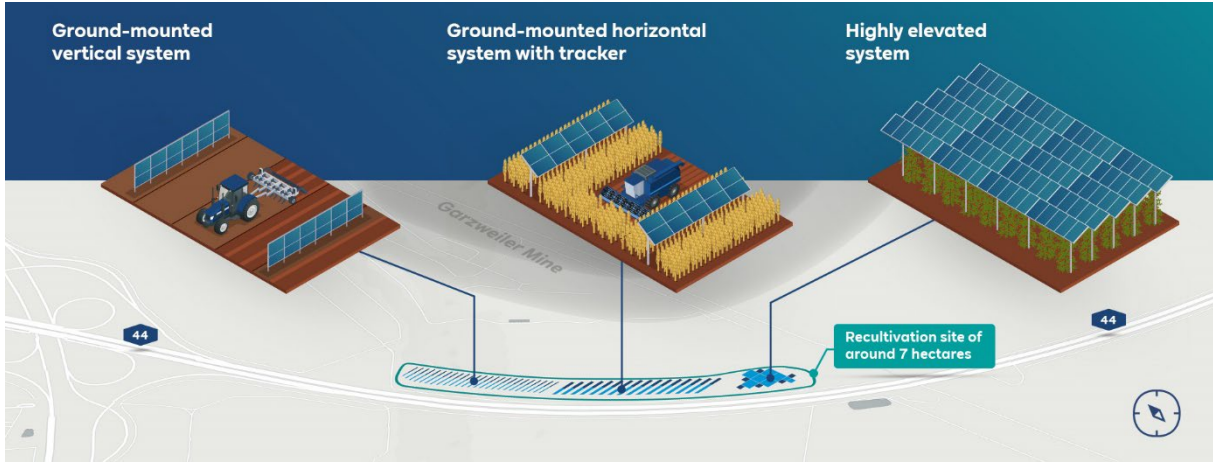
Günümüze kadar kömür açık işletme sahalarında üretim sonrası arazinin yeniden düzenlenmesi uygulamalarında ağaçlandırma (Şekil 3.8) ve tarıma kazandırma (Şekil 3.9) uygulamaları ön plana çıkmıştır. Ağaçlandırma çalışması ile arazinin doğal hayat için yeniden düzenlenmesi hedefinin yanında ağaç başına önemli bir karbon depolama potansiyeli sağlamaktadır. Tarımsal alanlarda tarım faaliyetinin yanında eş zamanlı güneş enerji PV elektrik üretimi için araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.8 Açık işletme kömür sahası üretim sonrası ağaçlandırma çalışması [21]



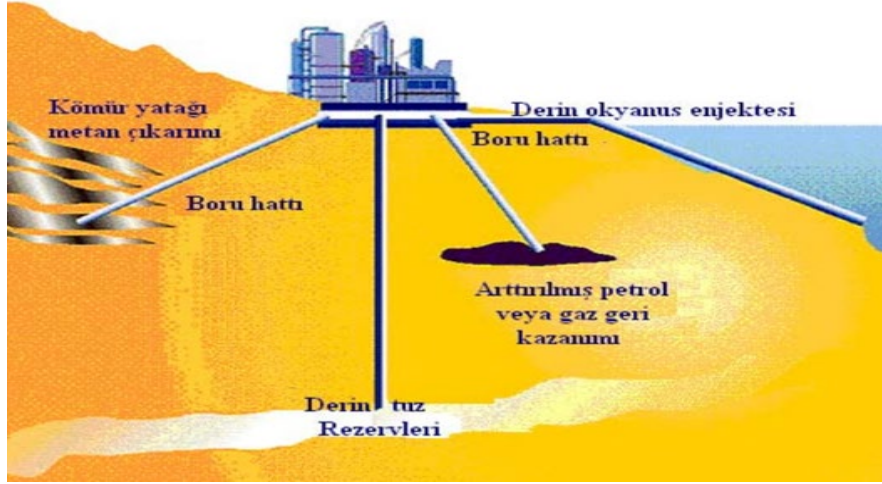
Şekil 3.9 Açık işletme kömür sahası üretim sonrası arazinin yeniden düzenlenmesi ve tarımsal faaliyetler [21]



Şekil 3.10 Tarımsal alanlarda eş zamanlı güneş enerjisi araştırmaları [21]

Tez çalışması kapsamında Kütahya Tunçbilek TKİ Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) kömür sahaları ile Trakya havzasında Kiremitçiler Grup kömür sahaları incelenip, yenilenebilir enerji kullanımı ve karbon depolama olanakları açısından araştırılmıştır.

İklim değişikliğine etkisi olan sera gazlarından CO₂ emisyonlarının atmosfer içerisindeki süregelen artışı neticesinde zaman içinde küresel sıcaklık değerlerinde artış olacağı öngörülmektedir. Atmosferdeki CO₂ salımını ve miktarını azaltmak için; enerji tasarrufu ve verimliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji üretiminde sıfır veya sınırlı CO₂ emisyonu için yöntemlerin geliştirilmesi, CO₂'nin yeraltında uygun jeolojik formasyonlarda uzun süreli olarak güvenli depolanması önemli seçenekler arasında yer almaktadır (Şekil 3.11). Bu çalışmada inceleme sahaları için jeolojik formasyonlarda ve ağaçlandırma sahasında CO₂ depolama potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 3.11 Yeraltında jeolojik formasyonlarda CO₂ depolama [23]

3.2 GLİ TUNÇBİLEK KÖMÜR MADENİ SAHALARI

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Müdürlüğü Tunçbilek kömür sahası, Kütahya ili sınırları içerisinde Tavşanlı'ya 15 km, Kütahya'ya 63 km uzaklıktadır. Türkiye linyit rezervinin yaklaşık olarak % 4,6 sı Tunçbilek'te bulunmaktadır. Yıllık toplam 50 milyon ton satılabilir linyit üretimi yapılan ülkemizde bu üretimin yaklaşık yüzde 7,5 'ini Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) gerçekleştirmektedir [22]. GLİ Tunçbilek maden ruhsat sahasında açık ocak ve yeraltı ocak işletmeleri olarak üretim faaliyetleri sürmektedir.

3.2.1 Kömür İşletmesi ve Sahaları Hakkında Bilgiler

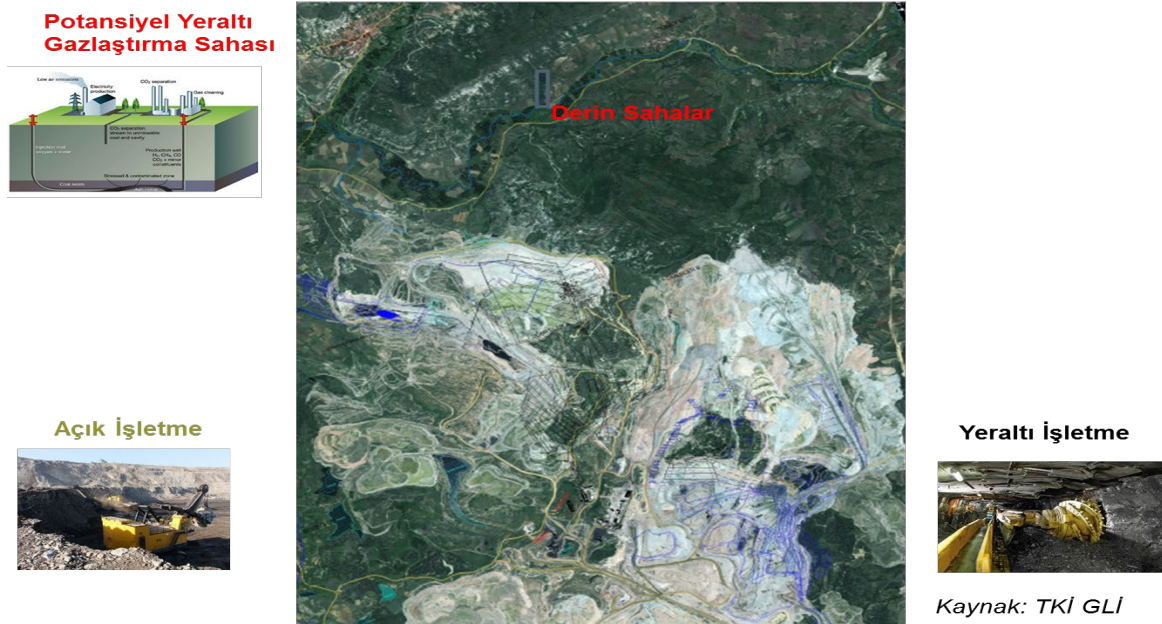
Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü, halen Kütahya ili Tavşanlı ve Domaniç ilçe sınırları içerisinde kalan IR 36111 no.lu imtiyaz sahasında açık ocak ve yeraltı işletmeleri olarak faaliyet göstermektedir. Programlanan 4.200.000 ton/yıl tüvenan linyit kömürü üretiminin yaklaşık %80'ni açık ocaklardan, %20'si ise yeraltı işletmelerinden gerçekleştirilmektedir. GLİ Müdürlüğü'nde 1/B Lavvarı ve Ömerler Lavvarı Tesisi olmak üzere iki lavvar bulunmaktadır. Bu lavvarlarda açıkocak ve yeraltı işletmelerinde üretilen kömür yıkanmakta, zenginleştirilmekte ve piyasaya satışa hazır hale getirilmektedir. [24]

GLİ Müdürlüğü açık ocak işletmelerinde kömür üretimine yönelik olarak shovel + kamyon ve dragline örtü kazı yöntemi uygulanmaktadır. Dragline çalışmasına olanak verecek şekilde panoların önceden shovel + kamyon yöntemiyle örtü kazısı yapılmakta ve dragline dilimleri

oluşturulmaktadır. Kömür üretiminde 7 değişik kapasitelerde hidrolik ekskavatörler ve elektrikli ekskavatörlerden faydalanılmaktadır [24]

GLİ Müdürlüğü yeraltı kömür üretimini Ömerler Yeraltı Ocağı'ndan gerçekleştirmektedir. Ömerler Yeraltı Ocağı'nda kalkan tipi yürüyen tahkimatların kullanıldığı arkadan göçertmeli tam mekanize üretim yöntemi ile kömür üretimi yapılmaktadır [24]

GLİ'de açık işletme sahasında üretim çalışmaları yakın gelecekte sonra erecek olup, geriye çeşitli amaçlarla değerlendirme olanağı olan büyük bir arazi kalacaktır. Tez çalışması kapsamında bu arazinin değerlendirme olanakları incelenmiştir. Bu kapsamda özellikle Almanya'da 2030 yılına kadar üretim sonra erme kararı alınan açık işletme kömür madenlerinde üretim sonrası madencilik sahalarının kullanım uygulamaları ve planlamaları incelenmiştir. Geçmişte madencilik sonrasında açık işletme çukurları doldurularak ağırlıklı olarak tarım veya orman alanı değerlendirilmekteydi. Günümüzde ise bu değerlendirmelerin dışında ağaçlandırma faaliyeti ile karbon depolama potansiyeli, açık işletme çukurlarının su ile doldurularak büyük gölet alanlarının oluşturulması amaçlanmaktadır. Gölet alanlarının kıyı şevlerinde sabit veya gölet alanlarında yüzer güneş enerji santrallerinin işletilme potansiyeli değerlendirilmektedir. Ayrıca topoğrafik koşullar ve rüzgar enerji potansiyeline bağlı olarak maden sahası çevresinde rüzgar türbinleri ile yenilenebilir enerji potansiyelleri incelenmektedir.



Şekil 3.12 GLİ Ruhsat alanı ve çalışma yöntemleri özeti



Şekil 3.13 GLİ açık işletme alanından görünüm

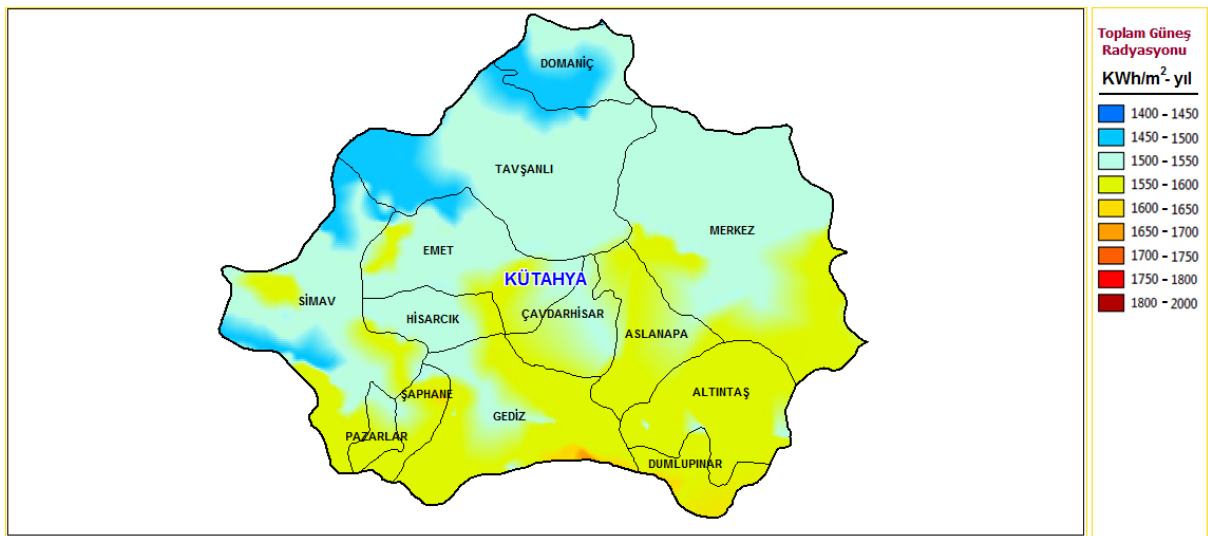
Açık işletme, yeraltı işletmesi, kömür hazırlama ve yerüstü tesislerinin elektriksel güç ihtiyacı 15 MW olup yıllık elektrik tüketimi ortalama 50,000 MWh olarak gerçekleşmektedir.

3.2.2 Yenilebilir Enerji Üretim ve Kullanım Olanakları

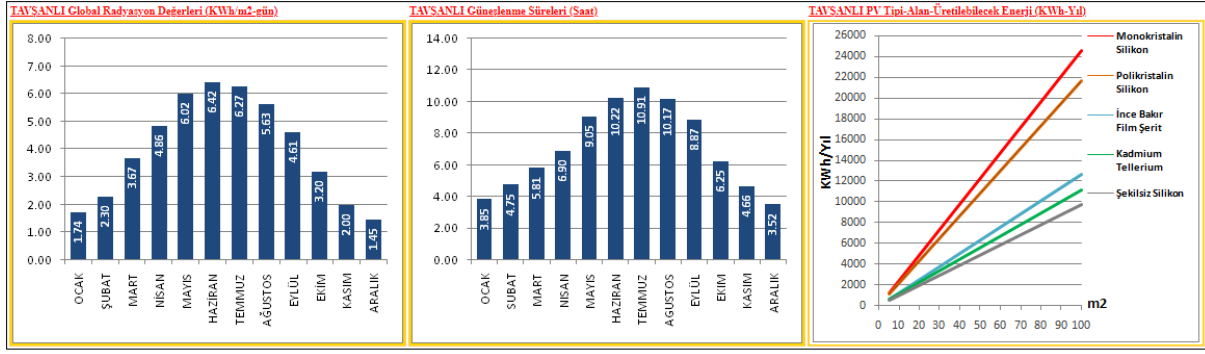
TKİ GLİ Tunçbilek maden sahası için rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Ayrıca diğer enerji kaynaklarının bölgedeki durumuna da değinilmiştir.

3.2.2.1 Güneş enerjisi

İncelenen maden sahası için toplam güneş radyasyonu yıllık bazda 1500-1550 kWh/m² eşdeğer enerjiye sahiptir (Şekil 3.14). Tavşanlı bölgesinde en yoğun güneşlenme ışıını ve sürelerinin Haziran-Temmuz aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.14 Kütahya güneş enerjisi potansiyeli [5]



Şekil 3.15 Kütahya-Tavşanlı güneş enerjisi potansiyeli [5]

İşletme sahası yakınında CW Enerjiye ait 3757 kWp (Kilowatt-Peak) gücünde arazi tipi güneş enerji santrali vardır (Şekil 3.16). Kütahya bölgesinde işletmedeki güneş enerjisi santralleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Tavşanlı ilçesinde 1 MW kapasiteli 2 adet PV güneş enerjisi santrali işletildiği görülmektedir. Kütahya bölgesinde faal olan çok sayıda sınırlı kapasiteli lisanssız üretim yapan güneş enerjisi santrallerinin toplam kapasitesi 116 MWe olduğu görülmektedir.



Şekil 3.16 CW Enerji Tavşanlı GES hava fotoğrafı [25]

Çizelge 3.1 Kütahya’da kurulu Güneş Enerji Santralleri [8]

Santral adı	İlçe	Güç (MWe)
Merkür GES		3
Tekno Ray Solar Kütahya GES		2
Yılmazlar Madencilik GES	Tavşanlı	1
Erden Enerji GES	Tavşanlı	1
Kütahya İl Özel İdaresi GES	Merkez	0.2
Diğer Lisanssız GES'ler		109

Maden sahası yakınında bulunan ve aktif olarak enerji üretimi yapılan GES'ler, gerekli planlama ve yatırımın yapıldığında saha içerisinde de elektrik üretimi yapılabileceğinin kanıtıdır (Şekil 3.17).



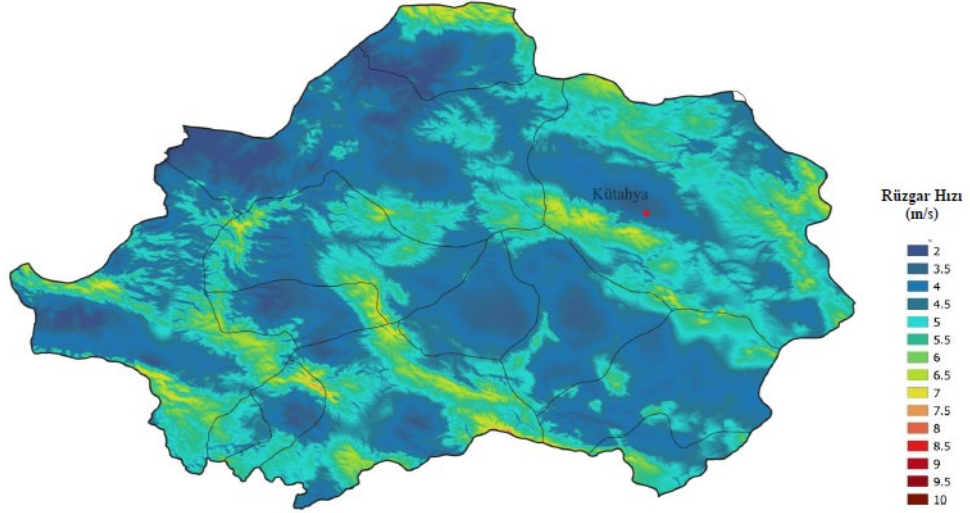
Şekil 3.17 Mevcut GES alanları ile Maden alanının konumlarını gösterir uydu fotoğrafı

3.2.2.2 Rüzgar Enerjisi

Şekil 3.18-3.20 arasında Kütahya ili rüzgar potansiyeli, güç yoğunluğu ve kapasite faktörleri haritaları verilmiştir. Rüzgar potansiyelini gösteren farklı haritalarda da görüleceği gibi incelenen maden sahası çevresinde büyük kapasiteli RES kurmaya yetecek rüzgar potansiyeli bulunmamaktadır. Çizelge 3.2'den Kütahya ili ve çevresinde sadece 1 adet 50 MW kapasiteli rüzgar santrali işletildiği görülmektedir. Buna karşın maden sahası ve çevresinde sınırlı kapasiteli ve RES kurulumu yapılarak elektrik üretimi yapılabilir. Normal RES dışında bu maden sahasında ve mekanik havalandırma yapan birçok yeraltı maden ocağında ana nefeslik galeri çıkışlarında ki yüksek hava akımından faydalanılabilir. Yeraltından emici fanlarla emilen havanın hızı 5-7 m/s hızlara ulaşabilmektedir. Bu hava yerüstüne üflendiğinde hızlarını hızlı

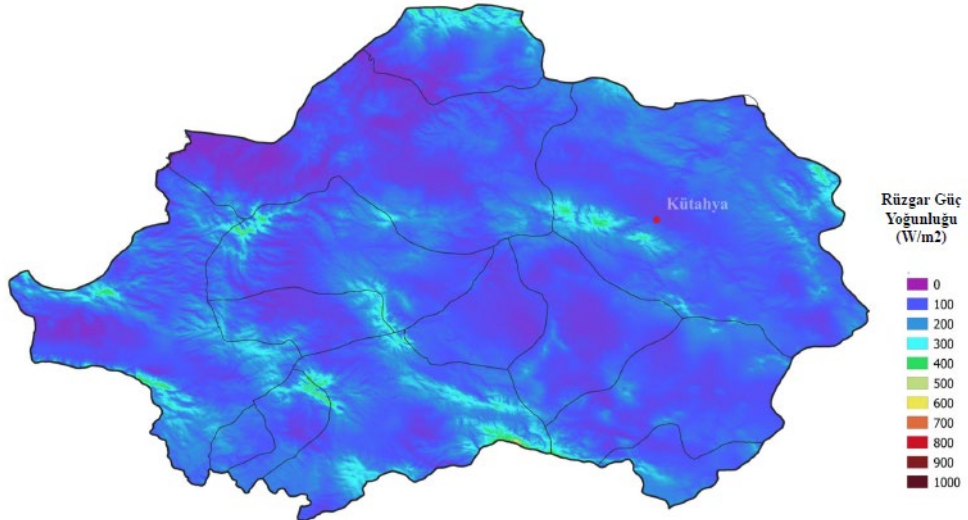
bir şekilde kaybederler. Fakat gerekli düzenek ayarlanarak çıkan bu hava yönlendirilirse bir rüzgar türbinini çevirmek için kullanılabilir ve maden sahası iç tüketimine yönelik elektrik enerjisine dönüşümü sağlanabilir.

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI DAĞILIMI – 100 METRE



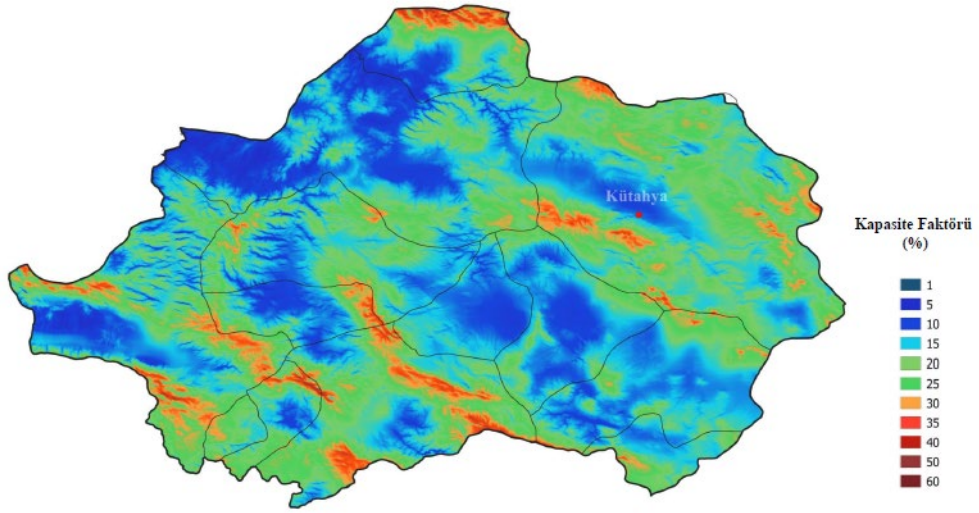
Şekil 3.18 Kütahya rüzgar potansiyeli [26]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR GÜÇ YOĞUNLUĞU DAĞILIMI – 100 METRE



Şekil 3.19 Kütahya güç yoğunluğu dağılımı [26]

KAPASİTE FAKTÖRÜ DAĞILIMI – 100 METRE



Şekil 3.20 Kütahya rüzgar kapasite faktörü [26]

Çizelge 3.2 Kütahya’da kurulu Rüzgar Enerji Santralleri [11]

Santral adı	İlçe	Güç (MWe)
Işıklar Rüzgar Santrali	Gediz	50

3.2.2.3 Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Tunçbilek Maden sahası hem yerüstü hem yeraltı su geliri bakımından aktif bir bölgede yer almaktadır. Burada linyit üretimi sırasında açığa çıkan su gelirleri üretime etki etmeyecek bölgelere sürekli olarak pompalanır. Bu su geliri uygun bir bölgede toplanırsa elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Burada üretilen elektrik büyük kapasiteli olmaz ama mikro su türbinleri yardımıyla lokal üretimler yapılabilir. Bu konuda elektrik potansiyelinin belirlenebilmesi için detaylı çalışmanın yapılması gereklidir. Diğer bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji, tektonik hareketlerin çok fazla olduğu Kütahya ilinde çok fazladır. Fakat maden bölgesinde ekonomik potansiyeli olan bir kaynağa rastlanılmamıştır. Çok bilinmeyen ve AR-GE çalışmaları hala devam eden bir konu da kara yollarına koyulan hız kesici kasislerden elde edilecek enerjiden elektrik üretilmesidir. Bu enerji üretim yönteminin ağır vasıta trafiğinin yoğun olduğu maden sahalarında başarılı olma potansiyeli yüksektir. Pilot ölçekli çalışma yapılarak, gerekli olması durumunda geliştirmelerin yapılması lazımdır.

3.2.3 Karbon Depolama Olanakları

Bu tez kapsamında Tunçbilek sahası için jeolojik formasyonlarda ve ağaçlandırma sahasında CO₂ depolama potansiyeli incelenmiştir.

3.2.3.1 Yeraltında jeolojik formasyonlarda karbon depolama

CO₂ gazının jeolojik formasyonlarda depolanabilmesi için çeşitli etkenlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Tektonik olarak fazlasıyla etkilenen havzalarda (faylar, deprem, volkanizma vb.) CO₂ gazının faylardan ya da kırıklardan atmosfere yayılması gibi riskleri bulunduğundan, depolama uygulamaları için tercih edilmemektedir. Geçirimsiz jeolojik birimler ile çevrili gözenekli jeolojik formasyonlar CO₂ gazının uzun süreli olarak güvenli bir şekilde yeraltında depolanabilmesi için avantajlı olarak değerlendirilmektedir [27].

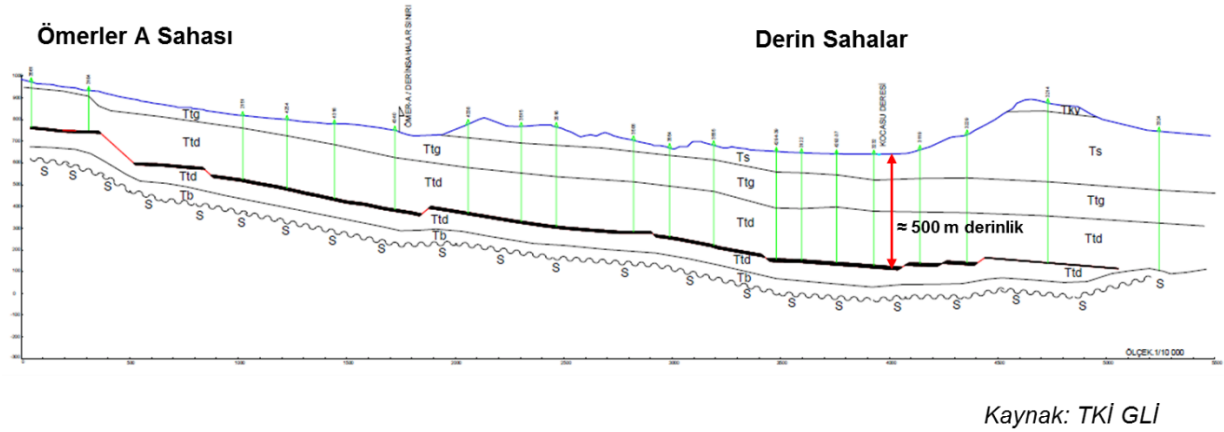
Tunçbilek kömür havzası tektonizmadan etkilenmiş olup, kıvrımlı ve faylı bir yapıya sahiptir. Söz konusu faylar yer yer küçük atımlar şeklinde olup, zaman zaman da fay zonları önemli kot farklarına sebep olabilmektedir. Kömür çevre kayalar (marn, silttaş, kiltaş) az geçirimli ve geçirimsiz özelliklere sahip olmasına karşılık, kireçtaş birimleri çatlak yapısı ve olası karstik boşluklar nedeniyle geçirgen özellik gösterebilmektedir. Yeraltı işletme sahasında, kalın kömür damarında mekanize panolardaki göçertmeli üretim tekniğine bağlı olarak oluşan deformasyonlar sonucu gelişen olası kırılmalar, fay hatları, kömür oluşumu üzerindeki jeolojik akifer seviyeleri ile hidrolik bağlantı oluşturabilmekte ve bu nedenle yeraltı açıklıklarına (galeri, üretim boşluğu vb.) su gelinde yerel artışlar görülebilmektedir. Bu durum inceleme sahasında üretimi sona ermiş bölgedeki nispeten sığ derinlikteki gözenekli ve boşluklu jeolojik formasyondan yerüstüne CO₂ gazı yayılma riskini artırmaktadır. Kömür damarının hemen üzerinde yer alan nispeten geçirimsiz jeolojik formasyon (Ttd- marn, kiltaş) daha alt jeolojik formasyonda (Tb, S) depolanabilecek CO₂ gazı geçirimsiz bir kapan işlevi sağlayabilmektedir. Jeolojik formasyonda depo uygunluğunun değerlendirilmesi için özel amaçlı sondajlar aracılığıyla elde edilebilecek ayrıntılı saha ve araştırma verilerine (jeomekanik, hidrojeoloji, vb.) ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu durumda incelenen jeolojik formasyonların uzun süreli güvenli CO₂ depolama için uygun olup olmadığı değerlendirilmelidir.

GLİ Tunçbilek maden ruhsat sahasında yeraltı üretimine uygun Ömerler A, Ömerler B ve Derin Sahalar olarak isimlendirilen maden sahaları arasındaki mevcut sınırlar linyit kömürü

oluşumlarının başlıca tektonik yapısının yorumlanmasıyla ayrılmaktadır. Ömerler A ve B kömür sahalarında yeraltı mekanize sistemler ile tavan göçertmeli uzunayak üretim yöntemi kullanılarak linyit kömürü üretimi gerçekleştirilmektedir. Gelecekte yerüstünden derinliği daha fazla olan Derin sahalar da kömür üretiminin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Çalışma kapsamında Derin sahalar da yeraltı kömür gazlaştırma potansiyeli incelenmiştir.

Yeraltı kömür gazlaştırma prosesi özellikle düşük ısı değere sahip ve klasik madencilikle ekonomik veya teknolojik nedenlerden dolayı değerlendirilemeyen kömürler için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Yeraltı gazlaştırma prosesinin en önemli üstünlüğü, kömürün yeraltından çıkarılmasına gerek duyulmaması ve kömürün gazlaşmayan kısımlarının (kül vb.) ortamda kalmasıdır.

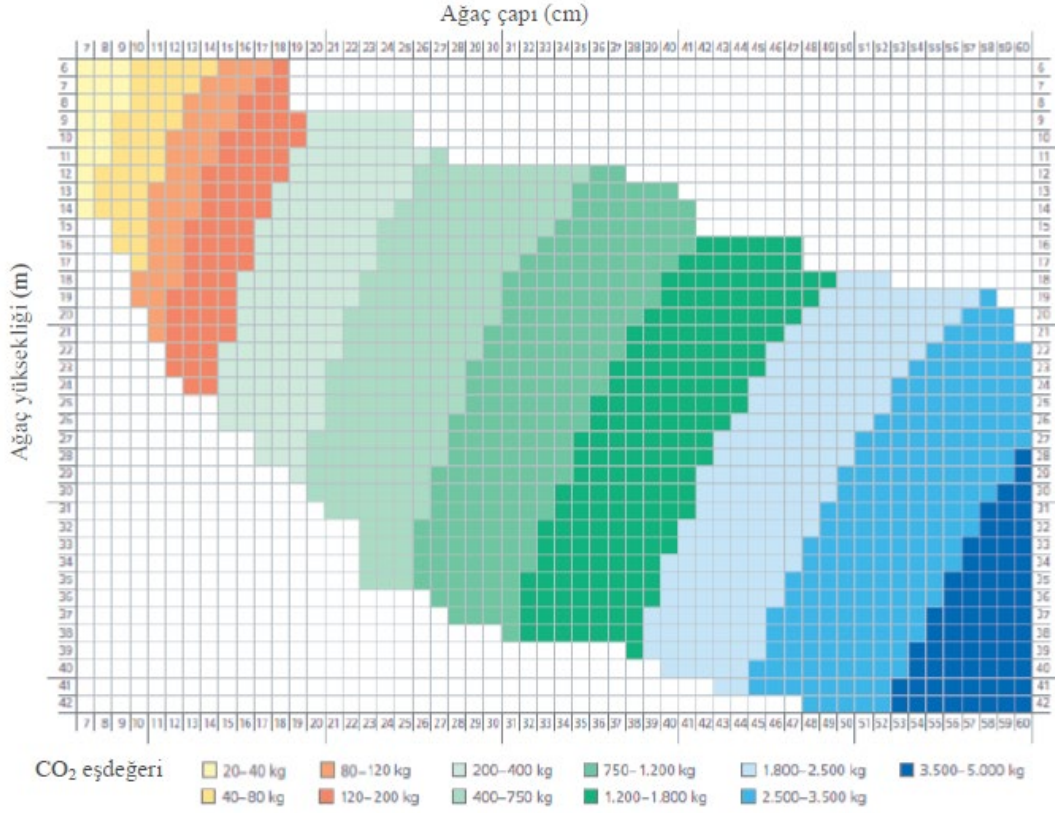
Yerüstünden 200-500 metre arasındaki derinlik ve 2-15 metre arasındaki kömür damarı kalınlıkları yeraltında gazlaştırma için uygun ortam koşulları olarak değerlendirilmektedir. Yeraltı kömür gazlaştırma işletmeciliği açısından suyun olası olumsuz etkilerinden korunabilmek için tektonizmaya uğramış alanlara topuk bırakılarak veya yeraltı suyu drenajı yapılarak emniyet sağlanabilmektedir. Derin sahalar da mevcut derinlik ve jeolojik yapı değerlendirildiğinde linyit kömür rezervinin yeraltında gazlaştırma yöntemi ile değerlendirilme potansiyeli bulunduğu söylenebilmektedir. Derin sahaların yerüstünden derinliği 300-500 metre arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 3.21). Ömerler A sahasında işletilmekte olan linyit kömürünün ortalama kalınlığı 8 metre olup ondülasyonlu ve faylı bir yapı içerisinde yer almaktadır. Derin sahada yer alan linyit kömürünün yeraltında gazlaştırılması ile ilgili daha ayrıntılı bir değerlendirme yapabilmek için saha ve kömür ile ilgili daha kapsamlı araştırmalar (gazlaştırma pano tasarımı, kömür bileşimi, jeoloji, jeoteknik, jeomekanik, hidrojeoloji vb.) gerekmektedir. Yeraltında kömür gazlaştırma sonrasında oluşacak boşluk hacimlerinin karbon depolama açısından potansiyel oluşturduğu söylenebilir. Mevcut veriler ile uzun süreli karbon depolama potansiyeli (depolama hacmi, tasman vb.) ve güvenliği (geçirimsizlik vb.) açısından mevcut veriler aracılığıyla ayrıntılı değerlendirme yapma olanağı bulunmamaktadır.



Şekil 3.21 TKİ GLİ Tunçbilek Ömerler A ve Derin Sahalar görünümü.

3.2.3.2 Ağaçlandırma Sahasında Karbon Depolama

TKİ tarafından, ülkemizin orman varlığının artırılması ve ormanların sürdürülebilir kullanımıyla ilgili beklentilerin karşılanması amacıyla üretimi tamamlanmış maden sahalarında ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir [28]. Bu çalışmalar çerçevesinde; madencilik faaliyetleri neticesinde bozulan alanlara ekolojik ve estetik değerlerin geri kazandırılmasının yanında ağaç bünyesinde karbon depolama ve tutma hedeflerine de katkı sağlanmaktadır. Bu kapsamda; TKİ tarafından ağırlıklı olarak 1991 yılından başlamak üzere 2020 yılı sonu itibarıyla 5.435 hektarlık alana değişik türde yaklaşık 9,7 milyon adet ağaç dikimi gerçekleştirilmiştir. TKİ GLİ İşletmesinde yer alan çalışma sahasında Kurum tarafından günümüze kadar yaklaşık 1200 hektar alana 2.5 milyon fidan dikimi yapılmıştır [28]. Dikilen fidan türleri ağırlıklı olarak karaçam ağaçlarından (%76) oluşmaktadır. Ağaç türünün fotosentez ($C+O_2$) sonucunda kabaca tutabileceği karbon potansiyelini tahmin edebilmek için pratik abaklardan faydalanılabilmektedir. Abaklardan değer tahmini yürütebilmek için ağaç türü, yüksekliği ve çapının da bilinmesi gerekmektedir. Örneğin 25 m yükseklik ve 45 cm çapa sahip bir çam ağacı yaklaşık 1800 kg eşdeğer CO_2 gazını karbona dönüştürebilme potansiyeli bulunmaktadır (Şekil 3.22). 10 m yükseklik ve 20 cm çapa sahip bir çam ağacı ise yaklaşık 200 kg eşdeğer CO_2 gazını karbona dönüştürebilmektedir. Bu durum karbon tutma miktarının ağaç gelişimine ve yaşına bağlı olarak değişim gösterdiğini yansıtmaktadır. Ağacın bünyesinde yer alan tahmini karbon miktarı ($C=CO_2/3.67$) bağıntısından hesaplanabilmektedir [14]. İncelenen linyit sahasında ağaç dikme ve geliştirme faaliyetleri ile karbon tutma ve depolama için önemli katkı sağlanabilmektedir.



Şekil 3.22 Çam ağacı için karbon miktarı ve eşdeğer CO₂ depolama tahmin abağı [14]

1200 hektar alanda farklı zamanlarda dikilen ağaçların çoğunluğu çam olduğu için Şekil 3.22'deki abağı kullanarak dikilen 2.5 milyon fidanın ortalama yüksekliği 10 m, ortalama ağaç çapı 20 cm olarak kabul edersek ~500,000 ton CO₂ eşdeğer depolama yapıldığı sonucuna varılabilir. Daha detaylı ve net rakamlara ulaşmak için kullanılan özel programlar vasıtasıyla ağaçlandırma yapılan alanların fotogrametrik görüntüleri işlenebilir ve sonuç elde edilebilir.



Şekil 3.23 GLİ ağaçlandırma alanından bir görünüm

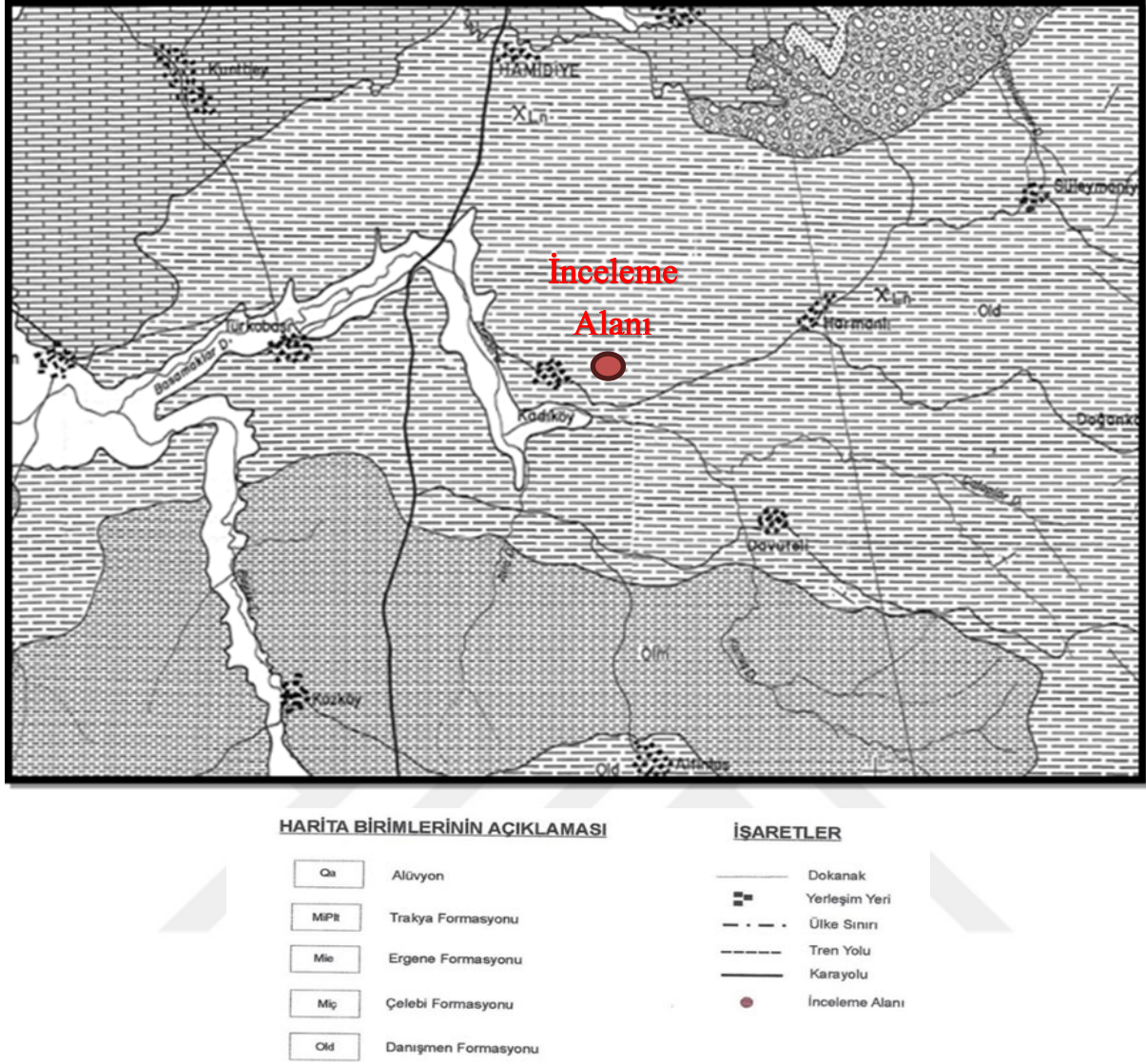
3.2.4 Kömür Madeni Sahaları Olanaklarının Analizi ve Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında linyit kömürü işletme sahası için sürdürülebilir enerji ve karbon depolama potansiyeli incelenmiştir. Sürdürülebilir enerji açısından özellikle güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Karbon depolama potansiyelinin incelenmesi için jeolojik formasyonlarda ve ağaçlandırma sahasında CO₂ depolama olanakları değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerden sonucunda bu linyit sahası için fotovoltaiik güneş enerjisi modüllerinden elektrik üretimi potansiyelinin yüksek olduğu, karbon tutma/depolama açısından derin sahalor için yeraltı kömür gazlaştırma sonrası oluşacak boşluk hacimlerinin yeterli potansiyele sahip olmadığı tespit edilmiştir. Buna karşın ağaçlandırma çalışmalarının önemli potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Maden sahaları çalışma ortamından dolayı normale göre daha tozlu olduğu için güneş enerji santrallerinin kurulumunda alan seçiminde çok dikkat edilmelidir. Ayrıca mevcut çalışma alanları daha sonra kullanım amacı önceden belirlenerek ona göre hazırlanmalıdır.

3.3 KİREMİTÇİLER GRUP KÖMÜR MADENİ SAHALARI

Trakya (Ergene) havzası Türkiye'nin Marmara Bölgesi içerisinde yer alan Trakya Alt Bölgesi'nde bulunmaktadır. Jeolojik olarak bölgede çok sayıda çalışma yapılmış ve bu çalışmalar dikkate alındığında Istranca Masifi eteklerinde yer alan kömürler ile Keşan, Malkara, Uzunköprü ve Meriç yöresinde yer alan kömürler şeklinde gruplandırılmıştır. Trakya havzasında oluşan kömür oluşumları Orta Oligosen yaşlı Danışmen formasyonu içerisinde yer alır. Linyit yatakları Istranca Masifi eteklerinde bir veya iki damar halinde, Güney Trakya' da (Keşan-Malkara) ise çok sayıda damarlar halinde bulunmaktadır.

Havzadaki linyit arama çalışmaları, Malkara-Keşan-Uzunköprü bölgesinde potansiyel kömür damarlarını arayan Dr.R.F.Lebküchner tarafından yapılmış olup, rapor ve haritalar MTA arşivlerinde yer almaktadır. Buna göre bölgedeki linyit oluşumları Oligosen yaşlı kumtaşı-kiltaşı-marn-siltaşı-linyit ardalannası ile tanımlanan Danışmen Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmalara göre 6 ana kömür damarı F.Lebküchner tarafından adlandırılmıştır [29] Şekil 3.24'de bölgenin jeolojik haritası verilmiştir.



Şekil 3.24 İnceleme alanı ve yakın çevresinin 1/100.000 ölçekli Jeolojik Haritası

F.Lebkühner'in yaptığı araştırmaya göre ruhsat sahasında mevcut açık işletme ve yeraltı işletmesi 4 numaralı linyit damarında çalışmaktadır. Damar eğim yönü genel olarak 5 KD, damar doğrultusu K65B olarak kabul edilebilir. Ruhsat alanımız içerisinde çalışılan 4 numaralı linyit damarı kendi içerisinde; Şeritli KM, tavan kıltaşı, KM2, ara kesme, KM1 ve taban kıltaşı olarak adlandırılmıştır. Ortalama üretim damar stampı 3.30 metredir.

Kiremitçiler Grup 2008 yılında Malkara/Doğanköy'de ilk işletmesini kurmuştur. 2010 yılında alınan ikinci maden işletmeciliği ruhsatı ile yıkama ve kurutma tesisi de kurulmuştur. 2012 yılında Uzunköprü'deki Özşen Maden İşletmeleri de Kiremitçiler Grup bünyesine dâhil edilmiştir. 2014'te Keşan'da, 2019'da ise Sığırcık'ta ki işletmeler faaliyete geçirilmiştir. 2018 yılında madencilik sektöründeki teknolojik gelişmeler, çevreye ve insana saygılı yönetim

anlayışı, maksimum verimlilik, iş güvenliği ve sosyal sorumluluk projelerine ağırlık verilmesiyle harmanlanan gelecek projeksiyonu ile Kiremitçiler Grup, yeraltı kömür rezervi ve kapalı maden işletmeleri konusunda AR-GE çalışmalarına başlamıştır. 3 yıl süren yoğun çalışmaların ardından 2021 yılında Kırköy’de yeraltı madencilik faaliyetleri de şirket bünyesine dahil edilmiştir. Kiremitçiler Grup hâlihazırda 4 işletmesi, yüksek üretim kapasitesi, 900 personeliyle çalışmalarına ve büyümesine hızla devam etmektedir [30]

3.3.1 Kömür İşletmesi ve Sahaları Hakkında Bilgiler

Kiremitçiler Grup, kömür madencilik faaliyetlerini Trakya havzasında 4 ayrı lokasyonda yapmaktadır. Bunlar Edirne ili Uzunköprü ve Keşan ilçeleri ile Tekirdağ ili Malkara ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Edirne-Uzunköprü ilçesi sınırları içerisinde bulunan maden ruhsatında açık ve yeraltı işletme yöntemi ile madencilik faaliyetleri devam etmekte, diğer ruhsatlarda açık işletme ile çalışmalar devam etmektedir. Bu sahalarda yılda 2 Milyon ton tüvenan kömür üretimi yapılmaktadır. Üretilen tüvenan kömür iki farklı sahada bulunan lavvar tesisleri ile yıkanmakta, ihtiyaç duyulması halinde kurutma tesisinde kurutulmakta ve satılmaktadır. Şekil 3.25’de açık işletmeye ait görünüm verilmektedir. Açık işletmede örtü kazı ve kömür üretimi ağırlıklı olarak hidrolik ekskavatörler ve kamyonlar aracılığıyla sağlanmakta, genellikle ilk iki basamakta normal kazı yapılmakta, sonrasında delme-patlatma yöntemi ile kazı alanı gevşetilmekte ve madencilik yapılmaktadır. Yeraltı işletmesinde tam mekanize (kesici-yükleyici, yürüyen tahkimat, vb.) uzunayak kömür madenciliği yapılmaktadır. Yeraltı galeriler ve tabanyolları galeri açma makinaları ile açılmakta olup TH geçme bağ çelik tahkimat sistemi uygulanmaktadır. Kömür nakliyatı zincirli konveyörler ve lastik bantlar aracılığıyla sağlanmaktadır. İnsan ve malzeme nakliyatı için monoray sistemi kullanılmaktadır (Şekil 3.26).



Şekil 3.25 Açık işletme çalışma alanı görseli



a) Galeri görünümü



b) Ayakıçi görünümü

Şekil 3.26 Kapalı işletme çalışma alan görselleri

Açık işletme, yeraltı işletmesi, kömür hazırlama ve yerüstü tesislerinin elektriksel güç ihtiyacı yaklaşık 10 MW olup yıllık elektrik tüketimi ortalama 20,000 MWh olarak gerçekleşmektedir.

3.3.2 Yenilebilir Enerji Üretim ve Kullanım Olanakları

İnceleme alanının Tekirdağ ve Edirne illeri arasında bulunması nedeniyle her iki bölgeye ait güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli incelenmiştir.

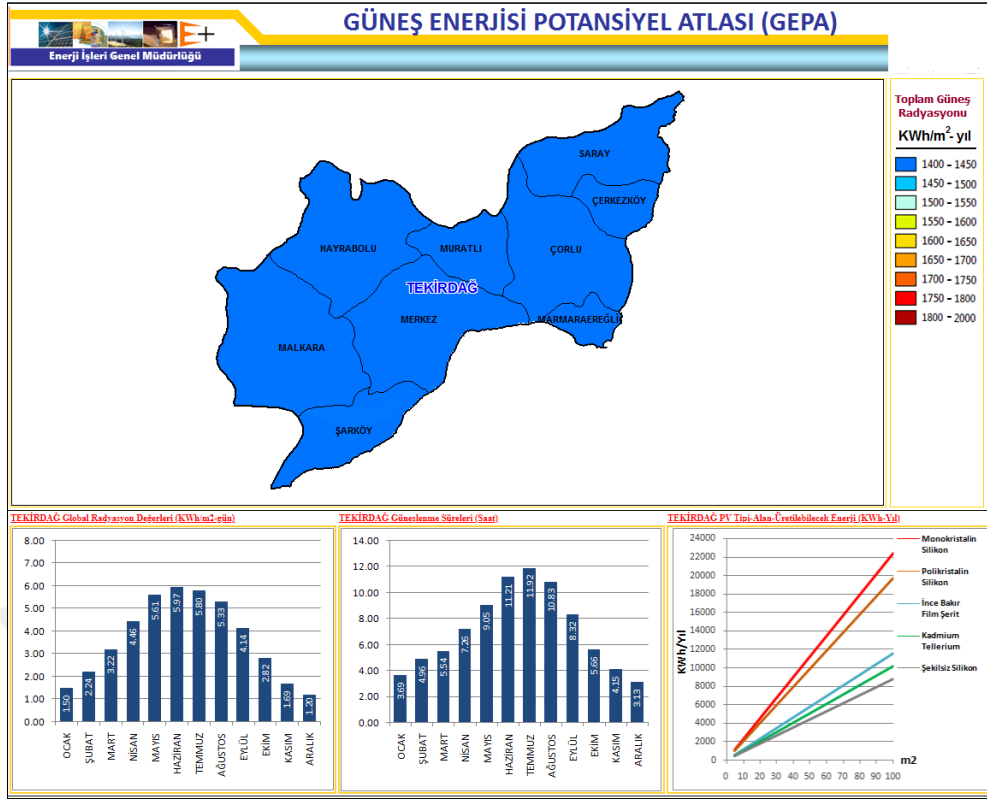
3.3.2.1 Güneş Enerjisi

İncelenen maden sahası için toplam güneş radyasyonu Hayrabolu (Tekirdağ) ve Uzunköprü (Edirne) ilçeleri için yıllık bazda ortalama 1400-1450 kWh/m² eşdeğer enerjiye sahiptir (Şekil 3.27). Maden bölgesi ve çevresinde en yoğun güneşlenme ışıınımı ve sürelerinin Haziran-Temmuz aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.28).

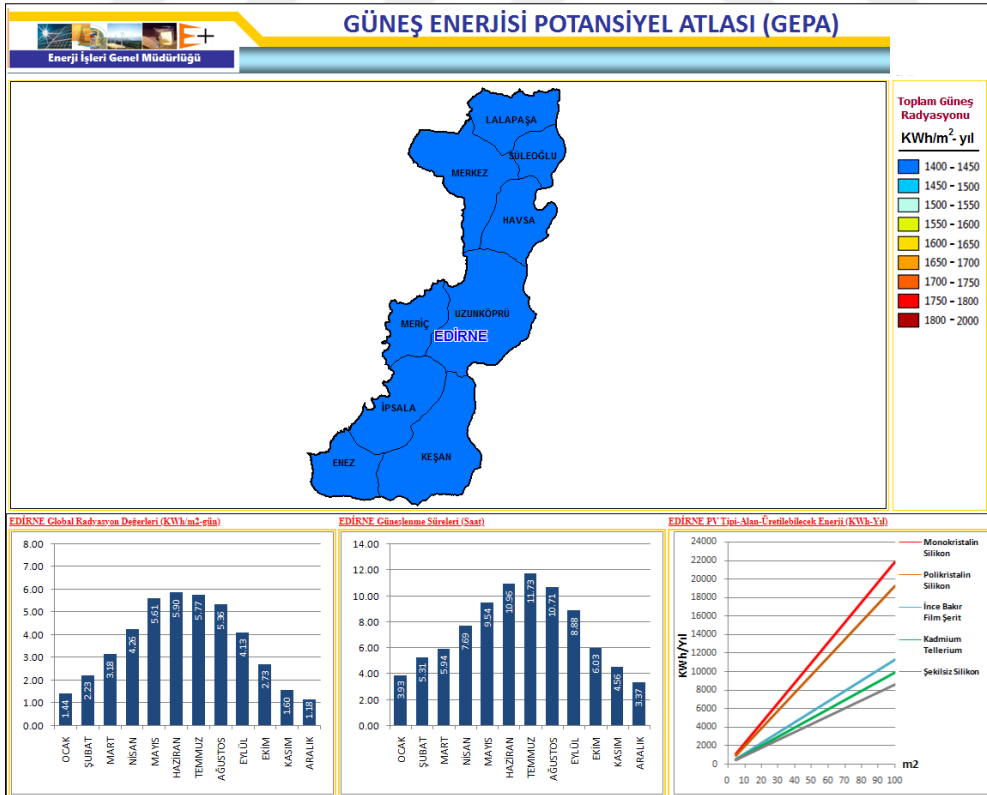
Tekirdağ ve Edirne illerinde işletmedeki güneş enerjisi santralleri Çizelge 3.3 ve 3.4’de verilmiştir. Her iki bölgede ancak sınırlı kapasiteye sahip ve ağırlıklı olarak lisanssız güneş enerjisi santrallerinin işletmede olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi potansiyeli açısından bölgenin avantajlı bir konumda bulunmadığı belirlenmiştir.

Türkiye’nin konumu gereği fotovoltaik güç potansiyeli yüksektir. Kiremitçiler Grup maden sahalarında açık işletme olarak çalışılan alanlarda kömür alındıktan sonra oluşan açıklık gölet olarak ya da tarım arazisi olarak değerlendirilmektedir. Dolgu alanlarında oluşturulan şevlerin açıları güneş enerjisinden faydalanılacak şekilde yapılabilir, ayrıca oluşturulan gölet yüzeylerine yüzer GES kurularak hem enerji üretimi yapılabilir hem de su buharlaşmasının önüne geçilebilir. Çünkü bölgede su hem madencilik hem tarım için çok önemlidir ve bölgenin yıllık ortalama yağış miktarı 600 mm iken buharlaşma miktarı 900 mm dir. Bu nedenle yüzer GES yapılması buharlaşmayı kurulduğu bölgede azaltmaya yardımcı olabilir.

Bu linyit sahasının güneş enerji potansiyeli daha düşüktür. Fakat devlet tarafından verilen teşvikler sayesinde yatırımcı maden şirketleri, madencilik faaliyeti yaptığı alanlar dışında da yenilenebilir enerji yatırımı yapabilmektedir. Şekil 3.28 ‘ de örnek olarak verilen Hotamış gölü gibi alanların GES potansiyeli daha yüksektir.



Şekil 3.27 Tekirdağ güneş enerjisi potansiyeli [5]



Şekil 3.28 Edirne güneş enerjisi potansiyeli [5]

Çizelge 3.3 Tekirdağ güneş enerji santralleri [8]

Santral adı	İlçe	Güç (MWe)
Tekirdağdaki Lisanssız GES'ler		8.18

Çizelge 3.4 Edirne Güneş Enerji Santralleri [8]

Santral adı	İlçe	Güç (MWe)
Emel Elektrik GES	Süloğlu	0.49
Edirne'deki Lisanssız GES'ler		7.99

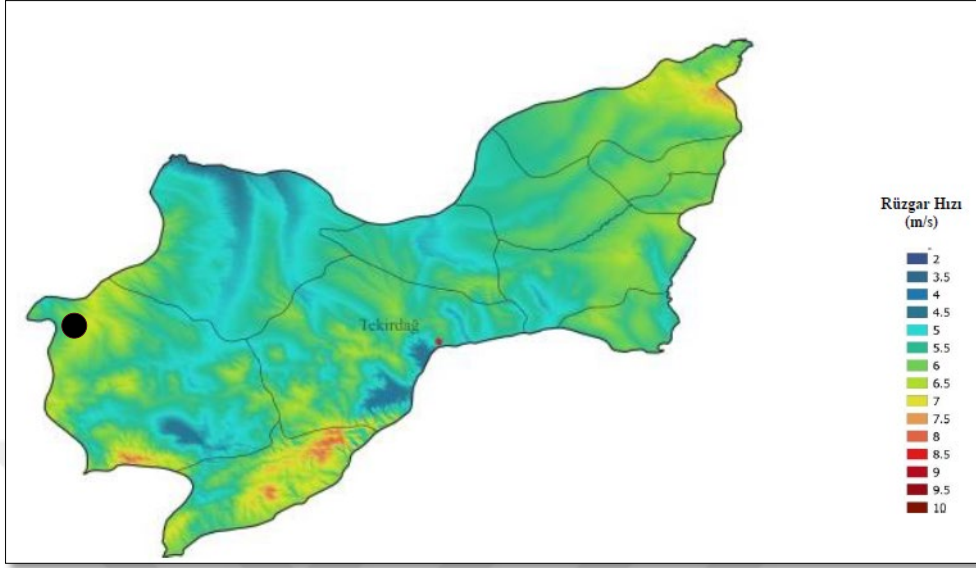


Şekil 3.29 Konya Çumra Bölgesi Hotamış gölü hava fotoğrafı

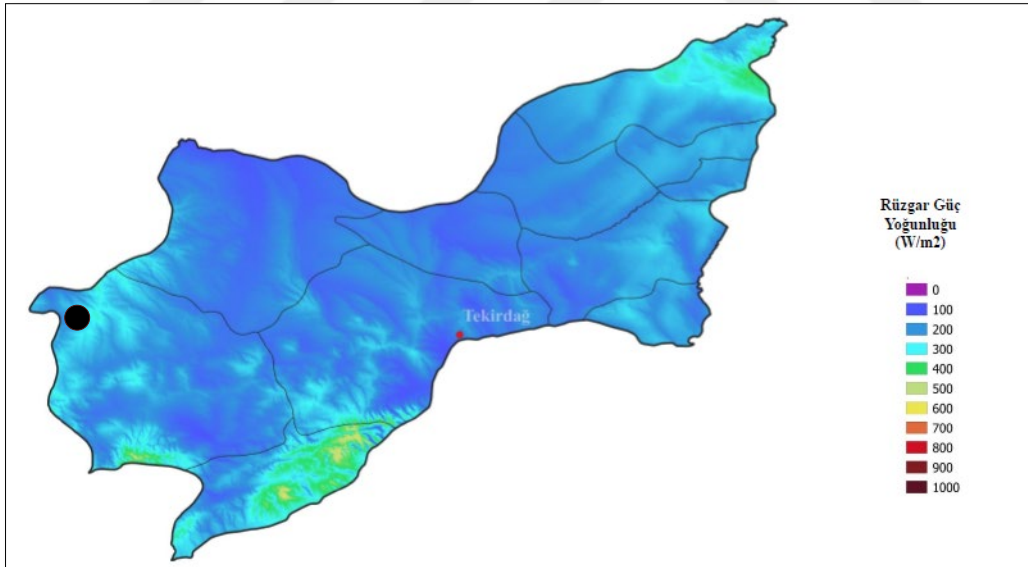
3.3.2.2 Rüzgar Enerjisi

Şekil 3.30-3.32 arasında Tekirdağ ili, Şekil 3.33-34 arasında ise Edirne ili rüzgar potansiyeli, güç yoğunluğu ve kapasite faktörleri haritaları verilmiştir. Çizelge 3.5 ve 3.6'da sırasıyla Tekirdağ ve Edirne illeri ve çevresinde işletilmekte olan rüzgar enerjisi santralleri (RES) verilmiştir. Her iki ilde de yüksek kapasiteli rüzgar enerjisi santrallerinin işletildiği tespit

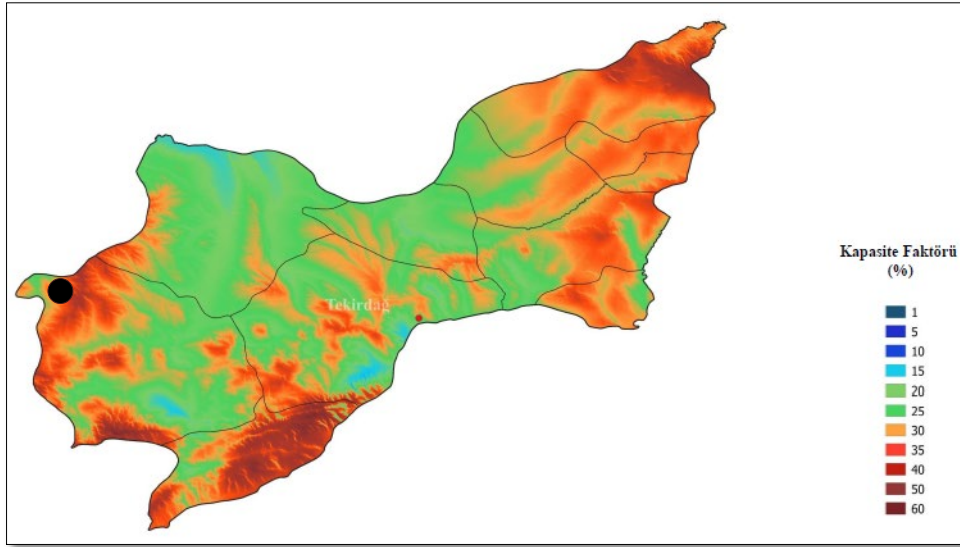
edilmiştir. Mevcut veriler incelendiğinde maden sahası ve çevresinde büyük kapasiteli RES kurmaya yetecek rüzgar potansiyeli bulunduğu değerlendirilebilir.



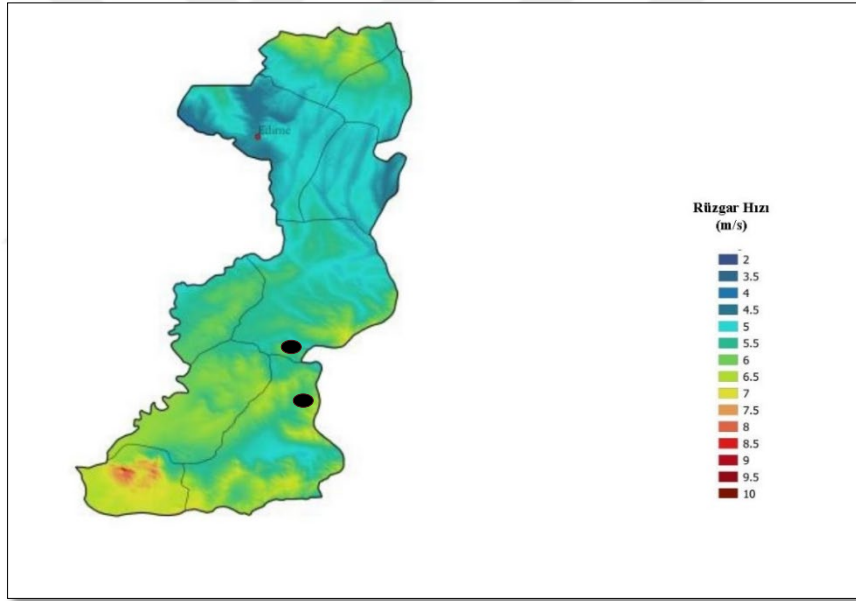
Şekil 3.30 Tekirdağ 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Hızı Haritası [26]



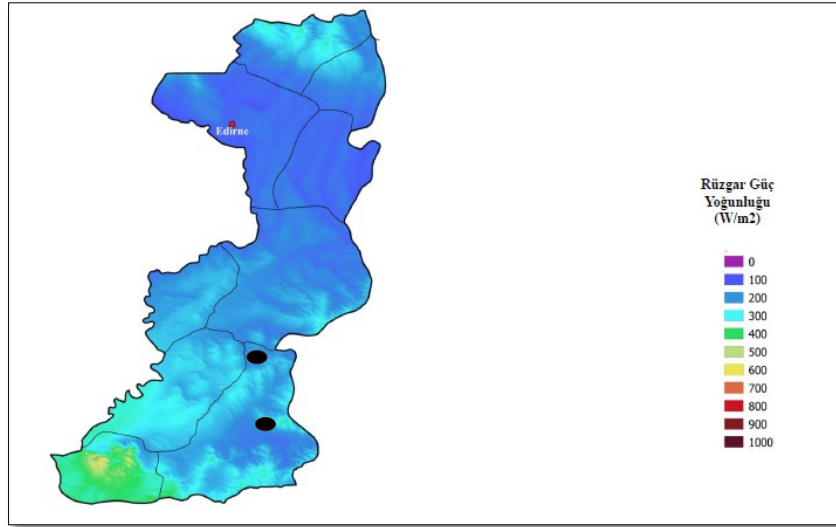
Şekil 3.31 Tekirdağ 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası [26]



Şekil 3.32 Tekirdağ 100 m yükseklikte Kapasite Faktörü Haritası [26]



Şekil 3.33 Edirne 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Hızı Haritası [26]



Şekil 3.34 Edirne 100 m yükseklikte Ortalama Rüzgar Güç Yoğunluğu Haritası [26]

Çizelge 3.5 Tekirdağ ili işletmedeki rüzgar santralleri [11]

Santral adı	İlçe	Güç (MWe)
Balabanlı RES		61
Tekirdağ Kıyıköy RES	Şarköy	45
Sarıkaya RES	Şarköy	29
Karatepe RES	Çorlu	13
Barbaros RES	Şarköy	12
Kızılcaterzi RES	Şarköy	12
Saray RES	Çerkezköy	4
Korudağı RES	Malkara	3.4
Garanti İplik RES	Çorlu	2.5
Derby RES	Çerkezköy	0.8

Çizelge 3.6 Edirne ili işletmedeki rüzgar santralleri [11]

Santral adı	İlçe	Güç (MWe)
Süloğlu RES	Lalapaşa	66
Subaşı Kaniye RES	Uzunköprü	48
Şadıllı RES	Keşan	33
Hamzabeyli RES		25
Boreas 1 Enez RES	Enez	22
Çandır RES	Enez	10

Kiremitçiler Grup maden sahalarının bulunduğu konumlar rüzgar enerji potansiyeli olarak yüksek olarak değerlendirilmektedir. İşletme alanlarının ~5 km kuzeyinde 64 MW kapasite ile 2016 yılından beri üretimine devam eden Kaniye RES vardır. Edirne Kaniye RES'in rüzgar türbinlerinin bir kısmı Edirne'nin Uzunköprü ilçesi, bir kısmı da Tekirdağ'ın Hayrabolu ilçesi sınırlarında bulunmaktadır (Şekil 3.35). RES'te 16 adet Siemens Gamesa rüzgar türbini (3,2 MWe) kullanılmıştır [31]. Çizelge 3.7'den Kaniye rüzgar enerjisi santralinden yıllık yaklaşık 200 milyon kWh elektrik üretimi yapıldığı görülmektedir. Şekil 3.36'da mevcut Kaniye RES ve maden ruhsat alanlarını gösterir uydu görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.37'e bakıldığında rüzgar potansiyeli yüksek olan, İzmir de kurulu Çizelge 3.8'de üretim bilgileri verilen Petkim RES ile benzer kapasitede üretim yapılmaktadır.



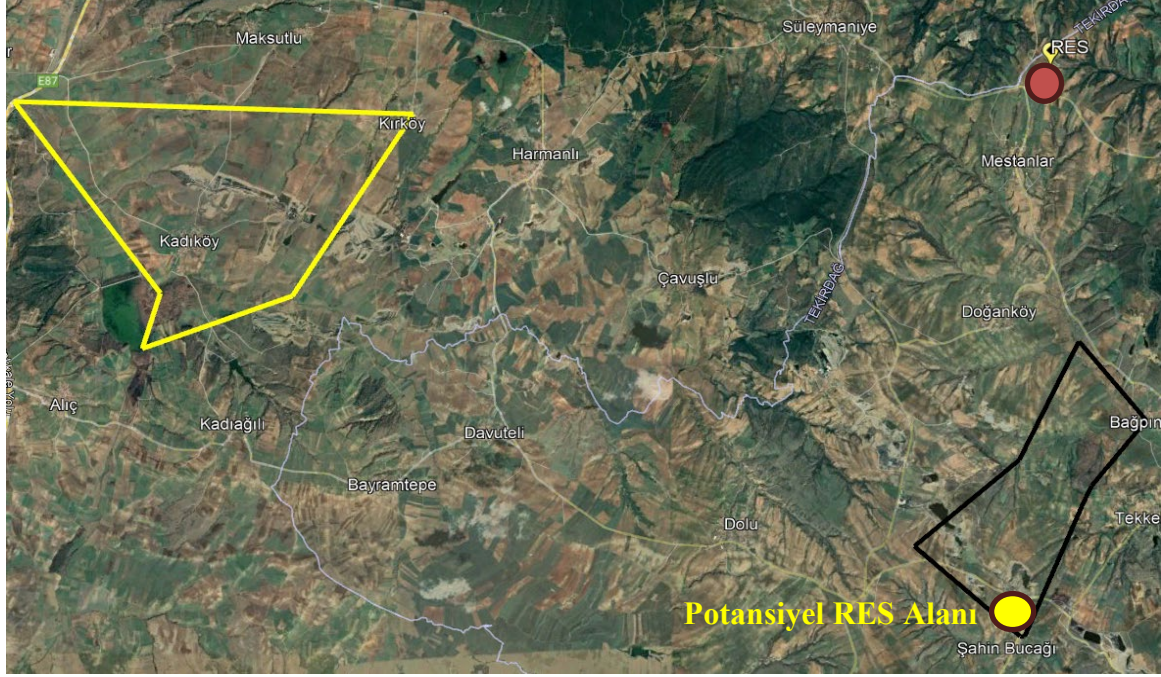
Şekil 3.35 Kaniye RES

Çizelge 3.7 Subaşı Kaniye RES Yıllık elektrik Üretimi [31]

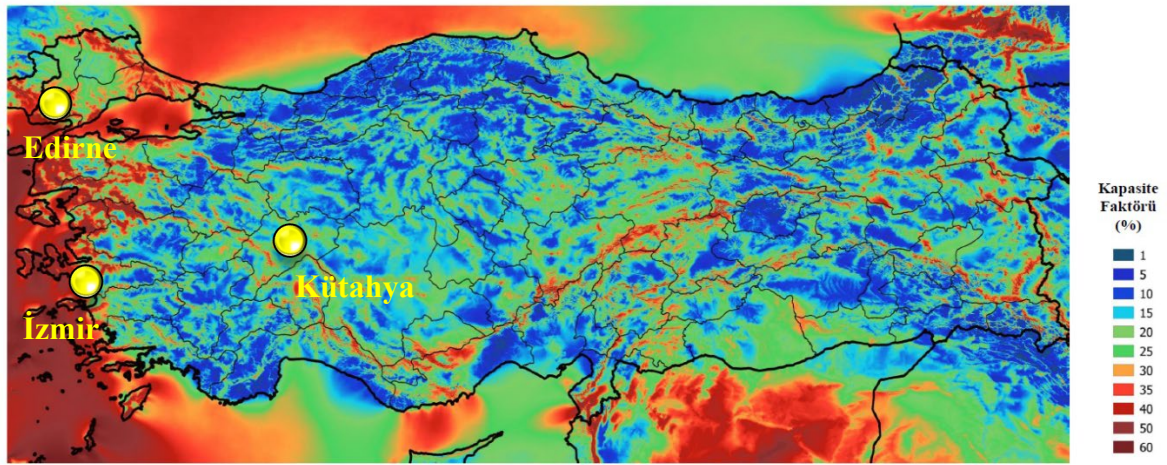
Yıl	Üretim(kWh)	Edirne Tüketimine Oranı	Ülke Tüketimine Oranı
2015	2,446,338	0.18%	0.001%
2016	159,455,620	12%	0.060%
2017	182,900,330	13%	0.060%
2018	205,024,300	14%	0.070%
2019	208,761,860	14%	0.070%
2020	199,745,900	13%	0.070%

Çizelge 3.8 İzmir Petkim RES Yıllık elektrik Üretimi [32]

Yıl	Üretim(kWh)	İzmir Tüketimine Oranı	Ülke Tüketimine Oranı
2018	116,164,000	0.57%	0.038%
2019	124,648,000	0.61%	0.041%
2020	166,905,000	0.81%	0.050%
2021	166,154,960	0.79%	0.050%
2022	173,832,470	0.83%	0.050%



Şekil 3.36 Mevcut RES ve Ruhsat alanlarını gösterir uydu fotoğrafı



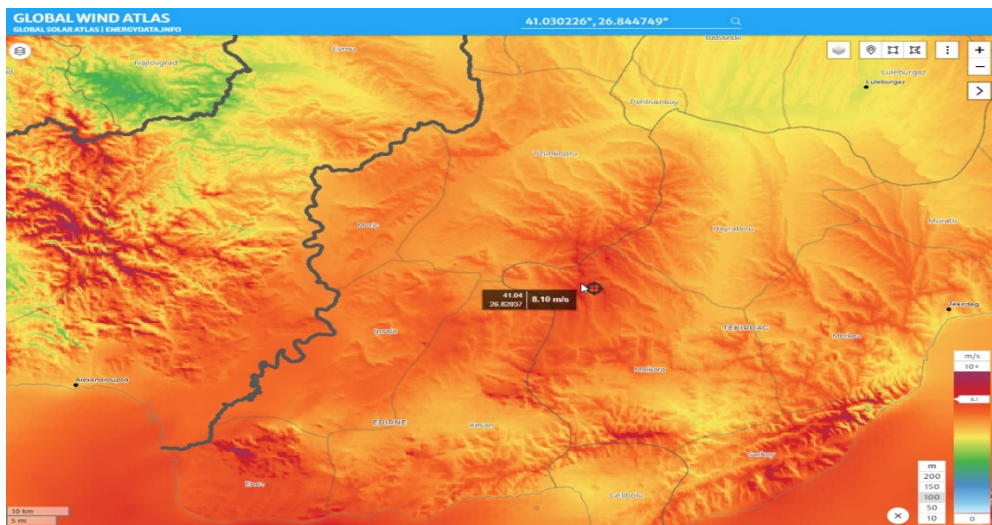
Kapasite faktörü dağılımı haritası 3 MW gücündeki bir rüzgar türbininin teknik değerleri dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Şekil 3.37 Rüzgar Enerjisi Potansiyel Karşılaştırması [26]

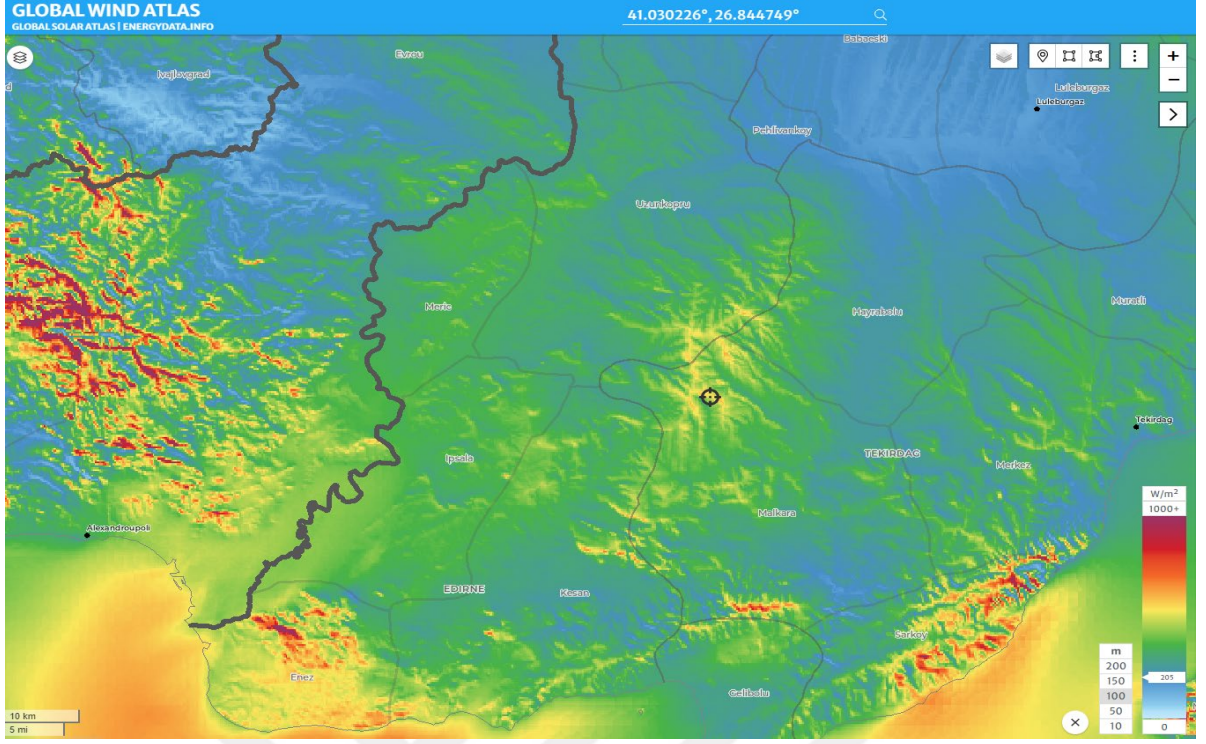
Tekirdağ ili, Saray ilçesi sınırları içinde 84 MW kurulu güçte Hisar Depolamalı Rüzgar Enerji Santrali (DRES) kurulup işletilecek. Yaklaşık 1 milyar 403 milyon TL yatırımla gerçekleştirilecek olan proje kapsamında her biri 6 MW kurulu gücünde 14 adet türbin kurulacak. Proje alanında türbin kurulumuna ek olarak, 0,84 hektar büyüklüğünde belirlenmiş alana 168 MWh toplam depolama gücüne sahip Elektrik Depolama Tesisi (EDT) kurulması da planlanıyor. Depolama tesisinde lityum iyon batarya teknolojisi kullanılacak. Kurulacak türbinler ile yılda toplam 336.000.000 kWh elektrik üretilmesi öngörülmüyor. Üretilen ve depolanan elektrik enerjisi Kemerburgaz RES TM, 154 kV'ye bağlanarak ulusal enterkonnekte sisteme verilecek [33].

Şekil 3.36 da siyah renk ile belirtilen saha da yerel olarak rüzgar hızı değerleri incelenmiş ve Şekil 3.38'de verilmiştir. Bu değerlere baktığımızda 100 m yükseklikte rüzgar hızının 8.10 m/s olduğu görülmektedir. Bu değer rüzgar hızı yönünden ticari boyutta RES kurulumu için bu bölgenin uygun olduğu anlamına gelir. Şekil 3.39 ve Şekil 3.40 da bunu destekler biçimde bölgenin rüzgar gücünün 580 w/m^2 olduğunu belirtir.

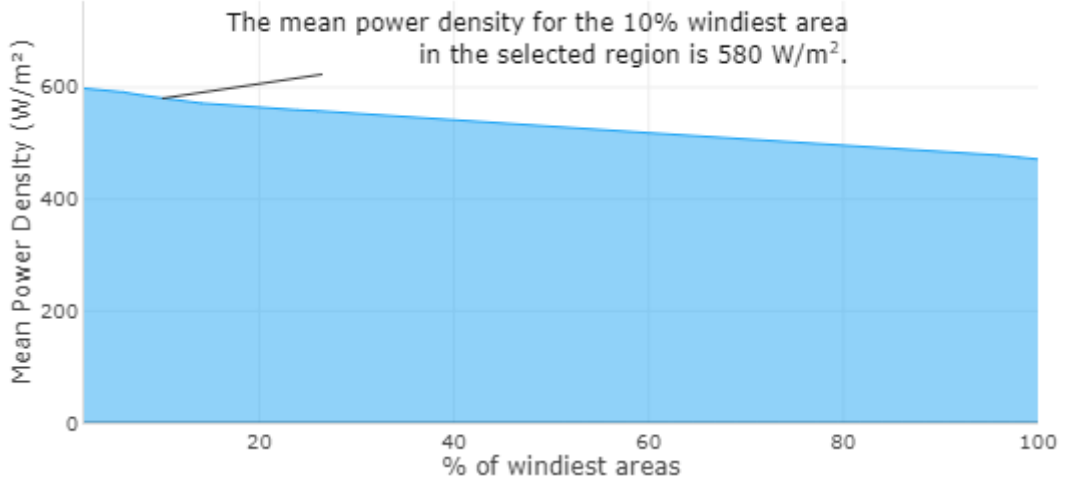
Yukarıda belirtilen bilgi ve haritalardan anlaşılacağı üzere maden ruhsatlı alanlarda ve çevresinde RES kurulumu yapılabilecek potansiyel vardır. Bunlara ek olarak diğer inceleme sahasında belirtilen nefeslik galerisinden çıkan hava hızından faydalanarak mikro RES kurulabilir ve elektrik üretimi yapılabilir. Bu konuda düşük hızlarda çalışan dikey rüzgar türbinleri yada farklı yeni türbin tasarımları gerekebilir, AR-GE çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 3.38 Potansiyel RES Alanında Rüzgar hızı Haritası [10]



Şekil 3.39 Potansiyel RES Alanında Rüzgar gücü Haritası [10]



Şekil 3.40 Potansiyel RES Alanında Rüzgar gücü Grafiği [10]

3.3.2.3 Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Çalışma yapılan alanlarda jeotermal enerji kaynağı yoktur. Mikro su türbinleri ile az miktarda elektrik enerjisi üretilebilir. Diğer sahada da bahsedilen, çok bilinmeyen ve AR-GE çalışmaları hala devam eden bir konu da kara yollarına koyulan hız kesici kasislerden elde edilecek

enerjiden elektrik üretilmesidir. Bu enerji üretim yönteminin ağır vasıta trafiğinin yoğun olduğu maden sahalarında başarılı olma potansiyeli yüksektir. Pilot ölçekli çalışma yapılarak, gerekli olması durumunda geliştirmelerin yapılması lazımdır.

3.3.3 Karbon Depolama Olanakları

3.3.3.1 Yeraltında Jeolojik Formasyonlarda Karbon Depolama

CO₂ gazının jeolojik formasyonlarda depolanabilmesi için çeşitli etkenlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Tektonik olarak fazlasıyla etkilenen havzalarda (faylar, deprem, volkanizma vb.) CO₂ gazının faylardan ya da kırıklardan atmosfere yayılması gibi riskleri bulunduğundan, depolama uygulamaları için tercih edilmemektedir. Geçirimsiz jeolojik birimler ile çevrili gözenekli jeolojik formasyonlar CO₂ gazının uzun süreli olarak güvenli bir şekilde yeraltında depolanabilmesi için avantajlı olarak değerlendirilmektedir [27]

Trakya havzasında kömür oluşumunun bulunduğu Danişmen formasyonu içerisinde, ruhsat alanlarında tektonik olayların etkisi az da olsa vardır. Fakat kömür üzerinde bulunan formasyonlar çok kırılğan ve zayıf yapıdadır. Yeraltı kömür üretimi tasman olarak yerüstüne yansımaktadır. Bu durum uzun süreli güvenli karbon depolama potansiyeli açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Bundan dolayı incelenen yeraltı maden sahasında jeolojik formasyonlarda karbon depolama potansiyelinin sınırlı olduğu değerlendirilmiştir.

3.3.3.2 Ağaçlandırma Sahasında Karbon Depolama

Kiremitçiler Grup açık işletme yapılan alanlarda işin gereği dolgu alanları yapmaktadır. Bu alanlarda madencilik çalışmaları bittiğinde dolgu alanının üstünde kalan düz alan genellikle tarım arazisi olarak, şevler ise ağaçlandırma alanı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca eski açık işletme alanı olan yerüstü tesis yerleşim alanlarında da ağaçlandırma çalışmaları yapılmaktadır. Şimdiye kadar 120.000 m² üstünde alanda çeşitli türlerde ~30,000 fidan dikimi yapılmış, ~80 hektar alan madencilik işlemi bittikten sonra tekrar doldurularak tarımsal kullanım için düzenlenmiştir. Şekil 3.41 ve 3.42’de maden sahası çevresinde ağaçlandırma çalışmalarına ait görünüm verilmektedir. Şekil 3.43’de ise maden sahası yerüstü tesisleri ve ağaçlandırma alanları harita üzerinde verilmiştir.



Şekil 3.41 Yerüstü Tesisleri ve ağaçlandırma çalışmaları



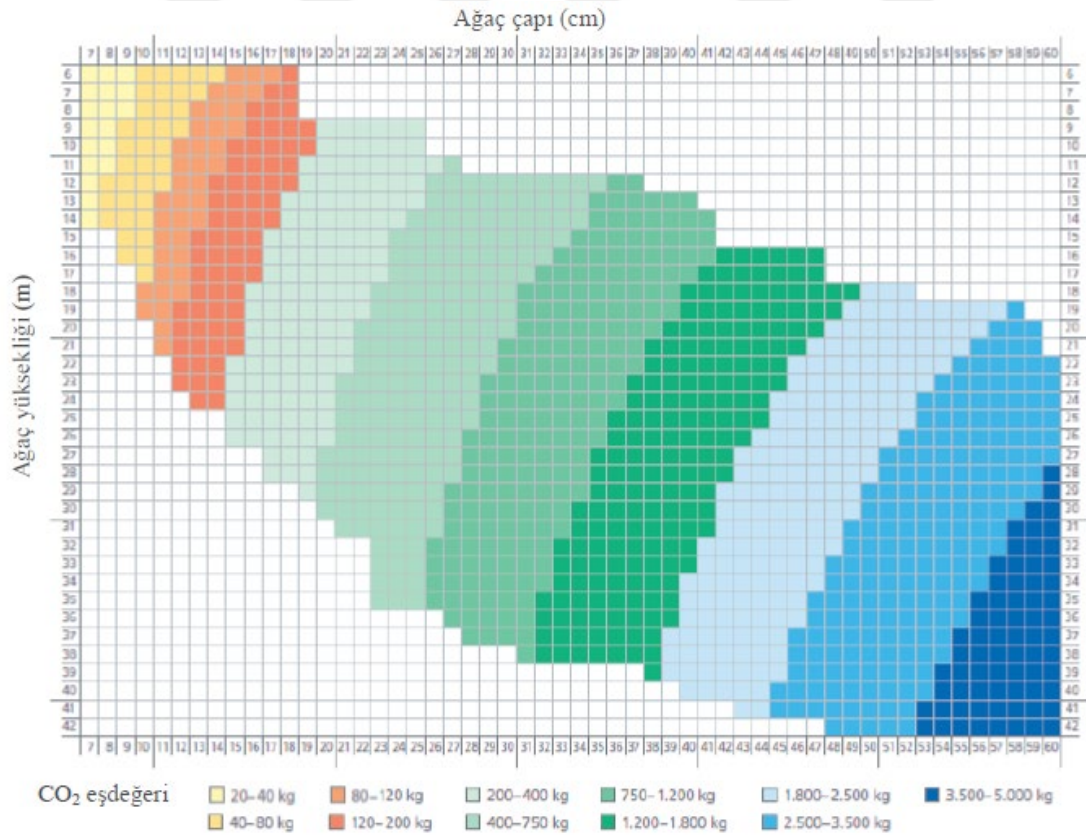
Şekil 3.42 Ocak döküm alanları ve ağaçlandırma çalışmaları

ÖZŞEN MADEN İŞLETMELERİ AĞAÇLANDIRMA ALANLARI

29.04.2023



Şekil 3.43 Yerüstü Tesisleri ve ağaçlandırma haritası



Şekil 3.44 Çam ağacı için karbon miktarı ve eşdeğer CO₂ depolama tahmin abağı [14]

İşletme içerisinde 100,000 m² alanda yapılan ağaçlandırma çalışmaları şu an için farklı türlerde genç ağaçlarla kaplı olsa da birkaç yıl sonra büyüyecek ve karbon depolama kapasiteleri artacaktır. Dikilen ağaçlar çoğunlukla çeşitli çam ağaçlarıdır. Ayrıca farklı meyve ağaçları da ekilmiştir. Şu anki fidan sayısına göre Kütahya sahasında yapılan kaba hesabı burada da yapacak olursak: 30,000 fidan, 10 m yükseklik ve 20 cm çapa geldiğinde ~6000 ton CO₂ eşdeğer depolama kapasitesine ulaşacaktır. Sahada çalışmalara paralel ağaçlandırma çalışmaları ve dikilecek ağaç türü araştırmaları sürekli devam etmektedir. Bu nedenle karbon depolama miktarı gelecekte daha fazla olacaktır.

3.3.4 Kömür Madeni Sahaları Olanaklarının Analizi ve Değerlendirilmesi

Bu çalışmada Kiremitçiler Grup linyit kömürü işletme sahası için sürdürülebilir enerji ve karbon depolama potansiyeli incelenmiştir. Sürdürülebilir enerji açısından özellikle güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Karbon depolama potansiyelinin incelenmesi için jeolojik formasyonlarda ve ağaçlandırma sahasında CO₂ depolama olanakları değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerden bölgede rüzgar türbinlerinden elektrik üretimi potansiyelinin yüksek olduğu, karbon tutma/depolama açısından kömür maden sahası ve çevresinde ağaçlandırma çalışmalarının önemli potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Maden sahası çevresi ve bölgede araziler ağırlıklı olarak tarımsal amaçlı değerlendirilmektedir. Bundan dolayı da yüksek kapasiteli güneş enerjisi tesislerine kıyasla arazi ihtiyacı sınırlı olan rüzgar enerjisi tesisi avantajlı olarak değerlendirilmektedir.

Kömür madeni sahası ve çevresinde güneş enerjisi potansiyeli nispeten sınırlı olmasına karşın maden işletmesinin elektrik ihtiyacını karşılamak için ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli açısından daha verimli olan (Konya, Van vb.) ve tarımsal amaçlı kullanılmayan alanlarda lisanslı veya lisanssız fotovoltaik elektrik üretim tesislerinin kurulması değerlendirilmelidir. Konu ile ilgili teşvik mekanizmaları ve giderler (iletim bedeli, tesis maliyeti, birim elektrik üretim maliyeti vb.) analiz edilerek karar verilmelidir.

Kömür hazırlama artıklarının kalorifik ve diğer özellikleri analiz edilerek maden işletmesinin elektrik ihtiyacının karşılanmasında verimli kullanılıp kullanılamayacağı değerlendirilmelidir. Trakya havzasının önemli bir termik santral potansiyeli olup, çevresel ve ekonomik faktörler de irdelenerek, ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir.

Kapalı işletme nefeslik hava çıkışlarında ki hava akımından yararlanarak mikro RES kurulumları yapılabilir ve büyük kapasiteli olmasa da enerji üretimi yapılabilir. Konunun yapılabilirliği ve verimi araştırılmaya açıktır.

Eski açık işletme alanlarında oluşturulan göletler olası yangın risklerinde ya da tarımsal kullanım için çok önemlidir. Bu nedenle oluşturulacak göletlerin konumları iyi planlanmalıdır. Tarımsal amaçlı veya ağaçlandırma çalışmaları için geri kazanılacak alanlar da iyi planlanmalıdır.



BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemiz konum olarak özellikle güneş enerjisinden çok iyi faydalanılabilecek bir yerdir. Bunun yanı sıra rüzgar da ülke genelinde bazı bölgelerde daha verimlidir. Bu iki enerji kaynağı dışında su, biyokütle, vb. alternatif enerji kaynakları da vardır. Tez konusunda literatür taraması yapıldı ve Dünya’da maden sahalarında yenilenebilir enerji çalışmalarının arttığı görüldü. Ülkemizde ise bu çalışmalar son iki yılda yapılan teşvikler ve düşen maliyetler sonrasında hız kazandı. Pilot sahalarda yapılan incelemeler, yenilenebilir enerji ve karbon depolama potansiyelinin varlığı ve uygulanabilirliği üzerine oldu.

Çalışma kapsamında Kütahya ili Tunçbilek Kömür Maden sahası ve Trakya kömür maden sahalarında yenilenebilir enerji kullanım potansiyeli incelenmiştir. İnceleme sonucunda Tunçbilek Kömür maden sahalarında güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu ve açık işletme sahasının uygun rehabilitasyonu ile verimli elektrik üretimi imkanına sahip olduğu belirlenmiştir. Sahanın rüzgar enerji potansiyeli ise sınırlı olarak değerlendirilmiştir. Trakya bölgesi ise Türkiye ortalamasına göre rüzgar gücü olarak daha avantajlı konumdadır. Trakya kömür sahası için yapılan incelemelerde işletme sahası çevresinde yüksek rüzgar enerji potansiyelinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Yerinde yapılan gözlemler ile bu durum teyit edilmiştir. Trakya kömür sahasının güneş enerji potansiyeli incelendiğinde ise ülke geneline kıyasla daha sınırlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca maden sahası çevresinde etkili olabilen tozlu koşullar ve madencilik sonrası arazilerin ağırlıklı olarak tarımsal amaçlı tekrar değerlendirilmesi nedeniyle güneş enerji paneli kurulumu yapacak alan sınırlıdır. Fakat madencilik faaliyeti yapılan bölge de su en büyük sorunlardandır. Çünkü yıllık bölgeye gelen yağıştan daha fazlası buharlaşmakta, birçok gölet yaz aylarında kurumaktadır. Bu hem madencilik hem tarımsal kullanım için çok kritik öneme sahiptir. Göletler üzerine Yüzer GES kurulumu enerji üretimi yaparken, göletlerde ki su buharlaşmasının da önüne geçer.

Pilot olarak seçilen Trakya kömür sahasında şu an tam mekanize sistem ile linyit üretimi yapılmaktadır. Burada elektrik kesintileri sisteminin çalışmasını olumsuz etkilemektedir. Saha

evresinde rüzgar enerjisi santrali ve entegre yüksek kapasiteli elektrik depolama sistemi ile birlikte maden işletmesinin elektrik enerjisinin kesintisiz sağlanması önemli katkıları olacaktır.

Jeolojik formasyonlarda karbon depolama konusunda Trakya kömür madeninin sığ derinliklerde üretim yapmasının da etkisiyle CO₂ 'in güvenli bir şekilde yeraltında depolanmasına olanak bulunmamaktadır. Kütahya Tunçbilek kömür maden sahasında ise derin sahalar olarak adlandırılan saha uygun derinlikte yer almasına karşın, jeolojik formasyonun yapısal özellikleri (fay, vb.) nedeniyle depolama alanının geçirimsizliğin sağlanması uygun bulunmamıştır.

Hem Trakya hem de Tunçbilek kömür maden sahalarında üretim sonrası sahaların ağaçlandırılması ile kalıcı karbon depolama potansiyeli yüksektir. Bu nedenle madencilik faaliyetleri ve sonrası için iyi bir planlama yapılarak çalışmalar yapılırsa hem daha çevreci hem de daha ekonomik işletmecilik yapılabilir. Mevcut durumda her iki sahada da ağaçlandırma çalışmaları devam etmektedir.

Mevcut maden sahalarında, açık işletme çukurlarında madencilik sonrası biriken suların oluşturduğu göletler hem maden su ihtiyacının karşılanmasında, hem de bölgede olası yangın risklerinde su kaynağı sağlama potansiyeli taşımasıyla çok önemlidir.

Kapalı işletme nefeslik hava çıkışlarında ki hava akımından yararlanarak mikro RES kurulumları yapılabilir ve büyük kapasiteli olmasa da enerji üretimi yapılabilir. Burada önemli olan amortisman süresidir. Bu konuda kavramsal araştırmalarım devam etmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Elektrik Nasıl Üretilir (25.10.2022)

Aydem Adres: <https://www.aydemperakende.com.tr/blog/elektrik-nasil-uretilir-elektrik-uretiminin-cesitleri>

[2] URL-1 < <https://www.irena.org> >, Ziyaret Tarihi: 25.06.2023

[3] Elektrik üretim fiyatlarının yıllara içinde gelişimi (18.12.2023)

IRENA Adres: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Global-Trends>

[4] URL-2 < <https://enerjibaba.com> >, Ziyaret Tarihi: 25.05.2022

[5] Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) (t.y.)

GEPA Adres: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>

[6] URL-3 < <https://globalsolaratlas.info> >, Ziyaret Tarihi: 10.05.2023

[7] EİGM Güneş (26.08.2022)

EİGM Adres: <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>

[8] Türkiye'deki Güneş Enerji Santrallerinin Dağılımı (t.y.)

Enerji Atlası Adres: <https://www.enerjiatlas.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>

[9] Grid-scale Storage (11.07.2023)

IEA Adres: <https://www.iea.org/energy-system/electricity/grid-scale-storage>

[10] URL-4 < <https://globalwindatlas.info> >, Ziyaret Tarihi: 15.06.2023

[11] Türkiye'deki Rüzgar Enerji Santrallerinin Dağılımı (t.y.)

Enerji Atlası Adres: <https://www.enerjiatlas.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/turkiye>

[12] URL-5 < <https://www.enerjiportali.com> >, Ziyaret Tarihi: 13.04.2023

[13] Jeotermal Kaynaklar Haritası (t.y.)

MTA Adres: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/jeotermal-harita/images/1.jpg>

[14] LWF “Kohlenstoffspeicherung von Baumen.” Merkblatt 27.Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2011

[15] EİGM Elektrik (t.y.)

EİGM Adres: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>

KAYNAKLAR (devam ediyor)

[16] EPDK Elektrik Piyasası Sektör Raporu

EPDK Adres: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu>

[17] MW100 Türkiye'nin En Büyük 100 Elektrik Üreticisi Araştırma Raporu (10.04.2023)

Enerji Günlüğü Adres: <https://www.enerjigunlugu.net/d/file/mw100-raporu-2023-210323-s.pdf>

[18] MAPEG 2020 Maden İstatistikleri (10.07.2023)

MAPEG Adres: <https://www.mapeg.gov.tr/Sayfa/Madenistatistik>

[19] 2021 Kömür Sektör Raporu, (t.y)

TKİ Adres: <https://www.tki.gov.tr/yayinlar>

[20] EURACOAL (t.y.)

EURACOAL Adres: <https://euracoal.eu/info/country-profiles/turkey/>

[21] URL-6 < <https://www.rwe.com/en> > Ziyaret tarihi: 10.05.2022

[22] URL-7 < <https://www.lmbv.de/> > Ziyaret tarihi: 10.05.2022

[23] Öztürk M, Özek N ve Yüksel Y E (2010) Doğalgazdan Hidrojen Üretilmesi ve Salınan Karbondioksitin Tutulması. *SDU International Technologic Sciences*, 1-13.

[24] URL-8 < <https://gli.tki.gov.tr> > Ziyaret tarihi: 15.05.2022

[25] URL-9 < <https://cw-enerji.com> > Ziyaret tarihi: 22.05.2022

[26] Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) (t.y.)

GEPA Adres: <https://repa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>

[27] Şahin, N., Özarslan, A., Barış, K. (2006) Derin kömür damarlarında CO₂ değerlendirme ve depolama olanakları, *Türkiye 15. Kömür Kongresi*, 7-9 Haziran, Zonguldak, Türkiye 69-84.

[28] URL-10 < <https://www.tki.gov.tr> > Ziyaret tarihi: 15.06.2021

[29] Lebküchner R.F (1973) Orta Trakya oligoseninin jeolojisi hakkında (Çev. Zerrin BENGİ)

[30] URL-11 < <https://kiremitciler.com.tr> > Ziyaret tarihi: 15.07.2023

[31] Kaniye RES bilgileri (t.y)

Enerji Atlası Adresi: <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/kaniye-ruzgar-enerji-santrali.html>

[32] Petkim RES bilgileri (t.y)

Enerji Atlası Adresi: <https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/petkim-ruzgar-santrali.html>

KAYNAKLAR (devam ediyor)

[33] Saray DRES bilgileri (08.08.2023)

Enerji Günlüğü Adresi: < <https://www.enerjigunlugu.net/selenka-elektrik-tekirdagda-depolamali-res-kuracak-55159h.htm> > Ziyaret tarihi:





ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Osmaniye’de yaptı. 2009-2011 yılları arasında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Harita ve Kadastro bölümünü okudu. 2011-2012 yılları arasında Harita Teknikeri olarak farklı firmalar da görev yaptı. 2012-2017 yılları arasında Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünün de okudu. 2019-2023 yılları arasında Bülent Ecevit Üniversitesi’nde maden mühendisliğinde yüksek lisans yaptı. 2014-2021 yılları arasında TKİ Garp Linyitleri İşletmesi’nde Harita Teknikeri olarak çalıştı. 2021 yılından itibaren Kiremitçiler Grup bünyesinde Maden Mühendisi olarak çalışıyor.