

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN İNCELENMESİ VE VERİMLİLİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike DOĞAN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cemalettin KUBAT

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN
İNCELENMESİ VE VERİMLİLİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike DOĞAN

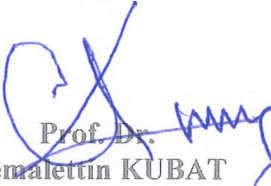
Enstitü Anabilim Dalı


ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı

MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ

Bu tez 13.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Cemalettin KUBAT
Jüri Başkanı


Dr. Öğretim Üyesi
Buket KARATOP
Üye


Dr. Öğretim Üyesi
Alper KIRAZ
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Melike DOĞAN

06.04.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince değerli katkılarıyla bana destek olan ve fikirleriyle tezimin planlanmasında yardımda bulunan, teşvik eden danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cemalettin KUBAT'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmalarımda yol göstererek, bilgisi ve ilgiyse yanımda olan, değerli zamanını benimle paylaşan Sayın Dr. Öğr.Üyesi Buket KARATOP'a ve mesleğimi icra ettiğim ilk zamanlarımdan itibaren bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, her zaman desteğini sağlayan, sahip olduğum mesleki tecrübelerimde en önemli katkıya sahip olan Sayın Elektrik Elektronik Mühendisi Erkan GÜÇYETMEZ'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerji	1
1.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji ve Güneş Enerjisi	4
BÖLÜM 2.	
GÜNEŞ ENERJİSİ	9
2.1. Fotovoltaik Teknoloji	9
2.2. Fotovoltaik Piller	10
2.2.1. Fotovoltaik pil yapısı	11
2.2.2. Fotovoltaik pil çeşitleri	15
2.2.3. Fotovoltaik pilin kullanımı	17
2.3. Fotovoltaik Pillerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler.....	18
2.3.1. Sıcaklık	18
2.3.2. Yüzey	20
2.3.3. Spektral ve açısal etki.....	20

2.4. Güneş Enerjisi Elektrik Üretim Sistem Ekipmanları.....	21
2.4.1 İnverter	22
2.4.2. Akü	22
2.4.3. Şarj regülatörü.....	23
2.5. Fotovoltaik Sistem Tasarımları	23
2.5.1. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler	23
2.5.2. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler	24
2.5.3. Karma sstem tasarımları	25

BÖLÜM 3.

GÜNEŞ ENERJİSİ ARAŞTIRMALARI	26
3.1. Güneş Enerjisi Avantajları	26
3.2. Güneş Enerjisi Dezavantajları	26
3.3. Güneş Enerjisi Kullanımının Çevresel Etkileri	27
3.4. Güneş Enerjisinin Ekonomik Etkileri	28

BÖLÜM 4.

TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİ SWOT ANALİZİ	31
4.1. SWOT Analizi	31
4.1.1. İç faktörler	31
4.1.2. Dış faktörler	33
4.2. Güneş Enerjisi Üretiminde SWOT Analizinin Önceliklerinin Belirlenmes ve Stratejiye Odaklanma	35

BÖLÜM 5.

MEVCUT GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN ÜRETİM VERİLERİ İLE İNCELENMESİ	43
5.1. Çatı Uygulamalı Güneş Enerjisi Santrali	44
5.2. Arazi Uygulamalı Güneş Enerjisi Santrali	56
5.3. Güneş Enerjisi Santrallerinin Analizi	61

BÖLÜM 6.

SONUÇ VE ÖNERİLER 67

KAYNAKLAR 72

ÖZGEÇMİŞ..... 76



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrat Derece
°F	: Fahrenheit Derece
a-Si	: Amorf Silisyum
AC	: Alternatif akım
AGM	: Absorbent Glass Mat
Ah	: Amper saat
B	: Bor
CdTe	: Kadmiyum Tellür
CIGS	: Bakır İndiyum Galyum Diselenid
CIS	: Bakır İndiyum Diselenid
CLFR	: Kompakt lineer fresnel yansıtıcı
CPV	: Konsantre fotovoltaik
c-Si	: Silikon
CSP	: Konsantre güneş enerjisi
DC	: Doğru Akım
DSSC	: Boya duyarlı güneş hücresi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GaAs	: Galyum Arsenit
GEPA	: Güneş enerjisi potansiyeli atlası
GES	: Güneş enerjisi santrali
GW	: Gigawatt
IPARD	: Instrument for Pre-accession Assistance in Rural Development
IRENA	: International Renewable Energy Agency
J/m ²	: 1 metrekarede bulunan Joule
kW	: Kilowatt

kWh	: Kilowattsaat
kWh/m ²	: 1 metrekareye düşen kilowattsaat
kWh/m ² -gün	: 1 metrekareye düşen kilowattsaatin günlük değeri
kWp	: Kilowatt peak
kWe	: Kilowatt enerji
m ²	: metrekare
mc-Si	: Çok kristalli silisyum
MPP	: Maksimum Güç Noktası
MPPT	: Maksimum Güç Noktası Takibi
MW	: Megawatt
P	: Fosfor
PV	: Fotovoltaik
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
Sc-Si	: Tek kristalli silikon
Si	: Silisyum
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TiO ₂	:Titanyum Dioksit
TKDK	: Tarımsal Kalkınma ve Destekleme Kurumu
V	: Volt
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Dünyadaki yenilenebilir enerji kapasitesi 2008-2018	2
Şekil 1.2. Güneş enerjisi potansiyeli atlası	5
Şekil 1.3. Türkiye güneşlenme süreleri (saat)	5
Şekil 1.4. Türkiye Global Radyasyon değerleri (KWh/m ² -gün)	5
Şekil 1.5. 2019 Mart ayı itibari ile kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (MW)	6
Şekil 2.1. n-tipi yarı iletken yapıları	12
Şekil 2.2. p-tipi yarı iletken yapıları	13
Şekil 2.3. p-n eklemine çalışma ilkesi.....	14
Şekil 2.4. Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma düzeneği.....	15
Şekil 2.5. Fotovoltaik güç için hücre, modül ve dizi oluşumları.....	18
Şekil 2.6. Seri ve paralel bağlı güneş hücrelerinin I-V eğrileri	18
Şekil 2.7. Güneş izleme sistemi ve MPPT cihazlarının sisteme bağlanmaları	21
Şekil 2.8. Şebekeden bağımsız sistem şeması	24
Şekil 2.9. Şebekeye bağımlı sistem şeması	25
Şekil 2.10. Karma sistem şeması.....	25
Şekil 3.1. Güneş PV kapasitesi ve güç artış miktarları ilk 12 ülke sıralaması, 2018.....	29
Şekil 3.2. 2010'dan 2017'ye kadar olan dönemlerde küresel yenilenebilir enerji düzeyindeki elektriksel (LCOE) maliyetlerdeki eğilimlere genel bakış	30
Şekil 3.3. Hedefleri enerji verimliliği ve politikaları olan ülkeler- 2017 sonu	30
Şekil 5.1. Çanakkale ili toplam güneş radyasyonu	44
Şekil 5.2. Merkez global radyasyon değerleri (KWh/m ² -gün).....	49
Şekil 5.3. Merkez güneşlenme süreleri.....	49
Şekil 5.4. 12 Haziran 2018 günlük elektrik üretim miktarı	54

Şekil 5.5. Merkez PV tipi-alan-üretebilecek enerji (KWh-yıl)	55
Şekil 5.6. Bayramiç global radyasyon değerleri (KWh/m ² -gün)	56
Şekil 5.7. Bayramiç güneşlenme süreleri (saat)	56
Şekil 5.8. Güneş ışınları ile eğik yüzey arasındaki açılar	59
Şekil 5.9. Panel yerleşim detayı	59
Şekil 5.10. Bayramiç PV tipi-alan-üretebilecek enerji (KWh-yıl)	61



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Fotovoltaik hücre yapımında kullanılan malzemelerin verimlilik yüzdeleri	17
Tablo 4.1. Güneş enerjisi SWOT analizi	36
Tablo 4.2. SWOT ana faktörlerinin yerel ağırlıkları	37
Tablo 4.3. SWOT güçlü yönler alt faktörünün yerel ağırlıkları	37
Tablo 4.4. SWOT zayıf yönler alt faktörünün yerel ağırlıkları	37
Tablo 4.5. SWOT fırsatlar alt faktörünün yerel ağırlıkları	38
Tablo 4.6. SWOT tehditler alt faktörünün yerel ağırlıkları	38
Tablo 4.7. SWOT faktörlerinin önceliklendirilmesi	39
Tablo 5.1. PV panel katalog bilgileri	46
Tablo 5.2. İnverter katalog bilgileri.....	46
Tablo 5.3. Çatı uygulamalı güneş enerjisi santrallerine ait GEPA değerleri kapsamında ön görülen üretim ve bir yıl içerisinde gerçekleştirilmiş olan üretim değerleri	51
Tablo 5.4. Çatı uygulamalı güneş enerjisi santraline ait 12 Haziran 2018 tarihinde üretilen saatlik güç değerleri	54
Tablo 5.5. Arazi uygulamalı güneş enerjisi santrallerinden birincisine ait bölge için geçerli görülen GEPA değerleri ve elektrik üretim miktarları ...	57
Tablo 5.6. Arazi uygulamalı güneş enerjisi santrallerinden ikincisine ait bölge için geçerli görülen GEPA değerleri ve elektrik üretim miktarları ...	60

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, fotovoltaik teknoloji, SWOT analizi, güneş enerjisi stratejisi

İnsanoğlu hayatlarının her anında yaşadıkları dünyanın içersin de gizlediği sırları merak ve heyecan ile keşfetme yollarını aramıştır. Keşfedilen her bir adım bir diğer gizemin çözülmesini sağlarken yaşam içerisinde de değişimler ve yenilikler gerçekleştirmiştir. Bilim, kültür, medeniyet oluşumları ilerlemelerinin neticesinde teknolojiyi, uzay keşiflerini hatta başka bir gezegende yaşamının önceliklerini oluşturmuşlardır. Enerji her zaman bu süreçlerin içerisinde var olmuş, farklı kaynak ve yöntemler ile kendi değişimini ve gelişimini sağlamıştır. Günümüze ulaştığımız vakit enerjiyi farklı türleri ile bir o kadar etkin kullanırken, kaynaklarının sunmuş olduğu zararlı etkileri göz ardı edilmektedir. Dünya ve yaşam için olumsuz bir sürecin de yaratılmış olduğu görülmektedir. Temel olarak üç problem yer almaktadır. İlki enerji kaynaklarının bizlerde dahil canlılar üzerinde zararlı etkileri ve dünya üzerindeki küresel ısınmayı oluşturmasıdır. İkincisi zaman içinde enerjinin hayatlarımızın en önemli noktalarından biri haline geldiği bilinen bir gerçektir. Temel olarak fosil yakıtların kullanımının zaman içerisinde tükenecek olması ısınma, elektrik enerjisi gibi temel ihtiyaçların ve bunlara bağlı gelişen ihtiyaçlarında sonlanması riskini taşımaktadır. Üçüncü durum ise ciddi savaşlar sonucunda dünya haritasında ülke sınırları belirlenmiş olup günümüzde ekonomi ve enerji uğruna savaşlar hala devam etmektedir. Enerji kaynaklarının yetersiz ya da olmayışı bir ülke için dışa bağımlılık arz ettirmektedir. Tüm bu problemleri aşabilecek alternatifler bulmak adına bilimsel araştırmalar geliştirilmiş ve araştırmalar üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Sonucunda kesin sonuçlar oluşturmasa da hızlı ilerleyen süreç ve adımlarıyla yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı başlamıştır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ele alınmaktadır. Uygulama sürecinin nasıl başladığı, enerji üretim teknolojisinin hangi temele dayandığı, dünyada ve Türkiye’de yatırım ve kullanımların geldiği son durum, Türkiye’de güneş enerjisinin yarattığı etkilere dayalı SWOT analizine yer verilmiştir. SWOT analizi üzerinde fuzzy AHP yönteminden yararlanılarak Türkiye’de güneş enerjisi stratejileri öncelik sıralaması belirlenmiştir. Güneş enerjisinin verimini etkilediği tespit edilen faktörlerin ne kadar etkili olduğu ve olabileceği aynı ilde yer alan, mevcut iki farklı uygulamaya sahip güneş enerjisi santralleri üzerinden net üretim değerleri ile incelenmiştir.

INVESTIGATION F SOLAR POWER PLANTS AND PRODUCTIVITY ANALYSIS

SUMMARY

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Fotovoltaic Technology, SWOT Analysis, Solar Energy Strategy

In every moment of his life, mankind seeks to uncover hidden mysteries in the world with excitement and curiosity. While every uncovered mystery has caused another one to be solved, it has also brought about changes and innovations in life. As a result of science, culture, civilization formations which have been improved, they have induced discoveries of technology and space, even priorities of living on another planet. Energy has always been presence in these periods, and it has ensured its own change and improvement by means of different sources and methods. Whereas energy, with its different kinds, is currently utilized in an efficient way, its harmful impacts coming from its resources are being ignored. It is observed that this leads to a negative process for the world and life. There are basically three problems. The first one is global warming in the world, and the harmful, consumeristic impacts of energy resources on all living creatures including people. The second one is the known fact that energy has been one of the most important things in our lives. The usage of fossil fuels will come to an end over time and this situation puts fundamental needs such as warming and electric energy and also the related needs in jeopardy. The third one is that borders of countries have been determined on the world map as a result of serious wars and today, wars still continue for the sake of energy and economy. Countries with inadequate or no resources are forced to be dependent on outside financial sources. To find alternatives in an attempt to overcome all these problems, scientific researches have been carried out and they are still carried out and improved. Although the result hasn't any precise effects, the usage of renewable energy sources has begun thanks to progressive processes.

In this research, the solar energy, one of the renewable energy sources, has been handled. It includes the SWOT analysis about how the implementation process began, on which basis energy production technology is depended, the final situation of investments and usages in both Turkey and the world, and impacts of solar energy in Turkey. The order of priority in solar energy strategies in Turkey has been determined in SWOT analysis by means of the fuzzy AHP method. With help of net production values in solar power plants with two different implementations in same province, it analyzes how efficient factors affecting efficiency of solar energy have been and can be.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Yenilenebilir Enerji

Enerji, kavramsal olarak 17.yy itibari ile bir fikir üzerinden ortaya çıkmış ve bilim insanlarının yaşam içerisindeki bilinmezlikleri çözümlene arzuları bu fikrin üzerinde çalışmaların ilerlemesine, birkaç yüzyıl sonrasında ilk tanımlaması yapılarak var olan fiziksel sistemlerin nicel olarak ifade edilebilmesi sağlanmıştır. Termodinamik yasalarından pek çok fiziksel teorilerde enerjinin korunumu yasası geçerliliğini korumaktadır. Buna göre enerji yoktan var edilemez, var olan yok edilemez fakat enerji kendi değişimini ve dönüşümünü yaratabilir. Kinetik, potansiyel, kimyasal, ısı, elektrik, mekanik, manyetik, nükleer, ses, ışık olarak enerji birçok formda olabilir.

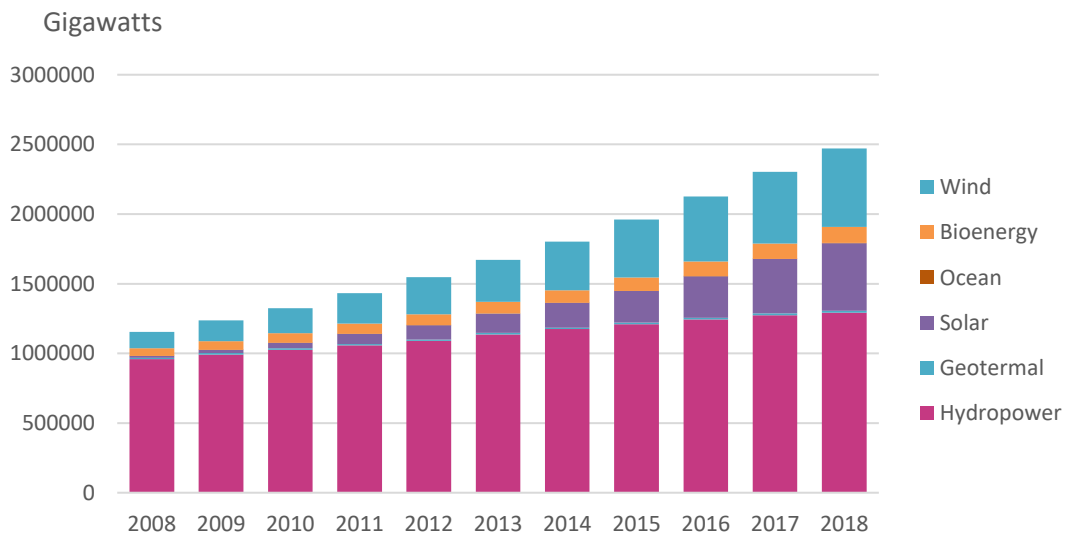
Araştırmaların devamında enerji formlarının kullanımına ilişkin çalışmalar yürütülmüştür. Günümüzde teknolojinin gelişimini destekleyen enerji aynı zamanda teknoloji sayesinde kendi gelişiminide sürdürmektedir. Öyle ki enerjinin gelmiş olduğu nokta geleceğin en önemli yapıtaşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Geçmiş zamanların bilimin önemli konusu, şimdiki zamanda dünyanın en önemli ihtiyacına dönüştüğünde tüketime karşın üretimin dengelenmesi hatta daha da ilerleri seviyelerde tutulabilmesi, gelecek zaman için ise yeni bir dünyanın keşfi ve oluşum halini almıştır.

Yüzyıllardır kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar olarak adlandırılan enerji kaynaklarının özellikle ısı, elektrik ve yakıt kullanımı için, milyonlarca yıl içerisinde oluşumlarını tamamladıkları dünya üzerindeki bölgelerde enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Ancak kaynak rezervlerinin bulunduğu bölgelerde ekonomik liderlik yaratmakta enerji ihtiyacını karşılayamayan rezervi bulunmayan ülkeleri bağımlı hale getirmektedir. Enerji kaynak ihtiyacının her geçen yılda artış göstermesi

durumun sanayi, iletişim, teknoloji, uluslararası ekonomi ve siyasi ilişkileri etkileyen bir faktör halini almıştır. Sonralarda gerçekleşmekte olan enerji krizleri, tüketime karşın üretimlerin yetersiz kalması ve fosil yakıt tüketimine dayalı oluşan küresel ısınma etkileri alternatif enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Önemli ölçütler bulunması gereken kaynakların tükenmeyen, tekrar kullanılabilen, dönüştürülebilir ve çevreye fosil yakıtlar kadar zararlı etkiler yaratmayacak olmalarıdır.

Güneş, rüzgar, atık ve su kaynaklı doğada varlığını sürdürecektir ve bunların dönüşümlerini temiz ve sürdürülebilir kılacak olan teknoloji ile yenilenebilir enerji kaynaklarının süreci başlamıştır. Hidrolik enerji, biyokütle, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi, güneş enerjisi, dalga (gel-git) enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her geçen yıl artış göstermektedir. Fosil kaynaklar üzerine kurulu olan enerji üretim sistemlerinin yenilenmesi, dönüştürülmesi zaman alacaktır. Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların %73,5'ini fosil yakıtlardan, %26,5'ini ise yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. 2018 yılı sonu itibarı ile küresel yenilenebilir enerji toplam kapasitesi uluslararası yenilenebilir enerji ajansı (IRENA) tarafından verilen veriler dahilinde Şekil 1.1.'de yer almaktadır.



Şekil 1.1. Dünyadaki yenilenebilir enerji kapasitesi 2008-2018 [1]

Veriler yakından incelendiğinde son 10 yıllık süreç içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi yatırım ve kurulumlarında ciddi artış gözlenmiştir. Güneş enerjisinin hem elektrik hem ısı için kullanımı, kolay kurulum sağlaması en önemlisi küresel anlamda erişiminin bulunması önceliklendirilmesini sağlamıştır.

Güneş enerjisi, bir tür yayılan enerjidir. İklimsel, bölgesel, ihtiyaç ve kullanıma uygun verimli şekilde yararlanabilmek adına güneş enerjisi teknolojileri geliştirilmektedir. Uygulama metotları bakımından farklı materyal ve teknoloji barındıran bu sistemler ısı ve direk elektriğe dönüşüm tabanlı olarak kategorize edilirler. Isıl güneş teknolojisi odaklanmış güneş enerji sistemleri (CSP) tarafından gerçekleştirir. Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürür ve üretilen ısı enerjisinin doğrudan kullanımını (sıcak su kazanımı veya ev ısıtma sistemi olarak) ya da elektrik üretimi için tekrar kullanılmasını sağlar. Yapısal olarak farklı ayna konumlarında güneş ışığını toplar, konsantre bir hale getirerek yüksek sıcaklıkta ısı dönüşümünü sağlar ve sistem içerisinde kullanılan akışkan, yoğun ısı ile birleşerek buhar halini alır [2]. Elektrik üretimi için ise elde edilen buhar jeneratöre gönderilerek istenilen değerlerde enerji üretimi sağlanabilmektedir. CSP sistemler parabolik oluklu, kompakt lineer fresnel yansıtıcı teknolojisi (CLFR), güneş kulesi, çanak sistem toplaç olarak çeşitli sistemleri yer almaktadır [2]. Direk elektrik enerjisi üretimi fotovoltaik sistemlere bağlı olarak gerçekleşir. Sistem CSP ye göre farklı ekipmanlardan bir araya gelmektedir. Fotovoltaik hücreler yüzeyinden güneş ışınımının iyonizer hale getirilerek yarı iletken iletken malzeme yapıları sayesinde doğrudan elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirirler. Kullanımları enerji ihtiyacına göre farklı büyüklükte kurulum imkanı sağlamaktadır. Modüler ünite olmaları her alanda kullanımları mümkün kılmaktadır. İlk kurulum maliyetlerinin pahalı oluşu dezavantajı olarak görülsede gün geçtikçe teknolojilerindeki yeni kazanımları sayesinde maliyetlerinde azalmalarda görülmektedir. Bireysel ve bölgesel olarak elektrik enerjisi üretim ve kullanım imkanı sunması, temiz, sürdürülebilir ve işletme maliyetlerinin bulunmaması yatırım bazında öncelik sunmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında kendi bünyesel yatırımlarında fosil yakıt kullanıma alternatif olarak yükseliş göstermektedir.

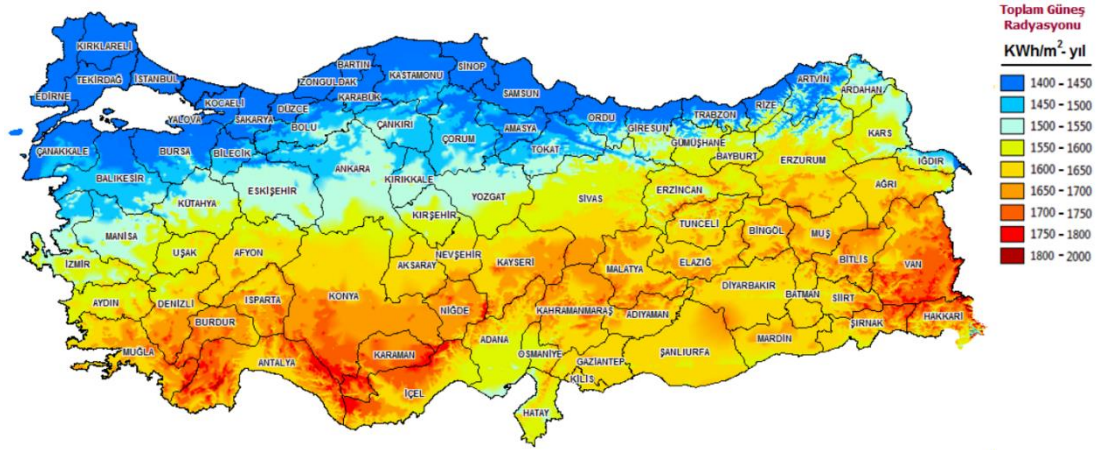
Özellikle uzun bir sürecin ardından son 20 yıldır ciddi ivme kazanan yenilenebilir enerji kaynak kullanımı dünyadaki tüm dengelerin yeniden belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. %100 yenilenebilir enerji hedefi ile bir çok ülke gelecek yıllar için strateji ve politikalarını belirlemektedir.

1.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji ve Güneş Enerjisi

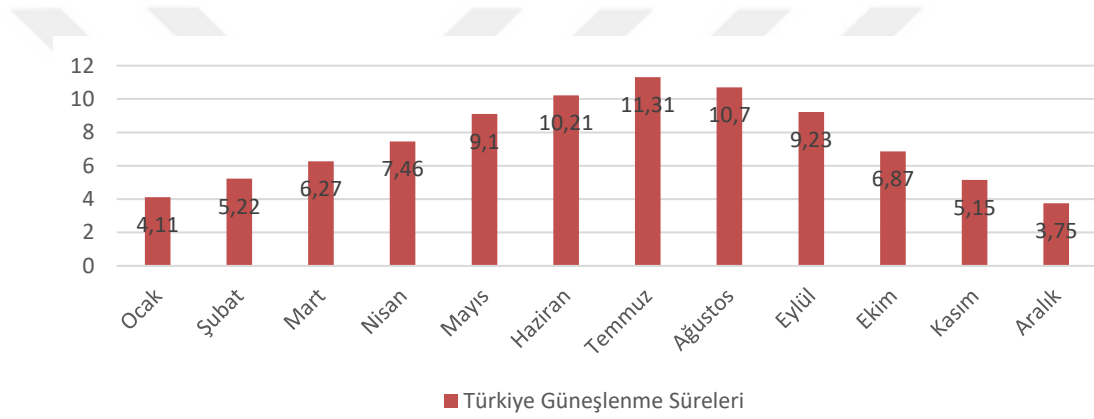
Türkiye fosil enerji kaynakları bakımından yetersiz, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Fosil kaynak rezervleri (petrol, doğalgaz, taş kömür) enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli değildir. Bu sebepten dolayı ithalat gerçekleştirmek durumundadır. Linyit rezervi yüksek olsa da çıkarılan linyit taş kömürüne nazaran daha düşük kalitedir ve ısıl değeri düşük olduğu için termik santrallerde kullanımı sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından ise durum son derece parlaktır. Coğrafi konumu, bölgesel ve doğal oluşum yapısı rüzgâr, biokütle, hidrolik özellikle de jeotermal ve güneş enerjisi için verimlidir.

Jeotermal enerji için son beş yıllık kapasite artışına bakıldığında 800 MW üzeri bir büyüme gerçekleşmiş ve bunun 243 MW gücü sadece 2017 yılında gerçekleştirilmiştir [1]. Bu değer ile küresel payda jeotermal kapasite artışı sıralamasın da Türkiye 2017 yılı için 2. sırada yer almıştı. 2018 yılında 219 MW büyüme gerçekleştirerek küresel payda jeotermal kapasite artışında 1. sırada yer almaktadır [1].

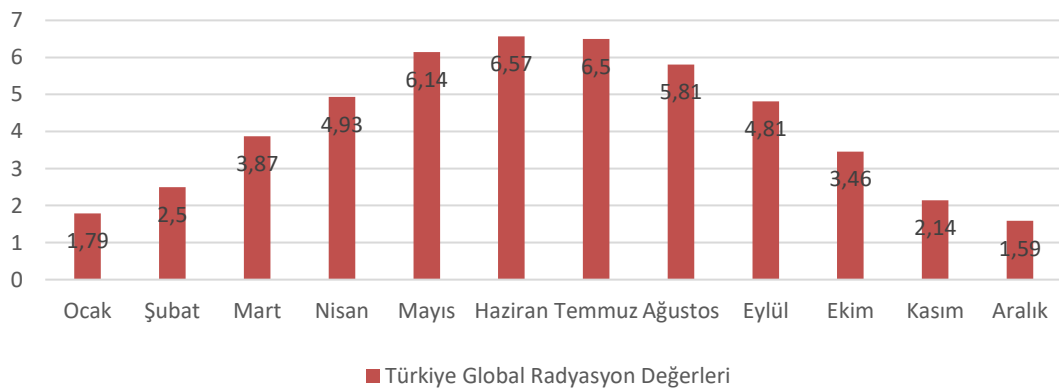
Güneş enerjisi için ise Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün resmi sayfasında yayınlanan raporlara göre (Şekil 1.2., Şekil 1.3., Şekil 1.4.) Türkiye yıllık 2741 saat güneşlenme süresine ve yıllık 1527 kWh/m² toplam gelen güneş enerjisine sahip olduğu belirtilmiştir [3]. Bölgelere göre dağılıma bakıldığında en uzun güneşlenme süresi ve toplam güneş enerjisi (ışınım yoğunluğu) Güneydoğu Anadolu, en az değerlere sahip bölgenin Karadeniz olduğu gözlenmektedir [3].



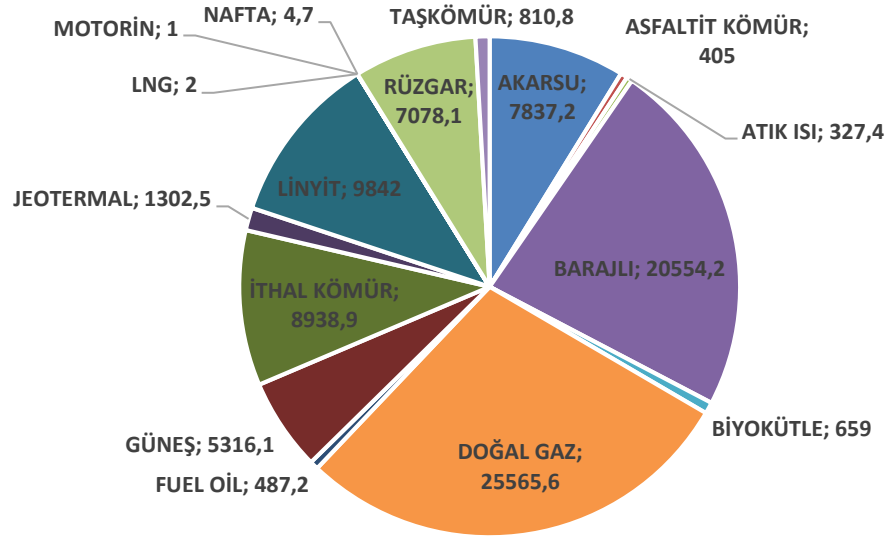
Şekil 1.2. Güneş enerjisi potansiyeli atlası [3]



Şekil 1.3. Türkiye güneşlenme süreleri (saat) [3]

Şekil 1.4. Türkiye Global Radyasyon değerleri (KWh/m²-gün) [3]

Yenilenebilir enerji özellikle 2000’li yıllardan sonra yatırımlarının hız kazanması ile Türkiye’de kurulu güç dağılımı 2019 Mart ayı itibari Şekil 1.5.’te net verilere bakıldığında %47,58’lik bir dilime ulaşmıştır. Toplam 89131,7 MW kurulu gücün 5316,1 MW güneş enerjisine aittir [5].



Şekil 1.5. 2019 Mart ayı itibari ile kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (MW) [5]

Yenilenebilir enerji kaynakları kurulu güçte büyük bir dilime sahip olsa da enerji üretiminde ki payı %31,5’ini karşılamaktadır. Paydaki artışını desteklemek üzere yenilenebilir enerji yatırımlarına hız kazandırmak adına gerek yönetmelik ve mevzuatlarda revize gerçekleştirilmeli gerekse bakanlıkları, devlet yatırım programlarının, Avrupa Birliği yatırım fonlarının ve bankaların destekleri arttırılmalıdır.

Türkiye’de yenilenebilir enerji mevzuatı ile yatırım süreci lisanslı elektrik üretimi ve lisanssız elektrik üretimi başlıkları altında hazırlanmıştır. 1MW ve altı kurulu güçteki GES yatırımları lisanssız elektrik üretimi kapsamındadır. Küçük ölçekli yatırımlar olup tüketim şartı altında üretilen enerjinin tüketim haricinde kalan kısmı sistemin kurulduğu bölgedeki ilgili şebeke işletmecisi tarafından satın alınır. Eğer kurulan sistem tüketimi karşılayamaz ise şebeke üzerinden kalan enerji ihtiyacı

karşılatabilmektedir. Burada amaç öncelik tüketim tesislerinin şebekeden bağımsız enerji ihtiyaçlarının karşılanarak elektrik üzerindeki yükün azaltılmasıdır. Diğer bir durum fazla üretilen enerjinin yerli üretim çerçevesinde dağıtım hatlarına bağlantıları sağlanarak bölgedeki yük ihtiyacının karşılanmasıdır. 1MW ve üstü kurulu güç yatırımları lisanslı elektrik üretimi kapsamına girmektedir. Yatırımcılar tamamen üretici konumundadır. Üretilen güç doğrudan iletim barasına (34,5/154 kV) bağlanır.

Süreçleri bakımından benzerlik gösterebilir de lisanslı elektrik üretiminin önlisans ve lisans alma süreci söz konusudur. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün sitesinde yayınlanan yol haritasında [6] Türk Ticaret Kanunu'na göre bir şirketin kurulması, kurulan şirketin yatırımı RES veya GES ise kurulacak olan bölgede rüzgâr veya güneş değerlerinin bir yıl gözlemlenmesi için ölçüm istasyonları kurulur. 1 yıl sonunda ölçüm verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü veya Akredite kuruluşlarına gönderilerek onaylanması durumunda yönetmelik gereğince duyurulan evraklar hazırlanarak belirtilen tarihlerde önlisans başvurusu gerçekleştirilir. EPDK tarafından önlisans incelemesi yapılarak uygun bulunması takdirde YEGM tarafından teknik değerlendirmeye alınır. Uygun bulunan değerlendirmeler EPDK'ya tekrar gönderilerek aynı bölge içerisinde bulunan başvurularla beraber TEİAŞ kurulu güç için en fazla ücreti ödemeyi taahhüt eden başvuruyu seçerek EPDK'ya bildirir ve seçilen şirkete 'Önlisans' verilir [6]. Şirketin tesis kurulumuna yönelik tüm izinleri tamamlayıp tesisin imar planlarına işlenmesinden sonra EPDK tarafından 'Lisans' verilir. Tesise ait projelerin gerekli kurumlarca onaylanıp inşaat ve kurulumu tamamlandıktan sonra ETKB veya ETKB'nin yetkilendireceği kuruluşlarca kabulü gerçekleştirilir ve tesis ticari işletmeye alınmış olur [6].

Lisanssız elektrik üretim süreci [6], bölgedeki İlgili Şebeke İşletmecisine yayınlanan belgeler ile başvurulur. Belgelerin eksiksiz olması dahilinde belirlenen bağlantı görüşü teknik değerlendirme için YEGM gönderilir. Olumlu sonuçlanması halinde başvuru sahibine İlgili Şebeke İşletmecisi tarafından bağlantı anlaşması çağrı mektubu verilir. Çağrı mektubunu takiben gerekli izinlerin sağlanabilmesi adına 180 günlük bir süre tanınır. Bu süre zarfında proje onayı gerçekleştirilmesi gerekir. Gerekli izinlerin tamamlanıp tekrar İlgili Şebeke İşletmecisine bağlantı anlaşması

için başvurulur. Belgelerin eksiksiz olması halinde bağlantı anlaşması imzalanarak proje inşaat süreci başlatılır. Kaynak türüne bağlı olarak proje tamamlanma süreleri belirlenmiştir. Bu süre zarfında tamamlanan projeler Bakanlık veya Bakanlığın yetkilendirdiği kurum tarafından geçici kabul gerçekleştirilir. Geçici kabul tesisin/projenin belirlenmiş kriter ve izinler içerisinde tamamlanıp tamamlanmadığına dair uygunluk kontrolüdür. Herhangi bir olumsuz durum söz konusu olmadıysa bir ay içerisinde sistem kullanım anlaşması yapılır ve tesis devreye alınarak üretim süreci başlatılır [6].

Lisanssız elektrik üretiminde İlgili Şebeke İşletmecisi üzerinden fazladan elektriğin şebekeye satılması işlemi belirlenen fiyatlandırmalar üzerinden gerçekleştirilir. Üretim santralleri 10 yıl süresince devlet tarafından 1kWh elektrik için 0,133  fiyat üzerinden işletme garantisi vermektedir.

Son olarak 2018 yıl sonu PV güneş enerjisi santrali kurulu gücü değerlerine bakıldığında ülkemizde lisanssız 4703 MW güç 4981,2 MW'a, lisanslı 23 MW güç 81,8 MW'a ulaşarak toplam 5063 MW güç ile tamamlamıştır [7]. 2019 yıl sonuna kadar bu değerlerin ilk üç ay içerisindeki 253,1 MW artışı göz önüne alındığında kurulumu tamamlanıp geçici kabul işlemleri tamamlanan ve devreye alınacak olan santraller ile beraber ciddi bir artış beklenmektedir. Bu değer enerji politikalarının doğru adımlarla ilerlediğini, yatırımcılarının bilinçlenerek gerek devlet destek programlarının da yardımı ile fosil yakıt kullanımlarının azaltılmasına yönelik gelişmelerin göstergesidir.

BÖLÜM 2. GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Fotovoltaik Teknoloji

Güneş, zamanın başlangıcından itibaren Dünya için yaşamın varoluşunu destekleyen ve yerkürede çeşitli enerji kaynaklarının aslında kökeni oluşturan, samanyolundaki iki yüz milyar yıldızdan biridir. Yoğun miktarda bulunan hidrojen güneşin çekirdeğinde nükleer füzyon sürecine girerek her saniye helyum dönüşümünü gerçekleştirir ve ışınım enerjisini açığa çıkarır. Işınım gücü $3,846 \times 10^{26}$ J olup güneşten yayılan bu enerjinin 2,2 milyarda biri ($1,7 \times 10^{11}$ MJ) dünyaya gelmektedir [8]. Atmosferin dışında metrekare alana bir saniyede ulaşan güneş enerjisi güneş sabiti olarak kabul edilir ve değeri 1370 J/m^2 'dir. Atmosfere ulaşan değeri ise 300-1100 J/m^2 arasında değişmektedir [6].

Güneş ışınları, dünyaya yaklaşık %70 enerji ile ulaşır. Kalan enerjinin %20 si atmosfer ve bulutlarda, %50 si ise yeryüzünde absorbe olur [8]. Işınımlardaki mevcut enerji dünyaya ulaştıktan sonra dönüşümlerle depolanmaya başlar. Toprak ve su ısınmaları, fotosentez, yağış ve buharlaşma, rüzgâr ve dalga oluşumları, doğal yangınlar doğal dönüşümler olarak meydana gelirken ihtiyaçlara dayalı ve teknolojinin oluşumu ile doğal dönüşümlerden elektrik ve ısı üretim tesisleri, güneş pilleri, barajlar, rüzgâr türbinleri, fosil yakıt eldesi, biokütle olarak insanoğlu yeni bir dönüşüm yaratmıştır [9].

Güneş enerjisinin dönüşümsel etkisi, milattan önceki zamanlara dayanmaktadır. Ateş ve ısının yer aldığı gelişmeler sonrasında günümüzdeki güneş enerjisi teknolojisinin temeli fotovoltaik etki 1839 yılında Fransız fizikçi Alexander Edmond Becquerel'in iletken bir çözeltide (elektrolit iletkenlik) elektrotlar arasındaki gerilimin çözeltinin maruz kaldığı ışığa bağlı olduğunu gözlemlemesi ile başlamıştır [8]. Willoghby

Smith'in 1873 yılında selenyumun fotoiletkenlik gösterdiğini keşfetmesi ve 1877'de W. G. Adams ve R. E. Day bilim adamlarının bu konu üzerinde yaptıkları bilimsel çalışmalar ile katılmış selenyum kristalleri üzerinde de fotovoltaik etkiyi gözlemleyerek selenyum hücresi üzerine bir makale yayınlamışlardır [10]. Çalışmaların bir basamak oluşturduğu 1883 yılında Charles Fritts altın ve selenyumu kullanarak %1 verimden daha az verim sağlayan bir güneş pili geliştirmiş, 1888-1891 yıllarında ise Aleksandr Stoletov tarafından dış fotoelektrik etkiye dayalı ilk güneş pili (fotovoltaik hücre) yapılmıştır [10]. Yıl 1946 Russell Ohl tarafından Dünya'da ilk olarak modern fotovoltaik güneş hücreleri patenti alınmış, 1954 yılında ise yarı iletken malzemeler üzerinde yapılan çalışmalarda silisyumun güneş pilleri üzerindeki etkisi bulunarak, verimlilikte ilk etkili çalışmanın adımları Bell Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir [10]. Sonraki yıllarda çalışmaların hızla devam ederek güneş hücrelerinin malzeme, tasarım ve kullanım alanları doğrultusunda verimliliği arttırılarak günümüze güneş enerjisini her geçen gün artan enerji ihtiyacına karşın yenilenebilir enerji kaynağı olarak yararlanma imkanını yaratmıştır.

2.2. Fotovoltaik Piller

Fotovoltaik teknolojinin en önemli unsuru güneş hücreleri olarak da bilinen fotovoltaik pillerdir. Yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Çalışma prensibi fotovoltaik etkiye dayanarak görünür ışık, kızılötesi veya ultraviyole ışınlarını [11] yarı iletken malzemelerin yüzeyine düşmesi sonucu iki farklı malzemenin birleşme noktasında potansiyel bir fark yaratılarak doğrudan elektrik üretimi elde edilmesine dayanır [12].

Dünyaya ulaşan güneş ışınları farklı dalga boylarından farklı miktarlarda enerji taşıyan fotonlardan meydana gelir ve bu fotonların bir kısmı hücre yüzeyine vardıklarında dünyaya varış süreçlerinde olduğu gibi bir kısmı yansıma, bir kısmı yüzeyde absorbe, kalan kısım ise hücre içerisine geçişi olmaktadır [8]. Yarı iletken malzeme içerisindeki atomlar, absorbe edilen fotonların enerjisini elektronlara transfer ederek elektronların mevcut konumlarından koparak iletkenlik bandına geçer

ve elektrik akımını oluşturur [8]. Fotovoltaik hücrenin yapısal özelliği bakımından akan akıma karşın gerekli olan gerilimi sağlar.

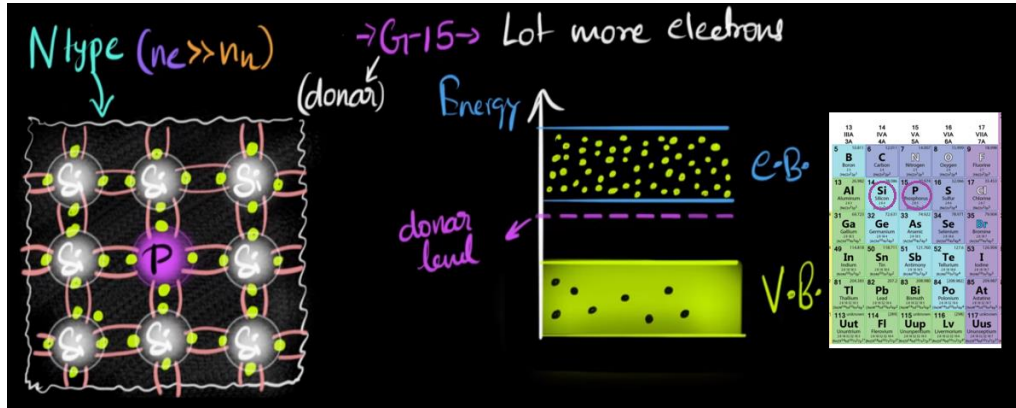
Fotovoltaik hücreler yapılarına bağlı olarak yüzeylerine ulaşan güneş ışınımını %5 ile %30 değerler arasında verimle elektrik enerjisine dönüştürebilir [6]. Hücrelerin bir araya getirilerek birbirine seri ya da paralel bağlanması sonucunda yüzey üzerinde birleştirilmesiyle fotovoltaik modül, fotovoltaik modüllerin birleştirilmesi ile fotovoltaik panel ve fotovoltaik panellerin bir araya getirilip solar dizi oluşturularak çok düşük Watt değerlerinden yüksek Watt (kW, MW, GW gibi) değerlerinde sistemler oluşturulabilmektedir [13].

2.2.1. Fotovoltaik pil yapısı

Fotovoltaik piller yapısal olarak yarı iletken malzemelerden üretiliyor olsalar da etkin olarak kullanılabilmesi için katkıları gerekmektedir [8]. Nedeni elektriğin öz olarak pozitif ve negatif yüklerden oluşmasıdır. Madde, proton, nötron ve elektron taneciklerinin yer aldığı atomlardan meydana gelmiştir. İletken maddeler atomlarındaki elektronların ısı, ışık ve elektriksel etki altında kolayca atomdan ayrılıp hareket ettiği yapıya sahipken, yalıtkan maddeler serbest elektron bulundurmaz ve elektronlar atomun yörüngelerinde bağlı kalırlar [8].

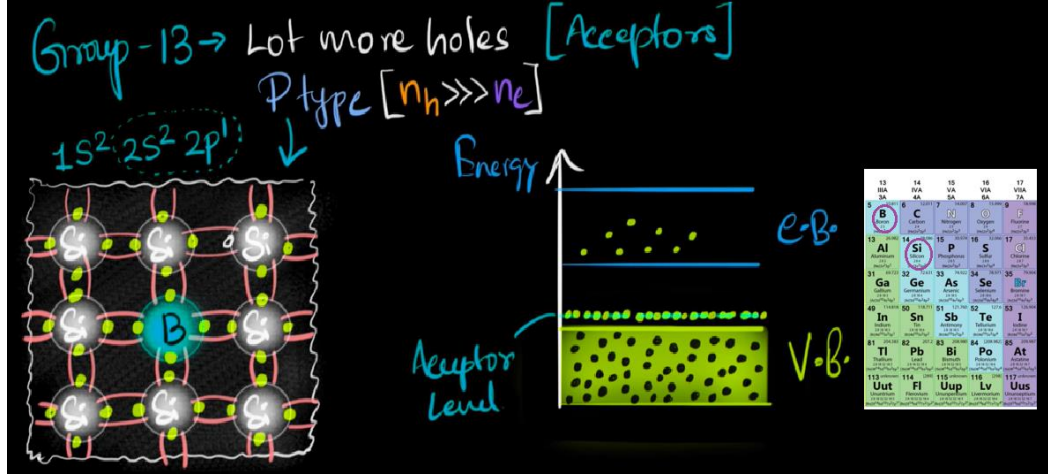
Yarı iletken madde yapımında daha çok silisyum ve germanyum kullanılır. Bu maddeler saflaştırıldıkları zaman kristal ve amorf katı özelliği gösterir. Normal şartlar altında yalıtkan özelliği gösteren yarı iletken maddeler, elektronların yörüngelerinde serbest dolaşmadığı dönemde enerji emilimi ve yayılımı göstermez [14]. Yapısal olarak direnç kuvvetinin azaltılabilmesi, ısı ve ışık şiddetine karşı duyarlılığı yalıtkan ve iletken madde özelliklerini bir arada kullanılabilmesini sağlamaktadır. Saflaştırılmış silisyum veya germanyum valans bantlarındaki boşlukları ve iletim bandında serbest elektronların sayısının sınırlı olmasından dolayı iletken özelliği kazanmaları için elektron veya boşluk sayılarının çoğaltılması gerekmektedir [12]. Bunun içinde katkılama yöntemi kullanılarak yapıları değiştirilir.

Katkılanma sürecinde kullanılan katkılama atomlarının, iletken maddede kullanılan saflaştırılmış atomlarla tepkimesi sonucunda serbest elektron ve boşluk olmasına bağlı p-tipi ve n-tipi yarı iletken olarak adlandırılır [11]. Örneğin yarı iletken malzemesi olarak saflaştırılmış ve kristalleştirilmiş silisyum (Si) kullanıldığında n-tipi yarı iletken elde etmek için silisyum atomunun dış yörüngesindeki 4 elektronunu bağlayacak ve bağlanmadan hareket edebilecek bir adet elektronu verebilecek 5 atoma (Ör: Fosfor (P)) sahip katkı atomu periyodik cetvelin 5. grubundan seçilir [8]. Kristal yapıya verilen bir elektron (serbest elektron) iletkenlik görevi görerek diğer atomlara doğru serbestçe hareket eder (Şekil 2.1.).



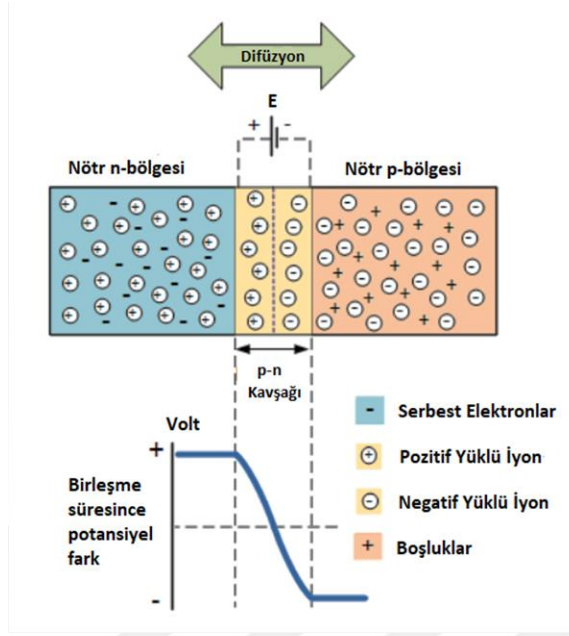
Şekil 2.1. n-tipi yarı iletken yapıları [15]

Bir diğer yarı iletken tipi olan, p-tipi yarı iletken silisyum eldesi için silisyum atomu periyodik cetvelin 3. grubundan bir element ile katkılandırılır. Silisyum atomunun dış yörüngesinde bulunan 4 elektron, 3. grup elementlerin (Ör: Bor (B)) 3 elektronu ile katkılandığında kristal yapıda bir elektron eksik olur [8]. Oluşan eksiklik boşluk olarak adlandırılır ve elektronlar boşluk arasında serbest elektronlar gibi rahat hareket ederler (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. p-tipi yarı iletken yapıları [15]

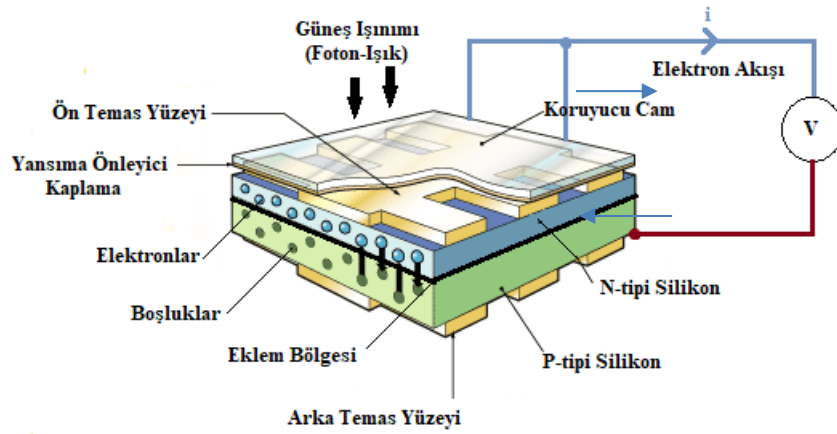
Fotovoltaik pil yapımında kullanılmak üzere katkılanan yarı iletken maddeler n-tipi ve p-tipi olarak elde edilebilirler. Ancak tek başlarına elektriksel olarak nötrdürler. Bir araya getirildiklerinde eklem bölgesinde p-n kavşağı oluşur [11]. İki tarafta ayrı yoğunluk farkı mevcuttur. Fazla olan negatif yüklü elektronlar p bölgesine doğru, fazla olan pozitif yüklü boşluklar n bölgesine doğru harekete başlar. p bölgesine giren elektronlar kavşak (eklem) bölgesinde holler ile birleşir. n bölgesine giren hollerde eklem bölgesinde bulunan elektronlar ile kavuşumda bulunur [16]. Difüzyon işlemi sonucunda elektron hol çiftleri oluşmaya başlarken bu işlem esnasında elektronları n-bölgesine, boşlukları p-bölgesine göndermek isteyen E_0 kuvveti meydana gelir (Şekil 2.3.). Difüzyon ve E_0 kuvveti net yük akışı sıfır olana kadar devam eder [12].



Şekil 2.3. p-n eklemnin çalışma ilkesi

Fotovoltaik hücrelerin çalışma prensibi, güneş ışınlarından gelen fotonların hücre yüzeyine geldikleri anda bir kısmı yarı metal iletken içine absorbe olur. Fotonlardaki enerji yarı iletken maddeye geçişi olduğunda hücrenin ön kontak bölgesine yakın bir alanda elektriksel bir alan oluşturur [11] ve elektron-boşluk çiftlerine çarparak elektronların serbest salınımını sağlar. Serbest elektronlar elektrik alan içinde bulunan kopan boşluklara doğru hareket etmek ister. Birleşmeyi yeniden sağlamak için p-bölgesine akmaya başlarlar. Elektron akışı akımı, hücrenin potansiyel alanı gerilimi meydana getirir [8]. Akım ve gerilime bağlı olarak fotovoltaik hücre kontaklarının arasında güç çıkışı elde edilir [16].

Fotovoltaik hücrelerin ana malzemesini orta katmanında p-n yarı iletkenler oluşturur. Hücrenin üst tabakası güneş ışınımı sağlayacak şekilde koruma amaçlı şeffaf cam ve plastik malzemelerden tasarlanmıştır (Şekil 2.4.). Bir alt katmanı ise güneş ışınlarını olabildiğince absorbe etmek ve geri yansıtmayı önlemek amacıyla yansımaya önleyici kaplama bulunmaktadır [8]. Yansımaya önleyici kaplamanın altında iki ayrı katman olan p ve n tip silikonlarda üretilen elektrik akımının toplanarak şebekeye iletimini sağlayan ön temas yüzeyi (üst bağlantı kontağı) bulunur. Son katman ise hücreye destek sağlar ve elektronların girdiği devrenin tamamlanmasını sağlayan alt temas yüzeyi diğer adıyla alt bağlantı kontağı yer alır [14].



Şekil 2.4. Fotovoltaik hücre yapısı ve çalışma düzeneği

2.2.2. Fotovoltaik pil çeşitleri

Fotovoltaik teknoloji, temel olarak güneş piline dayanmaktadır. Araştırmalar güneş pili üretiminde verimliliğin artırılması, üretim maliyetlerinin azaltılması denkleminde yol almaktadır. Temiz, sürdürülebilir, ekonomik, etkin bir enerji için fotovoltaik teknoloji önem arz etmektedir.

Fotovoltaik pil üretiminde en çok tercih edilen hammadde silisyum elementidir. Farklı madde kullanımlarına bağlı olarak çeşitliliği söz konusudur. Bu durum farklı verimlilik eldesini oluşturmaktadır. Silisyum çok verimli bir madde olamamasına karşın ekonomik olarak daha uygun ve çok miktarı bulunması tercih nedenidir.

Fotovoltaik hücre teknolojileri kullanılan malzeme ve ticari tercihlere bağlı olarak üç kategoride sınıflandırılır [17].

1. Birinci nesil PV hücreleri, temel olarak silisyum kristal hücreleri yer alır. Enerji band aralığı 1,6 V'dir. Standart bir silisyum pil hücresi 0,5 V kadar gerilim üretebilir [16]. Uzun yıllar verimliliklerini korumaları ticari tercihlerde %90'larda olmasını sağlamıştır. Silikon (c-Si), tek kristalli silikon (sc-Si), çok kristalli silikon (mc-Si) hücreleri yer alır [17]. Silikon miktarı hücrenin verimliliğinde temel etkidir. Bu nedenle tek (mono) kristalli silikon hücrelerde silikon yoğunluğu fazla olduğundan

verimliliği (Tablo 2.1.) en yüksektir. Çok (poli) kristalli hücrelerin verimlilikleri biraz daha düşüktür. Ancak maliyet etkeni göz önüne alındığında tek kristalli hücre yapımında saf kristal kullanımı fiyatının daha pahalı olmasına neden olduğundan çok kristalli hücre maliyetinin uygun olması nedeni ile daha çok tercih edilmektedir [17].

2. İkinci nesil PV hücreleri, ince film teknolojisine dayanmaktadır. Amorf (a-Si) / mikromorf silisyum (μ c-Si), kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum selenid (CIS), bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) güneş hücreleri yer almaktadır. İnce film Ar-ge çalışmalarının sonrasında malzeme ve işçiliğin azaltılıp, daha düşük maliyetle üretimin gerçekleştirilerek yapı ve yüzeylerde kaplanma özelliği ön planda tutularak hazırlanmıştır [14,16]. Uzun süre verimliliklerini sağlayamadıklarından dolayı ticari tercihleri %7-8'lerde seyretmektedir. Amorf silisyum verimi en düşük ve zaman içinde verim kaybı en fazla olan ince filmidir. Kadmiyum tellür absorbe katsayısı yüksek çok kristalli yapıya sahip bir hücredir. Yalnız potansiyel bir soruna sahiptir. Tellurumun kadmiyumdaki daha düşük miktarlarda üretilmesi ve uzun vadede eldesi, geri kazanımı, rafine edilmesi ve verimliliklerinin optimizasyonu kullanımında sınırlama getirmektedir [17]. Bakır indiyum diselenid diğer hücre yapılarına göre optik soğurma katsayısı çok yüksektir ve hücre için çok ince katman olarak tasarlanabilirler [8]. Verimi en yüksek ince film hücredir. Esnek yüzeylerle de kullanılabilir. Üretim maliyeti yüksektir [17].

3. Üçüncü nesil PV hücreleri, PV teknolojiye dayalı Ar-Ge çalışmalarının yürütüldüğü çoklu bileşenli, kuantum yapıları PV hücrelerdir. Konsantre PV (CPV), boya duyarlı güneş hücresi (DSSC), organik güneş hücreleri ve çalışmaları devam eden güneş hücreleri yer almaktadır [16]. Konsantre PV hücreler doğrudan güneş radyasyonunu pil yüzeyine yoğunlaştırmak için lensler veya aynalar gibi optik cihazlarla kullanılır. Verimleri yüksektir ve bilinen en yüksek verimli galyum arsenit (GaAs). Boya duyarlı güneş hücreleri içerisinde yarı iletken madde haricinde iletim çözültüsü olan elektrolit sıvı içerir [8]. Genellikle boya olarak iyodür kullanılsa da titanium dioksit (TiO₂) nanomalzeme de kullanılır. Organik güneş hücreleri organik veya polimer malzemelerden oluşur. Soğurma katsayıları yüksek olup yüksek sıcaklık ve saflaştırılma işlemlerine gerek duyulmaz. Maliyetleri düşüktür [17].

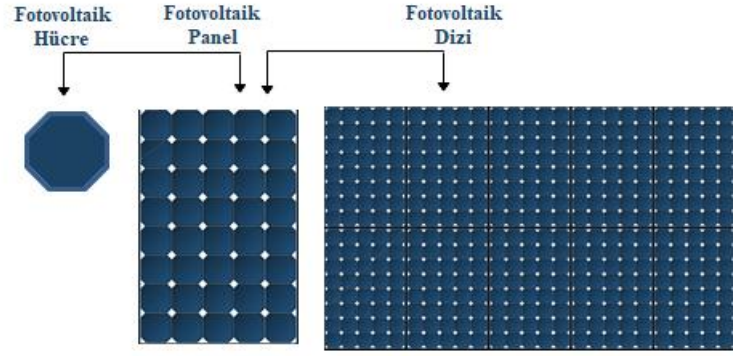
Tablo 2.1. Fotovoltaik hücre yapımında kullanılan malzemelerin verimlilik yüzdeleri [17,18,19]

MALZEME	Verimlilik Laboratuvar Değeri %	Verimlilik Modül Değeri %
Silisyum (c-Si)	24,7	14-18
Tek Kristalli Silisyum (sc-Si)	20	15-18
Çok Kristalli Silisyum (mc-Si)	16,2	12-15
Amorf Silisyum (a-Si)	13,2	6-8
Kadmiyum Tellür (CdTe)	16,5	8-10
Galyum Arsenit (GaAs)	25-28	
Bakır İndiyum Selenid (CIS)	20,3	11-14
Bakır İndiyum Galyum Diselenid (CIGS)	16-18,4	13,4
Boya Duyarlı Güneş Hücresi (DSSC)	11	8,8
Organik Güneş Hücreleri	6-8	4-5

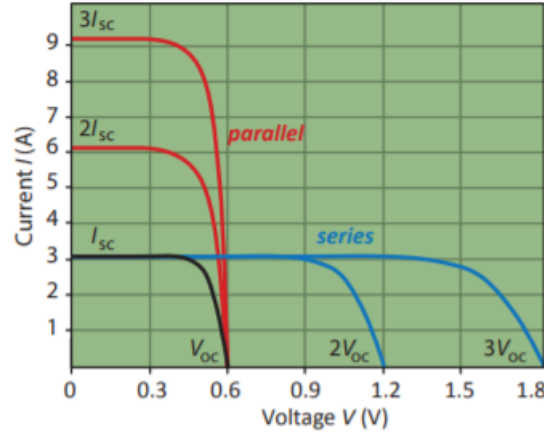
2.2.3. Fotovoltaik pilin kullanımı

Fotovoltaik hücreler güneş ışınımını kullanılabilir ısı ve elektrik enerjisine dönüştürebilen yapısal maddelerdir. Hücreler boyutsal olarak kare, dikdörtgen, dairesel olabilmektedir. Alansal boyutları ortalama 100 cm^2 olup, kalınlıkları 0,2-0,4 mm [8] arasında değişiklik göstermektedir.

Tek bir fotovoltaik hücre az miktarda enerji sağlamaktadır. Daha yüksek enerji kazanımları için bir yüzey üzerine seri ya da paralel olacak şekilde (akım ve gerilim karakteristikleri ayarlanabilir) çok sayıda güneş hücresi bir araya getirilerek fotovoltaik modül oluşturulur (Şekil 2.5.). Modüller seri ya da paralel bağlanarak enerji ihtiyacına bağlı olarak diziler halinde kullanılabilir (Şekil 2.6.). MegaWatt düzeyine kadar büyük elektrik üretim santralleri oluşturulabilmektedir.



Şekil 2.5. Fotovoltaik güç için hücre, modül ve dizi oluşumları



Şekil 2.6. Seri ve paralel bağlı güneş hücrelerinin I-V eğrileri [12]

Fotovoltaik piller hayatımızın her alanında kullanılabilirliğini sürdürmektedirler. Tarımsal ihtiyaçlar ve ürün kurutma sistemleri, ısıtma sistemleri, konut ve endüstri elektrik ihtiyacını karşılama, ölçüm ve iletişim cihazları, aydınlatma, askeri ve sivil ekipman yapımları, ulaşım araçları, uzay çalışmalarına yönelik geniş kapsamlı temiz sürdürülebilir olarak elektrik ve ısı enerjisini kullanma imkanını yaratmaktadır.

2.3. Fotovoltaik Pillerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler

2.3.1. Sıcaklık

Güneş pilleri güneşten gelen ışınımı absorbe ederek enerji dönüşümü gerçekleştiren yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Güneş ışınımından daha fazla

yararlanarak daha fazla enerji eldesi için farklı güç, farklı tür ve farklı değer aralıklarından güneş panelleri oluşturulmaktadır. Güneş ışınımının enerji ile birlikte sıcaklığı da beraberinde getirir. Daha güçlü ışınım daha fazla enerji eldesi getirebileceği düşüncesini teorik olarak doğru sanılsa da beraberinde getirmiş olduğu sıcaklık ve hücre içerisinde oluşturmuş olduğu ısınım enerji eldesinden elde edilecek olan verimin azalmasına neden olmaktadır.

Güneş panelleri standart test koşulları altında ölçümleri yapılır ve dayanıklılık, emniyet, gün içerisinde ışınımın saatlere göre eğrisi, veri noktaları, malzeme üretim ve işlenimi gibi birçok yayınlanmış olan standartlara göre üretimleri sağlanır.

Yapılan araştırma ve testler sonucunda ölçüm yapılan sıcaklık değeri 25 °C [20] veya 77 °F olarak belirlenmiştir. Bu değer güneş panelleri için optimum sıcaklık aralığının zirvesi olarak adlandırılır. Aynı zamanda güneş ışınımını maksimum verimle absorbe edebildikleri sıcaklık olarak belirlenmiştir. Teknik olarak nedeni panel içerisindeki elektronlar sözde bir yüzey gibi stabil bir durumdadır. Elektronlar ışınım ile beraber uyarıldıklarında ışınım miktarına bağlı olarak hareketleri artar. Elektron hareketi akımı oluşturduğundan akım değeri yükselir. Işınımın yükselmesi sıcaklık artışı da beraberinde getirdiği için gerilim değerinde akımın artış miktarından daha çok azalmaya neden olur. Gerilimin azalması panel çıkışında ki güç değerini de azaltmaktadır. Kısaca verim kaybına neden olur.

Panel üreticileri ürettikleri paneller üzerinde etiketlendirme yaparlar. Etiketlerin üzerinde maksimum güç sıcaklık katsayısı yer alır. Bunun ifadesi 25 °C üzerinde artış olan her bir derece sıcaklık için paneldeki verim kaybıdır.

Panel sıcaklıkları kurulum tiplerine göre farklılıklar gösterir. Aynı ortam sıcaklığında arazi ve çatı uygulamalı kurulumu yapılan panellerin maruz kaldıkları sıcaklık farklıdır. Güneş enerjisi üretimi için bir sistem kurmak istenildiğinde kurulacak bölgenin ortam sıcaklığı, kurulum tipi ve bunlara bağlı olarak panel seçimi önem taşımaktadır. Sıcaklık katsayıları %0,2-0,5 değerleri arasında üretici firma ve modele göre değişim göstermektedir. Örneğin, ortam sıcaklığı 26 °C ve çatı tipi kurulumu

olan bir panelin yüzey sıcaklığı 30 °C alınır, sıcaklık katsayısı 0,4 olan bir panel tercihinde ortalama verim kaybı hesaplanabilir. Toplam sıcaklık değeri 56 °C ve panellerin optimum sıcaklık değeri 25 °C. Aradaki sıcaklık farkı 31 °C, bir derece sıcaklık artışındaki sıcaklık katsayısı ile çarpıldığında %12,4 verimdeki azalma oranını olarak hesaplanır.

Sıcaklık ile meydana gelen verim kaybını azaltmak için daha sıcak iklimlerde paneller arasında hava sirkülasyonunun sağlanması için arazi uygulamalı kurulumlar tercih edilmelidir. Çatı uygulamalı sistemlerde panel aralarında belirli oranlarda mesafe bırakılmalıdır. Aktif soğutma sistemlerin tercih edilebileceği gibi çatı ve benzeri kaplama malzemelerinde açık renk tercihleri basit yöntem olarak da kullanılabilir.

2.3.2. Yüzey

Fotovoltaik enerji üretiminin büyüklüğü, mevcut alanda kullanılan panellerin ışınma seviyesine bağlıdır. Yüzeysel birinci etmen panel yüzeyinin kar, çamur diğer benzeri nedenler ile kirlenmesi ışınma değerlerini düşüreceğinden dolayı verimliliğin azalmasına neden olacaktır.

İkinci etmen ise gelen ışınımın geri yansıma durumudur. Yüzeydeki yansımayı azaltma amacıyla seçici dağlama yöntemi kullanılarak tabaka yüzeyinde küçük piramitler elde edilir ve piramitler yansıyan ışınımın çarpma ve kırılma etkisi ile pil içerisine geri gönderirler [14].

2.3.3. Spektral ve Açısız Etki

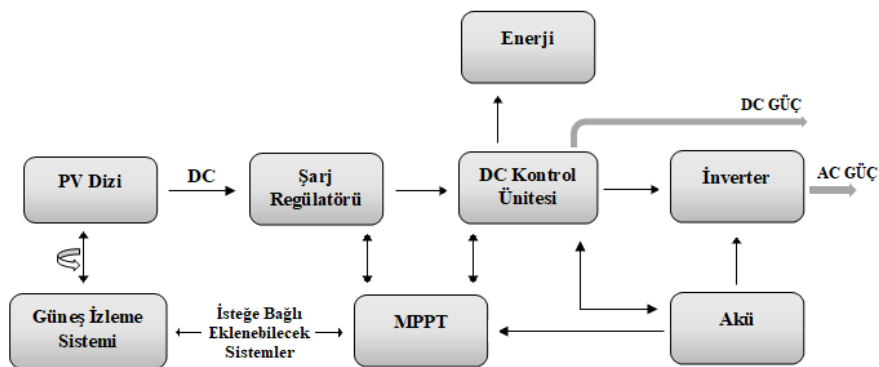
Güneşten gelen fotonlar belirli açılarla yeryüzüne ulaşırlar. Ulaşan fotonların miktarı kalitesi ve geliş açısı hem yeryüzünde hem de fotovoltaik pillerde yayılımı ve soğurma özelliklerini belirlemektedir. Güneşten gelen ışınım elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgalar fotonlarla yayılım ve dağılım gösterir. Elektromanyetik dalgalar frekans ve dalga boyu ile tanımlanır. Çok geniş frekans değer aralığına

sahiptirler ve her ışınımda kendine özgü dalga boyu taşımaktadır. Elektromanyetik spektrum olarak adlandırılan frekans aralığı radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar farklı dalgaboyu değerlerine sahiptir. Fakat güneş enerjisi ölçümlerinde görünür ve yakın kızılötesi dalga boyları ile sınırlıdır [8]. Farklı açılarla ulaşan ışınımlar farklı enerji miktarı taşımaktadır.

Açısal etkinin görünür olayı panel yerleşim açısı ve yönüdür. Konumlandırılacak olan arazi ve yerleşime göre doğru açı ile yerleşimi ve daha etkin dalgaboyu kavuşumları için güney yönüne doğru konumlandırılması verimliliğin korunmasını etkin kılacaktır.

2.4. Güneş Enerjisi Elektrik Üretim Sistem Ekipmanları

Güneş ışınımlarının sahip olduğu enerjiden elektrik enerjisi üretimi PV hücreler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. PV hücrelerin bir araya getirilerek oluşturuldukları PV panel daha yüksek güç çıkışı sağlamaktadır. Elde edilen enerjinin kullanımı için PV panel ile birlikte bir sistem oluşturulur. Bu sistemin dizaynında inverter (dönüştürücü), akü (batarya), şarj regülatörü ana sistem ekipmanı olarak yer alır. Solar kablolar, bağlantı elemanları, devre anahtarları (termik manyetik şalter ve sigortalar), bağlantı kutuları ve sistem tasarımına bağlı olarak transformatör dahili sistem elemanlarıdır. Ayrıca fotovoltaiik modüllerin maksimum güç noktasında (MPPT) çalışmasını sağlayacak maksimum güç noktası izleyici kullanılabilir (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. Güneş izleme sistemi ve MPPT cihazlarının sisteme bağlanmaları [8]

2.4.1. İnverter

PV paneller doğru akıma dayalı enerji üretirler. Doğru akım zamanla yönü ve şiddeti değişmeyen, sadece güce bağlı olarak akımda anlık değerinde değişim görülen akımdır. Haberleşme cihazları, elektronik aletler, DC elektrik motorlarında kullanılabilir. Ancak geri kalan elektriğin kullanıldığı cihaz ve alanda alternatif akımla kullanılmaktadır. Bunun nedeni alternatif akımın zamanla periyodik olarak yön ve şiddet değiştiren akım olmasıdır. Elektriğin iletiminde ve dağıtımında trafolardan yararlanmak aynı zamanda kayıpları azaltmak için AC kullanılır. Şebeke gerilimi 220 V ve 50 Hz'dir. Doğru akımın frekansı olmaması ve yük direncinin saf direnç olması endüktif cihazların kullanımına uygun kılmamaktadır. Bu nedenle PV panellerle aracılığıyla üretilen DC enerjiyi AC olarak kullanabilmek için inverter (dönüştürücü) kullanılır.

İnverterler kullanım yerlerine bağlı, farklı dalga çıkışları (kare dalga–değiştirilmiş kare dalga-tam sinüs) ve farklı güçlerde üretimleri mevcuttur. İnverterlere ait kısa devre koruması, ters koruma, düşük gerilim koruması, aşırı voltaj koruması, aşırı ısınma koruma fonksiyonları yer alır [16]. PV sistem tasarımlarında, sistemin toplam güç tüketimi üzerinden temel alınarak hesaplamalar doğrultusunda inverter seçimi gerçekleştirilir.

2.4.2. Akü

Aküler üretilen enerjinin fazlasının ve elektriğin olmadığı zamanlarda enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile enerji depolamasında kullanılırlar. PV sistemlerde kullanılan akü çeşidi Kuru tip olarak ta bilinen kurşun-oksit akülerdir. Asit veya su ilavesi gerektirmeyen [8] kapalı tip akülerdir. Farklı yapılarla bağlı olarak AGM ve jel akü olarak iki çeşidi bulunmaktadır. Çevresel koşullara (sıcaklık, titreşim, soğuk vb.) dayanıklılığı, derin deşarj kapasitelerinin güçlü olması [15] jel akülerin çokça tercih sebebidir. 12V farklı Ah değerlerindeki aküler bir araya getirilerek daha yüksek kapasiteli akü grupları oluşturulabilir.

2.4.3. Şarj regülatörü

PV panel yüzeyine gün içerisinde ulaşan ışınım değerlerinin farklı oluşu akım ve gerilim değerlerinde de farklılık yaratır. Şarj regülatörü panelden gelen akımı düzenler ve sonrasında aküye iletimini sağlar. Akünün dolmuş seviyesine göre aşırı şarj ve deşarj olmasını panellerden gelen akımı keserek önler. Devir süresi, boşalma ve boşaltma derinliğinin korunumunu sağladığından akünün kullanım ömrünün artmasında temel faktördür. Regüle edilmiş bir DC çıkışı sağlayabilir ve fazla enerjiyi bir serviste saklayabilir ve aynı zamanda akü voltajını izleyerek şarjın aşırı veya düşük olmasını da önleyebilir [16].

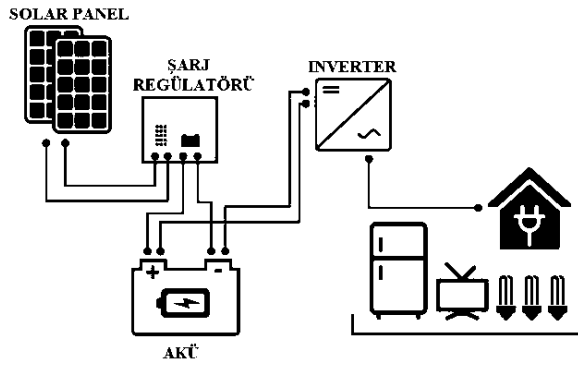
2.5. Fotovoltaik Sistem Tasarımları

Fotovoltaik sistem tasarımları güneş hücreleri ve diğer tamamlayıcı elektronik ekipmanlarla geliştirilen projelerle elektrik ihtiyacının olduğu her alanda kullanımını mümkündür. Günlük hayatta kullandığımız hesap makineleri, saatler, sokak aydınlatmaları, trafik lambaları, projelerle geliştirilmiş solar araçlar, motorlar ve uzay araştırma uygulamalarında geniş bir yelpazede görünür kılmaktadır. Kullanım ve yerleşime dayalı olarak elektrik üretim sistemleri şebekeden bağımsız üretilen fotovoltaik enerji, şebekeye bağlı fotovoltaik enerji ve karma sistem olmak üzere üç grupta ele alınır.

2.5.1. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler

PV teknolojinin şebekeye bağlı olmadan direk kullanımınıdır. Şebeke hatlarının olmadığı alanlarda veya mevcut mesken ya da arazi uygulamalarında sadece ihtiyaca yönelik toplam tüketim gücü karşılamak üzere yeterli sayıda solar panel ve sistem ekipmanları ile kurulan sistemlerdir. Bu sistemde akü enerjiyi depolama yönünden önemli bir ekipmandır. Güneş ışınımının yetersiz olduğu ve gece süresince elektrik kullanımının gerçekleştirilebilmesi için akü gruplarından yüklere besleme yapılır.

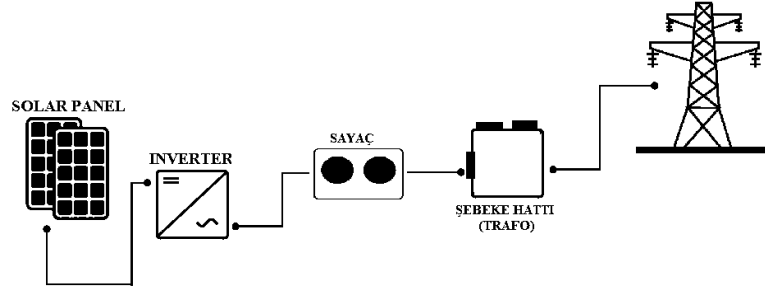
Şebekeden bağımsız sistemler (Şekil 2.8.) off-grid sistem olarak da adlandırılır. Şebekenin olduğu yerlerde de tercih edilebilirler. Bu durumda sistem şebekeye bağlı olarak da kullanılabilir. Elektriğin yeterli üretilmediği durumlarda ihtiyaç halinde şebeke hattı üzerinden besleme sağlanır. Ancak şebekeye geri beslemeli olmadığından off-grid sistem olarak sayılır. Bu tür kullanım verimli ve ekonomik değildir. Sistem maliyeti baz alındığında yatırımın geri dönüş süreci uzundur. Şebekeye bağlantılı en yakın dağıtım hatlarından bile uzak yerlerde ve küçük güçlü kullanımlar daha doğru olmaktadır.



Şekil 2.8. Şebekeden bağımsız sistem şeması

2.5.2. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler

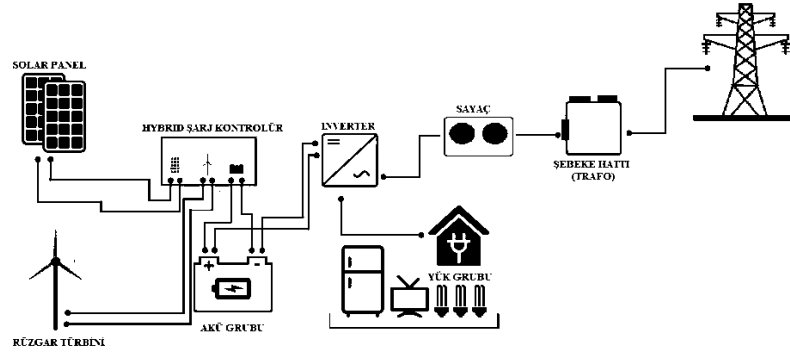
Şebekeye bağlı bir PV sistemi (Şekil 2.9.) DC akımı fotovoltaik paneller tarafından üretildikten sonra inverter aracılığı ile sistem tipine bağlı olarak sayaç üzerinden şebekeye direk bağlanır. İki farklı tipte şebeke bağlantılı sistem oluşturulabilir. Yüksek güçte güneş enerjisi üretim santralleri kurularak şebeke sadece hatlarına enterkonnekte yapılarak üretici konumunda sistemler oluşturulabilir ve ilgili şebeke işletmecisine üretilen elektrik satılır. Bu sistemde depolama ihtiyacı bulunmaz. Bir diğeri konut veya işletme yerlerinde hem elektrik tüketim ihtiyacının karşılanması hem de üretilen elektriğin fazlasının şebekeye geri beslemesi yapılan sistemler bulunmaktadır. Bu sistem içerisinde tercihen depolama yapılabilir ve şebekeden de gerektiğinde elektrik ihtiyacı çift yönlü sayaç kullanılarak karşılanabilmektedir. Yatırım yönleri daha fazladır. Ekonomik kazanım değerleri yüksek sistemlerdir.



Şekil 2.9. Şebekeye bağlı sistem şeması

2.5.3. Karma sistem tasarımları

Fotovoltaik sistem ile birlikte rüzgâr, biyogaz gibi diğer enerjilerden de yararlanılarak (Şekil 2.10.) kesintisiz enerji üretimini hedefleyen sistemlerdir. Sistem yapı elemanları olarak (rüzgâr türbini, biyogaz destekli jeneratör gibi) kurulum maliyeti yüksektir. Ancak ilerleyen dönemlerde maliyetlerin azalması ile beraber en avantajlı sürdürülebilir sistem olacaktır.



Şekil 2.10. Karma sistem şeması

BÖLÜM 3. GÜNEŞ ENERJİSİ ARAŞTIRMALARI

3.1. Güneş Enerjisi Avantajları

- Diğer fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarına göre en büyük avantajı, kullanılabilirliğinin her alanda mümkün olmasıdır. Enerjin en küçük biriminden en büyük birimine kadar ısı ve elektrik üretim imkânı sunmaktadır.
- Enerji kaynağı, dünyadaki enerji talebini 10000 katına kadar karşılayabilecek [16] ve tükenmeyecek olan güneştir. Buna bağlı olarak yakıt tüketim masrafı yoktur.
- Fotovoltaik sistemlerin tasarımları tamamlandıktan sonra kurulum süreci kısa ve kolaydır.
- İşletme maliyetleri yoktur.
- Fotovoltaik panel ömürleri uzundur. Hava koşulları ve çevresel etmenler haricinde zarar görmedikleri takdirde ortalama 20 yıldır.
- Sistemler kuruldukları alanlarda çevreye gürültü sağlamaz.
- Üretim esnasında kaynağa bağlı olarak havaya kirletici gaz, duman, zararlı emisyonlar yaymazlar. Temiz bir enerjidir.
- Fosil yakıt kaynakları gibi dışa bağımlılık söz konusu olmadığından ekonomik yatırım kazancı yüksektir.

3.2. Güneş Enerjisi Dezavantajları

- İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması en önemli dezavantajdır. Gün geçtikçe maliyetlerde belirli oranlarda azalma olsa da yerli üretimin yeterli olmaması dış bağımlılık yaratmaktadır.

- İklim ve mevsim koşullarına, gece ve gündüz sürelerine bağlı olarak enerji üretiminde dalgalanmalar görülür. Sürekli üretiminin olmaması elektrik enerjisinin depolanması ihtiyacına neden olmaktadır. Bu durumda depolama maliyetleri artmakta yeterli depolama sağlanamamaktadır.
- Verim oranları diğer sistemlere göre düşüktür. Açısal, yüzey ve en önemlisi sıcaklığa bağlı olarak verimleri ciddi anlamda değişmektedir.

3.3. Güneş Enerjisi Kullanımının Çevresel Etkileri

Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak kaynak bazında temiz bir enerji olarak adlandırılır. Fosil yakıtlı enerji kaynakları kadar belirgin, görünür, yüksek miktar etkin fiziksel ve kimyasal etkileri bulunmasa da güneş enerjisinin ayrıntılarında dolaylı çevresel etkiler bulunmaktadır.

Öncelikle enerjinin üretim taşı fotovoltaik hücrelerin yapımında kullanılan yüksek miktar kristal silikon içerisinde bulunan silikon tetra klorürün çok zehirli olduğu, insan sağlığını tehdit ettiği, bitki ve hayvan tahribatı oluşturduğu, kullanılan diğer maddelerden biri olan kadmiyum telürid içerisinde bulunan kadmiyum metalinin ekolojik besin zincirinde toplanması bilimsel araştırmalar sonucunda araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Hücre üretim yerlerinde kullanılan kimyasal ve zararlı maddelerin hava ile teması ciddi kirlilik yaratırken panel kullanımlarında olabilecek kırılma, parçalanma durumlarında bu maddelerin insan ve toprak ile teması da büyük sorunlar oluşturmaktadır. Özellikle silikon haricinde kurşun, arsenit, bakır, galyum, selenyum içeren hücreler tehlike oluştururken üretim sürecinde yer alan silika tozu, silan, diboran, fosfin gibi maddeler ve çeşitli solventlerin salınımları havayı ve insan sağlığını tehdit etmektedir [21].

Hücrelerin panel üretimi gerçekleştikten sonra kullanımına bağlı dolaylı etkiler bulunmaktadır. Özellikle arazi uygulamalı güneş sistemleri kurulumunda en dikkat edilmesi gereken hususun arazi seçiminde arazinin mevcut niteliklerinin temel alınmasıdır. Nedeni panel yerleşimleri beton temeller üzerine inşa edilen alüminyum veya çelik konstrüksiyonların üzerine montelenerek yapılır. Bu işlemler sırasında

paneller üzerine gölge oluşturmaması ve ısı yayılımına bağlı olarak yangın riski oluşmaması için arazi üzeri tamamen temizlenir. Verimli araziler yerine verim eldesi olmayan çöl ve toprak arazi seçimleri daha doğru olmaktadır.

Temizleme ve bakım işlemi rutin olarak tekrarlanabilir. Ancak arazi üzerinde bitki oluşmaması için herbisit türevi maddeler kullanılarak kimyasal bir temizlikte yapılmaktadır. Buna bağlı olarak bu maddelerin toprakla bütünleşmesi araziye olumsuz etkilemektedir. Arazinin temizlenmesinden sonra yapısına bağlı olarak toprağında sıkıştırma ve tesviye işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemlerde arazinin doğal yapısını etkilemektedir. Drenaj kanalları kapatılarak erozyona ve sel oluşumuna neden olmaktadır [22].

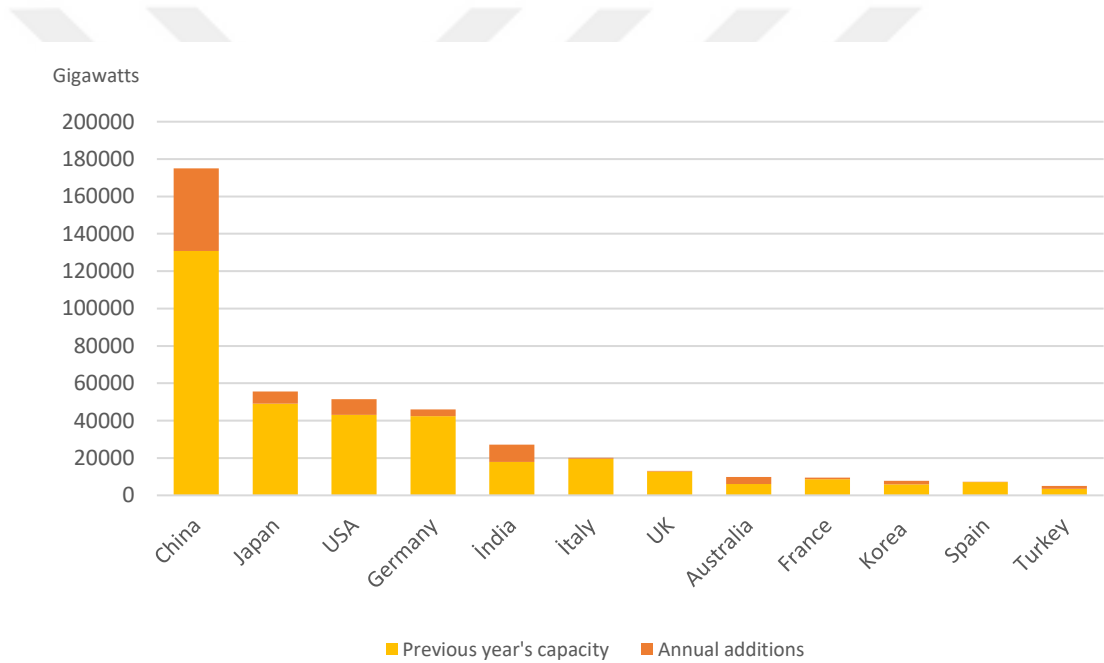
Kurulum güçlerine bağlı olarak kapladıkları alan, ışık yansımaları alanlarını doğrudan etkilemektedir. Büyük alanlarda kurulan sistemlerin yaratmış olacağı büyük ışık yansımaları ve ısınmalar termal dengeyi etkileyerek kurulan bölgeye göre kuşların göç yollarını yanıltmasına ve böceklerin habitatın bozulmasına ölmelerine neden olabilmektedir.

3.4. Güneş Enerjisinin Ekonomik Etkileri

Dünya da birçok ülke kendi fosil yakıt rezervlerinin yetersiz oluşundan kaynaklı diğer ülkelerin rezervlerine bağımlı bulunmaktadır. Her geçen yıl artan enerji ihtiyacının yeterli miktarda karşılanabilmesi özellikle dışa bağımlı ülkelerde başta ekonomik sonra siyasi açılardan zorlayıcı etkiler yaratmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı büyük ölçekli santral kurulum, işletme ve hammadde maliyetleri ile beraber çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının keşfi kullanımlarının büyük ölçekte hayata geçirilmesi enerji sorununa çözüm etkisi oluşturmaktadır. Özellikle güneş enerjisi büyük ve küçük ölçekli sistem kurulum ve enerji üretim imkanını sunması dünyada en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağı konumunda bulunmasını sağlamıştır.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) tarafından yayınlanan Kapasite İstatistikleri 2019 Raporuna göre 10 yıllık bir süre içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş üzerine yapılan yatırımların toplam kapasite değeri 486 GW değerine ulaşmıştır [1]. Bu değer katlanarak artan yatırım süreçlerinin yanı sıra yenilenebilir enerji konusunda dünya ülkelerinde gerçekleşen farkındalık ve bilinçlenmeyi ortaya koymaktadır.

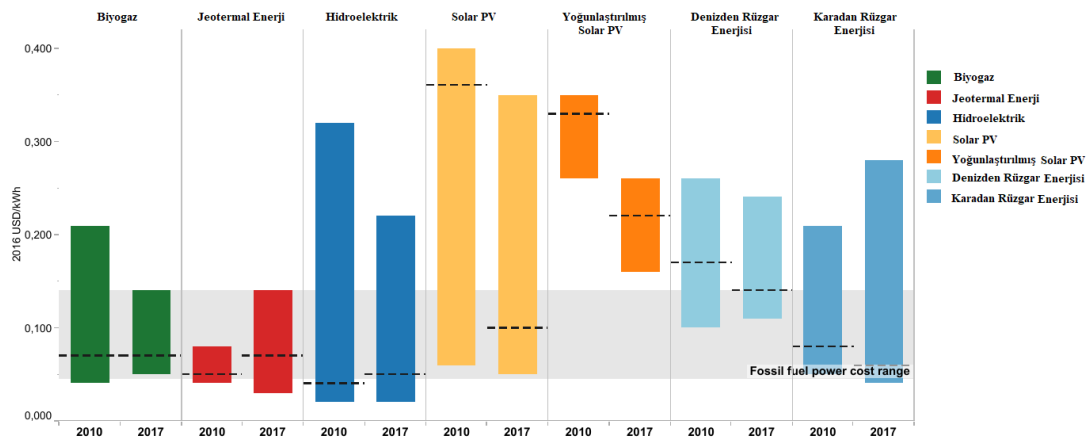
Özellikle 2018 yılı içerisindeki kurulum kapasitelerine bakıldığında ilk 12 ülke arasında 2020 hedeflerini bile geride bırakan Çin olduğu gözlemlenmiştir. Çin PV hücre ve modül üretiminde de Pazar payında ilk sırada bulunmaktadır.



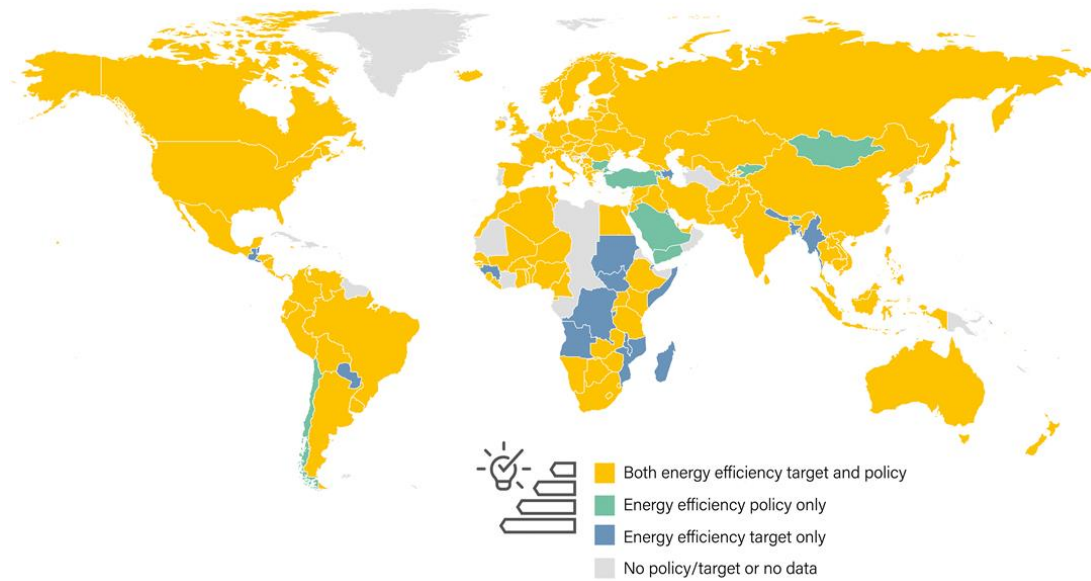
Şekil 3.1. Güneş PV kapasitesi ve güç artışı miktarlarında ilk 12 ülke sıralaması, 2018 [1]

Gelişmelere bakıldığında Dünya'nın yatırım önceliğinde enerji yer almaktadır. Sadece yatırım anlamında değil yatırımı oluşturacak ulusal pazarlar birer ekonomik stratejisi taşımaktadır. IRENA tarafından yayınlanan raporda Türkiye fotovoltaik enerji yatırımında Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi 2017 yılı içerisinde toplam sahip olduğu 3.422 MW enerjiyi 2018 yılında 5.064 MW güce getirerek dünya ülkeleri sıralamasında 12'inci sıraya yerleşmiş bulunmaktadır.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century yayınlamış olduğu Renewables Global Status Report 2018’de 2010 yılından 2017 yılına kadar olan dönemde küresel yenilenebilir enerji düzeyinde elektriksel maliyetlerdeki eğilimler Şekil 3.2.’de sunulmaktadır. 2017 yıl sonu hedefleri enerji verimliliği ve politikaları olan ülkeler Şekil 3.3.’te yer almaktadır. Küresel büyümede önemli derece etkisi bulunan yenilenebilir enerji yatırımları ileriki yıllarda teknolojik süreçlerle beraber yatırım maliyetlerinin azalması sağlanarak dünya ülkelerinin genelinde enerji politikalarının hedeflerinin köklü değişimini gerçekleştirecektir.



Şekil 3.2. 2010'dan 2017'ye kadar olan dönemlerde küresel yenilenebilir enerji düzeyindeki elektriksel (LCOE) maliyetlerdeki eğilimlere genel bakış [23]



Şekil 3.3. Hedefleri enerji verimliliği ve politikaları olan ülkeler-2017 sonu [23]

BÖLÜM 4. TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ SWOT ANALİZİ

Türkiye güneş enerjisinin avantajlarının çoğunu taşıyan coğrafi bir yapıya sahiptir. Avantajlarından en doğru ve verimli kazanımları sağlamak adına güncel, ekonomik, global ve bölgesel analizlerin yapılması gerekmektedir. Özellikle dezavantajlarının etkilerini kırmak için yatırımcıların yerinde kararlar alıp, kurulumlarını gerçekleştirmek istedikleri bölgelerde değerlendirme kriterlerini sağlamalıdır. Bakanlıkların politikalarını, enerji kalkınma planlarını bu çerçevede misyon, vizyon, amaç, hedef ve gelecek yatırımlarını belirleme doğrultusunda SWOT analizleri ile beraber ortaya koymaktadır.

4.1. SWOT Analizi

SWOT analizi güçlü (Strengths), zayıf (Weaknesses), fırsat (Opportunities) ve tehdit (Threats) faktörlerini ortaya koyan proje, strateji ve planlamanın yapılandırılmasında kullanılan bir analiz yöntemidir. Türkiye'de güneş enerjisi SWOT analizinin hazırlanışında öncelikle yenilenebilir enerji alanında çalışmalarda bulunduğu süre içerisindeki deneyimlerimden, beraber çalıştığım uzman kişilerin görüş ve önerileri kapsamında hazırlanmış olduğunu beyan etmek isterim. Araştırma ve belirlenen kriterlerinde değerlendirildiği SWOT analizinde iç faktör ve dış faktör olarak ele alınmıştır.

4.1.1. İç faktörler

Güçlü Yönler:

- Türkiye yıllık güneş alma süresi ve m²'ye düşen ışınım miktarı bakımından birçok ülkeye karşın coğrafi konumu itibariyle avantajlıdır. Ortalama büyüklükte potansiyele sahiptir.

- Fosil enerji kaynaklarında sınırlı rezervlere sahip olan Türkiye, yıllık dört mevsim geçişlerinin yaşandığı güneşten her mevsim yararlanabilme imkanından dolayı güneş enerjisi için hammadde (güneş) ulaşımı kolay, maliyetsiz ve bağımsızdır.
- Farklı coğrafi özellikleri barındıran topografik yapısından kaynaklı enerji ihtiyacının gereken bölgelerde ihtiyaç halinde karşılanamaması durumunda güneş enerjisinin büyük ve küçük ölçekli güçlerde her alanda kurulumunun yapılabilmesi ve coğrafyasının tamamında güneşten yararlanabilmesi Türkiye için büyük bir imkân sağlamaktadır.
- Tabii kaynakların çıkartılması ve fosil yakıtlardan enerji elde edilmesi Türkiye'nin sahip olduğu su kaynakları, doğal güzellikleri ve canlılar için tehlike yaratmaktadır. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları içersin de en çok güneş enerji potansiyelini taşıması temiz sürdürülebilir bir enerji kullanımını sağlamaktadır.
- Enerji ihtiyacını ürettiği enerjiyle karşılayamaması ve üretilen enerji için gereken kaynak rezervlerinin yetersiz olması ekonomik ve siyasi açılardan zorluk yaratmaktadır. Ancak güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre bölgesel, bireysel kullanımına imkân tanınması dışa bağımlılığın azalmasına ve arz güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır.
- Mevcut yenilenemeyen enerjilere ait santrallerin işletme ve bakım maliyetlerinin yüksek olmasına karşın güneş enerji santrallerinin işletme ve bakım maliyetinin çok düşük olması yatırımcı ve kullanıcı için avantaj sağlamaktadır.

Zayıf Yönler:

- Türkiye'de dört mevsimin yaşanması kış aylarında gelen ışınım miktarının az olmasından kaynaklı üretilen enerji miktarının azalma gerçekleşmektedir. Panel verimliliklerinin de yeterli düzeyde olmaması gelen ışınımlardan tam verimlilik sağlayamamaktadır.

- Enerji üretiminde kullanılan solar panellerin kullanımlarına bağlı olarak yıllara göre enerji üretim verimliliklerinin azalması enerji talebinin her yıl artış gösteren ivmesini karşılayamayarak enerji açığı yaratabilmektedir.
- Güneş enerjisi santral kurulumlarının yatırım maliyetinin yüksek olması Türkiye’de yatırımcılar açısından zorlayıcı etkiler taşımaktadır.
- Solar enerji üretiminin gece olmaması küresel bazda zayıf bir etki yaratmaktadır.
- Yanlış arazi ve bölgelerde kurulumları gerçekleşen güneş enerjisi üretim santrallerin tabiat içerisinde kuş vb. hayvanların ölümlerine sebep olabilmektedir.
- Üretilen enerjinin devamlı olmamasına bağlı olarak depolama ihtiyacının olması ve depolama imkanlarının sınırlı olması enerjinin etkin kullanımında engel oluşturmaktadır.
- Üretim santrallerinin güneş ışığını tam alabilmeleri için etrafının açık olması gölgelenmenin olmaması gerekmektedir. Almanya gibi Avrupa ülkelerinde şehir planlamanın düzenli, kanunlar nezdinde çatı uygulamalı kullanım yaygın ve verimli olmasına karşın bu durum Türkiye için bireysel ve konutlarda ki kullanımlarında kentsel yapılaşmanın çarpık ve düzensiz olmasından kaynaklı dezavantaj yaratmaktadır.
- Güneş enerjisi santrallerinde üretilen birim enerji miktarı diğer enerji santralleri ile karşılaştırıldığında çok daha fazla kurulum alanı gerektirmektedir.

4.1.2. Dış faktörler

Fırsatlar:

- Güneş enerji santrali kurulumu için uygun araziler bulunmaktadır.
- Yenilenebilir enerji konusuna farkındalık ve bilinçliliğin oluşmaya başlaması yeni yatırımcı ve kullanımının yaygınlaşmasının önünü açmaktadır.
- Yatırım maliyetlerinin mevcut durumu ile bile yatırımcılara kısa vadede maddi kazanımlar sağlamaktadır. Maliyetlerin zamanla azalması kazanımlar üzerinde süreyi azaltacaktır.

- Yatırımların hız kazanması ile yenilenebilir enerji sektörü hammaddenin ulaşılabilir ücretsiz ve sürekli olmasının etkisi ile istihdam yaratmaktadır. Sektör içerisinde yerli mühendislik firmaları artış göstermektedir.
- Enerji ithalat rakamlarında azalma gerçekleştirmek adına güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırım programları oluşturularak bölgesel enerji ağı üzerinde ki Türkiye'nin ekonomisinde direnç sağlanabilir.

Tehditler:

- İklim değişiminden dolayı güneş ışınım miktarları farklı değerlerle ulaşmaktadır.
- Uygun arazi (tarım arazisi olmayan, arazi zemini konstrüksiyon yerleşimine uygun, eğim derecesi az, dağlık ve çevresinde gölgelenme yapabilecek dağ bulunmayan vs.) olmayan bölgelerde arazi yerlerinin zor ve pahalı temin edilebilmektedir.
- Yasaların getirdiği teşvikler, vergi muafiyetleri ve bankaların sağlamış olduğu kredi düzenlemeleri yeterli seviyede bulunmamaktadır.
- Büyük güçte kurulumları olan güneş enerjisi santralleri çevrelerine yoğun bir ışık yansıması oluştururlar. Bu durum ısı dengenin değişimine neden olmaktadır.
- Trafo merkezlerinde kapasite dolumu sorunu yaşanmakta ve santral kurulumunu sınırlandırmaktadır.
- Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kesintili bir üretim süreci olan güneş enerjisinin şebekeye entegrasyonu için gereken alt yapı düzenlemeleri tamamlanmamıştır.
- Yeterli oranda kapasite bağlanılabilirliği sağlanamamakta, trafo merkezlerinde yapılması gereken güç artışı yapılmayarak üretim kısıtlanmaktadır.
- Yasal süreçler, izinler ve proje onayları uzun vadede gerçekleşmektedir.
- Güneş enerji santrali kurulacak alanlardaki toprakta yapılan sıkıştırma ve tesviye işlemleri arazinin yapısını değiştirmekte ve toprağın doğallığını tamamen etkileyerek doğal drenaj kanallarının bozulmasına neden olarak erozyona ve su baskınlarına neden olabilmektedir [24].

- Yenilenebilir enerji yatırım ve kullanımları başlamadan önce uygun yasal düzenleme ve zeminlerin oluşturulmaması, sonraki süreçler içerisinde yasal düzenlemelerde revizelere gidilmesine neden olmaktadır. Bu durum zaten proje onay ve süreçlerinin uzun zaman alan yatırımlarda yatırımcılar açısından sorun yaratmaktadır.
- Yoğun yansıma ve ısı dengenin değişiminden kuşların göç hareketleri olumsuz etkilenmekte ve böcekler gibi canlılar üzerinde ölümler olmaktadır.

4.2. Güneş Enerjisi Üretiminde SWOT Analizinin Önceliklerin Belirlenmesi ve Stratejiye Odaklanma

Türkiye’de güneş enerjisi için hazırlanılan SWOT analizi stratejik adımların belirlenmesinde geniş bir perspektif taşımaktadır. Ancak güneş enerjisi kendi enerji üretim profilinde ki gibi belirsizlik barındıran ve çok kriterli bir analiz yapısında olduğundan stratejilerin belirlenmesinde SWOT analizi ile çok kriterli karar verme yöntemleri ve bulanık mantıkla desteklenmesi doğru sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bölüm 4.1’de yer alan SWOT analiz çalışması ilk olarak değerlendirme ve karşılaştırmaların net bir şekilde yapılabilmesi adına maddeler halinde Tablo 4.1.’de yeniden düzenlenmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP araştırmacılar tarafından çok sık kullanılan bir yöntem olduğu için çalışmada bu yöntem seçilmiştir. Özellikle SWOT analiziyle sıkça kullanılmaktadır. Kajanus, Kurtilla ve Pesonen 1996’da [27] çok kriterli karar verme tekniği olan AHP ile SWOT u çalışmalarında birlikte kullanmış, daha sonra Kangas, Pesonen, Kurtilla, Kajanus 2001’de [28] AHP ile SWOT analizini entegre ederek bu yönteme A’WOT ismini vermişlerdir. Bunların dışında da SWOT analiziyle ÇKKV tekniklerini bir arada kullanan birçok makale [27,28,29,30,31,32,33,34,35] bulunmaktadır.

Tablo 4.1. Güneş enerjisi SWOT analizi

	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
İÇ FAKTÖRLER	<p>G1: En bol ve tükenmeyen kaynak olması</p> <p>G2: Güneşin enerjiye dönüştürülmesinin kolay olması</p> <p>G3: Hammaddeye (güneş) ulaşımın kolay olması</p> <p>G4: Çevre kirliliğine neden olmaması, Çevre dostu</p> <p>G5: Santrallerin bakım maliyetinin düşük olması</p> <p>G6: Enerjiye ihtiyaç duyulan her alanda kullanımının mümkün olması</p> <p>G7: Dışa bağımlılığı azaltması ve arz güvenliğini sağlaması</p> <p>G8: Büyük ya da küçük enerji ihtiyacının karşılanması adına güneş enerjisi üretim sisteminin projelendirilebilmesi</p> <p>G9: Solar Panellerde üretim gücü ve verimliliklerinin artması</p> <p>G10: Sürdürülebilir</p>	<p>Z1: Yatırım maliyetinin yüksek olması</p> <p>Z2: Üretiminin gece olmaması</p> <p>Z3: Kuş vb. hayvanların ölümüne sebep olabilmesi</p> <p>Z4: Enerji üretiminde kullanılan solar panellerin kullanımına bağlı olarak yıllara göre enerji üretim verimliliklerinin azalması</p> <p>Z5: Üretilen enerjinin devamlı olmamasına bağlı olarak depolama ihtiyacının olması ve depolama imkanlarının sınırlı olması</p> <p>Z6: Türkiye’de dört mevsimin yaşanmasından dolayı kış aylarında ışınının az olmasından kaynaklı üretilen enerji miktarının azalması</p> <p>Z7: Üretim santrallerinin güneş ışığını tam alabilmeleri için etrafının açık olması gölgelenmenin olmamasının gerekmesi</p> <p>Z8: Güneş enerjisi santrallerinde üretilen birim enerji miktarı diğer enerji santralleri ile karşılaştırıldığında çok daha fazla alan gerektirmesi</p>
DİŞ FAKTÖRLER	<p>F1: Türkiye’nin güneş alma gün sayısının fazla olması</p> <p>F2: Santral kurulumu için uygun arazilerin olması</p> <p>F3: Teknolojinin hızlı gelişmesi ile daha yaygın kullanılabilir olacak olması</p> <p>F4: Yatırımcılar için kısa vadede maddi kazanım sağlaması</p> <p>F5: Yenilenebilir enerji konusuna farkındalık ve bilinçlilik oluşmaya başlaması.</p> <p>F6: Yenilenebilir enerji sektöründe hizmet veren yerli mühendislik firmalarının artması ve yatırımların artması</p>	<p>T1: İklim değişiminden dolayı güneş ışınının farklı kalitede gelmesi</p> <p>T2: Uygun arazi (boş) olmayan bölgelerde arazi yerinin zor ve pahalı temin edilmesi</p> <p>T3: Yasaların getirdiği teşviklerin yeterli olmaması</p> <p>T4: Trafo merkezlerinde kapasite dolumu sorununun yaşanması ve santral kurulumunun sınırlandırılması</p> <p>T5: Yeterli oranda kapasite sağlanmadığından trafo merkezlerinde yapılması gereken güç artışının yapılmaması ve üretimin kısıtlanması</p> <p>T6: Yasal sürecin, izinlerin ve proje onaylarının uzun vadede gerçekleştirilmesi</p> <p>T7: Güneş enerji santrali kurulacak alanlardaki toprakta yapılan sıkıştırma ve tesviye işlemleri arazinin yapısını değiştirmekte ve toprağın doğallığını tamamen etkileyerek doğal drenaj kanallarının bozulmasına neden olarak erozyona ve su baskınlarına neden olabilmekte [24]</p> <p>T8: Büyük alanlar kaplayan santrallerde çevrelerine yoğun bir ışık yansımaları yaratmaları ve ısıl dengenin bozulmasına neden olması</p> <p>T9: Yoğun yansımaya ve ısıl dengenin değişiminden olumsuz etkilenen kuş ve böceklerin ölümü, kuşların göç hareketlerinin olumsuz etkilenmesi</p>

SWOT analizi faktörleri ve alt faktörlerinin [33] ağırlıklarının hesaplanması: SWOT analizi faktörleri (G-Z-F-T) ve alt faktörleri için uzmanlar tarafından ikili karşılaştırma yapılmıştır. Güçlü yönlerin alt faktörleri 10x10 luk (K10x10) ikili karşılaştırma matrisi ile ifade edilmiştir. Zayıf yönlerin alt faktörleri 8x8 lik (Z8x8) ikili karşılaştırma matrisi ile ifade edilmiştir. Fırsatların alt faktörleri 6x6 lık (F6x6) ikili karşılaştırma matrisi ile ifade edilmiştir. Tehditlerin alt faktörleri 9x9 luk (T9x9) ikili karşılaştırma matrisi ile ifade edilmiştir. SWOT faktörleri ve alt faktörlerine ait

uzman görüşlerinin ikili karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalaması alınarak tek matris elde edilmiştir.

Tablo 4.2. SWOT ana faktörlerin yerel ağırlıkları

	A_{local}	TO
G	0,340883	0,00365
Z	0,300878	
F	0,253261	
T	0,104978	

SWOT ana faktörlerin lokal ağırlıkları (Tablo 4.2.) ile SWOT alt faktörlerin lokal ağırlıkları hesaplanırken tutarlılık analizi yapılmıştır. SWOT ana faktörler için tutarlılık oranı 0,003 olarak bulunmuştur. SWOT alt faktörlerin tutarlılık oranları 0,03 civarında gerçekleşmiştir.

Tablo 4.3. SWOT güçlü yönler alt faktörün yerel ağırlıkları

	A_{local}	TO
G1	0	0,033
G2	0,22555	
G3	0	
G4	0	
G5	0,084346	
G6	0,198926	
G7	0,060601	
G8	0,067426	
G9	0,119442	
G10	0,180736	
G11	0,062974	

SWOT'un iç analiz faktörleri olan güçlü yönler lokal ağırlıkları hesaplanırken G1, G3 ve G4'ün ağırlıkları ihmal edilecek kadar küçük çıkmış ve fuzzy AHP prosedürü gereği ağırlık değeri Tablo 4.3.'de görüldüğü üzere sıfır bulunmuştur.

Tablo 4.4. SWOT zayıf yönler alt faktörün yerel ağırlıkları

	A_{local}	TO
Z1	0,55018	0,035
Z2	0	
Z3	0	

Tablo 4.4. (Devamı)

	A_{local}	TO
Z4	0,022722	
Z5	0,274003	
Z6	0	0,035
Z7	0,024384	
Z8	0,128711	

SWOT'un iç analiz faktörleri olan zayıf yönler lokal ağırlıkları hesaplanırken Z2, Z3 ve Z6'nın ağırlıkları ihmal edilecek kadar küçük çıkmış ve fuzzy AHP prosedürü gereği ağırlık değeri (Tablo 4.4.) sıfır bulunmuştur.

Tablo 4.5. SWOT fırsatlar alt faktörün yerel ağırlıkları

	A_{local}	TO
F1	0,079308	
F2	0	
F3	0,391602	0,03
F4	0,157812	
F5	0,20649	
F6	0,164788	

SWOT'un çevre analiz faktörleri olan fırsatların lokal ağırlıkları hesaplanırken F2'nin ağırlığı ihmal edilecek kadar küçük çıkmış ve fuzzy AHP prosedürü gereği ağırlık değeri (Tablo 4.5.) sıfır bulunmuştur.

Tablo 4.6. SWOT tehditler alt faktörün yerel ağırlıkları

	A_{local}	TO
T1	0	
T2	0	
T3	0,214343	
T4	0,122933	
T5	0,114996	0,029
T6	0,547728	
T7	0	
T8	0	
T9	0	

SWOT'un çevre analiz faktörleri olan tehditlerin lokal ağırlıkları hesaplanırken T1, T2, T7, T8 ve T9'un ağırlığı ihmal edilecek kadar küçük çıkmış ve fuzzy AHP

prosedürü gereği ağırlık değeri (Tablo 4.6.) sıfır bulunmuştur. Strateji belirlemek için gerekli olan veriler önceliklendirme bilgilerinden elde edilmiştir. Önceliklendirme sıralaması için ise ağırlık değeri sıfır olan ve dolayısıyla sıralamaya etkisi olmayan SWOT alt faktörleri tablo 4.7’den çıkarılmıştır. A_{global} , SWOT ana faktörlerinin lokal ağırlıkları ile o ana faktöre ait alt faktörlerin ağırlıklarının çarpımı ile hesaplanmıştır. Global ağırlıklara göre öncelikler değerlendirildiğinde Z1’in yani “yatırım maliyetinin yüksek olması” alt faktörünün en yüksek puanı alarak önemli bir zayıflık olarak dikkat çekilmektedir. İlginç olan konu ilk sırada ve son sırada da zayıflığın yer almasıdır. Son sırada yer alan zayıflık ise Z4 yani “Enerji üretiminde kullanılan solar panellerin kullanımına bağlı olarak yıllara göre enerji üretim verimliliklerinin azalması” alt faktörüdür.

Tablo 4.7. SWOT faktörlerinin önceliklendirilmesi

	A_{local}	A_{swot}	A_{global}	Öncelik
G2	0,22555		0,076886	4
G5	0,084346		0,028752	13
G6	0,198926		0,06781	5
G7	0,060601		0,020658	17
G8	0,067426	0,340883	0,022984	14
G9	0,119442		0,040716	10
G10	0,180736		0,06161	6
G11	0,062974		0,021467	16
Z1	0,55018		0,165537	1
Z4	0,022722		0,006837	22
Z5	0,274003	0,300878	0,082441	3
Z7	0,024384		0,007337	21
Z8	0,128711		0,038726	12
F1	0,079308		0,020086	18
F3	0,391602		0,099177	2
F4	0,157812	0,253261	0,039968	11
F5	0,20649		0,052296	8
F6	0,164788		0,041734	9
T3	0,214343		0,022501	15
T4	0,122933		0,012905	19
T5	0,114996	0,104978	0,012072	20
T6	0,547728		0,057499	7

Tablo 4.7.'de yer alan değerlendirme neticesinde ilk on öncelik sıralaması Z1, F3, Z5, G2, G6, G10, T6, F5, F6, G9 olmuştur. İki zayıf, üç fırsat, dört güçlü ve bir tehdit faktörünün yer aldığı sıralamada güneş enerjisi üretim ve yatırım stratejilerinin belirlenmesinde analiz önceliği taşımaktadır.

Ağırlıklı olarak ilk öncelik zayıf faktörlerden Z1'dir. Diğer zayıf faktör Z5 ile ilk üçte yer alan Z1 faktörü stratejinin belirlenmesinde öncelikle zayıf faktörlerin göz önüne alındığının bir göstergesidir. Z1 faktörü "Yatım maliyetinin yüksek olması" ve Z5 faktörü "Üretilen enerjinin devamlı olmamasına bağlı olarak depolama ihtiyacının olması ve depolama imkanlarının sınırlı olması" faktörleri güneş enerjisi yatırımı için diğer yenilenebilir enerji kaynak yatırımlarına göre dezavantaj sağlamaktadır. Bu dezavantajların giderilmesi için güçlü stratejiler belirlenmelidir. Bu hususta fırsat ve güçlü faktörlerden destek sağlanması dezavantajın zayıflamasında yardımcı olacaktır.

Z1 ve Z5 faktörleri için belirlenebilecek stratejiler:

- Yatırım maliyeti yüksek olan güneş enerjisinin, yatırımlarının hız kazanması adına devlet yatırım destek programlarının düzenlenmesi, mevcut yatırım teşviklerinde bulunan kurumların (TKDK vs.) hibe bütçelerinde artış sağlayarak tek bir havuzdan değil bölgesel fonlar oluşturulması.
- Güneş enerjisi ekipmanlarının üretimde yerli Ar-ge tesisleri kurulması, üniversite ve teknokentlerin destekleri alınarak daha verimli, depolama ihtiyacının karşılanmasına yönelik Ar-ge yürütülerek, ekonomik ekipman üretimlerinin gerçekleştirilmesi.

İkinci sırada F3 fırsat faktörü "Teknolojinin hızlı gelişmesi ile daha yaygın kullanılabilir olması" yer almaktadır. Diğer F5 "Yenilenebilir enerji konusuna farkındalık ve bilinçlilik oluşmaya başlaması" ve F6 "Yenilenebilir enerji sektöründe hizmet veren yerli mühendislik firmalarının artması ve yatırımların artması" fırsat faktörleri ile birlikte belirlenecek olan stratejik adımlar güneş enerjisi yatırımlarının yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

F3, F5 ve F6 faktörleri için belirlenebilecek stratejiler:

- Yenilenebilir enerji alanında farkındalık ve bilinçliliğin artması ile bireysel yatırımlarının dışında yasaların belirlediği çerçevede enerji kooperatifleri kurularak birçok yatırımcının bir araya getirilmesi.
- Yatırımcılar için yerli mühendislik firmalarının etkin oluşu, keşif, teknik destek yardımlarının sağlıklı ve hızlı gerçekleşmesini sağlayarak yenilenebilir enerji için güvenin sağlanması.
- Solar hücrelerin farklı sektör ve alanlarda kullanım imkanının bulunması girişimcilik ve inovasyon için perspektif sağlamaktadır. Bu alandan ekonomik, teknolojik kazanımlar sağlanması adına projelerin geliştirilmesi ve desteklenmesi.

İlk on sıralamasında yer alan G2 “Güneşin enerjiye dönüştürülmesinin kolay olması”, G6 “Enerjiye ihtiyaç duyulan her alanda kullanımının mümkün olması”, G10 “Sürdürülebilir” ve G9 “Solar Panellerde üretim gücü ve verimliliklerinin artması” güçlü faktörleri güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre bir adım öne çıkarmaktadır. Ayrıca zayıf yönleri destekleyerek avantaja dönüştürmektedir.

G2, G6, G10 ve G9 faktörleri için belirlenebilecek stratejiler:

- %100 yenilenebilir enerji hedefine doğru diğer yenilenebilir enerji kaynakları içinde destek payının büyük bir bölümünün güneş enerjisine yönlendirilmesi.
- Mevsim ve iklim şartlarının elverişli bulunduğu öncelikle küçük yerleşim alanlarında güneş enerjisi kullanımının zorunlu kılınması.
- Organize sanayi bölgelerinde yer alan işletme ve büyük güç tüketen fabrikaların enerji ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik çatılarının güneş enerjisi kullanımının uygunluğuna yasal zorunluluk getirilerek zaman içerisinde yapılabilecek GES kurulumlarına zemin hazırlanması.

Son olarak tek tehdit faktörü olarak yer alan T6 “Yasal sürecin, izinlerin ve proje onaylarının uzun vadede gerçekleştirilmesi” faktörü yatırım sürecindeki yasal prosedürlerin gerçekliğini ortaya koymaktadır. Bu süreç içerisinde birçok yatırımcı

yatırımını gerçekleştirememekte veya yatırım sürecini yönetemeyeceğini düşünerek vazgeçmektedir. T6 faktörü zayıflatılabilecek veya avantaja dönüştürülebilecek bir faktör değildir. Düzenleme gerektiren bir faktördür. Yol haritasında belirlenen adımların işleyiş hızının artması adına kurumsal yetkilendirmenin artması ve elektronik ortam kullanımının uygun hale getirilmesi faktörün iyileşmesine katkı sağlayabilir.

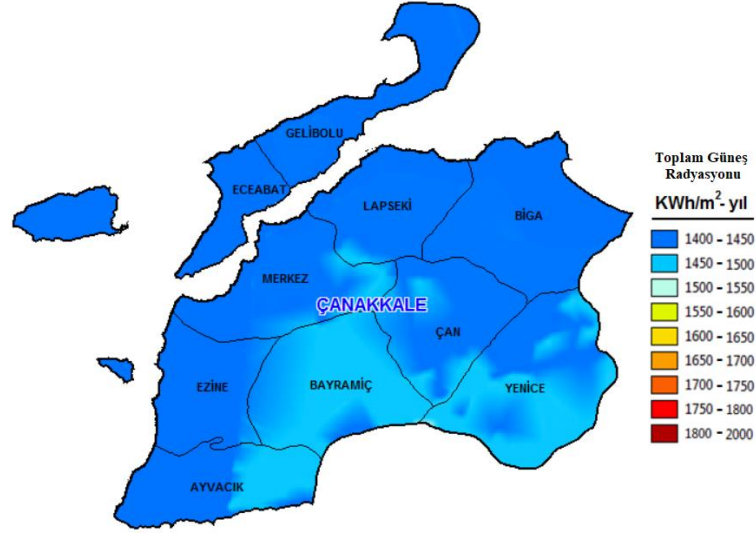


BÖLÜM 5. MEVCUT GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN ÜRETİM VERİLERİ İLE İNCELENMESİ

Güneş enerjisine dayalı enerji üretimi gerçekleştirilmek istenildiğinde kullanımının en verimli olması adına dikkat edilmesi gereken hususlar mevcuttur. Öncelikle bilinmesi gereken durum, küçük veya büyük güç üretimi olsun her bir ihtiyaç yeni bir güneş enerjisi sistem projesidir. Güneş panelleri ve üretilen enerjinin kullanımını sağlayan sistem ekipmanların taşınabilir, her yerde kullanılabilir olması sistemin direk olarak kurulumu için yeterli değildir. Yerleşimlerinin hesaplanabilir ölçüde gerçekleştirilerek enerji kayıpları yaşanmadan doğru kazanım elde edilmesi hedeflenmelidir.

Teoride temel olarak ele aldığımız güneş enerjisi sistemlerinin realitede kurulumlarının gerçekleştirilmiş durumları üzerinden bir değerlendirme yapılacaktır. Teorik beklenen veriler (kayıpların dahil olmadığı yüzeysel hesaplama) ile üretimle elde edilen verilerin analizlerini Çanakkale ilinde yer alan (Şekil 5.1.) kurulumlarında ve geçici kabullerinde yer aldığım iki farklı ilçe ve farklı uygulamaya sahip GES üzerinden ele alınacaktır.

Güneş enerjisi üretim değerlerinin hesaplanmasında kaynak faktörünün mevsimsel, açısız değişimlerine dayalı belirsizlik taşımaktadır. Enerji üretim verilerinin yaklaşık değerlerde tahminini gerçekleştirmek adına matematiksel modelleme çalışmaları [36,37,38] bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Çanakkale ili toplam güneş radyasyonu [3]

5.1. Çatı Uygulamalı Güneş Enerjisi Santrali

Çanakkale ili Merkez ilçesinde yer alan çatı uygulamalı güneş enerjisi santralının DC kurulu gücü 413,440 kWp ve AC kurulu gücü 345 kWe'dir. 1292 adet 320 W gücünde poli-kristal panel kullanılmıştır. Uygulama bir fabrika çatısı üzerinde gerçekleştirilerek üretilen güç tüketimde de kullanılarak fazlası şebeke üzerinden aktarılmaktadır.

Güneş enerjisi çatı uygulamalı santral projeleri hazırlanırken ilk bakılması gereken uygulanmak istenilen çatının konstrüksiyon yerleşimi için statik uygunluğudur. Gölge analizinin doğru yapılması, panellerin açılma yerleşim eğimlerinin tespiti bir sonraki aşamayı oluşturmaktadır. Diğer aşama ise kullanılmasına karar verilen panel ve inverter veri değerleri üzerinden uyumluluk kontrolünün yapılmasıdır. İnverter tasarımında PV modüllerin sıcaklığa ve ışıma karşı duyarlılıklarına bakılmalıdır. Bunun nedeni inverter çalışma aralığı PV modüllerin sıcaklığından etkilenmektedir.

Çanakkale ili gibi orta düzeyli iklim bölgelerinde kış için en düşük sıcaklık -10 °C alınarak birinci sınır değeri elde edilir. Hava şartlarının belirsiz etmen olması verimliliği etkileyen en önemli faktörlerden biri olmasına neden olmuştur. Düşük sıcaklıklarda modüllerin gerilimi artarken yüksek sıcaklıklarda azalma görülür.

Oluşacak en yüksek gerilim değeri, düşük sıcaklıktaki açık devre gerilimidir. Sıcaklıkla beraber göz önüne alınması gereken diğer bir durum herhangi bir şebeke hatasından dolayı inverterin kapanması durumunda tekrar devreye alınırken yüksek açık devre gerilimi olabilir. Açık devre gerilimi inverterin zarar görmemesi adına inverterin maksimum DC geriliminden küçük olmak zorundadır. Tüm bu etmenler göz önüne alınarak bir invertere bağlanabilecek dizi içerisindeki maksimum PV panel sayısının belirlenmektedir.

Kış aylarında en düşük sıcaklık seyrederken yaz aylarında en yüksek sıcaklık yaşanmaktadır. PV paneller üzerindeki sıcaklığın etkisi yaz ayları içerisinde bölgedeki ortalama sıcaklıklara bakılarak en yüksek yaklaşık 70 °C ısınmasını sağlayabilir. Yüksek sıcaklığın anma gerilimi düşürdüğü bilinerek bu sıcaklık değerinden invertere bağlanabilecek minimum PV panel sayısı belirlenmektedir. Söz konusu durumda inverterin MPP geriliminin altında anma (çalışma) geriliminin olması maksimum gücün verilememesine hatta inverterin kendini kapatmasına neden olacaktır.

Mevcut santral üzerinden örnek olarak projelendirme aşamasında dikkat edilen sıcaklığın verim üzerindeki etkisi panel ve inverter verileri dahilinde hesaplanacaktır. Teori aşamasında bile göz önüne alınsa da yıl içerisindeki mevsimsel etkiler bulutlu gün sayısı, yağmur, kar, güneşlenme süresi bu değerlerinde değişim göstermesini sağlayacaktır. Önemli olan olabildiğince doğru ekipman tercihi ile beraber hedeflenen verime ulaşılmasıdır. Öncelikle bakılması gereken değerler PV panel ve evirici katalog bilgileridir. Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de yer almaktadır. Bu veriler üzerinden maksimum ve minimum inverter üzerine bağlanabilecek dizi içerisindeki panel sayısı elde edilecektir.

Tablo 5.1. PV panel katalog bilgileri

TEKNİK VERİLER	DEĞERLER	
Maksimum sıcaklık	[T _{max}]	70°C
Minimum sıcaklık	[T _{min}]	-10°C
PV Modül Standart Test Sıcaklığı	[T _{stc}]	25°C
PV Modül V _{oc} Sıcaklık katsayısı	[K _{Voc}]	-0,3% °C
PV Modül V _{mpp} Sıcaklık Katsayısı	[K _{Vmpp}]	-0,42% °C
PV Modül Nominal Gerilimi	[V _{mpp}]	37,39 V
PV Modül Açık Devre Gerilimi	[V _{oc}]	45,49 V
PV Modül Nominal Akımı	[I _{mpp}]	8,58 A
PV Modül Kısa Devre Akımı	[I _{sc}]	9,18 A
PV Modül Çıkış Gücü	[P _{mpp}]	320 W
PV Modül Dönüşüm Verimliliği		16,49 %

Tablo 5.2. İnverter katalog bilgileri

TEKNİK VERİLER	DEĞERLER	
Maksimum DC Giriş Gerilimi	[V _{max}]	1000 V _{dc}
MPP Gerilim Aralığı	[V _{start}]	390 V _{dc}
	[V _{min}]	390 V _{dc}
	[V _{max}]	800 V _{dc}
MPPT Sayısı		2 adet
Maksimum DC Giriş Akımı	[I _{dc max}]	33 A _{dc}
Maksimum DC Giriş Akımı MPPT	[I _{dc-mppt max}]	0 A _{dc}
Maksimum MPPT Kısa Devre Akımı	[I _{sc max}]	33 A _{dc}
İnverter Maksimum Verimlilik		98,3 %

Seri devrede bulunan maksimum PV panel sayısı, inverterlere ait maksimum giriş geriliminin ve -10 °C sıcaklıkta panele ait açık devre geriliminin çarpılması (Denklem 5.1) ile elde edilir.

$$\eta_{max} = (U_{evirici\ max} / U_{L(modül\ T_{min}^{\circ}C)}) \quad (5.1)$$

-10 °C derecedeki modüle ait açık devre gerilimi ($U_{L(modül\ T_{min}^{\circ}C)}$) aşağıdaki eşitlik (Denklem 5.2) kullanılarak hesaplanmaktadır. $\Delta T^{\circ}C$ panellerin test sıcaklık değeri ile -10°C sıcaklık arasındaki farkı, β_L panelin açık devre sıcaklık katsayısını ve $U_{L(oc)}$ panel açık devre gerilimini ifade etmektedir.

$$U_{L(modül T_{min}^{\circ C})} = (1 - \Delta T^{\circ C} \times \beta_L / (\%100)) \times U_{L(oc)} \quad (5.2)$$

Değerler denklemlerde yerlerine yerleştirildiğinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$U_{L(modül T_{min}^{\circ C})} = (1 - ([-10 - 25] \times [-0,30] / 100)) \times 45,59$$

$$U_{L(modül T_{min}^{\circ C})} = 50,377 V$$

$$\eta_{max} = (U_{evirici max} / U_{L(modül T_{min}^{\circ C})}) = \frac{1000}{50,377} = 19,85 \text{ adet}$$

Seri devrede bulunan minimum PV panel sayısı, invertere ait minimum giriş geriliminin ve 70 °C sıcaklıkta panele ait MPP geriliminin çarpılması (Denklem 5.3) ile elde edilir.

$$\eta_{max} = (U_{evirici min} / U_{MPP(modül T_{max}^{\circ C})}) \quad (5.3)$$

70 °C derecedeki modüle ait nominal gerilimi ($U_{MPP(modül T_{max}^{\circ C})}$) aşağıdaki eşitlik (Denklem 5.4) kullanılarak hesaplanmaktadır. $\Delta T^{\circ C}$ panellerin test sıcaklık değeri ile 70°C sıcaklık arasındaki farkı, β_{MPP} panelin açık devre sıcaklık katsayısını ve U_{MPP} panel açık devre gerilimini ifade etmektedir.

$$U_{MPP(modül T_{max}^{\circ C})} = (1 + \Delta T^{\circ C} \times \beta_{MPP} / (\%100)) \times U_{MPP} \quad (5.4)$$

Değerler denklemlerde yerlerine yerleştirildiğinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$$U_{MPP(modül T_{max}^{\circ C})} = (1 + ([70 - 25] \times [-0,30] / 100)) \times 37,39$$

$$U_{MPP(modül T_{max}^{\circ C})} = 32,342 V$$

$$\eta_{max} = (U_{evirici\ min}/U_{MPP(modül\ T_{max}^{\circ}C)}) = \frac{390}{32,342} = 12,06\ adet$$

Sonuçlar incelendiğinde invertere bağlanacak olan seri içerisindeki minimum modül sayısı 12 adet, maksimum modül sayısı ise 19 adet olarak belirlenmiştir. PV panel ve inverter uygunluk kontrollerinde maksimum dizi gerilimi (Denklem 5.5), maksimum Mppt gerilimi (Denklem 5.6) ve minimum Mppt gerilim değerleri (Denklem 5.7) karşılaştırılmaktadır.

Denklemlerde yer alan N maksimum modül sayısını, V_{oc} PV panel açık devre gerilimini, KV_{oc} modülün açık devre gerilimine bağlı sıcaklık katsayısını, T_{min} en düşük sıcaklık değerini, T_s PV panel standart test sıcaklık değerini, T_{max} en yüksek sıcaklık değerini, V_{mpp} PV panel nominal gerilimini, KV_{mpp} PV panelin nominal gerilimine dayalı sıcaklık katsayısını ifade etmektedir.

$$\text{Maksimum Dizi Gerilimi} = N \times V_{oc} \times \left[1 + \left(KV_{oc} \times \frac{[T_{min}-T_s]}{100} \right) \right] \quad (5.5)$$

$$\text{Maksimum Dizi Gerilimi} = 19 \times 45,59 \times \left[1 + \left(-0,30 \times \frac{[-10-25]}{100} \right) \right]$$

$$\text{Maksimum Dizi Gerilimi} = 957,16\ V < 1000V$$

$$\text{Maksimum Mppt Gerilimi} = N \times V_{mpp} \times \left[1 - \left(KV_{mpp} \times \frac{[T_{min}-T_s]}{100} \right) \right] \quad (5.6)$$

$$\text{Maksimum Mppt Gerilimi} = 19 \times 37,39 \times \left[1 - \left(-0,42 \times \frac{[-10-25]}{100} \right) \right]$$

$$\text{Maksimum Mppt Gerilimi} = 605,98\ V < 800V$$

$$\text{Minimum Mppt Gerilimi} = N \times V_{mpp} \times \left[1 + \left(KV_{mpp} \times \frac{[T_{max}-T_s]}{100} \right) \right] \quad (5.7)$$

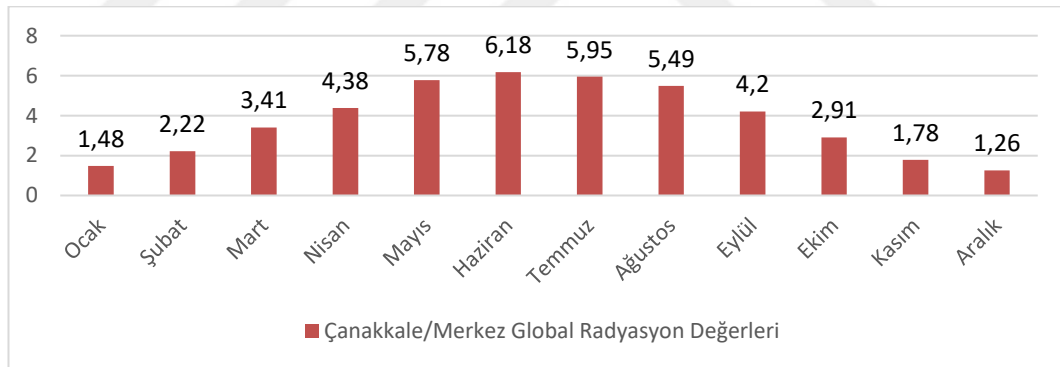
$$\text{Minimum Mppt Gerilimi} = 19 \times 37,39 \times \left[1 + \left(-0,42 \times \frac{[70-25]}{100} \right) \right]$$

$$\text{Minimum Mppt Gerilimi} = 576,14\ V > 390\ V$$

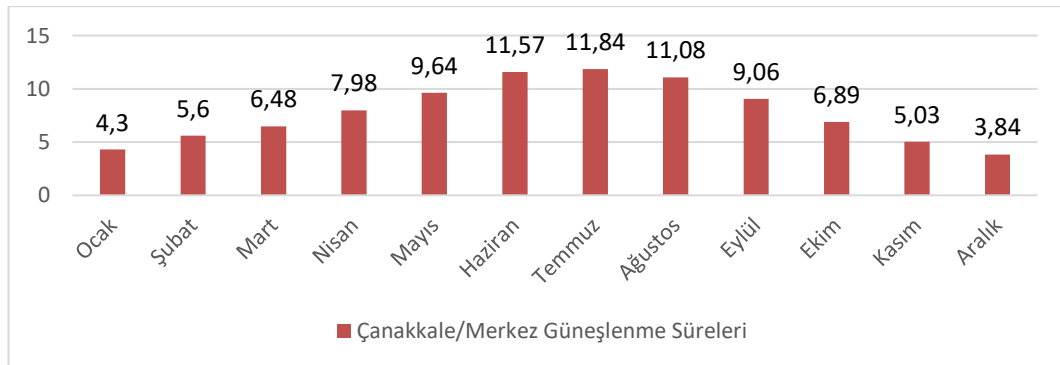
Değer karşılaştırmalarına bakıldığında üç karşılaştırma sonucunun istenilen şekilde olduğu ispatlanarak inverter ile panelin uygun oldukları kabul edilmiştir.

GES projeleri hazırlanırken yukarıdaki hesaplama ve karşılaştırmaların benzeri durumları üzerinden en ince ayrıntılarını içererek tüm proje ekipmanları üzerinden yapılmaktadır. Sadece örneklendirme olarak işlem değerleri paylaşılmıştır. Projeler onaya sunulduklarında tüm teknik hesaplamalar detaylı incelenmektedir. Bölüm içerisinde mevcut santraller üzerinden kurulumlarından sonra devreye alınma tarihlerinden itibaren Mayıs 2019 tarihine kadar ürettikleri enerji değerleri ile bölgelerindeki radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri kullanılarak sabit değerler üzerinden PV sistem kayıpları olmaksızın teoride ön görülen üretim değerleri arasında karşılaştırma yapılacaktır.

Çanakkale ili merkez ilçesinin aylık global radyasyon değerleri Şekil 5.2. ve aylık ortalama güneşlenme süreleri ise Şekil 5.3.'te yer almaktadır. Bu değerler üzerinden hava şartlarının ortalama sabit değer taşıdığı düşünülerek teoride beklenen üretim değerleri elde edilecektir. İnverterin aylık üretim verilerinde paylaşılarak verimliliği etkileyen dış faktörlerin ne kadar etkin oldukları gözlemlenecektir.



Şekil 5.2. Merkez global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün) [3]



Şekil 5.3. Merkez güneşlenme süreleri (Saat) [3]

25.11.2017 de devreye alınan GES Aralık 2017 ve Mart 2019 değerleri arasında bir yıllık süre ve sonrasındaki 2019 yılının ilk üç ayına ait Tablo 5.3'te yer alan net elektrik üretim verileri, teoride hesaplanacak beklenen üretim verileri ile karşılaştırılacaktır. Aylık olarak elde edilmesi beklenen üretim için santral kurulumunda kullanılan panel verimlilik değeri bir diğer önemli noktalardanır. Bu değer panel yüzeyine ulaşan günlük ışınım miktarından ne kadarının absorbe edilerek elektrik enerjisine dönüştürüleceğini belirlemektedir.

Aralık 2017 beklenen elektrik üretim değerini hesaplamak için GEPA verilerine dayalı aylık ortalama ışınım değeri ve aylık ortalama güneşlenme süresi, solar panel gücü, panel verimliliği, ışınımın düştüğü alan miktarı ve aya ait toplam gün sayısı değerlerinden yararlanılabilmektedir. Tüm değerlerin çarpımı beklenebilecek elektrik üretim miktarını yüzeysel olarak vermektedir. Bu değer içerisinde herhangi sıcaklık, açı, yüzeysel, bulutluluk etkilerinin oluşturacağı verimlilik azalmalarını içerisinde bulundurmamaktadır. Bu etkiler var olmadan sadece panel verimliliğine bağlı elde edilen değerler %100 tam verimle üretilecek enerji miktarıdır. Oysaki neredeyse %50'ye yakın bir verim kaybı söz konusudur.

Çatı yüzey üzerine yatay ve sabit konum yerleştirilen panellerin yaklaşık üretim değerlerini hesaplamak için GEPA verilerinden yararlanılarak aralık ayı ışınım miktarı 1,26 kWh, solar panel gücü 320 W, ışınım alan toplam panel alanı 2506,93 m², ortalama aylık güneşlenme süresi 3,84 saat, aralık ayı toplam gün sayısı 31, panel verimliliği %16,49 olup bunu birlikte ortalama %2-4 arası yansıma açılal etkileri de göz önünde bulundurulduğu takdirde %10-20 değerler aralığında kayıp ile üretilmesi beklenen ortalama değer toplamda 17,85 MW elektrik üretimi gerçekleşmesi beklenebilmektedir. Gelen ışınım miktarının ne kadar kazançla elektrik enerjisine dönüştürüleceği gelen ışınımın yansıma miktarı ve panel verimliliği önem taşımaktadır. Işınım üzerinden %20 gibi bir kazanım kaybı beklenebilmektedir. Gerçek verilere bakıldığında ise (Tablo 5.3.) Aralık 2017 üretilmiş olan güç değeri 7,81 MW, Aralık 2018'de üretilmiş olan güç değeri 16,33 MW'tır.

İlkbahar ve yaz ayları için GEPA tarafından belirlenen ortalama aylık güneşlenme süreleri 6,48 ile 11,84 saat aralığında seyretmektedir. Fakat tüm bu güneşlenme süresi boyunca güneş ışınımının aynı yoğunluk altında gelmeyecekleri bir gerçektir. Sabah güneşin doğuşu ile akşam gün batımına doğru ışınım miktarlarında zayıflama olmaktadır. Özellikle yaz aylarında yaklaşık 7 saat normal ve yoğun düzeyde ışınım karşılanmaktadır. Sıcaklığın, ısınmanın DC güç üretimin de verimin azalmasına neden olan kayıp faktörleri ilk bahar, yaz aylarında kış ve sonbahar aylarına göre daha etkilidir. Teorik ön görülen aylık güç üretim değeri yaz ayları için hesaplandığında örneğin 11,84 değer için gerçek üretim verilerinden çok yüksek bir değer karşımıza çıkacaktır. Temmuz ayı için bakıldığında 11,84 saat güneşlenme süresi, belirtilen verilerin kullanımı ve yansıma açısız kayıplarının dahil edilmesiyle birlikte 231,11 MW bir üretim beklenecektir. Temmuz 2018 elektrik üretim değerine bakıldığında 75,83 MW olduğu gözlenmektedir. Güneşlenme süresi ve ışınım miktarının dengeli analizi kayıpların yüzdelerle değişimleri olsa dahi daha yakın veriler elde edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle gerçeğe daha yakın seyretmesi adına ortalama 4-7 arasında değerlerden yararlanılacaktır. Yıllık ortalama güneşlenme süresi GEPA verilerine göre 7,77 saat olan Çanakkale’de çatı uygulamalı santralin 2018 yılı içerisinde üretmiş olduğu toplam elektrik miktarı 537,33 MW’tır.

Tablo 5.3. Çatı uygulamalı güneş enerjisi santrallerine ait GEPA değerleri kapsamında ön görülen üretim ve bir yıl içerisinde gerçekleştirilmiş olan üretim değerleri

AYLAR	Ortalama Aylık Işınım Miktarı (kWh/m ² -gün)	Ortalama Aylık Güneşlenme Süresi (saat)	Gün Sayısı	Üretilen Aylık Güç (MWh)			Teori Ön Görülen Aylık Güç (MWh)
				2017	2018	2019	
Ocak	1,48	4,3	31	-	17,58	15,90	20,878
Şubat	2,22	5,6	28	-	20,41	26,07	41,443
Mart	3,41	6,48	31	-	43,94	53,01	75,513
Nisan	4,38	7,98	30	-	62,23	-	93,864
Mayıs	5,78	9,64	31	-	65,36	-	113,774
Haziran	6,18	11,57	30	-	67,03	-	137,344

Tablo 5.3. (Devamı)

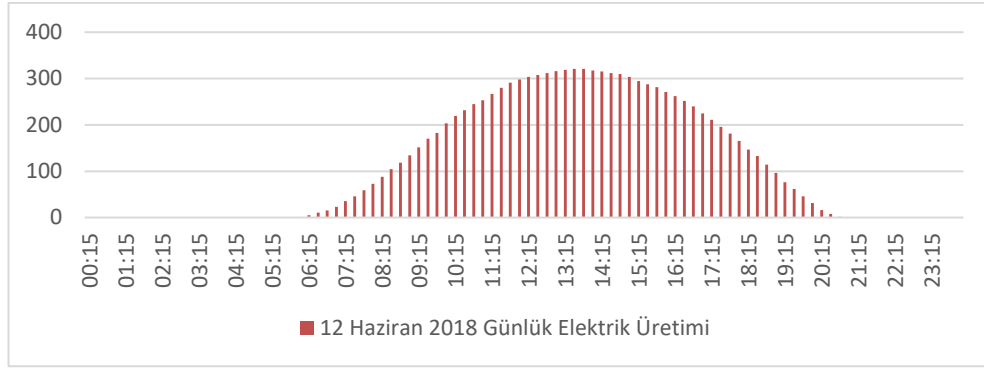
AYLAR	Ortalama Aylık Işınım Miktarı (kWh/m ² -gün)	Ortalama Aylık Güneşlenme Süresi (saat)	Gün Sayısı	Üretilen Aylık Güç (MWh)			Teori Ön Görülen Aylık Güç (MWh)
				2017	2018	2019	
Temmuz	5,95	11,84	31	-	75,83	-	136,640
Ağustos	5,49	11,08	31	-	69,09	-	126,076
Eylül	4,2	9,06	30	-	46,78	-	80,006
Ekim	2,91	6,89	31	-	33,96	-	57,280
Kasım	1,78	5,03	30	-	18,79	-	31,978
Aralık	1,26	3,84	31	7,81	16,33	-	17,857

2017-2018 aralık, 2018-2019 ocak, şubat ve mart ayları elektrik üretim değerlerine bakıldığında ocak ayı hariç diğer aylarda üretimde artış yaşanmıştır. Burada görüleceği gibi elektrik üretiminin doğrudan etki noktası hava şartlarının mevsim normallerin altında ya da üzerinde seyretmesi halinde üretim verilerindeki değişim gözlenmektedir. Ocak ayında 2018 yılına göre üretimde %9,55'lik azalma meydana gelmiştir. Bir sonraki aylarda ise %20 üzerinde üretim artmıştır. Bu değer tahminlerin daha da altında kalarak, GES üretiminde kesin değerlerin elde edilemeyeceğini kanıtlar niteliktedir.

Değerler kontrol edildiğinde ortalama ışınım miktarları neticesinde elde edilebilecek güç üretim miktarları mevcut üretim değerleriyle yakınlık seyretmektedir. Bazı aylar için verim kaybını oluşturabilecek etkiler panel kirliliği, bulutlanma, güneşli gün sayısının az olması, yağmur ve kar gibi hava etkileri, üretim ekipman kayıpları yer almaktadır. Açısız etki panellerin düz çatı düzlem üzerine yerleştirilmiş olmalarına karşın güneşin doğuş ve batış yönünü takip edemediğinden saatler içerisinde güneşlenme süresi uzun olsa dahi ışınım miktarı en çok yüzey üzerinde dik açı kavuşumu yaptığında gerçekleştirilmiş olacaktır. Hesaplamalarda panel verimliliği ve ortalama açısız etki göz önünde bulundurulmaktadır. Toplam alana düşen ışınım miktarları üzerinden (m²) üretim verileri sağlanmaktadır. En önemli etki proje hazırlanırken bile dikkat edilen sıcaklıktır. 25°C üzerinde seyreden panel sıcaklığı ve

ışınım ısı değerleri, güneşlenme süresi yüksek olsa dahi üretimde beklenenin altında verimlilik sağlamaktadır. Ayların verim kayıpları açısından farklı değerleri bulunmaktadır. Kış ayları için sıcaklık etki kaybı 25°C'nin altında olacağı düşünülerek etkisi yüksek tutulmazken yaz ayları için en önemli kayıptır. Yine de yaz ayları hem ışınım miktarının yoğun olması hem de güneşlenme süresinin uzun olmasından kaynaklı elektrik enerjisi ve ısı sistemli enerji üretimlerinde daha yüksek üretim değerleri elde edilmektedir. Burada görüleceği gibi yoğun ışınım sıcaklığı da beraber getirerek tam kapasite üretim sağlanmış olsa bile sıcaklık faktöründen kaynaklı bir verim kaybı söz konusu olacaktır. Panel ve çatı aralığı mesafesinin olabildiğince mesafe barındırması panellerin hava sirkülasyonundan yaralanmasını sağlayarak panel ısısının artmamasına yardımcı olacaktır. Bu durum yaz mevsimlerinde daha yüksek verimler sağlayacaktır. Özellikle de çatı kurulumu santrallerde dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Kış aylarında üretimin az olması sıcaklık faktörünün oluşturduğu kaybı yarı yarıya azaltacaktır. Bunların haricinde seçilen PV panelin tipinin yaratmış olduğu verimsel kazanım etkileri de söz konusudur.

Ortalama güneşlenme süreleri ve ışınım değerleri her ne kadar belirlenmiş olsa dahi yıllara göre değişimler söz konusudur. Panel verimlerin de her yıl bir oranda kayıp yaşanabilmektedir. Net kesin verilerin eldesi mümkün olmamak ile birlikte teorik hesaplamalarda dahi hata oranı yüksek olabilir. Her bir kayıpsal neden ölçümlere dayanmaktadır. Örneğin haziran ayı için belirlenmiş olan güneşlenme süresi ortalama 11,57 saat. Bu süre içerisinde güneş açılarının dik gelmediği süre zarfında yüksek üretim mümkün değildir. Teoride tüm zaman zarfında sürekli aynı üretim gerçekleştirilir gibi kabul edilebilir. Aradaki verim kayıpları oransal olarak düşürülür. Bu durumu gözlemlemek adına günlük üretim değerlerine göz atarsak eğer 12 Haziran 2018 tarihindeki günlük üretim değerleri Tablo 5.4. ve grafiksel verileri Şekil 5.4.'te verilmiştir.



Şekil 5.4. 12 Haziran 2018 Günlük Elektrik Üretim Miktarı (kW)

Tablo 5.4. Çatı uygulamalı güneş enerjisi santraline ait 12 Haziran 2018 tarihinde üretilen saatlik güç değerleri

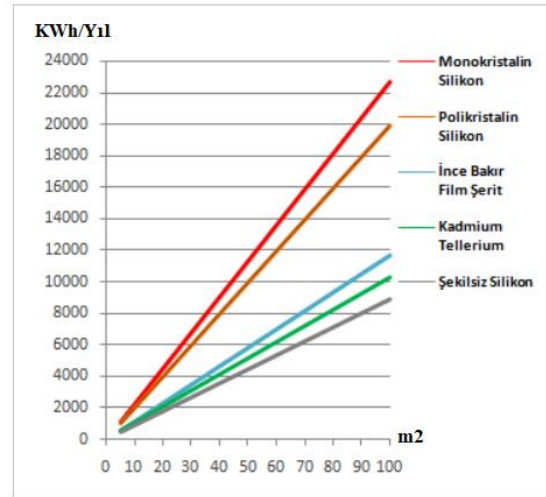
SAATLER	ÜRETİLEN GÜÇ (kW)
05:30	0,000
05:45	0,000
06:00	0,738
07:00	23,275
08:00	73,071
09:00	134,228
10:00	203,236
11:00	253,442
12:00	298,047
13:00	315,668
14:00	317,577
15:00	303,735
16:00	271,233
17:00	224,994
18:00	165,481
19:00	95,978
20:00	31,503
21:00	0,004
21:15	0,000

Gün içerisinde üretim değerleri 15 dakika aralıklarla ölçülmektedir. Saatlik değerlere bakıldığında en fazla üretilen gücün 13.00 – 14.00 saatlerinde olduğu görülmektedir. Güneş ışınlarının panellerin konumlandırıldığı bölgeye göre geliş açılarının dik olarak yakın olduğu zamanlar en yüksek üretimin gerçekleştiği saatlerdir. Yaz aylarının yoğun ışınlama ile birlikte yüksek sıcaklıkta getirmiş olduğu için ve aynı zamanda çatı uygulamalı GES sistemlerinin yer üstünden yüksekliklerinden kaynaklı daha yoğun sıcaklık etkisine maruz kalmalarından dolayı üretimde bir o kadar

kayıpta mevcuttur. Hiçbir kayıp göz önüne alınmadan 12 Haziran tarihi için beklenen üretim gücü 5722,67 kW iken üretilen toplam güç 2712,21 kW değerindedir. Günlük üretimin sinüs dalgası şeklinde olduğu gün içerisinde farklı ışınım, farklı açı ve güneşlenme süreleri ile üretim gücü değerlerinin artış ve azalışları doğrusal boyutta mevcuttur.

Ortalama olarak sıcaklık ve ışınım kayıpları %9-11, açısız yansıma etkilerinden dolayı %2-4, kablo inverter gibi ekipman kayıpları %14-16, kombine PV sistem kayıpları %23-25 olarak verimlilik kaybı alınır. Örneğin Mayıs ayı için teori beklenen değer 113,774 MWh iken bu kayıplarda göz önüne alınır üretilen 65,36 MWh değerine bakıldığında %42,5 gibi kayıp oranı söz konusudur.

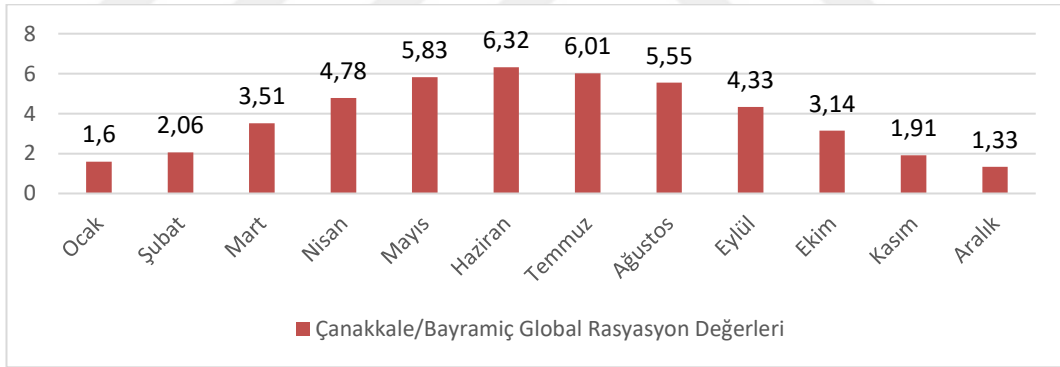
Şekil 5.5.'te Çanakkale ili Merkez ilçesi için YEGM tarafından paylaşılan [3] PV panel tipi üretim miktarları tercih açısından önem taşımaktadır. Maliyet açısından verimi her ne kadar yüksek olsa da monokristal silikon yapıları daha az tercih edilmekte ve kurulu alan içerisinde elde edilebilecek enerji miktarı kazanımı da az olmaktadır.



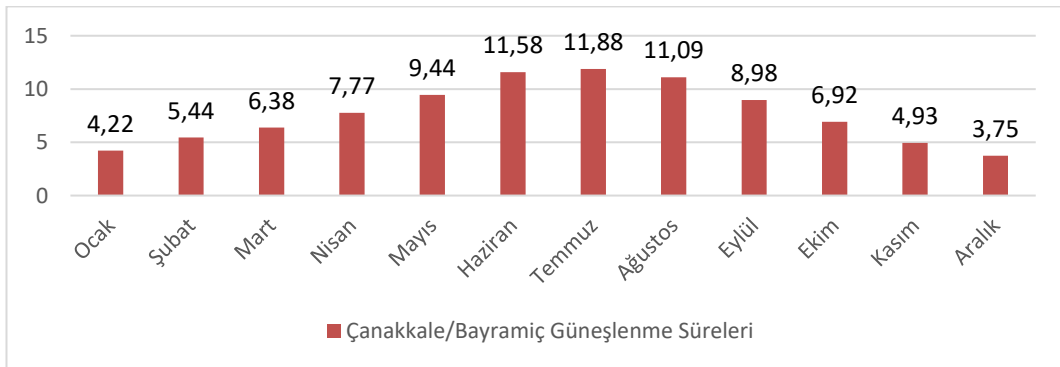
Şekil 5.5. Merkez PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) [3]

5.2. Arazi Uygulamalı Güneş Enerjisi Santrali

Çanakkale ili Bayramiç ilçesinde yer alan arazi uygulamalı aynı arazi üzerinde bulunan iki adet güneş enerjisi santralının DC kurulu güçleri 1166,880 kWp ve AC kurulu gücü 1000 kW'e'dir. 4488 adet 260 W gücünde %15,92 verimliliğe sahip polikristal panel kullanılmıştır. Arazi uygulamalı oluşları yan yana aynı güçte santral olsalar dahi açıl ve arazi eğimine bağlı üretim farklılıkları incelenecektir. 30° eğim açısı ile konstrüksiyonlara yerleştirilen sabit panellerin üretim değerleri üzerinden bir analiz gerçekleştirilecektir. Azimut değeri 0°'dir. GES kurulmadan önce kullanılan ekipmanlar doğrultusunda gerekli hesaplamalar projelerinde gerçekleştirilmiş olup 12.07.2017 tarihinde tesisler devreye alınmıştır. Çatı uygulamalı santralde ele alınan Ağustos 2017 ve Mart 2019 tarih aralığındaki üretim verilerine arazi uygulamalı santraller içinde bakılacaktır. Aynı il içerisindeki aynı tarihlerdeki değerler paylaşılmış olacaktır. Çanakkale ili Bayramiç ilçesine ait radyasyon ve güneşlenme saat verileri Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de yer almaktadır.



Şekil 5.6. BAYRAMIÇ Global Radyasyon Değerleri (KWh/m2-gün) [3]



Şekil 5.7. BAYRAMIÇ Güneşlenme Süreleri (Saat) [3]

Tablo 5.5. ve Tablo 5.6.'da aralarında 315m mesafe bulunan aynı kurulu güçte arazi uygulamalı GES'lerin bir yıllık ürettikleri güçler yer almaktadır. Arazi uygulamalı GES'lerin çatı uygulamalıdan farkları konstrüksiyon üzerinde 30° açı ile güney yönünde yerleştirilmeleridir. Arazi yerleşim üzerinde güneş ışınımının geliş açısına bağlı yaz ve kış aylarında farklı ışınım değerleri ortaya çıkmaktadır. Panel yerleşimleri bölgenin enlemine bağlı olarak olabildiğince güney yönünde güneş açısı dikkatinde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Bu durum bir PV panelin herhangi bir zaman aralığında alabileceği ışınım miktarının hesaplanmasında kullanılan açıların değerlerini etkileyecektir. PV panel alanı 1,60 m², kullanılan panel miktarı 4488 adet olarak ışınımın gelmiş olduğu toplam alan 7181,09 m²'dir.

Tablo 5.5. Arazi uygulamalı güneş enerjisi santrallerinden birincisine ait bölge için geçerli görünen GEPA değerleri ve elektrik üretim miktarları

AYLAR	Ortalama Aylık Işınım Miktarı (kWh/m ² -gün)	Ortalama Aylık Güneşlenme Süresi (saat)	Gün Sayısı	Üretilen Net Aylık Güç (MWh)		
				2017	2018	2019
Ocak	1,6	4,22	31	-	45,41	59,09
Şubat	2,06	5,44	28	-	78,77	101,90
Mart	3,51	6,38	31	-	145,42	141,24
Nisan	4,78	7,77	30	-	190,75	-
Mayıs	5,83	9,44	31	-	187,90	-
Haziran	6,32	11,58	30	-	184,55	-
Temmuz	6,01	11,88	31	-	199,76	-
Ağustos	5,55	11,09	31	194,15	222,33	-
Eylül	4,33	8,98	30	178,93	159,01	-
Ekim	3,14	6,92	31	154,23	143,86	-
Kasım	1,91	4,93	30	95,06	83,49	-
Aralık	1,33	3,75	31	67,86	61,31	-

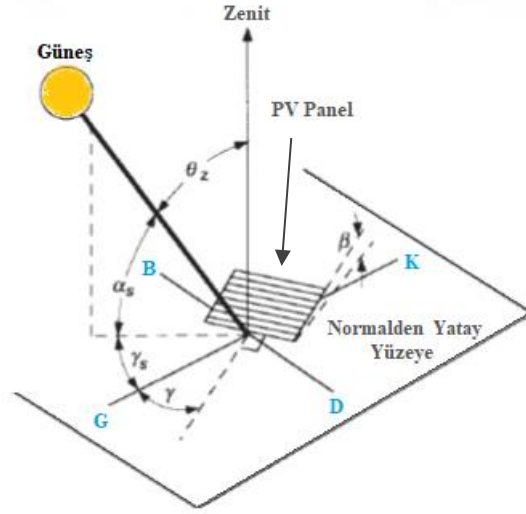
Açısal etkiler, arazi iklim şartları, enlem derecesi, yaz ve kış aylarındaki ışınım miktarları, yansımalar, ekipman kayıpları, bulutluluk, tozlanma ve karlanma kayıpları, sıcaklık kayıpları arazi şartlarında kurulan sistemler üzerinde olumlu ve olumsuz bakımdan etkileri daha yüksektir. GEPA değerleri bu çerçevede ışınım

bakımından özellikle kış ayları için yeterli düzeyde kalmamaktadır. Işınım miktarı üretilen güç değerini belirlemektedir.

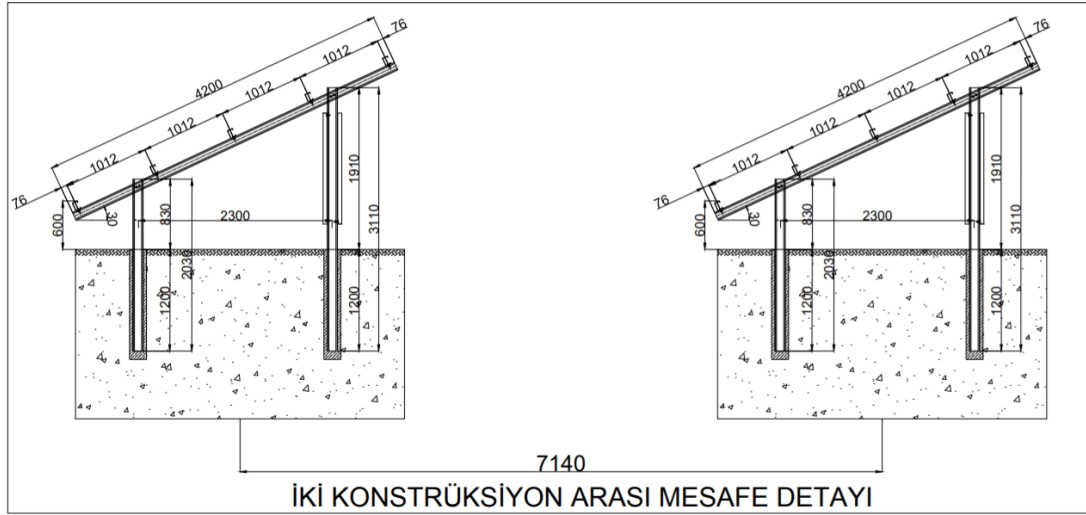
Üretim değerlerine bakıldığında 2017 eylül ayından itibaren 2018 ocak ayına kadar düşüş yaşanmıştır. Mevsimsel ışınım miktarlarındaki düşüş, bulutluluk gün sayısı, rüzgâr ve tozlanma etkileriyle elektrik üretiminde etkiler söz konusudur. Küresel ısınma etkileriyle kış aylarında artan sıcaklıklar belirlenen tahminlerin üzerinde değerler oluşturmaktadır.

Eğik bir düzlem yüzeyine gelen aylık ortalama global ışınım değeri hesaplanırken o bölgeye direkt gelen güneş ışınım doğrultusu enlem açısı (ϕ), bölgenin boylamı ile güneş boylamı arasındaki açı saat açısı (ω) ve güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yapmış olduğu deklinasyon açısı (δ) ile belirlenebilir. Deklinasyon açısı $-23,45^\circ$ (21 Aralık) ile $+23,45^\circ$ (21 Haziran) arasında değişkenlik göstermektedir. Kuzey yarım küre için pozitif değerde olup 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde ise Deklinasyon açısı sıfır olmaktadır [39].

Şekil 5.8'de görüldüğü üzere PV modülün eğimli yüzey üzerindeki toplam ışınlanma durumu eğim açısı β ve azimut açısı (γ_s) yönelimine bağlıdır. Azimut açısı yerel meridyenden yatay bir yüzeye yansıtılan eğimli yüzeyin normal arasındaki açıdır. Güney yüzeye bakan bir yüzeyin azimut açısı 0° iken kuzeye bakan yüzeyin azimut açısı 180° 'dir. Güneş irtifa açısı (α_s) güneş ışınımı ve yataya işaret eden çizgi arasındaki açıyken zenit açısı (θ_z) güneş ışınımı ve dikeye işaret eden çizgi arasındaki açıdır. Birbirlerini tamamlayıcı açılardır. Yatay ve eğimli yüzeylere gelen güneş ışınım miktarları bu açıların yardımı ile hesaplanmaktadır. Maksimum ışınımın elektrik enerjisine dönüşümü için doğru açı ve doğru yön tayin edilmelidir.



Şekil 5.8. Güneş ışınları ile eğik yüzey arasındaki açılar



Şekil 5.9. Panel yerleşim detayı

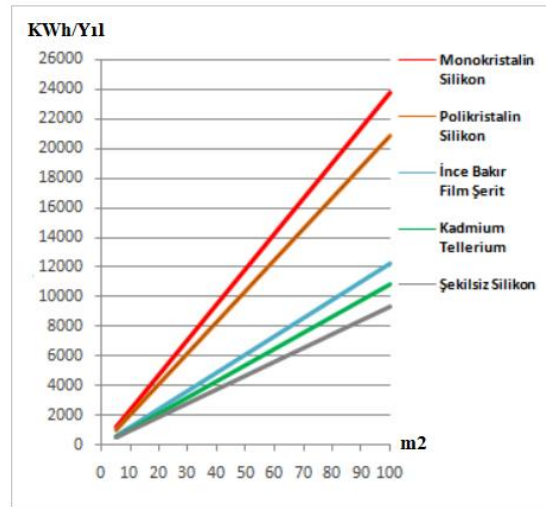
Şekil 5.9.'da panellerin gölgenmeden dolayı kayıp olmaması adına konstrüksiyon yerleşim detayında da görüldüğü gibi iki konstrüksiyon arası mesafe 7140 mm olarak ayarlanmıştır. Arazi içerisinde panel gölgenmesi haricinde herhangi gölgeleme oluşturacak bir olgu bulunmamaktadır. Tablo 5.5 verilerine bakıldığında ikinci santralin üretim verileri birinci santral verilerine göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı bölgede kurulu ve aynı üretim kapasitesine sahip olmaları aynı üretimi gerçekleştirmeleri için yeterli olmamaktadır. Arazi şartları gereği oluşabilecek kot farkı, enleme bağlı panel eğim yerleşim açıları, dış doğal faktörlerin

yaratmış olduğu kayıp veya kazanımlar neticesinde aylık üretim değerleri farklılık göstermektedir.

Tablo 5.6. Arazi uygulamalı güneş enerjisi santrallerinden ikincisine ait bölge için geçerli görünen GEPA değerleri ve elektrik üretim miktarları

AYLAR	Ortalama Aylık Işınım Miktarı (kWh/m ² -gün)	Ortalama Aylık Güneşlenme Süresi (saat)	Gün Sayısı	Üretilen Net Aylık Güç (MWh)		
				2017	2018	2019
Ocak	1,6	4,22	31	-	86,00	104,29
Şubat	2,06	5,44	28	-	83,13	104,36
Mart	3,51	6,38	31	-	148,45	147,66
Nisan	4,78	7,77	30	-	192,06	-
Mayıs	5,83	9,44	31	-	187,05	-
Haziran	6,32	11,58	30	-	183,52	-
Temmuz	6,01	11,88	31	-	202,49	-
Ağustos	5,55	11,09	31	210,94	220,96	-
Eylül	4,33	8,98	30	171,97	158,70	-
Ekim	3,14	6,92	31	156,91	145,77	-
Kasım	1,91	4,93	30	111,18	87,78	-
Aralık	1,33	3,75	31	85,45	72,45	-

Şekil 5.10.'da Çanakkale ili Bayramiç ilçesi için YEGM tarafından paylaşılan [3] PV panel tipi üretim miktarları yer almaktadır. En yüksek verim mono-kristal yapılı paneller vermekle birlikte maliyet yönünden arazi uygulamalı sistemde de poli-kristal tercih edilmiştir.



Şekil 5.10. BAYRAMIÇ PV Tipi-Alan-Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) [3]

5.3. Güneş Enerjisi Santrallerinin Analizi

Çanakkale ilinde yer alan iki farklı uygulamalı toplam üç santrallin belirtilen tarih aralıklarında verileri üzerinden genel bir incelemede bulunulmuştur. Çatı uygulamalı güneş enerjisi santralının 2018 yılı toplam elektrik üretim değeri 537,33 MW'tır. Arazi uygulamalı olarak kurulan güneş enerjisi santrallerden ilk santralin 2018 yılı toplam elektrik üretimi 1702,54 MW, diğer güneş enerjisi santralının üretim değeri 1768,36 MW'tır. Çatı ve arazi uygulamalı santrallerin aralarındaki kurulum güç farkı 2,82 olarak yaklaşık üç kattır. Buna nazaran yıllık toplam ürettikleri güç farkı aynı oranda seyretmektedir. Sistem ekipmanlarına bakıldığında farklı güç ve verimde çalışan PV paneller kullanılmıştır. Arazi uygulamalı daha düşük verimli panel kullanımı mevcut sahadan elde edilebilecek güç miktarını azaltmaktadır. Daha yüksek güçte ve verimliliğe sahip panel kullanımı, daha az panel adet kullanımıyla beraber alan kazanımı sağlayarak veya aynı adet panel kullanımında ise daha verimli güç üretimi elde edilebilmektedir. Arazilerin etkin kullanımı önemlilik arz etmektedir.

Çatı uygulamalı 345kWe gücüne sahip GES içinde aynı durum geçerlidir. Öncesinde yapılmış olan (2013) 770 adet 240W PV panel ile kurulan sistem sonrası çatının devamında daha yüksek güç ve verimde sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir. İlk

kurulumda aynı güçte panel kurulumu gerçekleştirilmiş olsaydı 194 adet panel ve alan kazanımı veya aynı adet panel kullanımı ile daha yüksek güçte üretim sağlanabilecekti. Her yıl yenilenen panel teknolojisi sunduğu imkanlarla iyileştirmeleri de beraberinde getirmektedir.

Çatı uygulamalı sistemlerde çatı yerleşim alanına göre güneş enerjisi santral projeleri en verimli şekilde kurulum ve kullanım odaklı hazırlanmalıdır. İlk kurulumda yapılan hatalar ikinci santral kurulumunda göz ardı edilmeden iyileştirmelerde bulunularak gerçekleştirilmiş ve neticesinde bölgenin enlem, iklim etmenleri nezdinde elde edilebilecek üretim değerlerine yakın güç üretimi gerçekleştirilmektedir.

Dört mevsimin etkili yaşanması güneş enerjisi uygulamalarında Türkiye için dezavantaj sağlamaktadır. Üç santralin sağlamış olduğu veriler neticesinde görülen nisan ayından ekim ayına kadar güneş enerjisinden belirli düzeyde verim elde edilmektedir. Yılın yarısı güneş enerjisinden yeterli düzeyde verimli olarak yararlanılamamaktadır.

Yapılan araştırma çalışmalarına dayalı olarak panellerin doğru açıda ve doğru yön yerleşimlerinin yapılması üretilen güçte %6-%8 arasında verim kazandırmaktadır. Her ay için gelen güneş ışınımına yönelik farklı yerleşim yapılabilme imkanının bulunmaması yaz ve kış ayları için optimum panel açıları tespit edilmeye çalışılmıştır. Panellerin sabit oluşu yıllık optimum açının 30° alınmasını sağlamıştır. Arazi uygulamalı büyük güç üretim sahalarında yapılan çalışmalarda tek eksenli olarak da ifade edilebilen güney açılı doğu ve batı yönlü konstrüksiyon kullanımları sabit konstrüksiyon panel kullanımının ürettiği güçten yaklaşık %20-26 arası daha fazla verimle üretim sağladığı gözlemlenmiştir [40,41]. Bir diğer araştırmalarda ise çift eksenli konstrüksiyon sistem kullanımı zenit ve azimut eksenlerinde hareket imkanı sağlayarak bölgenin iklim verileri doğrultusunda panel verimliliğinde %30-40 aralığında artış sağlandığı ortaya konulmuştur [41,42]. PV panellerin verimliliklerinde her yıl yaklaşık %1 kayıp yaşanabilmektedir. Birçok panel üretici

firması panellerin sıcaklık değişimlerine karşı ilk 10 yıl %90, 25 yıl içinse %80 verim garantisi sunmaktadır.

Arazi uygulamalı güneş enerjisi üretim santrallerinin 2017-2018 üretim verilerine bakıldığında eylül, ekim, kasım, aralık aylarında üretimde düşüş yaşanmıştır. Sonbahar mevsimi 2018 yılında güneşlenme süresi, ışınım miktarlarında azalma rüzgâr, bulutluluk, yağmur gibi çeşitli etkilerin ise yoğun yaşandığını göstermektedir. PV panel temizliği panel verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Toz, kir, polen gibi farklı nedenlerden dolayı panel yüzeyinin örtülmesi gölgeleme etkisi oluşturarak ışınım miktarının azalması hatta gerçekleşmemesine neden olmaktadır. Çatı uygulamalı ya da tüketimle üretimin bir olduğu yerlerde temizlik rutin olarak kontrolü sağlanabilse de arazi uygulamalı büyük güçte güneş enerjisi santrallerinde panel temizliği kolay olmamaktadır. En iyi yöntemlerden biri iyonize saf su (deminarilize) ile panel temizliği gerçekleştirilebilir. Uzun süre panellerin temiz kalması sağlanabilirken panel yüzeyinde tortu bırakmadan tozların yapışması önlenmektedir. Bir diğer yöntem ise panel yüzeylerinin nano (hidrofobik) malzemeler ile kaplanarak toz, kir kalıntılarının hatta yağmur suyunun dahi kalmasını engellenmesidir. Mümkün olduğunca düzenli bakım ve temizlik sağlanmalıdır. Çünkü verimliliği etkileyen faktörlerden bir tek bu durum yatırımcıların kontrolünde olabilmektedir.

Güneş enerjisi sistemlerinin SWOT faktörleri üzerinden değerlendirilmesi yapıldığında fosil yakıt kullanımının sebep olduğu çevresel zararlı etkileri barındırmayıp, çatı uygulamalı sistemde kurulumundan bugüne üretmiş olduğu enerjiden 384 ton, arazi uygulamalı sistemlerde yıllık yaklaşık 1143,5 ve 1225,2 ton CO₂ sakınımı sağlanmıştır.

SWOT analizi iç faktörler değerlendirildiğinde güçlü yönleri üç santralde etkin olarak desteklemektedir. Zayıf yönler ele alındığında arazi uygulamalı GES'lerin Bayramiç ilçesi gibi Çanakkale ili içerisinde güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu doğru bir bölge, topografik yapısıyla konstrüksiyon kurulumu için sorunsuz, şebeke bağlantı noktası itibarıyla uygunluğu bulunan, su kaynaklarına yakın

olmaması, iklim koşullarının elverişliliği ve tüketim bölgelerine yakın olması enerji üretimini doğru ivmede sağlamaktadır. Üç arazinin de on-grid sistemler olması depolama ihtiyacını yaratmamaktadır.

Dış faktörler değerlendirildiğin de fırsatlar için üç GES yatırım üzerinden ele alındığında 2018 yılından önce devreye alınan tesisler maddi kazanımlar açısından avantajlı durumdadır. Nedeni 2017 yılına kadar dağıtım bedel tarifeleri 0,7597 kr/kWh iken 01/01/2017 tarihinden itibaren 31/12/2017 tarihinden sonra geçici kabul alan tesisler için ödenecek dağıtım bedeli 10,251 kr/kWh, 31/12/2017 tarihinden önce geçici kabul alan tesisler için dağıtım bedeli 2,5628 kr/kW olarak belirlenmiştir. Örneğin yıllık üretimi 1MW olan bir tesisin 2017 yılında devreye alınan bir tesisten talep edilen dağıtım bedeli 25.628,0 ₺ iken 2018 yılında devreye alınacak olan tesislerden talep edilen dağıtım bedeli ise 102.510,0 ₺ olacaktır. 2018 yılı içerisinde beş defa dağıtım bedellerinde düzenleme gerçekleşmiştir. 01/04/2019 resmî gazetede [43] yayımlanan ve bu tarihten itibaren geçerli olacak olan elektrik tarifelerine göre 31/12/2017 tarihinden önce geçici kabulü gerçekleştirilen, devreye alınan ve ilgili şebeke işletmecisinden geçici kabule hazır tutanağı alan tesisler için geçici kabulün bu tutanağa istinaden yapılması halinde uygulanacak olan dağıtım bedeli tarifesi 3,6720 kr/kWh yükselmiştir. 31/12/2017 tarihinden sonra geçici kabule hazır tutanağı alan tesisler için ise dağıtım bedeli 14,6879 kr/kWh belirlenmiştir [43].

Dağıtım bedellerinde gerçekleşen artışlar yatırımcıların yıllık kazançlarında azalma gerçekleştirmesinin yanı sıra yatırım maliyetlerinin kendini kazanmasındaki süreyi arttırmaktadır. Son yıllarda gerçekleşen dövizdeki artışlarla beraber dağıtım bedelleri ve sistem işletim bedellerinin ödemeleri yatırımlarda yavaşlamalara neden olmaktadır. Fırsat olarak değerlendirilen bu konu üzerinde zayıflama yaratmaktadır. Söz konusu ödemelerin gelişme süreci içerisinde olan güneş enerjisi kurulumlarında daha makul seviyelerde tutulması yatırımların hız kazandığı bu dönemde ilerlemesine yardımcı olacaktır.

Bir diğer fırsat yenilenebilir enerji yatırımlarının büyümesi enerji ithalatında azalma yaratacak olmasıdır. Jeopolitik konumu sayesinde Türkiye, Enerji koridoru olma

yolunda ilerlemektedir. Elektrik ticaret alanının öne çıktığı enerji piyasaları için doğalgaz ve petrol boru hat projelerinin yanı sıra büyük veya küçük güç fark etmeksizin yapılacak olan her yenilenebilir enerji yatırımı bu konuda katkı sağlayacaktır. 2018 yılında elektrik tüketim değeri 303,3 milyar kWh ve elektrik üretim değeri ise 303,9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Hem üretim de hem tüketim de %2,2 oranında artış olmuştur [44]. Türkiye kurulu güçte de 2018 yılını 2017 yılına göre %3,9 oranında bir artışla kapatmıştır. En önemli yükselen pay 63,8 MW lisanslı 1578,4 MW lisanssız olmak üzere güneş enerjisi santrallerine aittir [7].

Ocak 2019 sektör raporuna göre doğalgaz üretim santrallerinde 84,834 MW kurulu güç devreden alınmıştır. 200 MW linyit, 20 MW jeotermal, 36,007 MW akarsu, 31,350 MW barajlı hidrolik, 4,800 MW rüzgâr kaynaklı kurulu güç devreye alınmıştır [45]. Yenilenebilir enerji yatırımlarındaki artış fosil yakıt kullanımlı santrallerdeki üretim gücünü sistemden alarak ithalat rakamlarında azalma, yerli üretimde artış sağladığı ve ileride yatırımlar daha da hız gösterirse %100 yenilenebilir enerji yolunda atılan adımların doğruluğu raporlarla kanıtlanabilmektedir.

Tehditler ele alındığında öncelikle yatırım teşviklerin yeterli olmadığı doğrulanabilmektedir. Çatı uygulamalı GES IPARD II kapsamında yatırım programından yararlanılarak işletmeye alınsa dahi bunu Çanakkale ili ilçesinde tek gerçekleştiren yatırım özelliği taşımaktadır. Program içerisinde yenilenebilir enerji yatırımları dışında tarım, turizm ve benzeri sektörlerde sağlanan destekler tek bir havuzda değerlendirilmektedir. Puanlama sırasına göre seçilen projeler tüm başvuruları kapsamamaktadır. Bu durum yararlanmak isteyen diğer yatırımcıların önünde engel oluşturmaktadır.

Yasal süreçler geçmiş yıllara göre revizeleriyle daha sağlıklı bir hal alsada da 2018'den önce kurulumları gerçekleşen santrallerin devreye alınma süreçleri yaklaşık 2 yıl sürmüştür. Bu durum yerli ekipman üretimi yok denecek kadar az olan Türkiye'de dövizin katlanarak artışıyla kurulum maliyetlerinde ciddi fark yaratmıştır. Aynı

zamanda süreçlerin uzun işlemesi elektrik üretim ve yerli tüketim sürecinde de gecikme yaratmaktadır.

Trafoalarda kapasite dolum sorunu 2014 yılında özellikle hız kazanan yatırımlar yasal düzenlemelerinde eksikliğinden faydalanarak birçok kişi arsa ve arazileri üzerinde çağrı mektubu alma yarışına girmişlerdi. Sonucunda santral kurulumunu yapamayacak imkanları olan kişilerin çağrı mektuplarını ve arazilerini kiralama üzerinden yatırımcılara ulaştırmaya alışması, gerçek yatırımcılar için hem gecikme hem de başvuruların reddine neden olmuştu. Trafo kapasitelerin yenilenebilir enerji bağlantıları için alt yapılarla beraber yetersiz olması ciddi bir sorun yaratmaktaydı. Son yıllarda bu konuda yapılan düzenlemeler iyileştirme niteliği taşısa da tam anlamıyla çözüme kavuşmamıştır.

Türkiye için güneş enerjisi SWOT analiz tespitlerinin doğruluğu Çanakkale ilinde bulunan üç güneş enerjisi santrali üzerinden değerlendirilerek gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇ

Güneş enerjisi yaşamsal bir kaynaktır. Hayat içinde var olan tüm dokularda direk ya da dolaylı olarak varlığı bulunmaktadır. Her yüzyılın bir dönemsel etkileri, oluşan olay döngülerinden sonuçlar ve yeni başlangıçlar yer almaktadır. Güneş 20. yy'de hava ve su gücü gibi kendi gücünün enerjisini ortaya çıkardığı, bu gücün önem kazanarak süreklilik arz edebilecek enerji kaynaklarından biri olduğunu ortaya koyarak yaşamın her alanında bir dönem yaratmaktadır.

Enerjiden doğru ve verimli olarak yararlanma bilimin çalışmalarıyla beraber teknolojinin kendisi ile sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tamamen bu sürece odaklıdır. PV teknoloji güneş enerjisinin kullanımına imkân kılarak ısı ve elektrik enerjisini kazanımını gerçekleştirmektedir. Zaman içersin de gelişimini sürdürerek daha az maliyetle daha çok verimli olma yolunda ilerlemektedir.

İlerleyen gelişmeler içerisinde Türkiye kendi sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelini enerji açığı olan bir ülke olarak takip etmekte, yasal mevzuatların da ki düzenlemeler ile diğer ülkelerle beraber sürece ortak olmaktadır. Bu süreç içerisinde gerçekleştirilmiş olan iki farklı uygulamalı GES yatırımların bu çalışmada incelenerek doğruların, eksiklerin, verimlilik faktörlerin etkileri elde edilen üretim değerleri üzerinden gözlemlenmiştir.

Çatı uygulamalı yatırım organize sanayi bölgesinde yer alan fabrika çatısı üzerinde kurulmuştur. Hem kendi elektrik ihtiyacını karşılamakta hem de üretilen fazla elektriği dağıtım hattı üzerinden şebekeye vermektedir. Belirtilen kurulu güç ile beraber ek güneş enerjisi santralleriyle toplamda 913,14 kWp kurulu güç bulunmaktadır. Mevcut alanın değerlendirilerek üretimin gerçekleştirilmesi hem

yatırımcı için hem de devlet kazanımı için önem taşımaktadır. Proje dönemi içerisinde tercih edilebilecek en verimli, uygun maliyetli PV panel ve ekipmanları ile kurulumu gerçekleştirilerek konumu itibarıyla sağlanabilecek üretim miktarını gerçekleştirmektedir. Kurulumların sabit, çatı uygulaması olarak yer üstünden yüksekte olması verimliliği etkileyen faktörlerden bazılarını daha etkin kılmaktadır. Arazi uygulamalı GES yatırımları yüksek oranda kullanımı bulunmayan tarıma elverişsiz çorak arazilere kurulumu gerçekleştirilmektedir. Bu durum kullanılmayan arazilerin etkin kullanımını sağlayarak aynı zamanda temiz enerjiye de olanak sağlamaktadır. Yatırım uygulaması doğrudur. Lisanslı GES yatırımlarının araziler üzerinde kurulumları ile fosil yakıtlı santrallerin yerlerini zamanla almaları hedeflenmelidir. Kurulum maliyetlerinin pahalı olması sebebiyle ileriki yıllarda PV teknolojideki maliyetlerin düşürülerek süreçlerin hızlanacağı öngörülmektedir. Arazi uygulamalı yatırımlar için dikkat edilmesi gereken en önemli husus ışınım değer ölçümlerinin yapılarak PV panellerin doğru seçimi ve doğru açı ile yerleşiminin sağlanmasıdır. PV teknolojide hedeflenen nokta gölgelenmelere karşı daha fazla direnç, yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans ve güneş ışınımının daha fazla kazanımını sağlayabilecek olan yüksek panel verimliliğidir.

Yenilenebilir enerji konusunda farkındalığın ve bilinçliliğin artış göstermesi yatırımların artmasını sağlamıştır. Gereken yasal çerçeve içerisinde başlatılan süreçlerin uzun vadelerde gerçekleşmesi yatırımlarda aksamalara hatta gerçekleştirilememesine neden olabilmektedir. Süreç içerisinde revizelerin yapılarak problemlerin çözümü hedeflenmelidir. Devlet yatırım teşviklerinin artışı yatırımcılar için büyük bir imkân sunmaktadır. GES kurulum maliyetlerinin yüksek olması her yatırımcı için mümkün olmamaktadır. Çatı uygulamalı gerçekleştirilen 345 kWe üretime sahip güneş enerjisi tesisi TKDK tarafından sunulan IPARD II kapsamındaki yatırım teşvik paketinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Yatırım maliyetinin %65 oranı geri ödemesiz olarak kurum tarafından karşılanmıştır. Bu durum projenin yatırım maliyetinin amorti süresini kısaltmakta, işletmenin tüketiminin karşılanmasını sağlamaktadır. Tek sorun yasal süreçlerin bir yılı bulması proje kurulumunda ve üretiminde gecikme yaratmıştır.

Türkiye sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli etkin ve verimli kullanabilmek adına başta iletim ve dağıtım hatlarına bağlanılabilecek trafo merkezlerinde kapasite artış ve sistem hatlarında düzenleme ve yenilemelerde bulunulmalıdır. Yönetmeliklerde yapılacak düzenlemeler ile yasal süreçlerin sorunsuz bir şekilde ilerleyişi gerçekleştirilmelidir. Sistem ve süreç altyapısının sağlam olması yatırımların stabil olarak ilerlemesine imkân kılacaktır. Başvuru süreçlerinin elektronik ortama taşınması dosya hazırlama, teslim ve onay sürecinde rahatlama sağlayabilir.

Ar-ge çalışmaları gelişmiş ülkelerde hız kazanarak devam etmektedir. Verimlilik kayıplarının azaltılması bu çalışmaların sonucuna bağlıdır. Türkiye PV teknoloji üretim ve geliştirme konusunda adımlar atarak, enerjide dışa bağımlı olmamak için teknolojide de bağımsızlığını sağlamalıdır.

Döviz kuru ile PV sistem kurulumları gerçekleştirilmektedir. Ekonomide kazanımlar için maliyetlerde azalma sağlanmalıdır. Ülke ekonomisine kazanım sağlamak adına teşvik edici girişim ve programların yapılandırılması yatırımların yaygınlaşmasını sağlayabilir. Sadece devlet ve özel sektör alanları değil üniversitelerde bu konuya dahil edilmelidir. Bilimsel çalışmalar, araştırmalar, yetiştirilen mühendislerinin yenilenebilir enerji sektörüne odaklı gelişmeleri takip ederek eğitim almaları ve mezun olmalarının sağlanması ekonomik gelişme, büyüme, istihdam ve yerli üretim mühendisliğin sağlıklı gelişmesi adına doğru bir temel oluşturabilir.

Her iki uygulamanın gerek süreci gerekse projelendirmeleri içerisinde bulunarak teknik olarak doğrularını, yanlışlarını SWOT ile belirlenen tespitlerin gerçekliği ortaya konulmaya çalışılarak verimliliğin, tasarrufun PV teknolojisinin sunduğu imkanların kullanımının tamamen maliyete dayanarak şekillendiği söylenebilir. Mevcut alanların etkin kullanımı yüksek verimli ekipman yerine ne yazık ki daha ucuz verimde daha uygun maliyet gözlemlenerek yapılması hedeflenmektedir. Çatı uygulamanın teşvikten yararlanması doğru ekipman kullanımını sağlamıştır. Fotovoltaik teknolojinin geliştirilmesi düşük maliyetlerde üretimi ve kurulumu gerçekleştirilmesini olanak kılacaktır.

SWOT analizi neticesinde öncelik sıralamasıyla belirlenen Stratejiler aşağıda sunulmuştur:

- Yatırım maliyeti yüksek olan güneş enerjisinin, yatırımlarının hız kazanması adına devlet yatırım destek programlarının düzenlenmesi, mevcut yatırım teşviklerinde bulunan kurumların (TKDK vs.) hibe bütçelerinde artış sağlayarak tek bir havuzdan değil bölgesel fonlar oluşturulması.
- Güneş enerjisi ekipmanlarının üretimde yerli Ar-ge tesisleri kurulması, üniversite ve teknokentlerin destekleri alınarak daha verimli, depolama ihtiyacının karşılanmasına yönelik Ar-ge yürütülerek, ekonomik ekipman üretimlerinin gerçekleştirilmesi.
- Yenilenebilir enerji alanında farkındalık ve bilinçliliğin artması ile bireysel yatırımlarının dışında yasaların belirlediği çerçevede enerji kooperatifleri kurularak birçok yatırımcının bir araya getirilmesi.
- Yatırımcılar için yerli mühendislik firmalarının etkin oluşu kurum, keşif, teknik destek yardımlarının sağlıklı ve hızlı gerçekleşmesini sağlayarak yenilenebilir enerji için güvenin sağlanması.
- Solar hücrelerin farklı sektör ve alanlarda kullanım imkanının bulunması girişimcilik ve inovasyon için perspektif sağlamaktadır. Bu alandan ekonomik, teknolojik kazanımlar sağlanması adına projelerin geliştirilmesi ve desteklenmesi. %100 yenilenebilir enerji hedefine doğru diğer yenilenebilir enerji kaynakları içinde destek payının büyük bir bölümünün güneş enerjisine yönlendirilmesi.
- Mevsim ve iklim şartlarının elverişli bulunduğu öncelikle küçük yerleşim alanlarında güneş enerjisi kullanımının zorunlu kılınması. Organize sanayi bölgelerinde yer alan işletme ve büyük güç tüketen fabrikaların enerji ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik çatılarının güneş enerjisi kullanımının uygunluğuna yasal zorunluluk getirilerek zaman içerisinde yapılabilecek GES kurulumlarına zemin hazırlanması.

Bu stratejilerin gösterdiği ortak strateji; devlet kurumları, özel sektör ve üniversitelerin ortak çalışmalarının sağlanmasıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarında arz güvenliği enerji talebine karşın talep edilen miktarın başta talep noktalarının bulunduğu yer ve çevreye en az kayıp ile uygun fiyatlarda elde edilerek iletim ve dağıtımın gerçekleştirilebilmesidir. Türkiye'nin enerji arz güvenliğindeki açıkları sürdürülebilir enerji kaynakları ile desteklenmelidir. Kalkınma planları, ekonomik politikalar kaliteli ve temiz enerji temelleri üzerinde hedeflenip belirlenmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] International Renewable Energy Agency. Capacity and Generation. <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=18.>, Erişim Tarihi: 01.04.2019.
- [2] Erdil, A., & Erbyık, H., Renewable Energy Sources of Turkey and Assessment of Sustainability: Procedia-Social and Behavioral Sciences 207 (2015) 669-679. 11th International Strategic Management Conference, 670-677, 2015.
- [3] YEGM. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx.>, Erişim Tarihi: 17.09.2018.
- [4] World Energy Council Turkey. Türk Milli Komitesi, Uluslararası Enerji Ajansı Dünya Enerji Yatırımları, Temmuz 2018.
- [5] TEİAŞ Sektör Raporları. Kurulu Güç Raporu. https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-04/kurulu_guc_mart_2019.pdf., Erişim Tarihi: 02.04.2019.
- [6] YEGM. <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx.>, Erişim Tarihi: 16.09.2018
- [7] TEİAŞ. <https://www.teias.gov.tr.>, Erişim Tarihi: 28.03.2019.
- [8] Öztürk, H. H., Kaya, D., Güneş Enerjisi Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji. 1. Baskı, Umuttepe Yayınları, Yayın No:97 Kocaeli, 47-371, 2013.
- [9] Temiz Enerji Yayınları. http://habitatdernegi.org/wp-content/uploads/G_Taniyalim.pdf., Erişim Tarihi: 15.10.2018.
- [10] Timeline of Solar Cell. https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_solar_cells., Erişim Tarihi: 20.10.2018.

- [11] Klaus, J., Isabella, O., Smets, M. H. A., Swaaij van, R. A. M. M., Zeman, M., Solar Energy. Delft University of Technology, 15-303, 2014.
- [12] Gibilisco, S., The Illustrated Dictionary of Electronics. McGraw-Hill Companies, New York, ISBN 0-07-137259-9. 547, 2001.
- [13] Yerebakan, M., Güneş Kollektörü Uygulamaları. Yurt İçi Sektörel Etüt ve Araştırmalar, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul, 26-195, 2010.
- [14] Karamanav, M., Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Bilgisayar Eğitimi, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
- [15] Khan Academy. Basics of semiconductors. <https://www.khanacademy.org/science/in-in-class-12th-physics-india/in-in-semiconductors/in-in-basics-of-semiconductors/v/extrinsic-semiconductors-p-type.>, Erişim Tarihi: 24.10.2018.
- [16] Wang, C., Lu, Y., Solar Photovoltaik. Savonia University of Applied Sciences, Degree Programme in Industrial Engineering and Management, Bachelor's Thesis, 2016.
- [17] IRENA. Solar Photovoltaics, Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Volume 1: Power Sector, Issue 4/5, 2012.
- [18] Ogulgönen, G.C., Performance Tracking & Characterization of Commercial Solar Panels. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Chemical Engineerin, Master of Science, 2014.
- [19] Perez Rodriguez, P., Photovoltaic-(photo)electrochemical devices for water splitting and water treatment. <https://doi.org/10.4233/uuid:339df29d-8658-4ff7-a124-84f1cd6043ad>, 2018., Erişim Tarihi: 14.12.2018.
- [20] Durgut, T., Güneş Paneli Sistemi İçin Farklı Bir Method Geliştirilmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [21] DUBEY, S., JADHAV N.Y., ZAKIROVA B., Socio-Economic and Environmental Impacts of Silicon Based Photovoltaic (PV) Technologies. Energy Procedia, 33, 322-334, 2013.
- [22] Saner, S. H., Türkiye’de Güneş Enerjisi Santralleri Yer Seçimi ve Çevresel Etkileri: Karapınar ve Karaman Enerji İhtisas Endüstri Bölgeleri Örneklerinin Değerlendirilmesi. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [23] Renewables Global Status Report 2018. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_-1.pdf., Erişim Tarihi: 10.09.2018.

- [24] Şenlik, İ., Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi. Elektrik Mühendisliği, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, 462, 94-98, Ekim 2017.
- [25] Kajanus, M., Kurttila, M., Pesonen M., Applying SWOT and AHP analysis when changing to ecolabelled forestry, Integrating Environmental Values into Forest Planning-Baltic and Nordic Perspectives. Proceedings of the Nordic-Baltic Research Course, Râpinä, Estonia, 27 June-2 July 1996.
- [26] Kangas, J., Pesonen, M., Kurttila, M., Kajanus M., A'WOT: Integrating the Ahp with Swot Analysis. Proceedings-6th ISAHP, 2001.
- [27] Kurttila, M., Pesonen, M., Kangas, J., & Kajanus, M., Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis—a hybrid method and its application to a forest-certification case. *Forest policy and economics*, 1(1), 41-52, 2000.
- [28] Shrestha, R. K., Alavalapati, J. R., & Kalmbacher, R. S., Exploring the potential for silvopasture adoption in south-central Florida: an application of SWOT-AHP method. *Agricultural Systems*, 81(3), 185-199, 2004.
- [29] Kahraman, C., Demirel, N. C., & Demirel, T., Prioritization of e-Government strategies using a SWOT-AHP analysis: the case of Turkey. *European Journal of Information Systems*, 16(3), 284-298, 2007.
- [30] Taleai, M., Mansourian, A., & Sharifi, A., Surveying general prospects and challenges of GIS implementation in developing countries: a SWOT-AHP approach. *Journal of Geographical Systems*, 11(3), 291-310, 2009.
- [31] Wickramasinghe, V., & Takano, S. E., Application of Combined SWOT and Analytic Hierarchy Process (AHP) for Tourism Revival Strategic Marketing Planning. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 8, 954-969, 2010.
- [32] Gao, C. Y., & Peng, D. H., Consolidating SWOT analysis with nonhomogeneous uncertain preference information. *Knowledge-Based Systems*, 24(6), 796-808, 2011.
- [33] Sevkli, M., Oztekin, A., Uysal, O., Torlak, G., Turkyilmaz, A., & Delen, D., Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey. *Expert systems with Applications*, 39(1), 14-24, 2012.
- [34] Eslamipoor, R., & Sepehriar, A., Firm relocation as a potential solution for environment improvement using a SWOT-AHP hybrid method. *Process safety and environmental protection*, 92(3), 269-276, 2014.

- [35] Abdel-Basset, M., Mohamed, M., & Smarandache, F., An extension of neutrosophic AHP–SWOT analysis for strategic planning and decision-making. *Symmetry*, 10(4), 116, 2018.
- [36] Çalık, A.E., Şirin, H., Türkiye’deki Elektrik Enerji İhtiyacının Matematiksel Bir Modellemesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. Doi 10.16984/saufenbilder.300362., 21 (6), 1475-1482, 2017.
- [37] Hu, Y.C., Jiang, P., Forecasting energy demand using neural-network-based grey residual modification models, *Journal of the Operational Research Society*, 68:5, 556-565, DOI: 10.1057/s41274-016-0130-2, 2017.
- [38] Allegrini, J., Orehounig, K., Mavromatidis, G., Ruesch, F., Dorer, V., Evins, R., A Review of Modelling Approaches and Tools for The Simulation of District-Scale Energy System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52. Pg. 1391-1404 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.123>, 2015.
- [39] Altıntaş, B., Güneş Enerjisi Destekli Isı Depolama Sisteminin Termodinamik Modeli ve Endüstriyel Uygulamaları. *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi*, 2012.
- [40] Lazaroïu, C.G., Longo, M., Roscia, M., Pagano, M., Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. *Energy Conversion and Management*, 92, 143-148, 2015.
- [41] Vokas, G.A., Zoridis, G.Ch., Lagogiannis K.V., Single and Dual Axis PV Energy Production Over Greece: Comparison Between Measured and Predicted Data. *Energy Procedia*, 74, 1490-1498, 2015.
- [42] Lee, J. F. and Rahim, N. A., “Performance comparison of dual-axis solar tracker vs static solar system in Malaysia,” 2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT), Lankgkawi, 102-107, 2013.
- [43] EPDK. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-39/kurul-kararlari->, Erişim Tarihi: 12.04.2019.
- [44] ETKB. <https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/elektrik->, Erişim Tarihi: 12.04.2019.
- [45] ETKB. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar->, Erişim Tarihi: 03.04.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Melike Doğan, 15.11.1992'de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Çanakkale'de tamamladı. 2010 yılında Ali Haydar Önder Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kalite Yönetimi Bölümü'nde başladığı yüksek lisans eğitimine 2016 yılında Mühendislik Yönetimi Bölümü'ne geçiş yaparak devam etti.