

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ SANTRALLERİNİN VERİMLERİNİN
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

Hande ÇETİN

**Danışman
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

ISPARTA - 2019



© 2019 [Hande ÇETİN]

TEZ ONAYI

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ SANTRALLERİNİN VERİMLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Hande ÇETİN tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye **Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Üye **Prof. Dr. Ahmet KABUL**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

İmza
.....

.....

.....

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../....
tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Yusuf UÇAR
Enstitü Müdürü

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezime ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

09/08/2019

Hande CETİN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	4
1.1.1. Güneş enerjisinin avantajları.....	5
1.1.2. Güneş enerjisinin dezavantajları	6
1.2. Dünyada Güneş Enerjisi.....	6
1.3. Türkiye’de Mevcut Güneş Enerjisi Durumu.....	7
1.4. Güneş Panelleri	16
1.5. Fotovoltaik Paneller	19
1.5.1. Bir fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi	20
1.5.2. Güneş hücresinin eşdeğer devresi	21
1.6. Fotovoltaik Santraller.....	24
1.6.1. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler	24
1.6.2. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler	25
1.7. Fotovoltaik Sistem Verimini Etkileyen Faktörler	25
1.7.1. Çevresel faktörler	26
1.7.1.1. Sıcaklık.....	26
1.7.1.2. Işınım	27
1.7.1.3. Yansıma	27
1.7.1.4. Toz	28
1.7.2. Sistemsel faktörler.....	28
1.7.2.1. Gölgeleme	28
1.7.2.2. Kablo kayıpları	28
1.7.2.3. İnverter kaybı	29
1.8. PV Dolum Faktörü (FF)	29
1.9. PV Panelleri Standartları ve Test Koşulları	31
2. KAYNAK ÖZETLERİ	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM	40
3.1. İstanbul İli İklim Verileri	40
3.2. Kullanılan Panellerin Özellikleri	41
3.3. Kullanılan Ölçüm Cihazları	42
3.4. Deney Sisteminde Gerçekleştirilen Ölçümler	44
3.5. Panel Veriminin Saptanması	48
3.6. Performans	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
EKLER.....	67
EK A. Kullanılan ölçüm cihazlarına ait teknik dökümanlar	68
EK B. Kullanılan inverter üretici broşürü	72
ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ SANTRALLERİNİN VERİMLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Hande ÇETİN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Bu tez çalışmasının amacı, fotovoltaik santralının performansını etkileyen panellerin sistemsel ve çevresel faktörlerin etkisi incelenmek üzere hazırlanmıştır.

Çalışmada, İstanbul ili çalışma koşullarında mevcut iki tesisin performans verileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda güneş panellerinin performansına etki eden parametrelerin neler olduğu araştırılmıştır. Ayrıca ölçümleri yapılan sistemin gölgelenme, hasar ve ısı kayıplarının etkisini incelemek için termal testleri ve akım gerilim parametreleri de incelenmiştir. Farklı güç ve teknolojide olan iki farklı panel için dizi bazında yapılan ölçümlerin üretici tarafından beyan edilen değerleri ile karşılaştırılması ve performans değerleri ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında, güneş panellerinin IEC standartlarına göre sistemin yerinde ölçümler yapılarak akım gerilim eğrileri incelenmiştir. Ölçülen değerler ve STC'deki verileri karşılaştırılarak panel performansını ne şekilde etkilediğini bu durumun fotovoltaik santrali nasıl etkilediği incelenerek oluşturulan grafikler yardımıyla performans değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir.

Çalışma sonucunda panellerin güneş enerji santrallerindeki verimliliğini arttırmaya yardımcı olacak ölçüm ve testlerin tesisin üretim verilerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik panel, Güneş paneli elektriksel parametreleri, Güneş hücresi/paneli termal modellemesi

2019, 73 Sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE CHANGE IN THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PLANTS

Hande ÇETİN

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

The aim of this thesis is to investigate the effects of systemic and environmental factors on the installed panels of photovoltaic power plant.

In this study, the performance data of two existing facilities under the working conditions of Istanbul were examined. For this purpose, the parameters affecting the performance of the solar panels were investigated. In addition, thermal tests and current voltage parameters of the measured system were examined to investigate the effect of shading, damage and heat losses. For two different panels with different power and technology, the comparison of the measurements made by series with the values declared by the manufacturer and the performance values are discussed.

In the scope of the study, current voltage curves of solar panels were examined by making measurements in place of the system according to IEC standards. By comparing the measured values and the data in the STC, the effect of panel performance on the photovoltaic power plant was examined and the change in performance values was observed with the help of the graphs.

As a result of this study, it is aimed to investigate the effect of the measurements and tests on the production data of the plant, which will help to increase the efficiency of the panels in solar power plants.

Key Words: Solar power plant, Photovoltaic systems, Solar power, Panel electrical parameters, Panel thermal modeling

2019, 73 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın/tezin konusu, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı ve çalışma sırasında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan, eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım ve hocam Sayın Prof. Dr. Reşat SELBAŞ'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hande ÇETİN
ISPARTA, 2019



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. 2015 yılı kaynak bazlı elektrik üretim payı	2
Şekil 1.2. Dünya güneş enerji atlası	7
Şekil 1.3. Elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçları – yıllık bazda talep	10
Şekil 1.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası	13
Şekil 1.5. İstanbul ili güneş radyasyonu haritası	14
Şekil 1.6. İstanbul ili global olarak radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün)	15
Şekil 1.7. İstanbul ili güneşlenme süreleri (Saat)	15
Şekil 1.8. Ülkemizde PV tipi, alan ve üretilebilecek olan enerji (kWh/Yıl).....	16
Şekil 1.9. Fotovoltaik hücre teknolojilerinin sınıflandırılması	17
Şekil 1.10. Solar panelin hücre katmanları	18
Şekil 1.11. PV hücre, dizi, panel ve panel oluşumları	19
Şekil 1.12. Fotovoltaik dünya pazarının Avrupa ülkelerine göre dağılımı	20
Şekil 1.13. Güneş pillerinin çalışma ilkeleri	21
Şekil 1.14. Güneş hücresinin eşdeğer devresi	22
Şekil 1.15. Güneş pilinin tipik akım-gerilim karakteristiği.....	23
Şekil 1.16. Maksimum güç noktasının ışınım miktarı ve sıcaklıkla değişimi.	23
Şekil 1.17. PV sistemde kayıplar.	26
Şekil 3.1. Drone ile ölçüm	44
Şekil 3.2. Sıcak nokta ölçüm sonucu	44
Şekil 3.3. Termal kamera ile ölçüm	45
Şekil 3.4. I-V test cihazının ölçüm sırasındaki bağlantı şekli	46
Şekil 3.5. Test ve ölçümlerin yapılması	47
Şekil 3.6. I-V eğrisinin numaralar yardımı ile gösterimi	49
Şekil 4.1. 275W'lık panele ait akım-gerilim-güç eğrisi	53
Şekil 4.2. Gölgeleme durumunda bir dizinin ölçüm sonucu-1.....	56
Şekil 4.3. Gölgeleme durumunda bir dizinin ölçüm sonucu-2.....	56
Şekil 4.4. Güneş paneli temizleme mekanizması.....	59
Şekil 4.5. Bağlantı kutusu ısınma hasarı	59
Şekil 4.6. Bağlantı kutusu hasarlı termal kamera ölçüm sonucu	60
Şekil 4.7. Bağlantı kutusu hasarsız termal kamera gösterimi	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. 2019 yılı için planlanan alternatif enerji kurulu güç değerleri.....	3
Çizelge 1.2. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	8
Çizelge 1.3. Türkiye’de kişi başına düşen enerji ve elektrik tüketimi.....	9
Çizelge 1.4. 2018 yılındaki güneş enerji santralleri.....	11
Çizelge 1.5. Türkiye’de bulunan elektrik üretim santrallerinin sayısı.....	11
Çizelge 1.6. Ülkemizde aylık güneş enerjisi potansiyeli ortalamaları.....	12
Çizelge 1.7. Türkiye’deki bölgelerin yıllık bazda ortalama güneşlenme süreleri	13
Çizelge 1.8. Laboratuvar koşullarında yapılan standart testler	31
Çizelge 3.1. İstanbul ili meteorolojik verileri tablosu.....	40
Çizelge 3.2. İstanbul ili aylara göre ortalama güneşlenme süreleri ve ortalama radyasyon verileri tablosu.....	41
Çizelge 3.3. Polikristal panelin STC’deki katalog değerleri.....	42
Çizelge 3.4. Monokristal panelin STC’deki katalog değerleri.....	42
Çizelge 3.5. Ölçüm esnasında kullanılan ölçüm cihazları	43
Çizelge 3.6. Panelde meydana gelen hasarlı durumlar	48
Çizelge 4.1. Invertere bağlı dizi akım gerilim ölçümleri	52
Çizelge 4.2. Ölçümler sonucu performans oranı değerinin hesaplanması.....	54
Çizelge 4.3. Monokristal 325W’lık panel akım gerilim ölçümleri	55
Çizelge 4.4. Ölçümlerin karşılaştırılması.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Eğri uydurma faktörü
AC	Alternatif akım
CIGS	Kadmiyum İndiyum Gallium Selenide
COMPLES	Güneş enerjisi işbirliği teşkilatı
CSP	Odaklanmış güneş enerjisi
DC	Doğru akım
e:	Elektron yükü
E_0	Güneş ışınım şiddeti
EIA	Enerji Bilgi ve Yönetimi
EİGM	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EL	Elektrolüminesans
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FF	Dolum faktörü
GSYH	Gayri safi yıllık hasılat
GWh	Gigawatt saat
I_0	Diyodun ters doyma akımı (A)
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
Imp	Maksimum akım noktası
I_{pil}	PV pilin çıkış akımı (A)
I_{pv}	Işık seviyesi ve Fotoakım (A)
I_{sc}	Kısa devre akımı
k	Boltzmann sabiti
KWh	Kilo watt saat
LID	Işık kaynaklı bozulma
MGN	Maksimum güç noktası
MGNİ	Maksimum güç noktası izleyici
MPPT	Maksimum güç noktası takipçisi
MWh	Mega watt saat
NOCT	Nominal test koşulları
PID	Potansiyel kaynaklı bozulma
Pmp	Maksimum güç noktası
P_n	Nominal güç
PO	Performans oranı
PO	Performans oranı
P_t	Toplam güç
RS	Eşdeğer devrenin seri direnci (Ohm)
STC	Standart test koşullar
T_{pil}	Referans çalışma sıcaklığı (°K)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TWh	Terawatt saat
TWh	Terrawatt saat
T_x	Farklı zamanlardaki farklı ortam sıcaklıkları
UV	Ultraviyole
V_{mp}	Maksimum gerilim noktası
V_{oc}	Açık devre gerilimi
V_{pil}	PV pilin çıkış gerilimi (V)
WEC	Dünya Enerji Konseyi
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

α_s	Pil çalışma sıcaklığındaki değişimin gün ışığı şiddetine oranı
β_T	Pil geriliminde meydana gelen değişim (0.004-0.006)
γ_T	Pil akımında meydana gelen değişim (0.02-0.1)
Δ	Fark
μ	Panel verimi



1. GİRİŞ

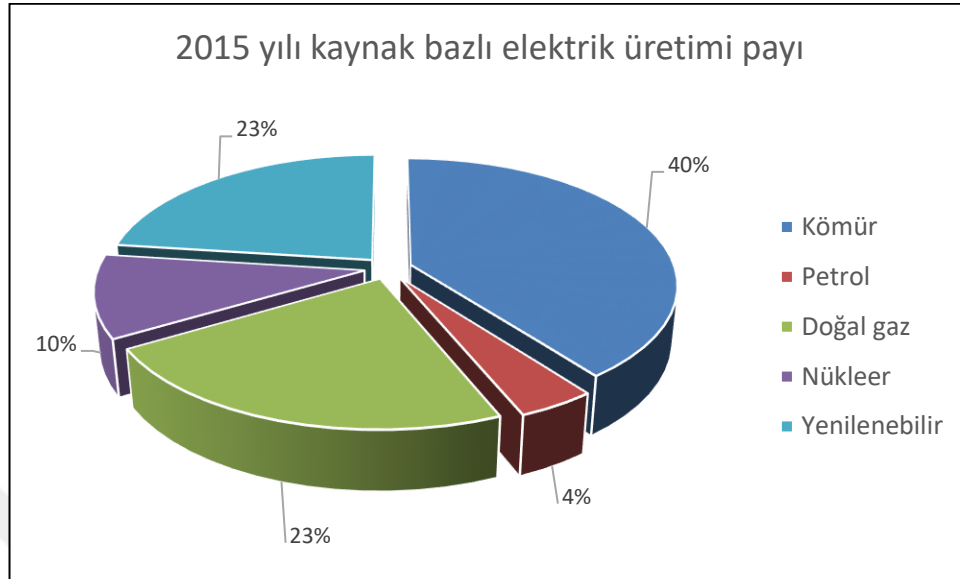
Dünyadaki toplam elektrik enerji üretim ve tüketimine dair istatistiksel verileri oluşturan EIA (Energy Information and Administration) verilerine göre gelecek 20-30 yıl içerisinde, dünyada üretilen enerjinin gelecekte ihtiyaç duyulacak enerji miktarını karşılamayacağı ön görülmektedir. Düünden bugüne teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla dünya enerji talebi ve buna bağlı olarak tüketim hızının da arttığı bilinmektedir. Geleneksel enerji kaynaklarının ve enerji üretiminin sınırlı olması sebebiyle enerji açığını karşılamak için enerji kullanımında kısıtlamaların getirilmesi ve enerji verimliliği çalışmalarının önemi artmıştır. Günümüzde hızla gelişen sanayi ve teknoloji, hızla artan nüfusun enerji ihtiyacının karşılanması gerekliliği, enerji kullanımında kısıtlamalara gidilmesini mümkün kılmamaktadır.

Nüfus ve sanayileşmenin son yıllardaki artış oranı ile birlikte özellikle ekonomik gelişmeye bağlı olarak, elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bununla birlikte insanların kişisel enerji ihtiyacı ve sanayi yatırımları da giderek artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2017 yılında yayınladığı rapora göre, dünya enerji üretiminin yaklaşık %53'ü, enerji tüketiminin ise %52.1'i fosil kaynaklardan sağlanmıştır (Anonim, 2017c). Fosil yakıt kullanımının artması fosil yakıt rezervlerinin azalmasına neden olmuştur. Ayrıca fosil yakıtların tüketilmeye devam edilmesi durumunda atmosfere yaydıkları karbon dioksit, azot ve kükürt dioksit ile çevre kirliliğine yol açması gibi istenilmeyen durumlara neden olmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2015 yılında ülkemizde enerji tüketimi 229.2 TWh iken CO₂ emisyonunun 317 Mt olduğu görülmektedir. 2020 yılı tahminlerinde enerji kullanımına bağlı olarak CO₂ emisyon oranlarının %6 artış göstereceği planlanmıştır. Bu durum göz önüne alındığında enerji verimliliği ve daha az karbon teknolojisi gerektiren alanlara yönelerek 430 milyar dolar ek yatırımın yapılması gerekliliği değerlendirilmiştir (Anonim, 2017c).

Mekanik ve kimyasal yollarla enerji dönüşümü prensibine dayanan elektrik enerji üretimi, alternatif enerji kaynaklarıyla çeşitlendirilerek fosil yakıtlarla rekabet edebilme düzeyine ulaşmıştır.

Dünya genelinde 2015 yılı sonunda yakıt çeşidi bazlı elektrik enerjisi üretim payları Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. 2015 yılı kaynak bazlı elektrik üretim payı (IEA, 2018)

Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) verileri ışığında Şekil 1.1’de en yüksek paya sahip kömür enerjisi üretiminin %40 pay ile 9677 TWh olduğu görülmektedir. Sonrasında ise doğalgaz ve yenilenebilir enerji üretimi aynı pay ile ikinci sırada kömür enerji üretimini takip etmektedir.

Dünya çapında, sınırlı sayıda fosil yakıt rezervlerinin bulunuyor oluşu, fosil yakıt kullanımının çevreye verdiği zarar konusunda farkındalığın artması ve ülkelerin kendi enerji kaynaklarına sahip olma istekleri, alternatif enerji kullanımını gündeme getirmiştir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de alternatif enerji kaynaklarını verimli kullanmak ve yaygınlaştırmak adına bazı politikalar izlenmektedir.

Elektrik üretimi için alternatif enerji kaynakları son yıllarda popülaritesi artmış konulardandır. Alternatif enerji kaynakları; rüzgar, jeotermal, biyokütle ve güneş enerjisi olarak sınıflandırılmaktadır.

ETKB’nin yayınladığı 2015-2019 stratejik planına göre 2013 yılı baz alınarak 2019 yılı sonunda planlanan alternatif enerji üretim kapasiteleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. 2019 yılı için planlanan alternatif enerji kurulu güç değerleri (Anonim, 2017b)

Enerji Kaynağı	Yıl [Güç (MW)]			
	2013	2015	2017	2019
Hidrolik	22.289	25.000	27.700	32.000
Jeotermal	311	360	700	1.300
Güneş (PV)	-	300	1.800	3.000
Rüzgar	2.759	5.600	7.000	10.000
Biyokütle	237	380	540	700

Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere, ülkemizde 2013 yılında mevcut olmayan güneş enerjisi sistemleri 2015 yılında kurulmaya başlanmış olup, 2017 yılında 6 kat artış göstermiştir. 2019 yılı için ise ön görülen kurulu gücün 3000 MW olması planlanmıştır.

Diğer alternatif enerji kaynaklarının dönüşüm süreçlerine kıyasla daha basit ve hızlı elektrik enerjisi elde etmeye yarayan güneş enerji sistemleri dünya çapında yaygın hale gelmeye başlamıştır. Dünya çapında güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarı 247 TWh düzeyine ulaşmıştır (Anonim, 2017c).

Enerjiye olan bağımlılığın toplumsal refahını ve gelişmişlik faktörünün etkilendiği bu zaman diliminde enerjisini üretebilir seviyede olmak büyük önem arz etmektedir (Yılmaz, 2018). Bu nedenle, ülkemizde de alternatif enerji kaynaklarının mevcut potansiyeli fark edilerek ve elektrik üretimi için gerekli altyapının kurulması çalışmalarına başlanmıştır.

Alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisi, çalışma teknolojilerinin kolay ve anlaşılır olması, tükenmez bir kaynak olması, temiz ve çevre dostu olması, bakım ve kurulum maliyetlerinin diğer enerji kaynaklarına göre daha az olması, kurulu güç kapasiteleri, panel yapıları sayesinde arttırılabilir olması yönünden avantajlara sahiptir. Ayrıca, enerji iletim hatlarına gerek duymadan istenilen bölgede kurulumlarının yapılabilmesi gibi avantajlar, güneş enerjisinin gelecek yıllarda yerli enerji üretimi ve kullanımının arttırılması açısından yenilenebilir enerji kaynağı olarak ülkemiz için önemli bir unsurdur.

Ülkemiz, enerji üretimindeki potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça fazla zenginliklere sahip bir ülke olup, coğrafi konumunun sağladığı avantaj sayesinde önemli ölçüde güneş ışığı almaktadır.

Güneş enerjisi santrali (GES) kurulumu ülkemizde PV (Fotovoltaik) sistemlerinin kullanımıyla giderek artış göstermektedir. Bu santrallerin en yüksek verimde çalışabilmesi için bazı çevresel ve iklimsel çalışma faktörlerinin optimum düzeyde olması gerekmektedir.

Güneş enerjisi çevre koşullarına bağlı olarak kesintili ve değişken olabilme özelliğine sahiptir. Bunlardan en kritik olanları, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı ve güneş ışınımı oranıdır. Bu faktörlerin oluşturduğu koşullar, PV panellerdeki çıkış gücünün etkin kullanmasının önemini artmaktadır. PV panellerinin çevresel etkenlerden en az düzeyde etkilenmesi ve mümkün olan maksimum verimde çalışabilmesi için bazı çalışmalar yürütülmektedir. PV panellerinin çalışma performansını etkileyen en önemli faktörler güneş ışınımı ve panel sıcaklığıdır. PV panellerindeki panel sıcaklığını azaltarak PV performansını arttırmak için aktif ve pasif soğutucu sistemler geliştirmeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Bununla ilgili ışınım miktarını arttırmak için yoğunlaştırıcı sistemler üzerine çalışılmaktadır (Almaktar vd, 2012; Turhan ve Çetiner, 2012).

Coğrafi etkenlere, farklı firmalar tarafından üretilen PV çeşitlerine ve kullanım koşullarına bağlı olarak değişen PV performansları, güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanmak adına araştırılması gereken bir konudur.

1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, kurulumunun kolay ve kullanımının basit olmasının yanında, çevreye zarar vermemesi ve zararlı verici atıklar oluşturmaması gibi özellikleri olan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Güneşten yeryüzüne gelen toplam güneş ışınımı, dolaylı ve dolaysız olarak ikiye ayrılmaktadır. Direkt ışınım adından da anlaşılacağı gibi dolaysız olarak, doğrudan güneşten gelen ışınımdır. Yaygın ışınım ise dolaylı olarak, güneşten gelen yönü ve

doğrultusu belirsiz olan ışınlardır. Güneşin yaydığı ısı ve ışınım güneş enerjisini oluşturur. Günümüz teknolojiyle bu ışınım, ısınmak için ya da elektrik üretmek için gerekli formlara dönüştürülebilir.

Güneşin tüm yüzeyinden gelen enerjisinin yalnızca iki milyarda bir'lik kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır. Güneşten dünyaya, yüz elli milyon kilometre mesafeden gelen enerji, dünya üzerinde sadece 1 yılda tüketilen enerjinin neredeyse 15000 katıdır (DEK-TMK, 2009).

Güneş enerjisi uygulamaları; fotosentetik ve fotokimyasal dönüşümlerin gerçekleştirilmesi, hacimin ısıtılması ve soğutulması, pişirilmesi, bitkisel ürünlerin kurutulması ve soğutulması, deniz suyu damıtılması, sıcak suyun üretimi, suyunun pompalanması ve elektrik üretimi olarak gruplandırılabilir (DEK-TMK, 2009).

Sınırsız bir enerji kaynağı olan güneşin enerjisinden yararlanma aşamasında avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

1.1.1. Güneş enerjisinin avantajları

- Doğrudan güneş enerjisi kullanımı,
- Doğal ısıtma ve soğutma sistemlerinin kullanılması ile binaların aşırı olarak ve gerek duyulmayan ticari amaçla enerji tüketimlerinin önüne geçilmesi,
- Çevre değerleri korunarak ve çevreye daha az zarar verilmesi,
- Sağlığa zarar vermeyen ve doğal olan malzemelerin kullanımı,
- Ekonomik olması,
- Yakıt tasarrufu ile işletme maliyetlerinin düşürülmesi,

1.1.2. Güneş enerjisinin dezavantajları

- Yarıiletken malzemelerin temin sıkıntısının olması,
- Halen verimin maliyete oranının yüksek olması,
- Depolama zorluklarının olması,
- Maliyetin yüksek olması,
- Geniş kullanım alanlarına ihtiyaç duyulması,

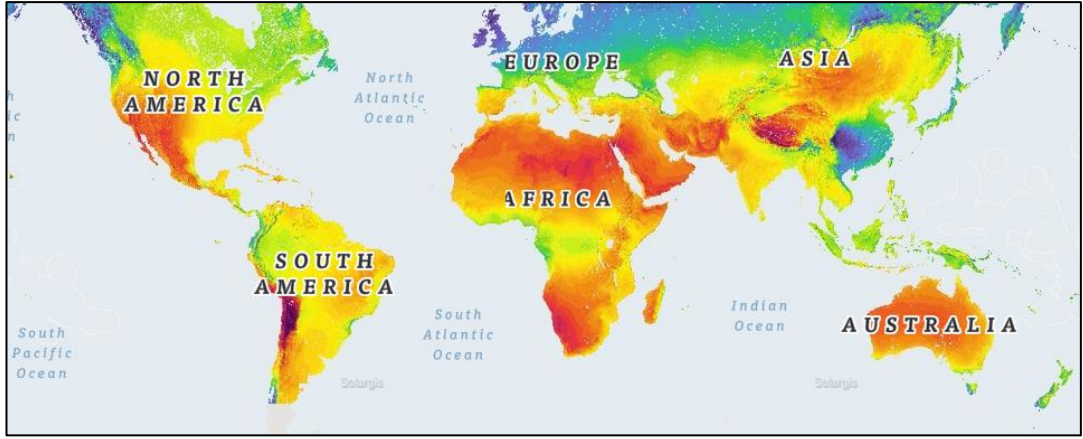
1.2. Dünyada Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi şiddeti dünyadaki atmosfer tabakasının dışında, tahmini olarak 1370 W/m² değerine yakındır. Ancak yer yüzeyine gelen miktarı atmosfer tabasından dolayı 0-1100 W/m² değerleri aralığında değişmektedir. Dünyaya gelen güneş enerjisinin düşük bir miktarı dahi mevcut olan enerji kullanımının oldukça üzerindedir. Güneş enerjisinden faydalanma hakkındaki çalışmalar, 1970’li yılların sonlarından itibaren artmış, güneş enerjisi sistemlerinin maliyetlerinin düşürülmesi ve teknolojik ilerlemesi bakımından düşüş göstermektedir. Çevreyi kirletmemesi açısından temiz enerji kaynağı olmaya hak kazanmıştır (Anonim, 2019b).

Dünyada bulunan elektrik enerjisinin IEA’ya göre 2040’lı yıllara kadar en çok artış enerjisinin toplam enerji tüketimindeki payının 2017 yılında %19.0 olan değerinin 2025 yılında %20.3 düzeyine yükseltilmesi, 2040’ta ise bu değer %23.1’e çıkması planlanmaktadır (Anonim, 2017c).

Sanayileri gelişmiş olan ülkelerden Kuzey Avrupa ülkeleri başta olacak şekilde güneş enerjisi hakkında yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Enerji planlamalarında gelecek on yılda enerji üretimlerinin büyük bir bölümünün yenilenebilir enerji kaynakları konusu üzerinde çalışmalar yapılmasını amaçladıkları ortaya konulmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Güneş Enerjisi İşbirliği Teşkilatı (COMPLES), Dünya Enerji Konseyi (WEC) gibi uluslararası kuruluşlar bir araya gelerek, bu konuyla alakalı çalışmalarını sürdürmektedir (Anonim, 2019c).

Şekil 1.2’de dünya genelinde güneşlenme sürelerini gösteren dünya güneş enerji atlası bulunmaktadır.



Şekil 1.2. Dünya güneş enerji atlası (Anonim, 2019d)

Güneş enerjisine ilişkin uygulamalardan fotovoltaik (PV) olanlarında son yıllarda ciddi artış göstermektedir. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi dünya atlasında güneşlenmenin etkili olduğu alanlar koyu olarak renklendirilmiştir. Dünya güneş enerjisi atlası bize Avustralya, Afrika ve Kuzey Amerika ülkelerinin güneş enerjisi bakımından daha elverişli olduğunu göstermektedir. Ekvator çizgisine yakın olan 45° Kuzeyindeki ve Güneyindeki bant aralığındaki ışınım, iklim ile yeryüzü farklılıklarından dolayı değişkenlik göstermektedir.

Dünyadaki durum incelendiğinde, Almanya, İtalya ve Avrupa Birliği’nin PV kullanımını önemli düzeylere ulaştığı görülmüştür. Bunlara ilaveten ABD, Çin ve Japonya’nın da PV kullanımında ilerleme kaydeden ülkeler arasında olduğu görülmektedir. 2040 yılında öngörülen veriler günümüzde odaklanmış güneş enerjisi (CSP) için 119 TWh, dalga enerjisi için 29 TWh ve PV için 2.956 TWh değerlerinde elektrik üretim seviyelerine ulaşılması öngörülmektedir. Bu sistemlerin uygulamalarının henüz büyük ölçüde ticarileşmemiş olduğu görülmektedir (Anonim, 2017c).

1.3. Türkiye’de Mevcut Güneş Enerjisi Durumu

Ülkemizde güneş enerjisi alanındaki uygulamalar yalnız güneş kolektörleri aracılığıyla düşük sıcaklıklarda sıcak su üretimi ile sınırlıdır. Son değerlendirmelere göre kurulu kolektör miktarının 12-17 milyon m² civarında olduğu tahmin edilmektedir (DEK-TMK, 2009).

Ülkemizin coğrafi konum avantajı sayesinde güneş enerjisi potansiyelinin çoğu ülkeden daha fazla olduğu bilinmektedir. Türkiye'ye elektrik enerji üretim ve tüketim değerleriyle bakıldığında, teknolojik olarak ve maddi yönden engeller ile karşılaşmaktadır. Güneş enerji üretim ve tüketimi açısından Çin, ABD ve Japonya'dan sonra dünya sıralamasında dördüncü seviyede ülkemiz bulunmaktadır (Anonim, 2018b).

Türkiye'deki elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı Çizelge 1.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 1.2. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Anonim, 2018b)

Enerji kaynakları	Üretim (GWh)
Doğal Gaz + LNG	90.705
İthal Kömür	62.950
Hidrolik	59.991
Linyit + Taş Kömürü	48.078
Rüzgâr	20.016
Diğer (Jeotermal + Biyokütle + Atık Isı)	10.901
Güneş	7.485
Sıvı Yakıtlar (Fuel-Oil + Nafta + Asfaltit + Motorin)	3.287
TOPLAM	303.413

2018 yılında 303.413 GWh olan Türkiye elektrik enerjisi üretiminin %2.5'lik oranını güneş enerjisi oluşturmaktadır. Çizelge 1.2'te görüldüğü üzere en fazla üretim değeri doğalgaz ve LNG enerji kaynaklarında olup ikinci sırada ithal kömür kaynağı gelmektedir. Bunun ardından sırasıyla hidrolik, linyit-taş kömürü, jeotermal, biyokütle, atık ısı kaynakları takip etmektedir. Güneş enerjisi ise 7.485 GWh ile gelişen teknoloji enerji üretimine katkı sağladığı gözlenmektedir. Son olarak, sıvı yakıtlardan olan fuel-oil, nafta, asfaltit, motorin kaynakları oran bazında en az üretimi yapmaktadır (Anonim, 2018b).

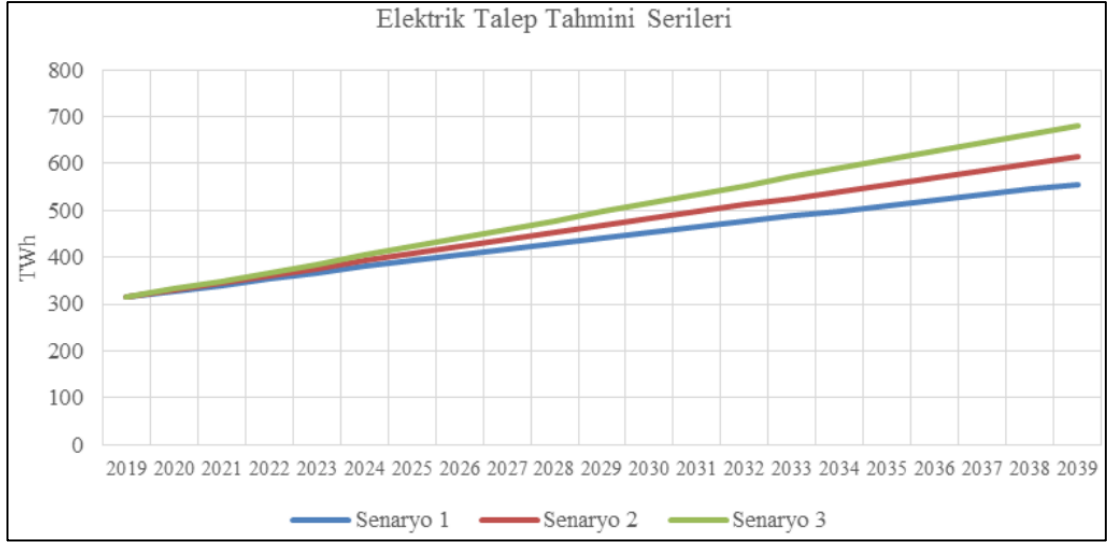
Türkiye, geçtiğimiz on yıl içerisinde kömür, doğal gaz ve elektrik enerjilerin talep artışları açısından Avrupa’da ilk sırada bulunmaktadır (Anonim, 2018a). 2017 itibariyle TÜİK’ten alınan değerlere bakıldığında yaklaşık olarak 82 milyon nüfus (Anonim, 2019a) oranı bulunan Türkiye’de kişi başına düşen enerji tüketiminde yıllara göre değişim oranları Çizelge 1.3 ile Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın hazırlamış olduğu 2017 yılı Ulusal Enerji Denge Tablosunda gösterilmektedir (EİGM, 2017).

Çizelge 1.3. Türkiye’de kişi başına düşen enerji ve elektrik tüketimi (Anonim, 2018b)

Gösterge	2015	2016	2017	2016-2017 (değişim)
Nüfus	78.741.053	79.814.871	80.810.525	1.25%
Enerji tüketimi	1.640 kep	1.707 kep	1.798 kep	5.33%
Elektrik tüketimi (net)	2.760 kWh	2.875 kWh	3.059 kWh	6.40%
Elektrik tüketimi (brüt)	3.325 kWh	3.438 kWh	3.672 kWh	6.80%

2015-2017 yıllarında ülkemizde kişi başına düşen enerji tüketimi %5.33 artarak 1.798 kep, elektrik tüketiminde de %6.40 artarak 3.059 kWh olduğu Çizelge 1.3’de gösterilmektedir (Anonim, 2017a).

Elektrik tüketim değerlerini etkileyen ve gelecek yirmi yıl içerisinde yapılması planlanan çalışmada, ekonomik artış oranı, nüfus, ulaştırma sektörünün elektrik tüketimine olan yararı, hane halkının sayısı, iç tüketimden ve şebekedeki kayıplardan oluşan ve verimlilik konusundaki veriler bulunmaktadır. Bu değerler Türkiye’deki ve değersel anlamda yakınındaki ülkelerin Uluslararası Enerji Ajansı veri tabanındaki enerji miktarlarını ve Dünya Bankası veri tabanındaki sektörel GSYH değerlerini kullanılarak oluşturulmuştur. Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçlarındaki grafik Şekil 1.3’te gösterilmektedir (Anonim, 2019c).



Şekil 1.3. Elektrik enerjisi talep projeksiyonu sonuçları – yıllık bazda talep (Anonim, 2019c)

Şekil 1.3’de bahsedilen Senaryo 1 – Düşük Senaryo, Senaryo 2 – Referans Senaryo, Senaryo 3 – Yüksek Senaryo olarak belirlenmiştir. Önümüzdeki 20 yıllık dönem için toplamda 15 farklı talep serisinden elde edilmiş grafik değerlendirilmiştir. Yıllık ortalama elektrik talebi artış oranı, 1. Senaryoda %2.90, 2. Senaryoda %3.36 ve 3. Senaryoda da %3.84 olarak hesaplanmaktadır (Anonim, 2019c).

Güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretimi tesisleri, ETKB’nın belirlediği kapasite ve işletme koşulları baz alınarak, “lisanslı güneş enerji santralleri” ve “lisanssız güneş enerjisi santralleri” olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Tüketim gösterme zorunluluğu olmayan ve üretilen elektriği direkt olarak şebekeyi besleyebilen 1 Mega Watt üstü kurulu gücüne sahip olan uygulamalar lisanslı elektrik üretimi olarak adlandırılır. Lisanssız olarak elektrik enerjisi üretimi ise 1 Mega Watt altı kurulu güce sahip mahsuplaşma esaslarına uygun olarak şebekeyi besleyebilen uygulamalardır. Ayrıca 1/33 oranında tüketim gösterme zorunluluğu bulunmaktadır. 2018 yılı itibariyle lisanslı ve lisanssız güneş enerji santrallerinin toplam kurulu güç dağılımı Çizelge 1.4’de verilmektedir.

Çizelge 1.4. 2018 yılındaki güneş enerji santralleri

Enerji Santralleri	Kurulu Güç (MW)
Lisanssız Güneş Enerji Santrali	4981.2
Lisanslı Güneş Enerji Santrali	81.8
TOPLAM	5063

2018 yılında güneş enerjisi santralleri Çizelge 1.4’de gözüktüğü gibi lisanslı ve lisanssız olarak toplam güneş enerjisi kurulu gücünün değeri 5063 MW’a ulaştığı görülmektedir. Güneş enerji santrallerinden üretilen elektrik enerjisinin toplam üretilen elektrik enerjisi içerisindeki payının 7477.3 GWh’e yükseldiği görülmüştür (Anonim, 2019c). Ayrıca ülkemizdeki enerji santrallerinin sayısı 2018 yılı sonunda 7.423’e (Lisanssız santrallerle birlikte) ulaşmıştır. Mevcut santral sayısı Çizelge 1.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 1.5. Türkiye’de bulunan elektrik üretim santrallerinin sayısı (Anonim, 2019b)

Mevcut santraller	Adet
Hidroelektrik	653
Kömür	42
Rüzgar	249
Jeotermal	48
Doğalgaz	320
Güneş	5868
Diğer	243

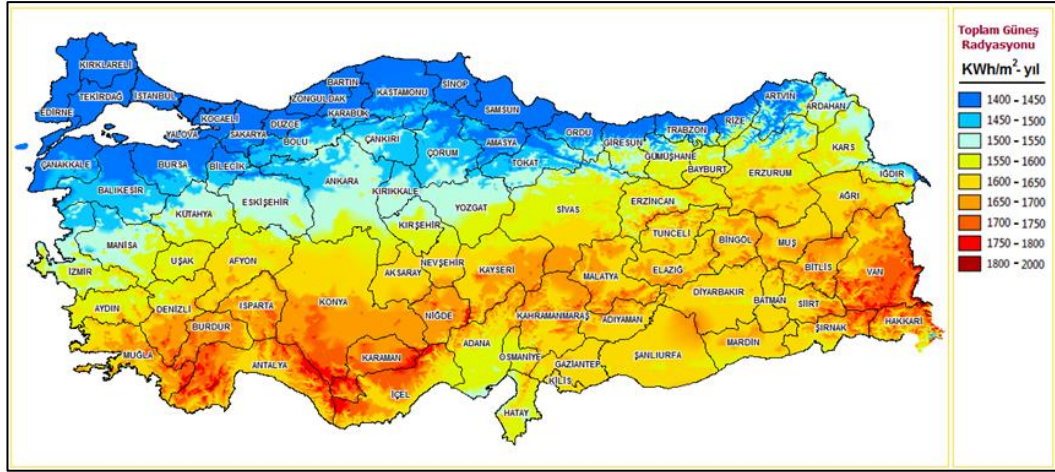
Çizelge 1.5’te görüldüğü gibi mevcut olan güneş enerji santrallerinin sayısı diğer santrallere oranla en yüksek değerdedir.

Güneş enerjisinden faydalanmanın en önemli kriterlerinden biri, bölgenin güneşlenme süresidir. Ülkemizde aylar itibarıyla değişen güneşlenme süreleri ve toplam güneş enerjisi potansiyeli Çizelge 1.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 1.6. Ülkemizde aylık güneş enerjisi potansiyeli ortalamaları (Anonim, 2019b)

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/Ay)
	(kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4.450	51.750	103
Şubat	5.440	63.270	115
Mart	8.3100	96.650	165
Nisan	10.510	122.230	197
Mayıs	13.230	153.860	273
Haziran	14.510	168.750	325
Temmuz	15.080	175.380	365
Ağustos	13.620	158.400	343
Eylül	10.600	123.280	280
Ekim	7.730	89.900	214
Kasım	5.230	60.820	157
Aralık	4.030	46.870	103
Toplam	112.74	1311	2640
Ortalama	308 cal/cm ² -gün	3.6kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Çizelge 1.6'ya göre, tüm Türkiye ve bölgelerde güneşlenme süresinin en çok olduğu Temmuz ayı, güneşlenme süresinin en az olduğu ise Aralık ayı olarak görülmektedir. Şekil 1.4'te Türkiye güneş radyasyonuna göre güneş enerji potansiyel atlası gösterimi yapılmaktadır.



Şekil 1.4. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) (Anonim, 2019d)

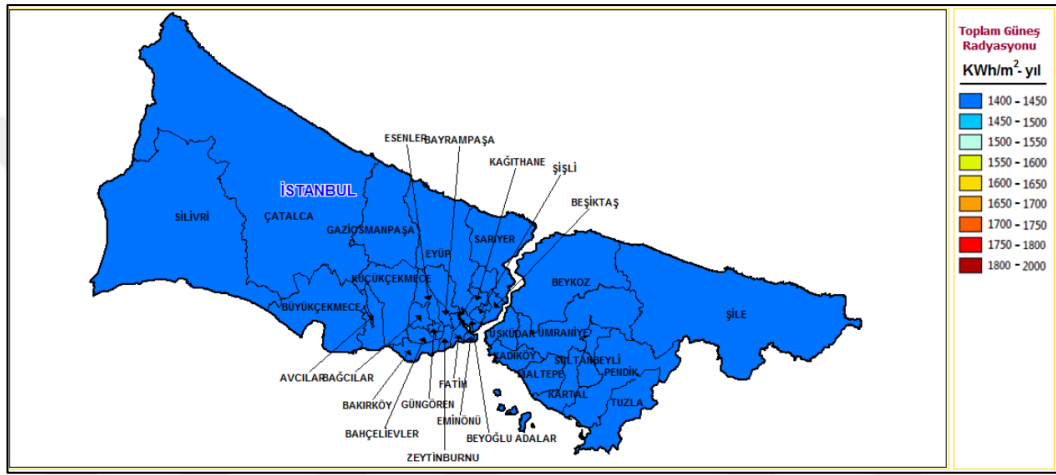
Coğrafi olarak konumunun sağladığı avantaj Şekil 1.4'te gösterildiği gibi günlük ve yıllık ortalama sırasıyla 7.5 ve 2741 saat güneşlenme süresi bulunan ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli en yüksek olan ülkeler arasındadır. Türkiye'ye gelen güneş enerjisi miktarının yıllık olarak metrekare başına düşen potansiyeli 1527 kWh/m² değerinde olduğu bildirilmiştir (Anonim, 2019b).

Ülkemizin bölgesel olarak yıllık ortalama toplam güneş enerjisine ait potansiyel veriler ve ortalama olarak güneşlenme süresi Çizelge 1.7'de verilmiştir.

Çizelge 1.7. Türkiye'deki bölgelerin yıllık bazda ortalama güneşlenme süreleri (Anonim, 2019b)

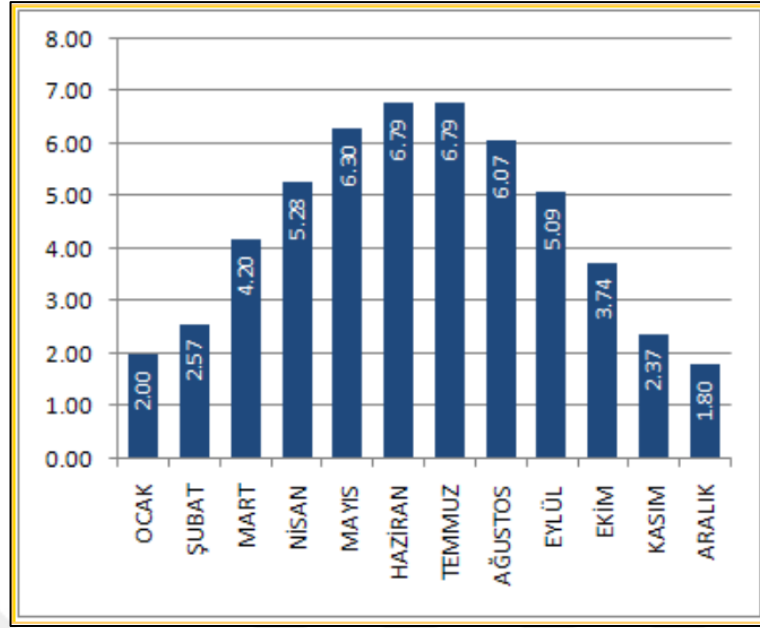
Bölge	Güneşlenme süresi (saat /yıl)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	3016 saat
Akdeniz Bölgesi	2923 saat
Ege Bölgesi	2726 saat
İç Anadolu Bölgesi	2712 saat
Doğu Anadolu Bölgesi	2693 saat
Marmara Bölgesi	2528 saat
Karadeniz Bölgesi	1966 saat

Şekil 1.4'teki güneş enerjisi potansiyel atlası ve Çizelge 1.7'de yer alan bölgelere göre güneşlenme sürelerinin, en çok Güneydoğu Anadolu bölgesinde olduğunu görülmektedir. Ege, Akdeniz, İç ve Doğu Anadolu bölgelerinin verilerine bakıldığında güneşlenme süresi ve üretilebilecek enerji açısından ülkemizin ortalamasının üzerinde olduğu değerlendirilmektedir. Marmara bölgesindeki güneş ışıınım miktarının diğer bölgelere göre düşük olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı il olan İstanbul ili güneş ışıınım potansiyelini gösteren güneş radyasyonu haritası Şekil 1.5'de yer almaktadır.

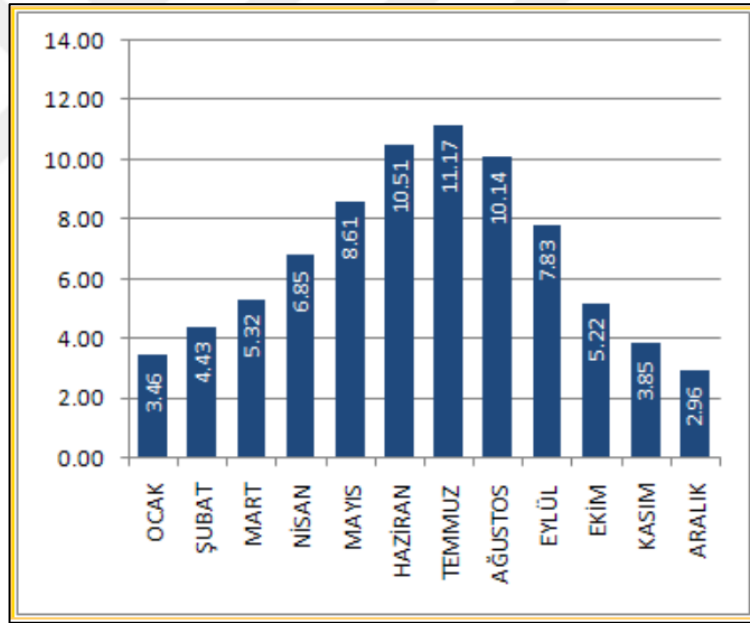


Şekil 1.5. İstanbul ili güneş radyasyonu haritası (Anonim, 2019b)

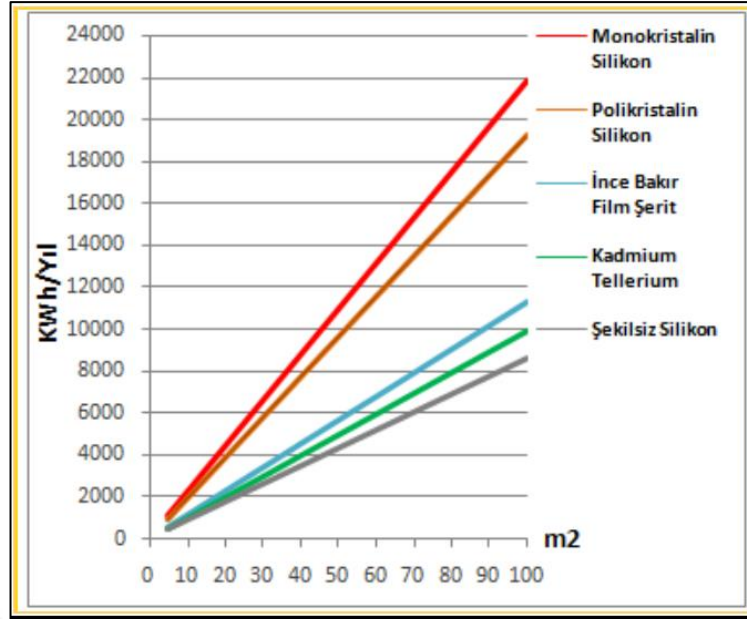
İstanbul iline ait aylara göre güneşlenme süreleri ve ışıınım değerlerini gösteren grafikler Şekil 1.6 ve Şekil 1.7'de verilmiştir. Ülkemizde PV tipi şekil 1.8'de alan ve üretilebilecek olan enerji tablosu olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.6. İstanbul ili global olarak radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) (Anonim, 2019b)



Şekil 1.7. İstanbul ili güneşlenme süreleri (Saat) (Anonim, 2019b)



Şekil 1.8. Ülkemizde PV tipi, alan ve üretilebilecek olan enerji (kWh/Yıl) (Anonim, 2019b)

1.4. Güneş Panelleri

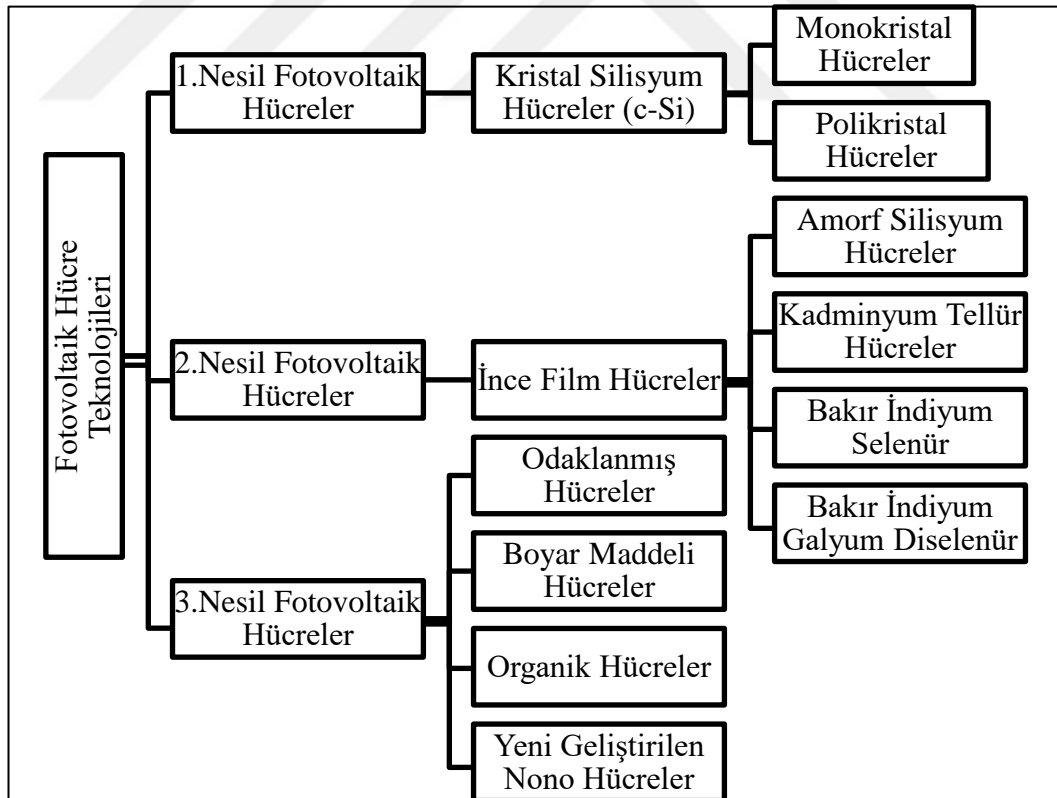
Güneş panelleri, üzerlerine gelmiş olan güneş ışığını yarıiletkenler yardımı ile güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilen sistemlerdir. Elektrolit içine batırılmış, elektrotların arasındaki gerilimi, elektrolitin ışığa olan bağımlılığını tespit etmiş olan Becquerel, 1839'da ilk kez fotovoltaik etkiyi bulmuştur. Ardından katılarda selenyum kristallerinde benzer şekilde 1876'da G.W. Adams ve R.E. Day tarafından ortaya konulmuştur. Fotovoltaik güneş enerjisi konusundaki çalışmalar aynı dönemde sürmüştür. Albert Einstein'ın 1905 yılında yayımladığı ve 1921 Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmasını sağlayan fotoelektrik etki konusundaki çalışması bu alandaki en değerli eserdir. İlerleyen yıllarda solar pil konusunda ilk patenti Russell Ohl tarafından 1946 yılında almıştır. Fotovoltaik diyotların verimliliği ilk olarak 1914 yılında %1 değerine ulaşmış olmasına rağmen güneş enerjisi gerçek anlamda %6 verimlilikle Chapin tarafından silikon kristali üzerinde 1954 yılında gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik düzenekler 1973 yıllarının başından bugüne verimleri laboratuvar koşullarında %40-45'lere ulaştırılmıştır (Erkul, 2010).

Güneş panellerinde bulunan güneş enerjisini taşımaya ve yaymaya yarayan tanecikli fotonlar, fotovoltaik hücre yüzeyine gelince elektrik enerjisine dönüştürdükleri gözlemlenir. Güneş kaynağından süzülen fotonlar yarıiletken malzemelerle çarpışması

ile elektronlarına ayrılarak aralarında oluşturdukları gerilim farkı fotovoltaik sistemlerde elektrik üretimi gerçekleştirilmesini sağlar. Bir fotovoltaik hücre yapısı oluşturacağı güneş enerji verimini belirlerken, güneş enerjisini elektrik enerjisine %5 -20 verim aralığında dönüştürebilmektedir (Anonim, 2019b).

Güneş ışığı yarı iletkenlerden oluşan madde üzerine geldiğinde, ışınım enerjisi maddede bulunan atomlar yörüngesinin en dış kısmındaki elektronları harekete geçirir bu olay fotoelektrik olayı olarak adlandırılmaktadır. Bu hareketli elektronlar sayesinde iletkenler üzerinde elektrik akımı oluşturulmaktadır. (Demirtaş, 2006). Elektrik enerjisinin temel prensibini oluşturan bu elektronların hareketlerinden elektrik enerjisi elde edilir. Bu durum güneş ışığı yüzeye geldiği sürece devam eder.

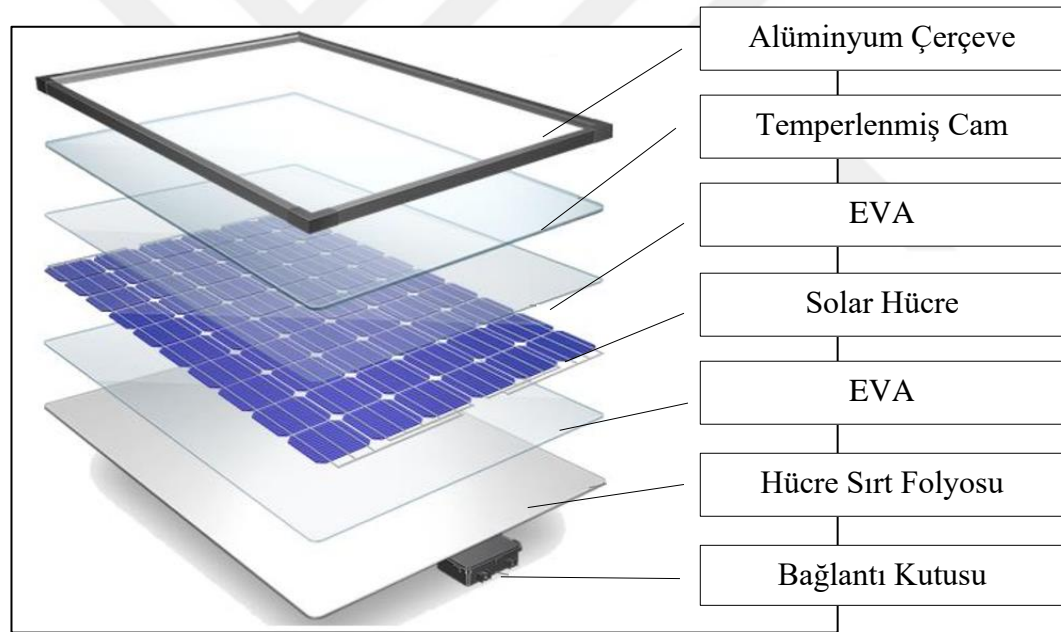
Güneş panelleri çeşitli tiplerde olup; bunların arasında en çok kullanılan güneş panelleri uygulamaları PV panellerin hücre tiplerine göre sınıflandırılmış ve Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Fotovoltaik hücre teknolojilerinin sınıflandırılması

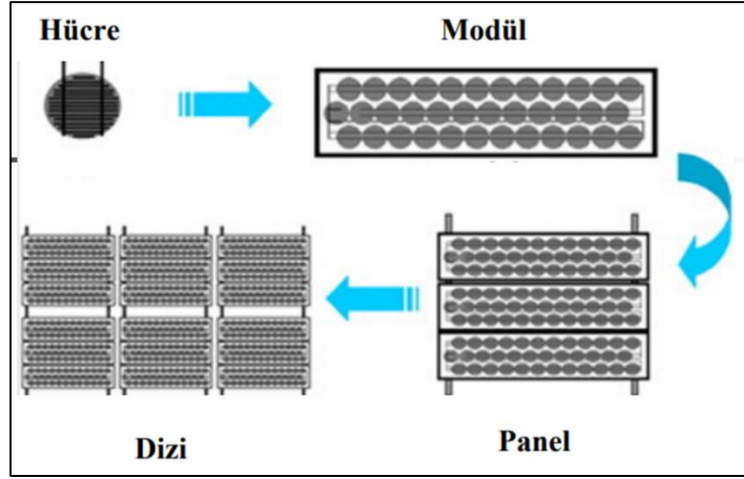
Dünya üzerinde en yaygın olarak kullanılan hücrelerden oluşan ve ilk olarak üretimi yapılmış fotovoltaik paneller I. Nesil Fotovoltaik hücrelerdir. Maliyeti diğerlerine oranla yüksek olan bu PV hücreler yarıiletken ve kristal silisyum malzemelerinden yapıldığı için verimleri daha azdır. Kristal Silisyum hücreler şekil 1.9'deki gibi saflık oranları göz önüne alınarak polikristal ve monokristal olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır.

Fotovoltaik hücrelerin üretimleri çeşitli maddeler kullanılarak yapılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanlar arasında kristal silisyum, kadmiyum tellürid (CdTe), bakır indiyum di-selenid (CuInSe₂), galyum arsenit (GaAs), amorf silisyum ve optik yoğunlaştırıcı hücrelerdir. Bir güneş panelinin iç yapısında bulunan parçalar Şekil 1.10'da sırasıyla görülmektedir.



Şekil 1.10. Solar panelin hücre katmanları

Güneş Pilinin ön yüzeyinde 150 mikron kalınlığında olan ışın soğurucu kaplama malzemesi vardır. Şekil 1.10'de gösterimi yapılan panelin çevresinde alüminyum çerçeve olması, paneli fiziksel etmenlerden korur, panel dıştan içe alüminyum çerçeve, temperlenmiş cam, eva, solar hücre, sırt folyosu ve bağlantı kutusundan oluşmaktadır. Fotovoltaik hücre, dizi, panel ve panel oluşumları Şekil 1.11'de gösterilmektedir.



Şekil 1.11. PV hücre, dizi, panel ve panel oluşumları (Kıncay vd., 2018)

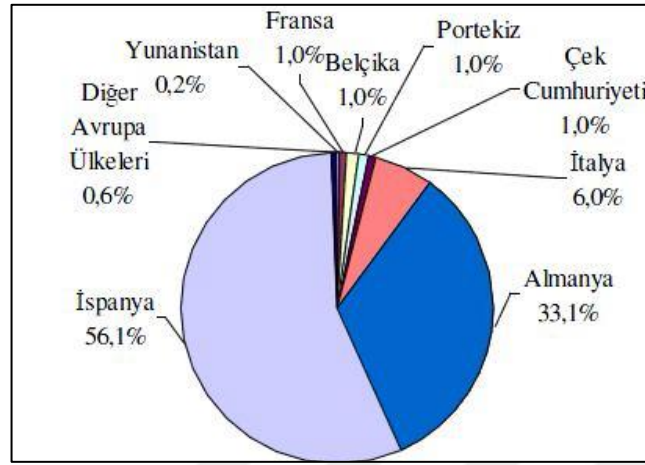
Şekil 1.11’de görüldüğü gibi birçok fotovoltaik hücrenin, birbirine paralel şekilde ya da seri şekilde bağlanmasıyla bir yüzeye montajı yapılarak fotovoltaik panelleri oluşturulur. Bu sayede, Watt seviyesinden, Mega Watt seviyesine ulaşılmakta ve güç çıkışında da artış sağlanmaktadır. Sonuç olarak, fotovoltaik hücreler birleştirilerek panelleri, panellerin birleştirilmesi ile de dizileri oluşturmaktadır. Fotovoltaik hücrelerinin yapısında bulunan yarı iletkenler sayesinde güneş ışınları doğrudan elektrik enerjisine çevrilmektedir.

PV panelleri seri ve paralel birleştirilerek istenildiği kadar PV paneli bağlanması ile ihtiyaç duyulan akım, gerilim ve güç değerleri elde edilebilmektedir. PV panellerin içerisindeki yarıiletken malzeme yardımı ile güneş enerjisini %6 ile %20 arasında verim oranı ile elektrik enerjisine dönüştürdüğü bilinmektedir. PV panel verimlerine etki eden etmenleri; panelin yerleşimindeki eğim açısı, gölgelenmesi, tozlanma oranı, güneş ışınım şiddeti, sıcaklığı ve diğer kayıplar olarak sıralandırılabilir (Bhrol vd., 2015).

1.5. Fotovoltaik Paneller

Günümüzde Amerika, Almanya, İspanya ve Japonya gibi ülkeler araştırma ve geliştirme konusundaki çalışmalar için teşvik vermekte olup, güneş pili maliyetleri düşürüldüğünde fotovoltaik güneş panellerinin uygulamaları da artacağı öngörülmektedir (Boz, 2011).

Dünya fotovoltaik pazarının Avrupa ülkelerine göre dağılımı Şekil 1.12’de gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Fotovoltaik dünya pazarının Avrupa ülkelerine göre dağılımı (Boz, 2011)

Şekil 1.12’te görüldüğü gibi Avrupa ülkelerindeki fotovoltaik dağılımın %56.1’lık oranı ile bu alanda liderlik İspanya ülkesine aittir. Almanya %33.1 oranı ile ikinci sırada gelişmeleri takip etmektedir.

Fotovoltaik paneller, enerji nakil hatlarının ulaşamayacağı kırsal bölgelerde elektrik üretilebilmesi, zirai uygulamalar, iletişim aygıtları, ikaz ve sinyalizasyon sistemleri, meteoroloji cihazları, parklar ve yolların aydınlatılması, suyun pompalanma ve küçük tipteki el aletlerinin kullanılması da uygulama alanları olarak gösterilebilir. Ayrıca fotovoltaik paneller güneş santrallerinde de kullanılmaktadır.

1.5.1. Bir fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi

Yarıiletken teknolojilerinden faydalanılarak üretimi yapılan fotovoltaik hücreler güneşten gelen ışığın hücre tarafından emilmesi ile atomlardan ayrılan elektronların hareketleri ile elektrik akımı oluşturulmaktadır.

Şekil 1.13’de görüldüğü gibi güneş pilinin ön kısmında negatif ve arka kısmında ise pozitif elektronlar bulunmaktadır. Fotovoltaik sistem P tipi bir tabakanın üzerine ince bir N tipi malzeme ile iki kademeli silisyumdan oluşur. Bu malzemelerin ortasındaki birleşim bölgesinde, dış devre ile bağlantıyı sağlayan bakır kontaklar bulunmaktadır.

P tipi malzemenin N tipi malzemeye göre daha pozitif olduğu 0.6 Volt'luk bir gerilim oluşturduğu. Şekil 1.13'de bir güneş pillerinin çalışma ilkelerinde gösterilmiştir (Lynn, 2001).



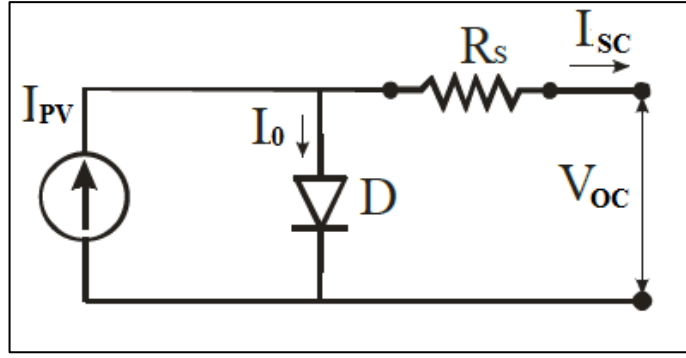
Şekil 1.13. Güneş pillerinin çalışma ilkeleri (Erkul, 2010)

Bir güneş hücresinin veriminin belirlenmesinde en önemli unsur güneşten gelen ışınımın, elektrik enerjisine dönüşüm oranıdır. Hücrelere gelen ışın demetindeki belli dalga boyunda olanlar elektrik enerjisine dönüştürülebilirler. Gelen ışın demetindekilerin kalanları ise hücre tarafından emilir veya yansıtılır.

1.5.2. Güneş hücresinin eşdeğer devresi

Güneş panelleri içerisindeki p-n yarı iletkenlerin ince tabaka halinde birleştirilmesiyle oluşmaktadır ve güneş ışığına maruz kaldığı sürece fotonların hareketleri sayesinde elektrik enerjisine dönüşmektedir. Güneş ışığı olmadığında PV hücrelerin çıkış I-V karakteristikleri, diyot karakteristiklerine benzer özellik göstermektedir.

Şekil 1.14'de eşdeğer devre modelinde, bir akım kaynağı, bu akım kaynağına paralel olarak bağlanmış bir diyot ve bu yapıya seri bağlı bir direnç bulunan güneş pillinin eşdeğer devre modeli gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Güneş hücresinin eşdeğer devresi

Şekil 1.14’de görülen eşdeğer devre modelinde bir akım kaynağı, ona paralel olarak bağlanmış bir diyot ve bu yapıya seri bağlı bir direnç olarak ifade edilmektedir. Güneş pillerinden sağlanan gerilim (1.1) nolu denklem yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$V_{oc} = \frac{A \times k \times T}{e} \ln \left\{ \frac{I_{PV} + I_0 - I_{sc}}{I_0} \right\} - R_s \times I_{sc} \quad (1.1)$$

I_{PV} : Işık seviyesi ve Fotoakım (A)

I_0 : Diyodun ters doyma akımı (A)

I_{sc} : PV çıkış akımı (A)

V_{oc} : PV çıkış gerilimi (V)

R_s : Eşdeğer devrenin seri direnci (Ohm)

T : Referans çalışma sıcaklığı (°K)

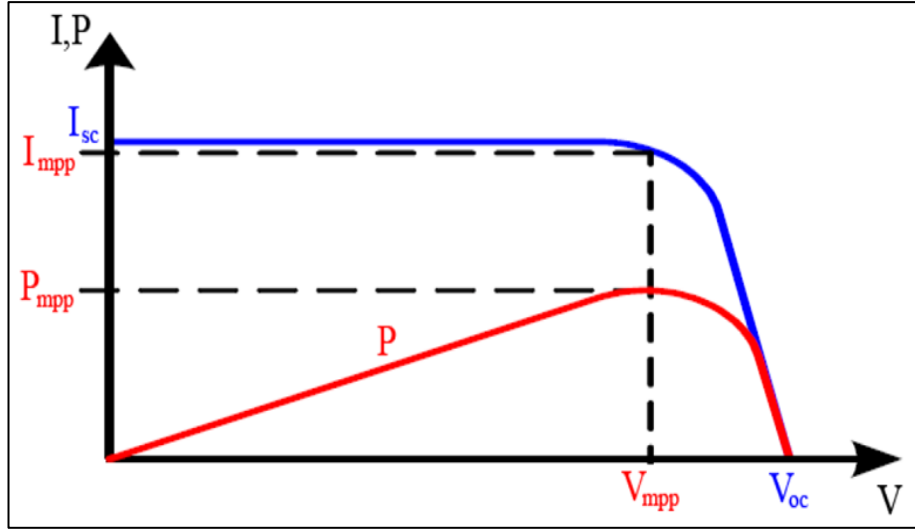
A : Eğri uydurma faktörü

k : Boltzmann sabti

e : Elektron yükü

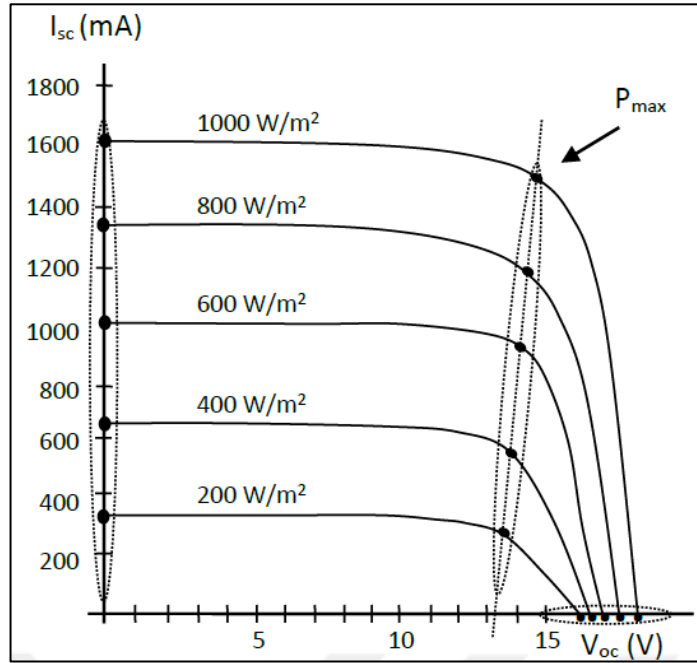
Burada; Denklem (1.1)’den elde edilen I-V karakteristiğinin gösterimi ile ölçülen ve gerçek değerler ile oluşturulan I-V karakteristiğine uyumluluğunda kullanılabilir (Appelbaum, 1987; Brurech, 1983).

Fotovoltaik panellerin en yüksek verim ve çıkış gücüne ulaştığı en yüksek güç noktası, Şekil 1.15’de görüldüğü gibi güneş ışınlarının panel yüzeyi üzerindeki açısına ve panelin sıcaklık değerine göre değişim göstermektedir.



Şekil 1.15. Güneş pilinin tipik akım-gerilim karakteristiği

Şekil 1.15'de ise maksimum güç noktasının ışınım miktarı ve sıcaklıkla değişimi grafik ile gösterilmektedir. Beslenen yüke talep edilen gücün devamlı olarak sağlayabilmesi için fotovoltaik sistemler gereğinden fazla paneli içerecek biçimde tasarlanmakta olup, bu durum sistem maliyetinin yükselmesine ve önemli ölçüde enerji kaybının yaşanmasına neden olmaktadır. Şekil 1.16 ile maksimum güç noktasının ışınım değeri değişiminin grafiği gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Maksimum güç noktasının ışınım miktarı ve sıcaklıkla değişimi (Appelbaum, 1987)

Maksimum güç noktasında panellerin sürekli olarak çalışması için MGNI (maksimum güç noktası izleyici) olarak anahtarlamalı güç konvertörü kullanılabilir. Bu durum MGNI fotovoltaik panellerin akım ve gerilimleri yük değerinden bağımsız olacak şekilde gerçekleştirilmesi Şekil 1.16'da gösterilmektedir. Maksimum güç noktası değeri ve panellerin izlenmesi, tasarımı iyi yapılmış olan MGNI algoritması ve modelleme ile gerçekleştirilmektedir (Appelbaum, 1987).

1.6. Fotovoltaik Santraller

Fotovoltaik santraller, ilk olarak 1982 yılında California'da 1 Mega Watt kurulu gücünde kurulmuştur. Fotovoltaik santraller sadece Amerika'da bulunmaktadır ve toplam kurulu güçlerine bakıldığında, güneş termik santrallerinin %10'u olduğu gözükmektedir. Bu santrallerin maliyetleri güneş termik santraline göre 3.7-5.2 kat fazladır (DEK-TMK, 2009).

Fotovoltaik sistemler, düşük voltaj seviyesindeki devrelerin beslemelerinde, katodik koruma, sinyalizasyon, haberleşme sistemleri, pompalama, tarımsal sulama tesislerinde ve fotovoltaik santrallerde kullanılabilir. Bu sistemler, şebekeye bağımlı ve şebekeden bağımsız olarak ikiye ayrılır.

1.6.1. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler

Bu sistemler, özellikle kırsal alanlarda ve elektrik şebekesi olmayan yerlerde tercih edilmektedir. Elektrik ihtiyacı jeneratör tarafından karşılanan yerlerde ise yakıt taşıma zorluğu ve maddi olarak pahalı olması durumlarında kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler karma olarak jeneratör veya başka güç sistemleri ile birleştirilerek kullanılabilir.

Şebekeden bağımsız olan sistemler ve güneşlenmenin yeterli olduğu yerlerde güneş paneli ile doğrudan üretilen enerji kullanılır fakat güneşlenme süresi yeterli olmayan ya da akşam süresince kullanılabilmesi için akülü sistemlere başvurulması gerekmektedir. Panellerde güneşli zamanlarda üretilen güneş enerjisi akü grubunda depolanır ve gerekli olduğunda akü grubundan beslenir. Bu sistemle bulutlu birkaç

gün ihtiyacı karşılayacak şekilde depolama kapasiteleri belirlenir. Ayrıca akülerin düzenli olarak bakımlarının yapılması önemlidir.

1.6.2. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler

Bu sistemler şebeke bağlantılı olan güneş pili sistemleridir ve yaygın olarak binalarda kullanılırlar. Küçük güçlü olarak kullanılabildikleri gibi yüksek güçlü santraller şeklinde de kullanılabilirler. Bu sistemler akülere ihtiyaç duymadan direkt olarak şebekeye bağlanır ve ihtiyaç halinde şebekeden beslenebilme özelliğine sahiptirler.

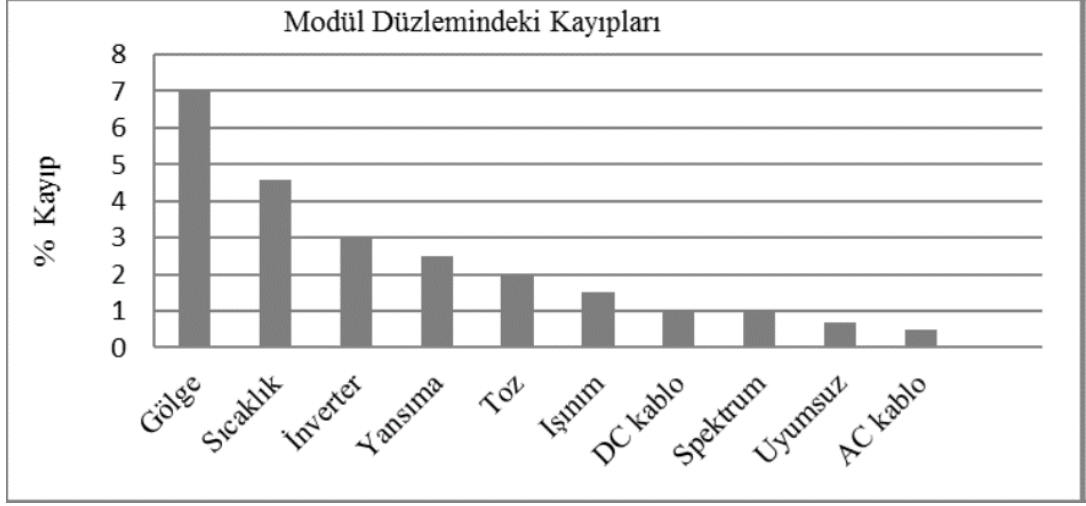
Şebekeye bağımlı fotovoltaik sistemlerde inverterlerin önemi büyüktür. Şebekeden gelen AC enerjiyi ve panellerden gelen enerji DC enerjiyi ihtiyaca göre düzenleyip uygun forma dönüşümünü sağlamaktadır. Genellikle yerel şebekelerin enerji ihtiyaçlarını desteklemek amacıyla büyük güçlerde kurulan fotovoltaik sistemlerdir. Gün içerisinde aşırı tüketimin olduğu saatlerde, yerel şebekeye destekleyici şekilde enerji hatlarının besleyen fotovoltaik sistemler aynı zamanda şebekeden kullanılan enerji kalitesini de arttırmaya yardımcı olabilmektedir.

Şebekeye bağımlı olarak çalışan fotovoltaik santrallerin sisteme verdikleri enerji verileri uzaktan izleme ile bağlı buldukları yerel enerji şirketleri tarafından izlenmekte olup, iç ihtiyaç olarak kullanılan güç değeri verileri mahsuplaşma yoluna gidilebilmektedir.

1.7. Fotovoltaik Sistem Verimini Etkileyen Faktörler

Fotovoltaik sistem performansını etkileyen faktörlerin çoğu enerji üretiminde kayıplara yol açmaktadır. Bunları çevresel (sıcaklık, tozlanma, karlanma) ve sistem tasarım koşulları (gölgelenme, AC ve DC kablo kayıpları) olarak ikiye ayrılmaktadır. Diğer faktörler ise santralde kullanılan malzemelerin kalitesi ile ilgili olduğu görülmektedir (paneller arasındaki uyumsuzluklar, evirici kayıpları) (Deniz, 2013).

Fotovoltaik sistemdeki verimi etkileyen kayıplar Şekil 1.17'deki grafik ile gösterilmektedir.



Şekil 1.17. PV sistemde kayıplar (Deniz, 2013)

Şekil 1.17’de PV sistemlerindeki kayıplarda en yüksek kaybın gölgelenmede en düşük kaybın ise AC kablolarında olduğu gösterilmektedir. Kayıpların etkisini görmek için PV performans oranının değerlendirilmesi önemlidir.

1.7.1. Çevresel faktörler

Yeryüzünde bölgelere düşen güneş ışınları farklı olduğu için enerji üretim değerleri farklılık göstermektedir. Fotovoltaik panellerde çevre koşullarına göre zamanla kirlenmeler olmakta ve performans düşüşlerine sebep olmaktadır.

1.7.1.1. Sıcaklık

Fotovoltaik panellerin en fazla etkilendiği faktörlerden biri de sıcaklıktır. Sıcaklık değerleri incelenmesi ve bu sıcaklık değerine bağlı sıcaklık aralığında ise daha az verim kaybı yaşatan panel tipi tercih edilmesi sistemin verimini arttıracaktır.

Hücresinin tipine bağlı olarak her panelin performans düşüklüğü üretici tarafından belirlenmiştir. Tasarımlar yapılırken, üreticiden alınan değerler santralin kurulacağı bölgenin sıcaklık değerleriyle birlikte değerlendirilerek yapılan enerji verimliliği hesaplamaları dış ortam sıcaklığına göre değil, hücre sıcaklığına göre işlem yapılması önemlidir.

1.7.1.2. Işınım

PV panelleri standart test koşullarında ($1000\text{W}/\text{m}^2$ ışınım, 1.5 AM Hava kütlesi ve 25°C Hücre Sıcaklığı) test edilir ve çıkan akım ve gerilim eğrisi, ışınım ve sıcaklık değerlerini doğrudan etkilemektedir. Işınım değeri sıcaklık değerinden daha fazla değişim göstermekte olup, ışınım değeri yarıya düştüğünde güç çıkışı da yarı yarıya azalma göstermektedir.

Dolayısıyla panel seçiminde NOCT sıcaklığı ile gücün sıcaklığa bağımlılık katsayısı birlikte değerlendirilmeli ve sıcaklıktan en az etkilenenler seçilmeye çalışılmalıdır. Böylece sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda performans düşüşü azaltılmış olacaktır (Boztepe, 2017).

1.7.1.3. Yansımaya

Panel yüzeyine düşen solar ışınımın bir kısmı hücreler tarafından emilir, bir kısmı emilmeden panel yüzeyinden geri yansır ve ışınımın etkisi ile geri yansıyan kısımlar yansımaya kayıpları olarak nitelendirilirler.

Katı cisim yüzeyine düşen ışınım genellikle üç şekilde hareket eder;

- Yansımaya: ışınım cismin yüzeyinden geri döner.
- İletim: ışınım cismin içine nüfuz eder.
- Emilme: ışınım cismin içine girer ve yakalanır; enerji farklı bir forma dönüştürülür.

Fotovoltaik malzemelerde, ışınım emilir ve elektrik enerjisine dönüştürülür. Malzemenin kalitesi optik yansımaya, iletimdeki kayıpların azlığına, emilen ışınım yoğunluğuna bağlıdır. Işığı hapsederek yansımaları azaltmak için kristal silisyum ve amorf silisyum malzemeleri kullanılmaktadır. Yansımaların önlenmesi ve emilmenin en az seviyeye çıkartılması amacıyla paneller farklı katmanlardan üretilmektedir (Boztepe, 2017).

1.7.1.4. Toz

PV panellerinde leke bırakan ince kar veya buz katmanları, toz, kum, polen veya yağmur gibi kirlenmelerden kaynaklanabilir. Sert gölgelemeler ise kalın kar tabakaları, kuş düşmesi ve yapraklar gibi kirlenmelerden kaynaklanabilir. Kısmi gölgelemenin akım-gerilim eğrileri üzerindeki etkisi gözlenmektedir.

Panellerin yüzeyinde oluşan kararma ve kirlilik sonucunda ışınım seviyesinin düşmesi ile oluşan kayıplar önem taşımaktadır. Özellikle tozlanmadan kaynaklanan kayıplar incelendiğinde yağışın az olduğu bölgelerdeki değerlerin %15'e kadar yükseldiği tespit edilmiştir (Piliouline vd., 2008). Ancak, tozlanma kaynaklı kayıplar, tozun cinsi, yağış sonrasındaki zaman, panel açısı ve temizlik planlanması olarak nitelendirilmektedir. Bütün bu etmenler incelendiğinde, tozlanmadan kaynaklanan verim kayıplarının nadiren %4'ten fazla olduğu görülmüştür (Kymakis vd., 2009).

1.7.2. Sistemsel faktörler

Fotovoltaik sistemde uyumsuzluk etkisi, güç-gerilim eğrisini etkiler ve küçük lokal tepeler oluşturabilir.

1.7.2.1. Gölgeleme

Enerji üretimini en çok etkileyen bir diğer faktör ise gölgelemedir. Gölgelemeye sebep olacak etkenler durumlarında gölgeleme analizi yapılarak tasarımlar yapılabilmektedir. Gölgelemeden kaçılmayacak durumlarda ise eğim açısının değişmesi, birden fazla maksimum güç noktası takipçisi (maximum power point tracker) kontrollü inverter kullanmak gibi yöntemler değerlendirilebilir.

1.7.2.2. Kablo kayıplar

Sistemde en büyük kayıplara ve arızalara neden olabilen bir diğer kısım ise kablolamadır. Kablolama hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılmaması, kabloların yanmasına veya yüksek verim kayıplarına neden olabilmektedir. Bu yüzden sistemin dizaynı yapılırken kesit hesaplarının güvenli şekilde yapılması önem taşımaktadır.

Enerjinin verimli taşınması açısından gerilim düşümü önemli bir parametredir. Gerilim düşümü kablo kesiti ile ters orantılı olarak hareket etmektedir. Hem AC hem de DC tarafta % 1-3 arası gerilim düşümleri Türkiye’de kabul edilebilir değerler olarak tanımlanmaktadır (Deniz, 2013).

1.7.2.3. İnverter kaybı

İnverter voltaj değerlerinin istenilen aralıklarda olması önemlidir. Kurulum ve dizayn aşamasında inverterin maksimum ve minimum çalışma voltajının istenilen değerlerde olması önemlidir ve voltaj aralığı yüksek olan inverterler seçilmesinin avantajlı sağlamaktadır. Voltaj aralığı dar olan MPPT inverter seçimi yapılmış ise sıcaklık kaynaklı voltaj dalgalanmaları belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma sıcaklık aralıkları -25°C ile +60°C arasında olan inverterlerin maksimum verim için sıcaklığın yüksek olmayan, direk güneş almayan ve nemi yüksek olan ve tozlu ortamlardan uzak tutmak gerekmektedir.

Sistemde farklı üretimleri olan dizilerin, aynı MPPT’ye bağlı olması verimi önemli oranda düşürebilmektedir. Bu durum projelendirilirken MPPT adeti daha yüksek olan dizi inverterlere yönelmek fayda sağlamaktadır. Panellerin MPPT akımlarına göre gruplandırması ve MPPT akımları birbirine yakın olan paneller aynı dizide seri olarak bağlanması uyumsuzluk kayıplarını düşürmektedir. Merkezi inverterlerde çok fazla dizi olumsuz etkileneceği ve üretim değerlerini düşeceği için inverterlerin MPPT voltaj aralıklarının dışında, MPPT işlevini yürütemeyeceğinden verim de azalmaktadır.

Minimum 25-30 sene çalışması planlanarak tasarımı yapılan inverter firmaları çoğunlukla 5 senelik standart ürün garantisi süresini vermektedir. Bu süreleri 10-15-20 yıla kadar uzatma imkanı durumu, fizibiliteyi olumsuz etkilemeyecek şekilde, uzun süreli garanti anlaşmaları yapmak avantajlı olmaktadır.

1.8. PV Dolum Faktörü (FF)

PV hücrelerin kalitesini göstermek amacıyla üreticiler tarafından tercih edilen orandır. Denklem (1.2) ile I-V eğrilerinin kesişim noktasında oluşan maksimum akım ve gerilim değerleri ile elde edilen gücü gösterilmektedir. Açık devre gerilimi ve kısa

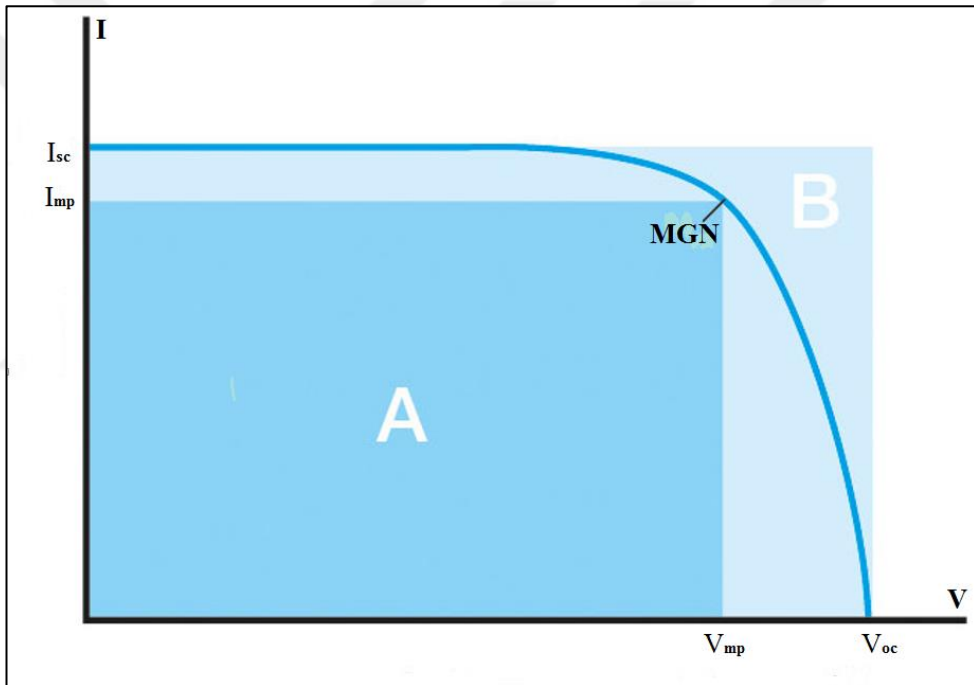
devre akımı değerleri ile çıkış gücünü denklem (1.3)'de gösterilmektedir. Denklem (1.4)'te ise doluluk faktörü (FF) değeri, denklem (1.2) ile denklem (1.3)'e oranı olarak göstermektedir.

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (1.2)$$

$$P_T = V_{oc} \times I_{sc} \quad (1.3)$$

$$FF = \frac{P_{mp}}{P_T} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\text{Alan A}}{\text{Alan B}} \quad (1.4)$$

Denklem (1.4) ile bulunan doluluk oranı (FF) sıcaklığa göre değişim göstermektedir.



Şekil 1.18. Doluluk faktörünün I-V eğrisinde gösterimi (Anonim, 2019a seaward)

Doldurma faktörü (FF), Şekil 1.18'de gösterildiği gibi koyu mavi kutu ile temsil edilen gerçek maksimum elde edilebilir gücün, kısa devre akımı (Isc) ve açık mavi kutu ile temsil edilen açık devre gerilimi (Voc) ürününe oranıdır.

Doldurma Faktörü esas olarak, bir PV panelinin verimliliğinin bir ölçüsüdür ve beklenen değerden sapma veya doldurma faktöründeki değişiklikler panel üretimine bağlı olması teorik olarak ölçülen maksimum değer hatalı olduğunu gösterebilir.

1.9. PV Panelleri Standartları ve Test Koşulları

PV panel üretici firma, “TS EN 61215 Kristal Silikon Karasal Fotovoltaik (PV) Modüller-tasarım Nitelikleri ve Tip Onayı, TS EN 61646 İnce Filmlili Karasal Fotovoltaik Modüller - Tasarım Nitelikleri ve Tip Onayı TS EN 61730-1/-2 Fotovoltaik Modül Güvenlik Niteliği / Bölüm 1 - Yapım Özellikleri / Bölüm 2-Deney Özellikleri” kapsamındaki standartların gereklilikleri yerine getirmiş olmalıdır.

IEC 62446.- Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemler: Sistem Belgelendirmesi, Test Yapılması ve Araştırma Amacıyla Asgari Gereksinimler




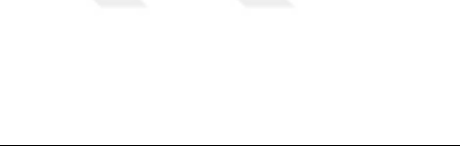
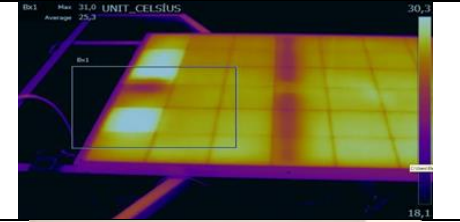

TS EN 61215, TS EN 61646, TS EN 61730 standartlarındaki testlerinden hangilerinin üretim sürecinde yapılabildiğine bakılarak test sonuçları değerlendirilmelidir.

- Işınım: 1000 W/m²
- Sıcaklık: 25°C
- Tayfsal Işınım: AM 1.5G ($\theta=48.2^\circ$)

Çizelge 1.8. Laboratuvar koşullarında yapılan standart testler

Göz Muayenesi	Gözle görülemeyen mikro kırıkların tespiti amacıyla EL (Elektrolüminans) Testi	
En Yüksek Güç Tayini	Panelin azami gücü 1000 W/m ² ışınım ve 25°C sıcaklıkta belirlenir.	
Yalıtım Deneyi	Panelin akım taşıyan bölümleri ile çerçeve veya dış dünya arasında iyi yalıtılıp yalıtılmadığını belirlenmesi	
Sıcaklık Katsayılarının Ölçülmesi	Panel istenilen sıcaklığa ulaştığında, I _{sc} , V _{oc} ve tepe gücü ölçülür ve panel sıcaklığı, en az 30°C'lik ilgilenilen aralık üzerinde yaklaşık 5°C'lik adımlarla değiştirilir ve I _{sc} , V _{oc} ve tepe gücü ölçümleri tekrarlanır. Şekil 1.45'de ise sıcaklık değerinin değişmesi ile kısa devre geriliminin (V _{oc}) değişimi gösterilmektedir.	

Çizelge 1.8. Laboratuvar koşullarında yapılan standart testler (Devam)

<p>Normal İşlem Hücre Sıcaklığının Ölçülmesi</p>	<p>NOCT, aşağıdaki standart referans çevrede açık kızakla monte edilen panel içinde dengelenmiş ortalama güneş hücre eklem sıcaklığı olarak tanımlanır.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Meyil açısı: yataydan 45° •Toplam ışınlama:800 W·m⁻² •Ortam sıcaklığı:20°C •Rüzgar hızı:1 m·s⁻¹ •Elektriksel yük: yok 	
<p>Standard Deney Şartları ve Normal İşlem Hücre Sıcaklığında Performans</p>	<p>STC (1000W·m², 25°C hücre sıcaklığı ve NOCT şartlarında ve 800W·m⁻² ışınlamada, IEC60904-3'e uygun referans güneş spektral ışınlama dağılımı ile panelin elektriksel performansının yükte nasıl değiştiğini belirlenmesi</p>	
<p>Düşük Işımada Performans</p>	<p>Panelin elektriksel performansı 25°C sıcaklıkta ve 200W·m²ışınlamada yapılması</p>	
<p>Açık Havada Bırakma Deneyi</p>	<p>Dış mekân koşullarındaki ışınlamaya panelin dayanma yeteneğinin ön değerlendirmesinin yapılması</p>	
<p>Sıcak Leke Dayanımı Deneyi</p>	<p>Panelin sıcak nokta ısınma etkilerine dayanma yeteneğini belirlenmesi</p>	
<p>Ultraviyole Şartlandırma Deneyi</p>	<p>Panel, mor ötesi (UV) radyasyonla ısıl çevrim / nem donma deneylerinden önce, UV kötüleşmesine duyarlı olan bu malzemelerin ve yapışkan bağlayıcıların tanımlanması için mor ötesi (UV) radyasyonla ön şartlandırma</p>	

Çizelge 1.8. Laboratuvar koşullarında yapılan standart testler (Devam)

<p>Isıl Çevrim Deneyi</p>	<p>Termal uyumsuzluğa, yorgunluğa ve sıcaklığın tekrarlanan değişiminden kaynaklanan diğer gerilmelere panelin dayanma yeteneğinin belirlenmesi</p>	
<p>Nem Donması Deneyi</p>	<p>Panelin sıfırın altı sıcaklıkları takiben yüksek sıcaklık ve nem etkilerine dayanma yeteneğinin belirlenmesi</p>	
<p>Yaş Sıcaklık Deneyi</p>	<p>Panelin, nem ve uzun dönem nüfuz etkilerine dayanma yeteneğini belirlenmesi</p>	
<p>Bağlantı Uçları Sağlamlık Deneyi</p>	<p>Bağlantı uçlarının ve panel gövdesine bağlantılarının, normal sistem veya taşıma işlemleri sırasında uygulanacak gerilimlere dayanımlarının belirlenmesi</p>	
<p>Islak Sızıntı Akımı Deneyi</p>	<p>Islak çalıştırma şartları altında panelin yalıtımını değerlendirmek ve yağmur, sis, çiy veya erimiş kardan kaynaklı rutubetin panel devresinde korozyona, topraklama arızasına veya güvenlik riskine sebep olacak panel devresinin aktif kısımlarına girmediğinin doğrulanması</p>	
<p>Mekanik Yük Deneyi</p>	<p>Panelin rüzgara, statik hesaplamalara, kar veya buz yüklerine dayanımının incelenmesi</p>	

Çizelge 1.8. Laboratuvar koşullarında yapılan standart testler (Devam)

Dolu Deneyi	Panelin, dolu tanelerinin darbesine dayanma kapasitesinde gösterilmesi	
Köprüleme Diyodu Isıl Deneyi	Panelin sıcak nokta hassasiyetinin olumsuz etkilerini sınırlamak amacıyla kullanılan baypas diyotların, ısıl tasarımlarının yeterliliğini ve uzun dönem güvenilirliğinin sağlanması	

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Fotovoltaik güneş panelleri ve santrallerinin performans değişimleri ile ilgili olarak yürütülen birçok araştırmada, farklı değişkenler ile değerlendirmeleri yapılmış ve sonuçlar ortaya konmuştur.

Küpeli (2005), tarafından yapılan çalışmada fotovoltaik güneş panellerinin çalışma şekillerini, kullanılan yarıiletkenleri çeşitlerini, optik, yapısal ve elektriksel özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak, güneş panellerinin avantajları ve dezavantajları karşılaştırılarak, ilerideki yıllarda daha da yaygınlaştırılması için yasal izinlerin yeni düzenlemeler yapılarak arttırılmasını değerlendirmiştir.

Eke vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada, Muğla Üniversitesi'nde bulunan çatı tipi işletmedeki güneş hücrelerinin ve PV panellerinin modellenmesini konusunu çalışmıştır. İşletme koşullarında mevsim değişikliklerine göre seri ve paralel direnç değerlerinin değişimi incelemiştir. Sonucunda ise ışık şiddeti az olan panellerin akımlarının da az olduğu, bununla birlikte kaçak akımların azalması ve paralel direnç değerinin yükselmesi gözlenmiştir. Yüksek sıcaklık ve ışınım şiddetinin yüksek olduğu durumlarda ise üretilen akımın ve kaçak akım değerinin arttığı bu nedenle paralel direncin küçüldüğü sonucuna varmıştır.

Dinçer (2011), Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyelini incelediği çalışmasında, AB ülkeleri ile ülkemiz arasındaki güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesinin karşılaştırılmalı maliyet analizlerini yapmış, buna göre özel sektörün yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine katılımı konusunda teşvik edilmesi ile güneş panellerinin kullanımının arttırılması için teşvik ve destek verilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Yerli (2011), tarafından yapılan çalışmada fotovoltaik panellerin verimini etkileyen atmosferik şartlar araştırılmıştır. İTÜ, Meteoroloji Parkına kurulmuş olan 750 Wp gücündeki sistemde meteorolojik değişkenlere bağlı olarak elektrik üretimini incelemiştir. Çalışma sonunda, panel seçimi yaparken, sıcaklığın panel üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi gerekliliği ortaya koymuştur. Güneş ışınım değerleri arttıkça elektrik üretiminin arttığını görmüştür. Ancak, güneşten gelen yüksek ışınım

değerlerinde verimin düşük olması ile sıcaklıktan kaynaklanan verim problemleri değerlendirmiştir. Meteorolojik değişken parametreleri İstanbul ili için gözlemlemiştir.

Aksungur vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada ülkemizdeki belirlenmiş olan coğrafi bölgelerdeki değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak bu bölgelerde güneş ışınımlarının çok farklı olmadığını ve ülkemizdeki güneş enerji kaynağı ile elektrik üretiminin potansiyel olarak 380 milyar kWh olduğunu ortaya koymuştur.

Deniz (2013), tarafından yapılan çalışmada güneş enerji santrallerinde panellerdeki ışınım kaybı, çevresel kayıplar, inverter kayıpları ve bu kayıpların güneş enerji santrallerindeki performansa etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak güneş enerji santralini uygulayan veya yatırım planı yapan araştırmacıların öncelikli olarak maliyetlerine ve performans oranının yüksek olmasına bakmalarının önemini vurgulamıştır.

Kabul ve Duran (2014), tarafından yapılan çalışmada soğutmalı ve soğutmasız olarak PV/T panelleri aynı koşullar altında karşılaştırılmış ve suyla soğutma sonucunda verimde gerçekleşen değişim deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda sistemin soğutulmasıyla yaklaşık olarak elektrik üretiminde %35 artış verimde ise %8 artış gerçekleşmiştir.

Cengiz ve Mamiş (2016), tarafından yapılan çalışmada, dünyadaki ülkeler ve ülkemiz arasında yapılan güneş enerji potansiyeli karşılaştırmasında devlet tarafından sağlanabilecek teşviklerin ve ekonomik katkılarının incelenmesi yapılmıştır. Bunun sonucunda kendi elektrik enerjisi üretimini yapabilen ve kullanımına uygun olan Stirling Motor kullanımı ile güneş takip sistemlerinin Türkiye’de yaygın hale getirilmesinin önemi değerlendirilmiştir.

Kutlu (2016), tarafından yapılan çalışmada Isparta iklim ve koşullarında bir evin ihtiyacını karşılamak için şebekeye bağlı olmayan güneş enerji sistemi kurulumu hesaplanmış ve sonucunda yaz ve kış ayları için değerlendirildiğinde karlı olacağına ulaşılmıştır.

Siddiqui vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada, farklı fotovoltaik teknolojilerinin, beş ayrı sıcaklık ve nem oranlarında performans karşılaştırması konusunda kapsamlı bir karşılaştırma yapılmıştır. Beş farklı olarak PV teknolojisini Mono, Multi, a-Si, CdTe, CIGS çeşitleri ile ele alınmaktadır. Bunların sonucunda CIGS (Kadmium İndiyum Gallium Selenide) 'nin en iyi verimi 60°C sıcaklığında ve %60 RH (bağıl nem) performansında gösterdiği, CdTe'nin ise 85°C sıcaklığında, %85 RH'de en iyi verim ile çalıştığı gözlenmiştir. a-Si'nin Maksimum Gücü'ndeki değişikliğin yaklaşık 20.85 olduğunu ve Mono C-Si'de ise en düşük değerin 0.917 olduğunu gösterilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada, C-Si (Mono) teknolojisinin, testlerine ve değerlendirmelere göre tüm ince film teknolojilerinde, maksimum güçte, panel ve hücre veriminin performansının daha baskın olduğunu ortaya koyulmaktadır.

Güven (2017), tarafından yapılan çalışmada Bahçelievler Belediye Başkanlığı Binası için hibrit sistemler ile enerji tüketimine fayda sağlanması için rüzgâr ile güneş enerjisi karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak elektrik enerjisinin rüzgârdan daha ekonomik olması nedeniyle güneş enerjili sistem kurulumunun avantajlı olacağına ulaşılmıştır.

Akbulut (2018), tarafından yapılan çalışmada, Tokat ilinde fotovoltaik sistemin verimliliği ile ilgili kurulum öncesi değerlendirmesi yapılmıştır. Kurulacak tesisin verimlilik seviyelerine ulaşılmadığında enerji ihtiyacını karşılayamayacağı tespit edilmiştir.

Arslan (2018), tek ve çok kristalli panellerin Tekirdağ ilinde verimliliklerini incelediği çalışmada, gelen ışınımın değerinin akımı, gerilimi ve çıkış maksimum güçlerinin verimlilikteki sapmaları karşılaştırmıştır. Buna göre, maksimum güç değeri azaldığında paneldeki tolerans miktarına yakınlığı sonucuna ulaşılmıştır.

Duman (2018), tarafından yapılan çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesinde güneş enerji santrali kurulumu için farklı yerlerin incelenmesi çoklu karar verme sistemi ile incelenmesi yapılmıştır. Batı Akdeniz Bölgesi'nde kurulması düşünülen güneş enerjisi santrali için dokuz adet alternatif içerisinde en uygun yer belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun sonucunda ise arazi olarak maliyetin önemli bir kriter olduğunu ve güneş enerji santrallerindeki kirlenmenin üretimde düşüşlere sebep olduğunu göstermiştir.

Er vd. (2018), tarafından, fotovoltaik panel performansı üzerindeki sıcaklık ve ışınımın etkisini incelemek için yapılan çalışmada güneş panelleri için sıcaklık değerleri, voltaj ve akım değerleri alınmış olup, standart koşullarda testler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, bir PV panelinin verimliliğinin etkilendiği koşulların göstermektedir. Bu çalışma sonucunda, Güneş panellerinde oluşan yüksek sıcaklıklar, açık devre voltajını azaltarak ve panelin akım değerlerinin düşmesine sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerde oluşan sapma nedeniyle, test edilen panel için bozulma bölgesini incelemiştirlerdir. Hücrenin hasar görmüş kısmı elektrik üretmediği, bu nedenle hücrenin kendi sıcaklığını yükselttiği gözlemlenmiş olup, performansın düşmüş olduğu bildirilmiştir.

Han (2018), tarafından yapılan çalışmada, seçilen bir güneş panelinin performansına etki eden elektriksel ve çevresel parametrelerin, Kayseri ili çalışma koşullarında panel performansı üzerine olan etkisini incelemektir. Sonuç olarak; sıcaklığın panel gerilimini ve ışınımın panel akımını değiştirildiği gözlenmiş olup, farklı cam malzemelerle bu etkilenmenin azaltılarak maksimum güç değerini yükseltilebileceğini tespit etmiştir.

Ömeroğlu (2018), tarafından yapılan çalışmada güneş enerjisi uygulamaları içerisindeki fotovoltaik olan sistemlerin, yapay şekildeki güneş ışınımı akısı altında, PV/T sistemi olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmasındaki değişimlerin ısı ve elektriksel olarak performansını incelediği, ısı transferinde kullanılan bakır kanatçıklar, hava kullanan PV/T sistemlerinde bulunan ısı iletim katsayı değeri yüksek olan metal bileşimler kullanıldığında alışılmış PV sistemlerinin daha verimli olduğunu ortaya koymuştur.

Sancar (2018), tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik panelin performansına etkileyen sıcaklık, rüzgâr, ışınım, nem ve farklı tozluluk faktörleri laboratuvar ve çevre hava koşullarında incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda laboratuvar ortamında yapılan deneylerde performans oranında gerçekleşen azalma, sırasıyla kül, çimento ve toprak toz türleri için %94, %71 ve %64 olarak gerçekleşmiştir ve toz türlerinde parçacık boyutunun etkisi vurgulanmıştır. Çevre hava koşullarında gerçekleştirilen deneylerde ise yaklaşık olarak nem faktörünün %3.9, rüzgar ve sıcaklık faktörünün %4 toz faktörünün ise %8 oranında performansta düşüşe sebep olduğu saptanmıştır.

Şişman (2018), ülkemizdeki artan enerji ihtiyacının, güneş enerjisi kullanımıyla karşılanabilmesi için çözüm önerileri sunduğu çalışmasında, tüm Türkiye'nin kurulu güç dağılımını ve üretim-tüketim oranlarını incelemiş, buna göre fotovoltaik güneş panellerinin verimli kullanılabilmesi için çatılara konumlandırılarak açılı ve döner tipte olan güneş çatısı modelini ortaya koymuştur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada İstanbul ili koşullarında bulunan güneş enerji santralının performansını etkileyen durumlar incelenmiştir. Monokristal 325W gücünde ve polikristal 275W gücünde paneller kullanılan santrallerin performans değerlendirmesi incelenmiştir. Üretici firma tarafından ölçümleri laboratuvar ortam koşullarında yapılmış olan değerler ile mevcut durumda tesisin kurulumundan yaklaşık 2 yıl sonrasında yapılmış olan ölçümlerinin sonucunda oluşturulan I-V grafiklerinin karşılaştırılması incelenmiştir. Sahada yapılan ölçüm sırasında kullanılan cihazları ve ölçüm için gerekli teçhizatın kullanımı incelenmiştir.

3.1. İstanbul İli İklim Verileri

Güneş enerji santralının bulunduğu İstanbul iline ait iklimsel verileri Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. İstanbul ili meteorolojik verileri tablosu (Anonim, 2019f)

İklim Verileri	Değer
Sıcaklık ortalaması (°C)	14.4
En yüksek sıcaklık ortalaması (°C)	17.6
En düşük sıcaklık ortalaması (°C)	10.9
Yağışlı gün sayısı ortalaması (Gün)	128.4
Toplam aylık yağış miktarı ortalaması (mm)	823.0

Çizelge 3.2. İstanbul ili aylara göre ortalama güneşlenme süreleri ve ortalama radyasyon verileri tablosu (Anonim, 2019b)

AYLAR	Ortalama Radyasyon (kWh/m ² -gün)		Ortalama Güneşlenme Süresi (h/gün)	
	İstanbul	Türkiye	İstanbul	Türkiye
Ocak	2.00	1.79	3.46	4.11
Şubat	2.57	2.50	4.43	5.22
Mart	4.20	3.87	5.32	6.27
Nisan	5.28	4.93	6.85	7.45
Mayıs	6.30	6.14	8.61	9.10
Haziran	6.79	6.57	10.51	10.81
Temmuz	6.79	6.50	11.17	11.31
Ağustos	6.07	5.81	10.14	10.70
Eylül	5.09	4.81	7.83	9.23
Ekim	3.74	3.46	5.22	6.87
Kasım	2.37	2.14	3.85	5.15
Aralık	1.80	1.59	2.96	3.75
Ortalama	4.42	4.18	6.70	7.49

İstanbul ili için aylara göre ortalama güneşlenme süreleri ve ortalama radyasyon değerleri çizelge 3.2’de gösterilen değerler Türkiye ortalamaları ile karşılaştırılmaktadır. İstanbul ili için ortalama radyasyon değeri 4.42 kWh/m² ile ortalamanın üzerindedir. Güneşlenme sürelerinin ortalamasına bakıldığında 6.7 h/gün olarak Türkiye ortalamasının altında olduğu görülmektedir.

3.2. Kullanılan Panellerin Özellikleri

Bu çalışmada, iki farklı panel incelenmiştir. Teknik özellikleri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Polikristal panelin STC'deki katalog değerleri

Parametre	Değer
Nominal güç	275 W
Kısa devre akımı (Isc)	9.17 A
Maksimum. Sistem voltajı	1000 VDC
Açık devre voltajı (Voc)	38.7V
Maksimum Voltaj (Vmp)	31.7 V
Maksimum Akım (Imp)	8.69 A
Tölerans	± %3
Hücre Sayısı	60 (6x10)
Verimlilik	% 16.9
Ağırlık	18.5kg
Konnektör Tipi	MC4
Ebat (Boy x En x Kalınlık)	1650x 990 x 35 mm.

Çizelge 3.4. Monokristal panelin STC'deki katalog değerleri

Parametre	Değer
Nominal güç	325 W
Maks. voltaj (Vmp)	57.65 V
Maks. akım (Imp)	5.65 A
Açık devre voltajı (Voc)	69.6 V
Kısa devre akımı (Isc)	6.03 A
Maks. Sistem voltajı	1000 V DC
Ağırlık	18.5kg
Konnektör tipi	SMK
Tölerans	± %10
Verimlilik	19.40%
Ebat (Boy x En x Kalınlık)	1590x 1053 x 35 mm.

3.3. Kullanılan Ölçüm Cihazları

Deney sistemi oluşturulurken, akım ve gerilim değerlerini ölçülebilmesi için HT marka IV-400 Fotovoltaik panel analiz cihazı, ışınlım değerlerini ölçülebilmesi için HT304N sensörü cihazı, ortam ve panel sıcaklığının ölçülebilmesi için PT300N cihazı

kullanılmıştır. SMA marka 60kW'lık inverter ve 40kW'lık inverter, ışınım değerlerinin ölçülmesi için HT marka cihaz kullanılmış olup, Termal kamera olarak Fluke marka cihaz kullanılmıştır, cihazlara ait çizelge 3.5 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. Ölçüm esnasında kullanılan ölçüm cihazları

Multimetre	
Ortam ve panel sıcaklık sensörü	
Işınım sensörü	
Işınım verilerini uzaktan okuma cihazı	
Termal kamera	
I-V eğrisi ölçüm cihazı	
İzolasyon test cihazı	

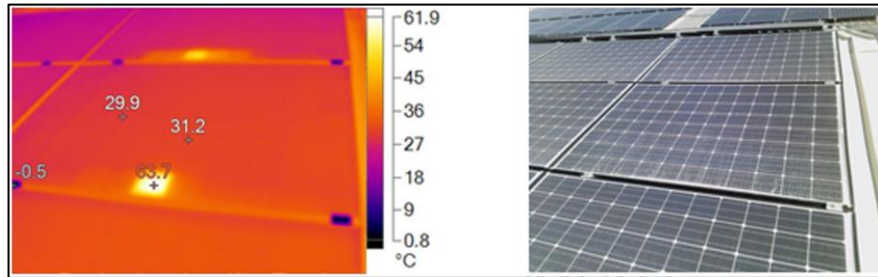
3.4. Deney Sisteminde Gerçekleştirilen Ölçümler

İncelenen sistemde ait ışınım, sıcaklık ve rüzgâr sensör veri kaydedicisi tarafından kaydedilen iklim verileri analiz edildi ve sistemin yerleşim planları gözden geçirilerek panellerin görsel olarak korozyon, sararma, çatlaklar, bağlantı kutuları, salyangoz etkisi, tozlanma, hücre hasarları ve DC kablo ve kablo bağlantı noktaları incelendi. Güneş ışığı sensörlerinin kontrolü yapılarak veri toplama sisteminin veriler ile kontrolü yapıldı. Evirici, güç panoları, toplama kutuları ve trafonun görsel olarak gözden geçirilmesi sonrasında termal testleri panellerde direnç etkisi yaratan sıcak noktaların belirlenmesi ve sıcaklık farklarının saptanması yapıldı. Şekil 3.1’de gösterilen drone ve el termali ile bu kontrol gerçekleştirildi.



Şekil 3.1. Drone ile ölçüm

Ölçüm sonucunda panel içerisinde oluşan sıcak noktaların yerleri Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Sıcak nokta ölçüm sonucu

Bu aşama sonrasında, tesisin uzaktan kontrol ve izleme yazılımından alınan veriler ile panel üretim firmasının beyan ettiği veriler karşılaştırıldı. Elektriksel ve mekanik testler yapılarak montaj edilmiş hataların tespiti yapılır. Aynı zamanda teçhizatların performans ölçümleri yapılarak üretici firma tarafından garanti edilen şartların sağlanıp sağlanmadığı gözlemlendi.

Güneş enerjisi santrallerinin termal ölçümü performansı etkileyen faktörlerin tespitinde önemlidir. Termal kamera ile ölçüm PV panellerinde zarar gören hücreleri, By-pass diyodu, bağlantı kutusu, ribbon ve hücre tipi panel malzemelerinde beklenmeyen ısınmanın olup olmadığını, gölgelenme yapan çevre etmenlerin panellere verdiği zararı, çalışmayan panellerin tespitini, toplama panolarında, eviricilerde, kablolarda ve sigortalarda beklenmeyen bir ısınmanın olup olmadığını gözlemleyebiliriz.

Ölçümler Şekil 3.3’de gösterilmiş olan Fluke marka Ti400 model termal kamera ile yapılmıştır. Kablosuz bağlantı ve sıcaklık aralığı olarak ihtiyaç duyulan özelliklerde olan cihaz hızlı ölçüm ve yüksek performans sağlamaktadır.



Şekil 3.3. Termal kamera ile ölçüm

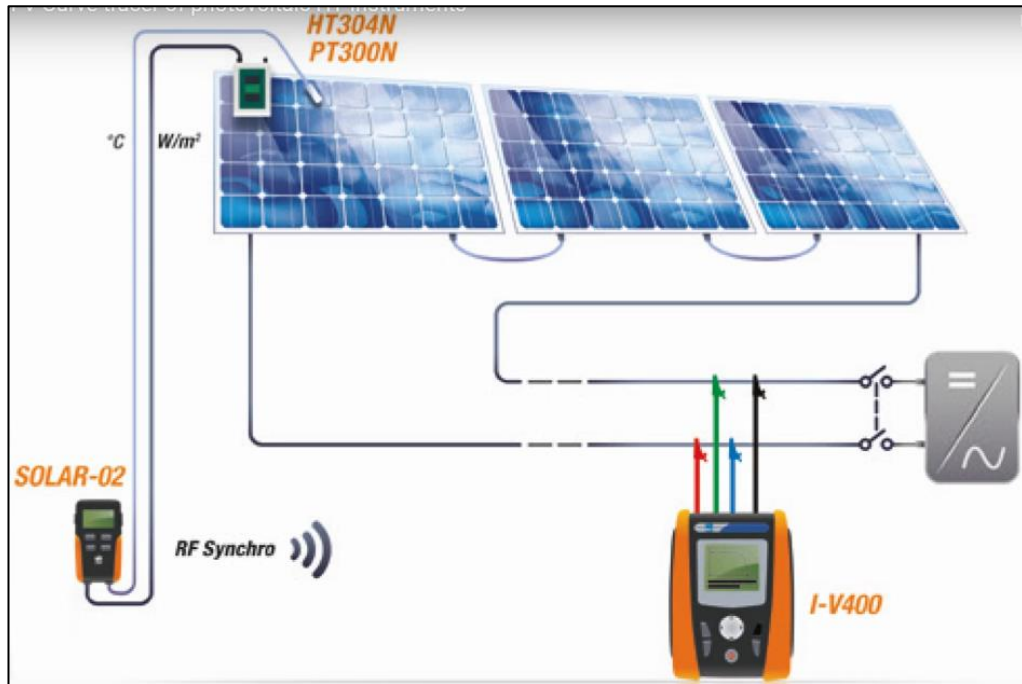
Yıldırım etkileri veya hasar görmüş kablo izolasyonu durumunda arıza akımlarının yeterli bir şekilde boşaltılmasını sağlamak için uygun bir topraklama sistemi temel bir

gerekmektedir. Meger test cihazı ile sistemin topraklama direnci ölçülür ve ana toprak terminaline olan bağlantılarda DC tarafta koruyucu iletkenlerin takıldığı yerlerde, bu iletkenlerin tümünde süreklilik deneyi yapıldı.

Sistemin yeterli izolasyon direncine sahip olmasını saptamak amacıyla IEC 62446 standardına uygun olarak izolasyon testi yapıldı. Bu test, dizi başında 1000V uygulanarak yapılan ölçüm neticesinde izolasyon hatası saptanan diziler parçalanarak ve panel bazında testler yapıldı. Bu sayede izolasyon hatasının olduğu bölge saptanmış oldu (IEC 62446).

Tüm dizilerin I_{sc} , V_{oc} değerleri ölçüldü. Ölçümler DC toplama kutusu veya dizi girişi seviyesinde yapılmıştır. Bu ölçümler sistemin performansını ve uygunluğunu doğrulaması için IV-400 Fotovoltaik Panel Analiz cihazı kullanılmıştır. Cihaz, doğrudan cihaz tarafından ve uzaktan kontrol ile SOLAR-02 kullanılarak ışınım ve sıcaklık verileri ölçülerek I-V eğrisi testi yapmaktadır.

IEC/ENG1010-1 standardında güvenlik sertifikasına sahip olan cihaz ölçümleri IEC/EN608891 (I-V curve test) standardına göre yapmaktadır. Cihazın ölçüm esnasındaki bağlantı şeması Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. I-V test cihazının ölçüm sırasındaki bağlantı şekli (Anonim, 2019e)

Bağlantı şemasında gösterildiği gibi ortam ve panelin sıcaklığı ölçerek ışıyım değerini gösteren Solar-02 cihazı ile ölçülür. Şekil 3.5’de gösterilen I-V400 test cihazı ile dizi seviyesinde akım- gerilim ölçümü yapılarak panellerin performansları test edildi.



Şekil 3.5. Test ve ölçümlerin yapılması



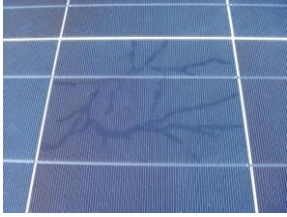
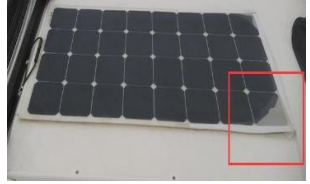

Santralin ürettiği güç ile ilgili gözle görülemeyen durumlarda performans ölçümü önemli bir yere sahiptir. I-V ölçümü panellerin gerçek gücünün üretim firmasının beyan ettiği veriler ile tutarsız olması durumunu ve panellerin LID (Light induced degradation) ve PID (Potential induced degradation) kaynaklı kayıplarını gözlemleyebiliriz.

Panellerin iç yapısındaki by-pass diyotlarının hatalarını veya panellerin gölgelenmeden kaynaklanan performans kayıplarının görmemizi sağlamaktadır. Panel serilerinden kaynaklanan bağlantı hataları ve DC kablolarında oluşan izolasyon ve topraklama hatalarını gözlemleyebiliriz.

Eğer dizi seviyesinde yapılan akım-gerilim testleri sonuçları da düşük çıkarsa panel bazında testler yapılır. Test neticesinde panellerin üretici firma tarafından taahhüt edilen teknik özelliklerin kontrolü yapılmış olur.

Panellerde meydana gelen hasarlı durumlar Şekil 3.6 ile sararma, kırık cam, salyangoz etkisi, balonlaşma ve kaplama hatası gösterimleri yapılmıştır.

Çizelge 3.6. Panelde meydana gelen hasarlı durumlar

Panelde meydana gelen hasarlı durumlar	
Panelde Sararma	
Kırık Cam Hasarı	
Salyangoz Etkisi hasarı	
Kaplama Hatası	
Balonlaşma Hasarı	

3.5. Panel Veriminin Saptanması

Panel verimi aşağıdaki bağıntı ile saptanmıştır.

$$\mu = 100 \times \frac{P_n}{A \times E_0} \quad (3.1)$$

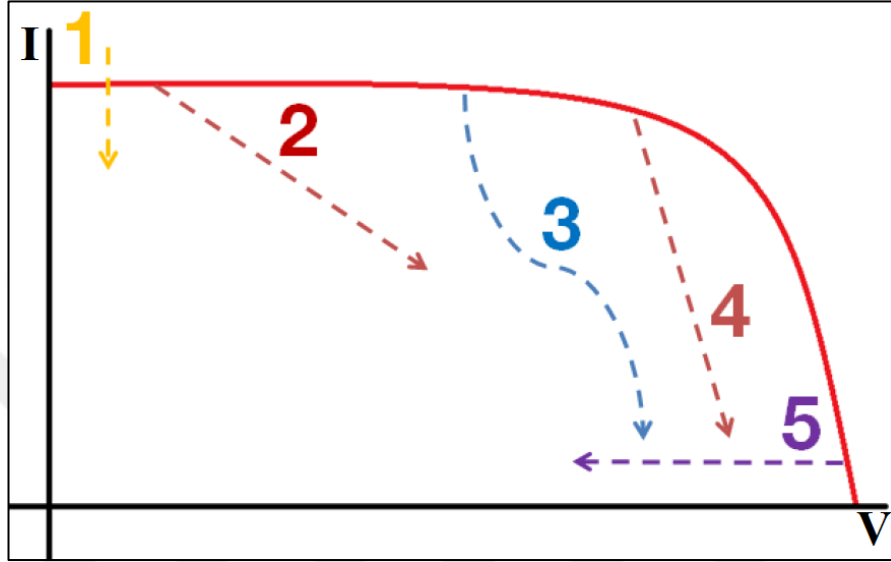
μ = Panel verimi (boyutsuz)

P_n = Standart test koşullarındaki (STC) nominal güç (W)

A = Panelin yüzey alanı (m^2)

E_0 = Standart test koşullarındaki (STC) güneş ışınım şiddeti ($1000 W/m^2$)

Sistem özellikleri cihaza tanımlanır ve cihaz ölçüme hazırlanır. Ölçüm sırasındaki ışınım değeri, panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı cihaz tarafından algıladıktan sonra ölçüm gerçekleştirilir. Ölçüm esnasında ortaya çıkan 100-150 arasında farklı akım-gerilim değerinin birleştirilmesiyle Şekil 3.6'daki grafik oluşur. Grafiğin altında kalan alan güç değerini vermektedir.



Şekil 3.6. I-V eğrisinin numaralar yardımı ile gösterimi (Anonim, 2017d)

Akım ve gerilim değerinin ölçümü ile oluşturulan eğrinin Şekil 3.6'daki gösterimi eğrinin yorumlanmasını açıklamaktadır. Panelin kirlenmesi veya panelin zamanla yıpranması veya ışınım değerinin yanlış olması durumlarında 1 numaralı bozulma durumu gözlenmektedir. Hücrelerde şönt durumu, bağlantılarında şönt bulunması ve panel kısa devre uyumsuzluğu durumunda ise 2 numaralı değerde bozulma gözükmemektedir. PV kabloları aşırı yüklenmiş veya kesit yetersizliği durumunda, dizideki bağlantıların direnç oluşturması durumunda ve PV panelin seri direncin artması durumunda 3 numaralı değişim izlenmektedir. Seri direnç artması ve dizideki hatalı bağlantıların bulunması durumunda 4 numaralı grafik değişimi gözlenmektedir. Voltaj değerindeki azalma durumunda, bypass diyotu hatasında, dizide gölgelenme durumunda ve panelin bozulması durumunda 5 numaralı değer düşüklüğü gözlenmektedir.

3.6. Performans

Güneş enerjisi santrallerinin verimliliğini ölçmek için kullanılan önemli parametredir. Enerji değerinin hesaplanmasında akım ve gerilim değerleri denklem (3.2)'deki formül ile bulunur.

$$PO = \frac{\text{Üretilen Enerji (Çıkış)}}{\text{Referans Enerji}} \quad (3.2)$$

$$PO = \frac{\text{Üretilen Enerji (Çıkış)}}{\text{Güneş Işınım} \times \text{PV alanı} \times \text{STC'daki Panel Verimi}} \quad (3.3)$$

PO: Performans oranı

STC: Standart test koşulları

Panel performans oranı denklem (3.3) ile tanımlanmıştır. PV sistem, kayıpları ile performans oranı ters orantılıdır. Performans oranı ne kadar yükselirse kayıplar o dar azalmaktadır.

Performans testinde, Fotovoltaik enerji santralini etkileyen güneş radyasyonu, sıcaklık ve çevresel faktörler (kar, toz, buz) gibi meteorolojik etmenlerin önemi büyüktür. Enerji üretimi ile mevcut durumda santralinizin gerçek potansiyelini belirlenmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, güneş enerjisi santralının öngörülen üretimin gerçekleşmesi için enerji kayıpları, devre dışı kalan cihazlar, ışığa sensörleri incelendiğinde üretim değerlerine ulaşılmış olur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

I-V eğrisi, solar PV panellerinin veya dizelerinin gerçek performansına erişmek için hızlı ve etkili bir yol sağlar. Doğru performans gösteren bir PV sisteminde eğrinin şekli normal profili takip etmeli ve I_{sc} , I_{mpp} , V_{oc} , V_{mpp} ve P_{max} 'ın ölçülen değerleri ölçüm sırasındaki çevre koşulları için beklendiği gibi olması gerekmektedir. Üretim sürecinin panelleri, standart koşullar altında (STC) $1000W / m^2$ ışınlama, $25^{\circ}C$ sıcaklık ve 1.5 hava kütlesi altında test edilir. Alan I-V eğrisi ölçümlerini STC'ye dönüştürmek için I-V eğrisi verileriyle aynı anda yakalanan ışınım ve sıcaklık ölçümleri kullanılmaktadır. Düzeltilmiş ölçümler daha sonra, tip plakası rakamlarıyla doğrudan bir karşılaştırma için kullanılabilir. Yapılan ölçümler bir üretim problemini tanımlamak ve belirli bir panelin güç derecesini doğrulamak için kullanılır. PV panellerin, güç çıktısının standart değerine yakın olduğunu doğrulamak için IV eğrisi izleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

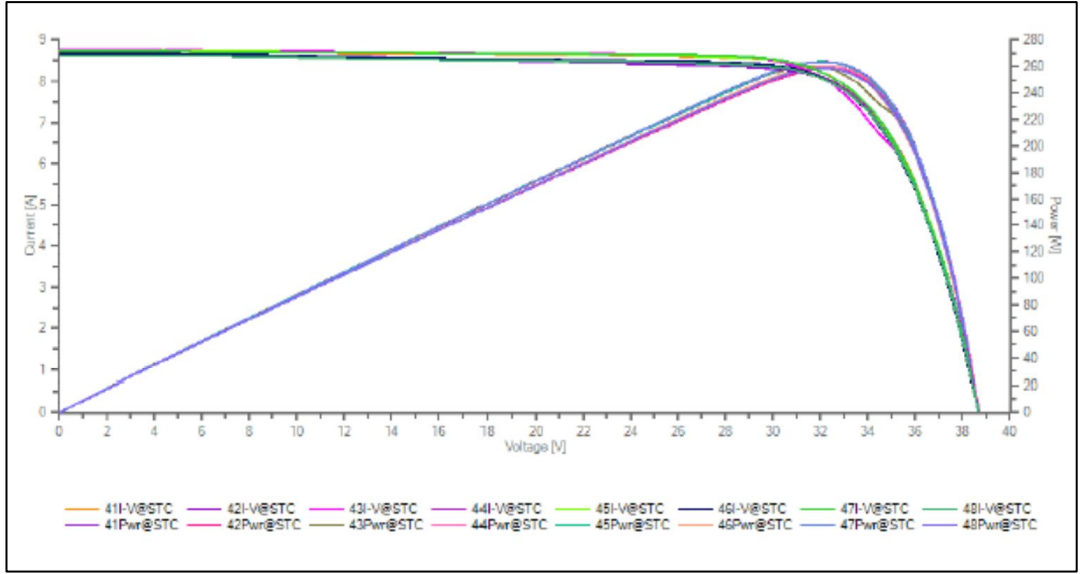
Ölçümü yapılan santralde TELESUN marka TP660P 275W polikristal panel bulunmakta ve tesis 2 yıldır çalışmaktadır. Santraldeki dizilerde akım-gerilim değerleri ölçümü ile solar panellerin performanslarını belirlemek amacıyla, gözle görülemeyen bu performans düşmelerinin nedenleri incelenmiştir. Şekil 4.1'de ölçümü yapılan santralinin 19 numaralı invertere bağlı olan diziye ait değerler gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Inverttere bağlı dizi akım gerilim ölçümleri

ölçüm	Dizi	Pmax	Voc	Vmmp	Immp	Isc	Işınım	Sıcaklık	FF	Verim
		(W)	(VDC)	(V)	(A)	(A)	(w/m ²)	(°C)	(%)	(%)
41	1	5656,56	786,5	640,10	3,73	8,84	1072	52,9	76	● 96,43
41(STC)	1	263,33	38,67	32,00	3,78	8,23	1000	25,0	78	
42	2	5534,43	784	636,80	3,75	8,69	1068	53,9	75	● 94,69
42(STC)	2	258,58	38,67	32,33	3,74	8,00	1000	25,0	77	
43	3	5603,95	791,1	633,00	3,79	8,85	1067	50,8	75	● 95,20
43(STC)	3	259,97	38,61	31,84	3,82	8,16	1000	25,0	77	
44	4	5571,44	786	639,00	3,82	8,72	1066	53,0	75	● 95,22
44(STC)	4	260,03	38,67	32,33	3,82	8,04	1000	25,0	78	
45	5	5601,47	783,2	637,40	3,83	8,79	1064	54,2	76	● 96,48
45(STC)	5	263,46	38,67	32,00	3,84	8,23	1000	25,0	78	
46	6	5444,3	781,1	633,50	3,86	8,59	1056	55,0	75	● 94,92
46(STC)	6	259,19	38,67	31,95	3,85	8,11	1000	25,0	77	
47	7	5524,99	782,8	636,30	3,88	8,68	1049	54,1	76	● 96,38
47(STC)	7	263,18	38,67	32,38	3,82	8,13	1000	25,0	78	
48	8	5400,59	781	633,50	3,86	8,53	1049	54,9	75	● 94,67
48(STC)	8	258,52	38,67	31,95	3,86	8,09	1000	25,0	78	

Yapılan ölçümler sonucunda Çizelge 4.1’de verilen değerler incelendiğinde 8 diziden oluşan ve her diziye 20 adet 275W gücünde polikristal PV panel bağlanmış olup, üretici firma tarafından beyan edilen (STC) ölçüm sonuçları ile santral kurulumundan 2 yıl sonra yapılan ölçümlere ulaşılmaktadır.

Ölçümler sonucundan seçilerek dizilere ait I-V eğrisi ile panellerin üretici firma tarafından taahhüt edilen teknik özelliklerin kontrolü sağlanmaktadır. HT marka I-V analiz test cihazı ile santralin özellikleri cihaza tanımlanarak, ölçüme hazırlanmıştır. Ölçüm esnasındaki ışınım değeri, panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı sensörler yardımı ile cihaza aktarılmıştır. Cihaz verileri algılandıktan sonra ölçüm gerçekleştirilerek Şekil 4.1’de gösterilen akım gerilim ve güç eğrilerine ulaşılmaktadır.



Şekil 4.1. 275W'lık panele ait akım-gerilim-güç eğrisi

Ölçüm esnasında ortaya çıkan 100-150 arasında farklı akım-gerilim değerinin birleştirilmesi ile Şekil 4.1'de gösterilen grafik oluşturulmuştur. Grafiğin altında kalan alan güç değerini vermektedir. Üretici firma kataloğunda beyan edilen I-V grafiği ile 41. ölçüm ile 48. ölçüm aralığında yapılan ölçümler sonucunda çıkarılan I-V grafiği her ölçüm farklı renk olarak Şekil 4.1 ile gösterilmektedir. Akım gerilim eğrilerinde herhangi bir sapma olmadığı ve 2 yıllık santralin performans oranları ve doldurma faktörleri hesaplamaları Çizelge 4.2'deki tabloda gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Ölçümler sonucu performans oranı değerinin hesaplanması

Dizi	Pmax	Isc	Voc	Vmmp	Immp	Işınım	PO	FF (%)
Index	(W)	(A)	(VDC)	(V)	(A)	(w/m ²)		
1	5656.56	9.51	786.5	640.10	8.84	1072	89.94	76
1	263.33	8.73	38.67	32.00	8.23	1000		78
2	5534.43	9.41	784	636.80	8.69	1068	88.33	75
2	258.58	8.67	38.67	32.33	8.00	1000		77
3	5603.95	9.51	791.1	633.00	8.85	1067	89.53	74
3	259.97	8.77	38.61	31.84	8.16	1000		77
4	5571.44	9.40	786	639.00	8.72	1066	89.09	75
4	260.03	8.67	38.67	32.33	8.04	1000		78
5	5601.47	9.47	783.2	637.40	8.79	1064	89.74	76
5	263.46	8.74	38.67	32.00	8.23	1000		78
6	5444.3	9.33	781.1	633.50	8.59	1056	87.88	75
6	259.19	8.67	38.67	31.95	8.11	1000		77
7	5524.99	9.32	782.8	636.30	8.68	1049	89.78	76
7	263.18	8.73	38.67	32.38	8.13	1000		78
8	5400.59	9.22	781	633.50	8.53	1049	87.76	75
8	258.52	8.63	38.67	31.95	8.09	1000		77

Yapılan hesaplamalar STC'deki 1000W/m² ışınım değerine en yakın olan değerlerde yapılmış ve sonucunda 19 numaralı invertere bağlı dizide gerçekleşen akım değerinin panellerin zamanla oluşabilecek kayıpların etkisi ile panelin Performans oranında %0.07 bir azalma gerçekleşmiştir.

Ölçümü yapılan diğer santralde PANASONIC marka N325 model VBHN325SJ47 monokristal panel bulunmaktadır. Santraldeki dizilerde akım-gerilim değerleri ölçümü ile Çizelge 4.3'de ölçümü yapılan santralinin 13 numaralı invertere bağlı olan diziyeye ait 325W'lık 17 adet ölçümü gösterilmektedir.

Ölçüm esnasındaki ışınım değeri 750W/m², panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı cihaz tarafından algılandıktan sonra ölçüm sonuçları HT marka IV-400 model akım gerilim analiz cihazına aktarılır. Ölçülen veriler Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

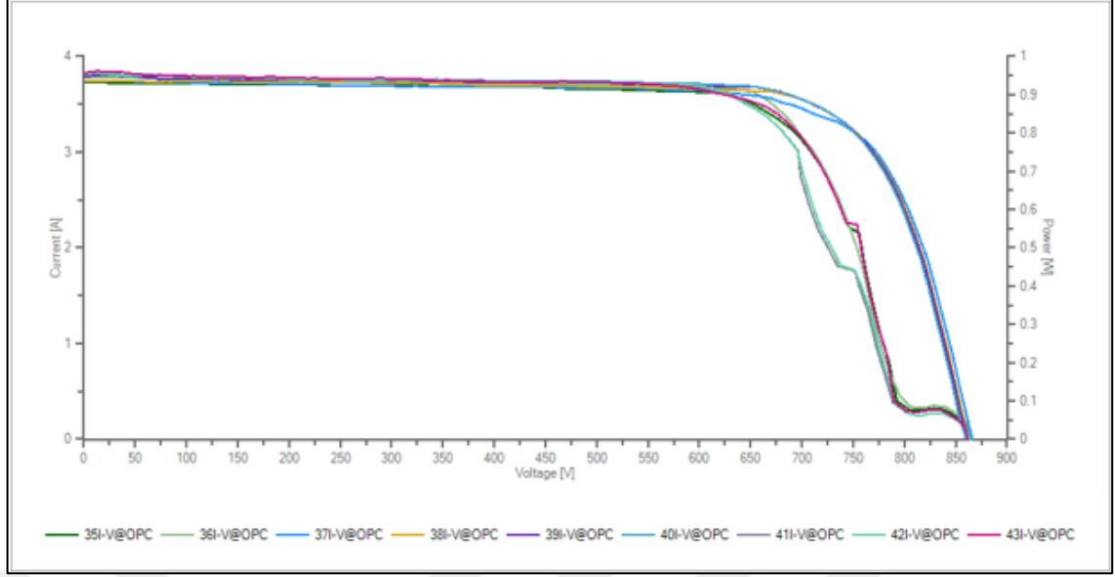
Çizelge 4.3. Monokristal 325W'lık panel akım gerilim ölçümleri

ölçüm	Dizi	Pmax	Voc	Vmmp	Immp	Isc	Işınım	Sıcaklık	FF	Verim
		(W)	(VDC)	(V)	(A)	(A)	(w/m ²)	(°C)	(%)	(%)
35	1	2283,31	864,3	612,15	3,48	3,73	750,0	28,5	71	86,46
36	2	2366,05	865,7	625,94	3,59	3,78	751,0	27,8	72	89,48
37	3	2435,93	866,1	649,58	3,32	3,75	751,0	27,4	75	92,12
38	4	2492,74	862,9	666,51	3,50	3,74	755,0	27,7	77	93,77
39	5	2486,41	861,9	656,04	3,55	3,79	751,0	27,6	76	94,03
40	6	2488,26	859,4	651,38	3,45	3,82	754,0	27,5	76	93,72
41	7	2265,01	863,6	592,93	3,57	3,82	755,0	27,0	69	85,20
42	8	2272,62	863,6	594,93	3,58	3,82	754,0	27,5	69	85,60
43	9	2310,33	862,1	603,22	3,47	3,83	756,0	27,9	70	86,79
44	10	2322,78	862	604,89	3,60	3,84	756,0	27,5	70	87,26
45	11	2407,09	858,4	623,60	3,45	3,86	756,0	27,0	73	90,43
46	12	2509,86	858	651,91	3,54	3,85	756,0	27,3	76	94,29
47	13	2506,11	857,4	645,90	3,49	3,88	759,0	27,2	75	93,77
48	14	2569,62	862,6	672,68	3,61	3,82	759,0	27,5	78	96,15
49	15	2544,72	859,7	659,25	3,64	3,86	761,0	27,8	77	94,97
50	16	2527,38	857,6	654,76	3,62	3,86	760,0	27,6	76	94,44
51	17	2517,39	858,5	655,57	3,60	3,84	759,0	27,6	76	94,20

Yapılan ölçümler sonucunda Çizelge 4.3'de verilen değerler incelendiğinde 17 diziden oluşan ve her diziye 11 adet 325W gücünde monokristal PV panel bulunan 7. dizide gerçekleşen gölgelenme sonucunda akım 3.82 A ölçülürken gerilim 863.6 V ölçülmüştür. Gölgelenmeye maruz kalmayan 14. diziye ait ölçülen akım 3.82 A gerilim ise 862.6 V olarak ölçülmüştür.

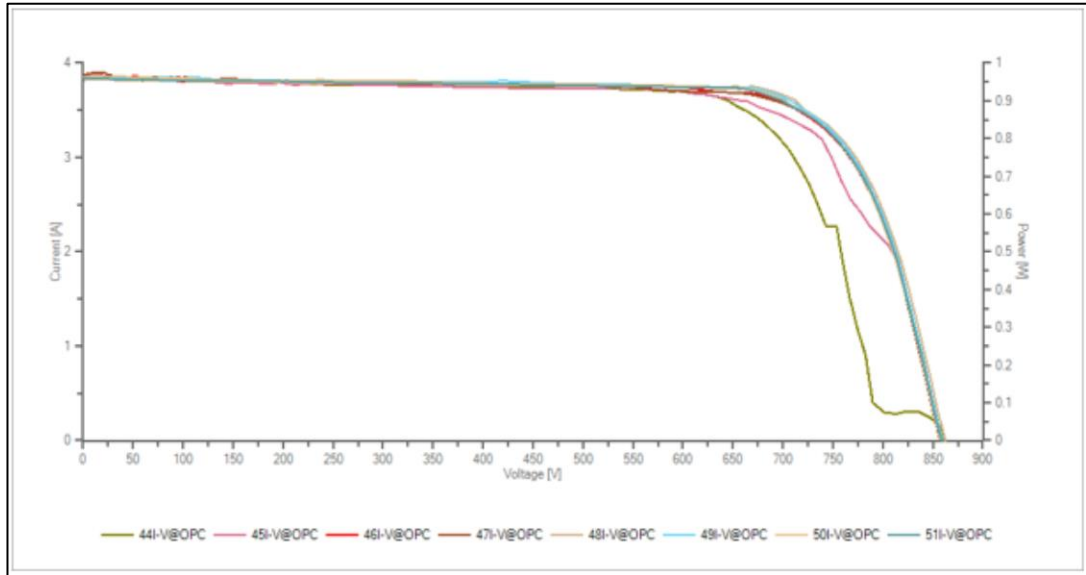
Güneş panel için akım ve voltaj arasındaki ilişkiyi gösteren, tek bir I-V eğrisi için, veriler voltajının ve akım değerlerinin birkaç noktasından oluşmaktadır. Akım gerilim ölçümü, IV-400 cihazı tarafından farklı akım-gerilim değerinin birleştirilmesiyle Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki I-V eğrisi, ortaya çıkmıştır.

+



Şekil 4.2. Gölgeleme durumunda bir dizinin ölçüm sonucu-1

Akım gerilim değerlerinin 35. ve 43. ölçümleri arasındaki değerler ile Şekil 4.2’de gösterimi yapılan grafikte meydana gelen dalgalanmanın sebebi ölçümü yapılan panellerin üzerinde sürekli olarak gölgeli alan oluşumu ile grafik standart değerleri bozulmaktadır.



Şekil 4.3. Gölgeleme durumunda bir dizinin ölçüm sonucu-2

Ölçümü diziye ait 44. ve 51. ölçüm numaralarına ait veriler sonucunda Şekil 4.3’de görülen grafikte 44 numaralı ölçüm değerleri incelendiğinde, 10 numaralı diziye bağlı

11 adet panel üzerine bakıldığında oluşan gölgeli alanlar grafikte dalgalanma izlenmektedir.

Şekil 4.2 ile Şekil 4.3'de gösterilen standart I–V eğrisinin, test edilen panel dizisinin farklı alanları arasındaki uyumsuzluğun bir göstergesi olarak PV dizisinin kısmi bir şekilde gölgelenmesi veya PV hücrelerinin zarar görmesi sebepleri arasındadır. Bu durum bypass diyotlarının aktive olmasına neden olur ve kısmen gölgeli bir dizi grafiğindeki bozulma gölgeli alan ortadan kaldırıldığında I-V eğrisi standart şekilde olmaktadır. Bu durum incelendiğinde, eğer PV hücresi hasar görürse, eğri kalıcı hale gelmektedir.

Panellerin maruz kaldığı gölgelenme etkisi sonucunda panelin Po'sunda %0.01 bir azalma gerçekleşmiştir. Çizelge 4.4 ile gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Ölçümlerin karşılaştırılması

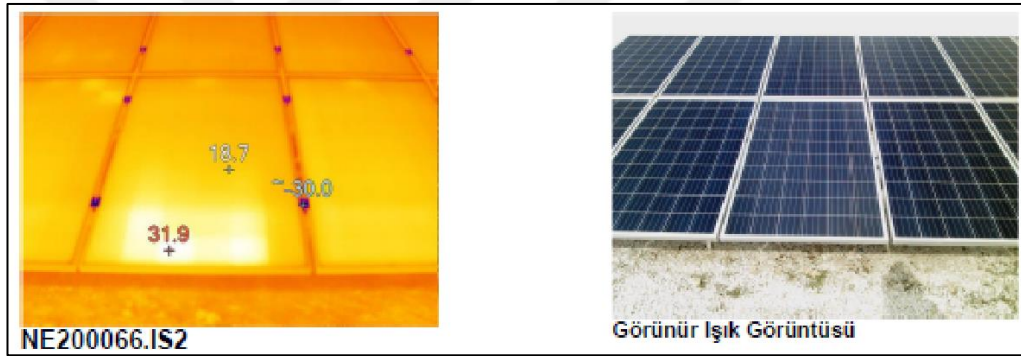
Dizi	Pmax	Isc	Voc	Vmmp	Immp	Işınım	PO	FF (%)
Index	(W)	(A)	(VDC)	(V)	(A)	(w/m ²)		
1	2283	3.73	864.3	612.15	3.73	750.0	86.46	71
2	2366	3.78	865.7	625.94	3.78	751.0	89.48	72
3	2436	3.75	866.1	649.58	3.75	751.0	92.12	75
4	2493	3.74	862.9	666.51	3.74	755.0	93.77	77
5	2486	3.79	861.9	656.04	3.79	751.0	94.03	76
6	2488	3.82	859.4	651.38	3.82	754.0	93.72	76
7	2265	3.82	863.6	592.93	3.82	755.0	85.20	69
8	2273	3.82	863.6	594.93	3.82	754.0	85.60	69
9	2310	3.83	862.1	603.22	3.83	756.0	86.79	70
10	2323	3.84	862	604.89	3.84	756.0	87.26	70
11	2407	3.86	858.4	623.60	3.86	756.0	90.43	73
12	2510	3.85	858	651.91	3.85	756.0	94.29	76
13	2506	3.88	857.4	645.90	3.88	759.0	93.77	75
14	2570	3.82	862.6	672.68	3.82	759.0	96.15	78
15	2545	3.86	859.7	659.25	3.86	761.0	94.97	77
16	2527	3.86	857.6	654.76	3.86	760.0	94.44	76
17	2517	3.84	858.5	655.57	3.84	759.0	94.20	76

Yapılan ölçümlerden 41, 42, 43 ve 44 numaralı ölçümleri ile 7-8-9-10 numaralı dizilerde performans oranı (PO) ve doldurma faktörü (FF) değerleri tablo 3.4 ile gösterilmektedir. Üreticinin beyan ettiği standartlara en yakın eğriye sahip olan14

numaralı dizi ile en fazla gölgeli alan oluşan 7 numaralı dizi karşılaştırıldığında gölgeli alan oluşan dizide %11.4 performans oranı kaybı %11.5 doldurma faktörü kaybı gözlenmektedir.

Hava ve nem koşullarına göre panel seçimi önemlidir. Kar ve yağmur suyu birikmesi ile oluşabilecek hasarlar şekil 4.4 ve şekil 4.5 ile gösterilmiştir. Karların en alt sıralarda birikmesi ile o bölgelerde bulunan panellerin buzlanmaya bağlı olarak basınç oluşturduğu ve bu basıncın panellerde kalıcı hasara yol açarak sıcak nokta (hot spot) tahribatına sebep olması sonucuna ulaşılmaktadır.

Tesiste yapılan ölçümün sonucunda Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de termal kamera ölçümleri ile hasarları gözlenmiş olan panellerin I-V test cihazı ile ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.4. Sistemdeki 7. dizide alt kısımdaki 20. panelin termal kamera görüntüsü



Şekil 4.5. Sistemdeki 9. dizide alt kısımdaki 16. panelin termal kamera görüntüsü

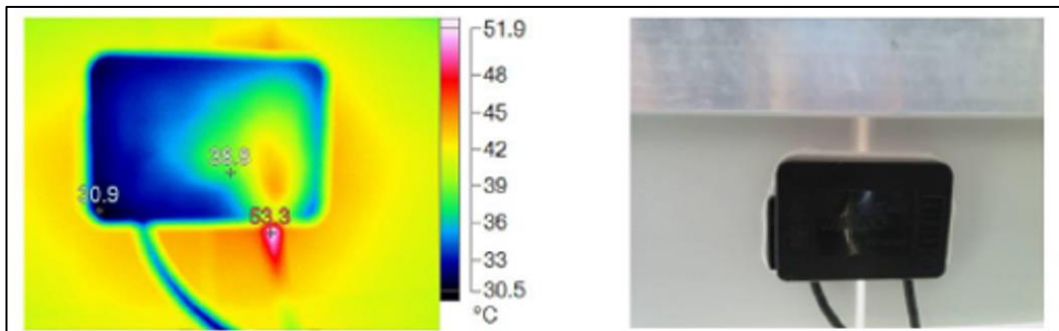
Göz ile muayene edilerek tespit edilemeyen hasarlı durumların termal kamera ile testlerinin yapılması sonucunda çıkan görüntülere bakıldığında panellerin alt kısımlarında hot spot (Sıcak nokta) arızaları gözlenmiştir. Düzenli bakımların ve

temizliğin yapılması ile oluşabilecek kayıplar engellenebileceği gibi panellerin ömürleri uzayacağı ve aşınma süreleri kısılacığı gözlemlenmiştir.

Panellerde oluşan bağlantı kutusu hasarlarının tespiti için de kullanılan bu yöntemle yapılan ölçümün sonucunda Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de termal kamera ölçümleri yapılmıştır. Oluşan bu tahribat sahadaki karların temizlenmesi için uygulanan yöntemle bağlı da oluşabilmektedir. Temizleme mekanizmalarının yardımı ile yapılabilecek uygulamalar Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



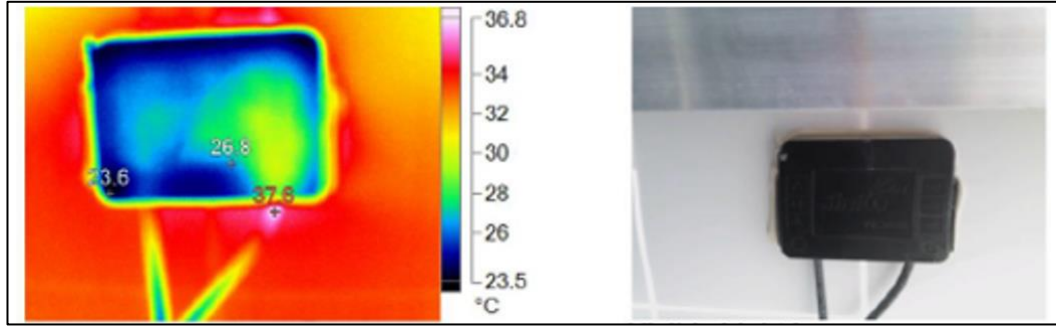
Şekil 4.6. Güneş paneli temizleme mekanizması



Şekil 4.7. Bağlantı kutusu ısınma hasarı

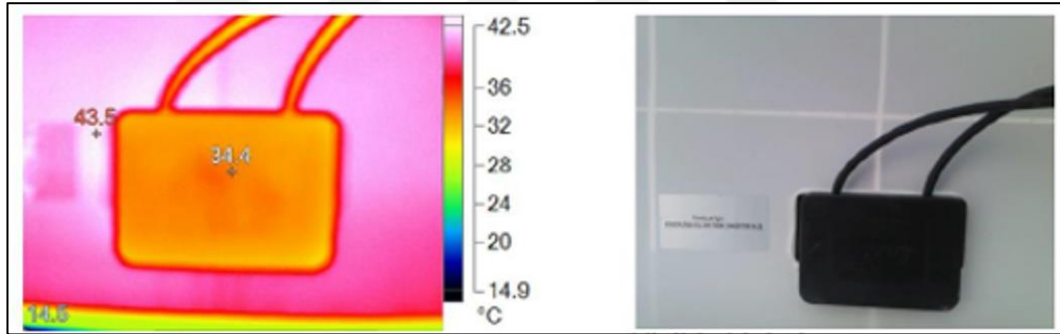
Termal kamera ile bağlantı kutuları ile kablolar arasındaki bağlantıların ısınması durumdaki hasar durumu ölçümleri yapılmıştır. Bazı panellerin bağlantı kutuları ile kabloları arasındaki bölgelerinde aşırı ısınmalar sonucunda Şekil 4.7’de gösterilen hasarlı durum görülmektedir. Bu ısınma sonucunda bağlantı kutuların önünde kalan

hücrelerde ısınmaya bağlı sıcaklık artışı (hot spot) hasarı meydana gelerek panelin performansını olumsuz etkilemekte olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Bağlantı kutusu hasarlı termal kamera ölçüm sonucu

Farklı bir bağlantı kutusu termal kamera görüntüsü Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Termal kamera ile ölçümü yapıldığında olması gereken görüntü ise Şekil 4.9’da hasarsız ölçüm olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Bağlantı kutusu hasarsız termal kamera gösterimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güneş enerji santrallerinin performanslarına etki eden faktörlerin ve yapılan ölçümler sonucunda kayıpların azaltılması için yapılacak önlemlerin ülkemizdeki toplam kurulu güç değerlerine katkı sağlaması amaçlanmıştır. Mevcut tesislerin performans ölçümleri yapılarak kayıpların azaltılması ile enerjinin daha verimli kullanılacağı vurgulanmıştır.

Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli diğer ülkelere oranla fazla olmasına rağmen, diğer ülkelerin güneş enerjisinden yararlanarak üretilen enerji miktarı ülkemize göre daha fazladır. Bu çalışma ile güneş enerjisi uygulamaları ile üretim yapan santrallerin güneşten yararlanmanın önemini vurgulayarak yatırımcıların verimlilik artırma çalışmalarına önem vermelerini sağlamak amaçlanmıştır.

Ülkemizde mevcut olan güneş enerji santrallerinin güneş ışınım değerleri ile üretilen enerji miktarları karşılaştırıldığında santralin verimli çalışmasının sürdürülebilir olması açısından düzenli olarak testlerinin ve bakımlarının yapılmasının önemi vurgulanmaktadır. Ülkemizdeki enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve enerji santrallerinde enerjinin boşa gitmesinin engellenmesi ile dünya dağılımında güneş enerji üretim değerlerinin yükselmesinin sağlanması değerlendirilmiştir.

Fotovoltaik elektrik üretiminde verimliliğini etkileyen faktörlerin başında hücrelerinin üretim teknolojisi ve ortam koşullarının uygun olması gelmektedir. Günümüz teknolojisinde, monokristal hücrelerin verimlerinin yüksek olması ve üretim maliyetlerinin fazla olması, polikristal hücrelerin verimleri daha az olmasına karşın maliyetleri daha düşük olması sonucuna ulaşılmıştır.

Fotovoltaik santrallerin güç değerlerini düşmesine sebep olan ışınım şiddeti, ortamın sıcaklığı ve panellerin üzerindeki kir/toz ve gölgelenme çeşitli ortam koşulları vardır. Bu çalışmada, güneş ışınımı ile doğrusal olarak artan gerilim değeri incelendiğinde açık devre gerilimi artarken, kısa devre gerilimi de arttığı 4. bölümde tablo ve grafikler ile gözlenmektedir. Kirlenme veya gölgelenmeden kaynaklanan ışınımdaki azalma ile üretimde kayıplar meydana gelmektedir. Gölgeli alanları oluşumunun engellenmesi ve dış etkilerin ortadan kaldırılması verimliliğin artmasını sağlayacaktır.

Bu tez ile International Electrochemical Commission (IEC)'nin yayınladığı standarda uygun olarak şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin testleri incelenmiştir. Güneş enerji santralının kurulumun hatalarının incelenmesi ve testler ile sonuçların değerlendirilmesi yapılarak sistem kontrolü ile oluşabilecek problemlerin önceden bilinmesi tespit edilmesi hedeflenmiştir. Yatırımcıların karşılaşması muhtemel risklerin en aza indirgenerek uzun vadede oluşması muhtemel problemlerin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma ile dizi seviyesinde akım-gerilim eğrisi ölçümü yapılarak panellerin performansları test edilmiştir. Gözle görülemeyen bu performans ölçümü santralin üretimi için çok önemlidir. Bu ölçümler ile dizi seviyesinde yapılan akım-gerilim ölçüm sonuçlarının düşük çıkması panelde hasarın olduğu sonucunu göstermektedir. Belirlenen panele ait I-V eğri ölçümleri gerçekleştirilerek yapılan ölçüm neticesinde panellerin üretici firma tarafından taahhüt edilen teknik özelliklerin kontrolü yapılmış olmaktadır.

Ülkemizde YEGM verilerine göre 5868 güneş santrali bulunmaktadır. Güneş enerji santrallerinden üretilen elektrik enerjisinin toplam kurulu gücünün değeri 5063 MW'a ulaştığı gözükmektedir. Santrallerin verimlilik çalışmaları ile iyileştirme yapıldığında oluşan kayıpların engellenmesi ile boşa giden enerjinin engellenmesi hedeflenmiştir. Panel performansları ve santral verimleri için yapılan testlerin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, A. (2018). *Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Fotovoltaik Panelin Modellenmesi ve Performans Değerlendirmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Aksungur, K.M., Kurban, M. & Başaran Filik, Ü., (2013). *Türkiye' nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi*. EVK'2013, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 23-24 Mayıs, Kocaeli.
- Almaktar, M., Rahman, H. A. & Hassan, M. Y. (2012). Effect of losses resistances, module temperature variation, and partial shading on PV output power. Power and Energy (PECon), IEEE International Conference on. IEEE, 360-365.
- Anonim (2016a). *Yenilenebilir Enerji*. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, www.eie.gov.tr/yenilenebilir.aspx (Son erişim tarihi: 19 Mayıs 2019)
- Anonim (2017a). *2015-2019 Stratejik Planı*. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Stratejik-Plan> (Son erişim tarihi: 02 Mayıs 2019)
- Anonim (2017b). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (Son erişim tarihi: 15 Haziran 2019)
- Anonim (2017c). International Energy Agency. <http://www.iea.org/statistics/> (Son erişim tarihi:02.05.2019)
- Anonim (2017d). Safely Commissioning & Maintaining 1000V/1500V Solar PV Arrays. <http://www.seawardsolar.com/userfiles/curve-tracing.php> (Son erişim tarihi: 15 Haziran 2019)
- Anonim (2018a). Statistical Review of World Energy. www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf (Son erişim tarihi: 06.06.2019)
- Anonim (2018b). *Elektrik Üretim Sektör Raporu*. Elektrik Üretim Anonim Şirketi, www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf, (Son erişim tarihi: 19 Mayıs 2019)
- Anonim (2019a). *Yıllara göre nüfus İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu, http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1631 (Son erişim tarihi: 15 Haziran 2019)
- Anonim (2019b). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Son erişim tarihi: 15 Haziran 2019)
- Anonim (2019c). International Energy Agency. <http://www.iea.org/statistics/> (Son erişim tarihi:02.05.2019)

- Anonim (2019d). <https://globalsolaratlas.info/?c=5.790897,5.976563,2> (Son erişim tarihi: 28.05.2019)
- Anonim (2019e). <https://www.ht-instruments.com/en/products/photovoltaic-testers/i-v-curve-tracers/i-v400w/> (Son erişim tarihi: 20.06.2019)
- Anonim (2019f). *İstanbul ili için en yüksek ve en düşük sıcaklıklar*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A> (Son erişim tarihi: 28.05.2019)
- Appelbaum, J. (1987). The Quality of Load Matching in a Direct-Coupling Photovoltaic System, IEEE Trans. EC-2, No.4, December, pp.534-541.
- Arslan, İ. (2018). *Tekirdağ Koşullarında Polikristal ve Monokristal Tip Pv Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Bhol, R., Pradhan, A., Dash, R. & Ali, S. M. (2015). Environmental effect assessment on performance of solar PV panel. Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), International Conference on. IEEE, 1-5.
- Boz, O. (2011). *Günümüzün alternatif enerji kaynağı güneş pilleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Boztepe, M., (2017). *IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri*, 19-20 Ocak, İzmir.
- Buresch, M., (1983). Photovoltaic Energy Systems Design and Installation, McGraw-Hill, Inc.,
- Cengiz, M.S. & Mamiş, M.S. (2016). Termal Güneş Enerjisi Kullanımı ve CSP Sistemlerin Verimlilik Analizi” BEÜ Fen Bilimleri Dergisi.
- DEK-TMK, (2009). *Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi*. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayınları, Yayın No: 0011/2009, Ekc Form Ofset. 978-605-89548-2-3.
- Demirtaş, M., (2006). Bilgisayar kontrollü güneş takip mekanizması tasarımı ve uygulaması, *Politeknik Dergisi*, 9(4), 247-253.
- Deniz, E., (2013). *Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar*. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri. 21-24 Kasım, İzmir.
- Dinçer F., (2011). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, KSU Mühendislik Dergisi*.
- Duman, M.H., (2018). *Batı Akdeniz Bölgesinde Güneş Enerjisi Santrali İçin Kuruluş Yeri Seçimi*. (Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Fakültesi)

- Eke, R. & Oktik, Ş., (2007). *Muğla İklim Koşullarına ASI206 Tek Kristal Silisyum (m-Si) Fotovoltaik Panelün Seri ve Paralel Direnç Değerlerinin Mevsimsel Olarak Değişimi*. Çankaya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Mayıs.
- Er, Z., Rouabah, Z., Kızılkın G. & Orken A.T. (2018). Standards and Testing Experiments for a Photovoltaic Module. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*.
- Erkul, A. (2010). *Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Güven, A. F. (2017). Bahçelievler Belediye Başkanlık Binasının Enerji İhtiyacının Güneş ve Rüzgar Sistemi ile Karşılanması, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*.
- Han E., (2018). *Fotovoltaik Hücre Performansı Üzerine Çalışma Koşullarının Etkisinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kabul, A. & Duran, F. (2014). Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (Pv/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi International Technologic Science, Nisan*.
- Kıncay, O., Bekiroğlu, N. & Yumurtacı, Z. (2018). *Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notları*. <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf> (Son erişim tarihi: 26.05.2019)
- Kutlu, N., (2016). Isparta İlinde Bir Evin Elektrik İhtiyacını Karşılacak Panel Sayısı, Verimi ve Ekonomik Analizinin Hesabı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Akademi Dergisi, 1(1)*, 41-52.
- Küpelı, A.Ö. (2005). *Güneş Panelleri ve Verimleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kymakis, E., Kalykakis, S. & Papazoglou, T.M. (2009). Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. *Energy Conversion and Management, 50(3)*, 433–438.
- Lynn, K. (2001). *Test method for photovoltaic panele ratings*. Florida Solar Energy Center, 16 p, Florida, USA.
- Ömeroğlu, G. (2018). *Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneyisel Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Piliougine, M., Carretero, J. & Sidrachde-Cardona, M. & Montiel, D.P. & Frieria, S. (2008). *Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses*. Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference, pp. 2698-2700.

- Sancar, M.R. (2018). *Fotovoltaik Panelin Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Siddiqui, R., Kumar, R., Kumar, J.G., Gowri, G., Morampudi, M., Rajput, P., Lata, S., Agariya, S., Dubey, B., Nanda, G. & Sahan, R.S. (2016). Comparison of different technologies for solar PV (Photovoltaic) outdoor Performance using indoor accelerated aging tests for long term reliability. *Energy*, 107, 550-561.
- Şişman, N., (2018). *Türkiye'nin 2023 Yılında Toplam Elektrik Enerjisi Talebini Karşılama İçin Optimum Güneş Enerjisi Seçeneğinin Araştırılması*. (Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Turhan, S. & Çetiner, İ. (2012). *Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi*. 6.Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Nisan 12-13, Bursa.
- Yerli, B., (2011). *İstanbul İklim Şartlarında Meteorolojik Parametrelerin Pv (Fotovoltaik Pil) Elektrik Üretimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yılmaz, H., (2018). Mısır saplarının peletlenmesi ve pelet özelliklerinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences (Turkey)*. 31(3), 269-274. doi:10.29136/mediterranean.427730.

EKLER

EK A. Kullanılan ölçüm cihazlarına ait teknik dökümanlar

EK B. Kullanılan inverter üretici broşürü



EK A. Kullanılan ölçüm cihazlarına ait teknik dökümanlar

1-Fotovoltaik Panel Üretici Broşürü (275W)

TP660P

60 CELL SERIES



KEY FEATURES

275W

Highest power output

10 years

Material & workmanship warranty

PID Free

Certified by TUV Rheinland

25 years

Linear power output warranty

- Positive power tolerance: 0-+3%
- Robust design: Certified to withstand up to 2400 Pa wind load and up to 5400 Pa snow load
- Proved high reliability built on dozens of projects
- Four busbar cell: Improve the efficiency of modules

QUALITY WARRANTY

TALESUN guarantees that defects will not appear in materials and workmanship defined by IEC61215, IEC61730 and UL1703 under normal installation, use and maintenance as specified in Talesun's installation manual for 10 years from the warranty starting date.



ABOUT TALESUN

Talesun Solar Technologies Co., Ltd. is one of the world's largest integrated PV manufacturers. Its standard and high-efficiency product offerings are among the most powerful and cost-effective in the industry. With over 6 GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance.

PERFORMANCE WARRANTY

Polycrystalline Solar Cell Modules

- During the first year, TALESUN guarantees the nominal power output of the product will be no less than 97.5% of the labeled power output.
- From year 2 to year 24, the nominal power decline will be no more than 0.7% in each year; by the end of year 25, the nominal power output will be no less than 80.7% of the labeled power output.

ELECTRICAL PARAMETERS

Model	TP660P			
	260	265	270	275
Maximum Power (Pmax/W)	260	265	270	275
Operating Voltage (Vmpp/V)	30.6	31.0	31.3	31.7
Operating Current (Impp/A)	8.50	8.56	8.63	8.69
Open-Circuit Voltage (Voc/V)	37.9	38.2	38.5	38.7
Short-Circuit Current (Isc/A)	8.97	9.04	9.09	9.17
Module Efficiency η (%)	16.0	16.3	16.6	16.9
Power Tolerance	0~+3%			
Temperature Coefficient	Pmax	-0.40%/°C		
	Voc	-0.31%/°C		
	Isc	+0.06%/°C		
Noct	45±2°C			

* STC: 1000w/m², 25°C, AM 1.5

OTHER PARAMETERS

Cell Type	Poly Crystalline
Cell Dimensions	156*156mm(6inch)
Cell Arrangement	60(6*10)
Weight	18.5kg(40.8lbs)
Module Dimensions	1640*990*35mm(64.6*39.0*1.4inch)
Cable Length	900mm(35.4inch)
Cable Cross Section Size	4mm ² (0.006sq.in)
Front Glass	3.2mm High Transmission, Tempered Glass
No. of Bypass Diodes	3/6
Packing Configuration (1)	30pcs/Pallet, 840pcs/40hq
Packing Configuration (2)	30pcs+5pcs/Pallet, 910pcs/40hq
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP65/IP67

OPERATING CONDITIONS

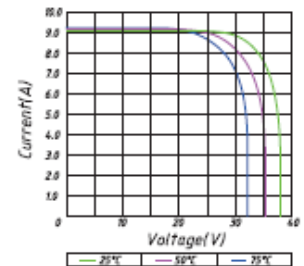
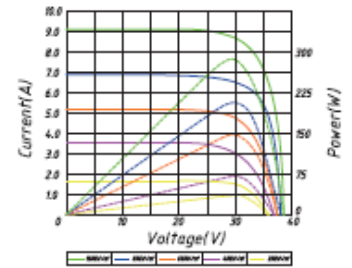
Maximum System Voltage	1000V/DC(IEC)
Operating Temp.	-40°C ~ +85°C
Maximum Series Fuse	15A
Static Loading	5400Pa
Conductivity at Ground	≤ 0.1Ω
Safety Class	II
Resistance	≥ 100MΩ
Connector	MC4 Compatible

TALESUN SOLAR TECHNOLOGIES CO.,LTD.

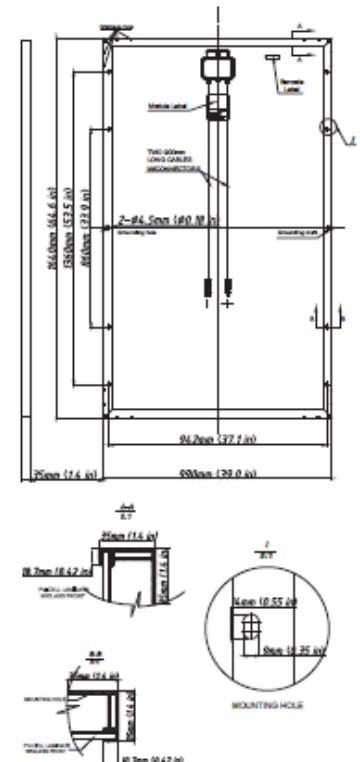
Email: sales@talesun.com Web: www.taesun.com Tel: + 86 400 885 1098

I-V CURVE

TP660P Pm(W)260



TECHNICAL DRAWINGS



Specifications subject to technical changes without notice. Talesun Solar Rev. 2016.12

2-Fotovoltaik Panel Üretici Broşürü (325W)

Panasonic

Photovoltaic module HIT®
VBHN330SJ47 / VBHN325SJ47

N 330
N 325



19.7% module efficiency

Enables reaching a higher output and lower specific installation and balance-of-system costs than with the same number of standard 60-cell modules



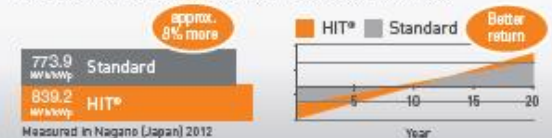
100% Panasonic, 100% HIT®

Proudly featuring Panasonic's original invention, the heterojunction solar cell. With over 1 billion cells produced commercially over 18 years, 25 years after the breakthrough in the development and looking back to over 40 years of experience in solar, Panasonic really offers you a 25-year guarantee you can trust.



More energy, higher profit!

Helping you reach a higher final profit with your PV system!



330W / 325W

High Efficiency

High Performance at High Temperatures

High Power Generation

QUALITY PROVEN 4 WAYS

1 Guaranteed by Panasonic

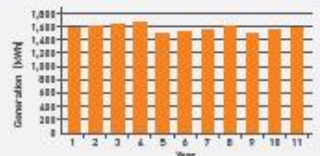
- IEC and over 20 Panasonic internal tests
- Vertically integrated own manufacturing (wafer, cell and module)



3 Less degradation on the field

11 years actual data prove a reliable and stable performance.

Installation: March 2004
Location: Gloucestershire, UK
Model: HP-130SE
System size: 1.88 MWp
Tilt: 40 deg.
Direction: South-West



2 Record low claim rate

Less than 0.005% failure rate after more than 10 years experience in Europe (as of September 2015)

4 3rd Party verified

- Lifecycle testing (Long-Term-Sequential-Test) by TÜV Rheinland (tested on VBHN240SE10)
- PID-free (tested by Fraunhofer Institute)



Electrical and Mechanical Characteristics

N330, N325

Electrical data (at STC)

	VBHN335J47	VBHN325S47
Max. power (Pmax) [W]	330	325
Max. power voltage (Vmp) [V]	58.0	57.6
Max. power current (Imp) [A]	5.70	5.65
Open circuit voltage (Voc) [V]	69.7	69.6
Short circuit current (Isc) [A]	6.07	6.03
Max. over current rating [A]	15	
Power tolerance [%] *	+10/-0	
Max. system voltage [V]	1000	
Solar Panel efficiency [%]	19.7	19.4

Note: Standard Test Conditions: Air mass 1.5; Irradiance = 1000W/m²; cell temp. 25°C
 * Maximum power at delivery. For guarantee conditions, please check our guarantee document.

Temperature characteristics

Temperature (NOCT) [°C]	44.0	44.0
Temp. coefficient of Pmax [%/°C]	-0.29	-0.29
Temp. coefficient of Voc [V/°C]	-0.174	-0.174
Temp. coefficient of Isc [mA/°C]	1.82	1.81

At NOCT (Normal Operating Conditions) (Tentative)

Max. power (Pmax) [W]	247.2	243.5
Max. power voltage (Vmp) [V]	54.2	53.8
Max. power current (Imp) [A]	4.58	4.54
Open circuit voltage (Voc) [V]	65.1	65.0
Short circuit current (Isc) [A]	4.91	4.88

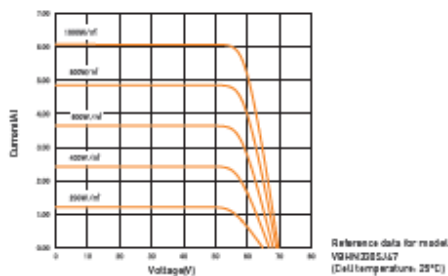
Note: Normal Operating Cell Temp., Air mass 1.5; Irradiance = 800W/m²; Air temperature 20°C; wind speed 1 m/s

At low irradiance (20%) (Tentative)

Max. power (Pmax) [W]	63.5	62.5
Max. power voltage (Vmp) [V]	56.2	55.8
Max. power current (Imp) [A]	1.13	1.12
Open circuit voltage (Voc) [V]	66.0	65.9
Short circuit current (Isc) [A]	1.21	1.20

Note: Low irradiance: Air mass 1.5; Irradiance = 200W/m²; cell temp. = 25°C

Dependence on irradiance

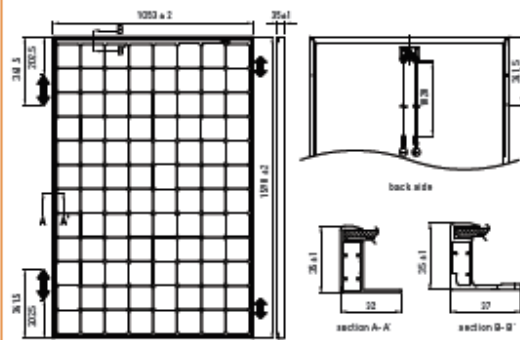


CAUTION! Please read the installation manual carefully before using the products.

Used electrical and electronic products must not be mixed with general household waste. For proper treatment, recovery and recycling of old products, please take them to applicable collection points in accordance with your national legislation.



Dimensions and weight



weight: 18.5kg
 weight/m²: 11.3 kg/m²
 UNK: mm
 Snow and Wind Load: 2400 Pa

Guarantee

Power output: 10 years (90% of Pmin), 25 years (80% of Pmin)
 Product workmanship: 15 years (based on guarantee document)

Materials

Cell material: 5 inch photovoltaic cells
 Glass material: AR coated tempered glass
 Frame materials: Black anodized aluminium
 Connectors type: SMK

Certificates (in preparation)



IEC61215
 IEC61730-1
 IEC61730-2



Please consult your local dealer for more information

Panasonic Eco Solutions Europe
 Panasonic Electric Works Europe AG

Robert-Koch-Straße 100,
 85521 Ottobrunn, Germany
 Tel: +49 89 45354-1000
 Fax: +49 89 45354-2111
 Info.solar@eu.panasonic.com

Panasonic

All Rights Reserved © 2015 COPYRIGHT Panasonic Electric Works Europe AG
 Specifications are subject to change without notice.

1/2016

EK B. Kullanılan inverter üretici broşürü



SUNNY TRIPOWER 60



Efficient

- Maximum efficiency of 98.8%
- Superior power density: 60 kW with only 75 kg of weight

Reliable

- Superior PV system availability with 60kW units
- SMA Inverter Manager as central control unit

Flexible

- DC input voltage of up to 1000 V
- Flexible DC solutions with customer-specific PV array combiner boxes

Innovative

- Cutting-edge system design

SUNNY TRIPOWER 60

The Best of Two Worlds

The new Sunny Tripower 60 is part of an innovative global system solution for commercial and industrial PV systems. This solution combines the advantages of a decentralized system layout with the benefits of centralized inverter designs in order to get the best of two worlds. High efficiency, flexible system design, easy installation, simple commissioning and low maintenance requirements contribute decisively to reducing the operating costs for the entire system.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hande ÇETİN
Doğum Yeri ve Yılı : Burdur, 1988
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : handedogn@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Burdur Cumhuriyet Lisesi, 2005
Lisans : KOÜ, Mühendislik Fakültesi

Mesleki Deneyim

BORUSAN, Makine ve Güç Sistemleri	2011-2012
TSE Dış Denetim ve Muayene Uzmanı	2012-2014
Burdur İl Özel İdaresi	2014- ... (halen)

Yayımlar

Selbaş, R. & Çetin, H. (2019). Fotovoltaik güneş enerji santrallerinin verimlerinin değişiminin incelenmesi. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, Sayı: 1, Cilt 1, Sayfa 21-25 Son Erişim Tarihi: 26.08.2019.