

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN RÜZGAR VE
GÜNEŞ ENERJİSİNİN İNCELENMESİ VE GÜNEYDOĞU
ANADOLU BÖLGESİ'NDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ANALİZİ**

**Hazırlayan
M. Tahir UÇAR**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU**

Yüksek Lisans Tezi

**Mart 2017
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



M. Tahir UÇAR

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgar ve Güneş Enerjisinin İncelenmesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Uygulanabilirliğinin Analizi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

M. Tahir UÇAR



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU



Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU danışmanlığında M. Tahir UÇAR tarafından hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgar ve Güneş Enerjisinin İncelenmesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Uygulanabilirliğinin Analizi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

11.04.2017

(Tez Savunma Sınav Tarihi Yazılacak)

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Ferhat DALDABAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ÖNEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun ~~18/04/2017~~ tarih ve ~~2017/18-14~~ sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde büyük katkı sahibi sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.



M. Tahir UÇAR
Kayseri, Mart 2017

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN RÜZGAR VE GÜNEŞ
ENERJİSİNİN İNCELENMESİ VE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NDE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ANALİZİ**

M. Tahir UÇAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mart 2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

ÖZET

Günümüzde kullanılan yenilemeyen enerji kaynaklarının tükenecek olması, çevreye zarar vermesi ve kaynak sıkıntısı yaşanması gibi nedenlerden dolayı alternatif enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynakları dikkat çekmekte olup dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Buna paralel olarak Türkiye’de de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili araştırma ve çalışmalar hızlanarak devam etmektedir. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş ve rüzgar açısından yüksek bir potansiyele sahiptir. Rüzgar enerjisi açısından değerlendirildiğinde ülkedeki santrallerin çoğunu lisanslı rüzgar santralleri oluşturmakla beraber rüzgar enerjisi alanında büyük gelişmeler yaşanmakta ve kurulu güçte hızlı bir yükselme görülmektedir. Güneş enerjisinin kullanımı ise lisanslı santraller alanında pek gelişmemekle beraber lisanssız santraller ile artmaktadır. Fakat mevcut potansiyele göre güneş enerjisi çalışmaları yavaş ilerlemekte ve henüz yeni yeni ülkenin kurulu gücü içerisinde güneş enerjisi santralleri kendine yer bulabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, öncelikli olarak güneş ve rüzgar enerjileri incelenmiş olup Dünya, Avrupa ve Türkiye’nin güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelleri analiz edilmiştir. Sonrasında ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneş ve rüzgar enerji potansiyeli incelenerek bu enerji kaynaklarının kullanımı ve bölgede uygulanabilirliği irdelenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneş enerjisi bakımından ülkenin en iyi potansiyeline sahip bölge olduğu ve bu alandaki yatırımların hızlandırılması gerektiği, rüzgar enerjisi açısından ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin görece daha az bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu potansiyelin değerlendirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi; rüzgar enerjisi;
Güneydoğu Anadolu Bölgesi.

**ANALYSIS OF WIND AND SOLAR ENERGY IN RENEWABLE ENERGY
RESOURCES AND APPLICABILITY IN SOUTHEAST ANATOLIA REGION**

M. Tahir UÇAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, March 2017

Supervisor: Assistant Prof. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU

ABSTRACT

It is desired to be reduced the use of non-renewable energy sources due to reasons such as limited reserves, environmental problems and reaching the energy sources. Therefore, there is an increasing interest to renewable energy sources as alternative energy sources for this purpose in the world. Research and studies on renewable energies continue to accelerate in Turkey in the same way. In this context, Turkey has a very high potential for solar and wind from renewable energy sources. In the field of wind energy, the licensed power plants are predominant in the country and the installed power value increases rapidly. Although, it is not possible to be said similar things for solar energy, the installed power also increases due to unlicensed power plants in the country. However, solar energy studies need to be increased because of potential of the country.

In this thesis study, solar and wind energy sources are taken into account and potentials of these sources in the world, Europe and Turkey are examined. Then, solar and wind energy potential of the Southeastern Anatolia Region are evaluated and the practicability of these energy sources in the region is considered. It is determined that the Southeastern Anatolia Region has the most solar energy potential in the country and investments should be accelerated in this region. Although the Southeastern Anatolia Region has a less potential for wind energy compared to its solar energy potential, the exist potential should be evaluated.

Keywords: Renewable Energies; solar energy; wind power; Southeastern Anatolia Region.

İÇİNDEKİLER

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN RÜZGAR VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN İNCELENMESİ VE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ANALİZİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR	v
ÖZ	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1
Tezin Amacı ve Önemi.....	5

1. BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAVRAMI

1.1. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri	6
1.2. Yenilenebilir Enerjinin Tanımı ve Kapsamı	10
1.3. Yenilenebilir Enerjinin Gerekliliği	11
1.4. Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payı.....	12

2. BÖLÜM

DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAVRAMLARI

2.1. Hidrolik Enerji	16
2.2. Jeotermal Enerji.....	19
2.3. Biyokütle Enerjisi.....	22
2.4. Güneş Enerjisi	25
2.5. Rüzgar Enerjisi	27

3. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ VE TÜRKİYE'DE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NDE UYGULANABİLİRLİĞİ

3.1. Güneş Enerjisi Ve Teknolojileri	30
3.2. Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	32
3.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	33
3.4. Türkiye ile Avrupa Ülkelerinin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Karşılaştırılması .	35
3.5. Türkiye'de Güneş Enerjisi Kullanımının Gelişim Süreci	39
3.6. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Diğer Bölgeler ve Türkiye Ortalaması ile Karşılaştırılması	43

4. BÖLÜM

RÜZGAR ENERJİSİ VE TÜRKİYE'DE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NDE UYGULANABİLİRLİĞİ

4.1. Rüzgar Enerjisi	54
4.2. Dünya Genelinde ve AB Ülkeleri'nde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Türkiye'nin Yeri	56
4.3. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi ve Kullanımında Gelişim Süreci.....	58
4.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Rüzgar Enerjisi	63
4.4.1 Güneydoğu Anadolu Bölgesi İle Diğer Bölgelerin Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Karşılaştırılması	63
4.4.2 Güneydoğu Anadolu Bölgesi için REPA Verilerinin Değerlendirilmesi...	64

4.4.3 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki İller Açısından Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Bölge Dışındaki İller ile Kıyaslanması.....	67
4.4.4 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Değerlendirmede Olan Rüzgar Enerjisi Santralleri.....	71

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç	74
5.2 Öneriler	77
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Kısaltma</u>	<u>Anlamı</u>
PV	Fotovoltaik (PhotoVoltaic)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas)
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
Ar-Ge	Araştırma- Geliştirme
CSP	Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi (Concentrating Solar Power)
REN21	21'inci Yüzyıl Yenilenebilir Enerji Politikaları Ağı (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century)
BRICS	Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti (Brasil, Russia, India, China, South Africa)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
HES	Hidroelektrik Santral
MTA	Maden Tetkik ve Arama
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
AB	Avrupa Birliği
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GES	Güneş Enerjisi Santrali
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
WEC	Dünya Enerji Konseyi (World Energy Council)
GWEC	Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (Global Wind Energy Council)
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
MWe	Mega Watt enerji
KW	Kilo Watt
KWh	Kilo Watt saat

KWp	Kilo Watt Fotovoltaik
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt saat
MWp	Mega Watt Fotovoltaik
GW	Giga Watt
GWh	Giga Watt saat
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
NO	Azotmonoksit
SO ₂	Kükürtdioksit
HVO	Hidro İşlem Görmüş Bitkisel Yağ (Hydrotreated Vegetable Oil)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması	7
Tablo 2.1.	Ülkelerin 2015 Yılı Yenilenebilir Elektrik Güç Kapasiteleri (GW)	16
Tablo 2.2.	2015 Yılında Hidrolik Enerjinin Dünyadaki Durumu	17
Tablo 2.3.	Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Santralleri Profili	17
Tablo 2.4.	Türkiye'nin 2002-2015 Yılları Arasındaki Hidroelektrik Santrallere Dayalı Elektrik Enerjisi Üretimi ve Toplam Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı ..	18
Tablo 2.5.	Dünyada 2015 yılı Jeotermal Enerjiye Dayalı Elektrik Santralleri Kurulu Gücü	20
Tablo 2.6.	2002-2015 Yılları için Türkiye'deki Jeotermal Uygulamaların Karşılaştırılması.	21
Tablo 2.7.	2009-2015 Yılları için Türkiye'deki Jeotermal Elektrik Enerjisi Üretimi (GWh).	21
Tablo 2.8.	Türkiye'de Jeotermal Enerji Elektrik Santralleri Profili.....	22
Tablo 2.9.	Ülkelerin 2015 Yılı Biyoyakıt Üretim Miktarları (Milyar Litre).	23
Tablo 2.10.	Türkiye'de Yer Alan Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Piroolitik Yağ Enerji Santralleri Profili.....	25
Tablo 2.11.	Dünyadaki Fotovoltaik Güneş Enerjisi Kurulu Gücü En Yüksek 10 Ülkenin 2015 Yılı Değerleri.	26
Tablo 2.12.	Türkiye'de Güneş Enerjisi Santralleri Profili.....	27
Tablo 2.13.	Dünyadaki Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü En Yüksek 10 Ülkenin 2015 Yılı Değerleri.....	28
Tablo 2.14.	Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Santralleri Profili.....	29
Tablo 3.1.	Ülkelerin 2015 Yılı Güneş Enerjisi Elektrik Güç Kapasiteleri (GW)	32
Tablo 3.2.	Dünyadaki Fotovoltaik Güneş Enerjisi Kurulu Gücü En Yüksek 10 Ülkenin 2015 Değerleri.....	33
Tablo 3.3.	Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli.....	34
Tablo 3.4.	2015 Yılı Sonu ve 31 Temmuz 2016 Sonu İtibariyle Yakıt Türlerine Göre Türkiye'deki Elektrik Enerji Santrallerinin Durumu.	37
Tablo 3.5.	Güneş Işınım Miktarını Etkileyen Bileşenler ve Etkileri.....	43
Tablo 3.6.	Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli	47

Tablo 3.7.	Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere göre Dağılımı	49
Tablo 3.8.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki İllere Göre Enerji Teşvikleri	52
Tablo 3.9.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Güneş Enerjisi Santrallerinin Durumu ve İl Bazındaki Dağılımı	52
Tablo 4.1.	Dünya Genelinde ve AB Ülkelerinde 2015 Yılı Yenilenebilir Elektrik Güç Kapasiteleri (GW)	57
Tablo 4.2.	Ülkelerin 2015 Yılı Rüzgar Enerjisi Güç Kapasiteleri (GW).....	57
Tablo 4.3.	Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	62
Tablo 4.4.	Bölgelere Göre Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu ve Rüzgar Hızı.....	63
Tablo 4.5.	İşletmede, İnşaat Halinde ve Değerlendirmede Olan Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Güç Bakımından Bölgelere Göre Dağılımı	64
Tablo 4.6.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrali Güç Kapasitesi	67
Tablo 4.7.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde İşletmedeki ve İnşaat Halindeki Rüzgar Enerjisi Santralleri.....	69
Tablo 4.8.	İllere Göre Rüzgar Santrali Potansiyeli Verileri.....	70
Tablo 4.9.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Lisanslı Rüzgar Santrali için Tahsis Edilen Kapasiteler ve Değerlendirmede Olan Başvurular.....	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Küresel Birincil Enerji Payları.....	8
Şekil 1.2.	Dünyada Birincil Enerji Tüketimi (MTEP)	8
Şekil 1.3.	Türkiye’de 2015 Yılı Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı	13
Şekil 1.4.	2016 Yılı Haziran Ayı Sonu İtibarı İle Türkiye’deki Elektrik Enerjisi Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı	13
Şekil 1.5.	Mevcut Elektrik Üretim Santralleri.	14
Şekil 1.6.	Lisanssız Santraller.	13
Şekil 3.1.	Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı.	31
Şekil 3.2.	Güneş Kuşağı Bölgesi.....	34
Şekil 3.3.	AB’ye Aday ve Üye 30 Ülkede Tipik Bir 1 KWp PV Sistemi Tarafından Üretilen Elektrik Enerjisinin Yıllık Toplamı:	
Şekil 3.4.	AB’ye Aday ve Üye Ülkelere Göre Güneye Bakan PV Modülleri için En Uygun Eğim Açılımları	37
Şekil 3.5.	Avrupa Birliği’ne Üye Olan ve Üye Olma Süreci Devam Eden Ülkelerin Yüzölçümlerine Göre Fotovoltaik Potansiyelleri.....	37
Şekil 3.6.	Avrupa Birliği’ne Üye Olan ve Üye Olma Süreci Devam Eden Ülkelerin Enerji İhtiyaçlarını Karşılatabilmek için Gerekli Olan Kişi Başı Fotovoltaik Modül Alanı	38
Şekil 3.7.	Ülkelerin Elektrik İhtiyaçlarının % 1’ini (MWp) Karşılamaları için Gereken PV Kapasitesi.	39
Şekil 3.8.	Dünya Yıllık PV Modül Üretimi (MWh)	39
Şekil 3.9.	Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisi Kurulu Güç Gelişimi (MW)	42
Şekil 3.10.	Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisinin Kurulu Güç İçindeki Katkı Payının Gelişimi (%).	42
Şekil 3.11.	Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisi Santral Sayılarının Değişimi.....	43
Şekil 3.12.	Türkiye Global Güneş Radyasyon Dağılımı Haritası	45
Şekil 3.13.	Türkiye Güneş Santrali Kurulamaz Alanlar Haritası.....	46
Şekil 3.14.	Türkiye için Global Radyasyon Değerleri (KWh/m ² -gün), Güneşlenme Süreleri (Saat) ve PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl)	47
Şekil 3.15.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	49
Şekil 3.16.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ne ait Global Güneş Radyasyon Dağılımı Haritası	50

Şekil 3.17. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Güneş Termik Santrali Kurulamaz Alanlar	50
Şekil 3.18. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait Global Radyasyon Değerleri (KWh/m ² -gün), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Güneşlenme Süreleri (saat).....	51
Şekil 4.1. Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Santralleri için Kümülatif Kurulum	59
Şekil 4.2. Türkiye için 50 m Yükseklikte Rüzgar Hız Dağılımı.....	60
Şekil 4.3. Türkiye için 50 m Yükseklikte Güç Yoğunluğu Dağılımı.....	61
Şekil 4.4. Türkiye için 50 m Yükseklikte Kapasite Faktörü Dağılımı.....	61
Şekil 4.5. Türkiye için Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar.....	62
Şekil 4.6. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Rüzgar Hız Dağılımı	65
Şekil 4.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Güç Yoğunluğu Dağılımı	66
Şekil 4.8. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Kapasite Faktörü Dağılımı.	66
Şekil 4.9. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar..	66
Şekil 4.10. Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Santralleri Haritası	67
Şekil 4.11. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki İllere Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri (MW)	68

GİRİŞ

Elektrik üretiminin ilk keşfi ile beraber insanoğlu medenileştikçe ve teknoloji ile tanıştıkça elektrik ihtiyacı da önemli ölçüde artmış ve elektrik enerjisi artık insanlar için hayatın vazgeçilmez bir parçası olmuştur.

Enerji, günlük yaşamı etkileyen ve biçimlendiren en önemli faktörlerdendir. Su ve gıda gibi temel yaşam ihtiyaçlarının elde edilmesi ve taşınması da enerjiyle sağlanmaktadır. Bu nedenle, enerjinin kaliteli ve kesintisiz olması oldukça önemlidir [1].

Kullanılan ve faydalanılan tüm cihazlar için elektrik enerjisi bir zorunluluk haline dönüşmüştür. Hatta denilebilir ki, bu durum ihtiyaç olmaktan çıkmış artık bir bağımlılık haline dönüşmüştür. Bu yüzden yaşanan elektrik kesilmelerinde hem büyük çaptaki işyerleri hem de küçük işletmeler durmakta, iş yapamamakta ve büyük işgücü kayıpları oluşmaktadır. Evlerde kullanılan cihazlarda da benzer olumsuzluklar yaşanmaktadır [2].

Enerji elde etmek için faydalanılan ve asıl diyebileceğimiz birincil enerji kaynakları; petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga-gelgit, güneş ve rüzgar olup dünya genelinde en fazla tüketilenler ise petrol, doğalgaz ve kömürdür. Bu kaynakların ardından kullanımı daha az olan hidro ve nükleer enerji kaynakları gelmektedir. Bu kaynaklardan sonra ise kullanımı çok çok daha az olan ve henüz yetersiz denilebilecek miktarda yenilenebilir enerji kaynakları yer almaktadır [3,4].

Birincil enerji türlerinin sürekli artan bu ihtiyacı ileride karşılayamaz duruma geleceği, bir gün tükeneceği ve bu enerji türlerinin çevreye verdiği zarar açıkça görölmektedir. Bunun yanında bu enerji kaynaklarının elde edilmesinde yaşanan sorunlar, sürekli değişen fiyatlar ve kaynakların kullanılacak bölgelere nakledilmesi gibi sorunlar da dikkat çekmektedir.

Gelişen teknolojiler ve dünya nüfusundaki hızlı artış ile birlikte enerji ihtiyacı da sürekli olarak artmaktadır. Türkiye’de de sürekli bir gelişim süreci içerisinde olan sanayileşme ve teknoloji alanlarındaki gelişmeler, beraberinde elektrik enerjisine olan gereksinimi fazlasıyla açığa çıkarmaktadır [5]. Özellikle de ülke kalkınması açısından enerjiye olan ihtiyaç, ana önceliklerden birisi olarak değerlendirilmekte ve kalkınma süreçleri içinde enerjinin önemi gün geçtikçe kendini göstermektedir.

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan enerji kaynakları açısından değerlendirildiğinde bu kaynaklara ulaşımı açısından dış ülkelere olan bağımlılık da artan enerji gereksinimini karşılayabilmek için benzer şekilde artmaktadır. Sürekli artan bu enerji ihtiyacına karşılık Türkiye, elektrik enerjisi üretiminde en temel enerji kaynağı olarak kullandığı doğalgaz açısından neredeyse tamamen dışa bağımlı durumdadır. Bunun yanında doğalgaz temini hususunda dış devletlerle yaşanan veya yaşanılması olası görülen sorunlar ve bu kaynakları elde etme gereksinimi de ciddi bir problem oluşturmaktadır [6].

Yaşanan tüm bu problemler, çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını göstermekte ve bu durum beraberinde elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını bir zorunluluğa dönüştürmektedir [2,5]. Bu nedenle, elektrik enerjisinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları olarak sayabileceğimiz hidro kaynaklar başta olmak üzere rüzgar, güneş ve jeotermal gibi doğal, temiz ve tükenmeyen enerji kaynaklarının kullanılmasının çok önemli olduğu açıkça görülmektedir. Türkiye’nin ithal ettiği enerji kaynakları ve özellikle de doğalgaza olan bağımlılığını azaltabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının tamamının elektrik enerjisinin üretiminde kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu konu da ülke kalkınması açısından önemli bir gündem teşkil etmektedir [6].

Yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle de güneş ile rüzgar enerjisi devamlılıkları ve daima yenilenme özellikleri ile tükenmez niteliktedirler. Yenilenebilir enerjilerin çoğu doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisine bağlıdır. Güneşin yeryüzünü ısıtması sırasında oluşan sıcaklık farklılıklarından dolayı rüzgarlar meydana gelmekte ve rüzgârdaki enerji rüzgâr türbinleri aracılığıyla enerjiye dönüştürülmektedir. Güneş ışınları vasıtasıyla okyanus, deniz, göl, akarsu ve nehirlerdeki sular buharlaşmaktadır. Buharlaşan su buharı, atmosfere yükselmektedir. Atmosferde yükselen ve soğuyan su

buharı ise yağmur ya da kara halinde yeryüzüne geri dönüp ırmak veya nehirlerle ulaşmaktadır. Bu nehir veya akarsuların önlerine set çekmek veya baraj yapmak vasıtasıyla toplanan sular hidroelektrik santraller vasıtasıyla su türbinlerinde enerjiye dönüştürülmektedir. Okyanuslarda oluşan gelgit enerjisi, ay ile güneş arasındaki çekim kuvvetinden kaynaklanmaktadır. Ancak okyanus dalgalarının gelgit enerjisiyle birlikte rüzgârların da bu oluşan okyanus enerjisinde etkisi büyüktür. Güneş ışınlarının okyanus yüzeyini ısıtmasıyla okyanusun üst yüzeyleri ısınmakta, alt yüzeylere ise güneş ışınları yeterince ulaşmadığından soğuk kalmaktadır. Bu durumda üst kısım ile alt kısımlar arasında sıcaklık farkı oluşmakta ve bu durumun bir enerji kaynağı olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir [1].

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili pek çok alanda çalışmalar ve uygulamalar yapılmakta, değişik teknolojiler geliştirilmektedir. Bu kaynaklar içerisinde rüzgar ve güneş enerjisi kullanım kolaylıkları ve gelişen teknolojileri ile dikkat çekmektedir. Yeryüzünde kullanılan fosil yakıtların yaydıkları gazlarla çevreye zarar vermesinden ve bu kaynakların zamanla azalıp tükenecek olmaları nedeniyle ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma ve alternatif enerji kaynakları üretme çalışmaları içerisine girmektedirler.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde kullanılabilmesi gibi ciddi bir avantaja sahip olan ve kişisel kullanıcılara da hitap eden güneş enerjisi, artık üzerinde ciddi yatırımlar yapılmaya başlanan bir enerji kaynağıdır. Türkiye’de özellikle son yıllarda güneş enerjisi kullanılarak elektrik enerjisinin üretilmesi teşvik edilmekte ve desteklenmekte olup güneş enerjisinin kullanımı da her geçen gün artmaktadır. Fakat bu kullanım oranı ülke potansiyeliyle kıyaslandığı zaman çok düşük seviyelerde kalmaktadır. Son on yılda bu amaçla rüzgar enerjisi kullanmak için özel sektör tarafından birçok yatırım yapılmasına rağmen, güneş enerjisi için benzer şeylerin ifade edilmesi mümkün değildir. Buna rağmen, güneş enerjisi yatırımlarını artırmak için devlet tarafından sunulan destekler ile fotovoltaik (PV: PhotoVoltaic) sistemlerin özellikle lisanssız santraller alanında çarpıcı bir şekilde büyüdüğü gözlenmektedir. Son yıllarda Türkiye’de güneş enerjisi kullanımı, devlet tarafından elektrik enerjisi alım garantisi ve güneş enerjisine kWh başına verilen nispeten daha yüksek ücret gibi teşviklerle desteklenmekte olup fotovoltaik sistemlerin kullanımı da

katlanarak artmaktadır. Ancak lisanslı güneş santralleri için lisans almada yaşanan zorluklar nedeniyle aynı durum geçerli değildir.

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından Dünyada ve Avrupa'da potansiyeli yüksek önemli ülkelerden biri olmasıyla dikkat çekmektedir. Güneş enerjisi açısından Türkiye, potansiyelinin yüksek oluşu ve güneş kuşağı ülkelerinden birisi oluşu gibi avantajlarla coğrafi konum itibari ile güneş enerjisi bakımından oldukça avantajlı durumda bulunmaktadır.

Türkiye'de güneş enerjisi açısından gerekli potansiyelin mevcut olduğu görülmekle beraber bölgeler bazında değerlendirildiği zaman Güneydoğu Anadolu Bölgesi güneş enerji potansiyeli olarak en iyi ve en avantajlı bölge olarak karşımıza çıkmaktadır.

Rüzgar enerjisi, sahip olduğu avantajlar ile önemli bir enerji kaynağıdır. Dünya ve Avrupa ülkeleriyle kıyaslama yapıldığında Türkiye'nin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Türkiye'de hidrolik enerjiden sonra en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı rüzgar enerjisidir. Kişisel kullanıcıların da yararlanabileceği fakat daha çok şirketlerin faydalandığı rüzgar enerjisinin Türkiye'de kullanımı özellikle son on yıldır teşvik edilmekte ve desteklenmektedir. Bununla birlikte elektrik enerjisi üretiminde rüzgar enerjisinin katkısı ve payı da gün geçtikçe yükselmektedir [7].

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi coğrafi konumu ve bu konumun oluşturduğu potansiyeli nedeniyle güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilebilmesi açısından çok avantajlı durumdadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yenilenebilir enerji kaynakları farklı oranlarda kullanılmaktadır. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) verilerine göre, 2014 yılında Türkiye'de üretilen 23,1 milyar kW hidrolik enerji içinde Güneydoğu Anadolu Projesinin (GAP) payı %44,4'tür [8]. Ancak bu çalışmada güneş ve rüzgar enerjisinin durumu irdelenecektir. Zira Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki potansiyelinden dolayı güneş enerjisi hidrolik enerjiden sonra diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre öne çıkmaktadır. Rüzgar enerjisi bakımından da azda olsa değerlendirilecek potansiyeli mevcuttur ve yatırımların bu alana kaydırılması beklenmektedir.

Tezin Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasında, enerji kavramı, başlıca enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları hakkında bilgi verilmesi, rüzgar ve güneş enerjisi potansiyelinin detaylı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Rüzgar ve güneş enerjisinin bir enerji kaynağı olarak önemi ortaya konmakta, Türkiye'nin ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin güneşten ve rüzgardan faydalanma verileri ve bu enerji kaynaklarının bölgede kullanılabilirliği incelenmektedir. Türkiye genelindeki ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde güneş enerjisi kullanarak elektrik enerjisi üretim potansiyeli, bölgedeki PV enerji santralleri için mevcut alanlar, güneş ışınım değerleri ve güneş ışığı süreleri açısından dikkate alınmakta, bazı örnekler verilmekte ve bölgede güneş enerjisinin uygulanabilirliği değerlendirilmektedir. Ayrıca Türkiye genelindeki ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki rüzgar enerjisi potansiyeli incelenmektedir. Rüzgar enerjisinin Türkiye'deki ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki potansiyeline vurgu yapılmakta, ayrıca rüzgar enerjisi potansiyeline bakılarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne dikkat çekilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda 50 m yükseklikteki rüzgar hızı ve rüzgar gücü dikkate alınarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne kurulacak rüzgar santralleri için mevcut potansiyelin uygunluğu irdelenmektedir.

İlerleyen kısımlarda, 4. bölümde Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilerinden faydalanılarak Türkiye genelindeki ve özellikle de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki güneş enerjisi potansiyeli; global radyasyon değerleri, güneşlenme süreleri, fotovoltaik sistemlerin uygulanabilirliği ve fotovoltaik sistemlerle üretilebilecek enerji açılarından incelenmektedir. 5. Bölümde ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) verilerinden faydalanılmakta ve bu değerler baz alınarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi için rüzgar değerleri incelenmektedir.

1. BÖLÜM

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAVRAMI

1.1. Enerji Kaynakları ve Çeşitleri

Hayatımızın her alanında kullanılan enerji; kimyasal, nükleer, mekanik (potansiyel ve kinetik), termal (ısı), jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgar, elektrik enerjisi gibi farklı şekillerde bulunabilmektedir. Bu enerji çeşitlerini birbirlerine çevirme yöntemleri mevcuttur. Farklı yöntemlerle enerji elde etmek için kullanılan kaynaklar, enerji kaynakları olarak isimlendirilmekte ve farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Tablo 1.1'de görüldüğü üzere kullanılışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez şeklinde tekrar tekrar kullanılabilen ve tekrar kullanılamayan enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil (primer) ve ikincil (sekonder) enerji kaynakları şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları, yakın bir gelecekte tükeneceği öngörülen enerji kaynakları olup fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; yenilenen ve bitmeyen kaynakları ifade etmektedir [3].

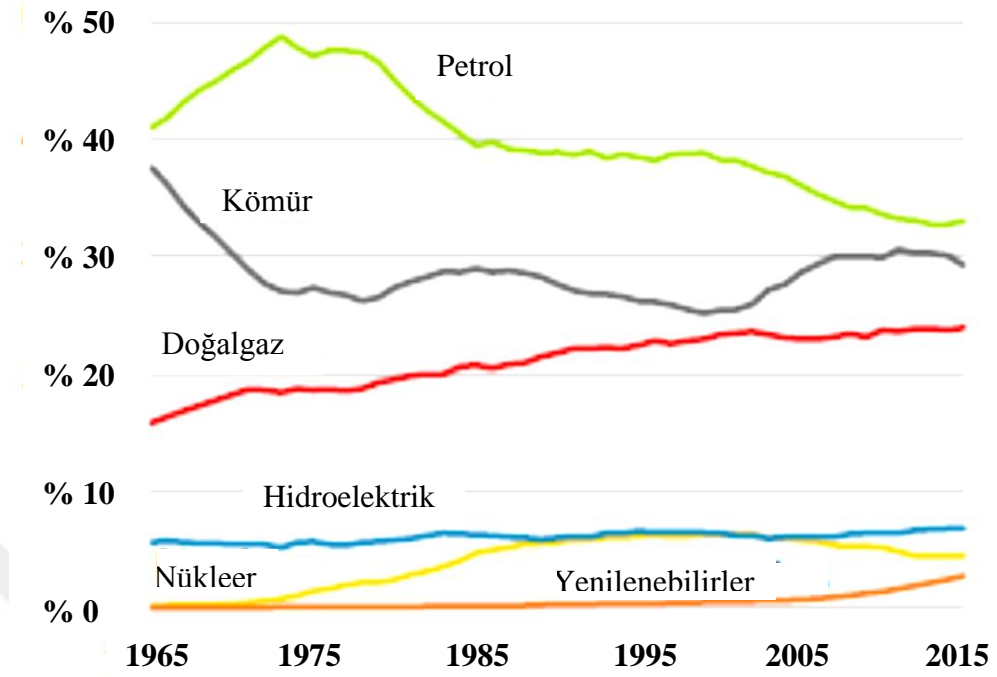
Birincil enerji ile enerjinin bir dönüşüme uğramamış veya herhangi bir değişim geçirmemiş hali kastedilmektedir. Petrol, doğal gaz, kömür, nükleer, hidrolik, dalga-gelgit, biyokütle, güneş ve rüzgar birincil enerji kaynaklarıdır. Birincil enerjinin dönüşüme uğratılması sonucunda üretilen enerji ise ikincil enerji şeklinde tanımlanmaktadır. Bu enerji kaynakları ise başta elektrik enerjisi olmak üzere mazot, benzin, motorin, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG: Liquefied Petroleum Gas), kok kömürü, ikincil kömür, petrokok ve hava gazı şeklinde sıralanabilir [3].

Şekil 1.1’de görüleceği üzere Dünya’da birincil enerji tüketimi olarak en fazla kullanılan kaynaklar petrol, kömür ve doğalgazdır. Bunlardan sonra daha az miktarlarda hidro kaynaklar ve nükleer kaynaklar gelmektedir. Bunlardan daha düşük miktarlarda ise yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerjilerin 2005’ten itibaren yükselen bir grafik çizdiği ve nükleer enerjiye yaklaştığı görülmektedir [4].

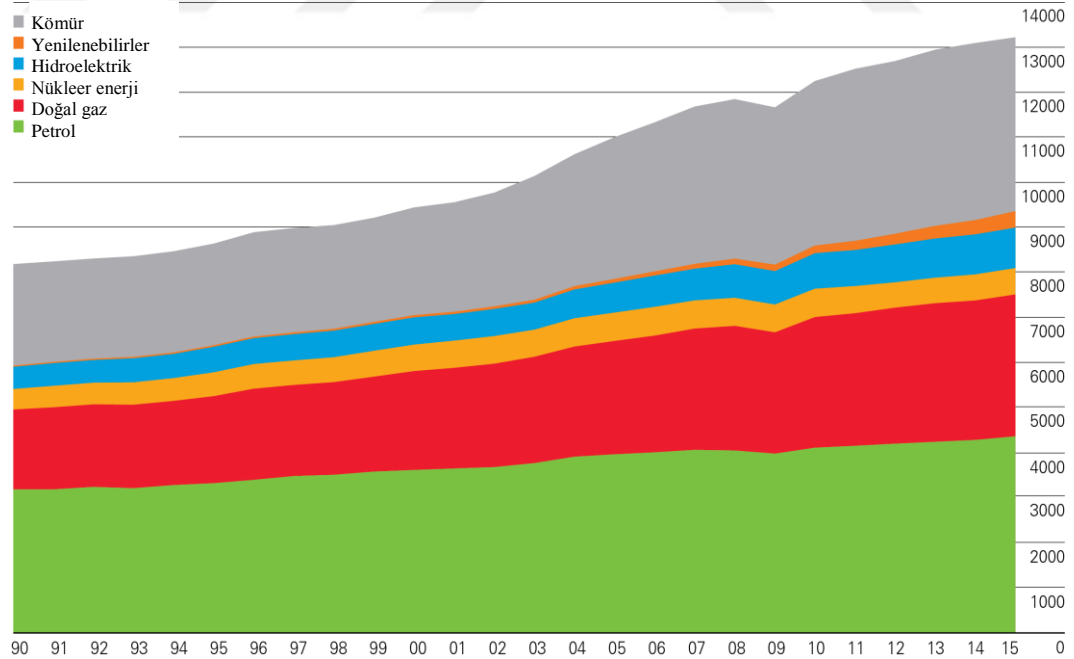
Şekil 1.2’de Dünya’da birincil enerji tüketimleri Milyon Ton Petrol Eşdeğeri (MTEP) cinsinden görülmektedir. 1990-2015 yılları arasında birincil enerji tüketim miktarları incelediğinde; diğer kaynaklar az artmış olmasına rağmen yenilenebilir enerjilerin 90’lı yıllarda hiç kullanılmadığı halde günümüzde artarak kullanıldığı görülmektedir [9].

Tablo 1.1 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması [3]

Enerji Kaynakları	
Kullanılışlarına Göre	Dönüştürülebilirliklerine Göre
A)Yenilenemez (Tükenir)	A)Birincil (Primer)
a)Fosil Kaynaklı	Kömür
Kömür	Petrol
Petrol	Doğal gaz
Doğal gaz	Nükleer
b)Çekirdek Kaynaklı	Biyokütle
Uranyum	Hidrolik
Toryum	Güneş
B)Yenilenebilir (Tükenmez)	Rüzgar
Hidrolik	Dalga. Gel-Git
Güneş	B)İkincil (Sekonder)
Biyokütle	Elektrik, Benzin, Mazot, Motorin
Rüzgar	İkincil Kömür
Jeotermal	Kok, Petrokok
Dalga. Gel-Git	Hava Gazı
Hidrojen	Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG)



Şekil 1.1 Küresel Birincil Enerji Payları [4]



Şekil 1.2 Dünyada Birincil Enerji Tüketimi (MTEP) [9]

Teknolojinin gelişmesi ve dünya nüfusunun artış hızı enerjiye olan gereksinimi de arttırmaktadır. Gittikçe artan bu enerji talebini karşılamak için kullanılan klasik enerji

kaynaklarının zamanla yetersiz kalacağı ve bir gün tükeneceği görülmektedir. Bu durumda yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması gerçeği net olarak görülmektedir. Sahip olduğu özellikler ve avantajlar ile güneş enerjisi, önemi gün geçtikçe daha çok anlaşılan bir enerji kaynağıdır. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli olarak Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında çok daha avantajlı bir konumdadır [5].

Günümüzde ülkelerin çoğu daha çok petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtlardan yararlanmaktadır. Petrol kaynaklı enerjiler risk taşıyan enerjiler olup bu yakıtlar yenilenemeyen yakıtlardır. Zira petrol; fiyatlarının değişmesi ve bir gün tükenmek olması gibi riskleri barındırmaktadır. Doğal gaz ve kömür gibi enerji kaynakları da maliyetlidir ve elbette bunlar da bir gün tükenecektir. Ayrıca yakıtın çıkartılması ve bu yakıtın ihtiyaç olan bölgeye nakledilmesi de ekstra masraf olup maliyeti arttırmaktadır. Enerji kaynağının üretildiği yer tüketileceği yere ne kadar uzaksa maliyet o kadar yükselmektedir. Bu gibi nedenler ise alternatif enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük avantajı çevreye zarar vermemeleridir. Fosil kaynaklı yakıtların insan sağlığı ve çevreye verdiği zararlara ek zamanla yeni yeni olumsuz etkileri ortaya çıkmakta ve bu zararlı etkiler gün geçtikçe artmaktadır. Bu zararların en tehlikelisi ise fosil yakıtlar kullanılmasıyla açığa çıkan sera gazlarının, küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim bozulmalarına neden olmasıdır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanılması sonucunda çevreye karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂) ve azotoksit (NO)_x gibi gazlar salınmaktadır. Sera gazlarının azaltılması amacıyla dünya çapında yapılan uluslararası anlaşmalardan en önemlisi 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolüdür. İmzalanan bu protokole, taraf ülkeler insan kaynaklı CO₂ ve öteki sera gazı salınımlarını 2008-2012 yılları arasında 1990 yılı seviyelerinin en az % 5 altına indirmeyi kabul etmektedirler. Avrupa Birliği (AB) ise bu sorumluluğu % 8 olarak ayrı ayrı tüm üye ülkeler için kabul etmiştir. Protokole göre Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ise sera gazı salınımlarını en az % 7 azaltmayı kabul etmektedir. Ancak o dönemde ABD Başkan Yardımcılığı görevini yürüten Al Gore bu sorumluluğu kabul etmenin mümkün olmadığını ve halkının menfaatleri doğrultusunda değiştirmek için elinden geleni yapacağını söylemiştir. Daha sonra Buenos Aires'te yapılan Taraflar Konferansı'nın sonunda ise, ABD gerçekleştirilen Kyoto Protokolü'nü imzaladığını, ancak; Hindistan ve Çin gibi gelişmekte olan anahtar ülkeler sera gazı

salınımlarını sınırlandırma konusunda herhangi bir sorumluluk üstlenmediği sürece protokole taraf olmayacağını ilan etmiştir. Sera gazlarının salınımı konusunda yaptırımlar arttıkça yenilenebilir enerjilere ilginin artacağı kaçınılmazdır [10].

1.2.Yenilenebilir Enerjinin Tanımı ve Kapsamı

Yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil kaynakların farkı, fosil yakıtların bir defa kullanımla tüketilmesi, tekrar kullanılamaması ve eski haline dönüştürülememesi nedeniyle tek kullanımlık olmasıdır. Ama yenilenebilir enerji kaynakları sürekli yenilenebilmekte, tükenmemekte ve tekrar tekrar enerji elde etmede kullanılabilirlerdir.

Dolayısıyla günümüzde ağırlıklı olarak kullanılan fosil kaynaklı yakıtlar, kullanılıncaya tükenen ve yenilenmeyen enerji kaynaklarını ifade etmekte iken; güneş, su, biyogaz, biyokütle, rüzgâr, hidrojen, jeotermal enerji ve deniz akıntıları ise kullanılıncaya tükenmeyen, tekrar tekrar kullanılabilen, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Artık birçok ülke, artan enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek, fosil enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarını azaltmak ve sera gazlarının salınımı sonucunda oluşan iklim değişikliğini azaltabilmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler [11].

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA: International Energy Agency) yaptığı tanıma göre yenilenebilir enerji; "sürekli yenilenen doğal işlemlerden türetilen enerjidir" [12]. Dünyada serbest halde bulunan sıcak ve soğuk havanın yer değiştirmesiyle oluşan rüzgâr enerjisi, akarsularda akan veya barajlardaki depolanan suyun potansiyelinden kaynaklı hidrolik enerji ve yerküreden aşağılara inildikçe ulaşılan sıcak sulardan elde edilen jeotermal enerji birer yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Diğer bir ifadeyle yenilenebilir enerji dünyada devamlı tekrarlanan enerji akımlarının nitelik ve nicelik özelliklerini bozmayacak şekilde değerlendirilmesi veya dünyanın süregelen dönüşümleri içinde, sonraki süreçlerde de aynen mevcut olan enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır [13].

Dünyanın ısınması ve aydınlanması olaylarına aracılık eden güneşten elde edilen enerji, bitkisel, endüstriyel ve evsel atıkların değerlendirilmesi ile elde edilen biyokütle enerjisi

ve yeryüzünde en çok bulunan element olan hidrojenden elde edilen enerjilerin hepsi yenilenebilir enerjilerdir. Yenilenebilir enerji türlerinin klasik enerji kaynaklarına nazaran daha maliyetli olması önlerindeki en önemli engel olmasına rağmen gün geçtikçe fiyatların düşmesi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gittikçe daha cazip hale getirmektedir. Başlıca masraflar olarak ilk yatırım masrafları dikkat çekmektedir. Bunlar, Araştırma Geliştirme (Ar-Ge) masrafları ve ileri teknoloji ürünü ekipmanların sağlanmasıdır. Alternatif enerji kaynakları olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının çözüm olacağı değerlendirilmektedir. Yenilenebilir teknolojiler yaygınlaştırdıkça maliyetler düşmekte ve kWh başına yenilenebilir enerji maliyetleri gün geçtikçe azalmaktadır. Bu gelişmeler sonucunda da konvansiyonel kaynakların yerini zamanla yenilenebilir enerji kaynaklarının alması veya hiç olmazsa üretilen enerji içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının yüksek değerlere ulaşması hedeflenmektedir. Bu sonucun gerçekleştiği ve gelecek dönem yatırımlarında ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına daha çok yatırım yapacak şekilde planlar yaptığı görülmektedir [14].

1.3. Yenilenebilir Enerjinin Gerekliliği

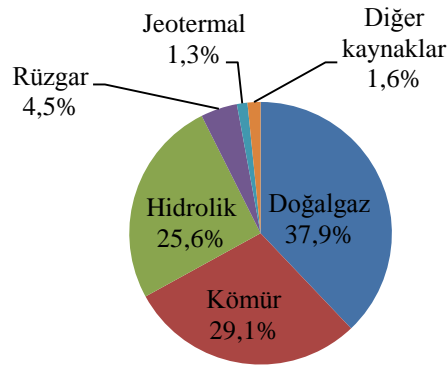
Günümüzde ülkelerin fosil kökenli konvansiyonel enerji sistemlerini terk edip yavaş yavaş yenilenebilir enerji sistemlerine geçiş için gerekli girişim, yatırım ve planlamaları yaptıkları gözlemlenmektedir. Fosil kaynakların sınırsız olmaması, bu kaynakların tüm ülkelerde bulunmaması ve elbette bir gün bitecek olması ülkeleri zorunlu olarak alternatif enerji kaynakları arayışına itmiştir. Ayrıca fosil kökenli konvansiyonel enerji kaynaklarının gün geçtikçe yeni, kötü ve olumsuz sonuçları tespit edilmektedir. Gün geçtikçe daha çok hissedilen bu olumsuz ve insanlar için tehlikeli olan durum çevreye dost ve insanlara zararsız kaynakların gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu olumsuzluklardan en büyüğü olan küresel ısınmanın son yıllarda aşırı seviyelere ulaşmış olması ve iklim değişikliğinin tabii afetlere zemin hazırlamış olduğu bu kaynakların çevreye verdiği zararı göstermektedir [1].

IEA'nın 2020 yılı için öngördüğü senaryoya göre enerji kaynaklı CO₂ emisyon değerlerinin % 6 yükseleceği düşünülmektedir. Bunu önleyebilmek için ise düşük karbon teknolojisi, enerji verimliliği konularında 2020 yılına kadar ortalama 430 milyar dolarlık bir yatırım yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır [15].

Fosil yakıt kullanımının maliyeti gittikçe artmaktadır. Aynı zamanda AB ülkeleri gibi fosil kaynakları bakımından fakir ülkeler için bu kaynakları ithal etmek gerektiğinden çok büyük maliyetlere neden olmaktadır. Enerji ihtiyaçları gün geçtikçe artan ülkeler, gelişimlerini sürdürebilmek için alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadırlar. Artan nüfusla beraber artacak olan enerji ihtiyacını da karşılamak için hem ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayacak hem de ekolojik dengeyi bozmayacak kaynak olarak yenilenebilir enerji kaynakları dikkat çekmektedir [1].

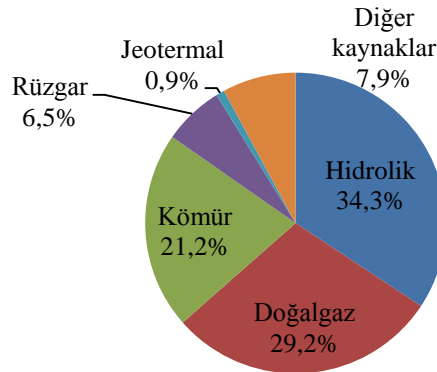
1.4.Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Payı

Şekil 1.3’ten görülebileceği üzere 2015 yılında Türkiye’deki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre paylaşımı incelendiğinde en büyük pay, % 37,9 ile doğal gaz sonrasında ise % 29,1 ile kömüre aittir. Toplamda fosil enerji kaynaklarının payı ise % 67’dir. Geriye kalan enerji kaynaklarının paylarına bakıldığında ise hidrolik kaynaklara % 25,6, rüzgara % 4,5, jeotermal kaynaklara % 1,3 ve diğer kaynaklara % 1,6 pay düşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına düşen paya bakıldığı zaman ise hidrolik enerji % 29,1’lik oran ile en büyük paya sahiptir. Hidrolikten sonraki en önemli yenilenebilir enerji kaynağı olarak ise % 4,5’lik pay ile listede kendine yer bulabilen rüzgar dikkat çekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları toplam üretimin ancak % 34,9’unu karşılayabilmektedir. (Bu orana % 1,6’lık pay içindeki yenilenebilir enerjiler eklenmemiştir.) İşletmeye alınan yeni santrallerle ve kapasitedeki artışların da kurulu güce eklenmesi ile beraber 2016 Yılı Haziran ayı sonu itibarı ile Türkiye’nin kurulu gücü 76.550 MW olarak değerlendirilmiştir. Bu kurulu güç değerlerine göre ise; kurulu gücün % 34,3’ünün hidrolik, % 29,2’sinin doğalgaz, % 21,2’sinin kömür, % 6,5’inin rüzgar, % 0,9’unun jeotermal ve % 7,9’unun diğer kaynaklardan elde edildiği değerlendirilmiştir. Burada rüzgar enerjisi % 6,5 değerlerine ulaştığı, güneş enerjisinin ise henüz listeye giremediği görülmektedir [16].



Şekil 1.3 Türkiye'de 2015 Yılı Elektrik Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı [16]

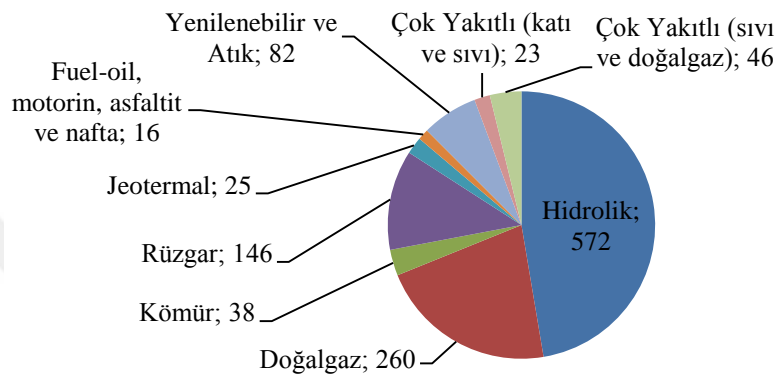
İşletmeye alınan yeni santraller ve kapasite artışları ile elektrik enerjisi kurulu gücümüz 2016 Yılı Haziran ayı sonu itibarıyla devreye alınan yeni santrallerin güçleri ve mevcut santrallerin kapasite artırımları eklenildiğinde 76.550 MW'a erişmiştir. Bu gücün 2016 Yılı Haziran ayı sonu itibarı ile kaynaklara paylaşımına bakıldığında ise Şekil 1.4'ten görülebileceği üzere; hidrolik % 34,3, doğal gaz % 29,2, kömür % 21,2, rüzgar % 6,5, jeotermal % 0,9 ve diğer kaynaklar % 7,9 paya sahiptirler [16].



Şekil 1.4 2016 Yılı Haziran Ayı Sonu İtibarı İle Türkiye'deki Elektrik Enerjisi Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı [16]

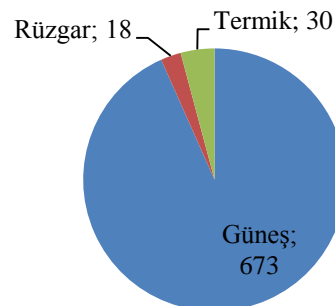
Şekil 1.5'ten görüleceği gibi Türkiye'deki mevcut elektrik santrali sayısı 2016 Haziran ayı sonu itibarı ile 1.882'ye ulaşmıştır. 572 adet ile sayıca en fazla olan santral tipi hidrolik santrallerdir. Sonrasında ise 260 adet ile doğalgaz santralleri gelmektedir. Türkiye'de santral adedi olarak rüzgar santralleri üçüncü sırada olup 146 adet rüzgar santrali bulunmaktadır. Jeotermal santral sayısı 25, fuel-oil, motorin, asfaltit ve nafta

yakıtlı santral sayısı 16, yenilenebilir ve atık santral sayısı 82, çok yakıtlı (katı ve sıvı) santral sayısı 23 ve çok yakıtlı (sıvı ve doğal gaz) santralleri sayısı ise 46 adet olarak görülmektedir. Ayrıca Türkiye’de Haziran 2016 itibarı ile toplamda 722 adette lisanssız santral bulunmaktadır. Bu santrallerin 18 adedi rüzgar 673 adedi güneş ve 30 adedi ise termik santral olarak görülmektedir [16].



Şekil 1.5 Mevcut Elektrik Üretim Santralleri [16]

Şekil 1.6’da verildiği üzere lisanssız santraller incelendiğinde ise güneş enerjisi santral sayısı 673, termik santral sayısı 30 ve rüzgar santrali sayısı 18 olarak görülmektedir [16]. Güneş enerjisi santralleri için lisans almada yaşanan zorluklar nedeniyle kurulan lisanssız santrallerin çok büyük bir kısmının güneş enerjisi santrallerinden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 1.6 Lisanssız Santraller [16]

2. BÖLÜM

DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAVRAMLARI

Dünyada kullanılan başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; biyokütle, jeotermal, hidrolik, okyanus, güneş (PV: Fotovoltaik, CSP: Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi) ve rüzgar enerjileridir. REN21(REN21: 21'inci Yüzyıl İçin Yenilenebilir Enerji Politikaları Ağı) tarafından hazırlanan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Küresel Durum Raporu'na göre seçilmiş ülkeler için 2015 yılına ait çıkarılmış yenilenebilir elektrik güç kapasiteleri Tablo 2.1'de görülmektedir. Bu tabloda ülkeler bazında toplam yenilenebilir elektrik güç kapasiteleri incelendiğinde 496 GW ile yenilenebilir elektrik güç kapasitesi olarak en başta Çin gelmektedir. Çin, 296 GW hidroelektrik enerji kapasitesi, 145 GW rüzgar enerji kapasitesi ve 44 GW güneş (PV) enerji kapasitesiyle hidroelektrik, rüzgar ve güneş (PV) alanlarında yenilenebilir enerjiden en fazla yararlanan ülke durumundadır. Ayrıca 16,7 GW'lık biyokütle enerji kapasitesi ve 3,6 GW'lık jeotermal enerji kapasitesiyle ABD, biyokütle ve jeotermal alanlarında yenilenebilir enerjiden en fazla faydalanan ülkedir. İspanya ise 2,3 GW'lık güneş (CSP) enerji kapasitesiyle güneş (CSP) alanında yenilenebilir enerjiden en fazla faydalanan ülkedir. Dünyanın, Avrupa Birliği'nin ve BRICS'in (BRICS: Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin ve Güney Afrika Cumhuriyeti) yenilenebilir elektrik güç kapasiteleri ise; 1849 GW, 402 GW ve 746 GW olarak tespit edilmiştir [17,18].

Tablo 2.1 Ülkelerin 2015 Yılı Yenilenebilir Elektrik Güç Kapasiteleri (GW) [17]

Kaynaklar	Dünya	AB	BRICS	Çin	ABD	Almanya	Japonya	Hindistan	İtalya	İspanya
Biyokütle	106	36	31	10	16,7	7,1	4,8	5,6	4,1	1
Jeotermal	13,2	1	0,1	0	3,6	0	0,5	0	0,9	0
Hidroelektrik	1.064	126	484	296	80	5,6	22	47	18	17
Okyanus	0,5	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
Güneş (PV)	227	95	50	44	26	40	34	5,2	18,9	5,4
Güneş (Termal,CSP)	4,8	2,3	0,4	0	1,7	0	0	0,2	0	2,3
Rüzgar	433	142	180	145	74	45	3	25	9	23
Toplam Hidrolik dahil	1.849	402	746	496	202	97	65	83	51	49
Toplam Hidrolik hariç	785	276	262	199	122	92	43	36	33	32
Toplam hidrolik dahil kişi başına kW	0,1	0,5	0,1	0,1	0,4	1,1	0,3	0,03	0,5	0,7

2.1. Hidrolik Enerji

Kurulu güç olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyüğü hidrolik enerjidir. Hidrolik enerjinin en çok tercih edilen şekli akarsu veya nehirlerin önlerine setler çekilmek suretiyle oluşturulan yapay göletlerdeki suların potansiyel enerjisinden elektrik enerjisi üretmektir. Bu dönüşüm için ise hidroelektrik santraller kullanılmaktadır [18].

Teorik hidroelektrik potansiyel açısından bakıldığında Türkiye'nin teorik potansiyeli dünyanın %1'i kadardır. Ekonomik potansiyel bakımından ise Türkiye'nin ekonomik potansiyeli Avrupa'nın %16'sı kadardır [19].

Tablo 2.2'de ülkelerin 2015 yılı için hidrolik enerji kurulu güçleri ve dünya hidrolik enerji üretimindeki payları görülmektedir. Dünya'nın 2015 yılı itibarı ile toplam hidrolik kurulu gücü 1.064 GW'dir. Hidrolik kurulu gücü olarak önde gelen ülkeler sırasıyla; Çin, Brezilya, ABD ve Kanada'dır. Türkiye'nin hidrolik enerji kurulu gücü ise 26 GW olarak değerlendirilmektedir. Bu değerlere göre Türkiye'nin Dünya hidrolik enerji üretimindeki payı ise % 2,4'tür [17].

Tablo 2.2 2015 Yılında Hidrolik Enerjinin Dünyadaki Durumu [17]

Ülkeler	Hidrolik Kurulu Gücü (GW)	Dünya Hidrolik Enerji Üretimindeki Payı (%)
Çin	296	27,8
Brezilya	92	8,6
ABD	80	7,5
Kanada	79	7,4
Rusya	48	4,5
Hindistan	47	4,4
Türkiye	26	2,4
Dünya	1064	

Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli içinde en çok yararlandığı kaynak hidrolik kaynaklardır. Hidrolik kaynak potansiyeli olarak incelenecek olursa; Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh, teknik açıdan değerlendirilebilecek potansiyeli 216 milyar kWh ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli ise 140 milyar kWh/yıl olarak değerlendirilmektedir. Enerji sektöründe hidroelektrik santral (HES) yapmak üzere Ocak 2013 itibarı ile ülkede toplam 12.515 MW gücünde 560 santral lisans almış olduğu görülmektedir [19].

Türkiye'deki hidrolik enerji değerleri incelendiğinde, 2016 yılı Haziran ayı sonu itibarı ile 572 adet hidroelektrik santralin devrede olduğu ve bunların toplam kurulu gücünün 26.247 MW olduğu görülmektedir. Bu değer, toplam kurulu gücün yaklaşık %34,3'üne denk gelmektedir. 2015 yılındaki elektrik üretiminin ise %25,6'sı hidrolik enerjiden sağlanmıştır [19]. Kasım 2016 itibarı ile değerlendirildiğinde ise Tablo 2.3'de görüldüğü üzere 591 adet aktif HES santral mevcut olup kurulu gücün 26.503 MW'a ulaştığı görülmektedir. Bu değer ise toplam kurulu gücün % 34,4'üne denk gelmektedir [20].

Tablo 2.3 Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Santralleri Profili [20]

Aktif Santral Sayısı	591
Kurulu Güç	26.503 MWe
Kurulu Güce Oranı	34,40%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 71.472 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	% 27,49
Lisans Durumu	591 lisanslı, 0 lisanssız
Şebeke Bağlantısı	591 var, 0 yok

Tablo 2.4'te Türkiye'nin 2002 ile 2015 yılları arasındaki hidrolik enerji üretimi değerleri görülmektedir. Bu değerler normalde artan bir eğilim gösterirken kurak geçen yıllarda bu değerlerin düştüğü, yağışlı geçen yıllarda ise değerlerin arttığı gözlenmektedir. Hidrolik enerji üretiminin 13 yılda yaklaşık iki kat arttığı dikkat çekmektedir. Fakat son 13 yılda hidrolik üretim iki katına çıkmasına rağmen artan enerji ihtiyacı nedeniyle hidroelektrik üretimin toplam üretim içindeki payı % 25'i geçememiştir [21].

Tablo 2.4 Türkiye'nin 2002-2015 Yılları Arasındaki Hidroelektrik Santrallere Dayalı Elektrik Enerjisi Üretimi ve Toplam Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı [21]

Yıl	Hidrolik Enerji Üretimi (TWh)	Hidroelektrik Üretim Payı (%)
2002	34	25
2003	35	25
2004	46	31
2005	40	25
2006	44	25
2007	36	19
2008	34	16,8
2009	36	19
2010	52	25
2011	52	23
2012	58	24
2013	59	24
2014	40	15,8
2015	67	25

Türkiye'de son yıllarda yaşanan kuraklıklar sonucunda hidroelektrik santrallerden beklenen katkı görülmemesine rağmen 2015 yılında hidroelektrik enerji üretimi 67.146 GWh değerine ulaşmıştır. Ülkede 2023 yılı elektrik enerjisi hedefine göre teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek tüm hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır [19].

2.2. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer altındaki derinliklerde bulunan kayaçların içlerinde bulunan ısının akışkan maddeler vasıtasıyla taşınarak haznelerde depolanması ile oluşan sıcak su, buhar, kuru buhar ve kuru kızgın kayalardan yapay yöntemlerle üretilen ısı enerjisidir [22].

Jeotermal enerji, dünyanın iç ısısıdır. Bu ısı, dünyanın merkezindeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılmakta ve bu yolla üretilen elektrik enerjisi üretimi, evlerin ısıtılması, tarım, seracılık, kışın kaldırımlarda biriken karların eritilmesi ve balıkçılık gibi birçok farklı alanda değerlendirilmektedir. Jeotermal enerji kurulu gücü, elektrik gücü ve ısı üretim gücü olarak iki alanda incelenmektedir [18,23].

Jeotermal enerji, jeotermal kaynakların doğrudan veya dolaylı olarak kullanımını içermektedir. 20°C ile 70°C arasındaki düşük sıcaklıkta olan alanlar öncelikli olarak ısıtmacılıkta kullanılmak üzere, endüstride ve kimyasal madde üretiminde de değerlendirilmektedir. 70°C ile 150°C arasındaki orta sıcaklıkta olan alanlar ve 150°C'nin üstündeki yüksek sıcaklıkta olan alanlar ise elektrik enerjisi üretiminde ve reenjeksiyon şartlarına bakılarak entegre şekilde ısıtma uygulamalarında da değerlendirilmektedir [22].

Tablo 2.5'te 2015 yılı dünya genelinde jeotermal enerji kurulu gücü verilmiştir. Jeotermal elektrik kurulu gücü yüksek olan ülkeler; 3,6 GW ile ABD, 1,9 GW ile Filipinler, 1,4 GW ile Endonezya ve 1,1 GW ile Meksika'dır. Türkiye'nin jeotermal enerji kurulu güç değeri 0,6 GW ve jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretiminde dünya kapasitesine göre payı % 4,5'tir. Türkiye, Dünya'nın 8. büyük jeotermal enerji potansiyeline sahiptir [17].

Tablo 2.5 Dünyada 2015 yılı Jeotermal Enerjiye Dayalı Elektrik Santralleri Kurulu Gücü [17]

Ülkeler	Jeotermal Enerjii Kurulu Gücü (GW)	Dünya Jeotermal Enerji Kurulu Gücü İçindeki Payı (%)
ABD	3,6	27,2
Filipinler	1,9	14,3
Endonezya	1,4	10,6
Meksika	1,1	8,3
Yeni Zelanda	1	7,5
İtalya	0,9	6,8
Türkiye	0,6	4,5
Dünya	13,2	

Türkiye, Alp-Himalaya dağları kuşağında bulunması nedeniyle jeotermal enerji potansiyeli çok yüksek olan bir ülkedir. Ülkenin teorik jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MW'dır. Jeotermal potansiyelin % 79'u ülkenin Batı Anadolu Bölgesindeki alanlarda yer almaktadır. Jeotermal alanların diğer bölgelere dağılımına bakıldığında ise % 8,5'inin Orta Anadolu'da, % 7,5'inin Marmara Bölgesinde, % 4,5'inin Doğu Anadolu'da ve % 0,5'inin ise diğer bölgelerde yer aldığı değerlendirilmektedir. Ülkenin jeotermal kaynaklarının % 94'ü düşük ve orta sıcaklıklı kaynaklar % 6'sı ise yüksek sıcaklıklı kaynaklardır. Bu yüzden büyük miktarda olan düşük ve orta sıcaklıklı kaynakların doğrudan uygulamalarda (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) ve az miktarda olan yüksek sıcaklıklı kaynakların ise dolaylı uygulamalarda (elektrik enerjisi üretimi) kullanılması uygun düşmektedir [22].

Türkiye'de 2005 yılından itibaren Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca mevcut kaynakların geliştirilmesi ve yeni kaynak alanlarının aranması çalışmaları başlatılmıştır. 2004 yılı sonu itibariyle 3.100 MW saat olan kullanılabilir ısı kapasitesi, başlatılan bu çalışma ile 2015 yılında 190.000 metre sondajlı arama daha tamamlanmış ve ülkenin ısı kapasitesine 1.900 MW saat eklenmiştir. Maden Tetkik ve Arama (MTA) tarafından 173 adet olarak belirlenen keşfedilmiş jeotermal saha adedi sonradan yapılan sondajlı aramalarda keşfedilen elektrik üretimine uygun 10 adet saha ve diğer sahalar ile sayı olarak 230 adede ulaşmıştır. Şimdiye kadar toplamda 592 adet kuyuda 350.000 metre sondajlı arama yapılmıştır. Sonuçta doğal çıkışlar da dahil açılan kuyular vasıtasıyla üretilen ısı enerjisi 5.000 MW'dır [22].

Tablo 2.6’da görüldüğü üzere; 2002 yılında elektrik üretimine uygun saha sayısı 16 iken 2015 yılında bu sayı 25 adede ulaşmış ve % 56 artmıştır. 2002 yılında sera ısıtması 500 dönüm iken 2015 yılında 3.931 dönüme ulaşmış ve % 686 artmıştır. 2002 yılında konut ısıtması 30.000 konut iken 2015 yılında bu sayı 114.567 konut değerine ulaşmış ve % 281 artmıştır. 2002 yılında elektrik üretimi 15 MW iken 2015 yılında 612,83 MW değerine çıkmış ve % 3.985 artmıştır. 2002 yılında ülke görünür ısı kapasitesi ise 3.000 MW iken 2015 yılında 14.000 MW’a çıkmış ve % 366 artmıştır [22].

Tablo 2.6 2002-2015 Yılları için Türkiye'deki Jeotermal Uygulamaların Karşılaştırılması [22]

	2002 yılı değeri	2015 yılı değeri	Artış (%)
Elektrik üretimine uygun saha sayısı	16 Adet	25 Adet	56
Sera ısıtması	500 Dönüm	3.931 Dönüm	686
Konut Isıtması	30.000	114.567	281
Elektrik Üretimi	15MW	612,83MW	3.985
Ülke Görünür ısı kapasitesi	3.000MW	14.000MW	366

Tablo 2.7’de görüldüğü üzere 2009 yılında jeotermal enerji santralleri ile üretilen elektrik 436 GWh iken 2015 yılında Jeotermal Enerji Santralleri ile 3.318 GWh elektrik üretimi yapılmıştır. 11.11.2016 tarihinden önceki 365 güne ait jeotermal santraller ile elde edilen elektrik üretim değeri ise 4.096 GWh’tır [24].

Tablo 2.7 2009-2015 Yılları için Türkiye'deki Jeotermal Elektrik Enerjisi Üretimi (GWh) [24]

(*-11.11.2016 tarihinden önceki 365 güne ait jeotermal ile elektrik üretimi değeridir.)

Yıllar	Jeotermal Elektrik Üretimi (GWh)
2009	436
2010	668
2011	694
2012	899
2013	1.364
2014	2.252
2015	3.318
365*	4.096

2015 yılı itibarı ile Türkiye'de bulunan 25 Jeotermal Enerji Santralının toplam kurulu gücü 725,20 MW iken Kasım 2016 itibarı ile ise Tablo 2.8'den görülebileceği üzere 31 adet aktif santral mevcut olup kurulu güç 775 MW'a ulaşmıştır. Aktif santrallerin 120,8 MW'lık kısmı inşaat aşamasında olduğundan aktif güce eklenmemiştir. Bunların dışında santral yapım aşamasında olan 4 adet toplamda 40,52 MW'lık santral, üretim lisansı alan 4 adet toplamda 221,52 MW'lık santral, ön lisans alan 18 adet toplamda 224,955 MW'lık santral ve planlanan 6 adet toplamda 144,71 MW'lık jeotermal santral bulunmaktadır [25].

Tablo 2.8 Türkiye'de Jeotermal Enerji Elektik Santralleri Profili [25]

Türkiye Jeotermal Enerji Santralleri Profili	
Aktif Santral Sayısı	31
Kurulu Güç	775 MWe
Kurulu Güce Oranı	1,01%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 4.100 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	% 1,58
Şebeke Bağlantısı	31 var, 0 yok

Sadece yukarıda bahsedilen tesislerin tamamı devreye alınırsa ve ek santral yapılmazsa bile Türkiye'nin jeotermal kaynaklı santral kurulu gücü 1.527,5 MW değerine ulaşmaktadır. Bu şekliyle dünya değerleriyle kıyaslanırsa ve diğer devletlerin herhangi bir güç artırımına gitmediği farz edilirse Türkiye ABD (3,6 GW) ve Filipinler'in (1,9 GW) ardından 3.sıraya yerleşecektir.

2.3. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, içerisinde karbonhidrat bileşikleri içeren bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddelerden üretilebilecek bir enerji çeşididir. Biyokütle enerji kaynakları yaygın olarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz olarak üç çeşit yakıt üretiminde kullanılmaktadır. Tablo 2.9'da görüldüğü üzere 2015 yılı itibarı ile dünyadaki biyokütle enerji değerleri incelenecek olursa; toplam etanol üretimi 98,3 milyar litre iken; biyodizel üretimi 30,1 milyar litre ve biyogaz üretimi 4,9 milyar litre olarak gerçekleşmiştir. En fazla etanol üretimi yapan ülkeler ABD ve Brezilya olurken; en

fazla biyodizel üretimi yapan ülkeler ABD, Brezilya, Almanya, Fransa, Arjantin, Endonezya ve en fazla HVO (HVO: Hidro İşlem Görmüş Bitkisel Yağ) üretimi yapan ülkeler ise ABD, Hollanda, Singapur, Kolombiya şeklindedir [17,18].

Tablo 2.9 Ülkelerin 2015 Yılı Biyoyakıt Üretim Miktarları (Milyar Litre) [17]

Ülkeler	Etanol (Milyar Litre)	Biyodizel (Milyar Litre)	HVO (Milyar Litre)	Toplam (Milyar Litre)	Dünya Biyoyakıt Enerji Üretimindeki Payı (%)
ABD	56,1	4,8	1,2	62,1	47,5
Brezilya	30	3,9		32,3	24,7
Almanya	0,9	2,8		3,8	2,9
Hollanda	0,4	1,5	1,7	3,6	2,7
Fransa	0,9	2,4	0,1	3,4	2,6
Çin	2,8	0,4		3,1	2,3
Arjantin	0,8	2,1		2,9	2,2
Tayland	1,2	1,2		2,4	1,8
Singapur	0	1	1,2	2,2	1,6
Kanada	1,7	0,3		2	1,5
Dünya	98,3	30,1	4,9	130,7	

Türkiye'nin ortalama yıllık 117 milyar ton biyokütle potansiyeli mevcuttur. Biyokütle kaynaklarından elektrik enerjisi üretim potansiyeli ise yıllık 371,2 TWh olarak değerlendirilmektedir. Bu potansiyel paylaştırıldığında 168,635 TWh ile yıllık bitkilere, 62,802 TWh ile orman atıklarına ve 47,83 TWh ile çok yıllık bitkilere aittir. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyelinden üretilebilecek biyogaz miktarı da tahminen 17-23 TWh olarak öngörülmektedir [26,27].

Biyokütle kaynakları dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Türkiye'nin ise biyokütle kaynakları açısından önemli bir potansiyeli olmasına rağmen bu durumdan yeterince faydalanamadığı görülmektedir. Türkiye'de son zamanlarda kamu ve özel sektörün biyokütle, organik atık ve biyogazdan enerji üretme çalışmaları artmıştır. Özellikle belediyeler, atık çöplerin değerlendirilmesi amacıyla atık yakma ve enerji üretim tesisleri kurma faaliyetlerini hızlandırmış olup, 2003 yılında katı atık düzenli depolama tesisi sayısı 15 iken 2012 yılında bu sayı 69'a ulaşmıştır [28].

Türkiye'de biyodizel, çok soğuk olan bölgeler hariç dizel yakıtın kullanıldığı her yerde kullanılabilir. Biyodizelin ulaştırmada dizel yakıtı yerine, konut ve sanayi

sektörlerinde ise fuel-oil yerine kullanılması mümkündür. Ayrıca biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesinden dolayı, fotosentez aracılığıyla CO₂'i dönüştürüp karbon döngüsünü sağladığından, sera etkisini artırmamaktadır [29].

Biyometanol; şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu sonucu üretilen ve belirli oranda benzin ile karıştırılarak kullanılan bir yakıttır. Küçük ev aletlerinde, kimyasal ürün sektöründe ve araçlarda benzin ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Yakıtlarda kullanılan biyometanol oksijen seviyesini yükselterek, yakıtın daha kaliteli yanmasına aracılık edip egzoz çıkışındaki zararlı gazların da azalmasına neden olur. Ayrıca biyometanol kanserojen maddelerin yerini tutacak çevreci ve alternatif bir yakıt olup egzoz emisyonlarını azaltıcı etkiye sahiptir [29].

Gıda tarımına elverişli alanların biyodizel ve biyometanol üretimi amacıyla kullanılması, gıda güvenliği yönüyle küresel bir sorun oluşturmakta ve eleştiriler almaktadır [29].

Biyogaz, organik maddelerin (hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz ortamda biyolojik olarak parçalanması (anaerobik fermantasyon) neticesinde ortaya çıkan ve ağırlıklı olarak metan ve karbondioksitten oluşan bir gazdır. Biyogaz teknolojisi hem organik atıklardan enerji sağlamak hem de atıkların toprağa dönüşümüne imkan sağlamaktadır [29].

Türkiye’de biyogaz sektörü, bazı büyükşehirlerin öncülüğünde atıklardan biyogaz üretilmesi, bazı belediyeler ile sanayi tesisleri tarafından atık su ve tesislerinden biyogaz üretilmesi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı’nca Anadolu’nun farklı yerlerinde gazifikasyon demonstrasyon projelerinin sürdürülmesi ve özel sektör tarafından nitelikli biyogaz projelerinin sürdürülmesi çalışmalarından oluşmaktadır [30].

Türkiye’deki yıllık akaryakıt tüketimi 22 milyon ton olup bunun 3 milyon tonu benzin olarak kullanılmaktadır. Bu yüksek tüketim değerlerine karşın biyometanol kurulu kapasitesi ise sadece 160 bin tondur [29].

Ayrıca Türkiye’de hayvancılık alanında da gerekli yatırımların yapılmasıyla hayvan atıklarından biyogaz üretimi mümkün olacaktır. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek yıllık biyogaz miktarını tahmini olarak; büyükbaş hayvanlar için 1.354,2 milyon m³, küçükbaş hayvanlar için 852,6 milyon m³ ve kümes hayvanları için de 401,5 milyon m³ elde edilir. Toplamda ise 2.608 milyon m³

gaz üretilebilir. Bu bilgiler ışığında Türkiye'nin biyogaz potansiyeli tahminen 1,4-2,0 MTEP/yıl olarak hesaplanmıştır [30].

Türkiye'nin biyokütle kaynakları; tarım atıkları, orman atıkları, hayvan atıkları, organik şehir atıkları ve benzer atıklardan meydana gelmektedir. Toplam atık potansiyeli ise ortalama 8,6 MTEP olup bunun 6 MTEP'i ısınma amacıyla değerlendirilmektedir [29].

2015 yılı itibarı ile Türkiye'de bulunan 72 Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santrallerinin toplam kurulu gücü 394,70 MW iken Kasım 2016 itibarıyla ise Tablo 2.10'dan görüldüğü üzere aktif santral sayısı 78 ve kurulu güç 436 MW'dır. Bu santrallerin toplam gücünün kurulu güce oranı ise % 0,57'dir [31].

Tablo 2.10 Türkiye'de Yer Alan Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santralleri Profili [31]

Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Pirolitik Yağ Enerji Santralleri Profili	
Aktif Santral Sayısı	78
Kurulu Güç	436 MWe
Kurulu Güce Oranı	0,57%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 1.898 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	% 0,73
Şebeke Bağlantısı	78 var, 0 yok

2.4. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan füzyon reaksiyonu olarak adlandırılan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi olayı neticesinde ortaya çıkan çok güçlü bir enerjidir. Güneş ışınları vasıtasıyla dünyaya ulaşan bu enerjiden yararlanmak için değişik teknolojiler üretilmiştir. Bu teknolojilerin en önemlileri güneş pilleri, güneş kolektörleri ve güneş santralleridir. Bu teknolojiler güneş enerjisini doğrudan ısı enerjisine çevirmekte veya dolaylı olarak elektrik enerjisine çevirip kullanabilmektedirler [28].

Tablo 2.11'de görüldüğü üzere dünya genelinde toplam kurulu fotovoltaik gücü 227 GW'dır. Tablo 2.11'de dünyada güneş enerjisinden fotovoltaik yöntem ile en çok elektrik üreten 10 ülke sıralanmıştır. Ayrıca bu ülkelerin 2015 yılı güneş enerjisi santrali

kurulu güçleri verilmiştir. Bu ülkelerden en çok fotovoltaik enerji kurulu güce sahip ülkeler sırasıyla Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya'dır [17].

Tablo 2.11 Dünyadaki Fotovoltaik Güneş Enerjisi Kurulu Gücü En Yüksek 10 Ülkenin 2015 Yılı Değerleri [17]

Ülkeler	Toplam (2014 sonu GW)	Eklenen (2015 yılı GW)	Toplam (2015 sonu GW)
Çin	28,3	15,2	43,5
Almanya	38,2	1,5	39,7
Japonya	23,4	11	34,4
ABD	18,3	7,3	25,6
İtalya	18,6	0,3	18,9
İngiltere	5,4	3,7	9,1
Fransa	5,6	0,9	6,6
İspanya	5,4	0,1	5,4
Hindistan	3,2	2	5,2
Avustralya	4,1	0,9	5,1
Dünya	177	50	227

Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücünün son on yıldaki değişimi incelendiğinde; güneş enerjisi kurulu gücünün son birkaç yıldır hareketlendiği fakat ülke potansiyeline göre bu hareketin çok yetersiz kaldığı görülmektedir.

Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle güneş enerjisi potansiyeli bakımından çoğu ülkeye kıyasla çok daha avantajlıdır. Ülkede yıllık toplam güneşlenme süresi ortalama olarak 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), metrekareye düşen yıllık toplam ışınlam şiddeti ortalama 1.311 KWh (metrekareye düşen günlük ortalama 3,6 KWh) olarak tespit edilmiştir. Türkiye güneşli gün sayısı olarak 110 gün gibi güneş enerjisi potansiyeli olarak iyi bir değere sahiptir. Türkiye'de günlük olarak birim metrekareden 1.100 KWh 'lık güneş enerjisi üretilmesi mümkün olduğundan yatırımların artırılması gerekmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkenin en fazla güneş enerjisi alan bölgesidir. Sonrasında ise sırasıyla Akdeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi gelmektedir. [30,32]

Güneş kolektörleriyle sıcak su üretimi (2010 yılında 12 milyon m² civarında düzlemsel güneş kolektörü) çoğunluğu Akdeniz ve Ege bölgesi olmak üzere Türkiye'nin tüm bölgelerine yayılmıştır. Kolektörlerden yararlanmak suretiyle kazanılan ısı güç 9,3

GWh civarındadır. Fotovoltaik enerji sistemleri ise küçük güçlerde ve modüler olarak kurulabilme avantajları sayesinde uzun yıllardır elektrik şebekesinin gitmediği uzak ve ulaşılması güç yerlerde kullanılmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin enerji ihtiyacının giderilmesinde şebekeden bağımsız sistemler olarak kullanılmasının dışında günümüzde şebekeye bağlanıp enerji santrali amacıyla kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemler eskiden daha çok telekom istasyonları, trafik ikaz sistemleri, deniz fenerleri, otoyol ve park aydınlatmaları, su pompalama ve bazı ev ve iş yerlerinde kullanılmakta iken günümüzde elektrik enerjisinin kullanılabilceği tüm alanlara girmeye başlamıştır [30].

Kasım 2016 itibariyle Tablo 2.12’de görüldüğü üzere 459 adet aktif güneş enerjisi santrali mevcut olup kurulu güç 613 MW’a ulaşmıştır. Bu değer ise toplam kurulu gücün ancak % 0,8’ine karşılık gelmektedir [33].

Tablo 2.12 Türkiye’de Güneş Enerjisi Santralleri Profili [33]

Güneş Enerji Santralleri Profili	
Aktif Santral Sayısı	459
Kurulu Güç	613 MWe
Kurulu Güce Oranı	0,80%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 908 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	% 0,35
Lisans Durumu	3 lisanslı, 456 lisanssız
Şebeke Bağlantısı	457 var, 2 yok

3. Bölümde güneş enerjisi daha detaylı olarak incelenecektir.

2.5. Rüzgar Enerjisi

En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi, güneşin yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması havanın sıcaklık, nem ve basınç değerlerinde farklılıklara neden olmakta, dolayısıyla basınç farkları oluşmakta ve bu durum havanın hareketine neden olmaktadır. Yüksek basınçtan alçak basınca doğru olan bu hava hareketi de rüzgar olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için ise rüzgar türbinlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Rüzgar türbinleri ise rüzgarın hızından kaynaklanan kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra ise elektrik enerjisine dönüştürme mantığıyla çalışmaktadırlar [18].

Tablo 2.13'te görüldüğü üzere dünya toplam kurulu rüzgar türbin güç kapasitesi 433 GW olarak gerçekleşmiştir. Tablo 2.13'te Dünya'da rüzgar enerjisinden en çok elektrik üreten 10 ülke sıralanmıştır. Ayrıca bu ülkelerin 2015 yılı rüzgar enerjisi santrali kurulu güçleri verilmiştir. Rüzgar türbin güç kapasitesi sıralamasında hem 2014 yılında hem de 2015 yılında 1. sırada Çin yer almaktadır. Bu ülkelerden en çok rüzgar enerji kurulu güce sahip ülkeler sırasıyla Çin(145,4 GW), ABD (74 GW), Almanya (45 GW), Hindistan (25,1 GW) ve İspanya (13,6 GW)'dır [17].

Tablo 2.13 Dünyadaki Rüzgar Enerjisi Kurulu Gücü En Yüksek 10 Ülkenin 2015 Yılı Değerleri [17]

Ülkeler	Toplam (2014 sonu GW)	Eklenen (2015 yılı GW)	Toplam (2015 sonu GW)
Çin	114,6	30,8	145,4
ABD	65,4	8,6	74
Almanya	39,2	6	45
Hindistan	22,5	2,6	25,1
İspanya	23	0	23
İngiltere	12,6	1	13,6
Kanada	9,7	1,5	11,2
Fransa	9,3	1,1	10,4
İtalya	8,7	0,3	9
Brezilya	6	2,8	8,7
Dünya	370	63	433

Dünya üzerinde elektrik enerjisi üretiminde karaya kurulan (onshore) rüzgar türbinlerinin yanında denize kurulan (offshore) rüzgar türbinleri de bulunmaktadır. Denize kurulan rüzgar türbinlerinin 2011 yılı itibarı ile toplam kapasitesi 3.117,6 MW olup denize kurulu rüzgar türbin kapasitesi en yüksek olan ülke 1.341 MW ile İngiltere'dir. Sonrasında ise 854 MW ile Danimarka ve 249 MW ile Hollanda gelmektedir [34].

Çin, ABD, Almanya, Danimarka, İspanya ve Hindistan gibi rüzgar türbin güç kapasitesi yüksek olan ülkeler aynı zamanda rüzgar türbin imalatının da büyük kısmını gerçekleştirmektedir. 2011 yılı pazar payı en yüksek olan rüzgar türbin üretici ülkeleri

sırasıyla; Danimarka (%12,9), Çin (%9,4), ABD (%8,8), İspanya (%8,2), Almanya (%7,9) ve Hindistan (%7,7) olarak görülmektedir [35].

Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından 50 m yükseklikte yapılan rüzgar hız ölçümleri baz alındığında 6.5 m/s 'nin üzerindeki rüzgar hızları değerlendirilmiş ve Türkiye'de karasal alanlara kurulabilecek rüzgar santrali potansiyeli 131.756,40 MW olarak hesaplanmıştır. Rüzgar hızının 7.0 m/s'nin üzerinde olduğu bölgeler baz alındığında ise karasal alanlara kurulabilecek rüzgar santrali potansiyeli 48.000 MW olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Türkiye deniz rüzgar potansiyeli için rüzgar hızının 6.5 m/s'nin üzerinde olduğu alanlar baz alınmış ve denizlere kurulabilecek rüzgar santrali potansiyeli 17.393,20 MW olarak hesaplanmıştır [30,36].

2015 yılı itibarı ile Türkiye'de bulunan 159 adet rüzgar enerji santralinin toplam kurulu gücü 5.227,80 MW olup 2015 yılında Rüzgar Enerji Santralleri ile üretilen enerji 11.543.059.498 KWh'tir. Kasım 2016 itibarı ile ise Tablo 2.14'te görüldüğü üzere 164 adet aktif rüzgar enerjisi santrali mevcut olup kurulu güç 5.303 MW'a ulaşmıştır. Bu değer ise toplam kurulu gücün % 6,88'ine karşılık gelmektedir [37].

Tablo 2.14 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Santralleri Profili [37]

Rüzgar Enerji Santralleri Profili	
Aktif Santral Sayısı	164
Kurulu Güç	5.303 MWe
Kurulu Güce Oranı	6,88%
Yıllık Elektrik Üretimi	~ 14.104 GWh
Üretimin Tüketime Oranı	% 5,42
Lisans Durumu	147 lisanslı, 17 lisanssız
Şebeke Bağlantısı	164 var, 0 yok

4. Bölümde rüzgar enerjisi daha detaylı olarak incelenecektir.

3. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ VE TÜRKİYE'DE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NDE UYGULANABİLİRLİĞİ

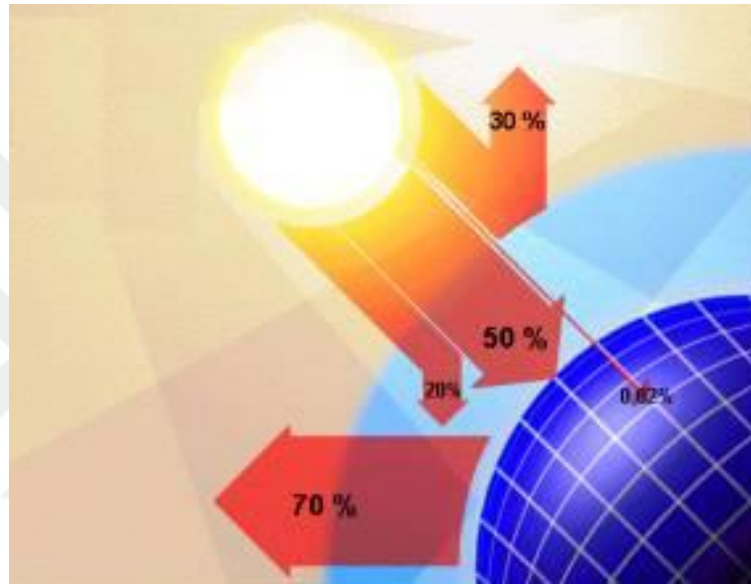
3.1. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki bir dizi füzyon reaksiyonu sonucunda oluşan ışımaya enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti hemen hemen sabittir ve 1.370 W/m^2 değerindedir. Fakat yeryüzüne ulaşan bu ışınların enerjisi $0-1.100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişmektedir. Yeryüzüne ulaşan bu enerjinin küçük bir kısmı dahi dünyanın enerji ihtiyacını kat kat aşmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanmaya yönelik çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik açıdan ilerleme kaydetmiş ve güneş enerjisini kullanmaya yönelik maliyet giderleri gün geçtikçe azalmıştır. Aynı zamanda güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde dikkat çekmeye ve çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak görülmeye başlanmıştır [38].

Dünyanın Güneşe uzaklığı 150 milyon km'dir. Dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacı, güneşten dünyaya ulaşan enerjinin 20 binde 1'idir ve güneşin yaklaşık 5 milyar yıl daha ömrü olduğu kabul edilmektedir [38].

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere dünyaya gelen güneş ışınlarının tamamı yeryüzüne ulaşmaz. Güneşten gelen ışınımın % 30 kadarı atmosferden geri yansıtılır, % 50'si ise atmosferi geçer ve dünya yüzeyine ulaşır. Yeryüzüne ulaşan bu enerji sayesinde yeryüzünün sıcaklığı yükselir ve dünya yaşanabilecek bir yere dönüşmüş olur. Rüzgar oluşumları ve okyanus dalgalanmalarının kaynağı da bu ısınmadır. Güneşten gelen

ışınımın geriye kalan % 20'lik kısmı ise atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine ulaşan güneş ışınlarının % 1'den daha az bir kısmı bitkiler tarafından fotosentez olayı için kullanılır. Bilindiği üzere fotosentez olayında bitkiler karbondioksit, su ve güneş ışığını kullanırlar. Fotosentez sonucunda ise glikoz ve oksijen elde edilir. Böylece kirli hava da temizlenmiş olur. Bitkilerin yaşamlarını sürdürebilmesi için fotosentez ve dolayısıyla da güneş olmazsa olmaz bir konumdadır [38].



Şekil 3.1 Güneşten Gelen Işınımın Dağılımı [38]

Sonuç olarak dünyaya gelen bütün güneş ışınları ısıya dönüşür ve uzaya ısı olarak geri dönerler. Güneş enerjisine dayalı teknolojiler; yöntem, malzeme ve teknoloji olarak farklılıklar göstermekle beraber aşağıda görüldüğü üzere iki sınıfta toplanmışlardır:

Isıl Güneş Teknolojileri : Bu sistemlerde güneş enerjisinden ısı enerjisi elde edilir. Bu ısı enerjisi ise ihtiyaca göre ya doğrudan ısı olarak veya elektrik üretiminde kullanılabilir.

Fotovoltaik Güneş Teknolojisi : Fotovoltaik hücre denen yarı-iletken malzemelerin kullanılmasıyla elde edilen levhaların üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirir [38].

3.2. Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyeli

Tablo 3.1’de görüldüğü üzere 2015 yılı sonu itibarı ile dünya fotovoltaik güneş enerjisi güç kapasitesi 227 GW iken dünya termal güneş enerjisi güç kapasitesi 4,8 GW’dır. Dolayısıyla toplamda dünya güneş enerjisi kurulu gücü 231,8 GW’dır. Dünya termal güneş enerjisi kurulu gücü toplam güneş enerjisi kurulu gücünün ancak % 2’sini teşkil etmektedir. Dünya termal güneş kurulu gücünün % 83’ü İspanya (2,3 GW) ve ABD’ye (1,7 GW) aittir. Fotovoltaik güneş enerjisi kurulu gücünün % 71’i ise Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya’ya aittir. Dünyanın geri kalan ülkelerinin kurulu fotovoltaik güç kapasitesi içindeki payı ise % 28’dir. Dünya fotovoltaik güneş enerjisinin %71’ini paylaşan bu dört ülkenin kurulu güçleri ise 43,5 GW, 39,7 GW, 34,4 GW, 25,6 GW, 18,9 GW olarak sırasıyla Çin, Almanya, Japonya, ABD ve İtalya şeklindedir [17].

Yine Tablo 3.1 incelendiğinde dünya güneş enerjisi kurulu gücünün tüm yenilenebilir enerjiler kurulu gücü içindeki payı hidrolik enerji dahil % 12,5, hidrolik enerji hariç ise % 29’dur. Dünyada yenilenebilir enerjilerin kurulu güçteki payları sırasıyla % 57,5 ile hidrolik, % 23,4 ile rüzgar, %12,5 ile güneş şeklindedir [17].

Ayrıca dünyada kişi başına düşen yenilenebilir enerji kurulu kapasitelerine Tablo 3.1’den bakıldığı zaman ise Almanya’nın 1,1 KW ile açık ara önde olduğu görülmektedir. Almanya’ya en yakın ülke ise 0,7 KW ile İspanya’dır [17].

Tablo 3.1 Ülkelerin 2015 Yılı Güneş Enerjisi Elektrik Güç Kapasiteleri (GW) [17]

Kaynaklar	Dünya	AB	BRICS	Çin	ABD	Almanya	Japonya	Hindistan	İtalya	İspanya
Güneş (PV)	227	95	50	44	26	40	34	5,2	18,9	5,4
Güneş (Termal-CSP)	4,8	2,3	0,4	0	1,7	0	0	0,2	0	2,3
Toplam Hidrolik dahil	1,849	402	746	496	202	97	65	83	51	49
Toplam Hidrolik hariç	785	276	262	199	122	92	43	36	33	32
Toplam Hidrolik dahil kişi başına kW	0,1	0,5	0,1	0,1	0,4	1,1	0,3	0,03	0,5	0,7

Tablo 3.2’den güneş enerjisi kurulu gücü içinde % 98’lik önemli bir kısmı teşkil eden fotovoltaik payı incelediğimizde dünya toplam kurulu fotovoltaik gücü 2014 sonu itibariyle 177 GW’dır. 2015 yılında kurulu kapasitenin % 28’i gibi büyük bir oran olan 50 GW’lık bir kurulu güç arttırımı olmuştur. Bu sonuçla 2015 sonu itibariyle dünyadaki fotovoltaik güneş enerjisi kurulu gücü 227 GW olmuştur. Ayrıca Tablo 3.2’de dünya genelinde fotovoltaik güneş enerjisi kurulu gücü en fazla olan 10 ülke sıralanmıştır. Bu ülkelerden en çok fotovoltaik enerji kurulu güce sahip ülkeler sırasıyla Çin (43,5 GW), Almanya (39,7 GW), Japonya(34,4 GW), ABD (25,6 GW) ve İtalya (18,9 GW)’dır. Bununla birlikte 2015 yılında kurulu gücünü en çok arttıran ülkeler Çin (15,2 GW – önceki kapasiteye oranı % 53), ABD (7,3 GW – önceki kapasiteye oranı % 40) ve İngiltere (3,7 GW – önceki kapasiteye oranı % 68) olmuştur [17].

Tablo 3.2 Dünyadaki Fotovoltaik Güneş Enerjisi Kurulu Gücü En Yüksek 10 Ülkenin 2015 Değerleri [17]

Ülkeler	Toplam (2014 sonu GW)	Eklenen (2015 yılı GW)	Toplam (2015 sonu GW)
Çin	28,3	15,2	43,5
Almanya	38,2	1,5	39,7
Japonya	23,4	11	34,4
ABD	18,3	7,3	25,6
İtalya	18,6	0,3	18,9
İngiltere	5,4	3,7	9,1
Fransa	5,6	0,9	6,6
İspanya	5,4	0,1	5,4
Hindistan	3,2	2	5,2
Avustralya	4,1	0,9	5,1
Dünya	177	50	227

3.3. Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye’nin yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynaklara bağlı olarak üretebileceği elektrik potansiyeli Tablo 3.3’te görülmektedir. Bu değerlere bakıldığında Türkiye’de güneş enerjisinden üretilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli yıllık 380 milyar KWh’dır. Tabloda güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük potansiyele sahip enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Hatta güneş enerjisi potansiyelinin rüzgar ve hidro enerji potansiyellerinin dört katı büyüklükte olduğu

dikkat çekmektedir. Güneş enerjisinin bu potansiyeline rağmen, kurulu güç açısından incelendiğinde bu kaynağın yeterince değerlendirilmediği anlaşılmaktadır.

Tablo 3.3 Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli [39]

Enerji Kaynağı	Enerji Potansiyeli (Milyar kWh)
Hidro	80 - 100
Rüzgar	90 - 100
Jeotermal	5 - 16
Güneş	380
Biyogaz	35
Toplam	590 - 631

Güneş enerjisinden en çok faydalanan ülkeler 45° kuzey-güney enlemleri arasında kalan bölgede yer alan ülkelerdir [40]. Güneş kuşağı olarak adlandırılan bu bölge yıllık 2000-3500 saat güneş almakta ve güneş potansiyeli olarak 3,5-7 KWh/m²/gün arasında değerlere sahiptir [41].

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere Türkiye de güneş kuşağı bölgesinde bulunması nedeniyle güneş enerji potansiyeli yüksek ülkeler arasındadır. Cezayir, Fas, İran, Pakistan, Suriye, Mısır, Suudi Arabistan, Libya, İspanya, İtalya, Yunanistan, İsrail, Çin, Japonya, Amerika, Meksika, Güney Afrika ve Avustralya da Türkiye ile beraber güneş kuşağı bölgesinde yer alan ülkelerdendir [42].



Şekil 3.2 Güneş Kuşağı Bölgesi [43]

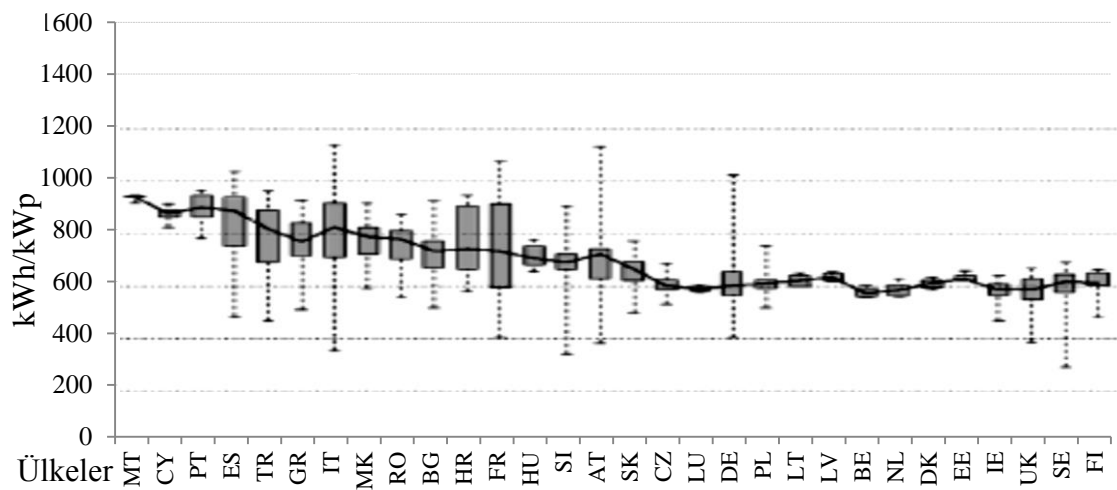
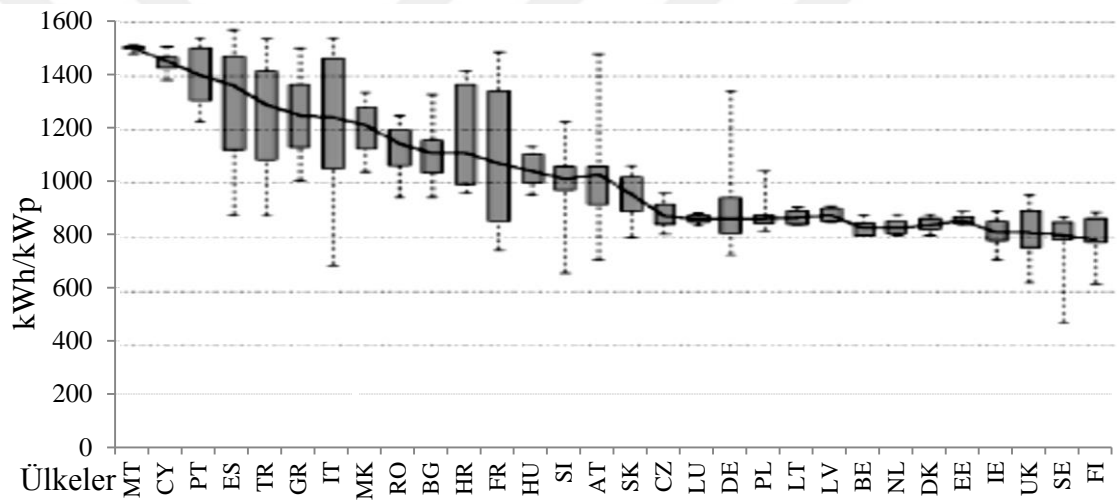
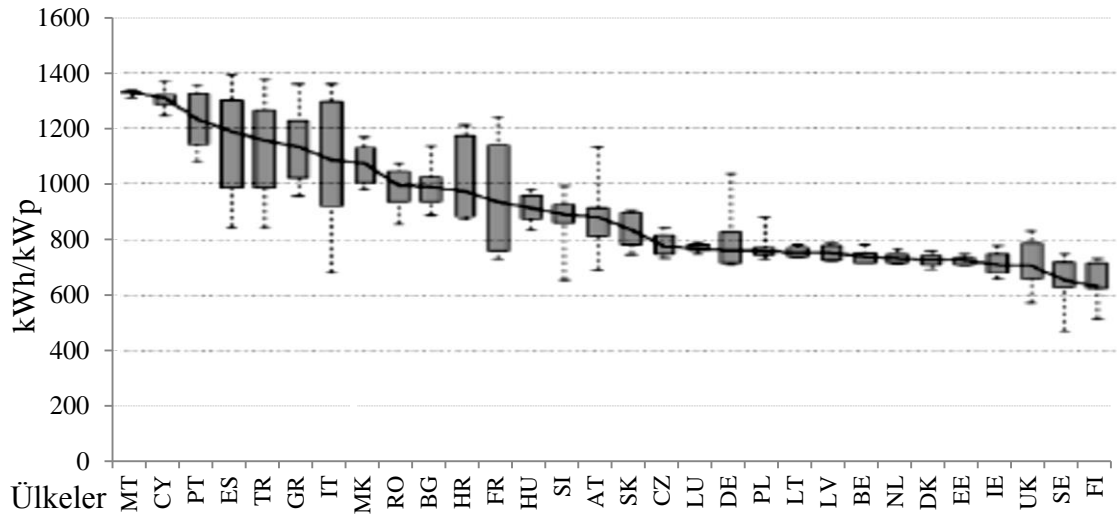
Türkiye'nin 2014 yılı olarak güneş panellerinden ürettiği elektrik enerjisi sadece 20 MW iken havanın çoğu zaman yağışlı veya kapalı olduğu Almanya'da ise bu değer 33 GW olarak görülmektedir. 2014 yılı itibarı ile enerji ihtiyacının yüzde 25'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayan Almanya, her yıl güneş enerjisine 3 GW'lık yatırım yapmaktadır [44]. Son yıllarda artan yatırımlarla Türkiye'deki güneş enerjisi kurulu gücü de hızla artıyor olmasına rağmen henüz beklenen seviyelerin çok gerisinde bulunmaktadır.

3.4. Türkiye ile Avrupa Ülkelerinin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Karşılaştırılması

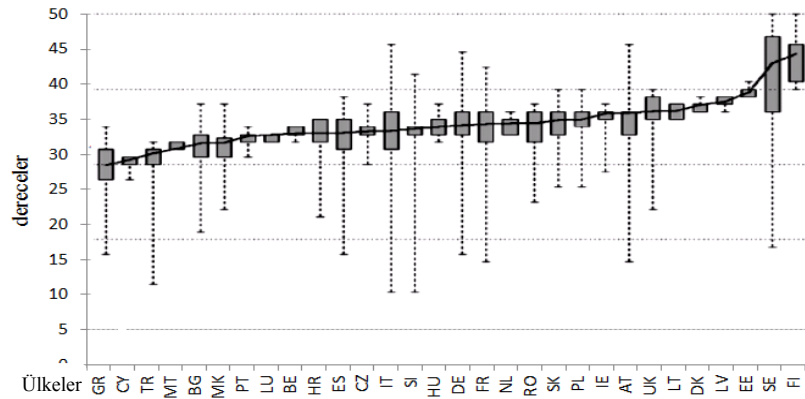
Güneş enerjisi potansiyeli olarak Türkiye ile AB'ye üye ve aday ülkeler karşılaştırıldığında, Şekil 3.3'ten görüleceği üzere bu 30 ülkeden yüzölçümü küçük olan Kıbrıs Rum Kesimi ve Malta gibi ülkeler sayılmazsa Türkiye'nin potansiyeli Portekiz ve İspanya dışında bütün Avrupa ülkelerinden fazladır. Hatta bu ülkelerin yarısının en üst değerleri Türkiye'nin en alt değerlerine yetişmemektedir.

Şekil 3.3'te kutucukları kesen çizgi ülkelerin ortalama değerlerini ifade etmekte ve ülkeye karşılık gelen dikdörtgenin kısa kenarları minimum ve maksimum değerleri göstermektedir. Dikdörtgen kutular ise kentsel yerleşim alanlarındaki değerlerin % 90'ını ifade etmektedir [45].

Şekil 3.4'te ise AB'ye üye ve aday ülkeler için güneye bakan modüllerin maksimum verim için yerleştirilmeleri gereken açı değerleri derece olarak gösterilmiştir. Diğer bir ifade ile PV modüllerin toplam yıllık global ışımaya değerlerinin en yüksek değerde olması için kurulması gereken açı değerleri belirtilmiştir. Soldan sağa doğru giden ve kutucukları kesen çizgi ise ülkelerin ortalama değerlerini göstermektedir. Şekil 3.4'teki kutucukları kesen çizgi ve kutucukların kısa ve uzun kenarları Şekil 3.3'teki gibi ortalama, minimum ve maksimum değerleri ifade etmektedir.

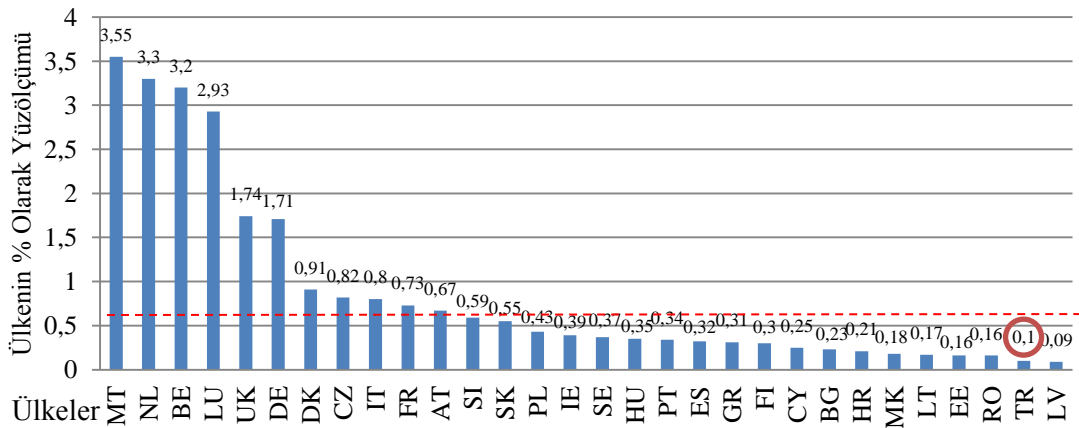


Şekil 3.3 AB'ye Aday ve Üye 30 Ülkede Tipik Bir 1 kWp PV Sistemi Tarafından Üretilen Elektrik Enerjisinin Yıllık Toplamı. a) Panellerin Yatay Olarak Yerleştirilmesi Durumunda, b) Panellerin En Uygun Açıda Olması Durumunda, c) Panellerin Dikey Olarak Yerleştirilmesi Durumunda [45].



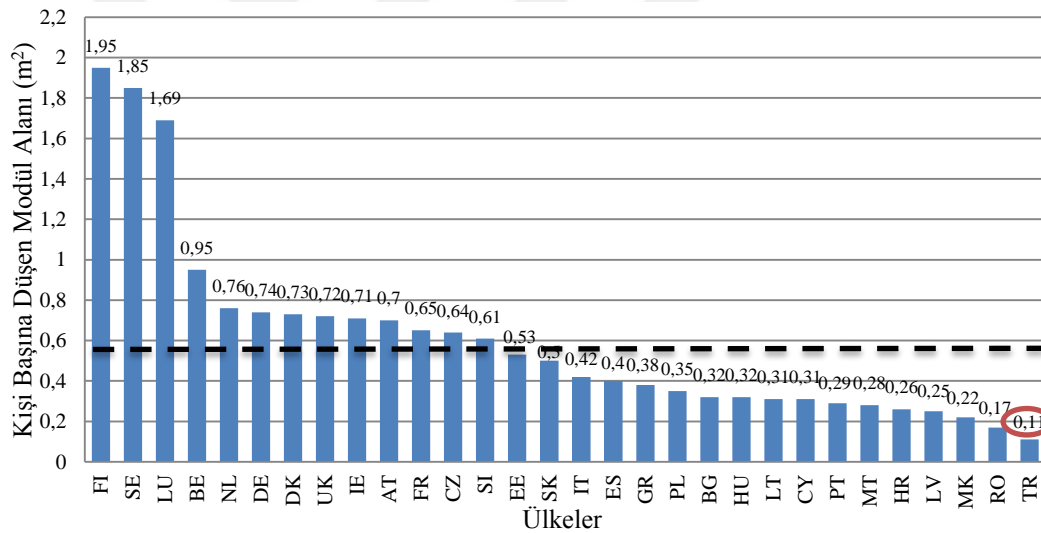
Şekil 3.4 AB'ye Aday ve Üye Ülkelere Göre Güneye Bakan PV Modülleri için En Uygun Eğim Açılımları [45]

Şekil 3.5'te Avrupa Birliğine üye ve aday ülkeler ile ülkemizin teorik fotovoltaik potansiyelleri, ülkelerin elektrik ihtiyaçlarını tamamen karşılayabilmeleri için uygun açı ile monte edilmesi gereken PV modüllerinin ülke alanına % olarak oranı ile ifade edilmiştir. Kesikli çizgi, AB'ye üye ve aday 30 ülkenin ortalama değeri olan 0,6'ya denk gelmektedir. Yani bu 30 ülkenin 0,006'sına uygun açılarda PV modül kurulumu yapılması durumunda tüm bu ülkelerin enerji ihtiyacı güneş enerjisiyle karşılanmış olacaktır [45]. Yine Şekil 3.5'te Türkiye için okunacak değer 0,1'dir. Bu da Türkiye'nin yüzölçümünün binde birine güneş modüllerinin kurulmasının ülkemizin tüm enerji ihtiyacını karşılayacağı anlamına gelmektedir. Litvanya'dan sonra % olarak en az ihtiyaç Türkiye'de görülmektedir.



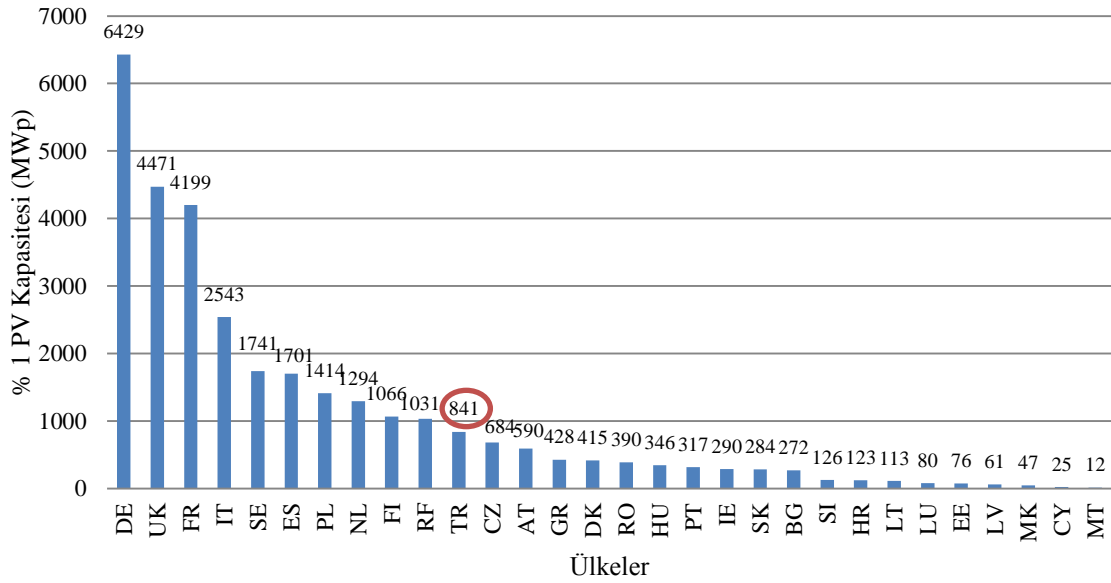
Şekil 3.5 Avrupa Birliği'ne Üye Olan ve Üye Olma Süreci Devam Eden Ülkelerin Yüzölçümlerine Göre Fotovoltaik Potansiyelleri [45]

Şekil 3.6’da ise AB’ye üye ve aday ülkeler için enerji ihtiyaçlarının tamamını güneş enerjisinden karşılamaları amacıyla kişi başına düşen fotovoltaik modül alanı görülmektedir. Burada metrekare cinsinden kişi başına denk gelen rakamlar ülkelerin elektrik gereksinimlerinin % 1’ini göstermektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla kesikli çizgiler verilmiştir. Bu çizgiler 0.85’lik bir çapa sahip TV uydu anteninin yüzeyine denk gelecek bir alanı ifade etmektedir [45]. Şekil 3.6 incelendiğinde, Türkiye için enerjisinin % 1’ini karşılaması için kişi başına gerekli modül alanı olarak 0,11 değeri görülmektedir. Bu değer ile Türkiye, tüm enerjisini fotovoltaik modüllerden elde etmek amacıyla kişi başına en az gereksinim duyan ülke olarak Avrupa’da ilk sırada bulunmaktadır. Yani, Türkiye’nin kişi başına 11 m² fotovoltaik modüle sahip olması durumunda tüm enerji ihtiyacı karşılanacaktır.

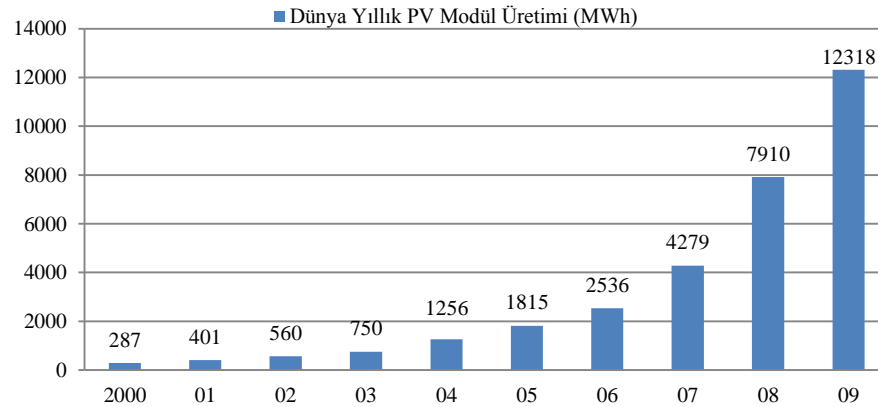


Şekil 3.6 Avrupa Birliği’ne Üye Olan ve Üye Olma Süreci Devam Eden Ülkelerin Enerji İhtiyaçlarını Karşılayabilmek için Gerekli Olan Kişi Başı Fotovoltaik Modül Alanı [45]

Şekil 3.7’de ise AB’ye üye ve aday ülkelerin elektrik tüketim değerlerinin % 1’ini karşılamaları için gereken PV modül kapasiteleri gösterilmiştir. Karşılaştırma için verilmiş olan Şekil 3.8’de ise 2000-2005 döneminde dünyanın yıllık PV hücre üretimi (MWh) gösterilmektedir [46]. Şekil 3.7’ye göre Türkiye’nin enerji ihtiyacını karşılaması için 84.100 MWp’lik fotovoltaik kapasiteye ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bu ihtiyaç ile de Türkiye bu 30 ülke arasında 11. sıradadır [45].



Şekil 3.7 Ülkelerin Elektrik İhtiyaçlarının % 1'ini (MWp) Karşılamları için Gereken PV Kapasitesi [45].



Şekil 3.8 Dünya Yıllık PV Modül Üretimi (MWh) [46]

3.5. Türkiye'de Güneş Enerjisi Kullanımının Gelişim Süreci

Türkiye'de güneş enerjisinin ilk olarak alternatif enerji kaynağı olarak görülmesi 1960'lı yılların başına denk gelmektedir. Bu yıllarda üniversitelerde verilen tezler ile ve bazı yatırımcılar üzerinden bu konuda çalışmalar başlamıştır. 1970'lerin ortalarında ise, dünyadaki güneş enerjisi teknolojisi gelişmiş ve buna bağlı olarak, ülkemizde de özellikle güneş enerjisinin ısı uygulamaları konusunda ilerleme kaydedilmiştir. Bu konu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem arz etmeye başlamış ve bu tarihten itibaren güneş enerjisi çalışmaları hız kazanmıştır [47].

Türkiye’de 2012 yılı itibarı ile hesaplanan toplam kurulu güneş kolektör alanı 18.640.000 m²’dir. Hesaplanan bu değerin 1.164.000 m²’lik kısmı, düzlemsel güneş kolektör üretimi ve 57.600 m²’lik kısmı ise vakum tüplü kolektör üretimi olarak değerlendirilmiştir. Üretilen vakum tüplü kolektörlerin tümü ülke içinde kullanılmaktadır. Buna karşın üretilen düzlemsel kolektörlerin yarısı ülke içinde kullanılmaktadır. Aynı yılda güneş kolektörleri ile üretilen ısı enerjisi yaklaşık olarak 768.000 Ton Eşdeğer Petrol (TEP) civarındadır. Bu değer kullanım yerlerine göre ayrılacak olursa; 500.000 TEP ‘lik kısmı konutlarda kullanılmış, 268.000 TEP’lik kısmı ise endüstriyel amaçlı olarak kullanılmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimiyle ilgili teknik ve hukuksal düzenlemeler tamamlanmış, akabinde 10-14 Haziran 2013 tarihleri arasında lisans başvuruları kabul edilmiştir. Bu başvurular için, üst limit 600 MW olarak belirlenmiştir. Fakat toplamda 9.000 MW’lık kurulu güce denk gelen 496 adet başvuru olmuştur. EPDK tarafından Güneş Enerjisi Santrali (GES) önlisans başvuruları sonucunda 2 adet güneş enerjisi santraline lisans, 5 adet güneş enerjisi santraline ise önlisans verilmiştir. Çalışmaların tamamlanmasıyla lisans – önlisans alan güneş enerji santrali sayısı 49’a ulaşacaktır. Sonraki süreçte ise bu gücün zamanla yükseltilmesi düşünülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2023 hedefine göre; lisanslı fotovoltaik santral kurulu güç değerinin az 3.000 MW’a erişmesi hedeflenmektedir [48].

Türkiye’nin güneş enerjisi bakımından yıllık olarak toplamda 380×10^9 kWh güneş enerjisi potansiyeli bulunmaktadır. Buna rağmen ülkenin kurulu güç pastası içinde kendine yer bulabilmesi ancak 2014 yılını bulmuştur. 2014 yılı itibarı ile güneş enerjisi lisanssız santral gücü yaklaşık olarak ancak 50 MW değerindeydi [49].

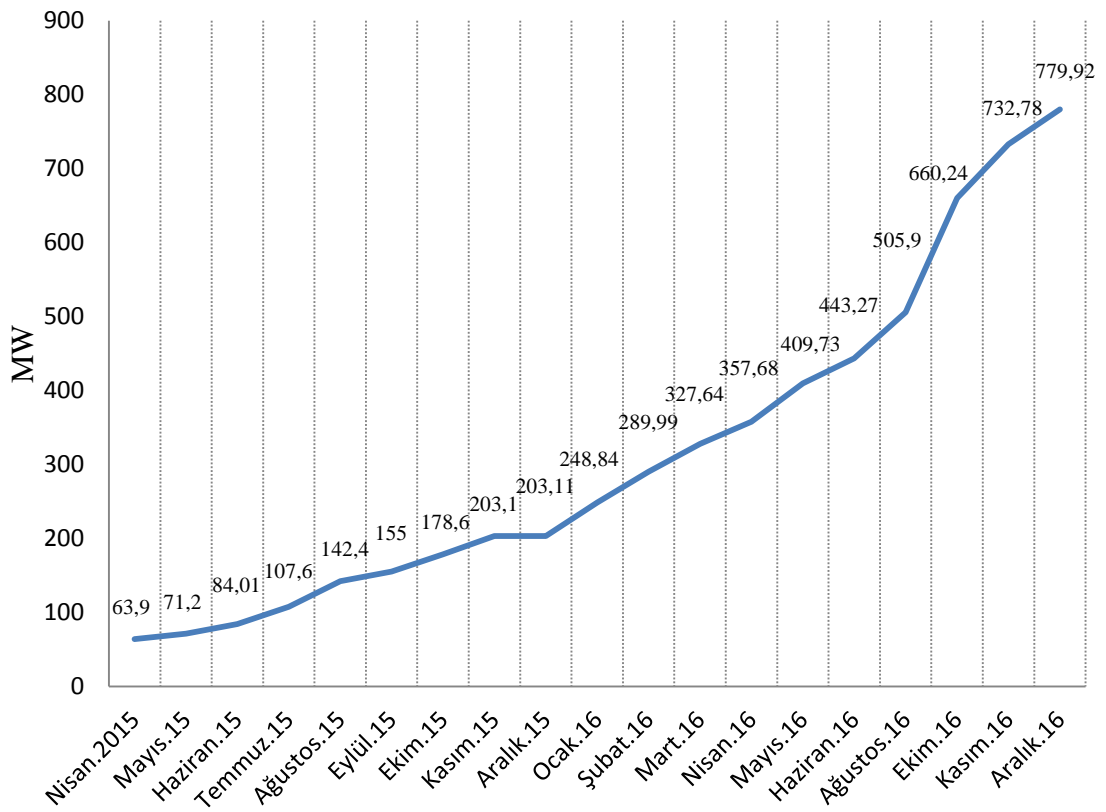
2015 yılı sonuna ulaşıldığında Tablo 3.4’ten görüleceği gibi kurulan güneş santrallerinin tamamı lisanssızdır. Bu durumda lisanssız güneş enerjili santral sayısı 362 adet iken bu santraller kurulu güç olarak toplamda 248,8 MW değerine erişmektedirler. Üzerinden daha 1 yıl geçmemiş olmasına rağmen 30 Kasım 2016 sonu itibarıyla ise lisanssız güneş santral sayısı ciddi bir şekilde artmış ve değerler iki katını geçmiştir. Tablo 3.4’ten lisanssız güneş santrallerine ait bu değerlere bakılacak olursa; güneş enerjisi santral sayısı 995 adet, bu santrallerin toplam kurulu gücü 779,9 MW ve toplam kurulu güce katkı oranı yüzde 1,0 olarak görülmektedir. Lisanslı güneş enerjisi santralleri incelendiğinde ise toplamda ancak 12,9 MW’lık bir kurulu güce denk gelecek şekilde

iki adet santralin mevcut olduğu görülmektedir [50]. Lisans alınmasında yaşanan zorluk ve sıkıntılar nedeniyle bu sonucun ortaya çıktığı açıkça görülmektedir.

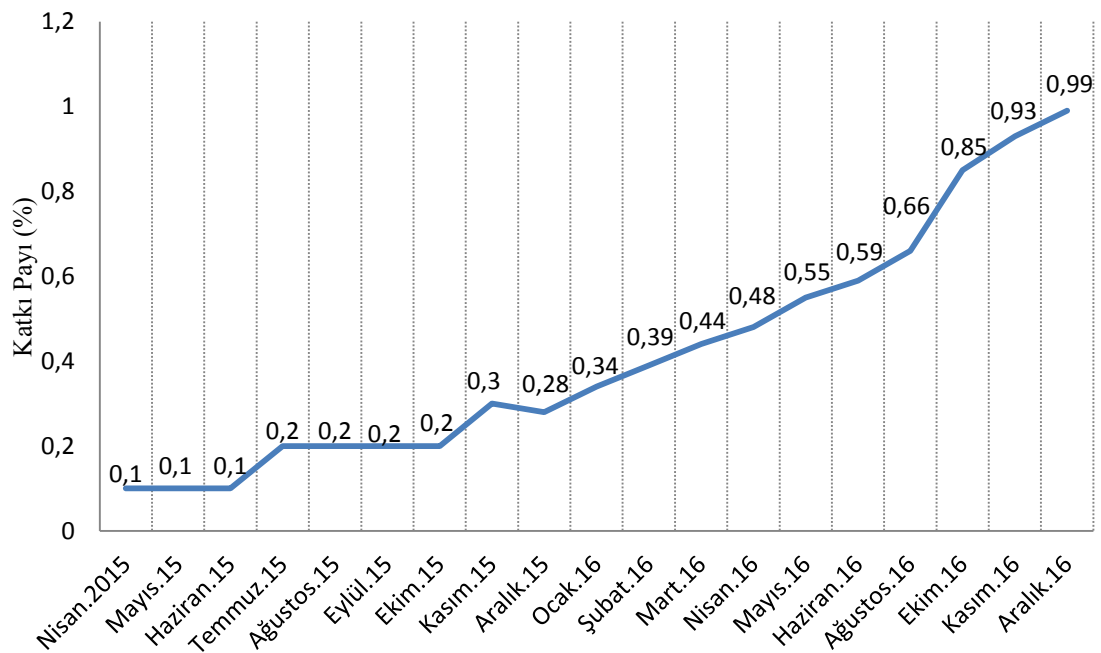
Tablo 3.4 2015 Yılı Sonu ve 31 Temmuz 2016 Sonu İtibariyle Yakıt Türlerine Göre Türkiye'deki Santrallerin Durumu [50]

YAKIT CİNSLERİ	2015 YILI SONU			30 KASIM 2016 SONU İTİBARIYLA		
	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	SANTRAL SAYISI ADET
FUEL-OİL + NAFTA + MOTORİN	446,0	0,6	17	368,7	0,5	14
YERLİ KÖMÜR(TAŞ KÖMÜRÜ + LİNYİT + ASFALTİT)	9.418,4	12,9	29	9.842,4	12,5	29
İTHAL KÖMÜR	6.064,2	8,3	8	7.473,9	9,5	10
DOĞALGAZ + LNG	21.222,1	29,0	233	22.502,4	28,6	244
YENİLEN. + ATIK + ATIKISI + PİROLİTİK YAĞ	344,7	0,5	69	464,8	0,6	81
ÇOK YAKITLILAR KATI+SIVI	667,1	0,9	23	667,1	0,8	23
ÇOK YAKITLILAR SIVI+D.GAZ	3.684,0	5,0	46	3.719,0	4,7	46
JEOTERMAL	623,9	0,9	21	775,1	1,0	31
HİDROLİK BARAJLI	19.077,2	26,1	109	19.408,5	24,7	114
HİDROLİK AKARSU	6.790,6	9,3	451	7.107,4	9,0	479
RÜZGAR	4.498,4	6,1	113	5.376,1	6,8	147
GÜNEŞ				12,9	0,0	2
TERMİK (LİSANSSIZ)	56,5	0,1	24	82,1	0,1	33
RÜZGAR (LİSANSSIZ)	4,8	0,0	9	11,5	0,0	21
GÜNEŞ (LİSANSSIZ)	248,8	0,3	362	779,9	1,0	995
TOPLAM	73.146,7	100,0	1.514	78.591,8	100,0	2.269

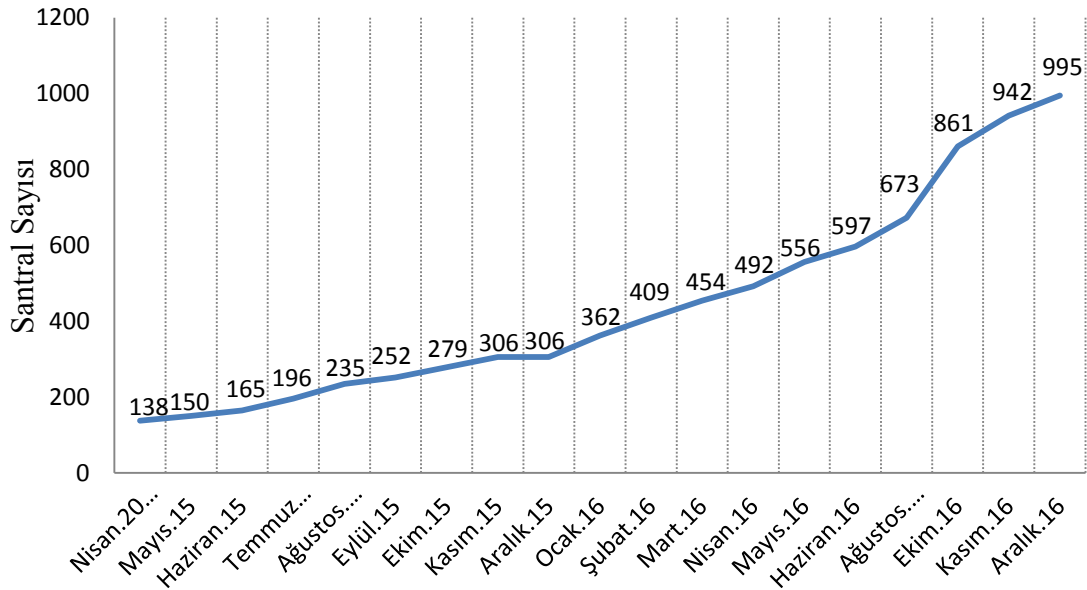
Şekil 3.9'da 2015 yılı sonuna kadar ancak 203,11 MW değerini bulan güneş santrali kurulu güç değerinin 2016 yılında sıçrama yaptığı ve 779,92 MW değerine ulaştığı ay bazında gösterilmiştir. Şekil 3.10'da kurulu güç içindeki güneş enerjisinin payı görülmektedir. Bu grafiğe göre de 2015 sonu itibariyle güneş enerjisinin kurulu güç içindeki payı 0,28 iken 2016 yılı sonu itibariyle kurulu güç içindeki payı 0,99 değerine ulaşmıştır. Şekil 3.11'de ise aylık olarak güneş enerjisi lisanssız santral sayıları görülmektedir. Nisan 2015'te 138 olan lisanssız güneş santrali sayısının Aralık 2016 itibariyle 995 sayısına ulaştığı görülmektedir.



Şekil 3.9 Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisi Kurulu Güç Gelişimi (MW) [51]



Şekil 3.10 Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisinin Kurulu Güç İçindeki Katkı Payının Gelişimi (%) [51]



Şekil 3.11 Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerjisi Santral Sayılarının Değişimi [51]

Güneş enerjisi potansiyeli için bakılması gereken önemli bir ölçüt olan güneş ışınım miktarını etkileyen bileşenler ve bu bileşenlerin etkileri, oranları ve çalışma yapılırken nelere dikkat edilmesi gerektiği Tablo 3.5’te görülmektedir.

Tablo 3.5 Güneş Işınım Miktarını Etkileyen Bileşenler ve Etkileri [41]

Bileşenler	Etkileri
Güneş Çıktısı	11 yıllık güneş periyodu
Dünya-Güneş mesafesi	Yıllık %3,5 değişim
Bulutlar	Baskın faktör görevi
Su Buharı	Seçici yutucu
Hava kirliliği	Direkt ışınımın % 50 azaltılması
Orman yangınları	Bölgesel etki
Volkanik küller	Küresel yıllık etki
Konum	Güneşin konumu
Gün içindeki zaman ve mevsim	Güneşin konumu

3.6. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi, Diğer Bölgeler ve Türkiye Ortalaması ile Karşılaştırılması

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılan yöntemlerin en önemli ve en çok tercih edilen şekli güneş pili uygulamalarıdır. Güneş pilleri üzerlerine düşen

güneş ışığını doğrudan olarak elektrik enerjisine çeviren yarı iletkenleri içeren ve günümüzde kullanılan mevcut yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevreye en duyarlı olan yapı olarak ifade edilebilir [52].

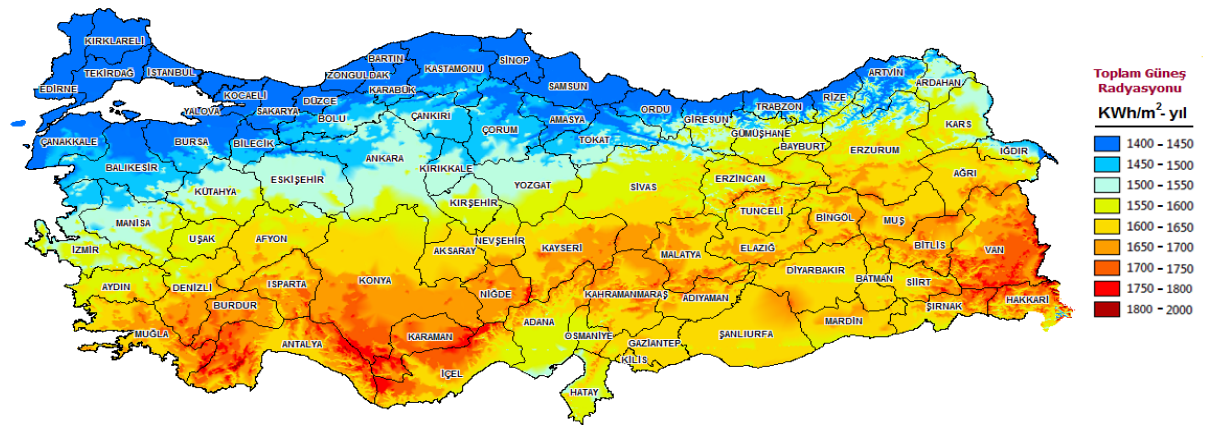
Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından DMİ'nin elde ettiği 1966-1982 yılları arasında ölçülmüş güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verileri baz alınarak yapılan çalışmada; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ve ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 KWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 KWh/m²) olarak çıkarılmıştır [53,54].

Ancak yapılan bu çalışmaların eksik kaldığı ve güneş enerjisinin değerlendirilmesi amacıyla yapılacak çalışmaları karşılayamadığı anlaşıldığından, güneş enerjisi potansiyelini belirlemek amacıyla DMİ ile işbirliği yapılarak yeni bir proje başlatılmıştır. Bu projenin yürütülmesi amacıyla, 5 adet güneş gözlem istasyonu, çeşitli illere 5 yıl süreyle tesis edilmiştir. Veri olarak yatay düzlemde toplam ve difüz güneş ışınımı, güneşlenme süresi ve çevre sıcaklığı değerleri toplanmıştır. Bu proje kapsamında 13 istasyon kurulmuş olup 7'sinde ölçümler tamamlanmıştır. Bu 13 istasyon, öncelikli olarak ölçümleri tamamlanan istasyonlar olmak üzere; Antalya (kapalı), Adana (kapalı), İzmir(kapalı), Isparta(kapalı), Ankara (kapalı), Erzincan (kapalı), Bodrum (kapalı), Didim, Kayseri, Balıkesir, Yalova, Birecik ve Yozgat'tır. Hem bu istasyonlardan alınan ölçümlerin kullanılması hem de DMİ'nin verilerinin kullanılmasıyla yeni bir model geliştirilmiş, 58 il için güneşlenme süreleri ve güneş ışınımı değerleri yeniden çıkarılmıştır. Bu bilgiler ortalama % ± 10 hata payı ile hesaplanmış ve ilgili DMİ'nin 148 adet ve EİE'nin 8 adet uzun döneme ait güneş ölçüm değerleri ile doğrulanmış ve düzenlenmiştir [54] .

Elde edilen bu bilgiler, veriler, hesaplar ve GEPA, EİE'nin web sayfasında yayınlanmış ve araştırmacıların kullanımına sunulmuştur. Bu verilere bakılarak Türkiye'nin ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin güneş enerjisi potansiyeli incelenebilir ve karşılaştırılabilir. Bu bilgilere göre;

- Türkiye'nin ortalama güneşlenme süresi yıllık 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat),
- Türkiye'nin ortalama ışınım şiddeti toplam 1.527 KWh/m²-yıl (günlük toplam 4,2 KWh/m²),
- Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli 380 milyar KWh/yıl'dır [48].

Şekil 3.12’de gösterilen Türkiye güneş enerjisi haritasından açıkça görülebileceği üzere sarı ve kırmızı renkte olan bölgelerde toplam güneş radyasyonu değerleri yıllık olarak 1.600 kWh/m^2 ile 1.800 kWh/m^2 değerleri arasında değişmektedir [55]. Bu değerler ise güneş enerjisinden faydalanmak ve elektrik üretmek için çok uygun değerler olarak görülmektedir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisinin elde edilmesinde lider ülkelerden olan Almanya’daki güneş radyasyonu değerlerinin ortalama 1.300 kWh/m^2 -yıl olduğu değerlendirildiğinde Türkiye’nin güneş potansiyelinin çok uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli olarak en fakir bölgesi olan Karadeniz Bölgesindeki ortalama değer olan 1.400 kWh/m^2 ’lik güneş radyasyonu değerinin bile güneşten enerji üretilebilecek seviyede olduğu görülmektedir [2].



Şekil 3.12 Türkiye Global Güneş Radyasyon Dağılımı Haritası [55]

Hem kuzeyde yer almasından dolayı enlem değerinin büyük olması hem de rutubetli olmasından dolayı en az ışınım alan bölge Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'dir. Atmosferdeki fazla su buharı, ışınımını perdelemekte ve verimi azaltmaktadır. Marmara ve Kuzey Ege Bölgesi ışınım durumu nispeten az ve Karadeniz Bölgesi'ne göre biraz daha iyi durumdadır. Güney Ege, Batı Akdeniz ve Orta Anadolu Bölgeleri orta derecede ışınımına maruz kalmaktadır. Doğu Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri ışınım değerleri bakımından iyi olan bölgelerdir [41].

Türkiye'nin güneyi güneş enerjisi açısından çok elverişli olmasına karşın potansiyeli iyi olan her alana güneş enerji santralının kurulmasının olumsuz birçok sonuçları olacaktır. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla santral kurulamayacak belirlenmiş alanlar

Şekil 3.13'deki GEPA haritasında belirtilmiş ve kullanılamaz alanlar olarak işaretlenmiştir.

GEPA'ya göre kullanılamaz alanlar;

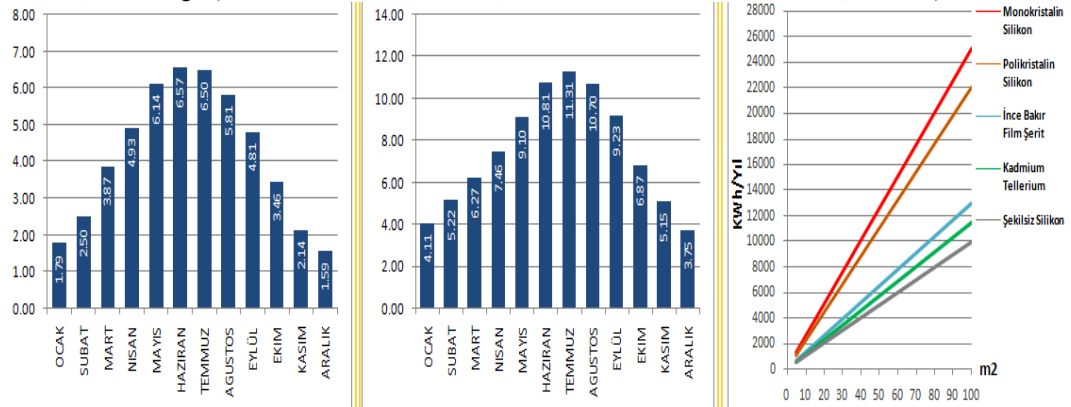
1. Zemin eğimi 3 dereceden büyük olan araziler,
2. Yerleşim yerleri ve 500 m emniyet şeridinin içerdiği alanlar,
3. Demir yolları, kara yolları ve 100 m emniyet şeridinin içerdiği alanlar,
4. Havaalanları ve 3 km emniyet şeridi içindeki alanlar,
5. Çevre Koruma, Milli Parklar ve Tabiat Alanları ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlar,
6. Göller, baraj gölleri, nehirler ve sulak alanlar,
7. Koru Ormanları, Özel Ormanlar, Muhafaza Ormanları Fidanlıklar, Ağaçlandırma Alanları, Sazlık Alanlar, Bataklıklar ve Ağaç Parkları olarak sıralanmaktadır [56].



Şekil 3.13 Türkiye Güneş Santrali Kurulamaz Alanlar Haritası [56]

Şekil 3.14'te Türkiye'de aylara göre günlük olarak m² başına denk gelen kWh olarak enerji değerleri olan global radyasyon değerleri, aylara göre günlük saat olarak ortalama güneşlenme süreleri ve kullanılacak panel malzemesine göre metrekareye düşen güneş ışınımı ile yıllık üretilebilecek enerji gösterilmektedir. Tablo 3.6'da yer alan değerler de Şekil 3.14'teki aylık bazdaki ortalama günlük değerlerin önce aylık sonra 365 gün üzerinden yıllık değerleri bulunarak hesaplanmıştır.

Türkiye Global Radyasyon Değerleri /Türkiye Güneşlenme Süreleri / Türkiye PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh/m²-gün) (Saat) (KWh-Yıl)



Şekil 3.14. Türkiye için Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün), Güneşlenme Süreleri (Saat) ve PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) [55]

Tablo 3.6 Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli [55]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kcal/cm ² ay - kWh/m ² ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)
OCAK	4,77	55,49
ŞUBAT	6,02	70
MART	10,32	119,97
NİSAN	12,72	147,9
MAYIS	16,37	190,34
HAZİRAN	16,95	197,1
TEMMUZ	17,33	201,5
AĞUSTOS	15,49	180,11
EYLÜL	12,41	144,3
EKİM	9,22	107,26
KASIM	5,52	64,2
ARALIK	4,24	49,29
TOPLAM	131,36	1527,46
ORTALAMA	0,35	4,18

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlasına bakıldığında zaman ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri için ortalama bir değer olmakla beraber farklı bölgeler veya iller için farklılıklar ortaya çıktığı görülmektedir. Fotovoltaik bir sistemin kurulduğu bölgenin öncelikle dünya üzerindeki konumu sonrasında ise kurulacağı ülke içerisindeki konumu sistemden üretilebilecek enerjiyi doğrudan etkilemektedir. Hatta aynı ülkede olmasına rağmen iki farklı konumun ışınım değerleri arasında büyük farklar oluşabilmektedir. Bu durum da bölgelerin güneşlenme potansiyellerinin değişiklik

göstermesine yol açmaktadır. Türkiye'nin kuzeyinde veya güneyinde olmak, en düşük veya en yüksek değerlere sahip olmak ise güneş enerjisi potansiyelini değiştirmekle kalmayıp KWh başına maliyeti de düşürmektedir. Örneğin Türkiye'nin en kuzeyinde bulunan bir yer bir metrekarelik alana yılda yaklaşık olarak 700 KWh değerinde güneş enerjisinden faydalanmasına rağmen güneyde iyi güneş alan bir yerde bu rakam 1.850 KWh değerine ulaşabilmektedir. Marmaris, Antalya ve Burdur gibi güneyde bulunan bazı illerde eğimli yüzeylerde güneş enerjisi değeri birim alana yıllık toplam 1.800 KWh değerlerini görmektedir. Elbette ki bu durum da KWh başına maliyet değerini düşürmektedir [53].

Türkiye'deki toplamda ortalama güneşlenme süresi 2.737 saattir [48]. Bu değer Türkiye'yi güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretilmesi gereken avantajlı ülkeler arasına katmaktadır. Şekil 3.7'den görüldüğü üzere Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Bu bölgeyi Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Ayrıca günlük ve toplam solar enerji değerleri incelenecek olursa yine Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ülkenin en yüksek güneş enerji potansiyeline sahip olduğu dikkat çekmektedir.

Bölgelere göre toplamda yıllık olarak metrekareye düşen güneş ışınım şiddetinin KWh olarak karşıladığı değerler, Tablo 3.7'de toplam güneş enerjisi başlığı altında sunulmuştur. Bu değerler çoktan aza doğru sıralanacak olursa; Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde 1.491,2 KWh/m², Akdeniz Bölgesi'nde 1.452,7 KWh/m², İç Anadolu Bölgesi'nde 1.432,6 KWh/m², Ege Bölgesi'nde 1.406,6 KWh/m², Doğu Anadolu Bölgesi'nde 1.398,4 KWh/m², Marmara Bölgesi'nde 1.144,2 KWh/m² olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama güneş ışınım şiddetinin en düşük değeri ise 1.086,3 KWh/m² olarak Karadeniz Bölgesi'ne aittir. Bu değerlere göre santral kurulurken Türkiye'nin en verimsiz bölgesi olan Karadeniz Bölgesi yerine en verimli bölgesi olan Güneydoğu Anadolu Bölgesi seçildiği zaman toplamda ortalama olarak yılda % 37 daha avantajlı olduğu görülmektedir [57,58].

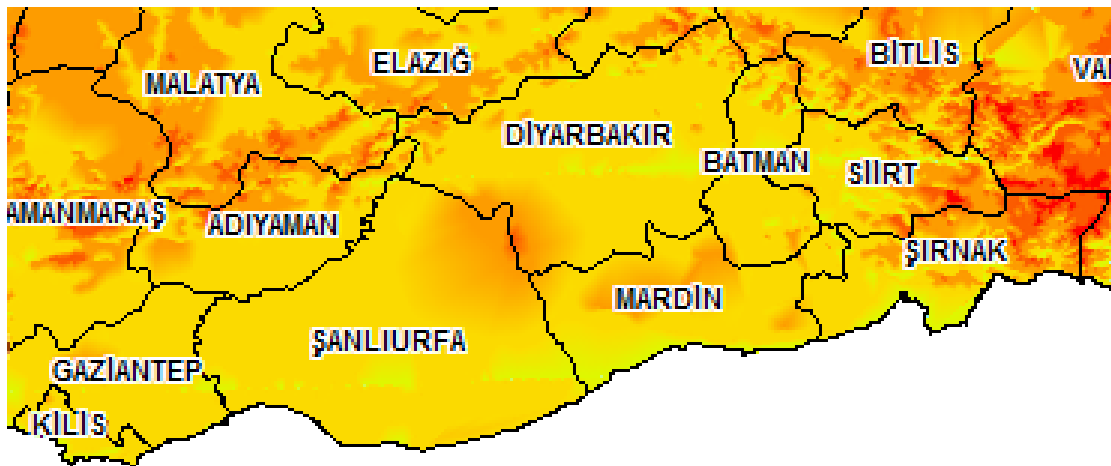
Bölgelerin güneş enerjisi potansiyeli için global radyasyon değerleri ile birlikte bölgelerin güneşlenme sürelerine de bakılması gereklidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Tablo 3.7'den görüldüğü üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin yılda 3.015,8 saat güneşlenme süresi ile güneş enerjisi bakımından en zengin bölge olduğu görülmektedir. İkinci sırada bulunan Akdeniz Bölgesinin

güneşlenme süresi ise 2.923 saattir. Diğer bölgelere de sırasıyla bakılacak olursa; güneşlenme süresi Ege Bölgesi için 2.726,1 saat, İç Anadolu Bölgesi için 2.711,5 saat, Doğu Anadolu Bölgesi için 2.692,5 saat, Marmara Bölgesi için 2.525,7 saat ve Karadeniz Bölgesi için ise 1.965,9 saat olarak hesaplanmıştır [57,58].

Tablo 3.7 Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere göre Dağılımı [57,58]

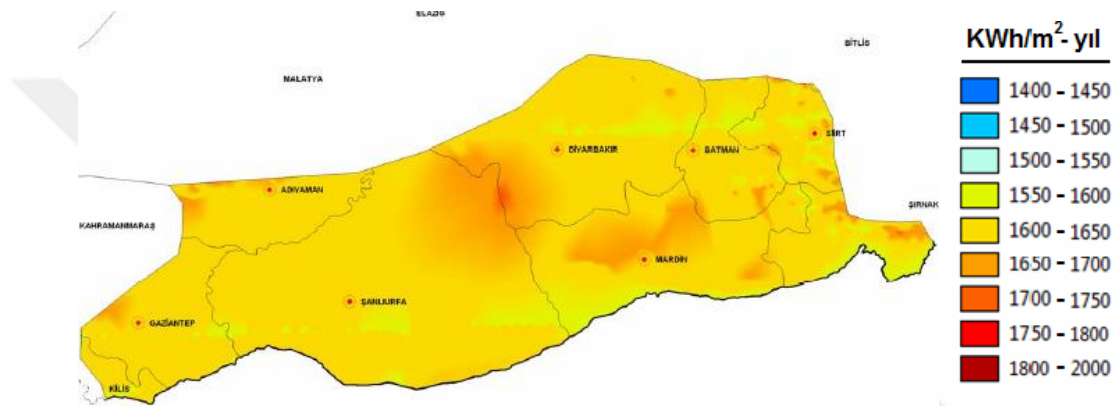
BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	1491.2kWh/m ²	3015.8 saat
Akdeniz Bölgesi	1452.7 kWh/m ²	2923.2 saat
Ege Bölgesi	1406.6 kWh/m ²	2726.1 saat
İç Anadolu Bölgesi	1432.6 kWh/m ²	2711.5 saat
Doğu Anadolu Bölgesi	1398.4 kWh/m ²	2692.5 saat
Marmara Bölgesi	1144.2 kWh/m ²	2525.7 saat
Karadeniz Bölgesi	1086.3kWh/m ²	1965.9 saat

Şekil 3.15'te GEPA'ya göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin güneş enerjisi potansiyeli görülmektedir. Işınım değerleri en iyi olan kısım Güney Doğu Bölgesinin sağ en alt kısmıdır. Sert ve soğuk bir iklime sahip olan bu kısım kışın en fazla ışınım alan yer olup, rakım değeri fazladır. Havadaki su buharı, yağmur ve kar şeklinde yoğunluğundan dolayı havada fazla su buharı bulunmamaktadır. Bu nedenle atmosfer daha berraktır. Berrak hava da ışınımın en fazla olduğu durumdur [41].

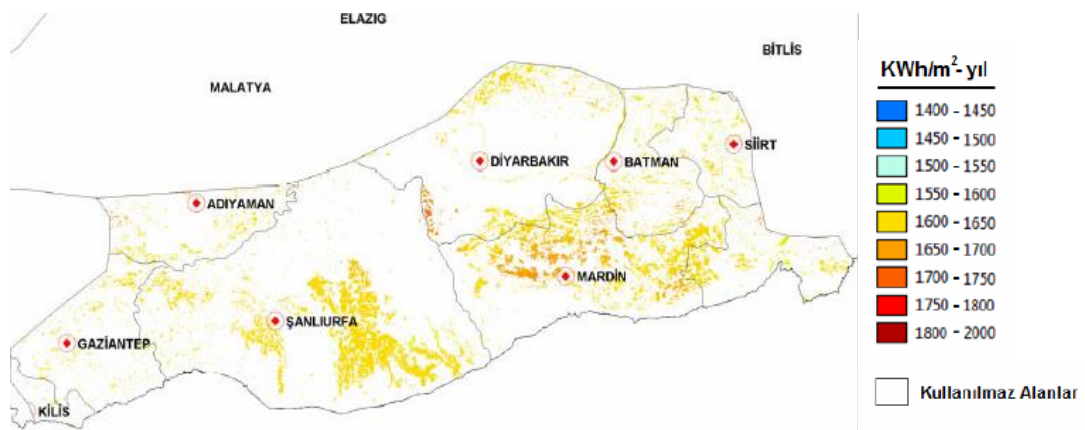


Şekil 3.15 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli [55]

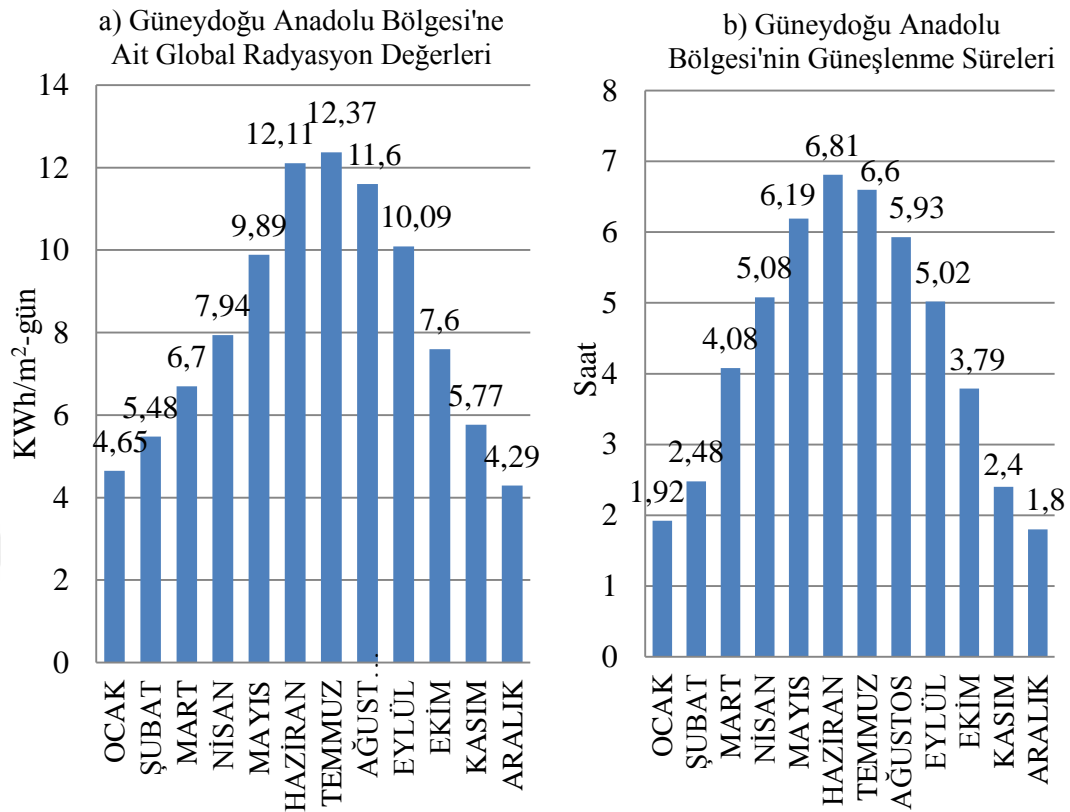
Şekil 3.16'da ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin global güneş radyasyon dağılımı haritasında yıllık bazda m^2 'ye denk gelecek güneş enerjisi potansiyeli kWh olarak gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 3.17'de Güneydoğu Anadolu Bölgesi güneş santrali kurulamaz alanlar beyaz renkle işaretli olup bu alanlar santral kurulumuna uygun olmayan alanlar olarak belirtilmiştir. Şekil 3.18'de ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi için global radyasyon değerleri günlük bazda m^2 'ye denk gelen güneş enerjisi kWh cinsinden ve güneşlenme süreleri saat olarak verilmiştir [56].



Şekil 3.16 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait Global Güneş Radyasyon Dağılımı Haritası [56]



Şekil 3.17 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Güneş Termik Santrali Kurulamaz Alanlar [56]



Şekil 3.18 a) Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün), b) Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Güneşlenme Süreleri (saat) [56].

Güneş enerjisi yatırımcıları açısından önem arz eden Türkiye güneş enerjisi yatırım haritası ve elektrik bağlantı noktalarının kararlaştırılmasından sonra Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından güneş enerjisi yatırımlarının kurulacağı bölgeler ve şehirler belirlenip kamuoyuna duyurulmuştur. Bu duyuruya güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için sadece 27 bölgede 38 ile izin verilmiştir. En yüksek kapasite 92 megavat (MW) ile Konya'ya verilmiştir. Sonrasında ise Van'a 77MW, Mersin'e ise 35 MW'lık güneş enerji santrali için başvuru izni tanınmıştır. Türkiye'nin tamamı için bakıldığında ise toplam güneş enerjisi başvuruları kurulu güç olarak en fazla 600 MW olacaktır [60].

Bu teşvikte Güneydoğu Anadolu Bölgesi için verilen teşvik toplamda 76 MW'dır. Üstelik bu miktarın 27 MW'lık kısmı Adıyaman ile Kahramanmaraş ve 22 MW'lık kısmı da Adıyaman ile Malatya arasında paylaşılmaktadır. Paylaşılan kısımların yarısı baz alındığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi için verilen teşvik toplamda 51,5 MW'a düşmektedir. Bu değer ise toplam teşvik değeri olan 600 MW'ın % 8,5'ine karşılık

gelmektedir. Bu sonuç ise güneş enerjisi bakımından lider durumda olan bölgenin potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik çalışmaların çok yetersiz olduğunu göstermektedir. Teşviklerin bölgedeki illere göre dağılımı Tablo 3.8’de gösterilmektedir.

Tablo 3.8 Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki İllere Göre Enerji Teşvikleri [60]

KURULACAK İLİ	GÜCÜ (MW)	KURULACAK İLİ	GÜCÜ (MW)	KURULACAK İLİ	GÜCÜ (MW)
MARAŞ-ADİYAMAN	27	MALATYA-ADİYAMAN	22	ŞIRNAK	11
SİİRT-BATMAN-MARDİN	9	ŞANLIURFA-DİYARBAKIR	7		

Bu teşvikler lisanslı güneş enerjisi santralleri için geçerli olup zaten mevcut durumda ancak iki adet lisanslı güneş enerjisi santrali aktif durumdadır ve diğer tüm güneş enerjisi santralleri lisanssız santrallerdir. Tablo 3.8’deki illere belirtilen değerler kadar teşvik verilecek olmasına rağmen il bazındaki lisanslı, lisanssız ve yapım aşamasında olan güneş enerji santrallerinin listesi Tablo 3.9’da görülmektedir.

Tablo 3.9 Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki Güneş Enerjisi Santrallerinin Durumu ve İl Bazındaki Dağılımı [61]

İLİ	(LİSANSIZ) AKTİF GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ		YAPIM AŞAMASINDAKİ GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ		(LİSANSLI) ÖNLİSANS ALINAN GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ		GENEL TOPLAM
	Firma Adedi	Toplam Güç (MW)	Firma Adedi	Toplam Güç (MW)	Firma Adedi	Toplam Güç (MW)	
GAZİANTEP	18	11,16	4	19,5			30,66
ŞANLIURFA	3	9,32	2	26	1	7	42,32
KİLİS	6	7,74	5	13,86			21,6
ADİYAMAN	10	7,42	3	2,22	2	12,05	21,69
DİYARBAKIR	4	2,3	3	1,87			4,17
MARDİN	1	0,3			1	9	9,3
SİİRT	1	0,2	1	0,48			0,68
BATMAN			1	1			1
ŞIRNAK			1	0,3	1	7	7,3
TOPLAM	43	38,44	20	65,23	5	35,05	138,72

Sunulan tüm bu tablo, şekil ve veriler ışığında Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli olarak en uygun bölgesinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu görülmektedir. Fakat bu potansiyelin değerlendirilmesi açısından bakıldığında ise bölgenin ve ülkenin bu potansiyeli yeterince kullanmadığı açıkça görülmektedir.



4. BÖLÜM

RÜZGAR ENERJİSİ VE TÜRKİYE'DE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NDE UYGULANABİLİRLİĞİ

4.1. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisinin kaynağı güneş olup; temiz, doğal, yenilenebilir ve sonu gelmeyen bir enerji çeşididir. Güneşten dünyaya ulaşan enerjinin ancak % 2'lik kısmı rüzgar enerjisine dönüşebilmektedir. Güneş yeryüzünün ve atmosferin her bölgesini eşit ölçüde ısıtmadığından bu bölgeler arasında sıcaklık, nem ve basınç farkları oluşur. Bu farklılıklar da hava akımına neden olur. Isınan hava kütleleri ısınca genişler ve yoğunlukları azalır. Soğuk hava kütleleri ise daha az hacim kapladıklarından yoğunlukları daha fazladır. Yoğunluğu az olan hava kütleleri yoğunluğu daha fazla olan hava kütlelerine göre atmosferde yükselir. Yükselen bu hava kütlelerinin yerine soğuk hava kütlesi yerleşir. İşte bu şekilde sıcaklık farkı nedeniyle hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşan hava akımına rüzgar denmektedir. Başka bir anlatımla rüzgar; yan yana bulunan iki farklı basınç alanı arasındaki basınç farkı nedeniyle oluşan ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru havanın akımının hareketidir. Dünyanın kendi etrafında dönme hareketi, yüzey sürtünmeleri, rüzgar önündeki farklı atmosferik olaylar, yerel ısı yayılımı ve arazinin topoğrafik yapısı gibi sebepler rüzgarların şekillenmesindeki en etkili unsurlardır [62].

Rüzgar enerji santralleri, rüzgar türbinleri sayesinde havanın hareket ve hızından kaynaklanan havanın kinetik enerjisini öncelikle türbin kanatlarının hareketiyle mekanik enerjiye sonrasında ise elektrik enerjisine dönüştürmektedir [63].

Yüksek ve engebesiz tepe ve vadiler, basınç değişimlerinin fazla olduğu yerler, güçlü jeostrofik rüzgarların etkisi altında kalan bölgeler, kıyı şeritleri, kanal etkilerinin

meydana geldiği dağ silsileleri, vadiler ve tepeler meteorolojik açıdan rüzgarın oluşması için elverişli alanlardır [63].

Rüzgarı tarif etmek için yön ve hız olmak üzere iki ölçüt kullanılır. Rüzgar için hız değeri yükseklik arttıkça artmaktadır. Teorik olarak rüzgarın gücü, hızının küpü ile orantılı olarak artmaktadır. Rüzgar enerjisi uygulamalarının dezavantajları; ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük, rüzgar hızlarının zamanla değişmesine bağlı olarak enerji üretiminin değişken olması sayılabilir. Avantajları ise;

1. Doğal, temiz, çevre dostu ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması,
2. Atmosferde serbest halde ve bol miktarda bulunması,
3. Hammadde için dışa bağımlılık oluşturmaması,
4. Kaynak riski, tükenme riski ve zamanla fiyatının artma riski olmaması,
5. Ekonomiklik yönünden güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmesi,
6. İşletim ve bakım masraflarının düşük olması,
7. İstihdam oluşturmaması,
8. Teknolojisinin tesisi ve işletilmesinin nispeten basit olması,
9. Kısa bir sürede işletmeye alınabilmesi olarak sayılabilir [63].

Rüzgar enerjisinin türbin göbek yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızına bağlı olarak bulunan yerdeki rüzgar hızlarına göre sınıflandırılması kıyaslamalar açısından önem arz etmektedir. Rüzgar hızları dikkate alınarak yapılan sınıflandırmaya göre;

- 6,5 m/s rüzgar hızı orta düzey,
- 7,5 m/s rüzgar hızı iyi,
- 8,5 m/s ve yukarısı hızlar ise çok iyi olarak değerlendirilmektedir [63].

İlk çağdan itibaren rüzgar enerjisi türbin şaftının gücü yağ çıkarmada, su pompalamada ve çeşitli ürünlerin kesilmesi, biçilmesi, öğütülmesi, sıkıştırılması gibi mekanik güç veya enerjiye ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisinin en etkili kullanım alanları; elektriksel uygulamalar (şebekeye bağlantılı veya bağlantısız sistemler), mekanik uygulamalar (su pompalama sistemi) ve ısı enerjisi uygulamalarıdır [63].

Rüzgar türbinlerinin elektrik enerjisi üretimine başlayabilmeleri için rüzgarın belirli hız aralıklarında olması gerekmektedir. Rüzgar türbinlerinin çalışmaya başlayabilmeleri için gerekli minimum hıza başlama (cut-in) hızı denmektedir. Rüzgar türbinlerinin güç

ve tiplerine göre belirlenmiş rüzgar hızlarında sistemden elde edilecek güç en büyük değerdedir. Bu en büyük güce nominal güç ve bu gücün elde edilmesini sağlayan rüzgar hızına da nominal hız denmektedir. Rüzgar türbin sistemlerinin hasar görmemesi için belirli hız değerlerine erişen bu türbinlerin durma (stop) konumuna geçirilmesi otomatik olarak sağlanmaktadır. Türbin için risk oluşturan bu maksimum hıza sistemin kesme (cut-out) hızı denmektedir. Günümüz rüzgar türbinlerinin cut-in hızları 2-4 m/s, nominal hızları 10-15 m/s ve cut out hızları ise 25-35 m/s arasındadır. Rüzgar türbinlerinin enerji üretimlerini güvenli ve en verimli bir şekilde gerçekleştirebilmeleri için cut-in ve cut-out rüzgar hızları denen hızlar arasında ve nominal hızla gerçekleştirmeleri gerekmektedir [63].

4.2. Dünya Genelinde ve AB Ülkelerinde Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Türkiye'nin Yeri

Dünya Enerji Konseyi (WEC: World Energy Council) tarafından yapılan bir çalışmayla dünyanın rüzgar enerji potansiyeli teknik olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada rüzgar hızı 5,1 m/s'den yüksek alanlar baz alınmış fakat uygulamaya dönük ve toplumsal engeller sebebiyle ancak % 4'ünün değerlendirilebileceği kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda dünyanın rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 53.000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dünya'da 2013 yılı sonu itibariyle yıllık rüzgar enerjisi üretimi 637 TWh/yıl olup üretilen toplam enerji içerisindeki oranı ise % 2,7'dir. İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin 2014 yılı sonu itibarıyla kurulu gücü ise 370 GW 'dır [63].

2015 yılı sonu itibariyle ise Tablo 4.1'den görüleceği üzere dünyanın rüzgar enerji kurulu gücü 433 GW'dır. AB ülkeleri için ise toplam kurulu güç değeri 142 GW'dır. AB ülkeleri rüzgar enerjisi kurulu gücü dünyada rüzgar enerjisi kurulu gücünün yaklaşık üçte birine denk gelmektedir. Tablodan görüleceği üzere dünyadaki yenilenebilirler içinde en yüksek pay % 57 ile hidrolik enerjiye aittir. Dünyada hidrolik enerjiden sonra en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı rüzgardır. Rüzgarın yenilenebilir kurulu güç içindeki payı ise % 23'tür. Kendisine en yakın kurulu güç ise % 12 ile güneştir. Tabloya göre rüzgar enerjisi kurulu gücü güneş enerjisi kurulu gücünün yaklaşık iki katı büyüklüğündedir [17].

Tablo 4.1 Dünya Genelinde ve AB Ülkelerinde 2015 Yılı Yenilenebilir Elektrik Güç Kapasiteleri (GW) [17]

Kaynaklar	Biyokütle	Jeotermal	Hidro	Okyanus	Güneş (PV)	Güneş (CSP)	Rüzgar
AB Kapasitesi	36	1	126	0,3	95	2,3	142
Dünyadaki Kapasitesi	106	13,2	1064	0,5	227	4,8	433
Yenilenebilirler İçindeki Payı	0,057	0,007	0,57	0,00027	0,12	0,0025	0,23

Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (GWEC: Global Wind Energy Council) verilerine göre düzenlenmiş Tablo 4.2'den de görüldüğü üzere dünyadaki rüzgar enerjisi gücü 2015 yılında 63 GW'lık rekor bir artış gerçekleştirerek toplamda 433 GW değerine ulaşmıştır. Tablo 4.2'de rüzgar enerjisi güç kapasitelerine göre ülkeler sıralanmıştır. Burada Çin 145.362 MW'lık kapasite ile bu alanda dünyadaki en büyük rüzgar gücüne sahip öncü ülke olarak görülmekle beraber dünya üzerindeki rüzgar enerjisi kurulu gücünün üçte birinin Çin'e ait olduğu görülmektedir. İkinci sıradaki ABD'nin kurulu gücü 74.471 MW, üçüncü sıradaki Almanya'nın ise 44.947 MW'dır. Sonrasında sırasıyla Hindistan'ın rüzgar gücü 25.088 MW, İspanya'nın 23.025 MW, İngiltere'nin 13.603 MW, Kanada'nın 11.205 MW ve Fransa'nın 10.358 MW'dır. 2015 sonu itibariyle bu 8 ülkenin hepsinde 10.000 MW'dan fazla rüzgar enerjisi kurulu gücü mevcut bulunmakta olup ayrıca bu 8 ülkeye ait toplam kurulu rüzgar gücü dünya kurulu rüzgar gücünün % 80'ini temsil etmektedir. Türkiye ise 2015 sonu itibarı ile 4.694 MW'lık kurulu güç değeri ile dünya sıralamasında 15. sırada yer almaktaydı [64].

Tablo 4.2 Ülkelerin 2015 Yılı Rüzgar Enerjisi Güç Kapasiteleri (GW) [64]

Ülkeler	Dünya	Çin	ABD	Almanya	Hindistan	İspanya	İngiltere	Kanada	Fransa
Rüzgar Güçleri	433	145,362	74,471	44,947	25,088	23,025	13,603	11,205	10,358

GWEC'e göre 2015 yılı sonunda 433 GW'a ulaşan küresel rüzgar enerjisi gücünün, Uluslararası Enerji Ajansı'nın tespit ettiği yeni politikalar senaryosuna göre 2030 yılında 1.259 GW değerine ulaşacağı hesap edilmektedir. Bununla birlikte GWEC'e göre, rüzgar enerjisi sektörünü kuvvetlendirecek çalışmaların uygulamaya konması

sayesinde ise bu güç 2030 yılı sonuna doğru 2.110 GW'a yaklaşabilir. Bu güce ulaşıldığı takdirde ise rüzgar enerjisinin küresel elektrik üretimindeki oranı 2015'te yüzde 3 iken 2030'da yüzde 20'ye çıkmış olacaktır. Böylece 3,3 milyar tonluk sera gazı salınımının önüne geçilmiş olacaktır. Bu gelişmelerin yaşanması durumunda 2030 yılında yatırım maliyetlerindeki hızlı düşüğe rağmen rüzgar enerjisinin 2,4 milyon kişinin çalıştığı ve 200 milyar avro'luk yıllık pazar büyüklüğüne ulaşan bir sektör haline geleceği değerlendirilmektedir [64].

Dünya rüzgar enerjisi kurulu gücünün yaklaşık üçte birine sahip AB üyesi ve üyeliğe aday ülkelerin toplam Rüzgar Enerji Santrali (RES) kurulu güçleri incelendiğinde 2015 verilerine göre ilk 10 ülke şöyle sıralanmaktadır:

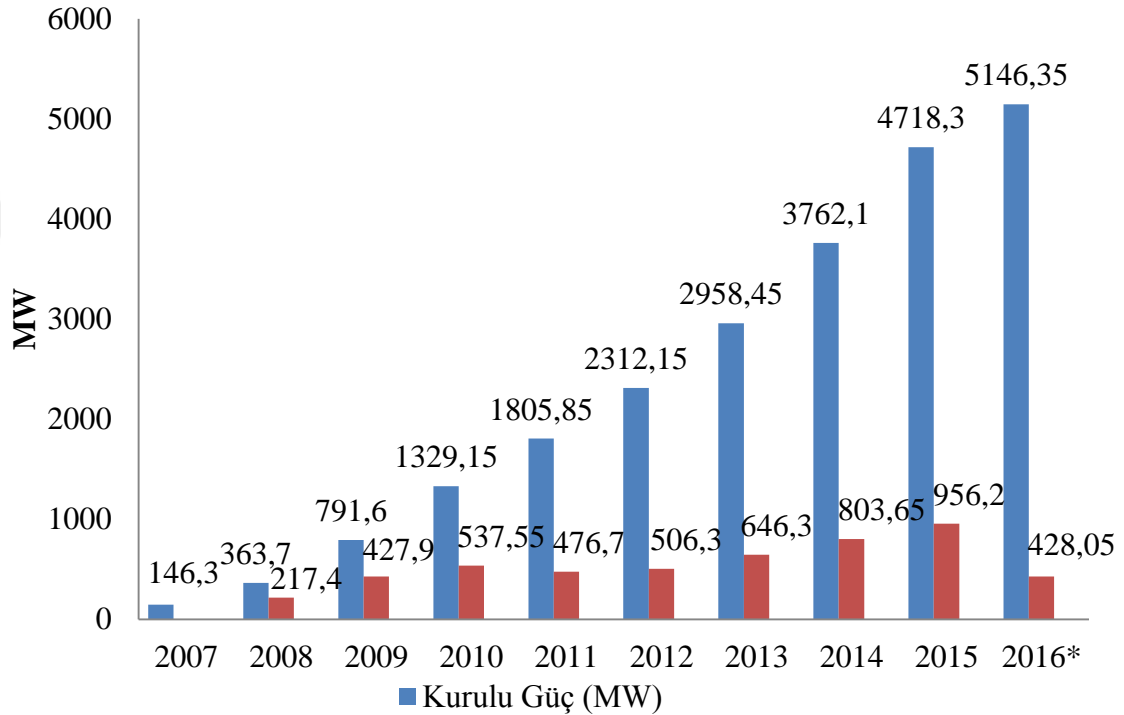
1. Almanya	44.947 MW
2. İspanya	23.025 MW
3. İngiltere	13.603 MW
4. Fransa	10.358 MW
5. İtalya	8.958 MW
6. İsveç	6.025 MW
7. Polonya	5.100 MW
8. Portekiz	5.079 MW
9. Danimarka	5.063 MW
10. Türkiye	4.694 MW [64].

4.3. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi ve Kullanımında Gelişim Süreci

Türkiye'de yerden 50 metre yükseklikteki rüzgar hızı 7,5 m/s üzeri olan alanlar baz alındığında bu alanlara kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santrali kurulabileceği değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmeye göre orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak üretilen ve rüzgar enerjisi değerlendirmeleri için bir kaynak niteliği taşıyan REPA hazırlanmıştır. REPA'ya göre Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak hesaplanmıştır. Bu potansiyeli karşılamak amacıyla kurulacak olan rüzgar enerji santralleri için alan olarak Türkiye'nin yüz ölçümünün % 1,30'unun kullanılması yeterli olacaktır [63].

Türkiye'de, yıllık rüzgar enerjisi üretim miktarı 2015 yılı sonu itibariyle 11.652 GWh'dir. İşletmede olan lisanslı rüzgar enerji santrallerinin kurulu gücü ise 2016 yılı Haziran ayı sonu itibarı ile 4.947 MW'dır [63].

Şekil 4.1'de Türkiye rüzgar enerjisinin 2007 yılından itibaren gelişimi görülmektedir. 2007 yılından itibaren kurulu gücün her yıl en az % 25 oranında arttığı görülmektedir.



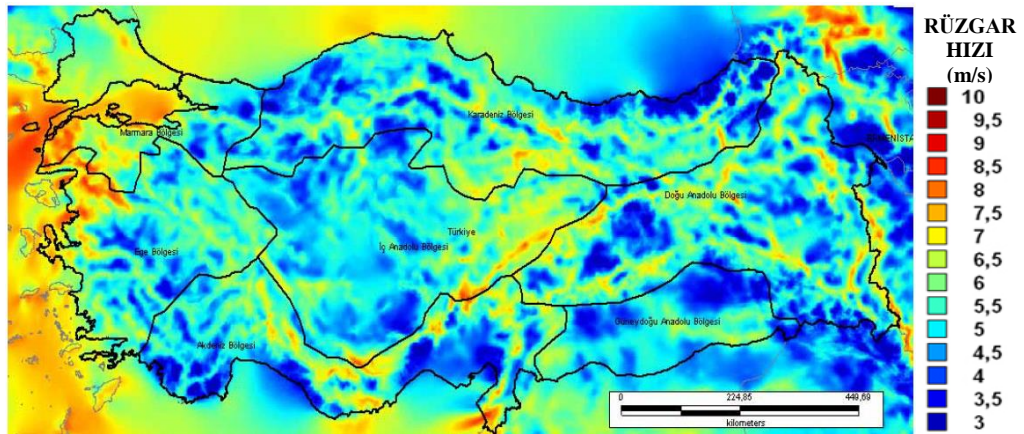
Şekil 4.1 Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Santralleri için Kümülatif Kurulum [65]

REPA'dan faydalanılarak Türkiye geneli için 200 m x 200 m çözünürlüğünde;

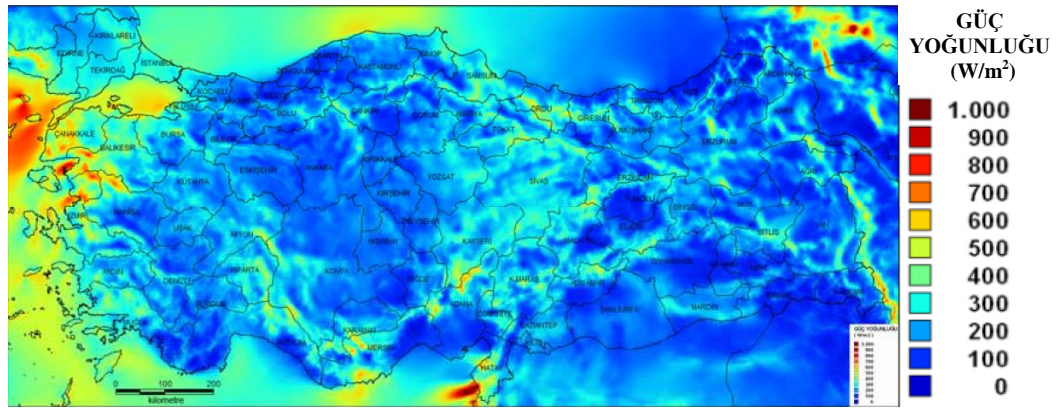
- 30, 50, 70 ve 100 m yüksekliklere ait yıllık, mevsimlik, aylık ve günlük ortalama rüzgar hızları,
- 50 ve 100 m yüksekliklere ait yıllık, mevsimlik ve aylık rüzgar güç yoğunlukları,
- Referans alınan bir rüzgar türbini için 50 m yükseklikteki yıllık kapasite faktörü,
- 50 m yüksekliğe ait yıllık rüzgar sınıfı,
- 2 ve 50 m yüksekliklere ait aylık sıcaklık değerleri,
- Deniz seviyesi ve 50 m yükseklikteki aylık basınç değerleri bilinebilmektedir.

REPA ile Türkiye'nin denizleri, kıyıları ve yüksek bölgeleri için daha önce ölçülemeyen potansiyeli yüksek alanlar görünür kılınmıştır [66].

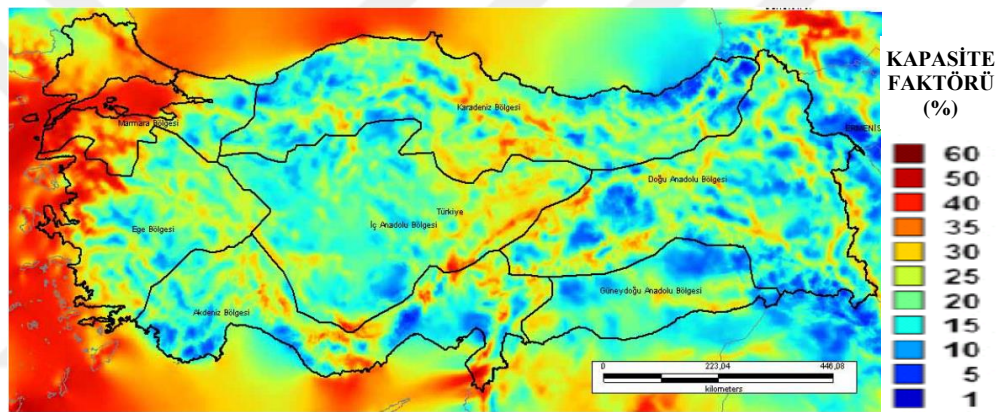
Şekil 4.2’de Türkiye’de 50 m yükseklikteki rüzgar hızlarına göre düzenlenmiş, REPA görülmektedir. Mavi bölgeler rüzgar hızı 3 m/s ile 6 m/s arasında olan bölgeleri ifade edip yeşil bölgeler ise rüzgar hızı 6 m/s ile 7 m/s arasında olan bölgeleri ifade etmektedir. Mavi ve sarı olan bölgelerde rüzgar hızları 7 m/ s ‘den düşük oldukları için bu bölgelere santral kurulması ekonomik olarak değerlendirilmemektedir. Burada sarı bölgeler 7 m/s ve üzeri bölgeleri ifade etmekte olup rüzgar santrali kurulumu için elverişlidir. Kırmızı renkte olan bölgeler ise 8 m/s ve üzeri rüzgar hızına sahip bölgeleri ifade etmekte olup rüzgar santrali kurulumu için çok iyi olan bölgelerdir. Sarı ve kırmızı renkte olan santral kurulumuna uygun bölgeler daha çok Marmara Bölgesinde görülmekle beraber Ege, Akdeniz, İç Anadolu Bölgelerinin bir kısmında ve diğer bölgelerin ise çok daha az bir kısmında görülmektedir. Şekil 4.3’te ise m²’den üretilebilecek Watt cinsinden Türkiye güç yoğunluğu haritası görülmektedir. Burdaki hesaplamalarda 1 MW’lık güç değeri referans alınarak rüzgar türbinine ait teknik değerler kullanılmıştır. Türkiye kapasite faktörü dağılımı ise Şekil 4.4’te görülmektedir. REPA verilerine göre bir RES yatırımının ekonomik olabilmesi için kapasite faktörünün en az % 35 olması gerekmektedir.



Şekil 4.2 Türkiye için 50 m Yükseklikte Rüzgar Hız Dağılımı (*Ekonomik RES yatırımı için 7 m/s veya üzerinde rüzgar hızı gerekmektedir.) [66]



Şekil 4.3 Türkiye için 50 m Yükseklikte Güç Yoğunluğu Dağılımı [66]

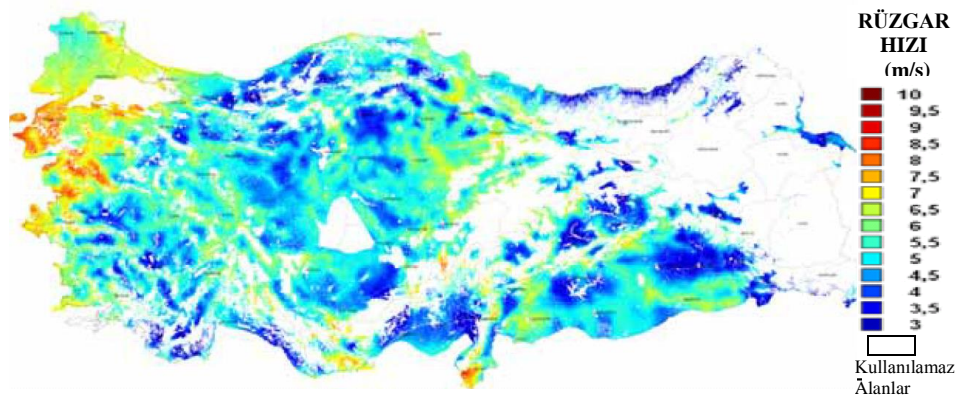


Şekil 4.4 Türkiye için 50 m Yükseklikte Kapasite Faktörü Dağılımı (*Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir.) [66]

Her bölgeye rüzgar enerji santrali kurulması uygun olmayacağından Şekil 4.5'te Türkiye'de rüzgar enerjisi santrali kurulamaz alanlar beyaz renkle gösterilmiş olup bu alanlar santral kurulumuna uygun olmayan alanlar olarak belirtilmiştir.

REPA'ya göre rüzgar enerjisi uygulamaları açısından uygun olmayan alanlar;

1. Yüksekliği 1500 metrenin üstünde olan ve % 20'den fazla eğimli olan alanlar,
2. Yerleşim yerleri,
3. Demir yolları, kara yolları, hava alanları ve limanlar,
4. Nitelikli orman bölgeleri ve sulak alanlar,
5. Koruma alanları (milli parklar vb.),
6. Enerji santralleri,
7. Emniyet bantları,
8. 50 metreden daha derin deniz alanlarıdır [66].



Şekil 4.5 Türkiye için Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar [66]

Tablo 4.3'te Türkiye'nin REPA'ya göre hesaplanmış rüzgar enerji potansiyeli görülmektedir. Rüzgar hızlarına göre sınıflandırma yapılmış olup ülkenin 7,0 – 7,5 m/s rüzgar hızlarına sahip alanlarının toplam potansiyeli 29.259,36 MW, 7,5 – 8,0 m/s rüzgar hızlarına sahip alanlarının toplam potansiyeli 12.994,32 MW, 8,0 – 9,0 m/s rüzgar hızlarına sahip alanlarının toplam potansiyeli 5.399,92 MW ve 9,0 m/s üstü rüzgar hızlarına sahip alanlarının toplam potansiyeli 195,84 MW olup toplam kapasite 47.849 MW olarak görülmektedir.

Tablo 4.3 Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyeli [62]

YILLIK ORTALAMA RÜZGAR HIZI (m/s)	ORTALAMA RÜZGAR GÜÇ YOĞUNLUĞU (W/m ²)	TOPLAM KURULABİLECEK GÜÇ MİKTARI (MW)
7,0 – 7,5	400 - 500	29.259,36
7,5 – 8,0	500 – 600	12.994,32
8,0 – 9,0	600 - 800	5.399,92
>9,0	> 800	195,84
	Toplam	47.849

Bu kapasitenin 37.836 MW'ı karasal alanlar, 10.013 MW'ı deniz üstü alanlar olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda; rüzgar enerjisi uygulamaları açısından kullanılabilir alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücündeki rüzgar santrallerinin kurulabileceği değerlendirilmiştir [62, 66].

4.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Rüzgar Enerjisi

4.4.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Diğer Bölgelerin Rüzgar Enerjisi Potansiyellerinin Karşılaştırılması

EİE Genel Müdürlüğü tarafından 10 m yükseklikte yapılan araştırmalar sonucunda Tablo 4.4'ten görüldüğü üzere potansiyeli en yüksek bölge Marmara Bölgesi'dir. Daha sonra ise Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nin rüzgar potansiyeli olarak diğer bölgelerden daha zengin olduğu görülmektedir [67].

Tablo 4.4 Bölgelere Göre Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu ve Rüzgar Hızı [67].

Bölgeler	Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunluğu (W/m ²)	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)
Marmara	51,91	3,29
Güney Doğu Anadolu	29,33	2,69
Ege	23,47	2,65
Akdeniz	21,36	2,45
Karadeniz	21,31	2,38
İç Anadolu	20,14	2,46
Doğu Anadolu	13,19	2,12
Türkiye Toplamı	24	2,54

Fakat REPA'ya göre incelemenin bölge bazında değil de alanlara göre daha detaylı incelenmesi neticesinde bazı alanların buldukları bölgeye nispeten ortalama rüzgar hızından daha yüksek rüzgar hızlarına eriştiği ve rüzgar enerji santralleri açısından çok uygun olduğu görülmektedir. REPA daha ayrıntılı olduğundan ve ortalama değer yerine rüzgar santralının kurulacağı bölgenin değerlerini yansıttığından daha kullanışlıdır. Ayrıca ortalama göre bölge değerlerinin düşük veya yüksek çıkması o bölgenin tüm alanlarını aynı sınıflandırmaya sokmasına rağmen gerçekte aynı bölge içinde dahi bazı alanlar rüzgar santrali bakımından elverişli iken bazı alanlar elverişsiz olabilmektedir. Ortalamaya göre Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi'nden sonra ikinci sırada görülmesine rağmen REPA'ya göre rüzgar santrali için elverişli alanlar ve rüzgar enerji potansiyeli olarak incelendiğinde Marmara, Ege, Akdeniz ve İç Anadolu Bölgelerinin çok daha elverişli olduğu görülmektedir.

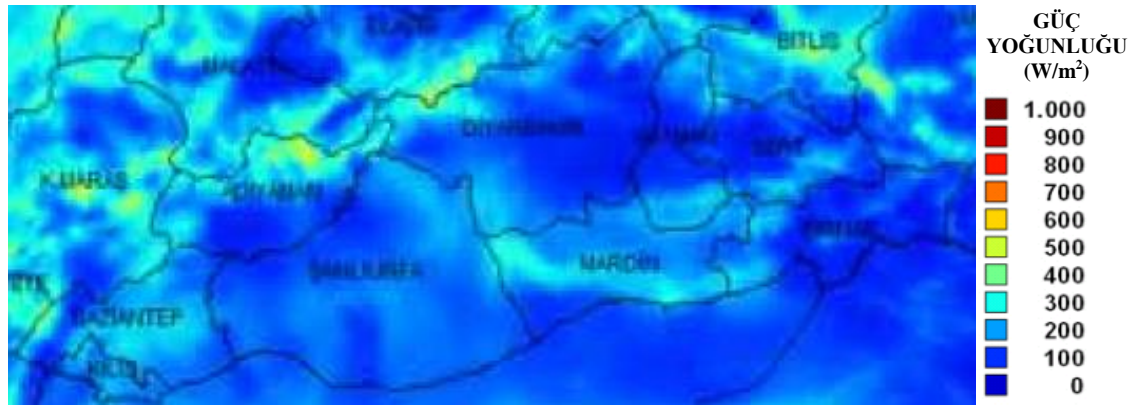
Bölgelere göre rüzgar enerji santral gücü bakımından işletmede, inşaat halinde ve değerlendirmede olan santraller incelendiğinde ise Temmuz 2016 itibarı ile Tablo 4.5'te verilen değerler ortaya çıkmaktadır. Burada Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde sadece 27.5 MW'lık rüzgar santrali mevcut olup, bu güçle kurulu güç olarak 6. sırada gelmektedir. Kurulu güç içindeki payı ise ancak binde 5,3'tür. Kurulu gücün % 37,49' u Ege Bölgesi'nde, % 37,33'ü ise Marmara Bölgesi'nde toplanmaktadır. Bu şekliyle kurulu gücün yaklaşık % 75'i Ege ile Marmara Bölgeleri'nde bulunmaktadır. İnşaat halindeki RES'lere bakıldığında ise % 50,70'i Ege, % 21.05'i Marmara, % 13.08'i Akdeniz, % 7,39'u İç Anadolu, % 4,41'i Güneydoğu Anadolu, % 3,37'si ise Karadeniz Bölgeleri'nde yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için değerlendirmede olan proje sayısı ise 27 olup bu projelerin toplam güç değeri 1.011,60 MW'dır.

Tablo 4.5 İşletmede, İnşaat Halinde ve Değerlendirmede Olan Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Güç Bakımından Bölgelere Göre Dağılımı [65]

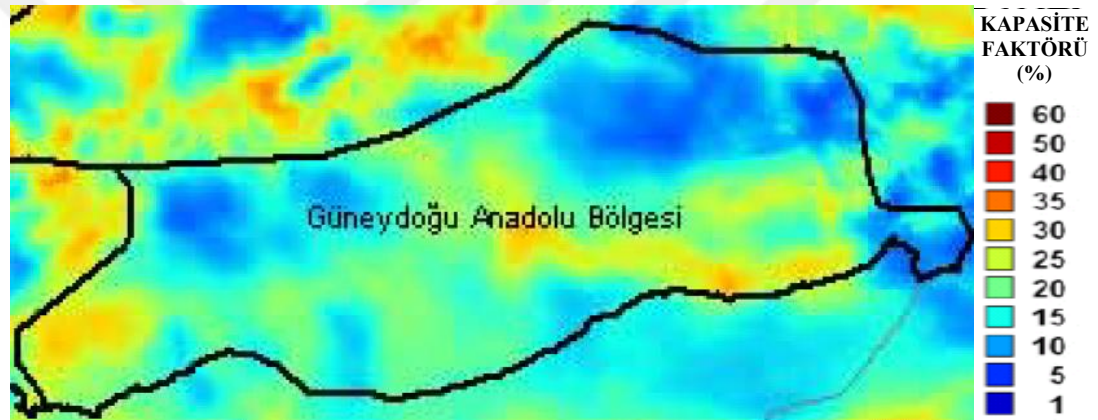
Bölge	Kurulu Güç (MW)	İnşaat Halindeki Güç (MW)	Değerlendirmede Olan Güç (MW)	Değerlendirmede Olan Proje Sayısı
Ege Bölgesi	1.929,35	753	4.291,84	131
Marmara Bölgesi	1.921	312,6	15.740,84	362
Akdeniz Bölgesi	717,20	194,35	5.752,50	156
İç Anadolu Bölgesi	428,40	109,8	7.966,00	188
Karadeniz Bölgesi	122,90	50	3.561,90	114
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	27,50	65,55	1.011,60	27
Doğu Anadolu Bölgesi	0	0	1.713,10	42

4.4.2. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için REPA Verilerinin Değerlendirilmesi

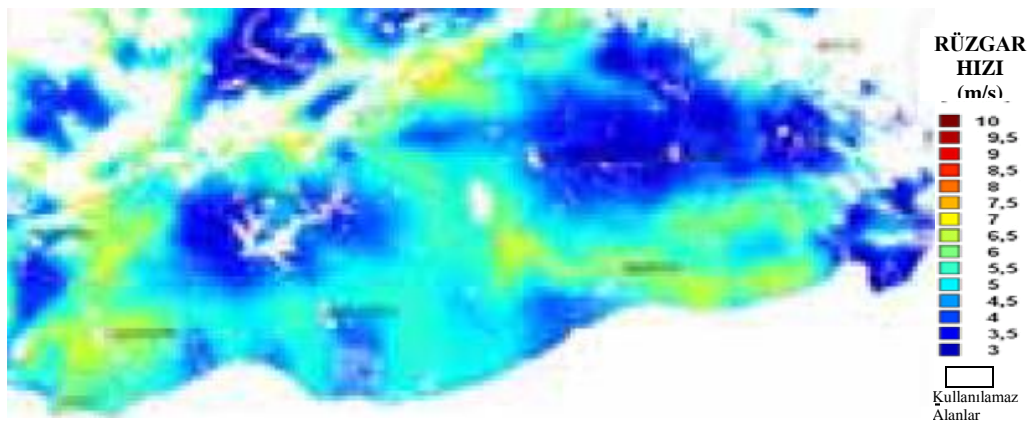
Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait 50 metre yükseklik için REPA haritaları görülmektedir. Bu şekiller incelendiğinde görüleceği üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin sağ alt ucunu orta bölgeye bağlayan kısım ve sol alt ucu rüzgar potansiyeli olarak uygundur. Bu bölgeler yeşil renkte ve bazı kısımları da sarı renkte olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde yeşil renkte olan kısımlarda rüzgar hızı 6,5 m/s ve



Şekil 4.7 Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Güç Yoğunluğu Dağılımı (*Ekonomik RES yatırımı için 400 W/m² ve üzerinde rüzgar güç yoğunluğu gerekmektedir.) [66]



Şekil 4.8 Güneydoğu Anadolu Bölgesi için Kapasite Faktörü Dağılımı (*Ekonomik RES yatırımı için %35 veya üzerinde kapasite faktörü gerekmektedir.) [66]



Şekil 4.9 Güneydoğu Anadolu Bölgesi Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar [66]

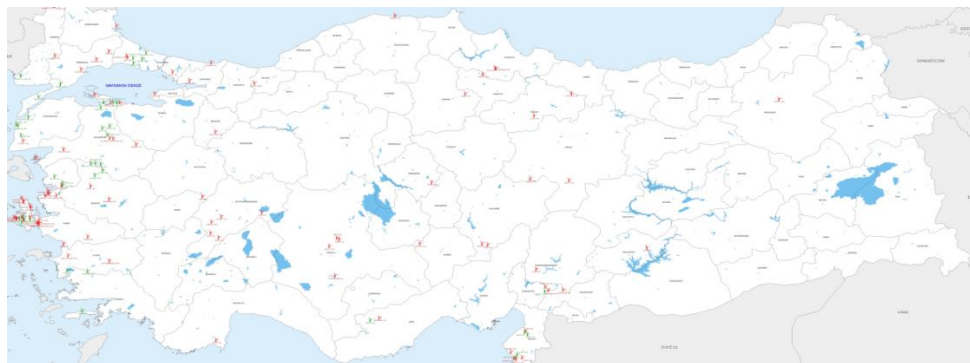
Bununla beraber bölgeye kurulacak rüzgar santralleri için Tablo 4.6’da görüldüğü üzere bölge 2.630,88 MW’lık kapasitesiyle potansiyel olarak rüzgar santralleri kurulumu için uygun potansiyeli barındırmaktadır. Sırasıyla Adıyaman, Diyarbakır, Mardin ve Gaziantep illerinde santral kurulacak kapasite mevcuttur.

Tablo 4.6 Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ne Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrali Güç Kapasitesi [68]

50 m’de Rüzgar Gücü (W/m ²)	50 m’de Rüzgar Hızı (m/s)	Toplam Alan (km ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
300 - 400	6,8 – 7,5	439,09	2.195,44
400 - 500	7,5 – 8,1	75	374,96
500 – 600	8,1 – 8,6	12,10	60,48
600 - 800	8,6 – 9,5	0	0
> 800	>9,5	0	0
	Toplam	526,19	2.630,88

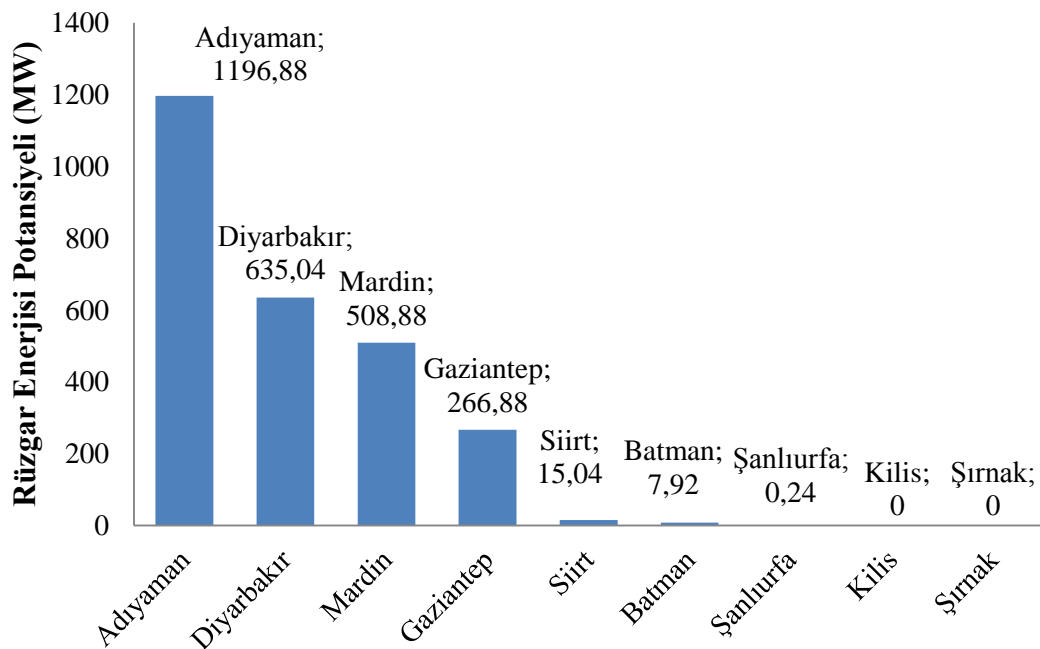
4.4.3. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki İller Açısından Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Bölge Dışındaki İller ile Kıyaslanması

Şekil 4.10’da Türkiye’deki rüzgar enerjisi santralleri görülmektedir. Haritada görüldüğü üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde bulunan rüzgar enerji santralleri Adıyaman’da Sincik RES (Rüzgar Enerji Santrali) ve Gaziantep’te Kartaldağı RES(inşaat halinde)’dir [65, 69].



Şekil 4.10 Türkiye’deki Rüzgar Enerjisi Santralleri Haritası [69]

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki rüzgar enerjisi santrali güç kapasitesi bölge illeri açısından kıyaslandığında; Şekil 4.11'de görüldüğü üzere bölgede rüzgar enerji potansiyeli en fazla olan şehirler sırasıyla Adıyaman (1.196,88 MW), Diyarbakır (635,04 MW), Mardin (508,88 MW) ve Gaziantep (266,88 MW) şehirleridir. Siirt, Batman, Şanlıurfa, Kilis ve Şırnak illeri için ise rüzgar potansiyeli uygun veya ekonomik değildir [68]. Sonuç olarak bölgesel olarak değerlendirildiğinde bölgede santral kurulacak en uygun il Adıyaman'dır. Sonrasında ise bölgede santral kurulabilecek iller sırasıyla Diyarbakır, Mardin ve Gaziantep'tir. Bölgenin diğer illeri ise ya çok düşük bir potansiyele sahiptir veya kayda değer bir potansiyel görülmemiştir.



Şekil 4.11 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki İllere Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santrali Güç Kapasiteleri (MW) [68]

Bölgedeki işletme ve inşaat halinde olan santraller ayrıntılı olarak incelenecek olursa; Tablo 4.7'de görüldüğü gibi sadece Adıyaman Sincik'te Sincik RES adıyla 11 adet 2.5 MW'lık türbinden oluşan toplam 27,5 MW gücünde rüzgar santrali 2013 yılından beri aktif halde olduğu görülmektedir. Gaziantep ilinde ise Kartaldağı RES adıyla 3,45 MW'lık türbinlerden oluşan toplamda 65,5 MW gücünde rüzgar santrali inşaat halindedir. Gaziantep iline göre daha avantajlı durumda olan Diyarbakır ve Mardin de ise henüz bir çalışma mevcut değildir [65].

Tablo 4.7 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde İşletmedeki ve İnşaat Halindeki Rüzgar Enerjisi Santralleri [65]

İŞLETMEDEKİ RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLERİ							
Firma Adı	Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	İl	Türbin Üreticisi	Türbin Modeli	Türbin Gücü	İşletmeye Giriş Tarihi
Sincik Rüz. El.Ür. A.Ş.	Sincik RES	27,5	Adıyaman	NORDEX	N100	2,5 MW	2013
İNŞAAT HALİNDEKİ RÜZGAR ENERJİ SANTRALLERİ							
Firma Adı	Proje Adı	Kurulu Güç (MW)	İl	Türbin Üreticisi	Türbin Modeli	Türbin Gücü	
Efil Enerji Ür. Tic. San. A.Ş.	Kartaldağı RES	65,5	Gaziantep	VESTAŞ	V126-3.45	3,45 MW	

Tablo 4.8'de bazı illerin ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki tüm illerin rüzgar santrali potansiyellerine ait veriler görülmektedir. Burada iller en yüksek potansiyelden en az potansiyele doğru sıralanmışlardır. En yüksek potansiyele ait iller sırasıyla Balıkesir, Çanakkale, İzmir ve Manisa'dır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan illerden ise Adıyaman 25., Diyarbakır 33., Mardin 36., Gaziantep 41., Siirt 62., Batman 66., Şanlıurfa 72., Kilis 77., Şırnak 82. olarak sıralamada görülmektedir. Elbette ki, diğer bazı bölgeler ile veya baştaki illerle kıyaslama yapıldığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve illeri daha alt sıralardadır. Fakat bu durum bölgede potansiyel olmadığı anlamına gelmemektedir. Tablo 4.8'de görüldüğü üzere potansiyelleri çok yüksek olmamakla beraber bölgedeki illerden Adıyaman, Diyarbakır ve Mardin sıralamadaki yerleriyle dikkat çekmektedir. Ayrıca bölgedeki illerden Diyarbakır ve Mardin, Gaziantep ilinden daha yüksek kapasiteye sahip olmalarına rağmen henüz bu illerde rüzgar santrali mevcut değildir. Hatta bölge dışındaki illerden olan Osmaniye ilindeki potansiyel 718 MW, işletme ve inşaat halindeki güç toplamı 265,3 MW ve potansiyelini kullanma oranı % 37 olarak görülmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki illerinden Adıyaman'ın potansiyeli Osmaniye'den daha fazla olmasına karşın potansiyel kullanım oranı % 2 değerindedir. Diyarbakır ili ise Osmaniye ile yaklaşık aynı potansiyelde olmasına karşın henüz ne kurulu ne de inşaat halinde bir rüzgar santraline sahip değildir.

Tablo 4.8 İllere Göre Rüzgar Santrali Potansiyeli Verileri [65, 70]

İllere Göre Rüzgar Santrali Potansiyeli Verileri								
Tablodaki güç değerlerinin birimi MW olup teorik potansiyel değeri YEGM verilerinden alınmıştır.								
S.	İl	Teorik Potansiyel	Devrede	İnşaat	Lisans Alınan	Ön Lisanslı	Toplam İşlem	İşlem-Teori Oranı
1)	Balıkesir	13.827	924	262	104	24	1.314	9%
2)	Çanakkale	13.013	276	56	405	34	771	6%
3)	İzmir	11.854	918	575	95	23	1.611	14%
4)	Manisa	5.302	545	84	10	0	639	12%
25)	Adıyaman	1.197	27,5	0	0	0	27,5	2%
32)	Osmaniye	718	185	80,3	0	0	265,3	37%
33)	Diyarbakır	635	0	0	0	0	0	0%
36)	Mardin	509	0	0	0	0	0	0%
41)	Gaziantep	267	0	65,5	0	0	65,5	24%
62)	Siirt	15	0	0	0	0	0	0%
66)	Batman	8	0	0	0	0	0	0%
72)	Şanlıurfa	1	0	0	0	0	0	0%
77)	Kilis	0	0	0	0	0	0	0%
81)	Şırnak	0	0	0	0	0	0	0%
-	TOPLAM	114.912	5.245	2.417	2.244	650	10.556	

Tablo 4.8’de görülen teorik potansiyel değerleri 50 metre yükseklikteki rüzgarlardan 6,8 m/sn ve üzerinde rüzgarlara göre hesaplanmış değerlerdir [70]. 7 m/s üzerinde rüzgar hızına sahip bölgeler için Türkiye’nin rüzgar enerji santrali toplam potansiyeli 48.000 MW olduğu hesaplanmıştır. [66]

4.4.4. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Değerlendirmede Olan Rüzgar Enerjisi Santralleri

Tablo 4.9'de lisanslı rüzgar santralleri için Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde illere tahsis edilmiş kapasiteler ve bu kapasiteler için başvurusu yapıp değerlendirme halinde olan projeler listelenmiştir. Bu listeye göre Adıyaman için 2 nolu bağlantı bölgesine 40 MW'lık kapasite tahsis edilmiş olup değerlendirmede olan başvurular 234 MW'dır. Diyarbakır, Mardin ve Şanlıurfa ve Batman için 14 nolu bağlantı bölgesine 60 MW'lık bir kapasite tahsis edilmiş olup değerlendirmede olan başvurular Diyarbakır için 79,5 MW, Mardin için 219 MW ve Şanlıurfa için 60 MW'dır. Batman ili için değerlendirmede olan bir başvuru mevcut değildir. Gaziantep ve Kilis için 28 nolu bağlantı bölgesine 40 MW'lık bir kapasite tahsis edilmiş olup değerlendirmede olan başvurular Gaziantep için 219,1 MW ve Kilis için 200 MW'dır. Şırnak için Siirt-Şırnak-Hakkari illerine ait 42 nolu bağlantı bölgesine 30 MW'lık bir kapasite tahsis edilmiş olup herhangi bir başvuru olmamıştır. Toplamda ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi için (Siirt-Şırnak-Hakkari için açılan lisans hakkı da bölgeye dahil edildiğinde) 170 MW'lık bir kapasite tahsis edilmiş olup değerlendirmede olan başvuru sayısı 27 ve gücü 1.011,60 MW'dır.

Tablo 4.9 Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Lisanslı Rüzgar Santrali için Tahsis Edilen Kapasiteler ve Değerlendirmede Olan Başvurular [65]

DEĞERLENDİRMEDE OLAN RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALLERİ				
2 No'lu Bağlantı Bölgesi Adıyaman (40 MW)				
Şirket Adı	Proje Adı	İl	İlçe	Güç(MW)
Arıkonak El. En.Ür.San.Tic.A.Ş.	Arıkonak RES	Adıyaman	Sincik	20
CGN Enerji Tekstil San. Ve Dış Tic.Ltd.Şti.	Mindeval RES	Adıyaman	Sincik	20
Errol Enerji Ür.İ.San.Tic.A.Ş.	Arıkonak RES	Adıyaman	Sincik	20
Hidrosolar El.Ür.İnş.San.Tic.Ltd.Şti.	Sakız RES	Adıyaman	Sincik	20
Kocatepe Arslanlar Elektrik Ür.A.Ş.	Onur RES	Adıyaman	Sincik	14
NCR Enerji Ür.A.Ş.	Bora RES	Adıyaman	Sincik	40
Özgül Lilyum Yenil. En.El.Ür.A.Ş.	Lilyum RES	Adıyaman	Sincik	40
Tektuğ Elektrik Ür.A.Ş.	Sincik 2 RES	Adıyaman	Sincik	40
Toryum Yenilenebilir En.Ür.Ltd.Şti.	Onur RES	Adıyaman	Sincik	20
Toplam 234 MW				
14 No'lu Bağlantı Bölgesi Batman-Mardin-Diyarbakır-Şanlıurfa (60MW)				
Şirket Adı	Proje Adı	İl	İlçe	Güç(MW)
Boncuk Yenilenebilir En.El.Ür.A.Ş.	Boncuk RES	Mardin	Derik	49,5
Enerjisa Enerji Ür.A.Ş.	Kale RES	Mardin	Derik	59,5
Hidrosolar El.Ür.İnş.San.Tic.Ltd.Şti.	Derinsu RES	Mardin	Derik	20
Prowind Alternatif Enerji San. Ve Tic.Ltd.Şti.	PW-TR1038 RES	Mardin	Derik	30
Uranüsgeş Elektrik Ür.A.Ş.	Uranüsgeş RES	Mardin	Derik	60
Difer Enerji San.Tic.A.Ş.	Ceviz RES	Diyarbakır	Ergani	30
Kelebek Yenilenebilir En.El.Ür.A.Ş.	Kelebek RES	Diyarbakır	Ergani	49,5
Enerjisa Enerji Ür.A.Ş.	Böğürtlen RES	Şanlıurfa	Birecik	60
Toplam 358,50 MW				
28 No'lu Bağlantı Bölgesi Gaziantep-Kilis (40 MW)				
Şirket Adı	Proje Adı	İl	İlçe	Güç (MW)
Agora Lodos Enerji San.Tic.A.Ş.	Bilek RES	Gaziantep	Merkez	40
Element Enerji Ür.San ve Tic.Ltd.	İslahiye RES	Gaziantep	İslahiye	40
Enerjisa Enerji Ür.A.Ş.	Güzelçeşme RES	Gaziantep	Nizip	39,1
Ezse Rüzgar El.Ür.San.Tic.Ltd.Şti.	İslahiye RES	Gaziantep	İslahiye	30
Şengül Enerji Ür.San.Tic.A.Ş.	Şengül RES	Gaziantep	Şehitkamil	40
T 1007 Enerji Ür.San.Tic.A.Ş.	PW-TR1007 RES	Gaziantep	Şehitkamil	30
Çarıksız Rüz.En.El.Ür.Ltd.Şti.	Acar RES	Kilis	Merkez	40
Eserges Elektrik Ür.A.Ş.	Eserges RES	Kilis	Merkez	40
Lacivert Yenil. En.El.Ür.A.Ş.	Lacivert RES	Kilis	Merkez	40
Zambak Yenilenebilir En.i Ür.A.Ş.	Karakıl RES	Kilis	Polateli	80
Toplam 419,10 MW				
42 No'lu Bağlantı Bölgesi Siirt-Şırnak-Hakkari (30 MW)				
Toplam 0 MW				

Elde edilen tüm bu tablo, şekil ve veriler ışığında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin rüzgar enerjisi potansiyeli olarak en uygun bölgelerinden biri olmadığı anlaşılmaktadır. Fakat bu sonuç rüzgar potansiyelinin olmadığı anlamına gelmemektedir. Özellikle Adıyaman, Diyarbakır, Mardin ve Gaziantep illerinde değerlendirilmeyi bekleyen rüzgar enerjisi potansiyeli mevcuttur.



5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Yenilenemez enerji kaynaklarının her ülkede yeterince bulunmayışı, ülkeleri diğer ülkelere muhtaç hale getirmektedir. Ayrıca yenilenemez enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlar gün geçtikçe artmakta ve gün yüzüne çıkmaktadır. Halbuki yenilenebilir enerji kaynakları hem tükenmemekte hem ülkelerin kendi öz kaynaklarından elde edilmekte hem de çevreye dost kaynaklar olarak görülmektedir. Böyle bir ortamda ülkeler yenilenebilir enerji yatırımları yapmaya ve yenilenebilir enerjilerin kurulu güç içindeki payını arttırmaya yönelik çalışmalarını hızlandırmışlardır.

Türkiye’de yenilenemez enerji kaynakları ihtiyacının büyük kısmını dış ülkelere sağlamaktadır. Bu da hem darboğazlar hem de ekonomik bir yük oluşturmaktadır. Türkiye 2015 yılı üretimi olarak ancak enerjisinin üçte birini yenilenebilir enerjilerden sağlamıştır. Ülkede lisanslı ya da lisanssız santral kurulumuyla ilgili yenilenebilir enerji kullanımını arttırmaya yönelik destekler ve yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda yenilenebilir enerjilerin kullanımı hızlı bir şekilde artmakla birlikte yine de bürokraside ve bazı konularda sorunlar yaşanmaktadır.

2015 yılı verilerine göre Türkiye’deki enerji tüketiminde kullanılan elektrik enerjisinin % 27,49’u hidrolikten, % 1,58’i jeotermalden, % 0,73 biokütleden, % 0,35’i güneşten ve % 5,42’si rüzgardan elde edilmiştir. Toplam oran % 35,57 olmasına rağmen ülke kapasitesine ve dış ülkelere olan kaynak bağımlılığına oranla çok gerilerdedir. Hidrolik güç sayılmadığı zaman ise bu değer daha da azalmakta ve % 8,08 olmaktadır.

Havanın 200 hatta 300 günden fazla açık olduğu yani güneşli olduğu bölgelerde güneş enerjisinden yararlanılması ekonomik olarak değerlendirilmektedir. Dünyanın 45° kuzey ve 45° güney enlem kuşakları arasında bulunan ve “Güneş kuşağı” adı verilen bölgeler, en çok güneş alan yerler arasındadır. Türkiye de sahip olduğu ortalama toplam 2640 saat güneşlenme süresi ile bu kuşak içinde yer almaktadır. Bu sebeple, Türkiye dünyanın en çok güneş enerjisi potansiyeline sahip olan ülkeleri arasında yer almaktadır [71].

Türkiye’deki ortalama olarak toplam güneşlenme süresi dikkate alındığında bu yönüyle de ülkenin dünyanın en çok güneş enerjisi potansiyeline sahip ülkelerinden birisi olduğu görülmektedir. Avrupa ülkeleri ile karşılaştırıldığında ise güneş enerjisi potansiyeli itibariyle bu ülkelerin çoğundan daha zengin konumdadır.

Türkiye’de ortalama rüzgar gücü dikkate alındığında ise ülkenin dünyada onbeşinci sırada, Avrupa’da ise onuncu sırada en çok rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olan ülkelere birisi olduğu görülmektedir.

Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi olan güneş enerjisini bölgesel olarak incelediğimizde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi için ortalama güneşlenme süresi günlük $3016/365=8,6$ saattir. Dünyada iyi bir konumda olan Türkiye için bu değer 7,5 olarak düşünüldüğünde yatırımların bir an önce bölgeye kaydırılmaması zaman kaybıdır. Bu yüksek değer nedeniyle yatırımlar bölgeye odaklanmalıdır.

Yıllık güneşlenmenin 2.000 saati geçtiği bütün alanlarda güneş enerjisiyle çalışan aygıtlar ekonomik sayılmaktadırlar. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ise toplam güneşlenme süresi 3016 saat’tir [71]. Öyleyse Güneydoğu Anadolu Bölgesi potansiyel olarak ekonomik sınırları fazlasıyla aşmaktadır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi hem günlük ve toplam güneş enerjisi değerleri ile hem de günlük ve toplam güneşlenme süreleri ile en yüksek potansiyele sahip bölgedir. Hatta potansiyel olarak sahip olduğu sayısal verilerin değerleri Karadeniz Bölgesi’nden yaklaşık % 50 fazladır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi güneş enerjisi potansiyeli bakımından Türkiye’nin potansiyeli en yüksek bölgeleri olarak dikkat çekmektedir. Dolayısıyla

Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesinin bu potansiyeli fark edilmeli ve yatırımlar bir an önce buralara kaydırılmalıdır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi güneş potansiyeli bakımından sahip olduğu avantajlar ve yüksek güneşlenme ve ışıınım değerler nedeniyle ilgi çekmelidir.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi bölgesel olarak kıyaslandığında ise, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Marmara ve Ege Bölgeleri gibi yüksek rüzgar potansiyeline sahip olmamasına rağmen bölgede hem rüzgar santralinin kurulacağı alanlar hem de rüzgar enerji potansiyeli mevcuttur. Güneydoğu Anadolu Bölgesi toplamda 52,19 km²'lik alana kurulacak santraller ile 2.630,88 MW'lık rüzgar enerji potansiyeline sahiptir. Bölgede Adıyaman'da kurulu 27,5 MW'lık ve Gaziantep'te inşaat halinde 65,5 MW'lık rüzgar santralleri mevcuttur. Adıyaman, Diyarbakır, Mardin bölgedeki en çok rüzgar enerjisi potansiyeline sahip illerdir. Sonrasında ise Gaziantep gelmektedir. Ancak Adıyaman'da ve potansiyeli Diyarbakır ile Mardin'den az olan Gaziantep'te rüzgar santralleri bulunmasına rağmen Diyarbakır ile Mardin'de kurulu veya inşaat aşamasında olan herhangi bir rüzgar santrali mevcut değildir. Geriye kalan diğer bölge illeri açısından ise çok önemli bir potansiyel görülmemiştir.

Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin sağ alt uç kısmını orta bölgeye bağlayan kısım ve sol alt ucu ile kuzeybatısından batısına doğru uç kısımlar rüzgar potansiyeli olarak en uygun ve potansiyeli yüksek bölgelerdir. Bu bölgedeki iller açısından bakıldığında ise Adıyaman'ın kuzey kısmı, Diyarbakır'ın kuzeybatı kısmı, Mardin'in güneyinden batısına doğru olan kısmı ve Gaziantep'in orta kısmı ile batı kısmı uygun rüzgar enerji potansiyeli ile dikkat çekmektedir.

Lisanslı rüzgar santralleri için Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne 210 MW'lık kapasite tahsis edilmiş olup değerlendirme aşamasında olan 27 proje mevcut olup bunların toplam güç değeri 1.011,60 MW'dır.

Ayrıca Osmaniye ilinin rüzgar potansiyeli 718 MW'dır. Diyarbakır ve Mardin illerinin rüzgar enerjisi potansiyelleri ise 635 MW ve 555 MW'dır. Osmaniye'de 265 MW kurulu ve inşaat halinde rüzgar santrali mevcut iken yaklaşık aynı potansiyele sahip Diyarbakır ve Mardin illerinde hiçbir rüzgar enerjisi yatırımı olmaması dikkat çekmektedir.

5.2. Öneriler

Hem güneş enerjisi hem de rüzgar enerjisi için kurulum maliyetleri gün geçtikçe düşmekte ve bunun beraberinde ilgili enerji kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte;

- Güneş enerjisi için lisans alımının kolaylaştırılması,
- Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin güneş bölgesi olarak değerlendirilmesi,
- Mardin veya Diyarbakır ilindeki rüzgar potansiyelinin değerlendirilmesi ve Doğu-Güneydoğu bölgeleri için model olacak bir rüzgar santrali kurulması,
- Terörü bitirmek amacıyla bölgeye enerji yatırımlarının yapılması,
- Göç etmek zorunda kalan ve işsizlik sorunu ile uğraşan halk için bu yolla istihdam oluşturulması, uygulanması gereken en temel hususlardır.

Güneş enerjisi gittikçe gelişmesine ve kullanılmasına rağmen üretilen elektrik enerjisi içinde güneş enerjisinin payı oldukça düşüktür. Hak ettiği yere gelebilmesi ve bu potansiyelin yeterince kullanılması için yatırımlar daha çok teşvik edilmeli, desteklenmeli ve lisanslı güneş santrallerinin arttırılması için gereken çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Hayran, İlber Tuğrul, 2012. “Yenilenebilir Enerji Üretiminde Türkiye’de Ve Dünyada Durum: Potansiyel Ve Kullanım” Yüksek Lisans Tezi, 2012,s.4.
2. Uçar, M. T.,Üstkoyuncu, N., 2016. “Türkiye’de Doğu Anadolu Bölgesinde güneş enerjisi potansiyeli”, cilt 2 s.282-291, UNİDAP Uluslararası Bölgesel Kalkınma Konferansı “Sosyal Kalkınma”, 28-30 Mayıs 2016, Muş, Muş Alparslan Üniversitesi,10/606.
3. Şenel, M. C., 2012. Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, s.183.
4. BP Statistical Review of World Energy, 2016. Energy in 2015: A year of plenty. British Petroleum (BP), London, UK. (Web page: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-spencer-dale-presentation.pdf>, p.5), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
5. Atmaca, İ.,Yiğit, A., 2002. Güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sisteminin simülasyonu. **DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi**, 4 (3): 125-136.
6. Uçar, M. T.,Üstkoyuncu, N., 2016. Solar energy and evaluation of its applicabilty in the South eastern anatolia region, pp. 129-134. 6th International 100% Renewable Energy Conference, 28-30 Eylül 2016, İstanbul, IRENEC, 6/155.
7. Uçar, M. T.,Üstkoyuncu, N., 2016, Rüzgar enerjisi ve Türkiye’de Diyarbakır ilinde uygulanabilirliği, Uluslararası Diyarbakır Sempozyumu 02-05 Kasım 2016, Diyarbakır.
8. Kalkınma Bakanlığı GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, 2016. (Web sayfası: http://www.gap.gov.tr/upload/dosyalar/pdf/icerik/istatiski_veriler/Sosyo-Ekonomik-Gostergeler.pdf, s. 13), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
9. BP Statistical Review of World Energy, 2016. BP statistical review of world energy. British Petroleum (BP), London, UK. (Web page: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>, p.42), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).

10. Yılmaz, U., 2008. Gökçeada'da yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.2.
11. Kuban, B., Uyar, T. S., 2007. AB yenilenebilir enerji düzenlemeleri ve Türkiye. Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Düzenlemeleri ve Türkiye Çalıştayı, 15-16 Aralık 2007, Eurosolar Türkiye - INEORSE.
12. International Energy Agency. 2005. Energy statistics manual. OECD / IEA and EUROSTAT Publications, (Web page: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/statistics_manual.pdf, p.15), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
13. Dikmen, A. Ç., 2009. Sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'nin geleceğinde yeri. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, s.74.
14. Ağaçbiçer, G. 2010. Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ekonomisine katkısı ve yapılan swot analizler. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s.34.
15. International Energy Agency (IEA), 2009. How the energy sector can deliver on a climate agreement in Copenhagen. OECD / IEA Publications, (Web page: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/climate_change_excerpt.pdf, p.17), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
16. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. (Web sayfası: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
17. Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), 2016. Renewables 2016 global status report, (REN21), Paris, France. (Web page: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
18. Koç, E., Şenel, M. C., 2013. Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu–genel değerlendirme. **Mühendis ve Makina Dergisi**, 54 (639): 32-44.

19. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. (Web sayfası: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
20. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
21. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/hidroelektrik>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
22. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. (Web sayfası: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeoterma>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
23. The International Geothermal Association (IGA), 2012. Geothermal in the World, (Web page: http://www.geothermalenergy.org/226,installed_generating_capacity.html), (Erişim Tarihi: Ocak 2013).
24. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/jeotermal>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
25. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/jeotermal/>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
26. Demirbaş, A. 2008. Importance of biomass energy sources for Turkey. **Energy Policy**, **36** (2): 834–842.
27. Gölçöl, C., Dursun, B. Alboyacı, Bora A., Sunan, E. 2009. Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey, **Energy Policy**, **37** (2): 424–431.
28. Koç, E., Kaya, K., 2015. Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu. **Mühendis ve Makina Dergisi**, **56** (668): 36-47.
29. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. (Web sayfası: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyoyakit>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
30. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2012. Türkiye'nin enerji görünümü, YayınNo:MMO/588, (Web sayfası: http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/dd924b618b4d692_ek.pdf), (Erişim tarihi: Kasım 2016)
31. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/biyogaz/>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).

32. Çanka, Kılıç, F. , 2011. Türkiye'deki yenilenebilir enerjilerde mevcut durum ve teşviklerdeki son gelişmeler. **Mühendis ve Makina Dergisi**, **52** (614): 103-115.
33. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/gunes/>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
34. World Wind Energy Associaton, 2012. World wide wind energy statistics 2012-half year report. World Wind Energy Associaton, Bonn, Germany.
35. Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), 2012. Renewables 2012 global status report, (REN21), Paris, France.
36. Mavi Kitap, 2011. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile bağlı ve ilgili kuruluşlarının amaç ve faaliyetleri. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
37. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
38. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş enerjisi ve teknolojileri. (Web sayfası: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunes.html>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
39. Makine Mühendisleri Odası, 2012, “Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu”, (Web Sitesi:http://enerji.comu.edu.tr/belgeler/turkiyenin_enerji_gorunum_rapor_u_guncel_sunum.pdf, s.121), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
40. Behçet, R., Oral, H., Gül, H., 2013. Adıyaman ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve kullanımı. **Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi**, **3** (2): 52-67.
41. Aksungur, K. M., Kurban, M., Filik, U. B., 2013. Türkiye'nin farklı bölgelerindeki güneş ışınım verilerinin analizi ve değerlendirilmesi. 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs 2013, Kocaeli.
42. Altuntop, N., Erdemir, D., 2013. Dünyada ve Türkiye'de güneş enerjisi ile ilgili gelişmeler. **Mühendis ve Makina**, **54** (639): 69-77.
43. Altuntop, N., Erdemir, D., 2012. Investigating the development of solar energy systems market in Turkey. 2nd International 100 % Renewable Energy Conference and Exhibition, 28-30 Haziran 2012, İstanbul, IRENEC.
44. Yıldırım, P., Sönmez, F., Çelik, R., Enerji enstitüsü, 2014. (Web Sitesi: <http://enerjiinstitutusu.com/2014/06/10/sartlar-olustu-gunes-enerjisi-yatirimlari-tesvik-edilmeli/>) (Erişim Tarihi: Ağustos 2016)

45. Suri, M.,Huld, T. A., Dunloop, E.D, Ossenbrink, H. A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, **Solar Energy**, **81** (10): 1295-1305.
46. Euroobserver, 2010. Photovoltaic barometer, EUROBSERV'ER, April 2010. (Web page: <https://www.eurobserv-er.org/pdf/2010/EurObservER-Photovoltaic-Barometer-2010-FR-EN.pdf>, p.148), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
47. Kır, A., 2008. Güneş sistemleri. (Web sayfası: <http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016)
48. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. (Web sayfası: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
49. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2015. MİLGES, MİLHES, MİLKANAT ve (YGDA)sistemi geliştirilmesi projeleri. (Web Sitesi: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Konusma-Metinleri>, s.11), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016)
50. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, 2016.Kurulu güç değerleri. (Web sayfası: <http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/kuruluguc.xls>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
51. Yıldırım, P., Sönmez, F., Çelik, R., Enerji enstitüsü, 2015. (Web Sitesi: <http://enerjienstitusu.com/turkiye-kurulu-elektrik-enerji-gucu-mw/>, Veri Kaynakları: TÜİK İstatistikleri, TEİAŞ, EPDK, Enerji Bakanlığı Resmi Raporları), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016)
52. Messenger, R.A.,Ventre, J. (2004). Photovoltaic systems engineering, Taylor & Francis, Florida. 309.
53. Kırbaş, İ.,Çifci, A., İşyarlar, B., 2013. Burdur ili güneşlenme oranı ve güneş enerjisi potansiyeli, **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **4** (2): 20-23.
54. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2016. EİE'nin güneş enerjisi çalışmaları. (Web sayfası: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/eiegunes.html>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
55. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 1999. Güneş enerjisi potansiyel atlası. (Web sayfası:

- <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
56. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2009. Türkiye güneş kaynak bilgileri. (Web sayfası: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/duyurular/YEK/gepa/TURKIYE-GEPA.pdf>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
57. Solar Akademi, Güneş enerjisi potansiyeli. (Web Sayfası: http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=2519), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016)
58. Öztürk, H.,2013. Yenilebilir enerji kaynakları,Birsen Yayınevi.
59. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2009. Güneydoğu bölgesi kaynak bilgileri. (Web sayfası: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/duyurular/YEK/gepa/GUNEYDOGU-GEPA.pdf>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
60. Yıldırım, P., Sönmez, F., Çelik, R., Enerji enstitüsü, 2011. Güneş enerjisi teşvikleri. (Web Sitesi: <http://enerjiensitüsü.com/2011/08/12/38-sehre-gunes-enerjisi-tablo-tesvikli-elektrik-epdk-harita-iller-sehirler-konya-mw-kapasite-bolgeler-tesviki/>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016)
61. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
62. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Rüzgar enerjisi. (Web sayfası: http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
63. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016. (Web sayfası: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
64. Global Wind Energy Council (GWEC), 2016.Global wind report 2015. (Web page: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf, p. 4,9,11), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
65. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TUREB), 2016. Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu. (Web sayfası: http://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/temmuz_rapor_2016.pdf, s.5, 7, 17, 38), (Son Erişim Tarihi: Kasım 2016).

66. Çalışkan, M., 2010. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli ve mevcut yatırımlar sunusu. Rüzgar Enerjisi Ve Santralleri Semineri, İstanbul, Mayıs 2011. (Web sayfası: <http://www.tucsa.org/images/yayinlar/sunumlar/mustafacaliskan.pdf>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
67. Akbulut, A., Dikici, A., 2004. Doğu Anadolu Bölgesi araştırmaları; Elazığ ili'nin rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeli.
68. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. İl bazlı rüzgar enerjisi teknik potansiyelleri. (Web sayfası: http://www.eie.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
69. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Türkiye rüzgar enerji santralleri haritası. (Web sayfası: http://www.eie.gov.tr/images/res_haritasi.png), (Erişim Tarihi: Ağustos 2016).
70. Yılmaz, A. Enerji atlası. (Web sayfası: <http://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/turkiye>), (Erişim Tarihi: Kasım 2016).
71. Diyarbakır Valiliği Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2011. Diyarbakır il çevre durum raporu.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Mehmet Tahir UÇAR

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 16 Mayıs 1977, Diyarbakır

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 412 2379339

Fax: +90 4126116778

email: mtahir.ucar@dicle.edu.tr

Yazışma Adresi: Dicle Üniversitesi Ergani Meslek Yüksekokulu Ergani/DİYARBAKIR

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	DÜ Müh. Mim. F. İnşaat Mühendisliği	2010
Lisans	DÜ Müh. Mim. F. Elektrik Elektronik Mühendisliği	2002
Lise	Fatih Lisesi, Diyarbakır	1994

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2010- Halen	Dicle Üniversitesi Ergani MYO	Öğretim Görevlisi
2006–2010	Kralkızı Barajı	Elektronik Mühendisi
2004-2006	Karel İnş (Boğaziçi EDAŞ)	Elektrik Mühendisi
2002-2003	Enba İnş. (Denizli-Çameli TEDAŞ)	Şantiye Şefi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Uçar, M. T., Üstkoyuncu, N., “Solar energy and evaluation of its applicabilty in the southeastern anatolia region”, pp. 129-134. 6th International 100% Renewable Energy Conference, İstanbul, IRENEC, (Eylül 2016).
2. Uçar, M. T., Üstkoyuncu, N.. “Türkiye’de Doğu Anadolu Bölgesinde güneş enerjisi potansiyeli”, cilt 2 s. 282-291. UNİDAP Uluslararası Bölgesel Kalkınma Konferansı “Sosyal Kalkınma”, Muş, Muş Alparslan Üniversitesi, (Mayıs 2016).

3. Uçar, M. T., Üstkoyuncu, N.. “Rüzgar enerjisi ve Türkiye’de Diyarbakır ilinde uygulanabilirliği”. Uluslararası Diyarbakır Sempozyumu, Diyarbakır, (Kasım 2016)

