

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DE FOTOVOLTAİK ve RÜZGAR ENERJİSİ
UYGULAMALARININ ÜLKE VERİLERİ ve MEVCUT
TEKNOLOJİLER KAPSAMINDA İSTATİSTİKSEL OLARAK
ANALİZİ**

**MUHAMMED HÜSEYİN KARABUL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2019**

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DE FOTOVOLTAİK VE
RÜZGAR UYGULAMALARININ ÜLKE
VERİLERİ VE MEVCUT TEKNOLOJİLER
KAPSAMINDA İSTATİSTİKSEL OLARAK
ANALİZİ**

**MUHAMMED HÜSEYİN KARABUL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI
PROF. DR MEVLÜT KARABULUT**

**GEBZE
2019**

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**STATISTICAL ANALYSIS OF
PHOTOVOLTAIC AND WIND ENERGY
APPLICATIONS IN TURKEY IN THE
LIGHT OF AVAILABLE TECHNOLOGIES
AND EXISTING DATA**

MUHAMMED HÜSEYİN KARABUL

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF PHYSICS

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. MEVLÜT KARABULUT

GEBZE

2019



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/01/2019 tarih ve 2019/5 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 08/02/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Muhammed Hüseyin KARABUL'un tez çalışması Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI): Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT

ÜYE

: Prof. Dr. Savaş BERBER

ÜYE

: Prof. Dr. Kemal ÖZDOĞAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasıyla, ticaretin, iletişimin, bilimin, sanayinin, ekonominin, teknolojinin, dolayısıyla gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş olan enerji konusunda %60 dışa bağımlı olan ülkemizin mevcut potansiyellerini değerlendirerek ve teknik veriler kullanılarak istatistiksel analiz yöntemleriyle özellikle yenilenebilir enerji alanında ülkemizde yapılacak çalışmalara ışık tutulması amaçlanmaktadır. Bu noktada dışa bağımlılığın ortadan kaldırılması için ülkemizin yerli enerji kaynaklarına yönelmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada rüzgar ve güneş enerji sistemleri hem kendi aralarında hem de diğer elektrik enerjisi üretme sistemleriyle kıyaslanarak mevcut teknolojiler ve ülke verileri kapsamında fizibil kaynaklar istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu incelemenin sonucunda her iki sistemin de ülke için verimli olduğu görülmüştür. Ancak, yapılan Retscreen analizlerinden, rüzgardan elde edilen enerjinin güneş enerjisi sistemlerine göre, ülkenin elektrik enerjisi ihtiyacı ve kapasitesi dikkate alındığında daha iyi karşıladığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Retscreen Programı, Enerji Faaliyetleri, Alternatif Enerji Kaynakları, Güneş Enerjisi Santrali (GES), Rüzgar Enerjisi Santrali (RES), Alternatif Enerji, Fizibilite, İstatistiksel Analiz, Enerji Kaynakları.

SUMMARY

Energy is in the core of our everyday lives ranging from industry, technology, communication to science and as a country, we import 60 % of our energy needs from abroad. The main goal of this thesis is to shed light and provide useful statistical data for investments to be made especially in the renewable energy area by evaluating the existing potentials of Turkey and using the available technical data. In order to limit this foreign-source dependency, it is inevitable for our country to turn to domestic energy sources, especially the renewable energy sources. In this study, the wind and solar energy systems are compared with each other and with other electric energy generation systems, and feasibility of these energy systems are analyzed statistically using the available data and technologies. The statistical analysis conducted with Retscreen program indicated that both wind and solar energy systems are feasible for our country. However, according to the Retscreen analysis, wind energy seems to be a more efficient renewable energy source than the solar energy in meeting the growing energy needs of Turkey considering the wind and solar energy capacities.

Key Words: Retscreen Program, Energy Activities, Alternative Energy Sources, Solar Energy, Wind Energy, Alternative Energy, Feasibility, Statistical Analysis, Energy Sources.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hibir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu alıŐmanın olgunlaŐmasının yolunu aan danıŐmanım Prof. Dr. Mevlüt KARABULUT' a ve göstermiŐ olduğu desteklerinden dolayı sevgili eŐim H. KARABUL' a en iten teŐekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. DÜNYA ve TÜRKİYE’DE ENERJİ FAALİYETLERİ	3
2.1. Dünyada Rüzgar ve Güneş Enerjisinin Yeri	4
2.2. Türkiye Enerji Faaliyetleri	5
2.2.1. Kurulu Güç	7
2.2.2. Üretimin Kaynaklara Göre Dağılımı	9
2.2.3. Ülkemizin Puant Talepleri	10
2.2.4. Türkiye Enerji İthalatı	12
2.2.5. Rüzgar Enerjisinin Yeri	15
2.2.6. Güneş Enerjisinin Yeri	17
2.3. Retscreen Programı	18
3. GÜNEŞ ENERJİSİ	19
3.1. Güneş Pilleri	20
3.1.1. Kristal Silisyum	21
3.1.2. İnce Film	23
3.1.3. Diğer Sistemler	25
3.2. Verimi Etkileyen Faktörler	25
3.2.1. Panel Seçimi	25
3.2.2. Günlük/Yıllık Güneşlenme Süresi	26
3.2.3. Güneş Açısı ve Güneş Takip Sistemi	26

3.2.4. Yüzey Alanı	27
3.2.5. Sıcaklık, Panel Sıcaklığı	27
3.2.6. Rüzgar	29
3.2.7. Işık Geçirgenliği	30
3.2.8. Altyapı, Kablolama ve Elektriksel Kayıplar,	34
3.2.9. Şebekeye Uzaklık	34
3.2.10. Bulutlu Hava	34
3.2.11. Gölgeleme	34
3.2.12. Yükseklik	34
3.2.13. Zemin Seçimi	35
3.2.14. Diğer Tehlikeler	35
3.3. Güneş Enerjisi Sistemleri Uygulamaları	35
3.3.1. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Sistemler	35
3.3.2. Şebekeye bağımlı (On Grid) Sistemler	36
3.4. Ülkemizde Güneş Enerjisi Sistemleri	37
3.4.1. Lisanslı Güneş Enerjisi Santrali	37
3.4.2. Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali (≤ 1 MW)	37
3.5. İdeal Güneş Paneli	37
3.6. Pilot İller ve Fizibilite Analizleri	38
3.6.1. Mevcut Santraller	38
3.6.2. YEGM Verileri Kapsamında Bazı İllerin Analizleri	39
3.6.3. Retscreen Programı Kullanılarak Bazı İllerin Analizleri	41
3.6.4. Retscreen ve YEGM Radyasyon Verilerinin Kıyaslanması	47
4. RÜZGAR ENERJİSİ	49
4.1. Rüzgar Enerjisi Türbin Çeşitleri	49
4.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	49
4.1.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri	50
4.2. Verimi Etkileyen Faktörler	51
4.2.1. Ortalama Günlük/Yıllık Rüzgar Süreleri ve Hızı	51
4.2.2. Ortalama Hava Yoğunluğu	52
4.2.3. Kanat Tasarımı/ Kanat Çapı / Kanat Adedi	52
4.2.4. Yükseklik ve Hız	52
4.2.5. Altyapı, Şebeke, Ulaşım	53
4.2.6. Olumsuz Hava Şartları	53

4.2.7. Zemin Seçimi	53
4.3. Rüzgar Enerji Sistemlerinin Uygulamaları	53
4.3.1. Şebekeden Bağımsız Uygulamalar	53
4.3.2. Şebekeye Bağımlı Uygulamalar	53
4.4. Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Sistemleri	54
4.4.1. Lisanslı Rüzgar Enerji Santrali	54
4.4.2. Lisanssız Rüzgar Enerji Santrali	54
4.5. İdeal Türbin Seçimi	54
4.6. Fizibilite Analizleri	54
4.6.1. Mevcut Santraller	55
4.6.2. YEGM Verileri Kapsamında Bazı İllerin Analizleri	55
4.6.3. Retscreen Programı Kullanılarak Bazı İllerin Analizleri	57
4.6.4. Retscreen ve YEGM Kapasite Faktörlerinin Kıyaslanması	64
4.6.5. Retscreen Programı Kapasite Faktörü Etkenleri	64
5. HİBRİT SİSTEMLER (GÜNEŞ ve RÜZGAR)	66
5.1. Küçük Ölçekte Hibrit Sistemler	66
5.2. Büyük Ölçekte Kurulacak Hibrit Sistemler	66
6. KARŞILAŞTIRMALAR	67
6.1. Mevcut Teşviklerin Kıyaslanması	67
6.2. İlk Yatırım Maliyetleri	68
6.3. Aynı Ölçekte Ülke Şartlarında En Fazla Üretim Yapılacak Bölgelere Göre Üretilen Gücün Kıyası	69
6.4. Sistemlerin Alansal Bazda Kıyaslanması	69
6.5. Sistemlerin Elektrik Üretim Maliyetleri Açısından Kıyaslanması	69
6.6. Sistemlerin Fizibilite Açısından Kıyaslanması	70
6.7. Sistemlerin Çevreye Etkileri Açısından Kıyaslanması	70
6.8. Sistemlerin İstihdama Sağladığı Katkı Açısından Karşılaştırılması	71
6.9. Sistemlerin Ömürleri Açısından Kıyaslanması	71
6.10. Verimi Etkileyen Faktörler Açısından Kıyaslama	71
6.10.1. Bölgesel Verim	72
6.10.2. Nem Miktarı	72
6.10.3. Yükseklik	72
6.10.4. Şehir Merkezine Uzaklığı	72
6.10.5. Şebekeye Uzaklık	73

6.10.6. Sıcaklık	73
6.10.7. Zemin Seçimi	73
6.11. Enerji Verimliliği	73
6.12. Enerji Açığının Kapatılması	74
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	82



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar	Açıklamalar
a-Si	: Amorf Silisyum
CdTe	: Kadmiyum-tellurid
CIGS	: Bakır indiyum galyum diselenid
Cp	: Güç faktörü
CZTSSe	: Bakır-çinko-kalay-sülfoselenit
NO ₂	: Azot dioksit
P	: Güç
PM ₁₀	: Havada bulunan yabancı madde miktarı
SO ₂	: Sülfür dioksit
Sm ³	: Standart metreküp
O ₃	: Ozon
V _r	: Ortama rüzgar hızı
λ	: Dalga boyu
ρ	: Hava yoğunluğu
αP	: Ortalama sıcaklık toleransı
AC	: Alternatife Current (Alternatif akım)
DC	: Direct Current (Doğru akım)
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
GES	: Güneş Enerji Santrali
GWh	: Gigavat saat
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
ISA	: International Standard Atmosphere (Uluslararası standart atmosfer)
LNG	: Liquid Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MW	: Megavat
MWh	: Megavat saat
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)

OFV	: Organik Temelli Güneş Pilleri
PV	: Fotovoltaik
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
RH	: Relative Humidity (Bağıl Nem)
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TWh	: Teravat saat
Sm ³	: Standart metreküp
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü



TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Ülkemizde yıllara göre rüzgar ve güneş enerjisi değişimleri.	6
2.2: Ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücü (MW).	8
2.3: 2017 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.	9
2.4: 2016 Yılı aylara göre puant değerleri	10
2.5: 2016 Yılında tüketilen doğalgazın sektörlere göre dağılımı.	13
2.6: Tüketilen doğalgazın sektörlere göre durumu.	13
2.7: 2016 yılı üretilen elektrikte kömürün payı.	14
3.1: PV modüllere göre sıcaklık rezistansları.	28
3.2: Farklı sıcaklıklarda güneş panel verimlerinin kıyaslanması.	28
3.3: Ülkemizde mevcut veriler kapsamında, kurulu bulunan güneş enerji santrallerinden kurulu gücüne göre ilk on santral.	39
3.4 :Bazı illerimizin YEGM yıllık radyasyon verileri.	40
3.5: Retscreen programı kullanılırken girilmesi gereken değerler.	42
3.6 : Bazı il ve ilçelerimizin Retscreen programı ile fizibilite analizleri.	46
3.7: Retscreen ve YEGM radyasyon verilerinin kıyaslanması.	47
4.1: Kurulu güce göre Türkiye’de ilk on RES.	55
4.2 : Bazı illerin YEGM veri analizleri.	56
4.3: Retscreen programına girilmesi gereken değerler.	57
4.4: Retscreen verileri kapsamında bazı illerin kapasite faktörlerinin hesaplanması.	63
4.5: Kapasite faktörlerinin kıyaslanması.	64
4.6: Verim etkenlerinin 1 birim artırılması sonuçları.	65
6.1: Yenilenebilir enerji kaynağına göre uygulanacak destek fiyatları.	67
6.2: Yerli üretim olması durumunda verilecek ek teşvikler.	68
6.3: Üretilen elektrik enerjisinin birim fiyatlarının kıyaslanması.	69
7.1: RES ve GES sistemlerinin kıyaslanması.	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Dünya geneli 2010-2015 ilk yatırım maliyetleri.	3
2.2: 2001-2015 yılları dünya geneli yıllık rüzgar enerjisi yatırımları.	4
2.3: Enerji ihtiyacının bir kısmını rüzgar enerjisinden karşılayan bazı ülkeler.	4
2.4: PV yatırımında ilk on ülke ve 2015 yılı artışları.	5
2.5: 2015 Tüketimin maksimum olduğu günde üretilen enerjinin çeşitliliği.	11
2.6: Türkiye 50m -100m rüzgar enerji potansiyeli.	15
2.7: Türkiye 2001-2017 yılları arası rüzgar enerjisi yatırımları.	16
2.8: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası.	17
3.1: Güneş radyasyon spektrumu.	19
3.2: Fotoelektrik olay.	20
3.3: Monokristal ve Polikristal güneş paneli.	21
3.4: İnce film güneş paneli.	23
3.5: Panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve güneş akısı arasındaki ilişki.	28
3.6: Işık geçirgenliğini olumsuz etkileyen etkenler (RH=Bağıl nem, INPM10=boyutları 10 mikrondan küçük parçacıklar ve diğer gazlar).	30
3.7: Türkiye yıllık ortalama bağıl nem haritası.	31
3.8: Nemin yıkıcı etkileri.	32
3.9: Bağıl nemin panel verimine etkisi (x eksenini Bağıl Nem, y eksenini güç).	32
3.10: Bağıl nemin monokristal, polikristal ve amorf paneller üzerine etkisi.	33
3.11: Off grid güneş paneli sistemi.	36
3.12: 1980-2015 Yıllara göre üretilen güneş paneli çeşitleri.	38
3.13: YEGM günlük ortalama radyasyon verilerinin yıllığa çevrilmesi.	40
3.14: Retscreen programı ile konum belirleme.	43
3.15: Retscreen programı iklim verileri.	43
3.16: Retscreen programı finansal analizler.	44
3.17: Yıllık maliyetler.	44
3.18: Retscreen programı yıllık nakit akışı.	45
4.1: Rüzgar enerjisi yatay eksenli türbin bileşenleri.	50
4.2: Dikey eksenli rüzgar türbini.	51
4.3: Manisa ili Soma ilçesi kapasite faktörü % 35.	56

4.4: Retscreen programı konum seçimi.	58
4.5: Retscreen programı konum belirleme.	59
4.6: Retscreen programı iklim verileri.	59
4.7: Retscreen programı Finansal analizler.	60
4.8: Yıllık maliyetler.	60
4.9: Retscreen programı yıllık nakit akışı.	61



1. GİRİŞ

Dünya ve ülkemizdeki teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, sanayinin önemi, insan iş gücü yerine makinelerin girmesi, günlük ihtiyaçlarımız vb. birçok sebep enerjiye olan ihtiyacı arttırmış ve arttırmaya devam etmektedir. Bu ihtiyacımızın büyük bir kısmı fosil yakıtların çevriminden elde edilen elektrik enerjisiyle karşılanmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve olumsuz çevre etkileri nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına (hidroelektrik enerji santrali-HES, rüzgar enerji santrali-RES ve güneş enerjisi santrali-GES vb.) olan ilgi zamanla artmaktadır. Ülkemizde ise son yıllardaki altyapı, teknolojik ve mevzuatsal reformlar ile birlikte bu çalışmaların önündeki engellerin kaldırılması neticesinde alternatif enerji kaynaklarına olan yatırımlarda gözle görülür artış yaşanmaktadır.

Ülkemiz alternatif enerji kaynakları çeşitliliği ve zenginliği bakımından diğer ülkelere göre oldukça iyi konumdadır. Bu çalışmanın amacı, mevcut veriler kapsamında istatistiksel ve fizibilite analizleri ile gelecekte yapılacak GES ve RES çalışmalarına kaynakların daha etkin ve verimli kullanılabilmesi adına yol gösterici olmaktır.

Rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinin ülkemiz koşullarında fiziki, coğrafi ve ekonomik olarak incelenerek bir çok açıdan karşılaştırılması enerji yatırımlarının etkin ve doğru bir şekilde yapılmasında son derece önemlidir.

“Enerji İhtiyacı” ülkelerin siyasi, ekonomik ve askeri durumlarını etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Enerji ihtiyacını kendi imkanlarıyla karşılamayan bir ülke ne kadar güçlü olursa olsun diğer ülkelere bağımlıdır. Günümüzde ulaşım, ısınma vb. alanlarda fosil yakıtların yokluğu veya üretim, sanayi, iletişim vb. alanlarda elektrik enerjisinin bir günlük yokluğunun o ülkeye olan maddi ve manevi kaybı rakamlarla ölçülemeyecek düzeydedir. Bu sebeple ülkemizin enerji ihtiyacındaki dışa bağımlılığın biran evvel azaltılması ve nihayetinde dışa bağımlılığın ortadan kaldırılması için alternatif enerji kaynaklarından etkin bir şekilde yararlanması gerekmektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Ülkemizdeki fotovoltaiik ve rüzgar türbini uygulamalarının sayısı son yıllarda hızlı bir şekilde artmakta ve gelişen teknolojiye paralel olarak güneş ve rüzgar sistemlerine yönelik yeni yatırımlar ve yeni çalışmalar yapılmaktadır.

Literatürde Türkiye için güneş ve rüzgar enerjisine yönelik araştırma ve fizibilite çalışmaları bulunmakla beraber bunların birbirleri ile karşılaştırılmasının yapıldığı detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. Yapılacak bu tez çalışması ile bu alandaki eksikliğin giderilmesine katkıda bulunulacaktır.

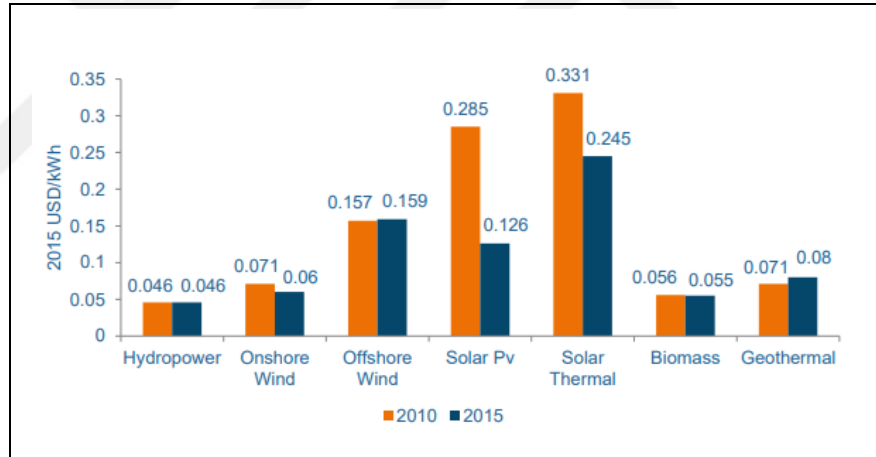
Bu tez çalışmasının amacı, Türkiye'de rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinin potansiyellerini istatistiksel olarak analiz ederek, gelecekte yapılacak rüzgar tribünü ve güneş paneli ile ilgili uygulamalarda düşük maliyetli, kaliteli, verimli ve kararlı sistemler üretmek için yol göstermektir.

Bu amaçla ülkemizde enerji üretiminde kullanılabilir yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen rüzgar ve güneş enerjisi sistemlerinin verimlilikleri ve avantajları ile coğrafî, fiziki, çevresel ve ekonomik etkileri karşılaştırmalı bir biçimde incelenecektir. Böyle bir araştırmanın Türkiye'de bu alanda yapılacak yeni çalışmalara ve yatırımlara yön verceği düşünülmektedir.

2. DÜNYA ve TÜRKİYE’DE ENERJİ FAALİYETLERİ

Dünya geneline bakıldığında elektrik enerjisi üretiminde çok fazla çeşitlilik görülmektedir. Dünyada elektrik ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Hidroelektrik ve rüzgar santralleri enerji üretiminde uzun bir süredir kullanılmaktadır. Güneş enerji sistemlerinin ticari olarak kullanımı 2005’li yıllardan sonra bu sistemlerin maliyetlerinin de ekonomikleşmesiyle birlikte kullanılmaya başlamıştır [1].

Yenilenebilir enerjinin kullanımı ülkelere göre farklılık göstermektedir. Bunun en büyük nedeni ülkelerin coğrafi konumları ve iklim koşullarıdır. Örneğin yıllık radyasyon miktarları düşük olan ülkelerde güneş enerjisi uygulamalarının kullanılmasını bekleyemeyeceğimiz gibi, rüzgar verileri düşük olan ülkelerde de bu santrallerin kullanılması uygun olmayacaktır.

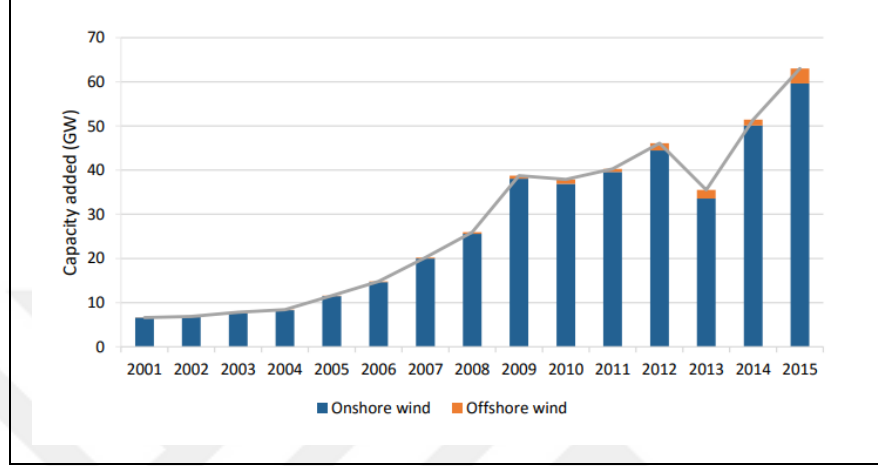


Şekil 2.1: Dünya geneli 2010-2015 ilk yatırım maliyetleri.

Şekil 2.1 dünya genelinde yenilenebilir enerji maliyetlerindeki değişimi göstermektedir. Dünya genelinde yenilenebilir enerji yatırımlarında, 2010–2015 sürecinde özellikle solar enerji maliyetlerinin ve karasal olarak kullanılan rüzgar türbinlerinin maliyetlerinin düştüğü görülmektedir [1]. Maliyet düşüşleriyle daha ekonomik hale gelen güneş enerjisi sistemlerinin yatırımları, dünya genelinde kayda değer artışlar gözlemlenmektedir.

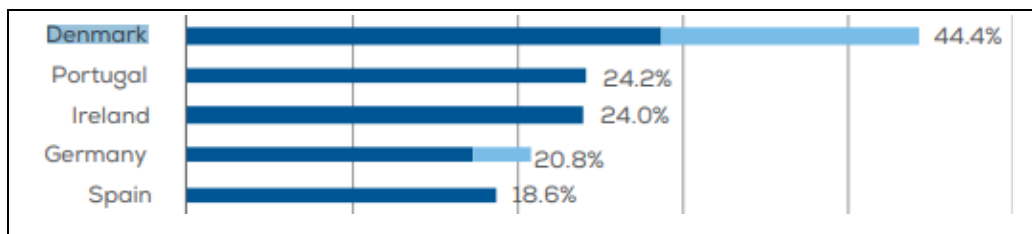
2.1. Dünyada Rüzgar ve Güneş Enerjisinin Yeri

Rüzgar enerjisi uzun zamandır dünya genelinde kullanılmasına rağmen elektrik üretimi amacıyla rüzgar türbinleri ile ticari olarak kullanımı 2005’li yıllardan sonra artmaktadır (Şekil 1.2) [1].



Şekil 2.2: 2001-2015 yılları dünya geneli yıllık rüzgar enerjisi yatırımları.

Dünya genelinde, rüzgar enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin toplam enerji üretimindeki oranı gün geçtikçe çok daha önemli hale gelmektedir. Özellikle Avrupa’da yer alan bazı ülkelerin 2017 yılı itibarıyla yıllık elektrik ihtiyacının %44,4’e varan oranda rüzgar enerjisinden karşıladığı bilinmektedir (Şekil 2.3). Başta Danimarka ve Portekiz gibi gelişmiş ülkelerin rüzgar enerjisine bu denli yatırım yapıyor olmaları, rüzgar enerjisinin, verimli olan her ülkede rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca Danimarka rüzgar türbinlerinin bir kısmını karasal alanlarda kurmuşken bir kısmını da deniz üzerinde kurmuştur [2].

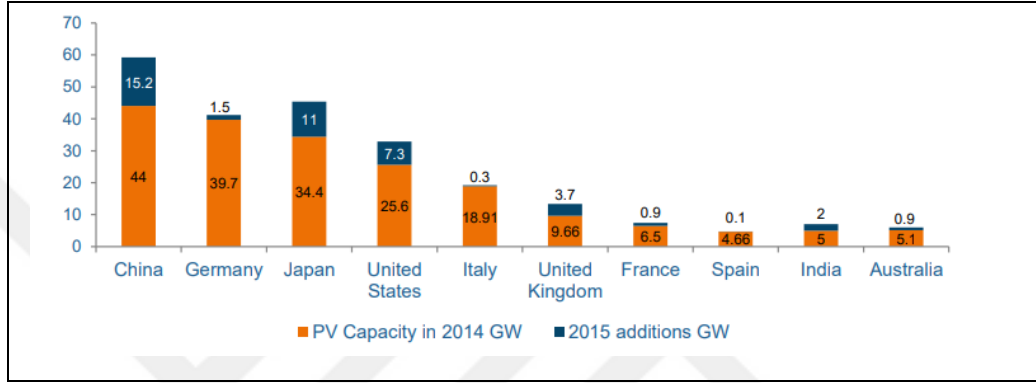


Şekil 2.3: Enerji ihtiyacının bir kısmını rüzgar enerjisinden karşılayan bazı ülkeler.

Onshore (karasal) rüzgar türbini yatırımlarını tamamlayan ülkeler için yeni verimli sahalar oluşturan offshore (deniz üstü) rüzgar türbinlerine olan ilgi Şekil

2.2'den görüldüğü üzere dünya genelinde artmaktadır. Ülkemizde başta Ege Denizi olmak üzere offshore türbin sistemleri için verimli alanlar mevcuttur [3].

Dünya genelinde güneş enerjisinin kullanımı, ülkelerin diğer enerji kaynaklarına, güneş radyasyon miktarına ve üretim maliyetlerine göre çeşitlilik göstermektedir. Şekil 2.4'te görüleceği üzere güneş panel fiyatlarındaki son yıllarda yaşanan düşüşle birlikte iklimi elverişli olan ülkelerin güneş enerjisi yatırımları ciddi oranda artış göstermektedir [1].



Şekil 2.4: PV yatırımında ilk on ülke ve 2015 yılı artışları.

Bu ülkelerden örneğin 2014 yılı için Çin ve Japonya'yı daha yakından incelediğimizde, Çin'in güneş enerjisi kapasitesi 44 GW iken Japonya'nın 39,4 GW'dır. Her sene yaptıkları yeni yatırımlarla iki ülke de bu değerleri yukarılara çıkarmaktadır [1].

2.2. Türkiye Enerji Faaliyetleri

Bir ülkenin enerji faaliyetlerine bakarak o ülke hakkında fikir sahibi olabiliriz. Örneğin ürettiği elektrik enerjisinin kaynaklara göre dağılımına bakarak dışa bağımlılığı ve iklim koşulları hakkında fikir sahibi olabiliriz.

Ülkemizin enerji faaliyetlerinden bahsedebilmek için Enerji İşleri Genel Müdürlüğünde verileri bulunan en eski tarih olan 1972 yılına gitmek gerekir. O yıllarda üretilen elektrik enerjisini incelediğimizde, üretilen elektriğin 11241,9 GWh olduğu ve bunun 4941,4 GWh petrolden üretildiğini görürüz. Petrolün, elektrik enerjisi için kullanıldığını düşündüğümüzde üretilen elektrik enerjisinin %44'ünün ithal kaynaklı olduğu sonucuna ulaşabiliriz (tablo 2.1) [3].

Tablo 2.1: Ülkemizde yıllara göre rüzgar ve güneş enerjisi değişimleri.

1972 Yılı Enerji Üretimi ve Tüketimi (GWh)				
Toplam Üretim	Güneş	Rüzgar	İthal hammadde kaynaklı üretim	Yerli Üretim
11241,9			% 44	% 56
1998 Yılı Enerji Üretimi ve Tüketimi				
Toplam Üretim	Güneş	Rüzgar	İthal hammadde kaynaklı üretim	Yerli Üretim
111022		6	% 32	% 68
2006 Yılı Enerji Üretimi ve Tüketimi (GWh)				
Toplam Üretim	Güneş	Rüzgar	İthal hammadde kaynaklı üretim	Yerli Üretim
176300		127	% 56,4	% 43,6
2014 Yılı Enerji Üretimi ve Tüketimi				
Toplam Üretim	Güneş	Rüzgar	İthal hammadde kaynaklı üretim	Yerli Üretim
251963	17,4	8520	% 64	% 36
2016 Yılı Enerji Üretimi ve Tüketimi (GWh)				
Toplam Üretim	Güneş	Rüzgar	İthal hammadde kaynaklı üretim	Yerli Üretim
274408	1043	15517	% 51,7	% 48,3

1998 yılında, ülkemizin elektrik enerjisi üretimi 111022 GWh iken, çoğu ithal kaynaklar olmak üzere; 24838 GWh doğalgazdan, 7923 GWh petrolden ve 2981 GWh taş kömürden %32'si ithal kaynaklı ürünlerden karşılanmıştır [3].

2006 yılında ise, toplam üretim 176300 GWh iken, bunun ithal kaynaklarla karşılanan kısmı, 14217 GWh ile taşkömürü, 4540 GWh ile petrol ve 80691 GWh ile doğalgazdan olmak üzere %56,4'ü olarak gerçekleşmiştir. RES kaynaklı üretim ancak on binde 7,2 şeklinde gerçekleşmiştir [3].

Güneş enerjisi santrallerinin kuruluşu daha önceye dayansa da Enerji İşleri Genel Müdürlüğü verilerinde 2014 yılında şebekeye 17,4 GWh enerji verildiği görülmektedir. Bu yıl toplam üretilen elektrik enerjisi 251963 GWh'dir. Enerjinin ithal kaynaklı ham maddelerden karşılanma oranı %64 (38693 GWh taş kömürü, 2145 GWh petrol, 120576 GWh doğalgaz) olarak gerçekleşmiştir. RES ve GES üretilen %3,4 oranında kalmıştır [3].

Son olarak 2016 yılında ise, 274408 GWh elektrik üretilmiştir. İthal ham madde kaynaklı olarak üretilen elektrik oranı, %51,7 (50829 GWh taş kömürü, 1926 GWh petrol, 89227 GWh ise doğalgaz) şeklindedir. RES ve GES deki üretim ise %6 seviyesine ulaşmıştır [3].

Ülkemizde her yıl artan enerji ihtiyacını karşılamanın en kolay çözümlerinden biri, ithal ham madde kaynaklı yeni termik santraller kurmaktır. Artan enerji ihtiyacımızın çözümüne yönelik uygulanan bu sistem elektrik ihtiyacımızın ithalatta önemli bir kalem haline gelmesine neden olmuştur. Son yıllarda GES ve RES maliyetlerindeki düşüş ve ithalat açığının artması gibi sebeplerle birlikte yerli kaynaklara olan ilgi artmıştır.

Kurulacak RES ve GES santrallerin neredeyse tüm ekipmanlarının yurt dışından ithal edilecek olmasından dolayı ekonomik anlamda kısa vadede ithal hammaddesi (doğalgaz, kömür vb.) satın alarak enerji üretmek makul gözükmekteydi. Kamunun önündeki mevzuatsal engeller, teknik yetersizlik, teknolojiye yabancılık, ağır ithalat koşulları gibi birçok olumsuzluk sebebiyle ülkemizin yerli kaynaklarının kullanabilmesi git gide gecikti. Bu durum RES ve GES santral maliyetlerin ekonomikleşmesiyle değişmiştir.

Türkiye’de, stratejik olarak yerli ve temiz enerji üretiminin önemini farkına varılmasıyla birlikte, rüzgar ve güneş enerjisine olan ilgi zamanla artmıştır. 2002 yılı itibariyle toplam %0,01 olan RES+GES kurulu gücü Eylül 2016 itibariyle %7,5’e yükselerek 5888,2 MW kurulu güce ulaşmıştır [4]. Son yıllarda yapılan devlet teşvikleri, mevzuat engellerinin ortadan kaldırılması, ilk yatırım maliyetlerinin düşmesi gibi sebeplerle yeni yatırımların önü açılmıştır.

2.2.1. Kurulu Güç

Ülkemiz enerji kaynak çeşitliliği bakımından çoğu ülkeye göre avantajlı bir coğrafyada yer almasına rağmen enerji çeşitliliğimiz bu potansiyele paralel olarak gelişmemiştir. Enerji üretimimiz daha çok ithal edilen doğalgaz, petrol, taş kömürü vb. kaynaklara göre gelişmiştir. Enerji açığının ithalatta önemli bir yer tutması ve daha fizibil olması sebebiyle son yıllarda yerli, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır.

Tablo 2.2: Ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücü (MW).

YIL	TERMİK			HİDROLİK	RÜZGAR	JEOTERMAL	GÜNEŞ	TOPLA M	ART IŞ %
	KÖMÜR	DOĞALGAZ	DİĞER						
2002	6983	8438	4.147	12.241	18,9	17,5	-	31846	12,4
2003	8239	10053	4.683	12.579	18,9	15	-	35587	11,7
2004	8296	11349	4.500	12.645	18,9	15	-	36824	3,5
2005	9117	12275	4.487	12.906	20,1	15	-	38820	5,4
2006	10097	12641	4.520	13.063	59	23	-	40502	4,3
2007	10097	12853	4.322	13.395	146,3	23	-	40836	0,8
2008	10095	13428	4.072	13.829	363,65	29,8	-	41817	2,4
2009	10501	14555	4.284	14.553	791,6	77,2	-	44761	7,0
2010	11891	16112	4276	15831	1320	94,2	-	49524	10,6
2011	12491	16003	5438	17137	1729	114,2	-	52911	6,8
2012	12530	17162	5337	19620	2261	162,2	-	57072	7,9
2013	12428	20253	5967	22289	2760	310,8	-	64007	12,2
2014	14636	21474	5692	23643	3630	404,9	40,2	69520	8,61
2015	15483	21261	5159	25868	4503	623,9	248,8	73147	5,2
2016	17316	22217	4878	26681	5751	820,9	832,5	78497	7,3
2017	18666	23260	5139	27266	6516	1.063,7	3420	82312	4,8

Tablo 2.2’den görüleceği üzere, 2002 yılından itibaren ülkemizde elektrik üretimi için var olan santrallerin yıllara göre değişimi sırasıyla kömür, doğalgaz, diğer, hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş olarak gelişmiştir. Rüzgar ve özellikle güneş enerjisine yapılan yatırımlar son yıllarda dikkat çekici oranda artış göstermektedir [4].

Görüldüğü üzere 2002 yılında %0,01 olan 18,9 MW’lık RES yatırımları 2016 sonu itibariyle %7,33’lük dilimle 5751 MW kapasitesine yükseltilmiştir. Aynı zamanda 2002 yılında hiç olmayan GES 2014 yılından itibaren başlayarak 2016 sonu itibariyle %1,06 dilimle 832,5 MW seviyesine ulaşmıştır [4].

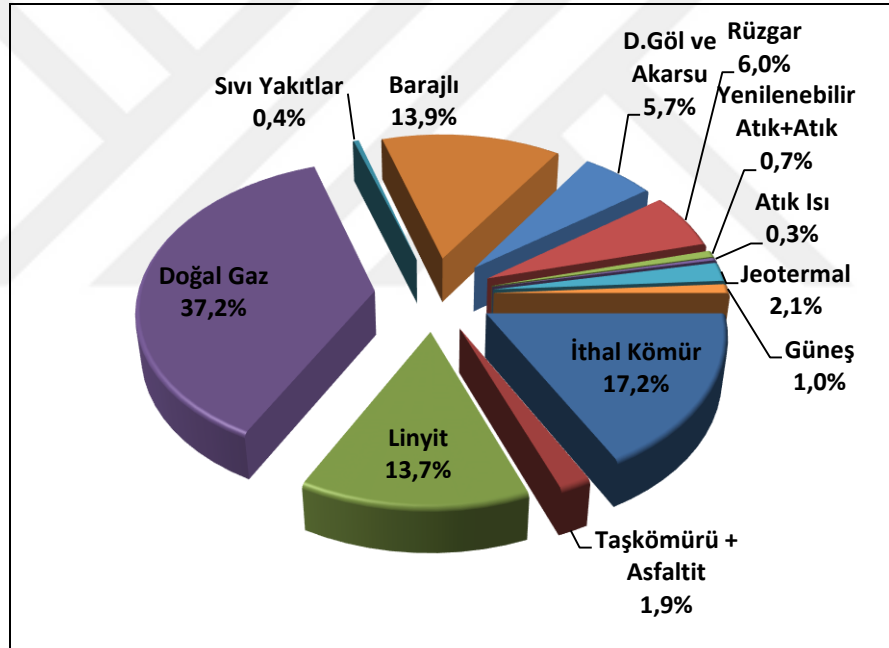
Türkiye 2016 yılı sonu itibariyle kurulu gücü 78497 MW’a yükselterek toplam 261783 GWh elektrik üretmiştir. Bu üretimde kurulu gücün %6,16’sı (4503 MW) olan rüzgar santrallerinden %4,45 oranında, 11652 GWh elektrik üretilmiştir. Aynı zamanda kurulu gücün %0,34’ü (248,8 MW) olan GES %0,07 oranında 194 GWh elektrik üretilmiştir. Bu kurulu gücün %56,01 (41025 MW) yerli kaynaklardan (HES,

RES, GES ve Yerli Kömür) oluşurken % 43,9'u (32122 MW) ithal kaynaklardan (doğalgaz, LNG, ithal kömür vb.) oluşmaktadır [4].

2.2.2. Üretimin Kaynaklara Göre Dağılımı

İthal edilen enerji kaynaklarımız (ağırlık olarak ithal kömür, doğalgaz, LNG ve motorin vb.) ile yapılan elektrik üretiminin, toplam elektrik üretimine oranı yaklaşık %54,8 dir. Tablo 2.3'de görüldüğü üzere, ithal kaynaklı hammaddeler her ne kadar ülkemizde termik santraller ile elektriğe dönüştürülse de, elektrik üretiminde dışa bağımlı olduğumuz açıktır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla birlikte, 2017 yılı sonu itibariyle yerli, yenilenebilir enerji önemi ve katkısı artmıştır [5].

Tablo 2.3: 2017 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.



2004 yılından bu yana üretilen elektrik enerjisinin kaynaklara göre dağılımında 2007 ve sonrasında ki yıllara bakıldığında, yerli kaynaklara yapılan yatırımların (HES, GES, RES vb.) meyvelerini vermeye başladığı görülür. Yapılan yatırımlarda termik enerji üretiminin git gide düştüğü ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacının karşılanması noktasında ithal kaynaklı enerjinin azaldığı görülmektedir [4].

2015 yılı itibariyle hidrolik ve alternatif enerji yatırımları önceki yıllara göre artarak ülkemizin enerji ihtiyacı daha çok bu santrallerden karşılanmıştır. Buna bağlı olarak termik santrallerdeki üretim, oransal bazda düşmüştür. Bu santraller yerli

hammadeler hariç (kömür, atık vb.) neredeyse tamamı ithal hammadde kaynaklıdır. Yerli kömürden üretilen elektriğin toplam üretilen elektriğe oranı yaklaşık %15'tir. Dolayısıyla ülkemiz yıllara göre değişmekle birlikte %50-66 aralığında elektrik enerjisi üretiminde dış kaynaklara bağımlıdır [4].

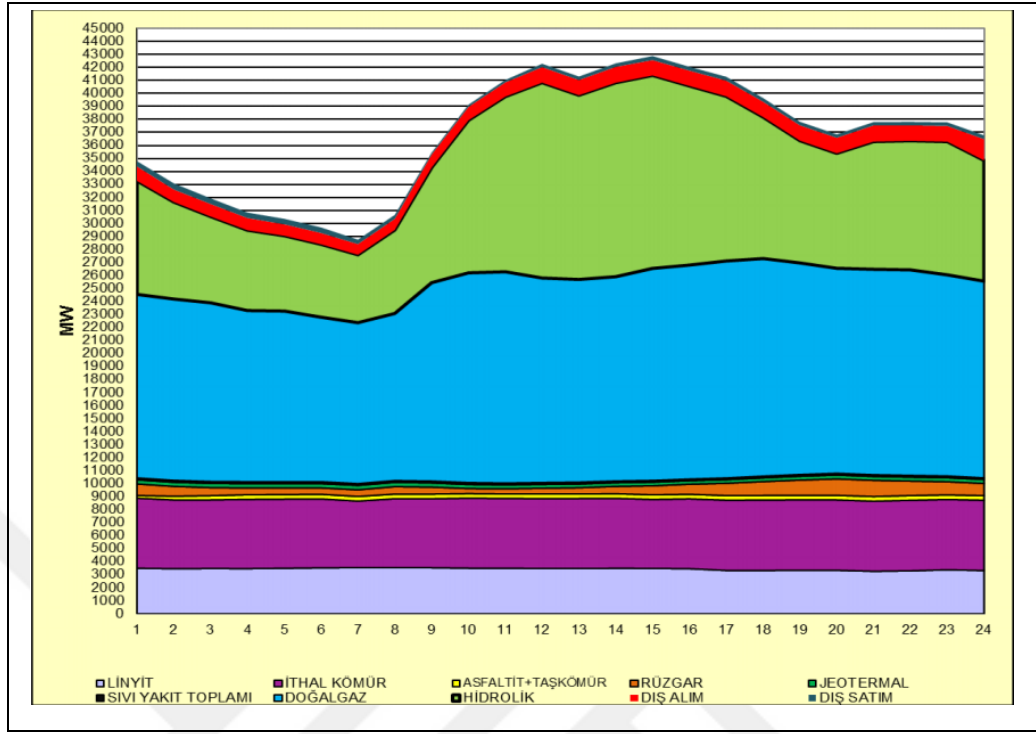
2.2.3. Ülkemizin Puant Talepleri

Puant talepleri anlık elektrik ihtiyacının pik yaptığı noktalardır. Elektrik tüketimi mevsimlere, mesai saatleri, sanayi bölgesi vb. etkenlere bağlı olarak artmakta ve azalmaktadır. Bu değişimler genel itibariyle tahmin edilmektedir. Ancak ani artış durumlarını tolere edebilmek için anlık tüketimden fazla şebekeye elektrik verilmektedir (tablo2.4) [6].

Tablo 2.4: 2016 Yılı aylara göre puant değerleri.

Aylar	Tarih	Puant (MW)
Ocak	09.01.2015	41138
Şubat	20.02.2015	38551,7
Mart	20.03.2015	36858,7
Nisan	09.04.2015	36205,9
Mayıs	26.05.2015	35248,8
Haziran	17.06.2015	42333
Temmuz	30.07.2015	42848,9
Ağustos	05.08.2015	44734
Eylül	03.09.2015	40828,9
Ekim	01.10.2015	35284,6
Kasım	30.11.2015	39916,3
Aralık	17.12.2015	42361

TEİAŞ verilerine göre, 2015 yılı en yüksek ve en düşük puant taleplerinin olduğu günleri inceleyecek olursak elektrik tüketimi ihtiyacının hangi dönemde arttığını ve ihtiyacın hangi kaynaklardan karşılandığını çok daha iyi anlarız.



Şekil 2.5: 2015 Tüketimin maksimum olduğu günde üretilen enerjinin çeşitliliği.

Şekil 2.5 ve TEİAŞ verilerinden anlaşılacağı gibi Türkiye anlık, saatlik enerji tüketimine göre farklı santralleri aynı anda çalıştırarak gerekli talebi karşılamaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en alttan en üste doğru enerji kaynağının değişmesidir [7].

Depolanabilir kaynaklar olan hidrolik ve sonrasında doğalgaz burada ani düşüş ve çıkışları dengelemek için kullanılmaktadır. Hatta dış alım ve dış satım durumu dengenin daha beklenmedik iniş çıkışlarında gerçekleşmektedir. Elektrik santrallerinde üretilen elektriğin depolanma imkanı bulunmadığından, tüketim talebine göre üretim yapılması gerekmektedir. En düşük tüketimden yola çıkarsak 2015 yılı toplam tüketim 462547 MWh'dir. Saatlik tüketim 22142 MWh'in altına düşmezken 42482 MWh'in üzerine çıkmamıştır. 2015 yılı için ülkemizde elektrik sistemlerinde temel yük, azami yüke oranı %52 oranında gerçekleşmiştir. Bu oranın %40 aşması sistemi olumsuz anlamda etkilemektedir. Bu oran ne kadar az olursa sistemin kararlılığı o kadar yüksek olur [7].

2015 Yılı toplam tüketimimiz 264136,8 GWh'dir. Saatlik ortalaması ise 30103 MWh olarak gerçekleşmiştir. Azami 42482 MWh asgari ise 18000 MWh şeklindedir.

Dolayısıyla, yıllık asgari tüketim miktarı olan 18000 MWh'lik enerji ihtiyacını karşılayabilmek için gece gündüz üretim gerekmektedir. Bu enerji şuan çok büyük oranda fosil kaynaklardan karşılanmaktadır.

Rüzgar ve güneş enerji santralleri bu minimum ihtiyacı karşılayacak düzeye getirilebilirse, $18000 * 24 \text{ saat} * 365,6 \text{ gün} = 157939 \text{ GWh}$ değerinde, yaklaşık 13,36 milyar dolarlık ithalatın önüne geçilmesi mümkün olabilecektir.

2.2.4. Türkiye Enerji İthalatı

Türkiye, ekonomik büyümeye paralel, gelişimin yapı taşlarından biri olan elektrik enerji ihtiyacını karşılayabilmek adına her yıl yeni elektrik üretim santralleri kurmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde yüksek verim sağlayan kömür, doğalgaz, LNG vb. kaynaklar bakımından yetersiz olan ülkemiz, kurulan termik santrallerin ihtiyacını karşılayabilmek için her yıl daha fazla ham madde ithal etmektedir.

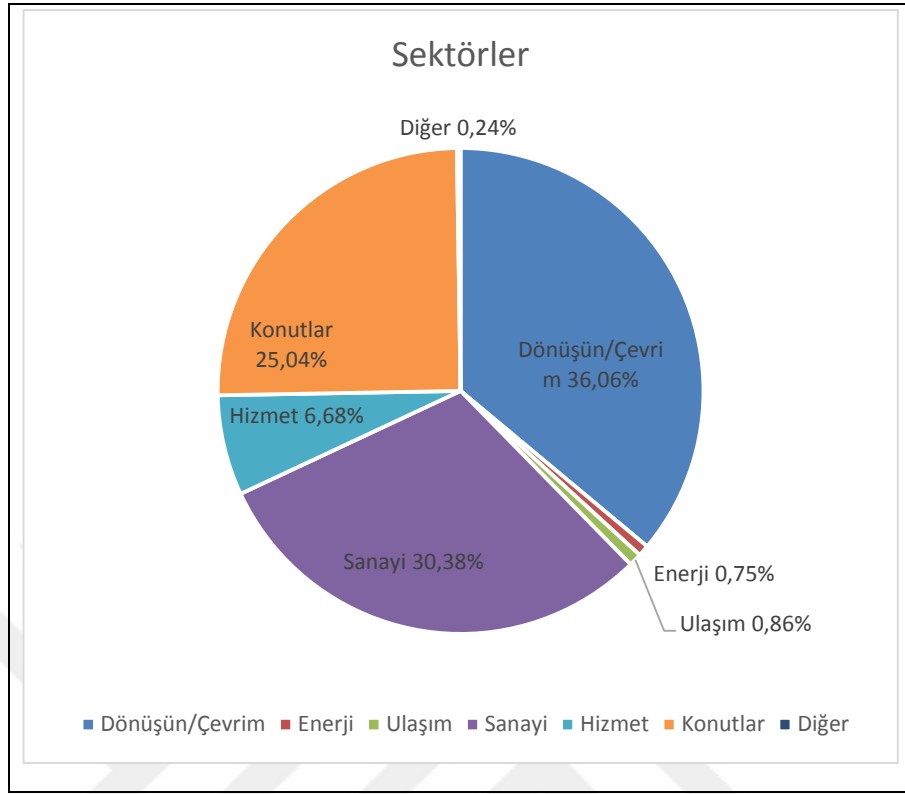
Aşağıda detayları mevcut çalışmamızda yapılan analizler neticesinde, Türkiye 2014 yılında 155 TWh elektrik tüketimini karşılayabilmek için yurt dışından ağırlıklı olarak kömür ve doğalgaz gibi hammaddeler almış ve bunu yurt içindeki termik santrallerde elektriğe dönüştürmüştür. Bu enerji ihtiyacının karşılığı olarak 2014 yılı için ithalata yaklaşık 13,12 milyar dolar harcamıştır. 2015 te ise 137,8 TWh elektrik ihtiyacını karşılamak için ağırlıklı olarak ithal edilen doğalgaz ve ithal kömüre yaklaşık toplam 11,62 milyar dolar harcadığı anlaşılmaktadır.

Yapılan araştırmalar ve analizler neticesinde giderek artan elektrik ihtiyacının yaklaşık 150 TWh'lik kısmını karşılamak adına ithal edilen ürünler için yıllık ortalama 12,5 milyar dolar harcadığı görülmektedir. Mevcut veriler ışığında bu bütçeyle yapılabilecek güneş ve rüzgar enerji yatırımlarını ve verimliliğini çalışmamızın devamında inceleyebiliriz.

2.2.4.1. Türkiye'nin Doğalgaz İthalatı

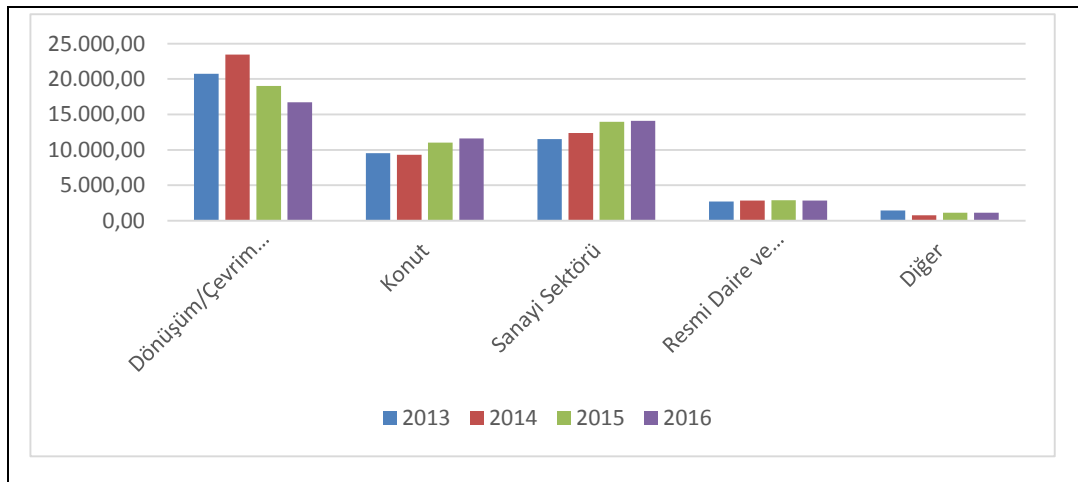
Türkiye'nin doğalgaz ithalatı 2014 yılı ve sonrası elektrik üretiminde alternatiflerin artmasıyla birlikte önceki yıllara göre yıllık artış miktarında azalma gözlenmektedir. Bu gerilemeye rağmen son on yılda ortalama %5 artmıştır. Diğer yandan ısınmak için en iyi seçeneklerden biri olan doğalgaza olan ihtiyaç, artan konut sayısı ve popülasyonla birlikte artmaktadır. 2016 yılı ithal edilen doğalgazın kullanımı tablo 2.5'te yer almaktadır [8].

Tablo 2.5: 2016 Yılında tüketilen doğalgazın sektörlere göre dağılımı.



Tüketilen doğalgazı tablo 2.6'dan yıllara göre incelediğimizde, 2014 yılı sonrası elektrik için tüketilen doğalgaz miktarında ciddi bir azalma söz konusudur. 2016 yılında elektrik üretimi için kullanılan doğalgaz bir önceki yıla göre %12 oranında azalmıştır [8].

Tablo 2.6: Tüketilen doğalgazın sektörlere göre durumu.



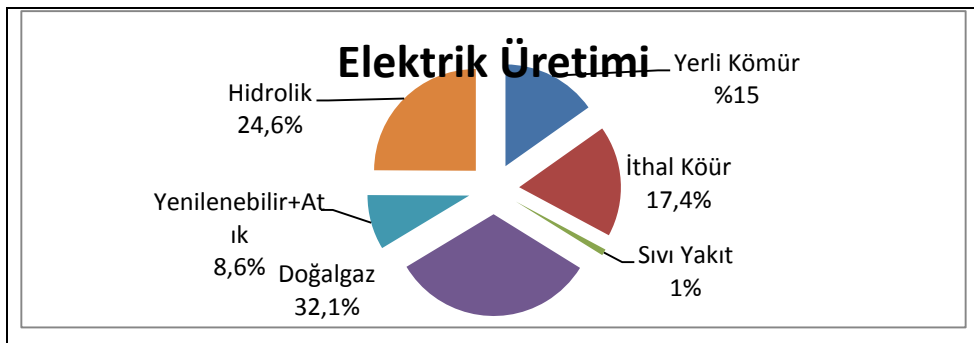
EPDK 2016 doğalgaz sektör raporunda görüldüğü gibi Türkiye 2014 yılında tükettiği doğalgazın %48,12'si olan 23441,97 milyon Sm³'ünü elektrik üretmek için dönüşüm/çevrim sektöründe kullanmıştır. 2015 yılında ise bu değer %39,61'e 19181,93 Milyon Sm³'e gerilemiştir. Türkiye satın aldığı doğalgazın neredeyse yarısını dönüşüm/çevrim sektöründe kullanarak elektrik üretmektedir. [8]

2015 Enerji Bakanlığı'nın bütçe sunumunda bulunan "14 milyar dolar karşılığı olan 30 milyar m³ doğal gaz ithalatının önüne geçilmiş olacaktır." [9] ifadesine göre Türkiye 2015 yılı elektrik ihtiyacını karşılamak için ödediği doğalgaz alımının %39,61'ini elektrik üretmekte kullanılmıştır. Kullanılan doğalgaz ile 98422623 MWh elektrik üretimi yapılmıştır. Üretilen bu elektriğin maliyeti 8,95 milyar dolar olmuştur. 19181,93 Milyon Sm³ doğalgazın 1 m³ ortalama 425 dolara alındığı göz önünde bulundurulduğunda, 8,29 milyar dolar ödendiği anlaşılmaktadır. Ülkemizin, nihai olarak üstteki iki hesaplardan anlaşılacağı üzere, 98422 GWh elektrik üretmek için satın aldığı 19181,93 milyon Sm³ doğalgazın karşılığı olarak ortalama 8,62 milyar dolar ödediği sonucuna ulaşılabilir.

2.2.4.2. Türkiye'nin Kömür İthalatı

Ülkemizde kömür ithalatı enerji ithalatına paralel olarak artmaktadır. 1990'lı yıllarda 10 milyon ton, 2000'li yıllarda 20 milyon ton, 2013'te 27,2 milyon ton iken 2014 yılında 30,2 milyon ton olarak gerçekleşerek 3,2 milyar dolar ödenmiş iken 2015'te bu rakam 3 milyar dolara gerilemiştir. İthalatına yaklaşık 3 milyar dolar verilen kömürünün elektrik üretiminde kullanıldığını düşündüğümüzde 39,6 TWh elektriği üretmek için yaklaşık 3 milyar dolar ödendiği anlaşılmaktadır [10].

Tablo 2.7: 2016 yılı üretilen elektrikte kömürün payı.

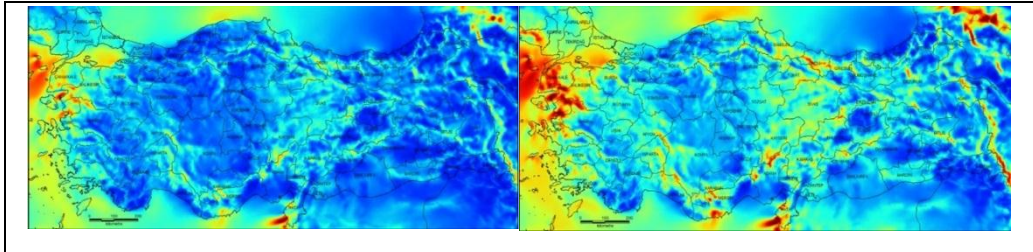


Yerli kömürden elde edilen elektrik kurulu gücümüz hızla düşmektedir. 1987 yılı itibariyle kurulu gücümüz %37,3 iken, 2004 yılında %18,4 ve 2016 itibariyle bu değer %12,5'e gerilemiştir. Tablo 2.7'den görüleceği gibi 2016 yılsonu itibariyle kömür santrallerimizden 92,2 TWh (%33,7) elektrik elde edilmiştir. Bu elektriğin 47,7 TWh'i (%16,3) yerli kömür santrallerinden elde edilmiştir. İthal kömüre dayalı santrallerden yapılan üretim ise, 47,7 TWh (%17,4) olarak gerçekleşmiştir [10].

2.2.5. Rüzgar Enerjisinin Yeri

Türkiye'nin rüzgar kurulu gücü Ocak 2018 tarihi itibariyle 6516 MW'a yükselmiştir. 2017 yılı üretimi yaklaşık 19 GWh'e ulaşmıştır. Bazı santrallerin 2017 yılında kurulduğunu düşünerek bu üretimin yaklaşık 6000 MW kurulu güçten elde ettiğimizi var sayarsak, *1 MW'lik santralden ortalama (19000000 /6000/365,25) günde 8,67 MWh, yılda ise 3,17 GWh elektrik* üretimi yapılmıştır. Aylara göre ortalama rüzgar hızı incelendiğinde, ülke genelinde Temmuz, Ağustos ve Aralık–Ocak dönemlerinde rüzgar hızının arttığı gözlemlenmiştir [11].

Ülkemizin farklı bölgelerinde, farklı hız ve yükseklikte rüzgar enerji potansiyeli mevcuttur (Şekil 2.6) [12].



Şekil 2.6: Türkiye 50m -100m rüzgar enerji potansiyeli.

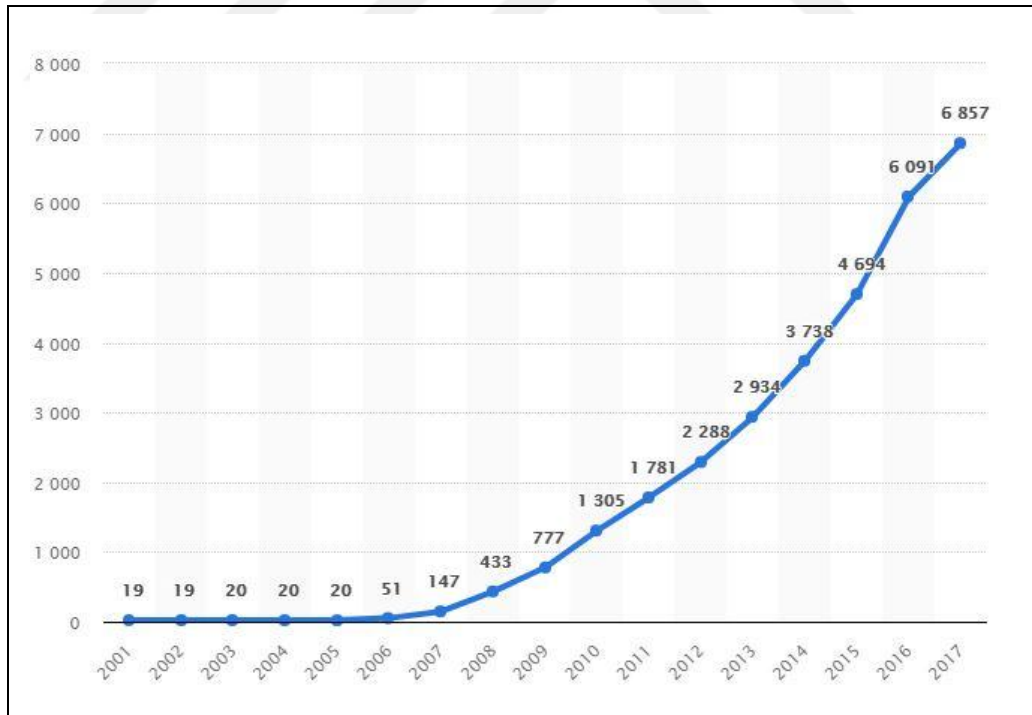
Bu potansiyelin tamamının ticari olarak kullanılması beklenemez. Genellikle ticari olarak kullanılacak olan rüzgar türbinlerinin kurulacağı alanda 50 m yükseklikte, 7 m/s ortalama rüzgar hızı aranır. Ülkemizde bu durum aşağıdaki şekildedir.

Tablo 2.8: Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli.

Yıllık ortalama rüzgar hızı -50m (m/s)	Güç yoğunluğu -50m (W/m ²)	Kapasite (MW)
7,0-7,5	400-500	29259,36
7,5-8,0	500-600	12994,32
8,0-9,0	600-800	5399,92
> 9.0	> 800	195,84
	Toplam	47849

MGM'den alınan veriler kapsamında tablo 2.8'e göre toplam 47849 MW (37836 MW karasal, 10013 MW deniz üstü alanlar) potansiyele sahiptir. Mevcut duruma göre kurulu olan santralleri çıkardığımızda, ülkemizin rüzgar enerjisi için verimli 30000 MW ekonomik potansiyeli mevcuttur. Bu hesaplamalar 50m yüksekliğinde ve yıllık ortalama rüzgar hızı 7,0 m/s ve üstündeki hızlara göre hesaplanmıştır. Yükseklik arttıkça potansiyelin artacağı açıktır [13].

Ülkemizde rüzgar enerjisi yatırımları rüzgar enerjisi maliyetlerinin düşmesi ve yasal zeminin oluşturulmasıyla birlikte artmaya başlamıştır.



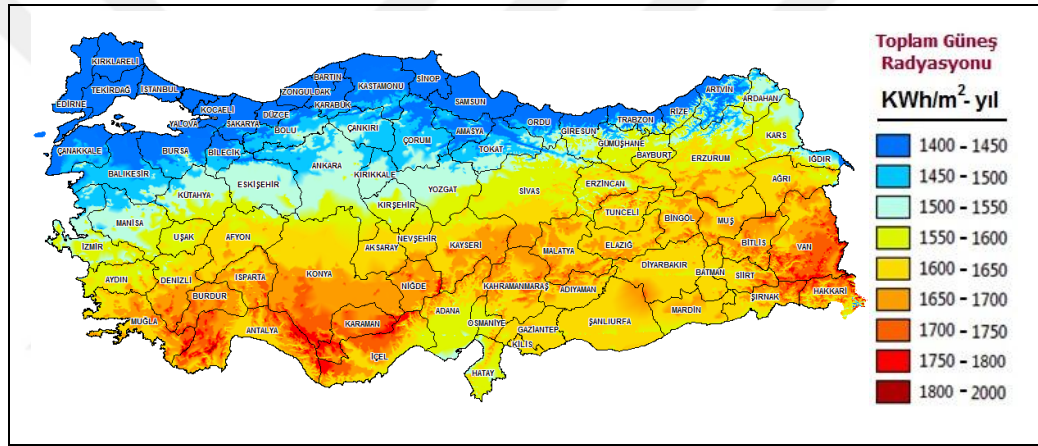
Şekil 2.7: Türkiye 2001-2017 yılları arası rüzgar enerjisi yatırımları.

Şekil 2.7 de görüldüğü gibi ülkemizde 2006 yılı sonrasında başlamak üzere rüzgar enerjisi yatırımları hız kazanmıştır. 2013 yılı ve sonrasında ise genel elektrik

tüketimimizin üzerinde yatırım sağlayarak, rüzgar enerjisinin genel elektrik üretimdeki payı gözle görülür oranda artış kaydetmektedir [14].

2.2.6. Güneş Enerjisinin Yeri

Verilen teşvikler ile ülkemizdeki GES sayısı son yıllarda hızlı bir artış göstererek lisanslı ve lisanssız GES kurulu gücü 2017 sonu itibariyle 3420 MW'a ulaşmıştır. Böylelikle saatlik bazda bilhassa öğlen saatlerinde zaman zaman güneş enerjisi santrallerinden üretilen elektriğin toplam tüketimi karşılama oranı %11'e varmaktadır. Ülkemizin her bölgesinde kullanılabilen güneş panelleri radyasyon miktarının daha fazla olduğu bölgelerde ticari santrallere dönüşebilmektedir.



Şekil 2.8: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası.

Şekil 2.8'de yer alan haritada da görüleceği gibi ülkemizde m² başına düşen radyasyon miktarları koyu maviden koyu kırmızıya doğru artmaktadır [12]. Radyasyon miktarı yüksek alanların tercih edilmesi durumunda sistemin verimi artacak ve yapılan yatırımın amortisman süresi düşecektir. Ancak her zaman bu koyu kırmızı alanlara GES kurulması mümkün olmayabilir. Şehir merkezleri, bu bölgelerin yatırım yapılabilecek düzlükte olmaması, tesisin enerji merkezlerine olan uzaklığı, arazi yasal izinleri, arazinin fiziki yapısı, çevresel faktörler, deprem ve diğer riskleri de göz önüne aldıktan sonra bu bölgelere ya da bu bölgelere yakın en yakın bölgelere yatırım yapılabileceği düşünülmektedir.

Eğimi 3° den büyük alanlar, yerleşim alanları, sulak alanlar, göller, akarsular, ormanlar, tarımsal alanlar, özel çevre koruma alanları ve ulaşım için kullanılan alanlar

çıkartıldığında, global güneş radyasyon değeri 1650 kWh/m² yıl olarak hesap edilen teknik potansiyel alanı yaklaşık 4600 km²'dir [15].

Bir MW lık GES için ortalama 20 dönüm alan gerektiğini düşünürsek, ülkemizin teknik olarak güneş enerji potansiyelinin 230 GW olduğu görülür. Ortalama 1600 kWh/m²/yıl olan alana kurulmuş Isparta/Gönen'deki 1 MW gücündeki santralden 2016 yılında 1,55 GWh elektrik üretilmiştir [11].

2.3. Retscreen Programı

Kanada Hükümeti tarafından ilk çıktığında ücretsiz olarak sunulan ancak daha sonrasında izleme modu ücretsiz olan Retscreen programı, başlarda yenilenebilir enerji projelerinin hesaplanmasında kullanılırken yeni çıkan versiyonlarıyla kojenerasyon projelerinin de hesaplanmasına izin veren bir veri analizi ve modelleme programıdır. İklim verilerini NASA'dan alan bu program, dünya haritası üzerinden seçilen konuma göre en yakında bulunan iklim veri istasyonundan bilgileri almaktadır. Alınan bu bilgileri bölgenin coğrafi konumu ve en yakındaki diğer istasyonlarla kıyaslayarak seçilen konum hakkında gerçeğe yakın verilere ulaşmaktadır. Program, seçilen bölgelerde oluşturulacak projelerin fizibilite ve performans analizlerinin yapılarak gerekli istatistiklerin çıkarılmasına imkan sağlamaktadır.

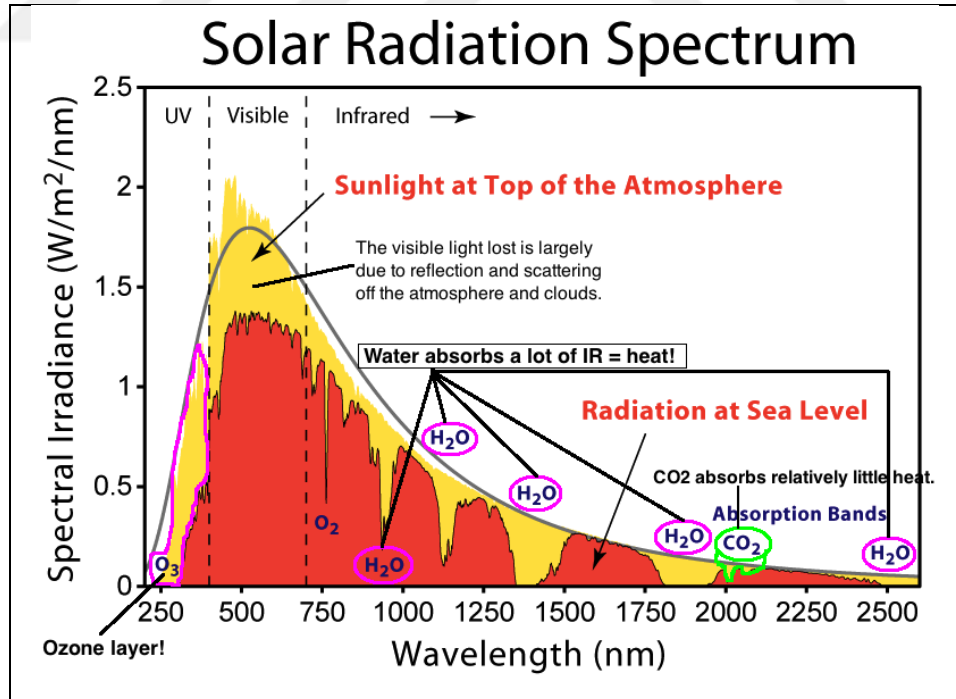
Retscreen programı ilgili alanlarda dünya genelinde yoğun olarak kullanılan bir program olup ülkemizde de birçok çalışmada bu programdan faydalanılmıştır [16-22].

Bu tez çalışmasında, ülkemizin farklı illerinde Retscreen programı ile belirlenen farklı noktalarda güneş ve rüzgar enerjisinin verimlilikleri incelenecek, elde edilen sonuçlar mevcut verilerle karşılaştırılacak ve böylece ülkemiz için güneş ve rüzgar enerji sistemlerinin coğrafi, iklimsel vb. olarak değişen koşullardaki uygunluğu ortaya konulacaktır.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisinin çeşitli amaçlarda kullanımı çok eski tarihlere dayanmaktadır. İnsanlar güneş enerjisini aydınlatma amaçlı kullanırken zamanla ondan faydalanıp iş yapılabileceğini fark etmişlerdir. Örneğin Arşimet (M.Ö. 250) yıllarında içbükey aynaları kullanarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Zamanla gelişim gösteren teknoloji 1600 lü yıllarda Galile'nin merceği bulmasıyla gelişim göstermiştir. 1800'lü yıllarda ise güneş ışınlarını bir noktaya odaklayarak küçük bir buhar makinesiyle güneş ışınından iş üretir hale gelmiştir. Fotovoltaik sistemlerin tarihi ise 18. asırdaki "fotoelektrik olay" deneyine kadar dayanmaktadır [23].

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere dünyamıza gelen güneş ışınlarının tamamı yeryüzüne ulaşmaz [24]. Atmosfer, bulutlar ve hava konsantrasyonunda ki çeşitliliğe bağlı olarak yeryüzüne ancak bir kısmı ulaşır. Su buharı, ozon, karbondioksit vb. gazlar bu ışınları soğurur. Yer yüzeyine ulaşan güneş ışınlarının yaklaşık %38,15'i ($0.40\mu\text{m} < \lambda < 0.70\mu\text{m}$) görünür bölge, yaklaşık 8,73%'i ($\lambda < 0.40\mu\text{m}$) ultraviyole ve %53,12'si ($\lambda > 0.70\mu\text{m}$) de kızıl ötesi şeklindedir [25].



Şekil 3.1: Güneş radyasyon spektrumu.

Güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretme iki ana başlıkta değerlendirilebilir.

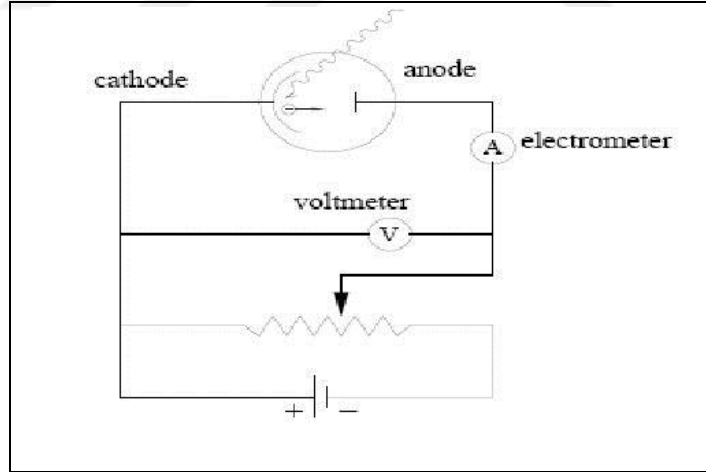
i) Güneş ışınlarının bir noktaya odaklanması sonucu yüksek sıcaklık elde edilmesiyle oluşan ısı enerjisi, yapılan enerji çevrimleri ile mekanik enerjiye dönüştürülür. Sonrasında jeneratörler ile bu enerji, elektrik enerjisine çevrilir. Burada yoğunlaştırmak için genellikle parabolik aynalar, fresnel lensler veya doğrudan güneş ışınına koyulan siyah nesnelere vasıtasıyla güneş ışını emilerek gerçekleştirilir.

ii) Güneş pilleri, güneşten gelen ışınları doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarıiletken malzemelerdir. Bu pillerin verimi laboratuvar şartlarında %46'lara kadar yükseltilebilmektedir ancak ticari olanlarının verimleri %5-20'da kalmaktadır [26].

Bu çalışma, güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretiminde en çok tercih edilen güneş panellerine yönelik olacaktır.

3.1. Güneş Pilleri

Güneş pilleri, temelinde “Fotoelektrik olay” da olduğu gibi güneşten gelen fotonların enerjisini Şekil 3.2'deki gibi elektrik enerjisine çeviren fotovolttaik araçlardır [27]. Bu araçlar fiziksel özelliklerine, verimlerine ve fizibilitelerine göre çeşitlilik göstermektedir.



Şekil 3.2: Fotoelektrik olay.

Yapıları basitçe fotoelektrik olay da olduğu gibi Katot yerine n tipi yarı iletken malzeme, Anot yerine de p tipi yarıiletken malzeme ile yapılır. Bunun için de yarı iletken özellik sergileyen maddeler (Si, GaN, GaAs vb.) kullanılır. Bunların başında ise hem dünyada oksijenden sonra en çok bulunan atom olması hem de fiyatlarının makul olması sebebiyle silisyum tercih edilir. Silisyum, kararlı halde valans bandında

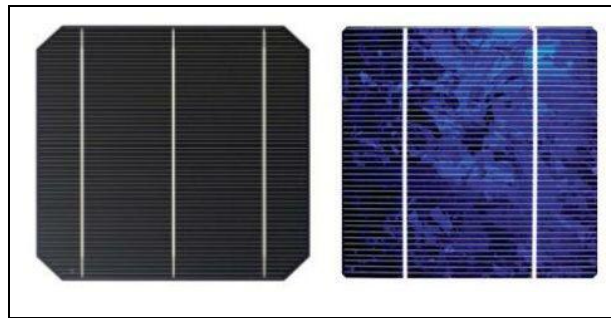
4 elektron bulunduran yarı iletken bir malzemedir. Bu maddeyi n tipi (verici) hale getirmek için 5A gurubundan (Arsenik, fosfor, bizmut veya antimon) örneğin fosfor ile katkılanır. Benzer şekilde p tipi (alıcı) yarı iletken oluşturmak için ise 3A gurubundan (Alüminyum, bor, galyum vb.) örneğin bor ile katkılanır. Böylelikle bir tarafta elektron diğer tarafta ise boşluk (hall) tabir edilen yapı oluşur. Durağın sistemde elektron valans bandını aşıp da boşluğa gidemez. Güneş ışınlarıyla enerjisi artan elektron hareket etmeye başlar ve böylelikle sistem çalışıp elektrik üretmeye başlar. Çalışma mantığı aynı ancak kullanılan malzemeleri farklı güneş pilleri de olmasına rağmen bu çalışmanın odak noktasında olan ve ticari olarak kullanılan güneş panellerini kristal silisyum, ince film ve diğer olmak üzere üç grupta inceleyebiliriz [28].

3.1.1. Kristal Silisyum

Kristal tabanlı güneş pilleri yaklaşık %94'lük pazar payı ile dünyada en çok tercih edilen güneş pilleridir. Bu değerin yaklaşık %70'i çoklu kristallerden oluşmakla birlikte %6'sı ince film tabanlı güneş pilleridir. Endüstriyel kullanımda %14-%24 oranında verim sağlamaktadır [29].

Silisyum temelli güneş pilleri, silisyumun doğada oksijenden sonra en çok bulunan elementlerden biri olması, veriminin yüksek ve ekonomik olması sebebiyle ticari olarak en çok tercih edilen güneş panelleridir. Silisyumun optik ve elektriksel özelliklerini uzun süre koruyabilmesi sayesinde üretimini yapan üreticiler tarafından 25 yıl %80'in üzerinde verimle çalışabileceği garanti edebilmektedir [28].

Kristal yapılu güneş panelleri ekonomik verimleri ve üretim yöntemleri değişmekle birlikte tekli (mono) kristal ve çoklu (poli) kristal olmak üzere iki grupta incelenebilir (Şekil 3.3) [30].



Şekil 3.3: Monokristal ve Polikristal güneş paneli.

3.1.1.1. Tekli (Mono) Kristal

Oksijenden sonra doğada en çok bulunan silisyum doğada kum ve kuvarz halinde bulunur. Kum daha düşük oranda silisyum içerdiğinden kuvarzların bazı işlemlerden geçirilmesi neticesinde silisyum elde edilir. “Czochralski” yöntemiyle eriyik saf silisyumun saatte birkaç cm çekilmesiyle kristalize edilen silisyum ince dilimler halinde kesilerek hazırlanır. Tüm silisyum atomları aynı yönde sıralı olarak dizilmesi neticesinde yapılan ilk kristal yapıda hücrelerdir [31].

Avantajları

- Oluşturulan panelin saflığına bağlı olarak verimleri %15-22 arasında değişir.
- Endüstriyel alanda kullanılan ve en az yer kaplayan paneldir.
- Düşük ışıktaki polikristale göre çok daha verimlidir.

Dezavantajları

- Polikristale göre fiyatları %10-%20 oranında yüksektir.
- Yüksek sıcaklıklarda verimleri polikristal panellere göre %10-%15 oranında verimleri düşmektedir.
- Üretim sürecinde daha fazla silisyum kullanılır.

3.1.1.2. Çoklu (poli) Kristal

Mono kristalde olduğu gibi benzer yöntemle ayrıştırılan silisyum hazırlanan uygun kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır. Sonrasında uygun boyutlarda kesilerek hazırlanır. Monokristale göre işlem çok daha kısa ve kolaydır [31].

Avantajları

- Üretim süreçlerinin kolay olması sebebiyle fiyat/verim anlamında daha çok tercih edilir.
- Panel sıcaklık artışı durumunda çalışma performans düşüm yüzdesi monokristale göre daha azdır.
- Üretim sürecinde daha az silisyum kullanılır.

Dezavantajları

- Düşük saflıkta silisyumlu olmasından dolayı verimleri mono kristale göre düşüktür. %13-%17 seviyelerindedir.
- Monokristale göre daha fazla alan kaplarlar. Böylelikle panel montajında kullanılan komponentlerin de artmasına neden olur.

3.1.2. İnce Film

Ticari olarak %7 oranda tercih edilen güneş pili teknolojisi ince filmidir. Kristal yapıda olmayan bu teknoloji ince bir destek malzemesi üzerine ince filmler çekilerek üretilir [19]. İnce film solar paneller diğer panel çeşitlerine göre esnek yapısıyla kullanım kolaylığı sağlar (Şekil 3.4) [32].



Şekil 3.4: İnce film güneş paneli.

Kullanılan malzemeye göre çeşitlilik gösterir. Bunlar;

- Amorf Silisyum (a-Si) ince-film
- Kadmiyum-tellurid (CdTe) ince-film
- Bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) ince-film

- Bakır-çinko-kalay-sülfoselenit (CZTSSe) ince-film

Avantajları

- Düşük maliyetlidir.
- Düşük dalga boylarında da üretim yapabilir.
- Verimleri %7-%14 civarındadır [33].
- Esnek ve taşınması kolaydır.
- Yüksek sıcaklıklardan etkilenme oranı diğerlerine göre çok daha azdır.

Dezavantajları

- Kristal yapıdaki panellere kıyasla yüzey alanları fazladır.
- Verimleri diğer panellerden düşüktür.
- Ömürleri diğer panellere göre daha kısadır.

3.1.2.1. Amorf Silisyum (a-Si)

a-Si olarak da bilinen amorf ince film güneş panellerinin laboratuvar şartlarındaki verimi %12,5 iken ticari olarak kullanılanlarında verim %6-9 dur. 2011 verilerine göre dünya güneş hücresi piyasasının %3 lük kısmına hakimdir [19].

3.1.2.2. Kadmiyum-tellurid (CdTe)

Dünya piyasasında kristal yapılu güneş pillerinden sonra en çok tercih edilen güneş paneli olan CdTe güneş panelleri laboratuvar şartlarında %19,6 iken ticari olarak verimleri %10-15 aralığındadır [19].

3.1.2.3. Bakır indiyum galyum diselenid (CIGS)

Laboratuvar şartlarında verimleri %20 iken ticari olarak kullanılan panellerde %12-14 aralığındadır. Diğer ince film teknolojilerine göre üretim maliyetleri daha yüksektir [19].

3.1.2.4. Bakır-çinko-kalay-sülfoselenit (CZTSSe)

Laboratuvar verimleri %10 olan bu sistemin maliyetleri CIGS sisteme oranla kullanılan ağır metaller (İndium ve galyum) gibi içeriğe ($Cu_2ZnSnSexS_{4-x}$ ya da basitçe CZTS) sahip olmadığı için maliyetleri daha düşüktür [19].

3.1.3. Diğer Sistemler

Ticari olarak kullanımı yaygınlaşmasa da gelecek vaat eden güneş paneli çeşitleri de mevcuttur. Fayda/maliyet oranları istenilen seviyelere ulaşmasa da önemli ölçüde gelişme kaydetmektedir. Örneğin multi-junksiyon (Tandem) çok katlı bu sistemde verim %43'lere ulaşmaktadır. Bunun yanı sıra organik temelli (OFV) güneş pilleri ve boya duyarlı güneş pillerinin geliştirilme çalışmaları devam etmektedir.

3.2. Verimi Etkileyen Faktörler

Güneş paneli seçiminde, panelin standart koşullarda üreteceği güç değerlerinin önemli olduğu kadar, güneş panelinin kullanılacağı bölge de önemlidir. Tesisin kurulacağı bölgede çevresel faktörlere dikkat edilmeden tercih edilecek panelin standart koşullarda üreteceği güç miktarına ulaşılması beklenemez.

Yapılacak olan projelerde önce saha ve iklim, çevresel, altyapı vb. koşulları incelenmeli ve sonrasında aşağıda yer alan etmenlere göre proje oluşturulmalıdır. Oluşan proje sonrasında panel cinsi, ölçüsü, adedi vb. tercihler yapılmalıdır. Aksi takdirde yapılacak yatırımlardan istenen düzeyde enerji üretemeyecektir.

3.2.1. Panel Seçimi

Güneş pili üretiminde kullanılan hammaddeler sistemin maliyetini, fiziksel verimini ve ekonomik verimini etkilemektedir. Uygulamalarda uygun panel seçimi son derece önemli olup kullanılan panel türüne göre farklı sonuçlar alınabilmektedir.

Örneğin Kocaeli Üniversitesi Umuttepe kampüsünde Başoğlu ve ark. Tarafından yapılan bir çalışmada 3 farklı tipte panel (monokristal, polikristal, incefilm) incelenmiştir. Alan verimine göre polikristal panel en iyi sonucu verirken alansal bir kısıtlama olmadığına ise ince film teknolojisinin daha iyi bir seçenek olduğu sonucuna varılmıştır [34].

Arslan ve ark. tarafından Tekirdağ ilinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada aynı özelliklerde 150w iki tip panel (monokristal, polikristal) yaz aylarında sıcaklığın 30°C -36°C arasında değiştiği sıcaklıklarda incelemiş olup, teorik verim değeri %15-18 olan monokristalin %15 verimde kaldığı ve %14-16 teorik verimi olan polikristalin ise %14,9 verim ürettiğini gözlemlemiştir. Ülke şartları ve Tekirdağ ilinin Türkiye geneline göre düşük yıllık radyasyon değerleri de düşünüldüğünde polikristal panellerin Türkiye şartlarında daha iyi bir çözüm olacağını söylemiştir [35].

Karabük ilimizde mayıs ve haziran aylarında yapılan çalışmada, üç farklı tipte (monokristal, polikristal, incefilm) panel üzerinde çalışılmış olup, monokristalin teorik verimi %15-%18 iken %12-%16 olarak ölçülmüştür. Polikristalin teorik verimi %14-%16 iken %21 olarak ölçülmüştür. İnce filmde teorik verim %7-%14 arasında olması beklenirken %5 in üzerine çıkamadı görülmüştür. Çalışma sonu cunda polikristal panelin Türkiye şartlarında daha verimli olacağı düşünüldüğü ifade edilmiştir [36].

Erzincan ilimizde ocak ve temmuz aylarında yapılan çalışmada, 2 farklı tipte panel (monokristal, polikristal) kullanılmış olup, yapılan çalışma sonrasında monokristal panelin polikristal panele göre az da olsa daha verimli olduğu görülmüştür [37].

3.2.2. Günlük/Yıllık Güneşlenme Süresi

Güneş pilleri fotonların güneş piline geliş süresi ve yoğunluğuna bağlı olduğundan, kullanılacak bölgedeki güneşlenme süreleri ve yoğunluğunun fazla olması sistemi olumlu yönde etkilemektedir.

3.2.3. Güneş Açısı ve Güneş Takip Sistemi

Sistemin üzerine düşen fotonlar havanın kırıcılık indisi, güneş pili ve üzerindeki koruyucu malzemelerin geçirgenlik indisleri sebebiyle dik düşmesi durumunda fotonların panel tarafından soğurulur ve yansıma minimum olur. Bu açı normale ne kadar yaklaşırsa güneş pillerinin verimi o kadar artar.

Dolayısıyla bu diklik günün her saatinde sağlanabilirse gün ışığından o kadar fazla verim elde edilir. Bunu yapan cihazlara “Güneş Takip Sistemi” denir. Bu cihazlar genellikle güneşin anlık yerini sistemin koordinatlarına göre saniyesi saniyesine güneşin yerini ve açısını tespit ederek gerekli mekanik sistemler ile anlık güneşi doğuşundan batışına kadar takip eder.

Şu anda kullanılan çift eksenli güneş takip sistemleri, sistemin verimini yaz aylarında %11 kış aylarında %70 ve yıllık ortalama %31,67 arttırmaktadır. Ticari olarak birden fazla panelin aynı anda bağlanması ile verim arttırabilmektedir [38].

Bu sistemlerde daha çok tek eksenli güneş takip sistemleri kullanılmaktadır. Uydu ile haberleşmektense yıllık güneş hareketlerine göre hareket ederek %30-35 gibi bir fiziksel verim artışı sağlar ve daha ekonomiktirler [39].

Hem tek eksenli hem de çift eksenli güneş takip sisteminin bataryalı olması sistemin amortisman süresini arttırmakta ve fizibilitesini düşürmektedir.

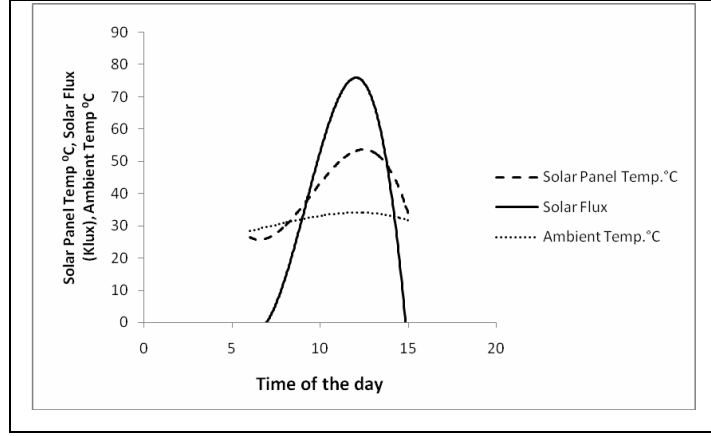
3.2.4. Yüzey Alanı

Genellikle ticari kullanılan güneş panellerinde yüzey alanı ortalama 100 watt'a 1 m²'dir. Bu 1 m²'lik ölçünün artması aynı alanda daha az güç demektir. Bu da kısıtlı olan bölgelerde verimsizlik demektir. Yüksek performanslı panellerde verimlilik %17-18, alan gereksinimi 1 kW'lık sistem için 6-7 m² iken, monokristal silisyum panellerde %12-15 ve 7-9 m², polikristal silisyum panellerde %11-14 ve 7-10 m², ince film bakır indiyum selenoid panellerde %9-11 ve 9-11 m², ince film amorf silisyum panellerde %5-7 ve 14-20 m² ince film kadmiyum panellerde %6-8 ve 12-17 m² şeklindedir [35].

Projenin uygulanacağı alandan maksimum verim istenen bölgelerde (çatı uygulamaları, araç üstü uygulamalar, ticari olarak proje alanının kısıtlı olduğu alanlar vb.) panellerin kapladığı yüzey alanıyla birlikte panelin verimliliği de önem arz etmektedir.

3.2.5. Sıcaklık, Panel Sıcaklığı

Ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte panel üzerine düşen radyasyonda panelin ekstra ısınmasına sebep olacağından dolayı panel sıcaklığı ortama göre oldukça artar. Bu da panelde kullanılan malzemenin cinsine bağlı olarak panelin veriminin düşmesine neden olur. Özellikle panel arkasında herhangi bir boşluk bırakılmadan zemine montaj (örneğin çatı uygulamaları) edilen panellerde yeterli havalandırma sağlanamayacağından panel sıcaklık artışı aynı ortamda bulunan arkası hava alan panele göre fazla olur.



Şekil 3.5: Panel sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve güneş akısı arasındaki ilişki.

Şekil 3.5’den anlaşılacağı üzere güneşin doğmasıyla ortam sıcaklığı ve panel sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı açılmaya başlar. Bu fark güneşin tepe yaptığı öğlen sıcaklığında güneş akısına bağlı olarak yaklaşık 20°C ’a kadar ulaşır [40].

Güneş panelleri malzeme yapısına göre farklı verimliliklere sahiptirler. Aynı şekilde sıcaklık artışına karşı aşağıdaki tablo 3.1’de görüleceği gibi tepkileri, verim kayıpları farklı olur [41].

Tablo 3.1: PV modüllere göre sıcaklık rezistansları.

PV Modul Çeşidi	Ortalama sıcaklık toleransı α_P [%/°C]
Polikristal silikon	-0,48
Monokristal silikon	-0,46
Monokristal/amorf silikon hibrid	-0,30
İnce film amorf silikon	-0,20
İnce film CIS	-0,60

Tablo 3.2: Farklı sıcaklıklarda güneş panel verimlerinin kıyaslanması.

Sıcaklık (Ortam C°)	Monokristal Verim (%)	Polikristal Verim (%)	Amorf Verim (%)

25	15	14	10,36
30	13	12	9,6
35	12,8	11	9
37	11	10,2	8,3
40	9,9	9,2	7,9
45	7,65	7,5	7,46

Tablo 3.2’de görüldüğü gibi rezistansı yüksek olan PV modül çeşitlerinde sıcaklıkla bağıntılı olarak verimlerinde azalma gözlemlenir [42].

Örneğin panel sıcaklığı 25°C ve verimi %20 olan 250W gücünde bir monokristal güneş panelinin sıcaklığı 65°C’ye çıkması durumunda 40°C’lik bir sıcaklık artışı olur. Tablo 3.1’den, 1°C artışa karşılık verimde %0,46’lık bir düşüş olacağı dikkate alındığında sıcaklıkta 40°C’lik bir artışın verimde %18,4’lük bir kayba neden olacağı görülür. Yani 250W panelde bir nevi $250 \times \%18,4 = 46$ watt kayıp oluşur. Panelin 65°C’de ki gücü 204 watt’a düşer.

Pakistan iklim verileri kullanılarak yapılan bir Matlab simulasyon çalışmasında, monokristal panelin 25°C’de ki verimi %20 iken sıcaklığın 35°C çıkması durumunda verimin %18’e gerilediği, sıcaklığın 55°C’ye çıkması durumunda ise verimin %16,5’e gerilediği görülmüştür. Öte yandan aynı şartlarda polikristal panelin 25°C’de ki verimi %16,5 iken 55°C’de %12’ye gerilediği görülmüştür. Son olarak ince film paneli test edilmiş olup, 25°C’de ki verimi %12,5 iken 55°C’de ki verimi %12’ye gerilemiştir [43].

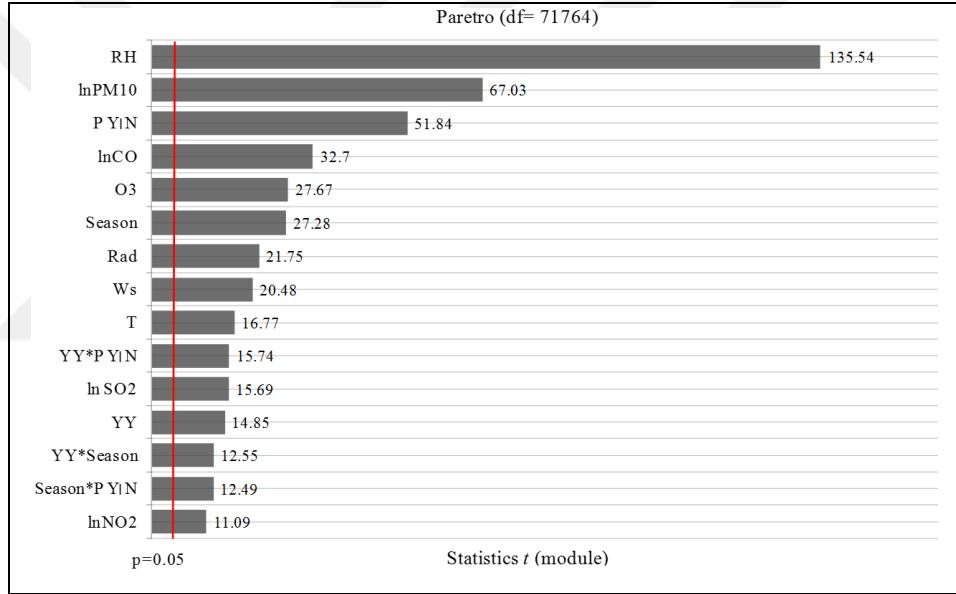
3.2.6. Rüzgar

Orta şiddette bir rüzgar hem ortamın sıcaklığını hem de panel sıcaklığını düşüreceği için panellerde olumlu etki eder. Ancak şiddetini arttıran rüzgar ise toz vb. durumlara neden olduğu gibi, panelin mekanik aksamına zarar vererek sistemi olumsuz etkiler. Bu yüzden konstrüksiyonlar en olumsuz hava koşullarına dayanacak özellikte ve korozyona dayanıklı malzemelerden imal edilmelidir.

3.2.7. Işık Geçirgenliği

Panellerde kullanılan camın ışık geçirgenliği fazla olmalı, demir oksit gibi yabancı maddelerden olabildiğince arındırılmalıdır. Yüzey yansımaları oluşmaması için uygun malzemeyle kaplanmalıdır. Oluşabilecek fiziki dış etmenlere (dolu vb.) karşı gerekli kalınlıkta olmalıdır.

Havanın ışık geçirgenliği, atmosferik basınca, havada bulunan gazların (SO₂, CO, NO₂, gibi gazların artması geçirgenliği azaltırken O₃'ün etkilemediği görülmüştür), bağıl nem miktarına, havada bulunan toz vb. yabancı maddelerin (PM10) yoğunluğuna, rüzgar hızına, sıcaklığa vb. etkenlerin yoğunluğuna bağlı olarak değişkenlik gösterir (Şekil 3.6) [44].



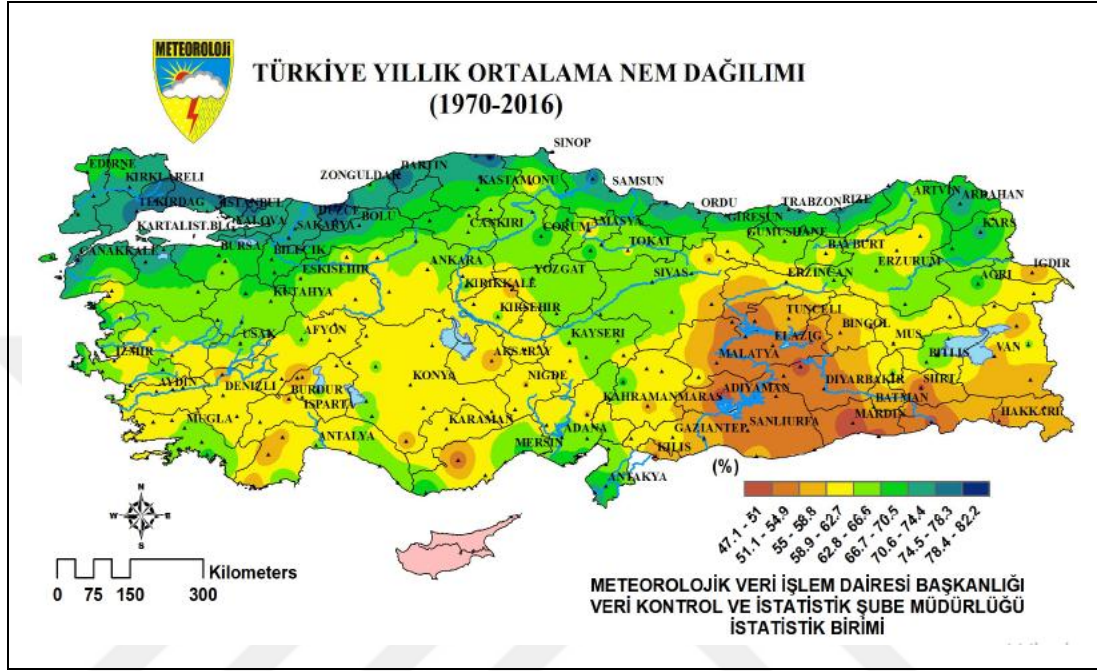
Şekil 3.6: Işık geçirgenliğini olumsuz etkileyen etkenler (RH=Bağıl nem, INPM10=boyutları 10 mikrondan küçük parçacıklar ve diğer gazlar).

3.2.7.1. Bağıl nem oranı

Mutlak nem, 1 m³ veya 1 kg havanın içinde barındırdığı su buharı miktarının gram cinsinden ifadesidir. Ancak belirli bir sıcaklıktaki havanın içinde bulundurduğu su buharı ile maksimum taşıyabileceği su buharı arasında oluşan orana bağıl nem denir [45].

Bağıl nem miktarının belirli seviyeleri aşması durumunda hava git gide su gibi davranmaya başlar. Güneşten gelen fotonların bir kısmını soğurarak havanın ısınmasına neden olurken, ışığın geçirgenliğinin azalmasına neden olur.

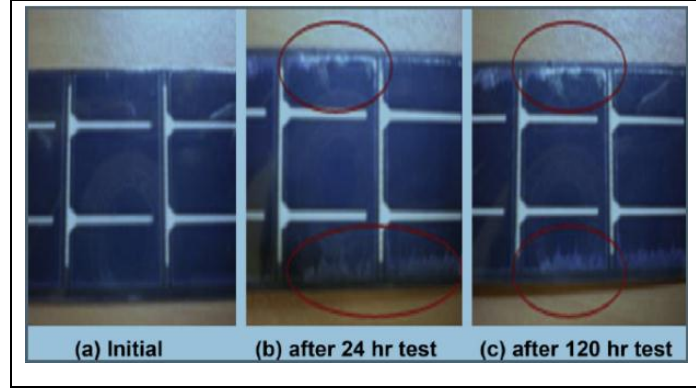
Yapılan testler neticesinde havanın ışık geçirgenliğini en olumsuz anlamda etkileyen faktörlerin başında gelen havadaki bağıl nem miktarının %70'lerin üzerine çıkması durumunda ışık geçirgenliği git gide azaldığından panellerin verimini de olumsuz etkilemektedir [46].



Şekil 3.7: Türkiye yıllık ortalama bağıl nem haritası.

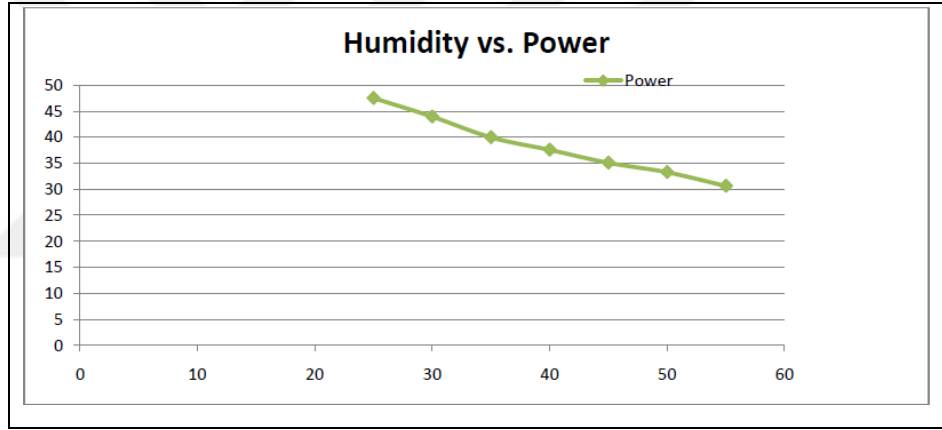
Türkiye genelinde nem miktarı kışları artarken yazları azalmaktadır. Şekil 3.7 deki haritada nemin %70'i geçtiği yerler koyu yeşil, açık mavi ve mavi olarak boyanmıştır. Boyanan bu bölgeler Marmara bölgesi ve Karadeniz bölgelerinin sahil kısımlarını ifade etmektedir [47].

Yapılan testlerde uzun süre yüksek nem altında kalan paneller üzerinde neme bağlı olarak kirlenmeler gerçekleşir. Bu olumsuz durumların oluşması neticesinde havadaki bağıl nem miktarına bağlı olarak güneş panellerinin verimleri ciddi oranda düşer (Şekil 3.8) [48].



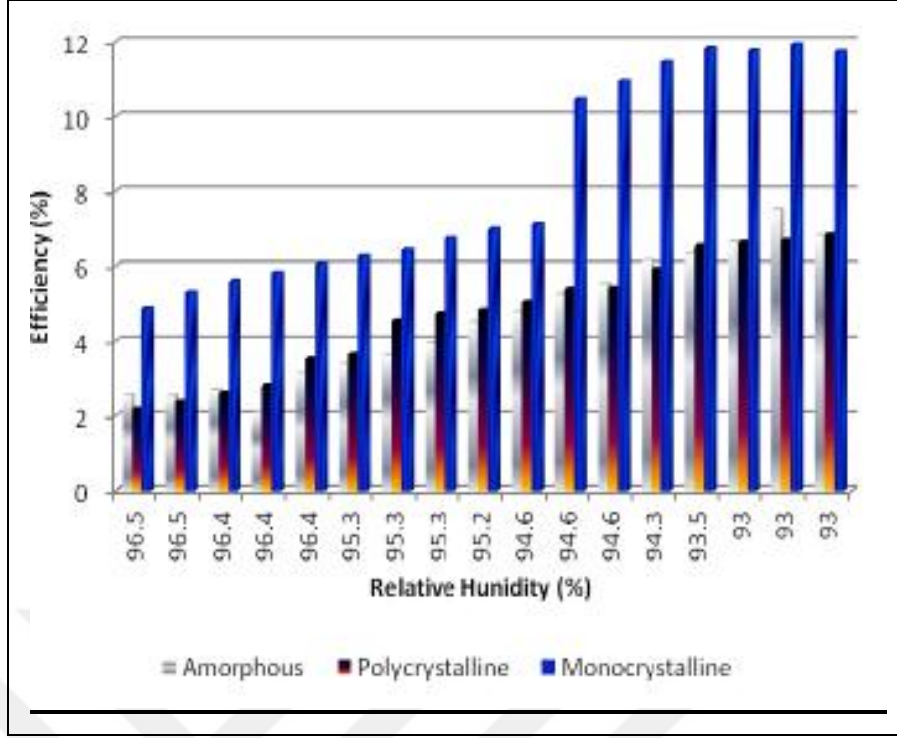
Şekil 3.8: Nemin yıkıcı etkileri.

Çalışma a: Pakistan’da nemin panelin verimi üzerine yapılan bir çalışmada, bağıl nemin yaklaşık %25 den başlayarak panelin verimine etkisini Şekil 3.9’da göstermişlerdir [49].



Şekil 3.9: Bağıl nemin panel verimine etkisi (x eksenini Bağıl Nem, y eksenini güç).

Çalışma b: Umman’da nemle ilgili yapılan benzer çalışmada, monokristal, polikristal ve amorf panellerin bağıl nemden etkilenme oranları Şekil 3.10’da incelenmiştir [50].



Şekil 3.10: Bağıl nemin monokristal, polikristal ve amorf paneller üzerine etkisi.

Yukarıdaki şekilde de görüleceği üzere bağıl nemin monokristal ve polikristal üzerine olan etkileri benzerken amorf panellerin verimi üzerine etkisi daha azdır [50].

3.2.7.2. Hava kirliliği

Havanın ışık geçirgenliğini etkileyen bir diğer önemli etken PM10 diye tabir edilen boyutları 10 mikrondan küçük havada bulunan parçacıklardır. Atmosferik basınca bağlı olarak artış gözlenir. Havada $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken hava açık ve görünürlüğü iyi iken bu değerlerin üzerine çıkması durumunda görünürlük git gide azalmaktadır. Ayrıca şehir merkezlerinde bu değer araçların egzoz gazları, hareketlilik yüzünden zeminden kalkan partiküller gibi sebeplerden dolayı artmaktadır. Dolayısıyla şehir merkezlerine veya yakın bölgelere bilhassa atmosferik basıncın daha yüksek olduğu deniz seviyesine kurulacak sistemlerin verimleri bu durumdan olumsuz etkileneceği düşünülmektedir [44].

Bu gibi etkilerin güneş paneli üzerinde birikmesi verimi olumsuz etkileyeceğinden güneş panellerinin düzenli aralıklarla temizlenmesi gerekmektedir.

3.2.8. Altyapı, Kablolama ve Elektriksel Kayıplar,

Panellerde üretilen elektriği, depolama birimlerine veya tüketilecek yüklere aktarırken arada kullanılan malzemelerin kalitesi, kabloların mesafesi, kablo çapları, kabloların bakır oranları, kabloların toprak altından çekilirken uzun ömürlü ve darbeye dayanıklı kablolardan seçilmesi sistemin uzun ömürlü olmasına katkı sağlayacaktır.

3.2.9. Şebekeye Uzaklık

Üretilen elektriğin şebekeye uzaklığına göre sistem üzerinde taşınacak gücün voltajını yükseltmek gerekmektedir. Buda panel dizaynı, kullanılacak invertör ve diğer bilimum malzemeleri etkilemektedir. Ayrıca kurulacak sistemin bakımının rahat yapılabilmesi için panel blokları arasında belirli aralıklar bırakılması gerekmektedir. Trafo merkezlerine yakın yerler tercih edilmeli, böylelikle kablolamada oluşabilecek enerji kayıpları minimize edilmelidir.

3.2.10. Bulutlu Hava

Sistemin kurulacağı bölgede havanın sürekli bulutlu olması gelen güneş ışınlarına engel olacak ve sistemin verimini düşürecektir. Genellikle ülkemizde Doğu Karadeniz bölgesine ait olan iklim koşullarının bu şekilde olması sebebiyle bu bölgelerde GES birincil enerji kaynağı olarak tercih edilmemelidir.

3.2.11. Gölgeleme

Kurulacak sistemin herhangi bir tepe, bina, ağaç vb. cisimler ardına kurulması tüm yıl boyunca güneşin doğuş ve batış güzergahlarını gölgelemeyecek biçimde olmalı ve güneşi doğrudan almalıdır. Ayrıca güneş panellerinin de birbirini gölgelemeyecek biçimde dizayn edilmesi gerekmektedir.

3.2.12. Yükseklik

Panellerin kurulacağı alan, deniz seviyesinden yukarı çıkıldıkça havanın ışık geçirgenliği artacağından ve hava sıcaklığı düşeceği için dolay verimliliği artacaktır. Bilhassa yayla-dağ evi diye tabir edilen bölgelere uzaklığına bağlı olarak şebeke hattı götürmektense elverişlilik durumuna göre güneş paneli iyi bir seçenek olacaktır.

3.2.13. Zemin Seçimi

Güneş panellerinin oturtulacağı yer, depreme karşı dayanıklı, sel taşkın riski bulunmayan, çığ heyelan tehlikesi oluşmayacak alanlardan seçilmelidir. Yamaca kurulması düşünülüyorsa gerekli zemin etütleri yapılmalı zeminin durumuna göre gerekirse kazıklar çakılarak panel konstrüksiyonları zemine sabitlenmelidir.

Panellerin birbirini gölgeleme durumunun önüne geçebilmek için panellerin arasında bırakılan mesafe zeminin düz olması durumunda minimuma düşmekte, birim/m²'de güneşten alınacak verimi arttırmaktadır.

3.2.14. Diğer Tehlikeler

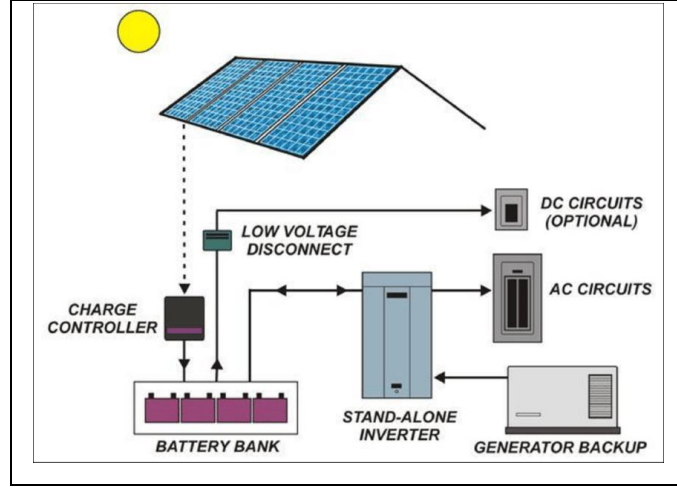
Sistemlere zarar verebilecek diğer önemli etmenler ise yıldırım ve yüksek gerilim tehlikesidir. Sistemler düz veya yüksek alanlarda elektronik cihazlar olması sebebiyle yıldırımları çekebilmektedir. Yapılan yatırımların uzun yıllar boyunca sağlıklı çalışabilmesi için gerekli topraklama ve paratoner hatları uygun şekilde çekilmelidir.

3.3. Güneş Enerjisi Sistemleri Uygulamaları

Güneş panellerinin üzerinde yer alan verim değerleri, standart test koşullarında (PANELE DİKEY 1000WATT/M², 25°C HÜCRE SICAKLIĞINDA, 1,5 HAVA KÜTLESİ VE RÜZGARSIZ BİR HAVA) yapılır. Bahsi geçen verim değerleri çevresel etkiler nedeniyle uygulamada tam olarak sağlanamaz. Yapılacak yatırımlarda kullanılacak olan malzemeler amaca göre farklılık gösterebilir. Bunu iki başlık (şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı) altında inceleyebiliriz.

3.3.1. Şebekeden Bağımsız (Off Grid) Sistemler

Bu sistemler genellikle kapalı çevrimlerde kullanılır. Şebeke elektriği olsun ya da olmasın şebekeye elektrik verilmez. Bu sistemleri iki grupta inceleyebiliriz. Üretilen elektrik ya doğrudan kaynak tarafından tüketilir (aküsüz) ya da enerji depolanarak (akülü) ihtiyaç oldukça tüketilir. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi sistem aküler üzerinde depoladığı elektriği ihtiyaca (AC/DC) göre kullanmaktadır [51].



Şekil 3.11: Off grid güneş paneli sistemi.

3.3.1.1. Akülü Sistem

Yukarıdaki Şekil 3.11’de yer alan şekilde sistem dizayn edilir. Panellerde üretilen elektrik şarj kontrol sisteminden geçerek aküde depolanır. Depolanan enerji ister DC olarak ister (invertör ile birlikte) AC olarak tüketilir. Burada kurulacak sistemde, tesisin maksimum ihtiyacına göre ve radyasyon miktarının minimum olduğu zamana göre hesaplama yapılır. Böylelikle sistem en olumsuz hava şartlarında bile ihtiyacı karşılar.

3.3.1.2. Aküsüz sistem

Sistemin genel yapısı Şekil 3.11 ile aynıdır ancak burada şarj kontrol ünitesi ihtiyaca göre çeşitlendirilir. Amaç panellerde üretilen düzensiz elektriği kaynak için düzenli hale getirip, kaynağın çalışmasını sağlamaktır. Kaynağın çalıştığı gerilim şekline göre invertöre de gerek kalmayabilir.

Örneğin elektriğin olmadığı bir bölgede yalnızca güneşin olduğu saatlerde sulama yapılabilir. Çünkü panellerden alınan elektrik enerjisi iyi bir şekilde regüle edildiği takdirde motora gerekli düzgün elektriği sağlayacaktır.

3.3.2. Şebekeye bağımlı (On Grid) Sistemler

Bu sistemlerde GES şebekeye bağlıdır. Sistemin şebekeye bağlı olmasının en büyük avantajı enerjinin depolanmaya ihtiyacı olmamasıdır. Böylelikle GES en büyük maliyet bileşenlerinden birine gerek kalmamaktadır.

3.4. Ülkemizde Güneş Enerjisi Sistemleri

Ülkemizde güneş enerjisi sistemleri 2 başlık altında uygulanmaktadır. Bunlar sırasıyla Lisanslı GES ve Lisanssız GES (<1 MW) şeklindedir. Ülkemizde güneş enerjisi sistemleri, daha çok ticari olarak enerji santrallerinde kullanılmaktadır. Bazı ülkelerde ise ticari sistemlerin yanı sıra bireysel kullanımda yaygınlaşmıştır. Ülkemizde bireysel sistemlerin yaygınlaşmasının önündeki en büyük engel üretilen elektriğin şebekeye verilemiyor oluşudur. Bu durumda beraberinde akü maliyetlerini getirmektedir. Akü maliyetlerinin de dahil olması neticesinde sistemler ekonomikliğini yitirmektedir.

3.4.1. Lisanslı Güneş Enerjisi Santrali

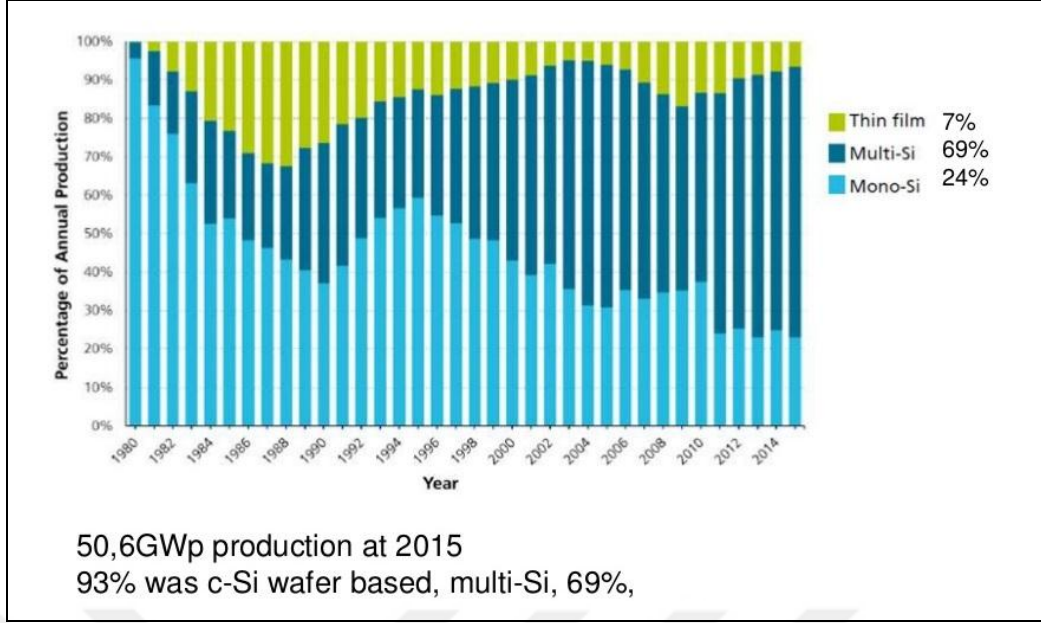
Birinci sistemde genellikle ticari olarak elektrik üreten santrallerde sıkça karşımıza çıkmaktadır. Güneş enerjisi fotovoltaik santraller vasıtası ile elektriğe dönüştürülür. Daha sonra bu elektrik AC'ye çevrilir ve ihtiyaca göre yüksek voltaja dönüştürülerek şebekeye satılır.

3.4.2. Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali (≤ 1 MW)

İkinci sistemde birinci sistemde olduğu gibi güneşten gelen ışınlar elektriğe çevrilir fakat bu elektrik, bir tesisin (Hastane, okul, yüksek enerji tüketimi olan yerler) hem ihtiyacında kullanılır hem de fazlası sisteme satılabilir.

3.5. İdeal Güneş Paneli

Dünya genelinde yapılan araştırmalar neticesinde Şekil 3.12'de görüldüğü üzere 1980 yılından günümüze kadar satışı yapılan güneş panelleri incelendiğinde, monokristal güneş panelleri 1980'li yıllarda tercih edilirken günümüzde ise polikristal yapıdaki güneş panellerinin dünya genelinde daha çok tercih edildiği görülmektedir [29].



Şekil 3.12: 1980-2015 Yıllara göre üretilen güneş paneli çeşitleri.

Yapılan çalışmalar ve Türkiye'nin iklim koşulları da dikkate alındığında monokristal paneller sıcaklığın ve nemin çok artmadığı daha ılıman olan bölgelerde alan sıkıntısı olan (örneğin çatı uygulamaları) yerlerde tercih edilebilir. İnce film teknolojileri ise alan verimi oldukça düşük olduğundan, alan sıkıntısı olmayan portatif ya da esnek olması gereken alanlarda veya sıcaklığın çok fazla arttığı bölgelerde tercih edilebilir. Dünya genelinde en çok tercih edilen polikristal paneller ülkemizin hemen hemen her yerinde ekonomik, alan verimli, uzun ömürlü, iklim koşullarına uygun olması vb. sebeplerle günümüz teknolojisinde ülkemiz için en ideal panel olarak gözükmektedir. Dolayısıyla yapılacak olan analiz, fizibilite ve kıyaslama çalışmalarında bu panel tercih edilecektir.

3.6. Pilot İller ve Fizibilite Analizleri

3.6.1. Mevcut Santraller

Ülkemizde, gün geçtikçe kurulan yeni güneş enerjisi santralleriyle birlikte kurulan santrallerin kapasite ve büyüklükleri artmaktadır. Bu santrallerin çoğu hava neminin daha az, iklimin daha karasal ve yıllık radyasyon miktarının daha fazla olduğu İç Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer almaktadır.

Tablo 3.3: Ülkemizde mevcut veriler kapsamında, kurulu bulunan güneş enerji santrallerinden kurulu gücüne göre ilk on santral.

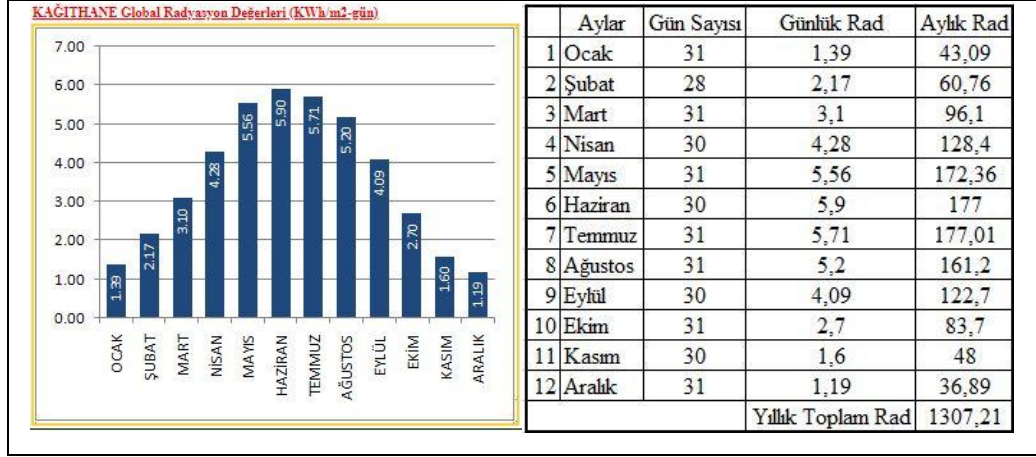
	İl	Santral Adı	Kurulu Güç	Tahmini Üretilen Güç	Verim (MW başı yıllık üretim)
1	Kayseri	Kayseri OSB	50,6 MW	82 GWh	1,62 GWh
2	Balıkesir	Özkoyuncu Madencilik	40 MW	55 GWh	1,37 MWh
3	Konya	Karatay Kızören	18,5 MW	28,7 GWh	1,55 GWh
4	Nevşehir	Derinkuyu	18,7 MW	29 GWh	1,55 GWh
5	Konya	Makascı Müh	10,35 MW	17,3 GWh	1,67 GWh
6	Denizli	Renoe Acıpayam	10 MW	15 GWh	1,5 GWh
7	Şanlıurfa	Astor Enerji	8,93 MW	14 GWh	1,57 GWh
8	Aydın	Tekno Enerji	8,92 MW	14 GWh	1,57 GWh
9	Kayseri	Kayseri Çiftlik	10 MW	16,5 GWh	1,65 GWh
10	Kayseri	Entar Enerji	8,00 MW	13 GWh	1,62 GWh
Genel Toplam			184 MW	284,5 GWh	

Tablo 3.3’de yer alan santrallerin ortalaması alındığında, 1 MW başına ortalama 1,55 GWh elektrik üretildiği anlaşılmaktadır. Öte yandan verimin en düşük olduğu yer 1,37 GWh ile Balıkesir iken 1,65 GWh ile verimin en yüksek olduğu il Kayseri olarak gözlenmektedir. Bu değerler aynı il sınırlarında bile fark ederken, kullanılan malzemelerin de verimine bağlı olarak değişmektedir [11].

3.6.2. YEGM Verileri Kapsamında Bazı İllerin Analizleri

Bu bölümde, ülkemizin güneş enerjisi verimine göre bazı illeri seçilecek ve elde edilen sonuçlar neticesindeki farklılıklar incelenecektir. Çalışma kapsamında güneş enerjisi açısından en verimli, enerjinin en çok tüketildiği ve verimsiz bölgeler incelenecektir.

YEGM sitesinde veriler şekil 3.13’deki gibi aylara göre günlük ortalama şeklinde verilmiştir. Bunları yıllığa çevirirken alt sağda yer alan tabloda olduğu gibi ayda bulunan gün sayısı ile çarpılarak toplanmıştır [12].



Şekil 3.13: YEGM günlük ortalama radyasyon verilerinin yıllığa çevrilmesi.

YEGM verilerinden yıllık üretim hesaplanırken Isparta ilimizde yer alan 1 MW'lık verimi yaklaşık %15 olan polikristal panellerin kullanıldığı bir santral üzerinden hesaplanarak yapılmıştır. Sonuçtan yola çıkarak, 1,55 GWh üretimi olan 1600 kWh/m² yıllık radyasyona oranlanmasıyla 97×10^{-5} sabitine ulaşılmıştır. Bu sabit ile, ilçeler, iller ve bölgeler arası yıllık radyasyona bağlı kıyaslama yapılacağından dolayı pratik bir yöntem olarak kullanılacaktır.

Tablo 3.4: Bazı illerimizin YEGM yıllık radyasyon verileri.

	İL	İlçe	Yıllık Radyasyon (kWh/m ² yıl)	Yıllık Üretim (GWh)
1	Konya	Hadim	1688	1,64
2	Antalya	Elmalı	1685	1,63
3	Karaman	Başyayla	1684	1,63
4	Van	Gürpınar	1658	1,61
5	Kayseri	Sarız	1622	1,57
6	Antalya	Serik	1620	1,57
7	Konya	Çeltik	1528	1,48
8	Ankara	Haymana	1514	1,47
9	Rize	Merkez	1348	1,31
10	İstanbul	Kağıthane	1307	1,27

Yukarıdaki tablo 3.4 analiz edilirken yalnızca YEGM den radyasyon verileri dikkate alınmıştır. Detaylı incelendiğimizde, Konya ilinin güney ilçelerinin yüzey

alanlarının düz geniş ovalar şeklinde olması, karasal iklime sahip olması vb. nedenlerle en ideal yatırım alanları içerisinde değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte Hadim ilçesinde MW başı yılda 1,64 GWh elektrik elde edilirken yine aynı ilen kuzeyinde yer alan Çeltik ilçesinde ise 1,48 GWh elektrik elde edilebilmektedir. Aynı ilde iki ilçe arasında yaklaşık %11 verim farkı söz konusudur [12].

Diğer yandan Antalya ilinin Elmalı ilçesinin dağlık kesimlerinin yine aynı il sınırlarında yer alan denize kıyısı Serik ilçesi ile kıyaslandığında, hem nem hem de yükseklik gibi iki önemli verimi etkileyen faktörün devreye girdiği ve arada %4 lük farka neden olduğu görülmektedir.

Elektriğin daha çok tüketildiği Marmara bölgesinde yapılan analizde İstanbul ilinin Kağıthane bölgesi seçilmiştir. İstanbul ili coğrafi konumu, nem miktarı, hava kirliliği vb. olumsuz etkiler sebebiyle yapılan çalışmada Rize ilinden bile geride çıkmıştır. Ankara ilinin güney ilçelerinden Haymana ise yapılan çalışmada ülke geneline bakıldığında vasat düzeydedir.

Tablo 3.4'ten de görüleceği üzere 1620 kWh/m²yıl radyasyon değeri ve üzerinde olan bölgeler ülkemizin güneş enerjisi bakımından verimli olan bölgeleridir. Öncelikli olarak bu bölgelere yatırımların yapılmasının daha fizibil olacağı açıktır. Bir başka deyişle bu bölgelerdeki alanlar değerlendirilmeden İstanbul gibi bir bölgeye güneş enerjisi yatırımı yapmanın uygun olmayacağı düşünülmektedir.

3.6.3. Retscreen Programı Kullanılarak Bazı İllerin Analizleri

Retscreen programında fizibilite analizleri yapılırken aşağıdaki veriler ülke geneli için sabit alınacak ve bölgelere göre farklılıklar araştırılacaktır. Programın çalıştırılması için belli verileri girilmesi gerekmektedir. Bu veriler girilirken program tarafından bazı veriler için belli aralıklar verilmekte ve bu aralıklara göre verilerin girilmesi istenmektedir. Türkiye şartları da göz önüne alınarak yapılan araştırmalar incelenerek Tablo 3.5'te belirlenen veriler istatistiksel analizlerde program girdisi olarak kullanılmıştır [52].

Tablo 3.5: Retscreen programı kullanılırken girilmesi gereken değerler.

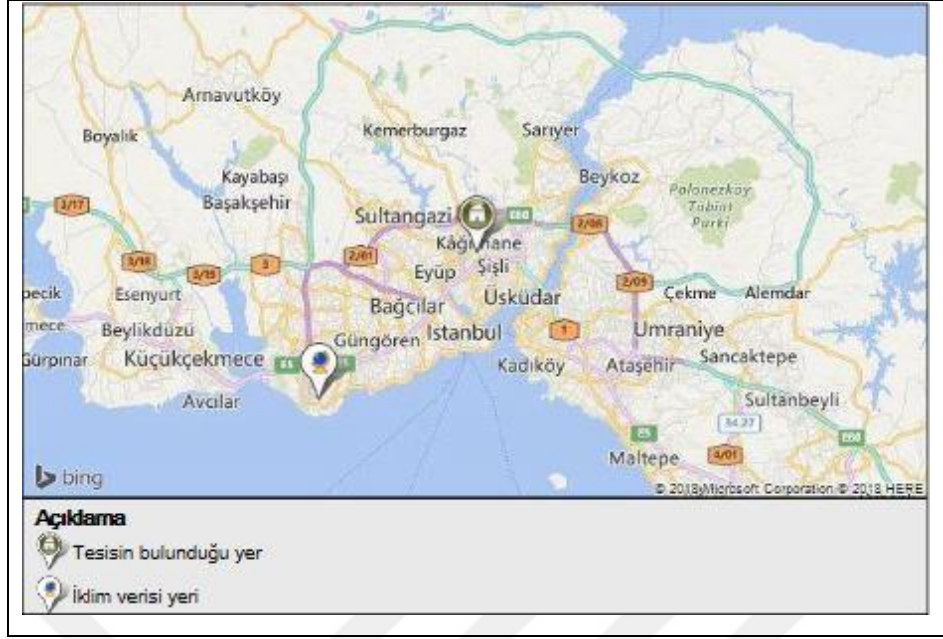
Konum	Seçilecek konum
Fotovoltaik Santral Gücü	1 MW
Panel cinsi	Yingli Solar Polikristal 250W %15,4 verim
İlk maliyetler (Panel, konstrüksiyon, makine, ekipman, arazi düzenleme K.D.V. vb.)	1 MW için 1350000 dolar
İşletme bakım maliyetleri	Yıllık 30000 dolar
Elektrik satış fiyatı cent/watt	0,133
Proje başvuru harç ve diğer giderler	50000 dolar
Arazi maliyeti	Konuma göre değişmektedir.
Enflasyon oranları (Dolar kuruna göre)	%2 alınmıştır.
Proje Ömrü	25 Yıl
Borç oranı	%25
Borç Faizi	%7
Borç Vadesi	10 Yıl
Hurda maliyeti (10 yıl sonraki maliyeti)	350000 dolar

Program kullanılırken illere veya bölgelere göre yalnızca konum ve arazi maliyeti değiştirilerek analizler gerçekleştirildi. Böylelikle seçilen bölgeler arası farklılıkların daha rahat analiz edilmesi mümkün olmuştur. Burada seçilen bazı veriler (borç oranı, enflasyon oranı, santral gücü, borç faizi vb.) RES analizlerinde de aynı alındı ve böylelikle daha doğru bir kıyaslama olanağı ortaya çıkmış oldu.

3.6.3.1. Örnek Retscreen Analizi (İstanbul Kağıthane)

Yapılan analizde, Kağıthane ilçesinde arazi maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle, İstanbul ili için en uygun arazi bedeli olarak 200000 dolar alınmıştır.

Programda Kağıthane ilçesi seçildiğinde burada ölçüm noktası olmamasına rağmen en yakın konumdan bilgileri alıp bölgesel tahminlere göre tespit etmektedir. Yapılan konum seçimi sonrası iklim verileri aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.14: Retscreen programı ile konum belirleme.

Seçilen konum neticesinde NASA'dan alınan verilerle bölgenin iklim verileri otomatik olarak önümüze gelmektedir.

Ay	Hava sıcaklığı	Bağıl nem	Yağış	Günlük güneş radyasyonu - yatay		Rüzgar hızı	Yer sıcaklığı	Isıtma derece-gün	Soğutma derece-gün
	°C	%	mm	kWh/M ² /g	Atmosferik basınç				
Ocak	6,0	78,2%	119,07	1,68	98,4	4,9	4,1	372	0
Şubat	5,6	76,2%	113,34	2,45	98,3	4,9	4,9	347	0
Mart	7,5	74,5%	95,03	3,65	98,1	4,7	8,6	326	0
Nisan	12,0	71,6%	68,88	4,82	97,9	4,1	14,5	180	60
Mayıs	16,8	70,5%	45,07	6,27	97,9	4,2	20,3	37	211
Haziran	21,6	67,3%	34,84	7,21	97,8	4,1	24,9	0	348
Temmuz	24,3	66,4%	20,97	7,30	97,8	5,0	27,2	0	443
Ağustos	24,3	68,3%	31,68	6,41	97,8	5,1	26,7	0	443
Eylül	20,8	69,4%	59,73	5,01	98,1	4,4	23,1	0	324
Ekim	16,2	75,2%	101,48	3,14	98,4	4,5	17,1	56	192
Kasım	11,3	76,9%	111,04	1,91	98,4	4,5	10,1	201	39
Aralık	7,8	78,5%	154,69	1,38	98,4	5,1	5,4	316	0
Yıllık	14,6	72,7%	955,82	4,28	98,1	4,6	15,6	1.835	2.061
Kaynak	Yer	Yer	NASA	NASA	NASA	Yer	NASA	Yer	Yer
Ölçüm yeri:	M 10 0								
	Birim	İklim verisi yeri	Tesisin bulunduğu yer	Kaynak					
Enlem		41,0	41,1						
Boylam		28,8	29,0						
İklim bölgesi		4A - Karşık - Nemli							
Rakım	M	37	30						
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-1,0							
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	30,0							
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	20,1							

Şekil 3.15: Retscreen programı iklim verileri.

Finansal verilerin girilmesi neticesinde oluşan finansal parametreler ve 1 MW güneş enerji santrali yatırımı için oluşan finansal sürdürülebilirlik aşağıdaki gibidir.

Finansal parametreler			Finansal sürdürülebilirlik		
Genel			Vergi öncesi İGO - özsermaye % 13,5%		
Enflasyon oranı	%	2%	Vergi öncesi DDGO - özsermaye % 10,7%		
İskonto oranı	%	0%	Vergi öncesi İGO - varlıklar % 10,1%		
Yeniden yatırım oranı	%	9%	Vergi öncesi DDGO - varlıklar % 9,5%		
Proje ömrü	yıl	25	Basit geri ödeme yıl 8,8		
Finansman			Özsermaye geri ödeme yıl 8,4		
Teşvikler ve hibeler	\$		Net Şimdiki Değer (NPV) \$ 3.253.695		
Borç oranı	%	25%	Yıllık yaşam döngüsü tasarrufları \$/yıl 130.148		
Borç	\$	312.500	Maliyet-Fayda oranı 4,5		
Öz varlık	\$	937.500	Borç çevrilebilirliği 3,3		
Borç faiz oranı	%	7%	Seragazi azaltma maliyeti \$/tCO ₂ -214		
Borç vadesi	yıl	10	Enerji üretim maliyeti \$/kWh 0,073		
Borç ödemeleri	\$/yıl	44.493			
Gelir vergisi analizi					

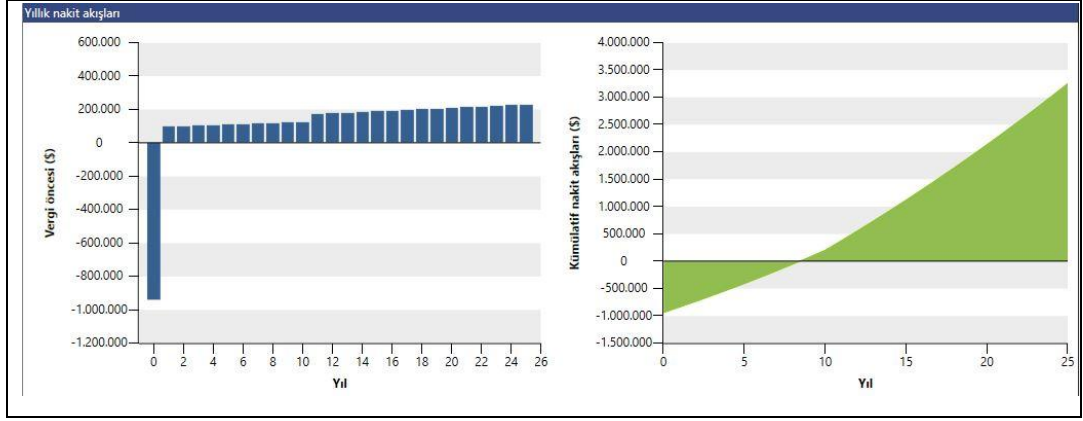
Şekil 3.16: Retscreen programı finansal analizler.

Tüm bu bileşenlerin girilmesi neticesinde oluşan maliyet tablosu aşağıdaki gibi çıkmaktadır.

Yıllık ciro			
Elektrik ihraç geliri			
Şebekeye verilen elektrik	MWh		1.293
Elektrik ihracat fiyatı	\$/kWh		0,13
Elektrik ihraç geliri	\$		171.904
Elektrik ihracatı eskalasyon oranı	%		2%
SG azaltım geliri			
Brüt sera gazı azaltımı	tCO ₂ /yıl		609
Brüt sera gazı azaltımı - 25 yıl	tCO ₂		15.236
SG azaltım geliri	\$		0
Maliyetler Tasarruflar Hasılat			
İlk maliyetler			
İlk maliyet	108%	\$	1.350.000
Proje Bedeli	4%	\$	50.000
Arazi Bedeli	16%	\$	200.000
10 yıl sonraki hurda maliyeti	-28%	\$	-350.000
Toplam ilk maliyetler	100%	\$	1.250.000
Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri			
İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)		\$	30.000
Borç ödemeleri - 10 yıl		\$	44.493
Toplam yıllık maliyetler		\$	74.493
Yıllık tasarruflar ve gelir			
Elektrik ihraç geliri		\$	171.904
Toplam yıllık tasarruflar ve gelir		\$	171.904

Şekil 3.17: Yıllık maliyetler.

Tüm bu analizlerin sonuçlarını aşağıdaki grafik üzerinde inceleyebiliriz.



Şekil 3.18: Retscreen programı yıllık nakit akışı.

Projenin basit geri ödeme süresi 11,3 yıl çıkarken, öz sermaye geri ödemesi 11 yılı bulmaktadır. Grafikten ve yapılan maliyet analizlerinden de görüldüğü üzere bu bölgeye yapılacak yatırımlar fizibil kabul ettiğimiz 7 yıl sınırını aştığı için makul gözükmemektedir. Fayda maliyet oranı 4,5 çıkmaktadır.

Öte yandan hurda maliyet hesabı da dahil edildiği takdirde basit geri ödeme süresi 8,8 yıla düşmektedir.

YEGM verilerinde İstanbul Kağıthane ilçesi üretimi yaklaşık 1,27 GWh çıkarken Retscreen analizlerinde seçilen panel konum sapmaları sebebiyle yaklaşık 1,29 GWh çıkmaktadır. Böylelikle her iki sistemden alınan verilerin örtüştüğünü düşünebiliriz.

3.6.3.2. Diğer Bölgelerin Retscreen Analizleri

Yukarıdaki YEGM analizlerinde seçilen il ve ilçeleri örnek olarak verilen İstanbul ili Kağıthane ilçesindeki gibi Retscreen programı vasıtasıyla analiz edilmiştir. Bu analizlerde konum ve buna bağlı olarak yıllık radyasyon değerleri değişkenlik göstermiştir. Bununla birlikte arazi maliyetleri de değişkenlik göstermektedir. Diğer bileşenler aynı olduğu varsayılarak hesaplanmıştır.

Bu analizlerin neticesi tablo 3.6'da detaylı verilmiştir. Tabloda dikkat çeken, hurda maliyetlerinin devreye alınmasıyla birlikte amortisman süresinin fizibil kabul ettiğimiz 7 yılın üzerine çıkan bölgelere güneş enerjisi yatırımlarının yapılması makul gözükmemektedir.

Tablo 3.6: Bazı il ve ilçelerimizin Retscreen programı ile fizibilite analizleri.

	İl	İlçe	Yıllık Radyasyon Miktarı (kWh/m ² yıl)	Toplam Yatırım Maliyeti (dolar)	Arsa Maliyeti (dolar)	Yıllık Enerji Üretimi (MWh)	Yıllık Enerji Üretimi Getirisi (dolar)	B.G. Ö.S. (Yıl)	Ö.S.G. Ö.S. (Yıl)	Hurda Maliyeti Dahil B.G.Ö.S (Yıl)	Fayda Maliyet Oranı
1	Konya	Hadim	1693	1400000	22500	1376	182972	9,3	9	7	5,7
2	Antalya	Elmalı	1864	1400000	22500	1519	202093	8,3	7,8	6,2	6,5
3	Karaman	Başyayla	1694	1400000	22500	1371	182278	9,3	9,1	7	5,7
4	Van	Gürpınar	1704	1400000	22500	1465	194886	8,6	8,2	6,5	6,2
5	Kayseri	Sarız	1671	1400000	22500	1428	189989	8,9	8,5	6,7	6
6	Antalya	Serik	1662	1400000	50000	1339	178078	9,8	9,6	7,4	5,4
7	Konya	Çeltik	1575	1400000	22500	1327	176516	9,7	9,5	7,3	5,5
8	Ankara	Haymana	1607	1400000	30000	1365	181610	9,4	9,2	7,1	5,6
9	Rize	Merkez	1454	1400000	22500	1234	164128	10,6	10,5	8	5
10	İstanbul	Kağıthane	1562	1372500	200000	1293	171904	11,3	11	8,8	4,5

B.G.Ö.S: Basit geri ödeme süresi

Ö.S.G.Ö.S : Öz sermaye geri ödeme süresi

3.6.4. Retscreen ve YEGM Radyasyon Verilerinin Kıyaslanması

Aşağıdaki tablo 3.7’de görüldüğü üzere YEGM verileri ve Retscreen radyasyon verileri konum, yükseklik vb. farklılıklardan dolayı kabul edilebilir saydığımız %10 oranını tüm şehirlerde sağlamakta iken İstanbul Kağıthane ilçesinde sağlamadığı görülmüştür. YEGM verilerinin incelendiği başlıkta Rize ili Merkez ilçesinin, İstanbul ili Kağıthane ilçesinden daha verimli olduğu görülmektedir. Ancak Rize’nin yıllık bulutlu gün sayısı ve nem oranı İstanbul ili Kağıthane ilçesinden daha yüksektir. Dolayısıyla Kağıthane ilçesinin radyasyon verisi Rize Merkez ilçesinden daha yüksek olmalıdır. Bu nedenle Retscreen programı üzerinden alınan radyasyon verilerinin YEGM verilerine göre İstanbul ili Kağıthane ilçesi için çok daha sağlıklıdır.

Bu çalışmada Antalya ilinin Elmalı İlçesinde (Yıllık bağıl nem 58,4%, atmosferik basınç 95,8 kPa, hava sıcaklığı 17,4°C ve rakım 1106 m) yüksek rakımlı bir konum seçilmiştir. Aynı ilin Serik ilçesinde (Yıllık bağıl nem %64,1 atmosferik basınç 95,2 kPa, hava sıcaklığı 18,4°C ve rakım 37 m) seçildiğinde aralarında çok fazla mesafe olmamasına rağmen başta rakım, bağıl nem, hava sıcaklığı ve atmosferik basınca bağlı olarak yıllık elektrik üretiminde %13,4 oranında fark oluşmaktadır.

Tablo 3.7: Retscreen ve YEGM radyasyon verilerinin kıyaslanması.

	İl / İlçe	Retscreen(kWh/m ² yıl)	YEGM(kWh/m ² yıl)	Fark (%)
1	Konya / Hadim	1693	1688	0,002
2	Antalya / Elmalı	1864	1685	10,6
3	Karaman / Başyayla	1694	1684	0,005
4	Van / Gürpınar	1704	1658	2,7
5	Kayseri / Sarız	1671	1622	3
6	Antalya / Serik	1662	1620	2,5
7	Konya / Çeltik	1575	1528	3
8	Ankara / Haymana	1607	1514	6,1
9	Rize / Merkez	1454	1348	7,8
10	İstanbul / Kağıthane	1562	1307	19,5

Ayrıca bu durum, tek kaynağa bağlı kalınarak yapılacak fizibilite analizlerinin hatalı olabileceğini, dolayısıyla böylesine büyük yatırımlar yapılmadan önce yerel ölçümler yapılmasının önemini ortaya koymaktadır. Eğer bu mümkün değilse çeşitli

kaynaklardan veriler alınarak analizlerin yapılmasının çok daha sağlıklı sonuç doğuracağı düşünülmektedir.



4. RÜZGAR ENERJİSİ

Tüm yenilenebilir enerji sistemlerinin kaynağı güneş enerjisidir. Rüzgar enerjisi, güneşten dünyaya gelen ışınların yer kabuğu üzerinde oluşturduğu farklı sıcaklıklar neticesinde oluşan sıcaklık, yoğunluk ve basınç farkı neticesinde meydana gelir. Ekvator bölgesi, diğer bölgelere göre çok daha fazla ısındığından, burada oluşan sıcak hava kuzeye ve güneye doğru hareket eder. Dünyanın kendi etrafında dönmesiyle oluşan “Coriolis Kuvveti” de rüzgarların oluşmasında etkilidir. Özetle rüzgar enerjisi, dünyanın kendi etrafında dönüşünden, bölgenin yüzey yapısından, arazinin topografik özelliklerinden ve çeşitli atmosferik olaylardan etkilenir [53].

Rüzgar enerjisi santrallerinde sistemin verimli çalışacağı süre ortalama 20 yıl olarak öngörülürken, sistemin kullanım ömrü 30 yıl civarındadır. Santrallerde kullanılan türbin çeşidine bağlı olarak enerji üretimi 3-25 m/s aralığındadır. 1 MW’lık bir santralin %100 verimle çalıştığı düşünüldüğünde 1 yılda üretebileceği maksimum enerji 8,76 GWh’dir. Gerçekte bu kapasite faktörü diğer ticari olarak kullanılan türbinlerde 20%-45% arasında değişmektedir. Örneğin kapasite faktörü 30% olan 1 MW’lık bir santralden yılda yaklaşık $0,3 \times 8,76 \text{GWh} = 2,628 \text{GWh}$ elektrik üretilir [54].

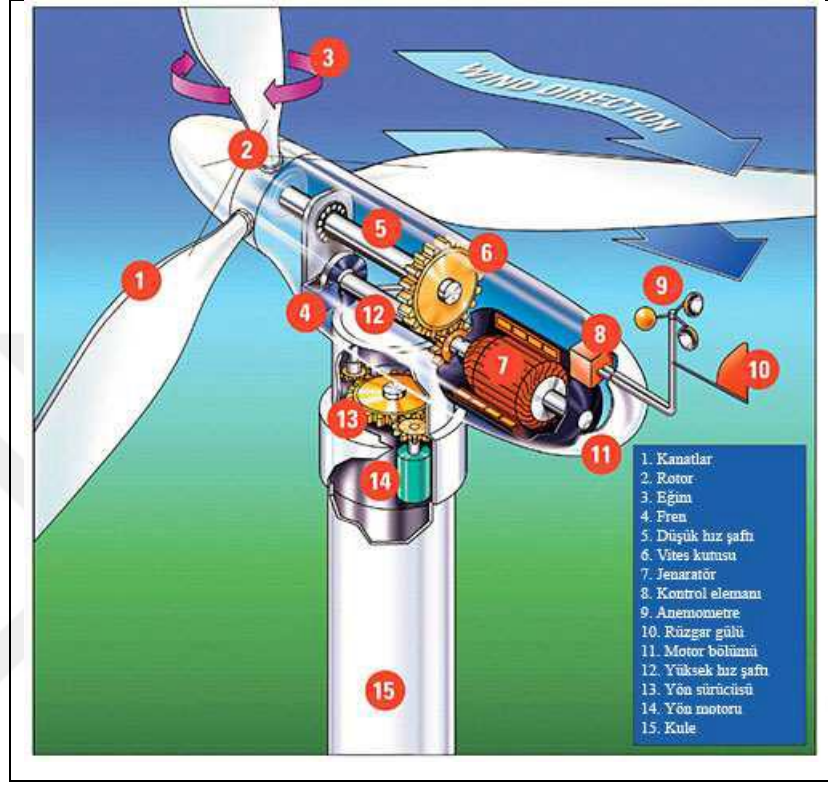
4.1. Rüzgar Enerjisi Türbin Çeşitleri

Rüzgarın oluşturduğu mekanik enerjiden iki çeşit enerji elde edilir. Birincisi bu mekanik enerjiyi farklı bir mekanik enerjiye dönüştürerek (Örneğin rüzgarla çalışan su pompası) kullanılır. Bir diğer metot ise rüzgarın mekanik enerjisinden elektrik elde etmektir. Bu çalışmada üzerinde durulacak kısım elektrik enerjisi elde edilmesine yönelik kullanılan rüzgar türbinleri üzerine olacaktır. Ticari olarak elektrik elde etme amaçlı kullanılan rüzgar türbinleri incelendiğinde iki çeşit türbin modeli karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki ve daha çok tercih edilen yatay eksenli olanıdır. Buna karşın dikey eksenli türbinlerin de tercih edildiği noktalar mevcuttur. Bu çalışmada ticari olarak kullanılan yatay eksenli türbinler üzerinde durulacaktır [55].

4.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Farklı yüksekliklerde, farklı büyüklüklerde kullanıma imkan sağlaması sebebiyle özellikle rüzgar enerjisine yönelik kurulan tesislerde tercih edilmektedir.

Gelen rüzgarın oluşturduğu kinetik enerjiyi dik olarak karşılar. Kanat çapına, sayısına bağlı olarak rüzgarda ki kinetik enerji kanatlar vasıtasıyla rotora iletir. Son olarak Şekil 4.1’de yer aldığı gibi rotorun dönmesi ile oluşan mekanik enerji dişli sistemler üzerinden jeneratöre aktarılarak elektrik enerjisi elde edilir [56].



Şekil 4.1: Rüzgar enerjisi yatay eksenli türbin bileşenleri.

Kendi arasında rüzgarı önden ve arkadan alan olmak üzere iki tip rüzgar türbin sistemi mevcuttur. Rüzgarı önden alan şekildeki tasarımlar yaygın olarak kullanılanlardır. Kanat tasarımları genellikle uçak kanadına benzer. Kanadın üst ve alt kısımdan farklı hızlarda geçen hava akımı kanatları dönmeye zorlar.

4.1.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Daha çok küçük çaplı rüzgar enerji sistemlerinde kullanılan bu rüzgar türbin çeşidi, rüzgarın estiği yönden bağımsız çalışır. Sistemin verimi kullanılan kanat sayısına, kanatların uzunluğuna, kule yüksekliği vb. etkenlere bağlıdır. Verimleri yatay eksenli rüzgar türbinlerine göre düşüktür (Şekil 4.2) [57].



Şekil 4.2: Dikey eksenli rüzgar türbini.

4.2. Verimi Etkileyen Faktörler

Rüzgar türbininden elde edilen gücü veren ifade aşağıda verilmektedir [58]. Buradan verimi etkileyen değişken faktörlerin, hız, hava yoğunluğu ve taranan alanla bağıntılıdır.

$$P = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi \cdot D^2}{4} V_r^3 C_p \quad (4.2)$$

Burada P güç (kW), ρ hava yoğunluğu (kg/m^3), D çap, V_r ortalama rüzgar hızını (m/s) ve C_p güç faktörü olup RES’de maksimum 59,26%’dür. Bu değere Lanchester-Betz limiti denir. Bu değer rüzgar türbinlerinde elde edilebilecek maksimum verimi gösterir [58].

4.2.1. Ortalama Günlük/Yıllık Rüzgar Süreleri ve Hızı

Rüzgar Türbini kurulmadan önce o bölgenin yıllık rüzgar ölçümlerinin yapılmış olması gerekmektedir. Bu veriler eşliğinde ortalama yıllık rüzgar hızının 7 m/s ve üzeri hıza sahip olan alanlara kurulmasının ekonomik olacağı düşünülmektedir [59].

4.2.2. Ortalama Hava Yoğunluğu

Uluslararası standart atmosfer (ISA) şartlarında, deniz seviyesinde, 15°C sıcaklıkta ve 1013,25 mb atmosfer basıncında hava yoğunluğu 1,225 kg/m³ dür [60]. Bu değer deniz seviyesinden yukarıya çıktıkça azalır. Karasal bölgelerde havadaki nem miktarı azaldığından rüzgar türbinlerinin denize yakın bölgelere ve deniz seviyesine kurulması avantaj sağlar.

4.2.3. Kanat Tasarımı/ Kanat Çapı / Kanat Adedi

Kanat tasarımı tıpkı bir uçağın kanadına benzer. Kanadın alt ve üst kısmından farklı hızlarda akan hava akımı hızlı olan bölgede yüksek basınç oluştururken daha yavaş aktığı üst kısımda düşük basınç oluşturmaktadır. Bu basınç farkı neticesinde dönme hareketi meydana gelmektedir. Genellikle kanat tasarımları, kanat uç kısımlarına gidildikçe incelik ve böylelikle merkeze göre daha hızlı olan kanat uç kısımlarında sürtünme nedeniyle kayıplar minimuma iner.

Kanat çapının artması, taranan alanın artacağından rüzgarın kinetik enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisi doğru orantılı olarak artar. Rüzgar türbinin kanatları dönmesiyle taradıkları alan bir daire oluşturur. Dolayısıyla daire alanında çapın yani kanat uzunluğunun %10 artması taranan alanın %21 artmasına neden olur.

Ticari olarak kullanılan çoğu türbinde üç kanat kullanılmaktadır. Bunun sebebi, türbinin diğer kanatlı modellere göre dönme momentinin daha düzgün olması ve böylelikle hub kısmına daha az titreşim iletilmesine sebep olur. Sistemlerde kanat sayısı arttıkça, sistemin dönüş hızı yavaşlarken birim alanda rüzgardan kazanılan güç artmaktadır. Kanat sayısı üçten aşağıya düştükçe ise hız artmakta ve verim düşmektedir.

4.2.4. Yükseklik ve Hız

Yerden yukarıya doğru çıkıldıkça rüzgar hızı artmaktadır. Kurulacak rüzgar türbini sistemlerinin kule yüksekliği sisteme olumlu yönde etki eder. Rüzgar hızındaki 1 birimlik artış güç formülünden anlaşılacağı üzere, küpü oranında avantaj sağlar.

4.2.5. Altyapı, Şebeke, Ulaşım

Güneş enerjisi yatırımlarında olduğu gibi rüzgar enerjisi sistemlerinde de türbinlerin şebekeye olan uzaklığı arttıkça enerji kayıpları artmaktadır.

4.2.6. Olumsuz Hava Şartları

Sistemlerin olumsuz hava şartlarından etkilenmemesi için, aşırı rüzgara karşı frenleme, kanat açısı değiştirme, yıldırım tehlikesine karşı gerekli paratoner önlemler alınmış olmalıdır.

4.2.7. Zemin Seçimi

Arazi yapısındaki çeşitlilik rüzgar hızını etkilemektedir. Şehirleşmenin olduğu alanların rüzgar kalitesi düşük iken deniz üstü kurulacak alanlarda yüzey pürüzlülüğü azaldığından verim artmaktadır.

4.3. Rüzgar Enerji Sistemlerinin Uygulamaları

Rüzgar enerjisi uygulamalarının kullanımı, şebekeye bağımlı ve bağımsız olmak üzere iki şekilde karşımıza çıkmaktadır.

4.3.1. Şebekeden Bağımsız Uygulamalar

Genellikle akülü sistemlerle desteklenen şebekeden bağımsız sistemler ticari olmamakla birlikte bölgesel elektrik problemlerine yönelik kullanılmaktadır. Bununla birlikte tamamen mekanik amaçlara hizmet veren rüzgar türbin uygulamalarına da rastlanmaktadır.

4.3.2. Şebekeye Bağımlı Uygulamalar

Enerji üretimi amacıyla kullanılan rüzgar enerji sistemleri şebekeye bağlanarak, ihtiyaca cevap vermektedir. Yüksek kapasite elektrik üretimi sağlayan ticari uygulamalarda depolama maliyetlerinin çok yüksek olması sebebiyle üretilen elektrik gerekli düzenlemeler sonrasında doğrudan şebekeye verilir.

Bir diğer uygulama ise çift yönlü sayaçların kullanıldığı, üretilen elektriğin depolanmadan, sayaçtan geçerek şebekeye verildiği sistemlerdir. Daha çok evsel abonelere enerji tasarrufu yapılması ve genel tüketimi düşürme amaçlı olarak sunulmaktadır.

4.4. Ülkemizde Rüzgar Enerjisi Sistemleri

Rüzgar enerjisi sistemleri lisanslı ve lisanssız olmak üzere 2 guruba ayrılır. Lisanslıda bir üst sınır telaffuz edilmemişken lisanssızda 1 MW ile sınırlandırılmıştır.

4.4.1. Lisanslı Rüzgar Enerji Santrali

Ticari olarak elektrik üretmek için yapılan ölçümler ve başvurular neticesinde santral kurulur ve elektrik üretimi yapılarak devletin belirlediği rakamlardan belirli süreler içerisinde üretilen elektrik şebekeye satılır.

4.4.2. Lisanssız Rüzgar Enerji Santrali

Üst sınırı 1 MW olmak kaydıyla ister tek türbin ile istenirse 4 adet 250 kW'lık türbin ile üretilen elektrik verilen teşviklerde belirtilen süre boyunca şebekeye satılır.

4.5. İdeal Türbin Seçimi

Dünyada ve ülkemizde, ticari olarak en çok tercih edilen türbin modeli 3 kanatlı yatay eksenli rüzgar türbinleridir. Başlangıçta rüzgar türbinlerinde kullanılan türbin güçleri 1 MW'a erişmezken teknolojinin gelişmesiyle birlikte şuan ticari olarak kullanılanlar 2-4 MW aralığındadır. Bu değerlerin teknolojinin gelişimine paralel olarak ilerleyen yıllarda yükseleceği sanılmaktadır.

4.6. Fizibilite Analizleri

Aşağıda bazı il ve ilçelerimizin detaylı fizibilite çalışmaları yapılmış olup mevcut veriler ile kıyaslanmıştır.

4.6.1. Mevcut Santraller

Ülkemizde kurulu bulunan bazı rüzgar enerji santrallerinde kurulu gücüne göre 2015 yılında üretilen elektrik verileri tablo 4.1’de incelenmiştir [11].

Tablo 4.1: Kurulu güce göre Türkiye’de ilk on RES.

	İl	Santral Adı	Kapasite Faktörü	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Güç (GWh)	Türbin Adedi
1	Manisa	Soma	%35	240,1	735	169
2	Afyonkarahisar	Dinar	%19	200,25	331	81
3	Kırşehir	Geycek	%22,5	168	332	70
4	Balıkesir	Balıkesir	%38,7	142,5	484	52
5	Osmaniye	Osmaniye Gökçedağ	%33,4	135	395	54
6	Sivas	Kangal	%18	128	201	63
7	İzmir	Aliğa Bergama	%32,8	120	345	46
8	Manisa	Bilgin Enerji	%34,4	120	341	46
9	İzmir	Karaburun	%36,6	120	385	50
10	Balıkesir	Şamlı	%31,3	114	313	42
	Genel Toplam			1487,5	3862	673

İncelenen 10 santralden alınan veriler neticesinde ortalama 1 MW’lık rüzgar türbininden yaklaşık yılda 2,6 GWh elektrik elde edilmiştir. Verimliliğin en fazla olduğu Balıkesir santralinden 1 MW başına yaklaşık yılda 3,4 GWh elektrik elde edilmiştir. Verimliliğin en az olduğu Kangal santralinden ise 1 MW başına yaklaşık yılda 1,57 GWh elektrik üretilmiştir.

4.6.2. YEGM Verileri Kapsamında Bazı İllerin Analizleri

Bu bölümde, ülkemizin rüzgar enerjisi verimine göre bazı illeri seçilecek ve elde edilen sonuçlar neticesindeki farklılıklar incelenecektir. Çalışma kapsamında rüzgar enerjisi açısından verimli, verimsiz ve enerjinin tüketiminin yüksek olduğu bölgelerden seçilen illere göre incelenecektir [12].

Rüzgar türbin sistemlerinde kapasite faktörü, türbinin rüzgar üzerindeki enerjiyi ne kapasitede elektrik enerjisine dönüştürebileceğine bağlıdır. Bu değer aynı zamanda yıllık ortalama rüzgar hızına, hava yoğunluğuna vb. etkenlere de bağlıdır. [61]

4.6.3. Retscreen Programı Kullanılarak Bazı İllerin Analizleri

Sağlıklı bir kıyaslama yapabilmek için Retscreen programına girilen bazı veriler güneş enerjisi sistemlerine benzer şekilde seçilmiştir. Piyasada türbin maliyetleri değişkenlik göstermesine rağmen yapılan araştırmalar neticesinde ortalama değerler baz alınmıştır [62].

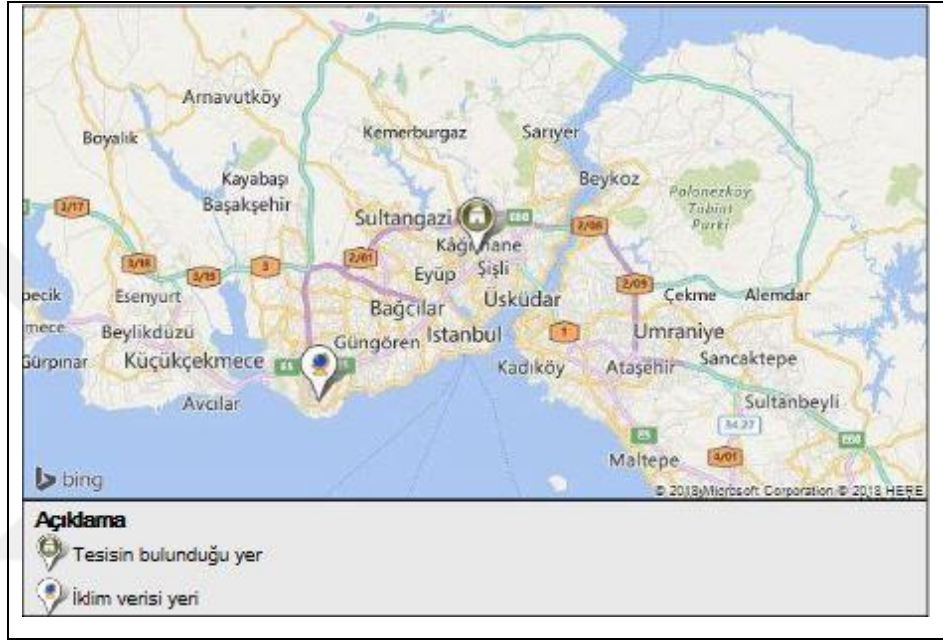
Tablo 4.3: Retscreen programına girilmesi gereken değerler.

Konum	Seçilecek konum
Rüzgar Santral Gücü	1 MW
Rüzgar Türbini	Siemens AN Bonus 1MW 50M
Yükseklik	50 m
Dizilim Kayıpları	%0
Kanat Kayıpları	%2
Çeşitli Kayıplar	%2
Kullanılabilirlik	%98
İlk maliyetler (Panel, altyapı, KDV, vb.)	1 MW için 1150000 dolar
İşletme bakım maliyetleri	Yıllık 40000 dolar
Elektrik satış fiyatı cent/watt	0,073
Proje başvuru harç	50000 dolar
Arazi maliyeti	Konuma göre değişmektedir.
Enflasyon oranları (Dolar kuruna göre)	%2 alınmıştır.
Proje Ömrü	25 Yıl
Borç oranı	%25
Borç Faizi	%7
Borç Vadesi	10 Yıl
Hurda maliyeti (10 yıl sonraki maliyeti)	300000 dolar

4.6.3.1. Örnek Retscreen Analizi (İstanbul Kağıthane)

Yapılan analizde, Kağıthane ilçesinde arazi maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle, İstanbul ili için en uygun arazi bedeli olarak 10000 dolar alınmıştır.

Programda Kağıthane ilçesi seçildiğinde burada ölçüm noktası olmamasına rağmen en yakın konumdan bilgileri alıp bölgesel tahminlere göre tespit etmektedir. Yapılan konum seçimi sonrası iklim verileri aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.4: Retscreen programı konum seçimi.

Retscreen programı NASA üzerinden ölçüm verilerini almaktadır. Rüzgar enerjisi için kullanılan NASA verilerinin ölçüm yüksekliği 10 metredir. Rüzgar türbinin kule yüksekliğine göre program tarafından bu değer otomatik hesaplanmaktadır. Ancak alınan veriler ile istenen yükseklik arasında otomatik hesaplama için yüzey pürüzlülük değerinin girilmesi istenmektedir. Açıklamasında 0,10-0,40 (0,10-0,15 deniz yüzeyi, ova vb. rüzgar gücünün kırınımına uğramadığı zeminler) alınması istenen değerler yazıldığında daha yükseğe çıkıldıkça artması beklenen rüzgar hızının yüzey pürüzlülük değeri arttıkça, arttığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple yine aynı programın direk 50m yükseklik için yönlendirdiği globalwindatlas.info web sitesinden alınan veriler ve Retscreen programından alınan bölgesel sıcaklık ve bölgesel atmosferik basınç değerleri birlikte girilerek programın seviye 2 kısmından hesaplanarak, en uygun sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

Retscreen programından elde edilen ve NASA verilerine dayandırılan 10 metre yükseklikteki rüzgar hızı değerlerinin Gökçeada gibi Türkiye'nin en çok rüzgar alan bölgelerinden birinde yıllık ortalama 4,1 m/s ölçülürken İstanbul Kağıthane için 4,5 m/s'lik bir hız öngörmektedir ki bu sonuç gerek ilgili bölgelerin özellikleri gerekse YGM verileri dikkate alındığında tutarsız gözükmemektedir. Bu nedenle hesaplamalar için veriler ilgili programın verileri alabileceği globalwindatlas.info web sitesinden temin edilmiştir.

	Birim	İklim verisi yeri	Tesisin bulunduğu yer	Kaynak
Enlem		41,0	41,1	
Boylam		28,8	29,0	
İklim bölgesi		4A - Karşık - Nemli		
Rakım	M	37	40	Yer+NASA
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-1,0		Yer - Harita
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	30,0		Yer
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	20,1		NASA

Şekil 4.5: Retscreen programı konum belirleme.

Ay	Hava sıcaklığı °C	Bağıl nem %	Yağış mm	Günlük güneş radyasyonu - yatay kWh/M ² /g	Atmosferik basınç kPa	Rüzgar hızı M/s	Yer sıcaklığı °C	Isıtma derece-gün 18 °C	Soğutma derece-gün 10 °C
Ocak	6,0	78,2%	119,07	1,68	98,4	4,9	4,1	372	0
Şubat	5,6	76,2%	113,34	2,45	98,3	4,9	4,9	347	0
Mart	7,5	74,5%	95,03	3,65	98,1	4,7	8,6	326	0
Nisan	12,0	71,6%	68,88	4,82	97,9	4,1	14,5	180	60
Mayıs	16,8	70,5%	45,07	6,27	97,9	4,2	20,3	37	211
Haziran	21,6	67,3%	34,84	7,21	97,8	4,1	24,9	0	348
Temmuz	24,3	66,4%	20,97	7,30	97,8	5,0	27,2	0	443
Ağustos	24,3	68,3%	31,68	6,41	97,8	5,1	26,7	0	443
Eylül	20,8	69,4%	59,73	5,01	98,1	4,4	23,1	0	324
Ekim	16,2	75,2%	101,48	3,14	98,4	4,5	17,1	56	192
Kasım	11,3	76,9%	111,04	1,91	98,4	4,5	10,1	201	39
Aralık	7,8	78,5%	154,69	1,38	98,4	5,1	5,4	316	0
Yıllık	14,6	72,7%	955,82	4,28	98,1	4,6	15,6	1.835	2.061
Kaynak	Yer	Yer	NASA	NASA	NASA	Yer	NASA	Yer	Yer
Ölçüm yeri:						M	10	0	

Şekil 4.6: Retscreen programı iklim verileri.

Finansal verilerin girilmesi neticesinde oluşan finansal parametreler ve 1 MW'lık rüzgar enerji santrali yatırımı için oluşan finansal sürdürülebilirlik aşağıdaki gibidir.

Finansal sürdürülebilirlik			Finansal parametreler		
Vergi öncesi İGO - özsermaye	%	5,9%	Genel		
Vergi öncesi DDGO - özsermaye	%	7,4%	Enflasyon oranı	%	2%
Vergi öncesi İGO - varlıklar	%	3,7%	İskonto oranı	%	0%
Vergi öncesi DDGO - varlıklar	%	6,2%	Yeniden yatırım oranı	%	9%
Basit geri ödeme	yıl	15,7	Proje ömrü	yıl	25
Özsermaye geri ödeme	yıl	14,8	Finansman		
Net Şimdiki Değer (NPV)	\$	1.175.508	Teşvikler ve hibeler	\$	
Yıllık yaşam döngüsü tasarrufları	\$/yıl	47.020	Borç oranı	%	25%
Maliyet-Fayda oranı		2,3	Borç	\$	302.500
Borç çevrilebilirliği		1,8	Öz varlık	\$	907.500
Seragazi azaltma maliyeti	\$/tCO ₂	-62	Borç faiz oranı	%	7%
Enerji üretim maliyeti	\$/kWh	0,066	Borç vadesi	yıl	10
			Borç ödemeleri	\$/yıl	43.069

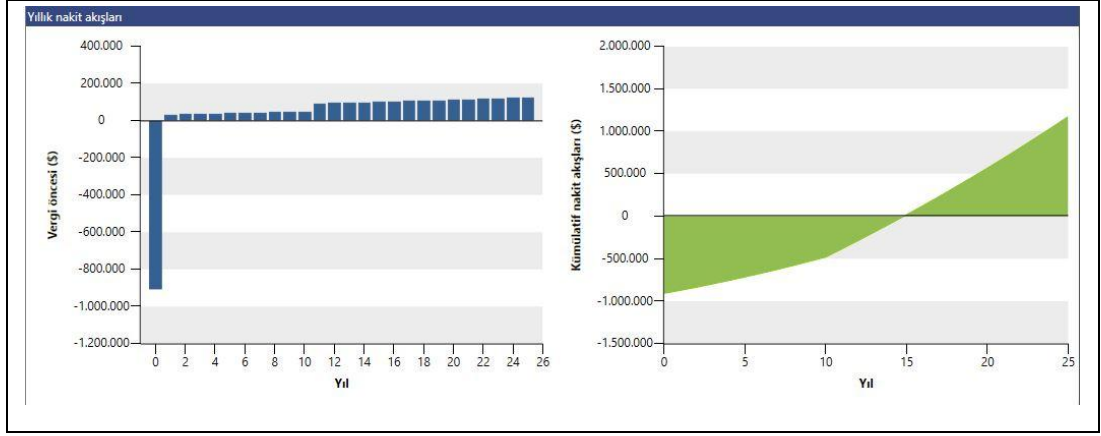
Şekil 4.7: Retscreen programı Finansal analizler.

Tüm bu bileşenlerin girilmesi neticesinde oluşan maliyet tablosu aşağıdaki gibi çıkmaktadır.

Yıllık ciro		Maliyetler Tasarruflar Hasılat		
Elektrik ihraç geliri		İlk maliyetler		
Şebekeye verilen elektrik	MWh	1.602	İlk maliyet	95% \$ 1.150.000
Elektrik ihracat fiyatı	\$/kWh	0,10	Proje Maliyeti	4,1% \$ 50.000
Elektrik ihraç geliri	\$	116.940	Arsa Maliyeti	0,83% \$ 10.000
Elektrik ihracatı eskalasyon oranı	%	2%	10 yıl sonunda hurda maliyeti	0% \$ 0
SG azaltım geliri		Toplam ilk maliyetler		
Brüt sera gazı azaltımı	tCO ₂ /yıl	755		100% \$ 1.210.000
Brüt sera gazı azaltımı - 25 yıl	tCO ₂	18.883	Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri	
SG azaltım geliri	\$	0	İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)	\$ 40.000
			Borç ödemeleri - 10 yıl	\$ 43.069
			Toplam yıllık maliyetler	
				\$ 83.069
			Yıllık tasarruflar ve gelir	
			Elektrik ihraç geliri	\$ 116.940
			Toplam yıllık tasarruflar ve gelir	
				\$ 116.940

Şekil 4.8: Yıllık maliyetler.

Tüm bu analizlerin sonuçlarını Şekil 4.9 üzerinde inceleyebiliriz.



Şekil 4.9: Retscreen programı yıllık nakit akışı.

Projenin basit geri ödeme süresi 14,7 yıl çıkarken, öz sermaye geri ödemesi 14 yılı bulmaktadır. Grafikten ve yapılan maliyet analizlerinden de görüldüğü üzere bu bölgeye yapılacak yatırımlar fizibil kabul ettiğimiz 7 yıl sınırını aştığı için makul gözükmemektedir. Fayda maliyet oranı 3,5 çıkmaktadır. Öte yandan hurda maliyet hesabı da dahil edildiği takdirde basit geri ödeme süresi 11 yıla düşmektedir.

Burada dikkat çeken detay, güneş enerjisi sistemine göre daha fazla elektrik enerjisi üretilirken uygulanan teşvik oranının düşük olması fizibiliteyi olumsuz etkilemektedir. Sistemin tek zamanlı bir sayaçla beslendiği ve üretimden çok tüketimin olduğu kapalı bir sistem olduğu düşünüldüğünde teşvik sistemi enerji alış fiyatına endeksleneneğinden rüzgar enerjisinin kapalı sistemde avantajlı olacağı söylenebilir.

4.6.3.2. Diğer Bölgelerin Retscreen Analizleri

Yukarıdaki YEGM analizlerinde seçilen il ve ilçeleri örnek olarak verilen İstanbul ili Kağıthane ilçesindeki gibi Retscreen programı vasıtasıyla analiz edilmiştir. Bu analizlerde konum ve buna bağlı olarak yıllık radyasyon değerleri değişiklik göstermiştir. Bununla birlikte arazi maliyetleri de değişiklik göstermektedir. Diğer bileşenlerin aynı olduğu varsayılarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar neticesi tablo 4.4’de detaylı verilmiştir. Amortisman süresinin hurda maliyeti dahil B.G.Ö.S. fizibil kabul ettiğimiz 7 yılın altında kalan bölgelere rüzgar enerjisi yatırımlarının yapılması makul gözükmemektedir.

Yıllık ortalama rüzgar hızı yüksek olan Manisa/Soma’ya yapılacak olan yatırımın, yıllık ortalama rüzgar hızı Soma’ya göre daha düşük olan Çanakkale/Gökçeada’ya yapılması durumunda beklenenin aksine fayda maliyet oranı

daha düşük çıkmaktadır. Bunun sebebi bölgenin yıllık ortalama rüzgar hızı dışında kalan, yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık ortalama atmosferik basınç değerlerinden kaynaklandığı görülmektedir.



Tablo 4.4: Retscreen verileri kapsamında bazı illerin kapasite faktörlerinin hesaplanması.

	İl	İlçe	Yıllık Saatte Ortalama Rüzgar Hızı (50m-m/s yıl)	Kapasite Faktörü	Toplam Yatırım Maliyeti (dolar)	Arsa Maliyeti (dolar)	Yıllık Enerji Üretimi (MWh)	Yıllık Enerji Üretimi Getirisi (dolar)	B.G.Ö. S. (Yıl)	Ö.S.G. Ö.S. (Yıl)	Hurda Maliyeti Dahil B.G.Ö.S (Yıl)	Fayda Maliyet Oranı
1	Çanakkale	Gökçeada	8,5	%38,8	1200000	5000	3396	247872	5,8	5,1	4,4	9,5
2	Mardin	Derik	6,1	%19,1	1200000	5000	1673	122139	14,7	13,9	11	3,5
3	Konya	Kulu	5,5	%14,7	1200000	5000	1287	93923	22,3	20	16,8	2,1
4	Sivas	Yıldızeli	6,42	%20,5	1200000	5000	1792	130821	13,8	12,8	10	3,9
5	Kayseri	Yahyalı	7,5	%28,1	1200000	5000	2459	179492	8,6	8,2	6,5	6,2
6	Manisa	Soma	8,57	%38,3	1200000	5000	3353	244802	5,9	5,2	4,4	9,4
7	Kastamonu	Cide	6,66	%25,1	1200000	5000	2200	160610	10	9,9	7,5	5,3
8	Amasya	Hamamözü	5,55	%15,4	1200000	5000	1346	98236	20,7	18,7	15,5	2,3
9	İstanbul	Kağıthane	5,81	%18,3	1200000	10000	1602	116940	15,7	14,8	11,8	3,2
10	Rize	Merkez	3,38	%3,6	1200000	5000	313	22862	-	-	-	-1,3

4.6.4. Retscreen ve YEGM Kapasite Faktörlerinin Kıyaslanması

Yapılan çalışmalarda, YEGM kaynaklarından alınan rüzgar verilerinin, Retscreen program verileri ile kıyaslandığında, rüzgarın güçlü olduğu bölgelerde daha yakın sonuçlar verdiği ancak rüzgarın zayıf olduğu bölgelerde, YEGM verilerinin kapasite faktörünü beş ve katları şeklinde verileri sunmasından dolayı tam olarak örtüşmediği gözlemlenmiştir. Genel olarak bakılırsa Manisa/Soma bölgesi hariç çoğu bölgede Retscreen analizleri yüzdesel olarak daha aşağıda kalmıştır. Güneş paneli sistemin de olduğu gibi burada da en yüksek fark İstanbul ili Kağıthane bölgesinde gözlemlenmiştir.

Tablo 4.5: Kapasite faktörlerinin kıyaslanması.

	İl	İlçe	Kapasite Faktörü (%) YEGM	Kapasite Faktörü (%) Retscreen	Fark (%)
1	Çanakkale	Gökçeada	40	%38,8	%3
2	Mardin	Derik	25	%19,1	%30
3	Konya	Kulu	20	%14,7	%36
4	Sivas	Yıldızeli	25	%20,5	%22
5	Kayseri	Yahyalı	30	%28,1	%6
6	Manisa	Soma	35	%38,3	%9
7	Kastamonu	Cide	30	%25,1	%20
8	Amasya	Hamamözü	20	%15,4	%30
9	İstanbul	Kağıthane	30	%18,3	%64
10	Rize	Merkez	5	%3,6	%39

4.6.5. Retscreen Programı Kapasite Faktörü Etkenleri

Örneğin Manisa Soma'da yapılan çalışmada, normalde yıllık ortalama 16,1°C sıcaklık, 97,5 kPa basınç ve 8,57 m/s hız ve 50m kule yüksekliği iken kapasite faktörü %38,3 ve yıllık üretim 3353 MWh'dir. Aynı koşullarda sırasıyla yalnızca 1°C sıcaklık, 1 kPa basınç, 1 m/s hız ve 100 m kule yüksekliği değişimlerinin kapasite faktörüne etkilerini incelediğimizde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 4.6: Verim etkenlerinin 1 birim arttırılması sonuçları.

	1 C° Artışta	1 kPA artışta	1 m/s Artışta	Kule yüksekliği artışında (100m)
Kapasite Faktörü	-%0,2	%0,4	%6,2	%5,2
Elektrik Üretimi	-11 MWh	35 MWh	546 MWh	458 MWh

Tablo 4.6'dan görüleceği üzere sıcaklık artışı dışında kalan tüm etkenler rüzgar enerjisini olumlu yönde etkilemektedir. Sıcaklık artışı sonuç itibariyle olumsuz yönde etkiliyor gözükse de rüzgarların oluşumu için sıcaklık farklılıkları önem arz etmektedir.



5. HİBRİT SİSTEMLER (GÜNEŞ ve RÜZGAR)

Hibrit sistemler farklı enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemlerin verimliliği her iki kaynaktan da verim alınabildiği takdirde makul gözükmetedir. Örneğin Kayseri ilimiz genel itibariyle güneş enerjisi için verimliken yapılan rüzgar analizlerinde bazı bölgelerinin rüzgar enerjisi için de (Yahyalı ilçesi) verimli olduğu ve bu bölgelere hibrit sistemlerin kurulabileceği analiz edilmiştir. Diğer taraftan her iki sistemden yalnızca birinin çevresel koşullarının verimli olduğu bölgelerde diğer sisteme yatırım yapmanın doğru olmayacağı düşünülmektedir.

5.1. Küçük Ölçekte Hibrit Sistemler

Küçük ölçekli hibrit sistemlerle; bir evin, aracın veya bir su pompasının enerji ihtiyacı ifade edilmektedir. Bu tarz sistemler her iki enerji kaynağından da faydalanılabilecek sistemlerdir. Burada amaç enerji çeşitliliğini artırarak, havanın kapalı olduğu günlerde veya geceleri güneş enerjisinden faydalanılamayan saatlerde rüzgar enerjisi ile enerji ihtiyacı karşılamaktır. Küçük ölçekli sistemlerde, yapılacak saha ölçümleri neticesinde her iki enerji kaynağından da faydalanma imkanının olduğu bölgelerde tercih edilmelidir. Enerji çeşitliliğinin artması kaynak verimliliği demektir.

5.2. Büyük Ölçekte Kurulacak Hibrit Sistemler

Büyük ölçekte hibrit sistemlerle; daha çok enerji santrali şeklinde üretim yapan tesisler ifade edilmektedir. Bu tesisler yapılan saha ölçümleri neticesinde o bölgedeki verimi maksimum olan (rüzgar veya güneş) enerji çeşidine göre yatırım yapılır. Dolayısıyla rüzgar enerjisinin iyi olduğu bölgede güneş enerjisi verimsiz kalacağı için tercih edilmemektedir. Ancak ülkemizi kapalı bir sistem olarak düşündüğümüzde farklı lokasyonlarda bir sürü hibrit sisteme sahip olduğu görülmektedir.

6. KARŞILAŞTIRMALAR

6.1. Mevcut Teşviklerin Kıyaslanması

Ülkemizde genel teşvikler 10 yıl süreyle sağlanmaktadır. 10 yıl sonrasında üretilen elektrik yerel dağıtımçı firmalara satılabilmektedir. Bu teşvikler çoğu diğer ülkede ortalama 15 yıl iken ülkemizde 10 yıl ile sınırlı kalmaktadır.

Tablo 6.1: Yenilenebilir enerji kaynağına göre uygulanacak destek fiyatları.

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a.Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b.Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c.Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d.Biyokütleyle dayalı üretim tesisi(çöp gazı dahil)	13,3
e.Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Yatırımın yapıldığı süreden başlamak üzere 5 yıl boyunca üretilen elektrik birim fiyatına, enerji santralının yerlilik oranına bağlı olarak aşağıdaki teşvikler tablo 6.1’de cent/kWh değerinin üzerine eklenir [63]. Tablo 6.2’deki gibi yabancı firmaların ilgili onayları alarak, ülkemizde üretime başlaması durumunda yerli katkı ilavesi bu ürünlere de uygulanır [63].

Tablo 6.2: Yerli üretim olması durumunda verilecek ek teşvikler.

II Sayılı Cetvel		
(29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
B- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı	0,8
	2- PV modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvvertör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışığını odaklayan malzeme	0,5

Rüzgar enerjisi bileşenlerinin tamamının ülkemizde yerli kaynaklarla üretildiği düşünüldüğünde toplam teşvik 4,7 cent/kwh iken güneş enerjisinde bu değer 6,7 cent/kwh şeklindedir. Görüldüğü üzere GES için verilen teşvikler RES e göre oldukça fazladır.

6.2. İlk Yatırım Maliyetleri

1 MW'lık bir güneş enerjisi için ilk yatırım maliyeti arazi bedeli, proje bedeli dahil yaklaşık 1450000 dolar iken rüzgar enerjisi için bu değer arazi gereksiniminin de az olması ve sistemin daha makul olması nedeniyle yaklaşık 1200000 dolar mal olmaktadır. Bu da bize rüzgar enerjisinin ilk yatırım maliyetinin güneş enerjisine göre yaklaşık %20 daha uygun olduğunu göstermektedir.

6.3. Aynı Ölçekte Ülke Şartlarında En Fazla Üretim Yapılacak Bölgelere Göre Üretilen Gücün Kıyası

Ülkemiz sınırlarında yapılacak bir kıyaslamada her iki sistem için de en verimli bölgeleri seçmek gerekir. Rüzgar enerjisi için Çanakkale Gökçeada ilçesi alındığında 1 MW'lık santralden yılda 3396 MWh elektrik üretilirken Antalya Elmalı ilçesinde 1 MW'lık santralden 1519 MWh elektrik üretilmektedir. Bu sonuçtan anlaşılacağı üzere, rüzgar enerjisinden bir yılda üretilen elektrik, güneş enerjisinden üretilenden 2.24 kat fazladır.

6.4. Sistemlerin Alansal Bazda Kıyaslanması

Her iki sistem de incelendiğinde, ticari olarak kullanılan güneş enerjisi sistemleri için ortalama MW başına 20000 m² alan gerekirken projede kullanılacak türbin gücüne bağlı olarak ortalama (20 adet 3 GWh'lık rüzgar santrali düşünülerek hesaplanmıştır) 250 m² alan gerekmektedir. Bu sonuca göre rüzgar enerji santralleri alansal verimine ve arazi maliyetlerine bakıldığında güneş enerjisine göre 80 kat avantajlı olduğu görülmektedir.

6.5. Sistemlerin Elektrik Üretim Maliyetleri Açısından Kıyaslanması

Retscreen programından her iki sistem içinde en verimli sonuçlar veren bölgelerdeki 1 MW gücündeki yatırımlar incelendiğinde;

Tablo 6.3: Üretilen elektrik enerjisinin birim fiyatlarının kıyaslanması.

	Rüzgar Enerjisi (Çanakkale Gökçeada) \$/kWh	Güneş Enerjisi (Antalya Elmalı) \$/kWh
Hurda maliyeti dahil	0,027	0,0617
Hurda maliyeti hariç	0,031	0,0744

Güneş enerjisinden üretilen elektriğin birim fiyatı, rüzgar enerjisine göre kWh başına maliyeti sırasıyla 2,28-2,4 kat daha pahalı olduğu görülmektedir.

6.6. Sistemlerin Fizibilite Açısından Kıyaslanması

Teşviklerin olmadığı ya da aynı oranda teşvik verildiği düşünüldüğünde rüzgar enerjisi güneş enerjisine göre ilk yatırım maliyetleri, fayda maliyet oranı, alansal yer kaplama, vb. açıdan çok daha avantajlıdır.

Kapalı sistemlerde yani elektriğin tesis içerisinde tüketildiği sistemlerde elektrik dışarıya satılmayacağından rüzgar enerjisi güneş enerjisine göre avantajlıdır. Ancak rüzgar enerjisindeki dalgalanma güneş enerjisine göre çok daha fazla olduğundan rüzgar türbinin üretimi tesis tüketiminin belirli bir oranında tutulması gerekir. Üretimin tamamının depolanmadan bu kaynaklardan karşılanması makul gözükmemektedir. Güneş enerjisi kapalı sistemlerde iş saatlerinin de gün ışığının olduğu saatler olduğu düşünüldüğünde depolanmadan tüketimi söz konusu olduğunda, üretimdeki düzensizliğin rüzgar enerjisine göre az oluşu güneş panellerinden elektrik üretimini daha cazip kılmaktadır.

Teşviklerin de dahil olduğu bir sistemde güneş enerjisinin verimli olduğu bölgelerde fotovoltaik santrallerden üretilen elektriği dışa satmanın daha fizibil olduğu görülmektedir. Aynı şekilde rüzgar enerjisinin verimli olduğu bölgelere rüzgar türbin santrallerinin kurulmasının avantajlı olduğu açıktır.

Her iki sistem için de Retscreen program analizlerine göre hurda maliyeti dahil basit geri ödeme süresi 7 yıl ve altı olan bölgelere yatırım yapmanın avantajlı olduğu düşünülmektedir.

Bu analizlerde dikkat çeken fotovoltaik yatırımlarında ülke genelinde 7 yılın altı olan bölgelerde çok fazla yükseklik ve bağıl nemin değişmediği yerlerde verim çok fazla değişmeyip amortisman süresi 5,9-7 yıl aralığında gezmektedir. Ancak rüzgar türbin santralleri için hurda maliyeti dahil basit geri ödeme süresi denilen amortisman süresi verimli olan bölgede 4,4-6,9 şeklinde rüzgar ve diğer koşullara bağlı olarak oldukça farklı sonuçlar vermektedir. Özetleyecek olursak fotovoltaik yatırımına nazaran rüzgar türbin yatırımlarının konumu, verimi çok daha fazla etkilemektedir.

6.7. Sistemlerin Çevreye Etkileri Açısından Kıyaslanması

Rüzgar türbinlerinin olumsuzlukları arasında sıralanan ses ve dönüş hızı sebebiyle bölgede hareket eden kuşların ölmesine neden olduğu bilinirken güneş panellerinin kullanımında bu olumsuz etkenlere rastlanmamaktadır. Ancak güneş

enerjisindeki alan verimsizliği sebebiyle de kurulan bölgelerde zirai faaliyet yapılamazken bu imkan rüzgar türbinlerinde sağlanabilmektedir.

Öte yandan rüzgar enerjisi sistemlerinde, rüzgar hızının aşırı yükselmesi veya azalması, arıza vb. durumlarda üretim yapamazken güneş enerji sistemleri olumsuz hava şartlarını ya da kısmi arıza durumlarını daha iyi tolere ederek az ya da kısmi de olsa üretim yapabilmektedir.

6.8. Sistemlerin İstihdama Sağladığı Katkı Açısından Karşılaştırılması

Üretim anlamında güneş enerjisi santrallerini bileşenlerinin rüzgar enerjisine göre fazla oluşu sebebiyle istihdama personel sayısı anlamında katkısı fazladır. Ancak yerli imkanlarla mevcut teknolojiler düşünüldüğünde rüzgar türbinlerinin ülke şartlarında imalatının daha kolay olacağı da ortadadır. Montaj aşamasında da fotovoltaik sistemlerde insan gücüne çok daha fazla ihtiyaç duyulduğundan genel itibariyle istihdama rüzgar enerjisine göre katkısı fazla olacaktır.

6.9. Sistemlerin Ömürleri Açısından Kıyaslanması

Geçmişte, güneş panellerinin verimleri hususunda gerek teknolojinin yeni olması gerekse kullanılan materyallerin farklı olması sebebiyle sistemlere verilen garantiler, elektriksel cihazlarda olduğu gibi 2 yıl iken sonraları 10 yıla ve günümüzde 25-30 yıla çıkartılmıştır. Genel itibariyle her iki sistemde bakımları düzenli yapıldığında 25-30 yıl gibi sürelerde kullanılabilceği düşünülmektedir. Ancak fotovoltaik sistemlerde kullanılan cihazların (invertör, panel, trafo vb.) elektronik problemleri rüzgar türbinlerinde yaşananlara göre fazladır. 10 yıl sonrasında bu sistemler ek maliyetler çıkartabilmektedirler.

6.10. Verimi Etkileyen Faktörler Açısından Kıyaslama

Ülkemizde yer alan güneş ve rüzgar enerjisi sistemleri çeşitli etkenlerden olumlu veya olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu etkenleri kıyasladığımızda, her iki sistemi de olumlu yönde etkilediği, olumsuz yönde etkilediği veya birine pozitif etki ederken diğerine negatif etki ettiği görülmektedir.

6.10.1. Bölgesel Verim

Ülkemizde hemen hemen her bölgede çeşitli ihtiyaçları gidermeye yönelik kullanılabilir olan güneş ve rüzgar enerjisi sistemleri ticari olarak güneşte daha çok ülkemizin nemsiz daha karasal iklime sahip Orta, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri iken rüzgar enerjisinde, Ege, Batı Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinde daha yoğun olarak gözlemlenmektedir.

6.10.2. Nem Miktarı

Havadaki nem miktarı, rüzgar enerjisinin sistemlerinde hava yoğunluğunun artmasına bağlı olarak verimi artırırken, güneş enerjisinin sistemlerinde ışığın geçirgenliğini azaltmakta, iklimin daha yağışlı ve bulutlanmasına sebep olduğundan verimin düşmesine neden olmaktadır.

6.10.3. Yükseklik

Yükseklik arttıkça rüzgar hızı genel olarak artmaktadır. Buna karşın hava yoğunluğu düştüğünden tam olarak yükseklikle hava hızı doğru orantılı olduğunu söyleyemesek de olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde fotovoltaik sistemler için hava yoğunluğu düşeceğinden dolayı havanın ışık geçirgenliğinin artmasıyla güneş enerjisi verimi artmaktadır. Bununla birlikte artan yükseklik havanın soğumasına neden olduğundan fotovoltaik panellerde ısınma probleminin azalmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla deniz seviyesinden yukarıya çıkılmasının, her iki sistemi de olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

6.10.4. Şehir Merkezine Uzaklığı

Şehir merkezlerinden uzaklık güneş enerjisinde hava kirliliğinin azalması dolayısıyla pozitif etki etmekle birlikte, rüzgar enerjisi için, binaların olmayışı nedeniyle yüzey pürüzlüğünün azalması şeklinde yine pozitif etki etmektedir.

Seçilen zeminlerin düz olması uygulama kolaylığı açısından her iki sistemi de olumlu yönde etkilemektedir.

6.10.5. Şebekeye Uzaklık

Şebekeye uzaklık her iki sistemde de kablolama ve alt yapı masraflarının artmasına sebep olduğundan her iki sistemi de olumsuz yönde etkilemektedir.

6.10.6. Sıcaklık

Güneş enerjisini etkileyen faktörleri detaylı incelediğimizde, sıcak olan bölgelerde yani güneşi daha çok alan bölgelerde güneş panelleri daha verimliken, ortam sıcaklığın panel çalışma sıcaklığını etkileyecek düzeyde yükselmesi güneş panelini olumsuz yönde etkilemektedir. Aynı şekilde sıcaklık değişimleri hava basınç farklılığı nedeniyle rüzgar oluşumuna neden olduğu düşünüldüğünde olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Ancak ortam sıcaklığının yükselmesi hava yoğunluğunun azalmasına neden olacağından türbinden elde edilen enerjinin düşmesine neden olabileceğini söyleyebiliriz. Genel itibarıyla ortam sıcaklığının artmasının her iki sistemi de olumsuz etkilediğini söyleyebiliriz.

6.10.7. Zemin Seçimi

Her iki sistemde de zemin etütleri sistemin uzun ömürlü ve sağlıklı çalışması bakımından önemlidir. Ayrıca kurulacak bölgelerin sel, deprem, yıldırım vb. afet riskleri her iki sistemi de olumsuz etkilemektedir. Seçilecek zeminlerin düz ve pürüzsüz olması, hava akımını olumlu yönde etkileyerek panel sıcaklıklarının düşmesine neden olurken rüzgarın da veriminin artmasına neden olmaktadır.

6.11. Enerji Verimliliği

Ticari olmayan daha küçük ölçekte kullanılacak olan sistemlerde, güneş enerjisi çözümlerinin pratik, taşınabilir, kolay kurulup, her gün bölgeye göre farklılık göstermekle birlikte az ya da çok elektrik üretebileceği düşünüldüğünde rüzgar enerjisine göre daha elverişli olduğu açıktır. Fakat rüzgarın elverişli olduğu ve sabit kullanılacak bölgelerde güneş enerjisi ancak hibrit olarak kullanımının uygun olacağı düşünülmektedir.

Ticari olarak kullanılacak sistemlerde Retscreen programı analizleri ve verimi etkileyen faktörler birlikte değerlendirildiğinde her iki sistemin avantajlı olduğu bölgelerde kurulmasının verimli olacağı anlaşılmaktadır.

6.12. Enerji Açığının Kapatılması

Türkiye'nin enerji ithalatı konu başlığından elde edilen veriler hesaplandığında, ithal ettiğimiz doğalgaz ve ithal kömür ile her bir TWh elektrik üretimi için sırasıyla 87,6 milyon dolar ve 75,8 milyon dolar harcanmaktadır. İthalatın büyük bir kısmı doğalgaz üzerinden sağlandığı için ağırlıklı ortalama sonucu 1 TWh elektrik üretmek için yaklaşık 84 milyon dolar ithalat yapıldığı tahmin edilmektedir.

En yüksek verimli bölgelerden biri baz alındığı durumda, Türkiye şartlarında 1 MW'lık bir rüzgâr türbinin net üretimi; Çanakkale Gökçeada'da 1,2 milyon dolarlık yatırım ve neticesinde yılda 3,4 GWh elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Yılda 1 TWh üretim için, 294,12 MW'lık rüzgâr türbin santraline ihtiyaç vardır. Dolayısıyla yıl sonunda 1 TWh elektrik üretebilmek için, 353 milyon dolarlık rüzgâr türbin yatırımına ihtiyaç vardır. Bu değer, yıllık doğalgaz ithalatına ödenen miktarın 4,2 katı kadar fazladır.

Aynı yöntem fotovoltaik için uygulandığında, 1,4 milyon dolar yatırımla 1 MW'lık bir fotovoltaik santralden yılda 1,52 GWh elektrik elde edilmektedir. Yılda 1 TWh elektrik üretmek için, yaklaşık 658 MW'lık fotovoltaik yatırımına ihtiyaç vardır. Bu yatırımın tutarı ise 921 milyon dolardır. Benzer şekilde bu değer yıllık doğalgaz ithalatına ödenen miktarın yaklaşık 11 kat fazlasıdır.

1 TWh elektrik üretimi için her yıl bu bedelleri ithalata vereceğimize bir defa vermek en iyi çözümdür. Rüzgar enerjisi sistemleri ve güneş enerjisi sistemleri arasında istatistiksel bir kıyasa gidildiğinde ülkemizin bürüt enerji ihtiyacını karşılayabilmek adına rüzgar enerjisini tercih etmek daha avantajlı görülmektedir.

2016 yılında üretilen 274 TWh elektriğin yaklaşık 142 TWh i ithal kaynaklıdır. Bu elektriği üretmek için yaklaşık 12 milyar dolar ithalata ödenmiştir. Her yıl bu bedelin ithalata ödendiği göz önünde bulundurulduğunda ağırlıklı olarak rüzgar enerji santrallerine yapılacak yatırımlarla, dışa bağımlılığın azaltılabileceği söylenebilir.

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu alanda yapılacak çalışmalara destek olmak ve yol göstermek amacıyla yapılan bu tez çalışmasında, Retscreen programı ve mevcut veriler değerlendirilerek rüzgar ve güneş enerji sistemleri kendi aralarında kıyaslanarak analizler yapılmıştır. Bu analizler neticesinde rüzgar enerjisinin ülkenin bürüt enerji ihtiyacını daha iyi şekilde karşılayacağı, daha iyi bir teşvik sistemiyle, ithalatına 2016 yılı itibariyle 12 milyar dolar ödenerek gerçekleştirilen enerji üretimi açığımızı azaltacağı anlaşılmaktadır. Her iki sistemde de enerjinin kesikli olması sebebiyle ülkemizin enerji ihtiyacının tamamının bu sistemlerden karşılanması söz konusu olamaz. Ancak iki sistem arasında ülke geneli ve Retscreen program analizleri neticesinde, bir kıyas yapılacak olursak, güneş enerjisinin ülke tüketiminin çok daha fazla olduğu gündüz saatleri (puant elektrik tarifesi diğer tarifelerden ortalama iki kat pahalı olduğu düşünüldüğünde) ve yaz aylarında daha iyi karşılayabildiği görülmektedir. Öte yandan ülkemizin genel enerji tüketiminin, sanayinin, popülasyonun daha yoğun olduğu Marmara ve Ege Bölgelerinde olduğu göz önüne alındığında, rüzgar enerji üretiminin de bu bölgelerde daha elverişli olması, enerji nakil hatlarının uygunluğu, alansal verimlilik anlamında daha yüksek verimli olması, elektrik iletim kayıpları birlikte düşünüldüğünde rüzgar enerjisinin ülke enerji tüketiminin bölgelere göre dağılımı açısından çok daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan Retscreen analiz çalışmalarında, araştırmalarda ve hesaplamalar neticesinde elde edilen veriler doğrultusunda çok yönlü kıyaslamalar yapılmış ve bazı sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 7.1: RES ve GES sistemlerinin kıyaslanması.

Kıyaslama Metodu	GES	RES
Hurda maliyeti hariç üretilen elektriğin birim fiyatı (\$/kWh)	0,0744	0,031
1 MW lık Santral (m ²)	20000	250
Her iki sistemin verimli olduğu bölgede 1 MW santral üretimi (MWh)	1519	3396
Verilen teşvikler (cent/kWh)	13,3	7,3
1 MW santral için gerekli ilk yatırımın yaklaşık maliyeti (milyon dolar)	1,45	1,2
Yıllık enerji ithalatının önüne geçmek için ithalata harcanan bütçenin kaç katı (x) ilk yatırım maliyeti ile aynı elektrik üretimi karşılanabilir	11	4,2

Retscreen analizlerinden anlaşılacağı üzere, ülkemizin en verimli alanlarına kurulacak RES ve GES birlikte düşünüldüğünde, yapılan istatistiksel çalışmalarda rüzgar enerjisinin fayda/maliyet anlamında ve yıllık üretilen toplam elektriğe bakıldığında, rüzgar enerjisi kaynaklarının güneş enerjisinden önce kullanılması gerektiği değerlendirilmektedir.

YEGM verileri ile Retscreen verilerinin kıyaslanması sonucunda tüm değerlerin birbiriyle örtüşmediği hatta bazı bölgelerde Retscreen verilerinin YEGM verilerine göre çok daha iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Günümüzde Danimarka'nın yıllık enerji ihtiyacının %40'ını rüzgar enerjisiyle karşıladığı düşünüldüğünde ülkemizin imkanları ve potansiyeli de göz önüne alındığında gerekli alt yapının hızla oluşturularak rüzgar enerjisi yatırımlarını gözle görülür oranda arttırmasının enerjide dışa bağımlılığı azaltacağı açıktır. Bununla birlikte, yerliliğin ön planda olmadığı bir başka deyişle kendimizin üretmediği, ithal edilen paneller ve türbinler ile bu katkının azalacağı da kaçınılmazdır.

2009 yılında Retscreen programıyla Türkiye'de hayali bir noktada (parametreleri 7m/s hız, 50 m kule yüksekliği ve %30 kapasite faktörü olarak belirlenmiş) yapılan çalışmada; elektriğin toptan satış fiyatı 64,5 \$/MWh ve rüzgar türbin ilk yatırım maliyetinin 2021580 dolar iken 1 MW'lık tesisin bu şartlarda kendisini 18 yılda amorti edeceği ifade edilmiştir [64]. Aradan geçen on yılda gerek türbin fiyatlarının ucuzlaması gerekse teşviklerin artmasıyla bu değer günümüzde fizibil hale gelmiştir.

Rüzgar türbin sektöründe son zamanlarda fiyatları daha da düşen Offshore rüzgar türbinlerinin de istatistiksel analizleri yapılmalı ve bunun neticesinde Onshore türbinlerin kapasite faktörü kaçın altına indiğinde geçilmesi gerektiği tespit edilmelidir. Rüzgar enerjisine verilen mevcut teşvikler karasal rüzgar türbinleri için yeterli gözükürken daha maliyetli olan offshore rüzgar türbinleri için ise yetersiz kalabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Ülkemizin rüzgar potansiyeli yüksek olan alanlarındaki yerel ölçüm istasyonu sayısının arttırılması ve bu istasyonlardan alınan verileri Retscreen gibi yerli yazılımlar ile analiz edilebilmesi durumunda, rüzgar santralleri için yapılacak fizibilite analizlerinden daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Böylelikle proje başlangıç öncesi saha ölçüm için beklenmesi gereken sürelerin azalacağı da düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Schiffer H-S., Word Energy Council, (2016), Word Energy Resources, UK.
- [2] Fraile D., Mbistrova A., (2018), Wind Europe, Wind In Power, Brüksel.
- [3] Web 1, (2018), http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html, (Erişim Tarihi: 11/07/2018).
- [4] Web 2, (2018), <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>, (Erişim Tarihi: 13/10/2018).
- [5] ETKB, (2017). Dünya ve Ülkemiz Tabii Kaynaklar Görünümü, Sayı 15, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- [6] Web 3, (2018), <https://www.teias.gov.tr/tr/iii-elektrik-enerjisi-uretimi-tuketimi-kayıplar-0>, (Erişim Tarihi: 10/31/2018).
- [7] Web 4, (2018), <https://www.teias.gov.tr/tr/ii-turkiye-kurulu-gucunun-kullanim-degerleri>, (Erişim Tarihi: 10/31/2018).
- [8] TEİAŞ, (2016), Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim Kapasite Projeksiyonu 5 Yıllık (2016-2020), Türkiye Elektrik İletim AŞ.
- [9] EPDK, (2016), “Doğalgaz Piyasası Sektör Raporu”, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu.
- [10] Yıldız T., (2014). TBMM Plan ve Bütçe Sunumu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- [11] TKİK, (2016), Kömür (Linyit) Sektör Raporu, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.
- [12] Web 5, (2018), <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/ruzgar>, (Erişim Tarihi: 11/07/2018).
- [13] Web 6, (2018), https://www.mgm.gov.tr/FILES/haberler/2010/retsseminer/2_Mustafa_CALISKAN_RITM.pdf, (Erişim Tarihi: 11/07/2018).
- [14] Web 7, (2018), <https://www.statista.com/statistics/421847/wind-power-capacity-in-turkey/>, (Erişim Tarihi: 11/07/2018).
- [15] Web 8, (2018), http://www.ttmd.org.tr/userfiles/file/TTMD_calistay_mcaliskan.pdf, (Erişim Tarihi: 11/07/2018).

- [16] Sulukan E., Uyar T., (2009), Gökçeada ve Türkiye İçin Karşılaştırmalı Rüzgar Enerji Santrali Fizibilite Çalışması, *Journal of Naval Science and Engineering*, 5(3), 55-63.
- [17] Arıkan Y., Çam E., (2017), Rüzgar ve Güneş Enerjisi Sistemlerinin Fizibilite Analizlerinin Web Tabanında Gerçekleştirilmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1).
- [18] Merkan B., (2014), “Orta Ölçekli Hidroelektrik Enerji Tesislerinin İncelenmesi İçin Örnek Bir Çalışma-Bağışlı Regülatörü ve HES”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [19] Alkan A., (2016), “Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları İle Beslenen Konutlarda Akıllı Enerji Depolama Ve Yönetim Sistemleri”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- [20] Akkaya S., (2007), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi ve Bir Rüzgar Enerjisi Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi.
- [21] Taşkın B., (2013), “Niğde İlinde Kurulabilecek Rüzgar Enerjisi Santralinin Fiziksel ve Ekonomik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi.
- [22] Buğrahan A., (2014), “Nükleer Enerjiye Karşı Güneş Enerjisi (Nuke Vs. PV): Türkiye İçin Ekonomik Uygulanabilme ve Çevresel Açidan Karşılaştırması”, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- [23] Baloğlu B., (2011), “Trakya Bölgesinde Enerji Verimliliğine Yönelik Bina Tasarımı: Çorlu Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi.
- [24] Ipung H., Tjiandrasa H., (2017), “Urban Road Materials Identification using Narrow Near Infrared Vision System”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 3(7), 1171-1179.
- [25] Dubey G. N., (2010), “Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications”, Royal Society of Chemistry 1. Edition.
- [26] Durak F., (2016), “Fotovoltaik Sistemlerin Ekonomik Analizi: Malatyadaki Bir Kamu Binası Örneği”, Doktora Tezi, T.C. İnönü Üniversitesi.
- [27] Abdelhady S., (2011), “Comments On Einstein’s Explanation Of Electrons, Photons, and The Photo-Electric Effect”, *Applied Physics Research* (s. 230-237).
- [28] Habberlin H., (2012), *Photovoltaics System Design And Practice*, John Wiley & Sons Ltd.
- [29] Phillips S., Warmuth W., (2018), *Photovoltaics Report*, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE., Germany.

- [30] Skaaland A., Ricke M., Wallevik K., Strandberg R., Imenes A. (2011), Potential and Challenges for Building Integrated Photovoltaics in the Agder Region. Kristiansand: Agderforskning Gimlemoen.
- [31] Robyns B., Davigny A., François B., Henneon A., Sprooten J., (2012), Electric Production From Renewable Energies, London, ISTE Ltd.
- [32] Valavanidis A.,(2016), “Renewable And Environmentally Sustainable Energy Sources”, The Role Of Chemistry and New Technological Developments, Athens.
- [33] Boz O., (2011), “Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.
- [34] Başoğlu M., Kazdaloğlu A., Bilgin M., Erfidan T., Çakır B., (2014), “Farklı Güneş Paneli Teknolojilerinin Kocaeli ili için Performans Değerlendirmesi”, Elektrik Elektronik Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.
- [35] Arslan İ.,(2018), “Tekirdağ Koşullarında Polikristal ve Monokristal Tip Pv Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi.
- [36] İmamoğlu Ü., (2015), “Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırması”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- [37] Öztürk A., (2012), “Monokristal ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi.
- [38] Yılmaz M., (2013), “Güneş Takip Sistemi İle Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri Ve Optimum Verimin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi.
- [39] Bükün N., (2017), “Siirt Yöresi İçin Tek Eksenli Güneş Takip Sistemli Güneş Panellerinin Enerji Verimliliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi.
- [40] Omubo-Pepple V., Israel-Cookey C., Alaminokuma A., (2009), “Effects of Temperature, Solar Flux and Relative Humidity on the Efficient Conversion of Solar Energy to Electricity”, European Journal of Scientific Research, Nigeria.
- [41] Web 9, (2018), https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.10/pv_temperature_coefficient_of_power.html, (Erişim Tarihi: 12/01/2018).

- [42] Eldın Hossam A., Gabra C., Ahmed H.H. Ali., (2014), “A Comparative Analysis Between the Performances of Monocrystalline, Polycrystalline and Amorphous Thin Film in Different Temperatures at Different Locations in Egypt”, Alexandria University, Alexandria, Egypt.
- [43] Raza M., Amın R., Malık A., Kası M., Muhammad F., (2017), “Analysis of The Impact of Environmental Factors on Efficiency of Different Types of Solar Cells”, Balochistan University of Information Technology Engineering and Management Sciences, Sibi, Pakistan.
- [44] Majewski G., Kozłowska W., Czechowski P., Badyda A., Brandyk A., (2015), “The Impact of Selected Parameters on Visibility: First Results from a Long-Term Campaign in Warsaw, Poland”, Atmosphere 6(8): 1155-1174.
- [45] Coşkun M. (2003), “Coğrafya Öğretiminde Nem Konusundaki Kavram Yanlışlıkları ve Giderilmesine Yönelik Öneriler”, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 3.
- [46] Omubo-Pepple V., Tamunobereton-Ari I., Kamara M., (2013), “Influence Of Meteorological Parameters On The Efficiency Of Photovoltaic Module In Some Cities In The Niger Delta Of Nigeria”, Journal of Asian Scientific Research, Nigeria.
- [47] MGM, (2018), Türkiye yıllık ortalama nem dağılımı, Metroloji Genel Müdürlüğü.
- [48] Mekhlief S., Saidur R., Kamaliservestani M., (2012), “Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells”, Elsevier, Malaysia.
- [49] Panjwani M., Narejo G., (2014), “Effect of Humidity on the Efficiency of Solar Cell (photovoltaic)”, International Journal of Engineering Research and General Science, Pakistan.
- [50] Kazem H., Chaichan M., Al-Shezawi I., Al-Saidi H., Al-Rubkhi H., Al-Sinani J., Al-Waeli A., (2012), “Effect of Humidity on the PV Performance in Oman”, Asian Transactions on Engineering, Oman.
- [51] Al Dulaimi N., (2017), “Design of an Off-Grid Solar PV System for a Rural Shelter”, German Jordanian University, Amman.
- [52] Demirtürk C., (2013), “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgar ve Güneş Enerjisi Karşılaştırmalı Yatırım Fizibilitesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi.
- [53] Gökçınar R., (2008), “Rüzgar Enerjisi Fayda Maliyet Analizi Ve Hibrit Sistemler”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- [54] Karık F., Sözen A., İskender Ü., (2015), “Türkiye’de Rüzgar Enerjisinde Mevcut Durum”, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 (2), 223.
- [55] Güvenç Ş., (2011), “Rüzgâr Santrallerinin Önündeki Teknik Ve Ekonomik Kısıtlar”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi.
- [56] Koç E., Şenel M.,(2016), “Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Optimum Türbin Parametrelerinin Belirlenmesi-Teorik Yaklaşım”, Mühendis ve makina, 57(676), 33.
- [57] Torasa C., Sermsri N., (2015), “The Application of Roof Ventilator for Electricity Generation”, 7th World Conference on Educational Sciences, Athens.
- [58] Letcher T., (2017), Wind Energy Engineering, Elsevier, UK.
- [59] Web 10, (2018), <https://www.tureb.com.tr/turebsayfa/neden-ruzgar-enerjisi>, (Erişim Tarihi: 12/02/2018).
- [60] Web 11, (2018), http://www.turkcewiki.org/wiki/Uluslararası%20B1_Standart_Atmosfer, (Erişim Tarihi: 21/18/2018).
- [61] Şenkal A., Çetin N., (2009), “Türkiye’de Kurulu Olan Büyük Güçlü Rüzgar Santrallerinin Kapasite Faktörlerine Genel Bir Bakış”, Ege Bölgesi Enerji Forumu, Denizli.
- [62] Yıldırım, H., (2017), “Rüzgâr Enerjisi Santral Yatırımlarında Geri Ödeme Süresinin Monte Carlo Simülasyonu İle Belirlenmesi”, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi, Haziran(82), 90, 96.
- [63] ResGaz, (2010), 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Kanunu, Resmi Gazete.
- [64] Akbulut U., Doğan B., Kincay O., (2009), “RetScreen Programı Kullanılarak Türkiye Şartlarında Uygun RES Projelerinin Ekonomik Analizi”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi(59), 27-32.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Hüseyin KARABUL 12.12.1983 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 2012 yılında yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında başladı. 2013 yılından bu yana T.C. Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığında Teknik Hizmetler Şube Müdürlüğü görevini sürdürmekte olan Muhammed Hüseyin KARABUL evli ve bir çocuk babasıdır.

