



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK PANELLERDE ISINMA KAYNAKLI
KAYIPLARI AZALTMAK İÇİN PANEL
YÜZEYLERİNİN FARKLI TASARIMLARLA
SOĞUTULMASI VE SONUÇLARIN ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Hazırlayan
Özbay ÇAĞIRTEKİN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Ocak-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Özbay ÇAĞIRTEKİN tarafından hazırlanan “**Fotovoltaik Panellerde Isınma Kaynaklı Kayıpları Azaltmak İçin Panel Yüzeylerinin Farklı Tasarımlarla Soğutulması ve Sonuçların Analizi**” adlı tez çalışması **06/01/2022** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Mehmet ALTUĞ

.....

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Adem YILMAZ

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Ramazan ŞENER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Tarık ARAL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Özbay ÇAĞIRTEKİN

Tarih:06/01/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK PANELLERDE ISINMA KAYNAKLI KAYIPLARI AZALTMAK İÇİN PANEL YÜZEYLERİNİN FARKLI TASARIMLARLA SOĞUTULMASI VE SONUÇLARIN ANALİZİ

Özbay ÇAĞIRTEKİN

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir KOÇER

2022, 63 sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mehmet ALTUĞ

Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER

Bu tez çalışmasında fotovoltaik panellerde ısı kaynaklı kayıpları azaltmak ve panel verimini arttırmak için panellerin ön yüzeylerinden ve arka yüzeylerinden kurulan deney düzenekleri ile soğuk su geçişleri sağlanmıştır. Panellerin alt ve üst yüzey sıcaklıklarının farklı su debileri ile soğutulması sağlanmış olup elde edilen maksimum güç değerleri (Akım(A), Voltaj(V) ve Güç(W)) ölçülüp elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca dış ortamın zamana bağlı sıcaklık değerleri ve güneş ışığı radyasyon değerleri de ölçülmüştür. Elde edilen verilerin analizi ve panel verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler açık alanda kurulan düzenekler ile üniversite kampüsünde yapılmıştır. Deney için üç adet 40W'lık PV panel kullanılmıştır. Panellerden birinin ön yüzeyi çift cam arasından geçirilen soğuk su ile soğutulmuş. Bir diğeri ise arka yüzeyinden çift cam arasından geçirilen soğuk su ile soğutulmuş. Üçüncü panel ise kontrol ve karşılaştırma amaçlı olarak boş bırakılmıştır. Ortam sıcaklıkları ve panellerin farklı yüzey sıcaklıkları ile su giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümleri yapılmış ve zamana bağlı olarak oluşan maksimum güç, akım ve volt değerleri kayıt altına alınmıştır. Sonuçlara göre panelin arka yüzeyden su ile soğutulması panel verimine ortalama %1.57 ile %4.87 oranlarında olumlu etki ettiği gözlenmiştir. Bununla birlikte debi 0.25lt/dk iken panel yüzey sıcaklıkları 2-6°C arasında, debi 0.5lt/dk iken panel yüzey sıcaklıkları 2-8°C arasında, debi 1lt/dk iken panel yüzey sıcaklıkları 3-10°C arasında düşürülmüştür. Özellikle radyasyon değerinin 1000W/m² ve üzeri değerlerinde soğutulan panellerin veriminin arttığı gözlenmiştir. Deney sonucuna göre üretilen enerjinin sistem maliyeti, su akışı için gerekli olan enerji kayıpları dikkate alındığında PV panellerinin arka yüzeyden su ile soğutulmasının panel verimine olumlu katkısı olacağı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: fotovoltaik panel, güneş enerji sistemleri, verim, yenilenebilir enerji

ABSTRACT

MS THESIS

IN PHOTOVOLTAIC PANELS, PANEL SURFACES ARE USED WITH DIFFERENT DESIGNS TO REDUCE LOSSES FROM HEATING COOLING AND ANALYSIS OF THE RESULTS

Özbay ÇAĞIRTEKİN

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ

Second Advisor: Asst. Prof. Dr. Abdülkadir KOÇER

2022, 63 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ALTUĞ

Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ

Asst. Prof. Dr. Ramazan ŞENER

In this thesis study, cold water passages were provided with experimental setups set up from the front and rear surfaces of the panels in order to reduce the heat-induced losses and increase the panel efficiency in photovoltaic panels. It was ensured that the lower and upper surface temperatures of the panels were cooled with different water flow rates, and the obtained maximum power values (Current(A), Voltage(V) and Power(W)) were measured and the obtained data were compared. In addition, time-dependent temperature values of the external environment and sunlight radiation values were also measured. The analysis of the obtained data and its effects on panel efficiency were examined. The experiments were carried out on the university campus with the apparatus set up in the open area. Three 40W PV panels were used for the experiment. The front surface of one of the panels is cooled by cold water flowing through the double glazing. Another is cooled by cold water, which is passed through the double glass on its back surface. The third panel was left blank for control and comparison purposes. Ambient temperatures, different surface temperatures of the panels, and water inlet and outlet temperatures were measured, and the maximum power, current and volt values that occurred depending on time were recorded. According to the results, it was observed that cooling the panel with water from the back surface had a positive effect on the panel efficiency at an average of %1.57 to %4.87. However, when the flow rate is 0.25lt/min, the panel surface temperatures are between 2-6⁰C, when the flow is 0.5lt/min, the panel surface temperatures are between 2-8⁰C, and when the flow is 1lt/min, the panel surface temperatures are reduced between 3-10⁰C. It was observed that the efficiency of the cooled panels increased especially at 1000W/m² and above radiation values. According to the results of the experiment, considering the system cost of the energy produced and the energy losses required for the water flow, it has been seen that cooling the PV panels with water from the rear surface will contribute positively to the panel efficiency.

Keywords: efficiency, photovoltaic panel, renewable energy, solar energy systems,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi gördüğüm süre içerisinde ve tez çalışmamın her aşamasında, deneyimlerini benden esirgemeyen, her türlü problemin üstesinden gelmeme yardımcı olup desteğini sürekli yanımda gördüğüm saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ'a ve Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir KOÇER'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca eğitim hayatım boyunca bana destek olan ve motivasyon kaynağım olan sevgili eşim Elif ÇAĞIRTEKİN'e çok teşekkür ederim.

Özbay ÇAĞIRTEKİN
BATMAN-2022



İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	2
1.2. Güneş Pilleri (PV)	6
1.2.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi (PV).....	6
1.2.2. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi (PV)	7
1.2.3. Güneş Pili Çeşitleri (PV)	8
1.2.3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri	9
1.2.3.1.1. Tekli Kristal Silisyum Güneş Pili.....	9
1.2.3.1.2. Çoklu Kristal Silisyum Güneş Pili	10
1.2.3.2. Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Pilleri	11
1.2.3.3. Kadmiyum Tellürid (Cdte) Güneş Pilleri	12
1.2.3.4. Amorf Silisyum Güneş Pilleri.....	13
1.2.3.5. Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri.....	13
1.2.3.6. Boya Duyarlı Güneş Pilleri.....	14
1.2.3.7. Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı.....	15
1.2.3.8. Hibrit Güneş Pilleri.....	15
1.2.3.9. Kuantum Nokta Güneş Pilleri.....	15
1.2.3.10. Perovskite Güneş Pilleri	16
1.2.4. PV Panel kayıpları	17
1.2.4.1. Işınım kayıpları	18
1.2.4.2. Modül Düzlem Açısı.....	18
1.2.4.3. Spektrum Kayıpları.....	18
1.2.4.4. Gölgeleme Kayıpları.....	19
1.2.4.5. Toz Kayıpları	20
1.2.4.6. Yansıma Kayıpları	21
1.2.4.7. Termal Kayıplar	21
1.2.4.8. Kablo Kayıpları.....	22
1.2.4.9. Modül Teknik Özelliklerindeki Sapmalar	23
1.2.4.10. Uyumsuzluk Kayıpları.....	23
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. DeneySEL Yöntem	30
3.2. Deney Ekipmanları.....	33

3.3. Ölçüm Cihazlarının Bağlantısı	37
3.4. PV Panellerde Teorik Hesaplamalar	42
3.5. Hata Analizi	45
3.6. Enerji Analizi	48
3.7. Ekserji Analizi.....	49
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Farklı Su Debileri İle Soğutulan Güneş Panellerinde Oluşan Güç Farkları.....	51
4.1.1. Panellerin Maksimum Güçlerinin Karşılaştırılması	51
4.1.2. Su Debisi 1lt/dk Olan Panellerin Ön ve Arka Yüzeyden Soğutularak Oluşan Güç Farkları.....	53
4.1.3. Su Debisi 0.5lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları.....	55
4.1.4. Su Debisi 0.25lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları.....	56
4.2. Panel Yüzeylerinin Farklı Su debilerindeki Sıcaklık Değişimleri	57
4.2.1. 1lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi	58
4.2.2. 0.5lt/Dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi	58
4.2.3. 0.25lt/Dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
5.1. Sonuçlar	61
5.2. Öneriler	63
KAYNAKÇA.....	64
ÖZGEÇMİŞ	70

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1-1. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerji Potansiyeli	4
Tablo 3-1. MİTASUN MTS-40WP Panel Teknik Özellikleri.....	34
Tablo 3-2. Atlantik İnternal Filter 600F ve 120F Teknik Özellikleri.....	35
Tablo 3-3. Termokupl Teknik Özellikleri.....	37
Tablo 3-4. Deneyde Kullanılan Elimko 680 Data Loger Cihazına Ait Teknik Bilgiler	39
Tablo 3-5. Radyasyon Ölçüm Aleti Teknik Özellikleri.....	41
Tablo 3-6. Toplam Belirsizlik Analizi Tablosu	47
Tablo 3-7. Fotovoltaik Sistemin Enerji Analizi Sonuçları	49
Tablo 3-8. Fotovoltaik Sistemin Ekserji Analizi	50
Tablo 4-1. Farklı radyasyon değerlerinde çift cam ve suyun radyasyon değerlerine yaptığı etki	54
Tablo 4.2. Literatürde Yapılan Diğer Çalışmalar	60



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Güneşten Dünyamıza Gelen Işınlrın Dağılımı (Anonim, 2021b).....	3
Şekil 1.2. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli (Anonim, 2021ç)	3
Şekil 1.3. Global Radyasyon Değerleri (kWh/m ² -gün) (Anonim, 2021e).....	5
Şekil 1.4. Türkiye ve Batman İlinin Güneşlenme Süreleri (Anonim, 2021e)	5
Şekil 1.5. Güneş Pili Şeması (Anonim, 2021f).....	7
Şekil 1.6. Güneş Pili Şeması (Anonim, 2021g)	7
Şekil 1.7. Güneş Panellerinin Yapısına Göre Etkinlik Tablosu. (Anonim, 2011).....	8
Şekil 1.8. Atomların Komşu Atomlara Bağlanma Şekli (Anonim, 2021h).....	9
Şekil 1.9. Silisyumun Saflaştırılma Aşaması (Anonim, 2021ı).....	10
Şekil 1.10. Monokristal Silisyum PV Hücre (Anonim, 2021i).....	10
Şekil 1.11. Polikristal Silisyum PV Hücre (Anonim, 2021j).....	11
Şekil 1.12. Galyum Arsenit Güneş Pili (Anonim, 2018).....	11
Şekil 1.13. Kadmiyum Tellürid (Cdte) Güneş Pili (Anonim, 2017a).....	12
Şekil 1.14. Kristal Silisyum ve Amorf Silisyum (Moreno, 2016).	13
Şekil 1.15. Yoğunlaştırıcı Güneş Pili (Anonim, 2020ç)	14
Şekil 1.16. Boya Duyarlı Güneş Pili (Swami ve ark., 2015)	14
Şekil 1.17. Kuantum Nokta Güneş Pili (Anonim, 2021k).....	16
Şekil 1.18. Perovskite Güneş Pili (Bagher, 2015)	17
Şekil 1.19. PV Panellerde Oluşan Kayıplar (Grunow, 2009)	17
Şekil 1.20. Elektromanyetik Spektrum (Anonim, 2021l)	19
Şekil 1.21. Farklı PV Teknolojilerinin Spektral Tepkileri (Grunow, 2009).....	19
Şekil 1.22. Güneş Panellerinde Gölgeleme Sorunu (Anonim, 2021m).....	20
Şekil 1.23. Güneş Panellerinde Tozlanma Sorunu (Anonim, 2021n).....	21
Şekil 1.24. 0-75 ⁰ C sıcaklıklarındaki (a)P-V grafiği (b)I-V grafiği (Rodrigues ve ark., 2011).....	22
Şekil 1.25. 150 Watt'lık Modül Bulunan 8 Diziden Oluşan Bir PV Dizesinde Uyumsuzluk Kayıpları	24
Şekil 3.1. Deney Düzeneginde Panellerin Yerleştirilme Şekli	30
Şekil 3.2. Batman İli Yıllık Sıcaklık Grafiği (Anonim, 2021o)	31
Şekil 3.3. Ön Yüzeyi Sızdırmaz Çift Cam İçinden Geçen Su İle Soğutulan Panel	32
Şekil 3.4. Arka Yüzeyden Soğulan Panel	33
Şekil 3.5. Panel Alt ve Üst Yüzeylerine Sızdırmaz Çift Camın Yerleştirilmesi	34
Şekil 3.6. 3W'lık ve 8W'lık Farklı Su Debileri Sağlayan Su Pompaları.....	35
Şekil 3.7. Bir PV hücrenin akım/gerilim eğrisi ve maksimum güç noktasının belirlenmesi (Öztürk ve ark.2013)	36
Şekil 3.8. Panellerden Çıkan Akım ve Gerilimi Ölçen Elektrik Devresi Düzenegi	36
Şekil 3.9. Voltmetre-Ampermetre Şekli ve Devre Bağlantısı	37
Şekil 3.10. K Tipi Termokupl	37
Şekil 3.11. Deney Düzenegindeki Termokupl Bağlantıları	38
Şekil 3.12. Data Logger Cihazı.....	38
Şekil 3.13. Radyasyon Ölçüm Cihazı	40
Şekil 3.14. Deney Düzeneginin Şeması.....	40
Şekil 3.15. Güneş Paneli Veri Tablosu	41
Şekil 4.1. Panellerin Maksimum Güçlerinin Karşılaştırılması	52
Şekil 4.2. Panellerin Maksimum Güçlerinin Karşılaştırılması	52
Şekil 4.3. Su Debisi 1lt/dk Olarak Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelin Güç Farkları.....	53
Şekil 4.4. Su Debisi 1lt/dk Olarak Ön Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelin Güç Farkları.....	54

Şekil 4.5. Su Debisi 1lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları	55
Şekil 4.6. Su Debisi 0.5 lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları.....	56
Şekil 4.7. Su Debisi 0.25lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları.....	57
Şekil 4.8. 1lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi.....	58
Şekil 4.9. 0.5lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi.....	59
Şekil 4.10. 0.25lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi.....	60



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	:Alan
c_p	:Özgül Isı
D	:Boru çapı (m)
eV	:Elektron Volt
dk	:Dakika
G	:Güneş Işınımı
GTF	:Günlük tozlanma faktörü
GW	:Gigawatt
H	:Isı Transfer İletim Katsayısı (W/m.K)
I	:Akım
I	:Güneş Işınım Şiddeti (W/m ²)
J	:Joule
K	:Boltzman Sabiti($1.38 \times 10^{-23} \text{Joule /}^\circ\text{K}$)
kJ	:Kilo Joule
kW	:Kilowatt
kWh	:Kilowatt Saat
$\dot{m}$	:Kütleli Debi (kg/s)
m ²	:Metrekare
MW	:Megawatt
P	:Güç
s	:Saniye
T	:Sıcaklık (°C, K)
TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
TK	:Tozlanma Kaybı
V	:Voltaj
W	:Watt
Ws	:Toplam Belirsizlik Değeri
μ	:Toplam Hücre Sıcaklık Katsayısı
η	:Verim (%)
Δt	:Sıcaklık Farkı (°C)

Kısaltmalar

AC	:Alternatif Akım
AM	:Air Mass
A-Si	:Amorf Silisyum
CdCl ₂	:Kadmiyum Klorid
CdTe	:Kadmiyum Tellürid
CIGS	:Bakır İndiyum Galyum Selenit
CPV	:Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri
Csa	:İklim Sınıflandırması
CuInSe ₂	:Bakır İndiyum Diselenid
DC	:Doğru Akım
DSSC	:Boya Duyarlı Güneş Pilleri
EES	:Mühendislik Denklem Çözücü
EPK	:Elektrik Piyasası Kanunu
FTO	:Flor Katkılı Kalay Oksit
FV	:Fotovoltaik
GaAs	:Galyum Arsenit
GEPA	:Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına
GTS	:Güneş Takip Sistemi
IR	:Infrared (Kızılötesi) Spektroskopisi
IRENA	:International Renewable Energy Agency
LSC	:Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı
MGN	:Maksimum Güç Noktası
MGNT	:Maksimum Güç Noktası Takibi
PbS	:Kurşun Sülfid
PCM	:Faz Değişim Malzemeleri
PV	:Fotovoltaik
STK	:Standart Test Koşulları
STS	:Solar Takip Sistemi
TCO	:Şeffaf İletken Oksit
TiO ₂	:Titanyum Dioksit
UV	:Ultraviyole
YEGM	:Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Günümüzün olmazsa olmazı, vazgeçilmez enerji kaynağıdır elektrik. İnsanların her türlü iş ihtiyacını ve kolaylığını sağlayan araçlar, makineler, bilgisayarlar, telefon ve ulaşım araçları gibi sayamayacağımız kadar fazla eşya elektrik ile can bulmakta ve insanlığa hizmet etmektedir. İnsanoğlu elektriğin nimetlerinden faydalanmak için üretiminde farklı yöntemler geliştirmiştir. Ancak bazı yöntemler çevresel sorunları beraberinde getirmiştir. Fosil yakıtlarının tükenebilirliği ve çevre kirliliğine sebep olması, nükleer enerjinin olası kaza durumlarında büyük felaketlere sebep olması, hidroelektrik santrallerinin bitki, hayvan, hava olayları ve tarihsel yapılara oluşturacağı olumsuz etkiler bunlara örnektir. Maalesef son yüzyıllarda insanoğlunun kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtları kullanmasının getirdiği bir önemli sorun da küresel iklim değişiklikleri ve canlı türlerinin nesillerinin yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalmasıdır. Tüm bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için insanoğlu, çevresel etkileri ortadan kaldırmak için hammadde ihtiyacı olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir.

Dünya ülkelerinin jeopolitik konumları günümüze kadar fosil yakıtların varlığıyla doğru orantılı olarak önem arz ediyordu. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının artmasıyla enerji çeşitliliği artmış ve uluslararası düzeyde ülkelerin gerek ekonomik gerekse jeopolitik dengeleri de değişmeye başlamıştır. Yeterli enerji kaynaklarına ulaşabilen ülkelerin enerji alanında bağımlılıkları da ortadan kalkmaktadır. Su, güneş, rüzgâr, jeotermal ısı, hayvan atıkları ve biyoenerji gibi yenilenebilir kaynaklardan enerji elde edilmesi sürdürülebilir kalkınmayı arttıracak bir potansiyele sahiptir. Daha önceden fosil yakıt zengini olan ülkelerin oluşturduğu enerji dengeleri yenilenebilir enerjinin gelişimiyle yeniden değişecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarımızdan en önemlisi Dünya'mızı aydınlatan ve ısıtan Güneş'tir. Güneş çevre dostu bir enerji kaynağı olup ısı, ışık ve elektrik enerjisine dönüştürülebilen atık oluşturmeyen bir enerji kaynağıdır. Günümüzde güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik paneller sayesinde elektrik üretimi yapılabilmektedir. Ancak fotovoltaik panel teknolojisinin yeni ve maliyetlerinin yüksek olması bu alanda daha fazla çalışma yapılmasını gerektirmektedir. Günümüzdeki fotovoltaik panellerden elde edebileceğimiz verim oranlarının artırılması da bu çalışmaların başında yer almaktadır.

Dünya'ya gelen güneş enerjisinin şiddeti atmosfer girmeden yaklaşık 1370W/m^2 olarak ölçülür. Ancak dünyaya giren güneş enerji şiddeti atmosferden yeryüzüne ininceye kadar $0-1100\text{W/m}^2$ arasında değerler gösterir. Yeryüzüne düşen bu enerji miktarı bile insanoğlunun kullandığı enerji miktarından daha fazladır. Güneşin enerjisinden faydalanabilmek için yapılan çalışmalar 1970'lerden sonra artarak gelişmiştir. Güneş enerjisinden faydalanmak için geliştirilen sistemlerin teknolojik gelişmelere bağlı olarak maliyetleri gün geçtikçe azalmaktadır. Bununla birlikte doğa ile dost, çevre sorunlarına neden olmayan temiz bir enerji kaynağı olarak yerini almıştır. Güneş enerji sistemleri kurulum süreçleri ve daha sonra ki çalışma süreçlerinde de düşük maliyetlerle çalışması güneş enerjisinin önemi gittikçe artmaktadır (Anonim, 2021a).

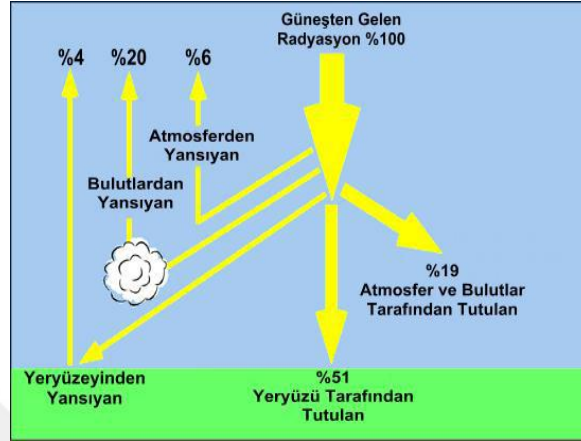
Güneş enerjisini elektrik akımına dönüştürebilen teknolojiye fotovoltaik (PV) teknolojisi denir. Silikon gibi maddeler, güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çevirme özelliğine sahiptir. Bu durum fotovoltaik etki olarak adlandırılır. Güneş pilinin yapısı göz önünde bulundurulduğunda güneş enerjisinin %5 ile %20'si elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

Bu tez çalışmasında Batman ili iklim şartlarında fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinde verimliliğe etki eden faktörler ve verimliliğin artırılması için yapılması gereken hususlar araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda kurulacak güneş enerji sistemlerinde ısınma kaynaklı verim kayıplarını azaltmak için panellerin ön yüzeyleri ile arka yüzeylerinin kurulan düzenekler ile farklı debilerde soğuk su ile soğutma işlemi yapıp elde edilen verilerin deneysel analizleri ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

1.1. Güneş Enerjisi

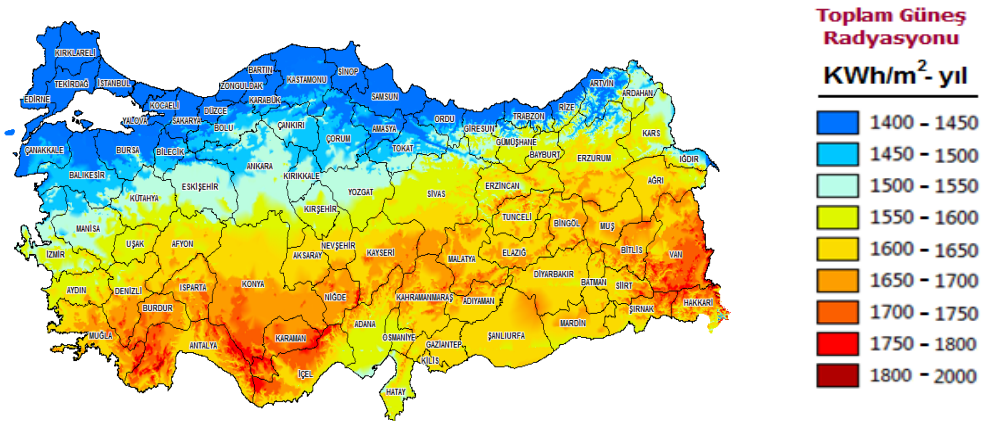
İnsanoğlu bilgi ve teknoloji çağı diyebileceğimiz bir çağ yaşamaktadır. Çağımızın gereksinimi olan her türlü bilgiye ulaşmak ve günlük iş ihtiyaçlarını karşılamak veya kolaylaştırmak için birçok sistem geliştirmiştir. Tabi ki bu sistemleri çalıştırabilmesi için enerjiye ihtiyacı vardır. Son yıllarda yenilenebilir enerji sürdürülebilir bir kalkınma için vazgeçilemez bir alan oluşturmuştur. Güneş, muazzam bir enerji kaynağı olup geliştirilen enerji elde etme yöntemleriyle elektrik üretiminde diğer yöntemlerin yerini almaya adaydır. Güneşten yeryüzüne gelen güneş radyasyonun yaklaşık %51'i direkt olarak yeryüzüne gelir. Bu enerji yeryüzünü ve yeryüzüne yakın olan atmosferi ısıtarak suyun buharlaşmasına neden olur. Bununla birlikte fotosentez

olayının oluşumu da gerçekleştirir. Ayrıca geriye kalan radyasyonun %49'unun %4'ü de yer yüzeyinden geriye doğru yansıma yapar. %26'sı atmosfer ve bulut aracılığıyla yansıtılırken kalan %19'u ise tozlar, atmosferde bulunan gazlar sis ve bulutlar aracılığıyla emilir. Güneşten dünyamıza gelen ışınların dağılımları Şekil 1.1.'de gösterilmiştir (Anonim, 2021b).



Şekil 1.1. Güneşten Dünyamıza Gelen Işınların Dağılımı (Anonim, 2021b)

Türkiye coğrafi konum olarak 36-42⁰ kuzey paralelleri ile 26-45⁰ doğu meridyenleri arasında yer almaktadır (Anonim, 2021c). Ülkemizin coğrafik konumu, güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça verimlidir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2,741 saat (günlük ortalama 7.5 saat), yıllık toplam güneş enerjisi 1,527kWh/m²yıl (günlük ortalama 4.18kWh/m² gün) olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2020a). Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından teknik kapasitesi 405 milyar kWh/yıl, ekonomik potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak tahmin edilen güneşe dayalı elektrik üretim kapasitesine sahiptir (Anonim, 2020b).



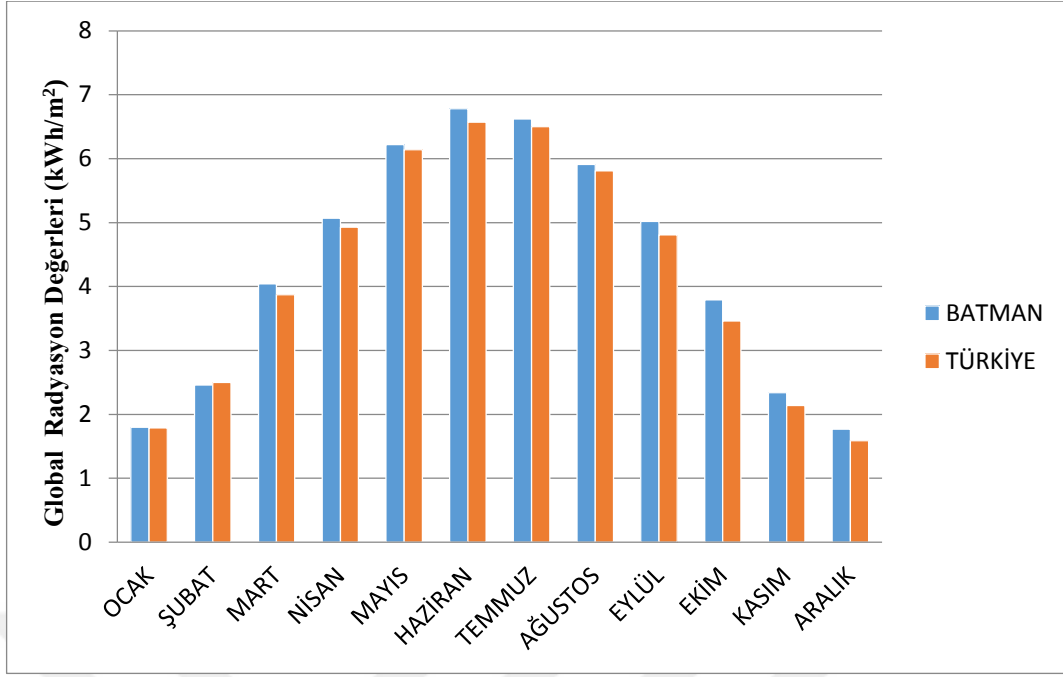
Şekil 1.2. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli (Anonim, 2021ç)

Tablo 1-1. Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerji Potansiyeli

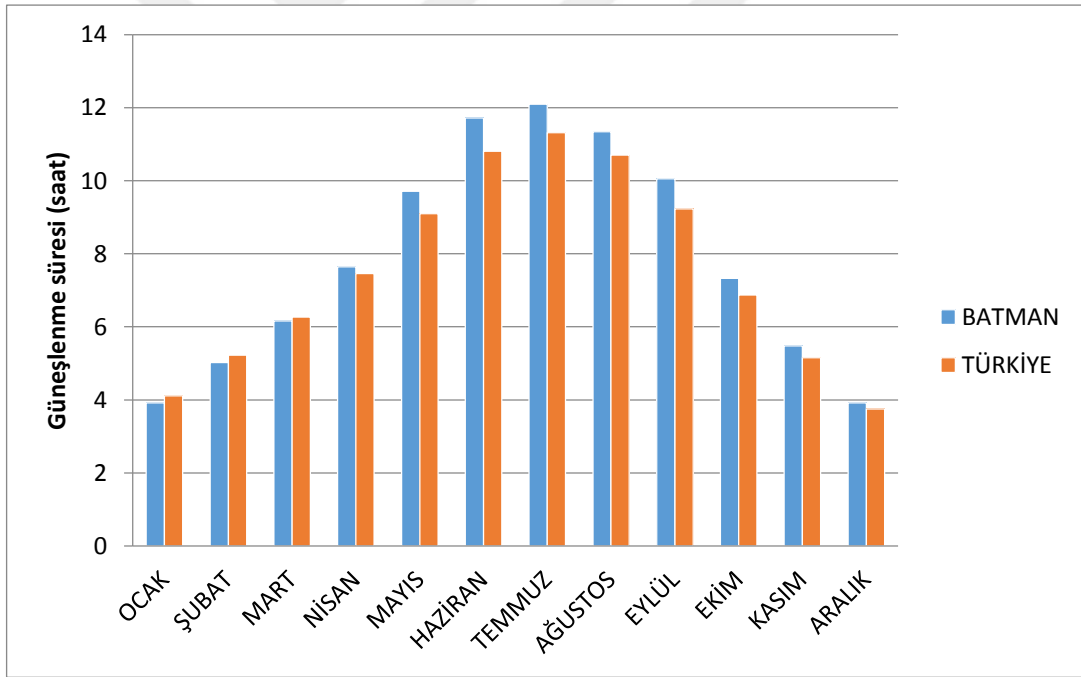
Bölgeler	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi kWh/m ² -yıl	En Yüksek Güneş Enerjisi (Haziran ayı) kWh/m ²	En Düşük Güneş Enerjisi (Aralık ayı) kWh/m ²	Ortalama Güneşlenme Süresi Saat / yıl	En Yüksek Güneşlenme Süresi (Haziran ayı) Saat	En Düşük Güneşlenme Süresi (Aralık ayı) Saat
Güneydoğu Anadolu B.	1,460	1,980	729	2,993	407	126
Akdeniz B.	1,390	1,869	476	2,956	360	101
Doğu Anadolu B.	1,365	1,863	431	2,664	371	96
İç Anadolu B.	1,314	1,855	412	2,628	381	98
Ege B.	1,304	1,723	420	2,738	373	165
Marmara B.	1,168	1,529	345	2,409	351	87
Karadeniz B.	1,120	1,315	409	1,971	273	82

Tablo 1.1.'de Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli incelendiğinde, güneş enerjisinin en az olduğu ayın Aralık ayı olduğu görülür. En çok enerji elde edilen ayın ise Haziran ayı olduğu görülür. Bölgeler içerisinde güneş enerjisi potansiyelinin en fazla olduğu bölgelerin ise Güneydoğu Anadolu ile Akdeniz Bölgesi olduğu görülür. Güneş enerjisinde üretiminin en az olduğu Karadeniz Bölgesi iken bu bölge dışında diğer bölgelerde birim metre kareden yılda ortalama olarak 1100kWh'lik enerji elde edilmektedir. Türkiye'nin toplam güneşlenme saati ise 2640 saattir. Ayrıca Türkiye'de güneşten alınabilen enerji miktarı da yıllık olarak yaklaşık olarak 1015kW/h'dir (Anonim, 2021d).

Şekil 1.3. ve Şekil 1.4.'de Türkiye ve Batman ili için global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ile güneşlenme süreleri verilmiştir. Grafiklere bakıldığında radyasyon değerleri ve güneşlenme sürelerinin en fazla Haziran ve Temmuz aylarında olduğu görülmektedir. Ulaşılan değerlere göre Batman ilindeki değerler Türkiye ortalamasının üzerinde olup Batman ili için güneş enerjisi potansiyeli bakımından önemli bir avantaj kazandırmaktadır. Bu sayede bu bölgede güneş enerjisi yatırımlarının daha fazla olması ve güneş enerjisi uygulamalarının daha da artırılması beklenmektedir.



Şekil 1.3. Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-gün) (Anonim, 2021e)



Şekil 1.4. Türkiye ve Batman İlinin Güneşlenme Süreleri (Anonim, 2021e)

Türkiye’de, güneş enerjili su kolektörleri yıl içinde ortalama verim olarak %70’lik bir verimle çalışabilmektedirler. Bu nedenle, güneş enerjisi kolektörleri başta Güney ve Ege kıyıları olmak üzere, ülkemizin birçok bölgesinde sıcak su elde etmek amacıyla yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunu yanı sıra birçok endüstriyel çalışmada, bina ısıtma çalışmalarında ve elektrik üretimi konularında fotovoltaiik pillerin tercih edilmesi giderek yaygınlaşmaktadır. Türkiye’de güneş kolektörü yıllık üretim

kapasitesi 750,000m² ile 1,000,000m² değerleri arasında bulunur. Üretilen enerjinin bir kısmı da diğer ülkelere ihraç edilmektedir (Kılıç, 2015). Dünya pazarında ise PV sistemlerle üretilen elektrik 2019 yılında küresel pazar için 100GW'ı aşarak toplam 505.5GW olmuştur (Anonim, 2019). Yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, çevreye olumsuz bir atık oluşturmayıp çevre dostu olması bakımından günümüzde güneş kaynaklı enerji üretim tesisleri artmaktadır. Bunların başında ise Fotovoltaik Panellerden (PV) oluşan Güneş Enerji Santralleri (GES'ler) yer almaktadır. Ancak bunun için maliyetlerinin düşürülmesi ve yüksek verimli güneş pillerinin üretilmesi gerekmektedir. Günümüzde fotovoltaik panel teknolojisi ile ilgili pek çok araştırma ve çalışma yapılmış olup bu alanda gelişmeler sağlanmıştır. Güneş enerjisi, gelecekte fotovoltaik panel teknolojilerin geliştirilmesi ve maliyetlerinin azaltılmasıyla her alanda diğer enerji kaynaklarının yerini almaya adaydır.

1.2. Güneş Pilleri (PV)

Güneş pillerinin çalışma prensibinde bilgisayarların işlemcilerindeki gibi yarı iletkenler kullanılır. Güneş pilleri güneş ışınlarını jeneratör ya da türbin (AC) olmadan doğrudan elektrik (DC) üreten sistemlerdir. Fotonların yarı iletken malzemeye gelerek buradaki kararsız elektronları yörüngesinden kopartıp elektrik akımı meydana getirmesi prensibiyle çalışırlar.

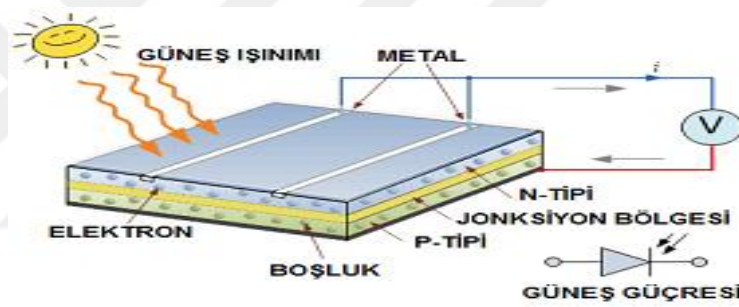
1.2.1. Güneş Pillerinin Tarihçesi (PV)

Güneş pillerinin temelinde Becquerel'in 1839 yılında elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek fotovoltaik olayını bulması yatar. Benzer bir olay da katı cisimlerde ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gözlemlenmiştir. 1914 yılında fotovoltaik gözelerin verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik gözeler ilk defa 1954 yılında silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihten sonraki yıllarda yapılan araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. 1973 yılındaki Petrol Krizinden sonraki yıllarda büyük bütçeli ve daha geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlamıştır. Güneş pillerinin dünyada elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesi için çalışmalar 1954'lü

yıllarda başlamıştır. Yakın geçmişe kadar alışlagelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir (Anonim, 2020c).

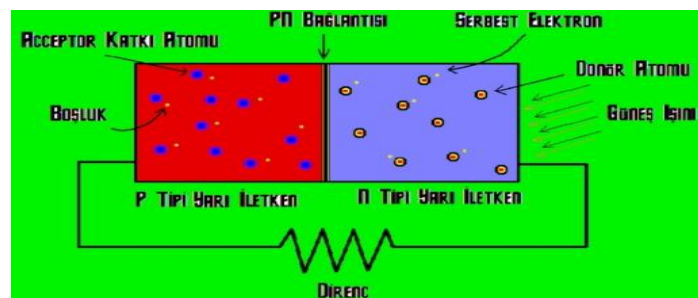
1.2.2. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi (PV)

Güneş pilleri yüzeylerine gelen güneş ışınlarını doğrudan elektriğe çeviren yarı iletken malzemelerdir. Fotonlar yarı iletken malzeme üzerine düştüğünde atomların dış yörüngesindeki kararsız ve gevşek elektronlar hareket eder ve elektrik akımını oluşturur.



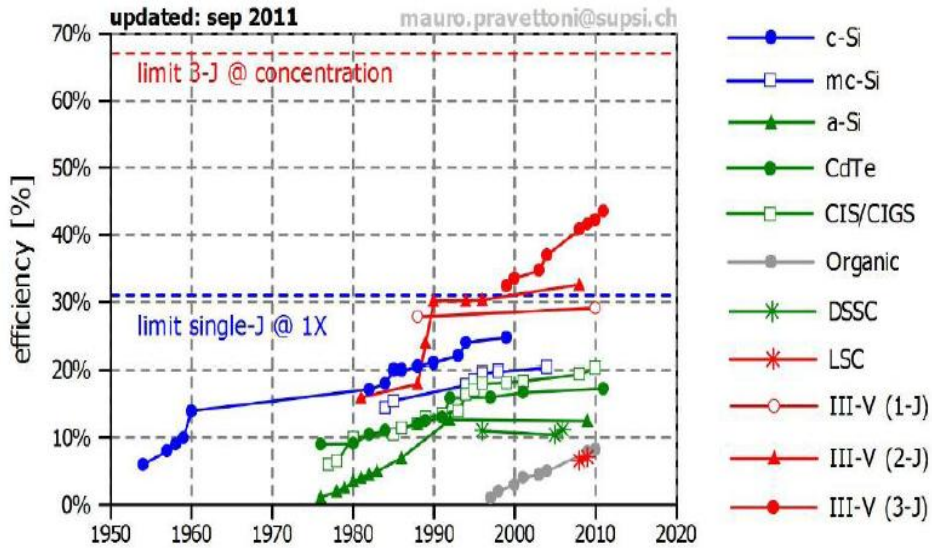
Şekil 1.5. Güneş Pili Şeması (Anonim, 2021f)

Bir fotovoltaik hücrenin yapısı P-tipi yarı iletken ve N-tipi yarıiletken malzeme birleştirilerek oluşturulur. Burada ışınım etkisiyle N tipi yarı iletken malzemedeki elektronlar P tipi yarı iletkendeki boşluklara geçiş yapar. Bu geçişle N tipi taraf pozitif yüklü iyon çekirdeklerini ortaya çıkarırken P tipi taraf ise negatif iyon çekirdeklerini açığa çıkarır. Bu durum iki tabaka arasında bir elektrik akımı oluşmasına neden olur.



Şekil 1.6. Güneş Pili Şeması (Anonim, 2021g)

Güneş pilleri kronolojik olarak genellikle 3 aşamada incelenir. İlk aşama fotovoltaiik güneş pilleri tek kristal yarı iletken tabaka ile yapılmıştır. İkinci etapta ise fotovoltaiik güneş pillerinde ise inorganik ince film tabaka kullanılmıştır. Bu güneş pillerinin üretim maliyetleri daha düşük olmasına rağmen verimleri %14'ten az olup birinci kuşak güneş pillerine kıyaslanınca yaklaşık %27 daha düşüktür. Teorik olarak tek eklem güneş pilleri Shockley-Queisser termodinamik limitiyle en çok %33 civarında bir verimle çalışabilir. Böylece, daha az maliyetli ve verimi %33'den fazla olan yeni bir güneş pili teknolojisi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Üçüncü kuşak güneş pilleri bu alanda yeni bir çığır açmıştır (Jun, K. 2013). Bu üç nesil güneş pillerinin verimlerinin yıllara göre gelişimi Şekil 1.7.'deki güneş panellerinin yapısına göre etkinlik tablosunda gösterilmiştir.



1.2.3. Güneş Pili Çeşitleri (PV)

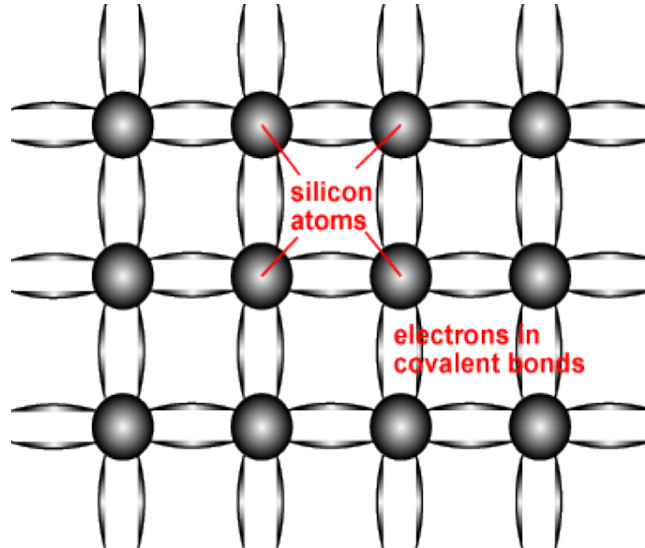
Bu bölümde günümüzde kullanılan ve üzerinde çalışmaların devam ettiği fotovoltaiik paneller diğer adıyla güneş pilleri çeşitlerinin yapıları, kullanım alanları, üretim teknolojileri ile laboratuvar ortamında ya da güneş enerjisi üretim tesislerinde elde edilen verim aralıkları sunulacaktır.

1.2.3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Tekli ya da çoklu kristal silisyum güneş pilleri olarak iki farklı yapıda üretimleri vardır. Fotovoltaik güneş panellerinde en önemli materyal silisyumdur. Silisyum doğada oksijenden sonra en çok bulunan ikinci elementtir. Ancak doğada saf halde bulunmazlar. Silisyum doğada oksijenle bileşik şekilde ya da doğal kum formunda bulunur.

1.2.3.1.1. Tekli Kristal Silisyum Güneş Pili

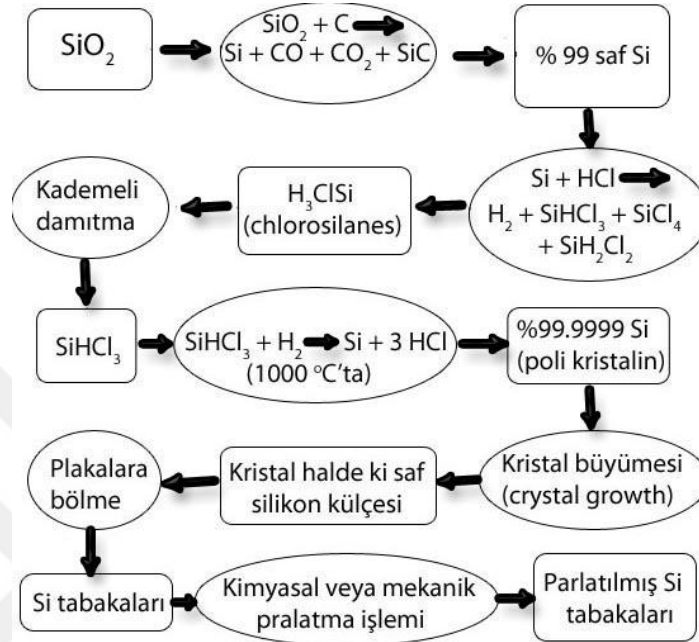
Silikonlu güneş pilleri günümüzde tekli kristal veya çoklu kristal silisyum tabaka olarak üretilmektedir. Tekli kristal silisyum tabakalar daha iyi malzeme yapısına sahiptir ancak maliyetleri daha yüksektir. Kristal silikon, öngörülebilir bir davranış sergilerken, dikkatli ve yavaş üretim işlemlerinden dolayı, en pahalı silisyum türü olarak bilinir. Silikon atomlarının düzenli kristal silisyumda düzenlenmesi ile iyi tanımlanmış bir bant yapısı oluşturur. Silikon atomunun dış katmanında dört elektron vardır. Komşu olan atomlardan elektron çiftleri paylaşılır, böylece her atom komşu atomlarla dört adet bağ oluşturur (Anonim, 2020d). Atomların komşu atomlara nasıl bağlandığı Şekil 1.8’de görülmektedir.



Şekil 1.8. Atomların Komşu Atomlara Bağlanma Şekli (Anonim, 2021h)

Tek kristal silisyum güneş pilleri daha çok kızılötesi ışığa duyarlı olup pillerin verimi yaklaşık %25 olabilmektedir. Silisyum doğada çok bulunan bir element olmasına rağmen saf olarak bulunması zor bir maddedir. Kumdaki oran çok düşüktür ancak

kuvarstaki bu oran %90 civarındadır. Kuvars işlenerek bu oran %99 saflıkla silika elde edilir. Silikadan metalürji kalitesinde silisyum elde edilir. Bundan sonraki aşamada ise silisyum saflaştırılır ve çok kristalli silisyum elde edilir. Şekil 1.9.'da silisyumun saflaştırma aşaması gösterilmiştir (Anonim, 2021).



Şekil 1.9. Silisyumun Saflaştırılma Aşaması (Anonim, 2021)

Pahalı bir yöntem olması bir dezavantajdır. Tek kristalli silisyum güneş pilleri katmanlardan oluşur. Şekil 1.10.'da monokristal silisyum yapıları PV hücre gösterilmiştir.

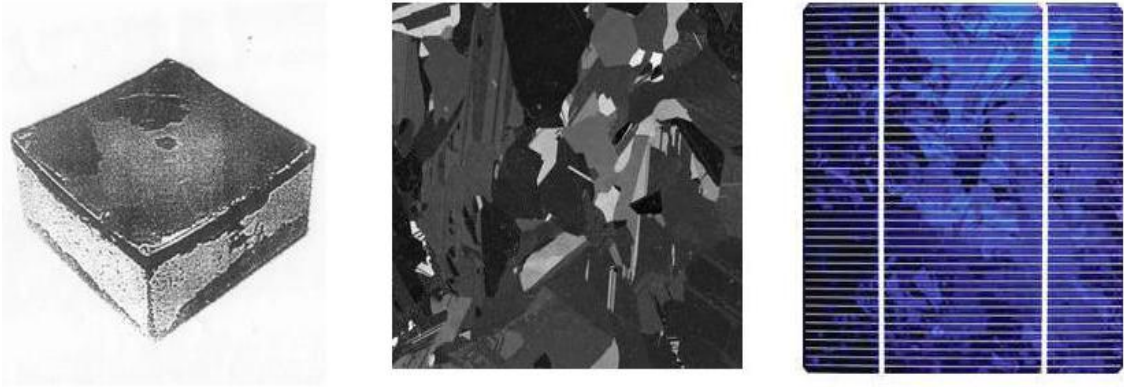


Şekil 1.10. Monokristal Silisyum PV Hücre (Anonim, 2021)

1.2.3.1.2. Çoklu Kristal Silisyum Güneş Pili

Çoklu-kristal PV hücre yapımında dökme yöntemi en sık kullanılan yöntemdir. Başlangıç malzemesi, tek kristalli silisyumda olduğu gibi hazırlanır. Aranan saflık

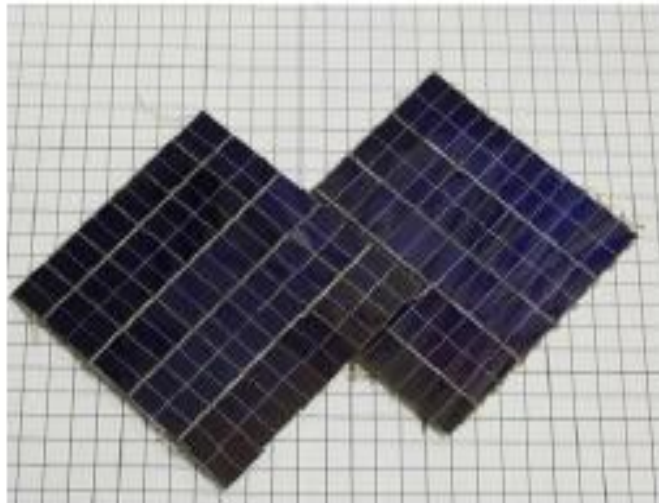
derecesi de tek kristalli silisyuma benzer basamakta olmalıdır. Erimiş silisyumun kalıba dökülerek soğumaya bırakılmasıyla çok kristal silisyum üretilir. Daha sonra ince levhalar halinde kesilirler. Dolayısıyla üretimleri tek kristalin üretimine göre daha ucuzdur fakat silisyum kristallerin sınır bölgelerindeki iç dirençlerin meydana gelmesi nedeniyle verimleri ortalama %15 civarındadır. Şekil 1.11.'de polikristal silisyum yapıları PV hücre gösterilmiştir (Anonim, 2021j).



Şekil 1.11. Polikristal Silisyum PV Hücre (Anonim, 2021j)

1.2.3.2. Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Pilleri

Galyum arsenit güneş pilleri ile laboratuvar ortamında %25 ve %28 verim elde edilmektedir. Diğer yarı iletkenlerle birlikte oluşturulan GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır. Galyum arsenit, yarı iletken aygıtların en önemli hammaddesidir. Bunun nedeni ise elektron hareketliliğinin yüksek olmasıdır (Anonim, 2018). Şekil 1.12.'de galyum arsenit güneş pili gösterilmiştir.

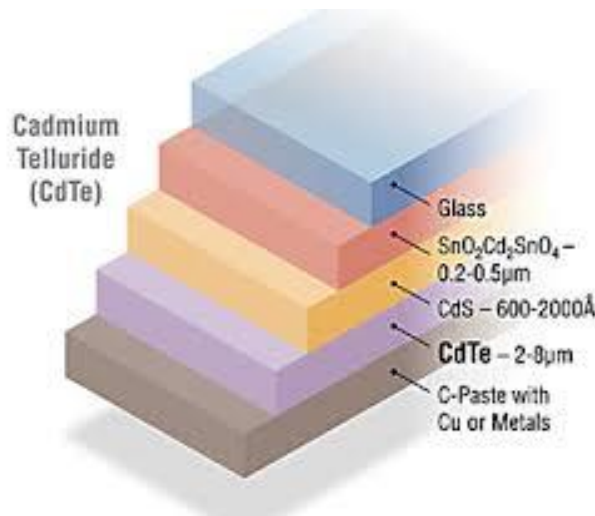


Şekil 1.12. Galyum Arsenit Güneş Pili (Anonim, 2018)

1.2.3.3. Kadmiyum Tellürid (CdTe) Güneş Pilleri

Kadmiyum tellürid (CdTe) güneş pilleri çok kristalli yapıya sahip ışınları soğurmada yüksek verime sahiptir. Yaklaşık 1 μm kalınlığa sahip olmasına rağmen, üzerine gelen güneş ışınlarının %90'nını absorbe edebilmektedir. Üretimi maliyeti düşüktür. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip panellerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir. Paneller üzerinde çok az miktarda kullanılmasına rağmen, kadmiyum zehirli olduğu için üretim aşamasında bazı önlemler alınmaktadır. Yaygın olarak bilinen CdTe güneş pilleri, n-katkılı bir kadmiyum sülfid (CdS) tabakasıyla eşlenen bir p-katkılı CdTe tabakası içeren basit bir p-n heterojen eklem yapıdan oluşur. Tipik CdTe ince film üretim teknikleri arasında, yakın aralıklı süblimleşme, fiziksel-buhar biriktirme, püskürtme ile biriktirme, kimyasal-buhar biriktirme, spreyci biriktirme ve ekran baskı biriktirme yer alır. Şekil 1.13'de CdTe güneş pilleri, yüksek kaliteli bir şeffaf iletken oksit (TCO) flor katkısı yapılmış kalay oksit ($\text{SnO}_2\text{:F}$) ve tipik olarak bir bakır (Cu) veya metal karbon içeren, arka elektrik kontağı eklenerek tamamlanır (Anonim, 2017a).

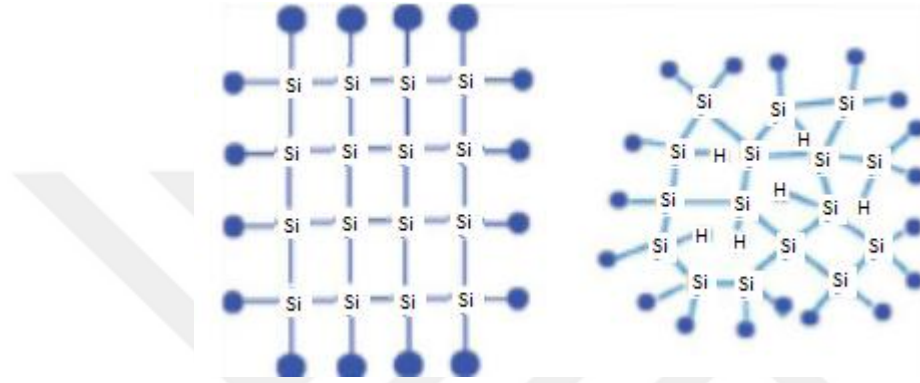
Kadmiyum klorür (CdCl_2) buharlaştırma işleminden sonra genel CdTe güneş pil performansı önemli ölçüde artmıştır. CdTe katmanı CdS katmanı üzerinde büyütülüp 390°C 'ye yaklaşan sıcaklıklarda oksijen ortamında tavlama işlemi gerçekleştirilir. CdCl_2 işlemi, daha büyük CdTe tanelerinin büyümesi ve kusurların pasifleştirilmesi gibi CdTe güneş pilleri üzerinde olumlu etkilere sahip olur (Anonim, 2017a).



Şekil 1.13. Kadmiyum Tellürid (CdTe) Güneş Pili (Anonim, 2017a)

1.2.3.4. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Silikon malzemedeki moleküllerin kristal yapı özelliği göstermediği bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 civarındadır. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılırlar. Ayrıca amorf silisyum direkt güneş ışınımının az olduğu bölgelerdeki santral uygulamalarında kullanılmaktadır. (Matsumoto ve ark., 1990).



Şekil 1.14. Kristal Silisyum ve Amorf Silisyum (Moreno, 2016).

Kristal Silisyum ve Amorf Silisyum arasındaki yapısal farklılıklar Şekil 1.14.'te gösterilmiştir. Bu iki malzeme ile üretilen güneş cihazlarının üretim teknolojisinin farklıdır. A-Si ve diğer “ince film” teknolojilerinde çok ince yarı iletken filmler cam veya diğer düşük maliyetli yüzeyler üzerine biriktirilir (Moreno, 2016).

1.2.3.5. Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri

Optik yoğunlaştırıcı (CPV) sistemlerinde güneş ışınlarını yaklaşık 1 cm^2 'lik hücrenin üzerine odaklanır ve güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. CPV teknolojilerinde ayna ve mercekler gibi maliyeti daha düşük optik malzemeler kullanılır. CPV yoğunlaştırıcılarda ışığın odaklanacağı alana yarı iletken PV malzeme yerleştirilir. Bu sayede daha küçük alana merceklerle sağlanan daha yüksek yoğunluktaki ışık ışınlarının düşürülmesi sağlanır ve daha yüksek verimde enerji üretimi yapılabilir. Burada kullanılan PV malzeme Si'dan yaklaşık 10 kat daha pahalıdır. Ancak yüksek verim ve daha az malzeme kullanımından dolayı toplam maliyeti daha az olmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalara göre; yeni ve çok eklemli güneş hücrelerinin kullanılmasıyla verimi laboratuvar koşullarında %40'a çıkmıştır (Anonim, 2020ç).

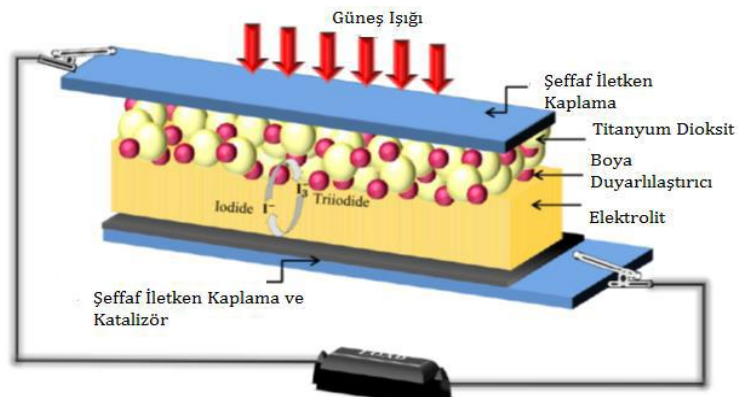
Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemler (CPV), diğer fotovoltaik teknolojinin yaptığı gibi ışığı elektrik enerjisine dönüştürür ancak maksimum verim için her hücrenin üzerine güneş ışığını odaklanması için Şekil 1.15.'deki gibi daha gelişmiş bir optik sistem oluşturur. Ayrıca, CPV sistemleri genellikle verimini arttırabilmek için güneş takip cihazlarını ve bazen de bir soğutma sistemini kullanır (Bagher, 2015).



Şekil 1.15. Yoğunlaştırıcı Güneş Pili (Anonim, 2020ç)

1.2.3.6. Boya Duyarlı Güneş Pilleri

Boya duyarlı güneş pilleri (DSSC), ışığı elektriğe dönüştüren üçüncü kuşak fotovoltaik pillerdir. Bitkilerin yaptığı gibi fotosenteze benzetilir. DSSC 1991'de Prof. Michael Graetzel ve Dr. Brian O'Regan tarafından İsviçre'de geliştirilen Graetzel hücresi olarak adlandırılır. DSSC, kullanıcıya yapay ve doğal ışığın enerjiye dönüştürülmesini sağlayan geniş bir alan yaratır. Hem iç hem de dış mekanlarda elektrik üretmek için kullanılabilecek yeni bir teknoloji oluşturur. Boya duyarlı güneş pilleri, ince film güneş pilleri grubunda düşük maliyetli bir güneş pilidir (Bagher, 2015). Şekil 1.16.'da boya duyarlı güneş pilini kısımları gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Boya Duyarlı Güneş Pili (Swami ve ark., 2015)

1.2.3.7. Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı

Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı güneş pilleri (LSC), boya ya da kuantum noktalarının içerisine gömülmüş veya boyanmış şeffaf bir plastik ya da cam parçasıdır. İnce lüminesan malzeme tabakası genel olarak, organik boyalar, kuantum noktaları gibi ışıldayan türlerle katkılı bir yapıya sahiptir. LSC'lerin kullanılması için en önemli sebep pahalı olan PV'lere kıyasla daha az yer kaplayan daha ucuz bir alternatif oluşturmalarıdır. LSC'lerin diğer bir avantajı ise hem direk hem de eğimli gelen güneş ışınının toplayabilmesidir. Bu nedenle güneşin izlenmesi gerekli değildir (Bagher, 2015).

LSC'lerin geliştirilmesi ile, teorik olarak daha fazla verimliliğe yakın bir çalışma yapısının oluşturulması amaçlanmıştır. İdeal bir LSC, güneşten gelen enerjiyi daha verimli bir şekilde kullanmak için geniş bir soğurma aralığı, emici lüminesan türlerden %100 ışık emisyonu sağlar. Emilim kayıplarını azaltmak için emilim ve emisyon spektrumu arasında büyük bir kayma ve uzun vadeli kararlılık gibi özelliklere sahiptir (Bagher, 2015).

1.2.3.8. Hibrit Güneş Pilleri

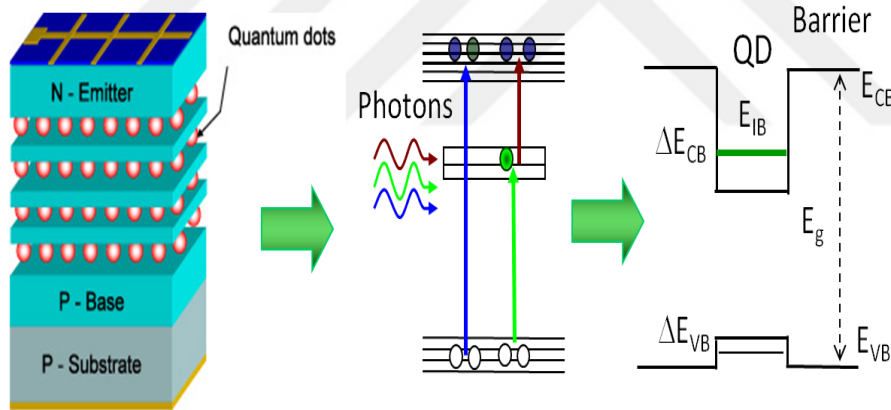
Hibrit güneş pilleri, organik ve inorganik yarı iletkenlerin avantajlarını bir araya getiren pillerdir. Hibrit güneş pilleri, elektron ve boşluk olarak ışığı emen birbirine bağlanmış polimerlerden oluşan organik maddelere sahiptir (Milliron, 2005). Hibrit hücrelerdeki inorganik maddeler, alıcı ve elektron taşıyıcı olarak kullanılırlar. Hibrit fotovoltaiik cihazlar hem düşük maliyetli hem de seri üretime elverişlidir. Hibrit solar hücrelerde, bir fotoaktif katman oluşturmak için elektron iletimi yüksek bir materyal ile organik materyal karıştırılır. İki malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan güneş hücresinin verimliliği tek bir materyal ile oluşturulan güneş hücresinin veriminden büyük olur (Shaheen, 2005).

1.2.3.9. Kuantum Nokta Güneş Pilleri

Kuantum parçacıkları, çapı 2 ile 10nm arasında değişen, yarı iletken özellikteki parçacıklardır. Bu parçacıkların yığın durumlarına göre farklı optik ve elektronik özelliklere sahiptirler. Kuantum parçacıklar silikon germanyum gibi elementlerden üretilirler. Bunun dışında CdS, CdSe, CdTe gibi bileşiklerden de üretilirler.

Parçacıkların üretimi sırasında kristallerin boyutunu kontrol edebilme imkanı olduğu için, materyalin iletkenlik özelliklerinin de hassas bir şekilde kontrol edilmesi mümkündür. Bu da kuantum parçacıkların güneş pillerinde kullanılmasına sağlar. Yığın haldeki materyalde sabit bir bant aralığı mevcut olup kuantum parçacıklar boyuta göre değişen bant aralığına sahiptirler. Büyük parçacıklar küçük olanlara göre daha dar bir enerji seviyesine sahiptirler bu yüzden daha düşük enerjili fotonları soğurabilirler. Kuantum parçacık güneş pillerinin verimleri yaklaşık %5 civarındadır (Anonim, 2020d).

Kuantum nokta güneş pillerinde, fotonları tutabilen fotovoltaiik malzeme olarak kuantum nokta yapılar kullanılır. Kuantum nokta yapılar silika, bakır indiyum galyum selenit (CIGS) veya CdTe gibi malzemelerin yerini almaya çalışır. Kuantum noktaların bant aralığı, kuantum nokta yapıların büyüklükleri değiştirilerek ayarlanabilirken büyük hacimli materyallerde, bant aralığı malzemenin seçimi ile birlikte sabit kalır. Bu özellik, kuantum noktaları, güneş tayfının büyük kısmını toplayarak verimi artırmak için kullanılır hale getirir (Andreas, 2006).

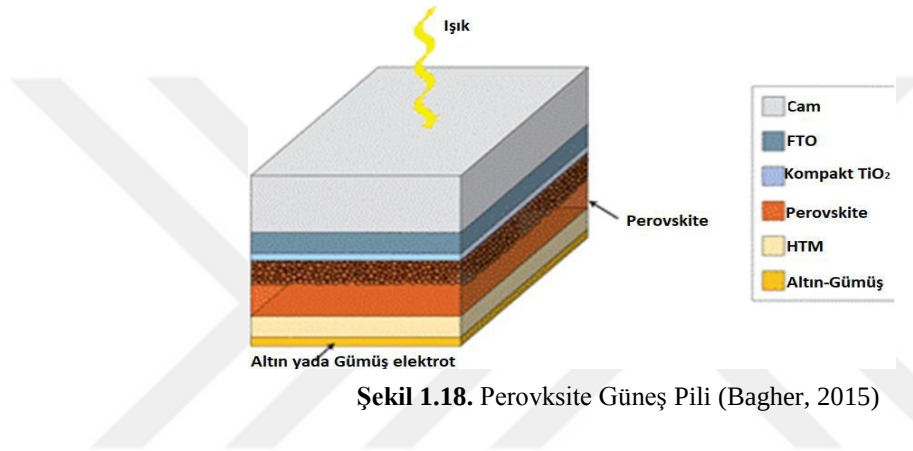


Şekil 1.17. Kuantum Nokta Güneş Pili (Anonim, 2021k)

1.2.3.10. Perovskite Güneş Pilleri

Perovskit, oksit mineraller kategorisinde yer alan, kristal yapısı ABX_3 olan bir mineraldir. Perovskite güneş hücresinde, foton tutucu malzemeler ABX_3 kristal yapıdadır ve bu yapıya perovskite yapı denir. En yaygın olarak incelenen perovskite 2.3eV ile 1.6eV arasında bir bant aralığına sahip metil amonyum kurşun trihalojenürdür ($CH_3NH_3PbX_3$, burada X, I-, Br-, Cl- gibi halojen bir iyonudur). Formamidinum kurşun trihalojenür ($H_2NCHNH_2PbX_3$) 2.2eV ile 1.5eV arasında bant genişliğindedir. Minimum bant açısı, tek eklemlerli güneş hücresi için metil amonyum kurşun trihalid'e

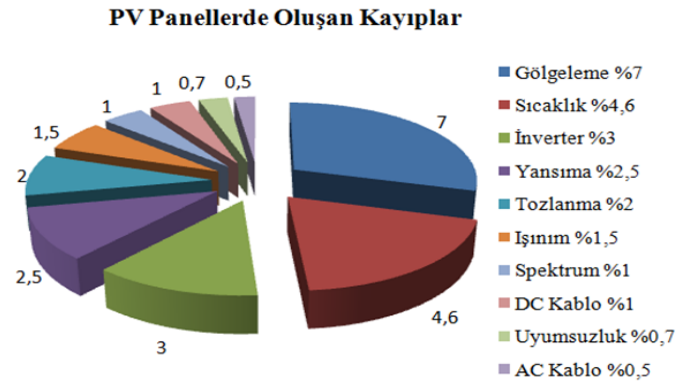
göre en yakın olan açıdır. Bu nedenle daha yüksek bir verime sahip olur (Andreas, 2006). Bu yapıdaki olumsuzluk bileşendeki kurşundur. Bu güneş pillerinde kalay bazlı daha az verimli perovskite yapılarda kullanılır. Perovskite güneş pilleri, bilinen silikon güneş pillerinden daha basit bir yolla üretilir. Geleneksel yüksek saflıkta silikon üretmek için, vakumlu bir odada yüksek sıcaklık (1000°C 'nin üstünde) gerektiren çok aşamalı ve pahalı süreçler bulunur. Şekil 1.19'da görüldüğü gibi perovskite güneş pili yapısında sırasıyla gümüş ya da altın katman, boşluk taşıyıcı katman, perovskite yapı, TiO_2 katman, FTO (Flor katkılı saydam iletken tabaka) ve cam bulunmaktadır. 2012'de ortaya çıkan bu güneş pillerinin verimi %19 civarındadır (Eperon, 2014).



Şekil 1.18. Perovskite Güneş Pili (Bagher, 2015)

1.2.4. PV Panel kayıpları

Şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemde üretilen enerji birçok faktöre bağlıdır. Sistemi oluşturmakta olan bileşenlerin karakteristik değerleri, sistem konfigürasyonu, sistemin coğrafik konumu, kurulum noktasının etrafında bulunan yapılar, kullanılan malzemelerin kalitesi ve çalışma sırasında gerçekleşebilecek arızalar bunlardan bazılarıdır (Grunow, 2009). PV panellerde oluşan kayıplar Şekil 1.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.19. PV Panellerde Oluşan Kayıplar (Grunow, 2009)

1.2.4.1. Işınım kayıpları

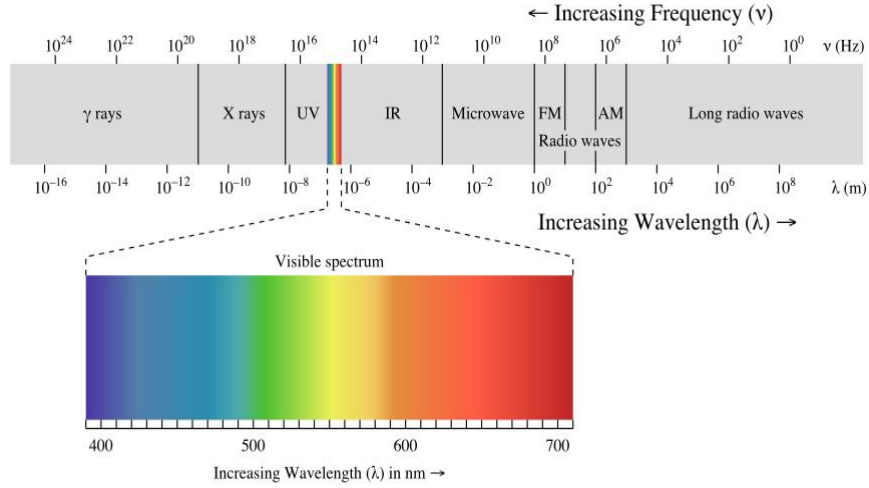
Güneş dünyamızın ışık ve ısı kaynağıdır. Güneş ışığı, ayrıca dünyamıza uzaydan gelen radyasyonun da ana kaynağıdır. Güneş'ten görünür ışık dışında radyasyon içeren morötesi ışınlar da gelir. Bu tür ışınlara iyonlaştırıcı ışın olarak bakılır ve bu ışınlar atmosferden geçemezler. Bu yüzden güneş enerjisinin tümünden yararlanmamız engellenir. Atmosferin sebep olduğu bu kayıplara ışıınım kayıpları denir. Bu ışınlardan yararlanmanın yolu güneş panellerini atmosfer dışına yerleştirmek olabilir. Ya da bu ışınları atmosferde yansıtılmadan tutabilmenin yolları araştırılmalıdır.

1.2.4.2. Modül Düzlem Açısı

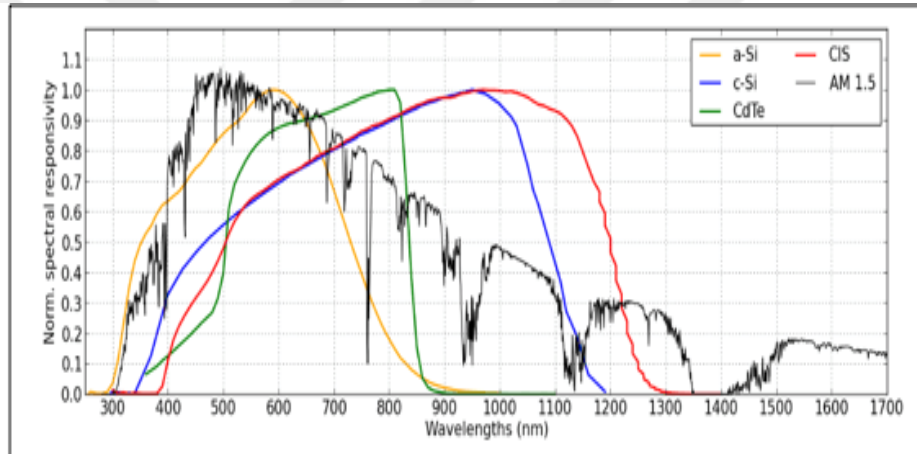
Modül düzleminin yatay düzleme göre eğimi panellerden elde edeceğimiz verimi etkiler. Güneş panellerinden maksimum verim elde etmek için güneşten gelen ışınların panel düzlemine dik olarak düşmesi gerekir. Panellerin bulunduğu coğrafi konum nedeniyle güneş ışınlarının panele daha dik düşmesi için panellerin yatayla yaptığı açıda değişimler olabilir. Ekvatorda panelin yatay düzleme paralel olması güneş ışınlarının panel düzlemine dik düşmesi için yeterlidir. Ancak ekvatorдан kuzey veya güney kutbuna doğru gittikçe güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açı küçülür. Bu yüzden maksimum verim için panellerin eğim açılarının ayarlanmalıdır. Bunun için güneş ışınlarının panel düzlemine dik düşmesini sağlayan ve otomatik olarak hareket eden panel sistemleri geliştirilmiştir (Anonim, 2017b).

1.2.4.3. Spektrum Kayıpları

Anlık ışıınımlarda, AM 1.5'teki (Air mass) standart güneş ışıınımlında herhangi bir sapma olursa, sistemdeki PV modüllerin spektral tepkilerindeki seçicilikten kaynaklanan kayıplar oluşur. Güneş ve gökyüzü ışıınımları için yıl boyunca gözlemlenmekte olan spektrum, açık gökyüzünün ideal spektrumundan (AM 1.5) farklılık gösterir. Bu farklılıklardan dolayı sapmalar hesaba alınarak, toplam yıllık olarak gelen güneş ışıınımlı solar hücre teknolojisine bağlı olarak belli bir oranda azalır (Grunow, 2009). Şekil 1.21.'de dalga boyu ve frekansa bağlı olarak elektromanyetik spektrum görülmektedir.



Şekil 1.20. Elektromanyetik Spektrum (Anonim, 2021)



Şekil 1.21. Farklı PV Teknolojilerinin Spektral Tepkileri (Grunow, 2009)

c-Si (Kristal Silisyum) ve CuIS (Bakır İndiyum Selenür) teknolojilerinin spektral tepki aralıkları diğer teknolojilere göre daha fazladır. CdTe (Kadmiyum Tellürid) ve a-Si malzemeden üretilmiş PV paneller 350–800nm aralığında salınan daha küçük spektral tepki alanlarına sahiptir. a-Si malzemeden yapılmış modüller güneş ışınımında ve yüksek güneş açılarındaki daha fazla enerji üretirler (Grunow, 2009).

1.2.4.4. Gölgeleme Kayıpları

PV panellerin performansını ve verimini etkileyen en önemli faktörlerden birisi gölgelemenmeden dolayı oluşan kayıplardır. Gölgeleme neden olabilecek faktörlere komşu binalar, ağaç ve enerji nakil direkleri örnek olarak verilebilir. Özellikle şehir

merkezlerinde birbirine çok yakın inşa edilmiş binalar, çatılara kurulmuş PV panellerinde gölgelenmeye neden olabilmektedir (Salema, 2015).



Şekil 1.22. Güneş Panellerinde Gölgeleme Sorunu (Anonim, 2021m)

PV sistemlerinin yanlış dizilimi ve yanlış tasarımı gölgelenmeye sebep olabilmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında doğru tasarım yapılmalıdır. PV sisteminin kurulduğu yer doğru seçilmelidir (Salema, 2015). Fotovoltaik panellerin çevresindeki herhangi bir yapıdan dolayı gölgede kalması da panelin enerji üretme verimliliğini etkilemektedir. Gölgeye neden olan etkenler arasında bulut, ağaç veya ormanlık alanlarına yakın olma, yapraklar, binalar, dağlar, çatılarda baca gibi gölge oluşturabilecek yapılar olabilir. Panel hücreleri üzerindeki herhangi bir gölgelenme verimliliğe büyük oranda etki eder. Bir hücredeki gölgelenme diğer dizelerde ki hücrelerin performansını da etkiler ve verimi düşürür.

1.2.4.5. Toz Kayıpları

Tozlanmadan kaynaklanan kayıplar için yapılan araştırma sonuçlarına göre, özellikle yağış oranının çok az olduğu alanlarda bu kayıpların bazı durumlarda %15'e ulaştığını gösterir (Maghami, 2016). Güneş panelleri günümüzde kendini temizleyememekte ancak insan gücüyle temizlenebilmektedir. Rüzgar yoluyla taşınan toz, yaprak gibi materyaller bunun oluşmasında etkilidir. Ayrıca kuş pisliği ve tozlu yağmur olayları da unutulmamalıdır. Tüm bu olayların ardından panellerin temizlenmesi gerekir. Verim düşer ancak düzeltilmesi kolay olan kayıp türüdür. Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarına göre tozlu olan bölgelerde kayıplar %25 gibi bir orana çıkabilmektedir (Anonim, 2021n).



Şekil 1.23. Güneş Panellerinde Tozlanma Sorunu (Anonim, 2021n)

1.2.4.6. Yansıma Kayıpları

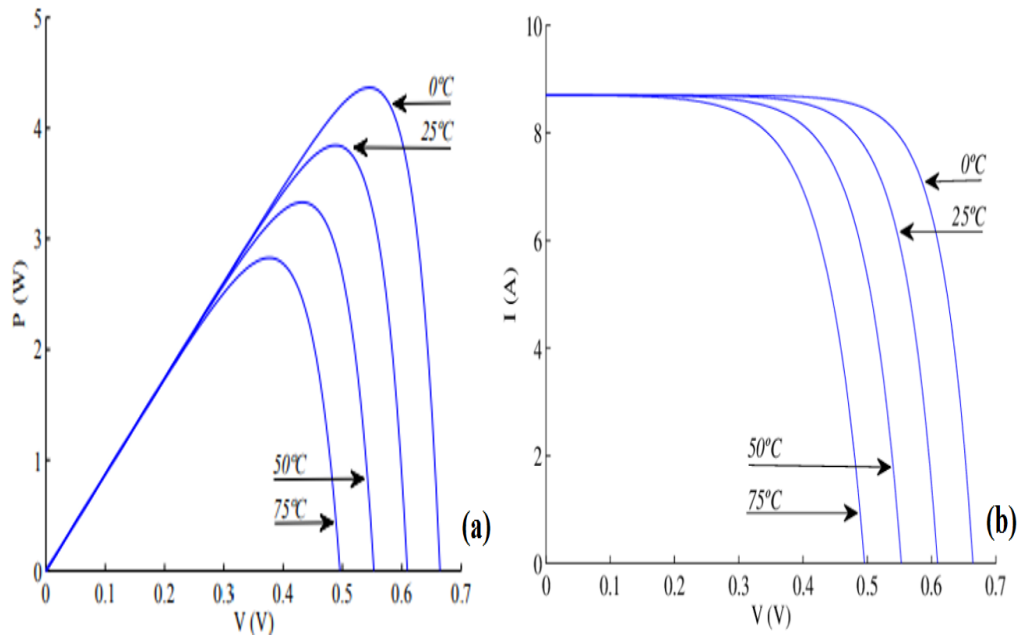
Fotovoltaik paneller üzerine gelen güneş ışınımının tamamını absorbe edemezler. Burada yüzeye gelen ışığın bir kısmı yansıtılarak geri döner. Bu panellerde yansıma kaybına sebep olur. Yansıma kayıplarının azaltılması fotovoltaik modüller farklı katmanlarda üretilirler. Fotovoltaik modüllerin güneş ışınımını daha fazla absorbe etmesi ve yansımanın azalması için temperli bir yapıya sahiptirler. Hücreler yansıma önleyici kaplama (Anti-Reflective Coating) malzeme ile üretilirler. Yansıyan ışınımın şiddeti güneş ve modül arasındaki açıya ve modülün kırılma indeksine bağlıdır (Anonim, 2009). Kristal silisyum, amorf silisyumdan daha fazla ışık toplamaktadır. Buradaki amaç ışığı hapsederek yansımaları mümkün olduğu kadar minimum seviye indirmektir. Hücreler de aynı şekilde ışığın yansımalarını önleyecek yansıma önleyici kaplama malzeme ile kaplıdır. Yansıyan solar ışınımın şiddeti güneş ve PV modül arasındaki açıya ve modülün kırılma indisine bağlıdır. Normal bir ışınımında solar modüller gelen ışığın %4'ünü yansıtırlar (Anonim, 2009).

1.2.4.7. Termal Kayıplar

Bir fotovoltaik modülde elde edilen güç ile modül sıcaklığı arasında ters orantı vardır. Modülün sıcaklığı arttıkça PV modülden alınan güç azalır. Sıcaklıktan kaynaklanan termal kayıplar, modül sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Ortamın sıcaklığı modül sıcaklığını arttıracak için verimi de olumsuz olarak etkileyecektir. Güneş

panelleri, 25°C , 1000W/m^2 güneş radyasyonuna ve AM 1.5 (hava kütlesi) karşılık gelen standart test koşulları altında test edilir. Panelin verimliliği, standart test koşullarına göre hesaplanır. Elektrik üretimi, PV modül yüzeyine güneş ışınımının ulaşmasıyla başlar. Güneş ışınlarının bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken, bir kısmı ısı enerjisine dönüşür (Kane, 2013).

Panelde meydana gelen sıcaklık arttıkça panelin performansı da düşmeye başlar. PV panelleri, tüm güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmez. PV panellerinin enerji dönüşüm oranı yaklaşık %5-25 aralığındadır. Bu nedenle, güneş modüllerinin elektrik enerjisine dönüştüremediği enerji modüllerin ısınmasına ve dolayısıyla termal kayıplara neden olur (Sabri, 2014). Güneş panellerinin en iyi çalışma sıcakları 25°C 'de gerçekleşmektedir. Yüzeyde meydana gelen artışlar 45°C 'yi aştığında verimde ciddi azalmalar meydana gelmektedir. Oluşan kayıpların önlenmesi için panel altından bir akışkan gezdirerek veya faz değiştiren malzeme konarak yüzeyde oluşan ısıyı akışkana veya faz değiştiren malzemeye transfer edip yüzeye sıcaklığında düşüş oluşturarak verim artırılır (Thomas, 2001).



Şekil 1.24. $0-75^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarındaki (a)P-V grafiği (b)I-V grafiği (Rodrigues ve ark., 2011)

1.2.4.8. Kablo Kayıpları

Kablo kayıpları, Fotovoltaik güneş sistemlerde kullanılan kabloların direncinden kaynaklanır. Kabloların boyutlandırılması, sistemin tasarımı için önem arz etmektedir.

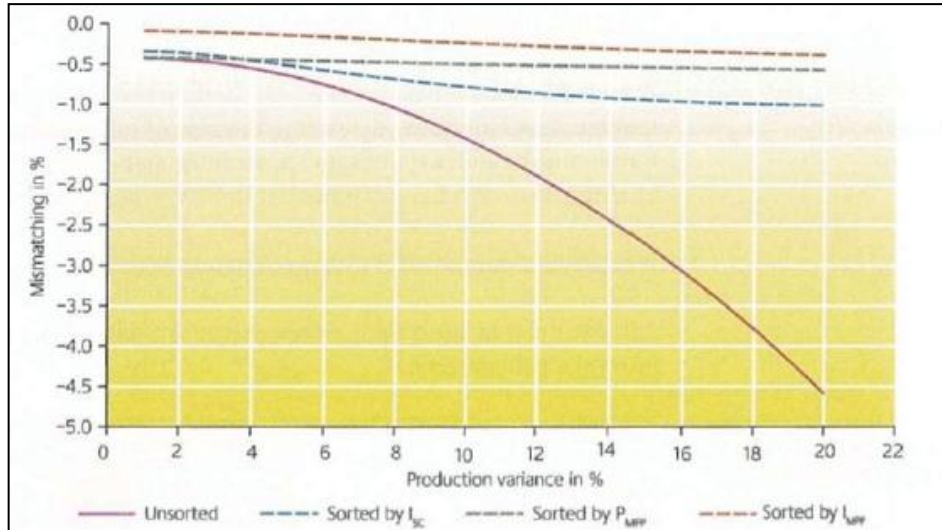
Birbirine seri ve paralel bağılı fotovoltaiik paneller, DC kablolar aracılığı ile invertöre bağlanmalıdır. Burada iletkenin kesiti, gerilim düşümü ve kablo fiyatları için en doğru karar verilmelidir. İyi tasarlanmış bir sistemde kablo kayıplarının %2'den az olması gerekir ve bu oranın zamanla yükselmemesi gerekir. Kablolardan kaynaklanan enerji kayıpları, kablo direncinin artmasıyla doğru orantılıdır. Sistem kayıplarının önemli bir kısmı da elektriksel kısımlarda meydana gelir. Bu kayıpların bir kısmı kablolarda, bir kısmı da doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için kullanılan invertörlerde meydana gelir. (Ancuta, 2011).

1.2.4.9. Modül Teknik Özelliklerindeki Sapmalar

Fotovoltaiik panellerinin katalog değerleri ile gerçek değerleri arasındaki farklılıklar modül teknik özelliklerindeki sapmaları meydana getirir. Solar hücrelerinin performans verilerinde oluşan sapmalar ve üretim süreçlerindeki standart parametrelerin tutturulamaması, saha koşullarında güç değerlerinin dalgalanmasına sebep olur. Bu durum, enerji üretim rakamlarında öngörülen değerlerin saha koşullarında daha düşük değerlerde çıkmasına sebep olmaktadır (Herrman, 2006).

1.2.4.10. Uyumsuzluk Kayıpları

Sistemde istenilen gerilim ve akımını sağlayabilmek için fotovoltaiik paneller birbirlerine seri ya da paralel şekilde bağlanır. Ancak elde edilen toplam güç, fotovoltaiik panellerin teorik güçleri toplamından daha düşük bir orana sahip olabilir (Henze, 2009). Fotovoltaiik dizisindeki modüllerin birbirlerinden farklı çalışma sıcaklıklarında bulunması veya farklı ışıınım değer ve açılarına maruz kalması durumlarında uyumsuzluklar meydana gelir. Ayrıca fotovoltaiik dizisindeki modül kabloları arasındaki mesafe ve kesit farkları uyumsuzluk kayıplarına neden olabilmektedir. Modüllerin maksimum güç noktasından uzakta çalıştırılması da dinamik uyumsuzluk oluşturur. Paralel bağlantıda gerilimin, seri bağlantıda ise akımın tüm modüller için eşit olması nedeniyle seri veya paralel olarak birbirlerine bağlanmış fotovoltaiik paneller maksimum güç noktalarında çalışamayabilir (Herrman, 2005). Hermann'ın yaptığı çalışmaya göre her birinde 150W'lık modül bulunan 8 diziden oluşan bir PV dizisinde uyumsuzluk kayıpları Şekil 1.26.'da gösterilmiştir.



Şekil 1.25. 150 Watt'lık Modül Bulunan 8 Diziden Oluşan Bir PV Dizesinde Uyumsuzluk Kayıpları (Herrman, 2006)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Thomas, (2001) Güneş panellerinin en iyi çalışma sıcaklarının 25°C 'de gerçekleştiğini belirtmiştir. Yüzeyde meydana gelen artışlar $40-45^{\circ}\text{C}$ 'yi aştığında verimde ciddi azalmalar meydana geldiğini belirlemiştir. Panelde oluşan kayıpların önlenmesi adına panel altından bir akışkan gezdirerek veya faz değiştiren malzeme konarak yüzeyde oluşan ısıyı akışkana veya faz değiştiren malzemeye transfer edip yüzeye sıcaklığında düşüş oluşturarak verimin artırıldığını belirtmiştir. Yeşilata ve Fıratoglu (2003) elektriksel yükün akım ve gerilim arasındaki lineer ilişkiyi, panelin maksimum çalışma noktası için optimum direnç değerini tespit etmişlerdir. Engin ve ark. (2005) doğal ve zorlanmış (pompa) sistemlerindeki verimleri İzmir ili iklim koşullarında incelemişlerdir. Doğal dolaşimli sistem ve pompa yardımıyla oluşturdukları zorlanmış dolaşimli sistem üzerinde yaptıkları deneyde elektriksel verimi %4.5 artırmışlardır. Fraisse ve ark. (2007) Fransa'nın Macon ilinde PV modüller üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda, cam kaplı PV modülün yıllık elektriksel verimini %6.8 bulurken, camsız PV modülün yıllık elektriksel verimini %9.4 olarak bulmuşlardır. Camlı PV modülün elektriksel verim değerinin camsız PV modülün elektriksel verim değerine nazaran %28 düşük olmasının nedenini ise cam kaplama ile PV modül camı arasındaki sıcaklık yükselmesine bağlamışlardır.

Ji ve ark. (2007) doğal sirkülasyonlu bir PVT-su kolektörü yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre bu sistemin %65'e varan enerji kazanımı sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca bu sistem için yapılan simülasyon sonuçlarına göre, yüksek doluluk oranı (packing factor) ve sır geçirgenliğinin toplam sistem performansının arttığı gözlenmiştir. Keçel ve Yavuzcan (2008) Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki sıcaklık farklarından doğacak kayıpların PV panellerin verimliliği üzerindeki etkileri incelemişler, kullanılacak panellerdeki kayıpların en aza indirgenmesi için öneriler geliştirilmişlerdir. Hassan'ın (2010) daha verimli olabilecek bir PCM malzemesini araştırdığı doktora tez çalışmasında hem iç hem de dış mekânda 500W/m^2 , 750W/m^2 , 1000W/m^2 ısıtım şiddeti altında küçük ve büyük boyutlardaki soğutma sistemini kullanmıştır. Uygun PCM malzemesi ile $1,000\text{W/m}^2$ güneş ısıtımını altında 5 saatlik bir periyotta panelin ön yüzey sıcaklığında 15°C 'lik bir azalma olduğunu göstermiştir. Güç kazanımı ise referans PV hücresinden %9.7 daha fazla olarak kaydedilmiştir. Kostic ve ark. (2010) panel yüzeyinde yansıtıcı kullanılmadan PV/T kolektörlerin termal ve elektrik verimliliğini hesaplamışlardır. Yapmış oldukları hesaplamaları kullanarak PV/T

kolektörün toplam verimliliğini ve enerji tasarrufu oranını belirlemişlerdir. Rosa-Clot ve ark. (2010) monokristalin PV paneli soğutmak için bir batırma tekniği kullanmışlardır. Bu çalışmada sıcaklık 30°C 'de tutulmuş ve 4cm derinlikte verim %11'e kadar arttırılmıştır ancak su içine batırmanın derinliği arttıkça güneş ışınının yoğunluğunun azaldığı gözlemlenmiştir.

Sarhaddi ve ark. (2010) panel altına yerleştirdikleri hava kanalları ile panel soğutma işlemi yapmışlardır. PV/T hava toplayıcının termal ve elektriksel parametrelerini hesaplamak için simülasyon geliştirmişlerdir. PV/T hava toplayıcısının ısı verimi, elektriksel verimi ve toplam enerji verimleri sırasıyla %17, %18, %10.01 ve %45 olarak gözlemlemişlerdir. Shenck (2010) Hücre sıcaklığının standart çalışma sıcaklığı 25°C üzerine çıktığında güneş paneli daha az verimle çalıştığını ve gerilimin düştüğünü gözlemlemiştir. 80°C ve 90°C arasındaki sıcaklıklardaki bir panel, artan her bir derecede %0.5 verim kaybettiğini belirlemiştir. Bu yüzden üsteki hava akışının ısıyı gidermek için kritik olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle ısıyı giderebilen bir montaj planının önemini belirtmiştir. Shenck'e göre aküsü olmayan güneş sisteminde sıcaklık artışı fark edilir. Fotovoltaik güneş pilinin verimliliğinin sıcaklık artışı ile azaldığı için soğutmanın gerekli olduğu kabul edilir. Sıcaklık, PV veriminin azalmasına ve çıkış gücüne etki eden en önemli parametredir. Sıcaklık arttıkça bant boşluğu büzülür, büzülmeden dolayı açık devre gerilimi düşer. Cuce ve ark. (2011) polikristalin PV hücre üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. PV hücrelerinden birine ısıyı yaymak için alüminyum kanatçık eklemişlerdir. Ölçümleri kıyaslayabilmek için kanatçık eklenmemiş başka bir PV hücresi kullanmışlardır. Çalışmada $200\text{W}/\text{m}^2$ 'den $800\text{W}/\text{m}^2$ 'ye kadar çeşitli ışınlam değerlerini kullanmışlar ve farklı ortam sıcaklıklarında deneyleri yapmışlardır. Kanatçık ile soğutma yapılan PV hücresinin elektrik verimliliğinde %9 artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

El-Seesy ve ark. (2012) Kahire'nin çevre şartlarında termosifon etkisi ile PV modül soğutması yapmışlardır. Bunun için $46 \times 56.5\text{cm}$ ölçülerinde polikristalin PV hücresinin altına soğurucu bakır borular yerleştirmişlerdir. Boruları PV modüle sabitlemek için silikon dolgu macunu kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda PV veriminde yaklaşık olarak %2 artış elde etmişlerdir. PV/T (photovoltaic/thermal) sisteminin toplam verimi ise %42.45 olarak kaydedilmiştir. Kamkird ve ark. (2012) sıcaklığın akım, gerilim, güç ve verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Silisyum PV'nin diğer panellere göre sıcaklığın olumsuz etkisinden daha az etkilendiğini göstermişlerdir. Teo ve ark. (2012) sıcaklığın belirgin bir şekilde artmasıyla PV

sistemlerindeki elektriksel verimin olumsuz yönde etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışma ile aktif soğutma için havayı homojen olarak PV panelin arkasından dolaştırıp soğutmayı başarmışlar ve %12-14'lük verim artışı elde etmişlerdir. Tyagi ve ark. (2012) PV/T hibrit sistemler için araştırma, geliştirme ve uygulanabilirliğine ilişkin genel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında PV/T soğutma kullanarak %7 verim artışı elde etmişlerdir. Bahaidarah ve ark. (2013) Fotovoltaik bir modülün sıcak iklim koşulları için arka yüzeyden su soğutması ile performans değerlendirmesi adlı çalışması ile PV panellerin performansının çalışma sıcaklığına büyük ölçüde bağlı olduğunu belirtmiştir. Panel tarafından emilen enerjinin çoğu normalde kaybedilen ve hiçbir değer sağlamayan ısıya dönüştürüldüğünü belirtmiştir. Hibrit bir PV su soğutmalı sistemin performansını incelemek için, EES (Mühendislik Denklem Çözücüsü) yazılımı kullanılarak sayısal bir model (Elektriksel ve Termal) geliştirilmiştir. Sistem, performansını etkileyen çeşitli elektriksel ve termal parametreleri kullanmıştır. Modülün arka yüzeyinde bir ısı eşanjörü (soğutma paneli) içererek soğutulmanın etkisini deneysel olarak incelemiştir. Aktif su soğutmasında, modül sıcaklığı yaklaşık %20 azalırken, PV panel verimliliğinde %9'luk bir artış olmuştur.

Ike ve ark. (2013) ortam sıcaklığının PV panel performansına etkisini araştırmış ve ortam sıcaklığı ile sistemin güç çıkış performansı arasında dolaylı bir orantı olduğunu göstermişlerdir. PV panellerin daha fazla hava akımına maruz kalabilecekleri bir yere montajıyla PV yüzeylerinin aşırı ısınmadan daha az etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Yüzey sıcaklığının düştükçe güç çıkışının daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Kane, (2013) Güneş panelleri, 25°C , 1000W/m^2 güneş radyasyonunda ve AM 1.5 (hava kütlesi) karşılık gelen standart test koşulları altında test edilir. Panelin verimliliği, standart test koşullarına göre hesaplanır. Elektrik üretimi, PV modül yüzeyine güneş ışınımının ulaşmasıyla başlar. Güneş ışınlarının bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken, bir kısmı ısı enerjisine dönüşür. Moharram ve ark. (2013) farklı olarak PV modülünü ön yüzünden soğutmuşlardır. Soğutmanın sonucu olarak toplam verim artışı yaklaşık %1.5 olarak ölçmüşlerdir. Ayrıca bu yöntemin, tozun önemli bir faktör olduğu Sahra ve Orta Doğu gibi bölgelerde PV panelinin ön yüzeyini temiz tutacağını belirtmişlerdir. Kabul ve Duran (2014) sıcaklığın 39.9°C olduğu bir günde özdeş iki panelden (175W) birinin arka yüzeyine borular yerleştirmiş ve içinden soğuk su çevrimi yaparak panel yüzeyini soğutmuşlardır. Yüzey soğutmalı PV'de %35'lik güç artışı ve %7'lik verim artışı gözlemlemişlerdir. Fudholi ve ark. (2014) fotovoltaik/termal (PV/T) sistemde 800W/m^2 ışınlam seviyesinde ve farklı debilerde su

kullanarak elektriksel verimi %13.8 termal verimi ise %54.6 gözlemlemişlerdir. Farklı debilerde yapılan analizlerde akış hızının panel yüzeyi soğutulması ve termal enerji performansını etkilediğini göstererek, suyun debisini 0.041kg/s'den 0.024kg/s'ye indirdiklerinde sıcaklığın önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Sabri (2014) Panelde meydana gelen sıcaklık arttıkça PV performansı da düşmeye başlar. PV panelleri, tüm güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüremez. PV panellerinin dönüşüm oranı yaklaşık %5-25 aralığındadır. Bu nedenle, güneş modüllerinin elektrik enerjisine dönüştüremediği fazla enerji modüllerin ısınmasına ve dolayısıyla termal kayıplara neden olur.

Smith ve ark. (2014) yoğunlaştırılmış Güneş ışınımı altında PV hücrelerini ön taraftan sprey su soğutması ile soğutmuşlardır. Onlar da mono kristalin PV panel kullanmışlardır. Sürekli su soğutması sonucunda pompanın güç tüketimi de göz önüne alındığında net güç kazancının %4.6 olduğunu göstermişlerdir. Zhu ve ark. (2014) Güneş ışınımındaki fotonlara müdahale etmeden sadece ısıyı toplayıp ortama atan silikon saydam bir tabaka ile PV modül soğutması çalışması yapmışlardır. Chandler ve ark. (2015) monokristal PV'lerde sıcaklığın etkisini panellerin seri ve paralel bağlanması durumuna göre incelemişlerdir. 25-60⁰C aralığında hücre sıcaklığındaki PV ile 550W/m² ışınımı bulunan ortamda deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklığın açık devre gerilimi, dolum faktörü ve verimi düşürdüğünü, aksine kısa devre akımını ise arttırdığını gözlemlemişlerdir. Sahay ve ark. (2015) PV hücrelerinde sıcaklık artışına bağlı olarak 1⁰C sıcaklık artışında %0.85 verim düşüşü kaydetmişlerdir. PV'deki bu düşüşü minimize etmek için düşük maliyetli bir soğutma sistemi yapılmasını ve PV'lerin soğutulmasında uzaklaştırılan ısının ise evsel veya endüstriyel kullanımlar için uygun olabileceğini belirtmişlerdir. Du ve ark. (2016) panel yüzey sıcaklığının verime olan etkisini incelemek için rüzgâr hızının 4m/s'den fazla olduğu bir günde PV yüzey sıcaklığının 40⁰C altına indirilebildiğini ve PV verimini %9'a yükseltebildiklerini göstermişlerdir. Grubisic-Cabo ve ark. (2016) PV hücrelerinin soğutulmasını; pasif soğutma teknikleri, ısı boru soğutması, aktif soğutma teknikleri, nano akışkan soğutması, termoelektrik soğutma olarak beş ana başlık altında toplamışlardır.

Zhijun ve ark. (2017) Birleşik Krallıkta yapmış oldukları çalışmada 2 adet fotovoltaiik paneli kullanıp birini su soğutarak diğerini ise sadece kıyaslama yaparak incelemişlerdir. Deney sonucunda %47 verim elde edilmiştir.

Rawat ve ark. (2017) PV yüzeyini soğutmak için PV/T sisteminde hava ve su kullanmışlardır. PV verimlerini hava ile %6.5 ve su ile %7.5 artırmışlardır. Peng ve ark.

(2017) yapmış oldukları çalışmada fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklığının verim ile ilişkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda suyu soğutarak fotovoltaik panellerin verimlerinin %47' ye varan düzeylere çıkabileceğini ve geri ödeme süresinin %20 azaldığını bulmuşlardır. Ceylan ve ark. (2019) PV Panellerinin Isı Aktarım Kategorisinin Belirlenmesi adlı çalışmasında, arka paneldeki hava hızının soğutmadaki etkinliği, panellerin bulunduğu ortamdaki sıcaklık ve güneş ışıınımı esas alınarak incelenmiştir. Panellerin soğutulması sırasında, arka panel sıcaklığı düşmüştür ve buna bağlı panellerin açık devre gerilimi artmıştır. Panellerdeki en önemli kayıplar ise; güneş radyasyonu ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak panel sıcaklığındaki artıştan kaynaklanmıştır. Bu çalışmada, arka panel sıcaklık değişiklikleri 0-5m/s hava hızlarında ve 10-40⁰C'de gözlenmiştir. Bu çalışma, arka panel hava hızının dış hava sıcaklığına ve değişen arka panel sıcaklığına bağlı olarak yüzeyden ısı transferini araştırmıştır. Farklı dış hava sıcaklıklarının arka paneldeki ısı aktarımı üzerindeki etkisi minimum bulunmuştur. Hava hızı 5m/s ve dış hava sıcaklığı 10-40°C olduğunda, Polikristal Güneş paneldeki ısı transferi 11.6W/m²K olarak hesaplanmıştır. Gül ve ark. (2019) PV verimini artırmak için su ile PV yüzey sıcaklığını düşürmek istemişlerdir. Üç farklı akışkan hızlarında (0.015kg/s, 0.044kg/s ve 0.069kg/s) yapılan ölçümlerde sistemin termal veriminin %49.9 ile %52.11 arasında değiştiğini ve 12.9W'lık maksimum güç artışı ile %12 elektriksel verim artışı gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada Batman ili için belirli iklim koşullarında güneş panellerinin farklı yüzeylerinin tasarlanan düzeneklerle su ile soğutularak sistemde oluşan verim değişikliklerinin deneysel analizi yapılmıştır. Panel yüzeylerinin soğutulması için tasarlanan sistemde Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi üç adet özdeş fotovoltaiik panel kullanılmıştır.

I. Arka Yüzeyden Soğutulan Panel: Panelin arka yüzey ölçülerine göre çift tabaka şeklinde ve sızdırmaz olarak tasarlanmış camdan geçirilen su ile soğutulan panel.

II. Ön Yüzeyden Soğutulan Panel: Panelin ön yüzey ölçülerine göre çift tabaka şeklinde ve sızdırmaz olarak tasarlanmış camdan geçirilen su ile soğutulan panel.

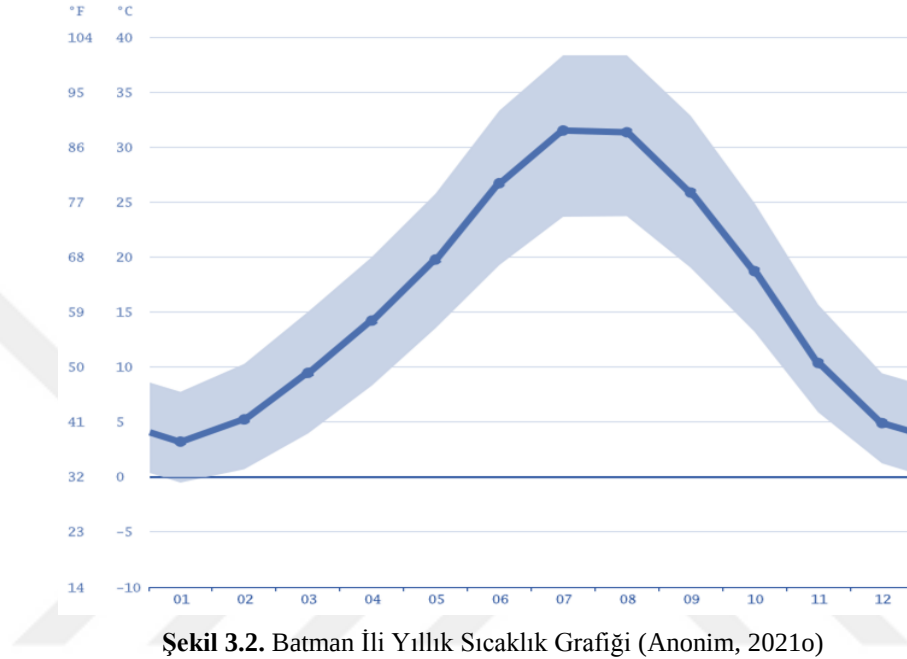
III. Boş Panel: Yüzeyleri boş olarak kullanılan panel.



Şekil 3.1. Deney Düzenğinde Panellerin Yerleştirilme Şekli

Deney Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüs'ü yerleşkesinde ve Ağustos ayında yapılmıştır. Deney için Batman iklim koşulları göz önünde bulundurularak

deneyin daha iyi sonuç vermesi için yaz aylarında yapılması uygun bulunmuştur. Batman ili Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Csa olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmaya göre kış ayları ılık, yaz ayları ise çok sıcak ve kurak geçmektedir. Batman ilinin Ağustos ayı sıcaklık ortalaması maksimum 39.4°C 'dir. Batman ili yıllık sıcaklık grafiği Şekil 3.2.'de gösterilmiştir (Anonim, 2021o).



Şekil 3.2. Batman İli Yıllık Sıcaklık Grafiği (Anonim, 2021o)

Üç özdeş fotovoltaik panel üzerinde farklı şekilde tasarlanan sistemlerle farklı günlerde farklı debilerde soğuk su geçirilerek suyun panel yüzeylerinde oluşturduğu zamana bağlı sıcaklık değişimleri ve panellerin elektriksel güçleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyde kullanılan özdeş panellerden biri kontrol ve karşılaştırma amaçlı olarak boş bırakıldı. Bu panelin ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları dataloger ve termokupl bağlantıları yapılarak bilgisayar üzerinden zamana bağlı değerleri ölçüldü. Yine boş panelimizin zamana bağlı olarak oluşan Akım (Amper) ve Gerilim (Volt) değerleri tasarlanan elektrik devresiyle ölçülerek oluşan maksimum Güç (Watt) değerleri hesaplandı.

Diğer panelin ön yüzeyine panelin ön yüzeyine geçecek ölçülerde; 43x65.5cm ebatlarında 3mm kalınlığında 2 adet şeffaf cam blokları kesilerek bunların kenarlarına 2cm genişlikte ve 6mm kalınlığında cam çıtalar kesildi. Bu çıtalar CSS 25 marka su sızdırmaz silikonla cam bloklarının kenarına yapıştırıldı ve arasından su geçirilen sızdırmaz çift tabakalı cam elde edildi. Ancak cam blok içine su giriş ve çıkışlarının olması için 0.6x1cm'lik açıklık bırakıldı. Bu açıklığa 0.5cm çapında ve 8cm

uzunluğunda bakır borular geçirilerek su geçişleri sağlandı. Bakır borulara da Şekil 3.3.'deki gibi şeffaf plastik borular geçirildi. Düzenek kurulduktan sonra panelin ön yüzeyinden farklı günlerde farklı debilerde soğuk su geçirildi. Bu panelimizin de ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları ile su giriş ve çıkışları dataloger ve termokupl bağlantıları yapılarak bilgisayar üzerinden zamana bağlı değerleri ölçüldü. Yine panelimizin zamana bağlı olarak oluşan Akım (Amper) ve Gerilim (Volt) değerleri tasarlanan elektrik devresiyle ölçülerek oluşan maksimum Güç (Watt) değerleri hesaplandı.



Şekil 3.3. Ön Yüzeyi Sızdırmaz Çift Cam İçinden Geçen Su İle Soğutulan Panel

Son olarak üçüncü panelimizde ise panelin arka yüzeyine 41x63.5cm ebatlarında çift katmanlı sızdırmaz cam yapılarak panele yerleştirildi. Panel arka yüzeyinde panel elektrik bağlantı kutusuna göre çift cam kesimine dikkat edildi. Su giriş çıkışlarına bakır borular yerleştirilip bakır boruların şeffaf plastik borularla bağlantısı yapıldı. Bu düzeneğimiz de kurulduktan sonra panelin arka yüzeyinden farklı günlerde farklı debilerde soğuk su geçirildi. Bu panelimizin de ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları ile su giriş ve çıkışları dataloger ve termokupl bağlantıları yapılarak bilgisayar üzerinden

zamana bağılı değerleri ölçüldü. Yine panelimizin zamana bağılı olarak oluşan Akım (Amper) ve Gerilim (Volt) değerleri tasarlanan elektrik devresiyle ölçülerek oluşan maksimum Güç (Watt) değerleri hesaplandı. Arka yüzeyden soğutulan panelimiz Şekil 3.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Arka Yüzeyden Soğutulan Panel

Elde edilen verilerle panellerin iklim şartları, ortam sıcaklığı ve güneş radyasyon değerlerine göre oluşan elektriksel verileri ile panellerin farklı yüzeylerinin su ile soğutulmasıyla oluşan elektriksel verilerinin analizleri ve hesaplamaları yapıp grafiklerle karşılaştırılmıştır.

3.2. Deney Ekipmanları

Deney düzeneğinin kullanılan fotovoltaiik panellerin teknik özellikleri Tablo 3.1.'de gösterilmiştir. Kullanılan paneller (MITASUN MS-40P) model olup bunlardan üç adet panel kullanılmıştır. Panellerin yerleştirilmesi için panel ölçülerine uygun olarak L demir profillerden açısız olarak ayarlanabilir konstrüksiyon yaptırılmış ve

paslanmalara karşı yağlı boya ile boyanmıştır. Konstrüksiyon ayakları vidalı ve somunlu olup sökölüp takılabilir ve açılabilir olarak ayarlanabilir özelliktedir.

Tablo 3.1. MİTASUN MTS-40WP Panel Teknik Özellikleri

Türü	Açıklama
Model :	MTS-40WP
Marka:	Mitasun
Hücre Tipi :	Polikristal
Maksimum Güç :	0W(+/- %3)
Maksimum Voltajı :	19.4V
Maksimum Akımı :	2.07A
Açık Devre Voltajı Voc :	22.9V
Kısa Devre Akımı Isc :	2.23A
Maksimum Sistem Gerilimi :	715VDC
Ağırlık :	3.2kg
Boyut :	452x677x25mm

Deneyde kullanılan paneller özdeş paneller olup her panel için ayrı soğutma düzeneği tasarlanmıştır. Arka yüzeyden paneli su ile soğutmak için panelin arka yüzeyine çift katmanlı sızdırmaz cam tabakası monte edildi. Camlardan su sızmasını engellemek için CSS 25 marka suya dayanıklı silikon kullanıldı. Ayrıca su giriş ve çıkışlarına 6mm çapında 8cm uzunluğunda bakır borular silikonla sabitlenip şeffaf plastik su borularına bağlandı. Ön yüzeyden soğutulan panele ise panelin ön yüzeyine çift katmanlı sızdırmaz cam tabakası monte edilip su giriş çıkışların bakır borular ile şeffaf plastik borular birleştirildi. Çift katmanlı camların montajı Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Panel Alt ve Üst Yüzeylerine Sızdırmaz Çift Camın Yerleştirilmesi

Cam tabakalara alt ve üst kısımlardan 6mm çapında bakır borudan su giriş ve çıkışı sağlanmıştır. Su deposundan deney düzeneğine farklı debilerde soğuk su akışı için Şekil 3.6.'deki 3W'lık ve 8W'lık (Atlantik İnternal Filter 600F ve Atlantik İnternal Filter 1200F) model su pompaları kullanılmıştır. Pompaların teknik özellikleri Tablo 3.2.'te verilmiştir.

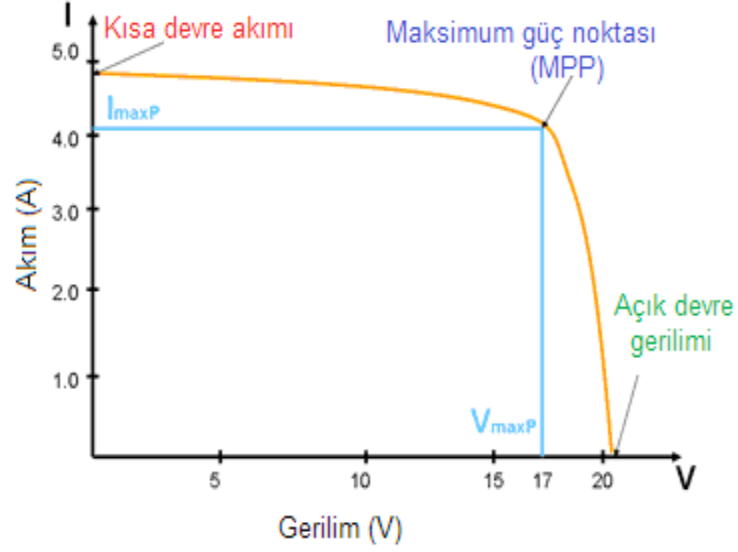


Şekil 3.6. 3W'lık ve 8W'lık Farklı Su Debileri Sağlayan Su Pompaları

Tablo 3-2. Atlantik İnternal Filter 600F ve 120F Teknik Özellikleri

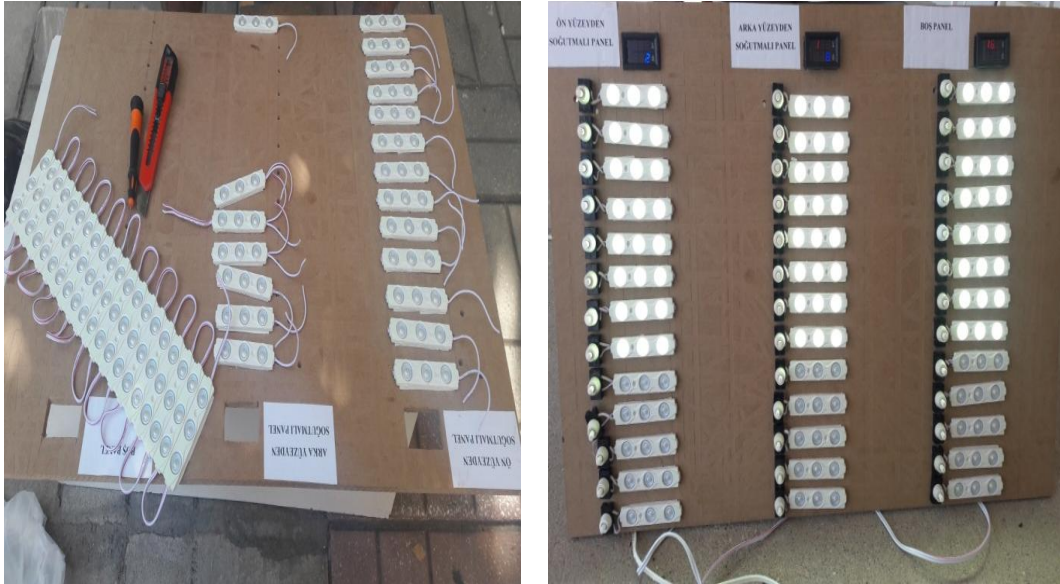
Atlantik İnternal Filter 600F		Atlantik İnternal Filter 1200F	
Maksimum güç	3W	Maksimum güç	8W
AC	220V-240V	AC	220V-240V
Çalışma sıcaklığı	0-35 ⁰ C	Çalışma sıcaklığı	0-35 ⁰ C
Debi	300L/h.	Debi	800L/h.

Bir PV hücrenin, geniş bir gerilim (V) ve akım (I) aralığı bulunur. Maksimum güç noktasını bulmak için, sürekli olarak ışınlam alan bir PV hücredeki direnç yükünü sıfırdan (kısa devre) çok yüksek bir değere (açık devreye) kadar sürekli arttırarak belirlenebilir. Maksimum güç noktasında $V \times I$ değeri yüksektir. Bu noktada, PV hücre bulunduğu ışınlam seviyesinde en yüksek elektrik üretir. Çıkış gücü, hem kısa devre hem de açık devre sınır değerlerinin her ikisinde de sıfırdır. PV hücrenin üretebileceği en yüksek çıkış gücü, Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi, hücrenin I-V eğrisi içine çizilebilecek maksimum alanlı dikdörtgenin alanına eşittir. (Öztürk ve ark. 2013)

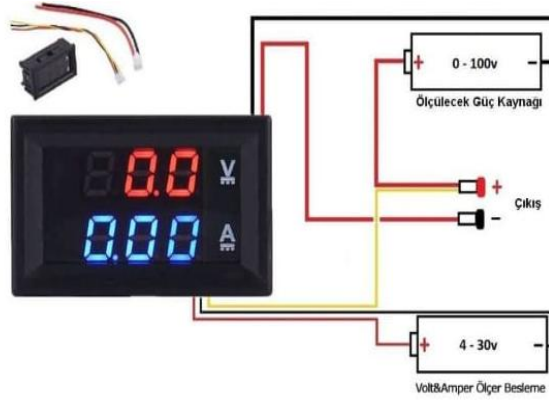


Şekil 3.7. Bir PV hücrenin akım/gerilim eğrisi ve maksimum güç noktasının belirlenmesi (Öztürk ve ark.2013)

Panellerin ulaşabilecekleri maksimum gücün hesaplanabilmesi için panellerden 1.5V gerilim oluşturan ve 13 sıradan oluşan mercekli üçlü ledlerden Şekil 3.8.'te gösterilen bir elektrik devresi kuruldu. Bu devreye panellerden gelen Akım (Amper) ve Gerilimi (Volt) anlık olarak gösteren Şekil 3.9.'te gösterilen (ZAUSS Dijital Dual) Voltmetre-Ampermetre bağlandı.



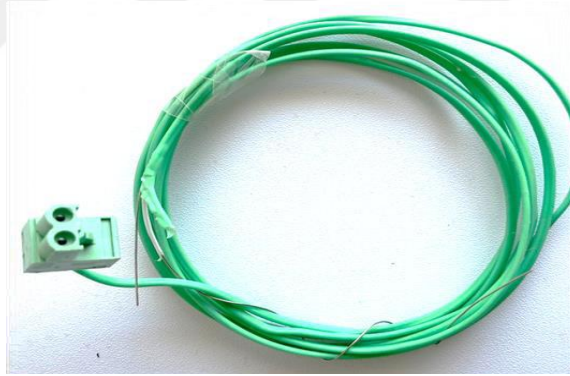
Şekil 3.8. Panellerden Çıkan Akım ve Gerilimi Ölçen Elektrik Devresi Düzenneği



Şekil 3.9. Voltmetre-Ampermetre Şekli ve Devre Bağlantısı

3.3. Ölçüm Cihazlarının Bağlantısı

Panellerin yüzeyleri ile su giriş çıkış sıcaklıklarını ve ortam sıcaklık değerlerini ölçmek için Şekil 3.10.'daki K tipi Termokupullar kullanıldı. Termokupl farklı iki alaşımın uçlarının birbirine kaynak edilmesi ile oluşturan temel bir sıcaklık ölçü malzemesidir. Bu termokupullar panellerin ön yüzey ve arka yüzeyleri ile su giriş ve çıkışlarının olduğu yerlerin belirli noktalarına monte edildi. Kullanılan termokupla ait teknik özellikler Tablo 3.3.'de gösterilmiştir.



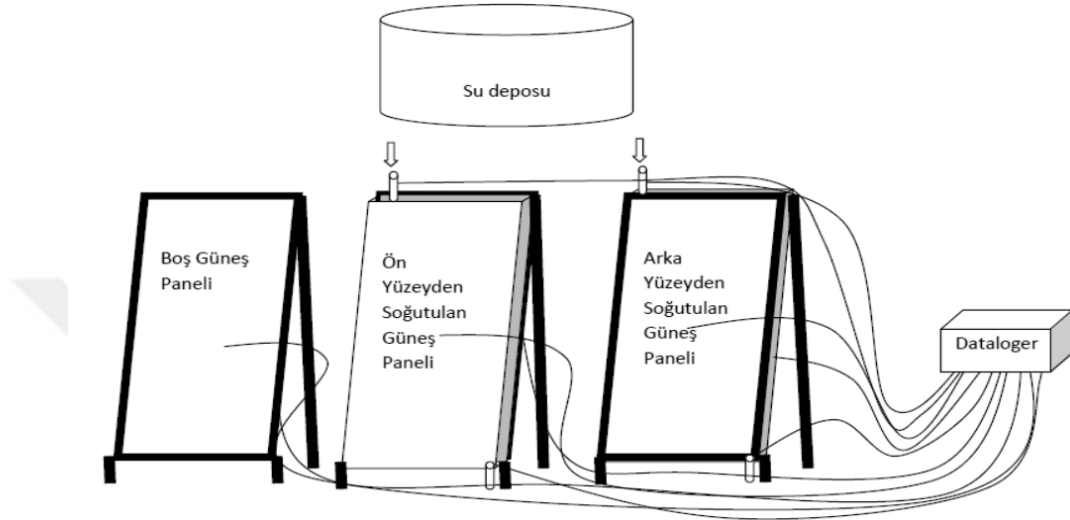
Şekil 3.10. K Tipi Termokupl

Tablo 3-3. Termokupl Teknik Özellikleri

Termokupl Bilgileri	Özellikleri
Tipi	1xK Tipi Bakır Uçlu Yüzey Termokupl
Çalışma Sıcaklığı	-60-280 ⁰ C
Tek Elemanlı	1xNiCr-Ni
Kablo Kesiti	2x0.50mm ²
Kablo İzolasyonu	Teflon+Teflon

Deney düzeneğimizde ilk gün boş panelin ön ve arka yüzey sıcaklıklarını ölçmek için 2 adet, ön yüzeyden soğutmalı panelde ön ve arka yüzey sıcaklıkları için 2

ve su giriş ve çıkışlarını ölçmek için 2 olmak üzere 4 adet, arka yüzeyden soğutmalı panel için de 2 ön ve arka yüzey, 2 tane de su giriş çıkışları olmak üzere 4 adet termokupl kullanılmıştır. 1 tane de ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılarak toplamda 11 adet termokupl kullanılmıştır. Ancak deneyin diğer günlerinde Ön yüzeyden soğutmalı panel kullanılmadığı için 7 adet termokupl kullanılmıştır. Termokupl bağlantıları Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Deney Düzenindeki Termokupl Bağlantıları

Fotovoltaik güneş panelleri ile su giriş çıkışlarına monte edilen termokupllar uçlarındaki data bağlantı soketleri ile Dataloger’a bağlandı. Termokupllardan alınacak sıcaklık değerlerini bilgisayar ortamına aktarmak amacıyla 32 kanal kapasiteye sahip Şekil 3.12.’de gösterilen Elimko-68 Dataloger cihazı kullanıldı. Kollektörlerden gelen toplam 11 adetten oluşan termokupllar Dataloger cihazına bağlandı. Dataloger cihazı ile bilgisayar arasında USB bağlantısı sağlanarak cihaza ait özel bir yazılımla sıcaklık değerlerinin okunup kaydedilmeye hazır hale getirildi. Dataloger cihazına ait teknik özellikler Tablo 3.4.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Data Loger Cihazı

Tablo 3-4. Deneyde Kullanılan Elimko 680 Data Loger Cihazına Ait Teknik Bilgiler

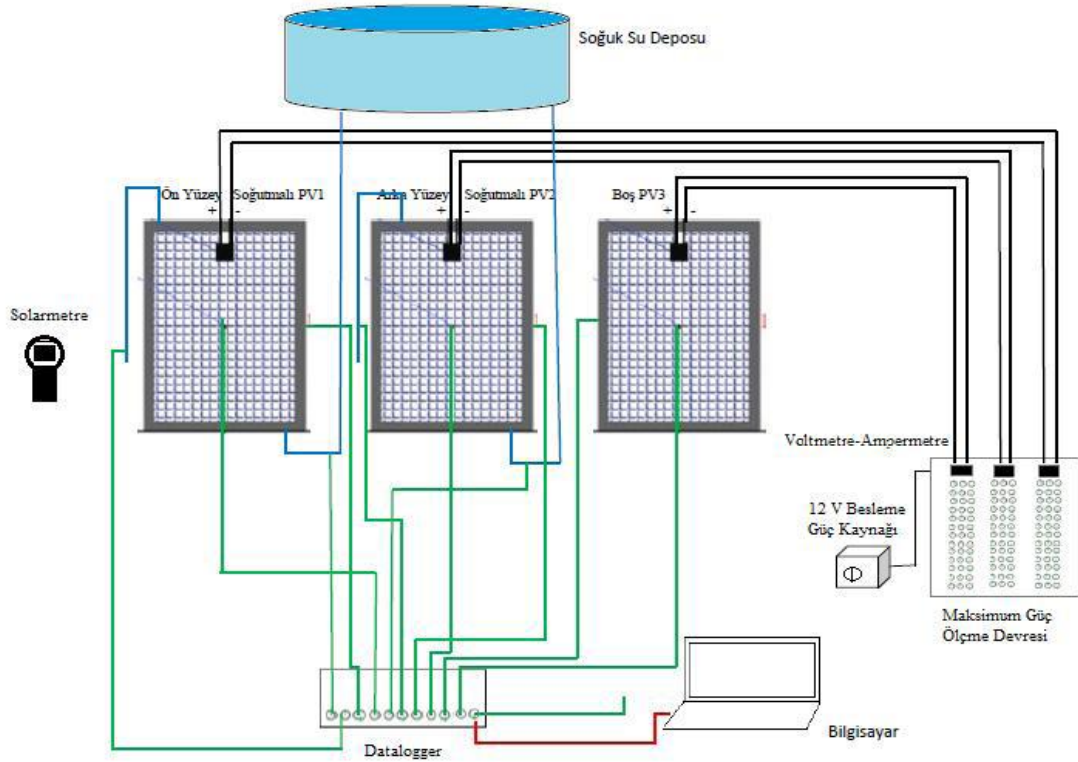
Data Loger Bilgileri	Özellikleri
Doğruluk Değeri	0.5
Gösterge Değeri	9 Digit LED (14 mm)
A/S Çevirim Değeri	16 bit
S/A Çevirim Değeri	12 bit
Giriş Seçme Aralığı	0.2-9.9Saniye/Kanal
Gösterge Tarama Aralığı	1-99Saniye/Kanal
Gürültü Bastırma Değeri	120 dB 50 Hz'de
Çalışma Ortamı Sıcaklığı	-10-50 ⁰ C
T/C Ortam Sıcaklık Kom.	0-50 ⁰ C
Kontak Formları	Alt (LO) veya üst (HI)
Sabit Bant	0-9999 EU*
Çalışma Gerilimi	85-265V AC / 85-375V
DC	20-60V AC / 20-85V DC
Güç Sarfı	Max-7W
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250V AC 5A
Giriş İşareti	T/C, R/T, mA, mV, V
Ölçü Elemanı	Termokupl Rezistans
termometre	Standart ve özel çıkışlı transmitter ve çeviriciler
Bellek	EEPROM max. 10 ⁵ yazma
Ağırlık	650gr.

Deneyde güneşten gelen radyasyon değerlerini almak için Şekil 3.13.'deki Sinometer SM206 model radyasyon ölçüm cihazı kullanıldı. Radyasyon cihazı (Solarmetre) Fotovoltaik panelimizle aynı açıda olacak şekilde diğer verilerle birlikte kayıt altına alındı. Belirli zaman aralıklarıyla güneşten gelen radyasyon değerleri diğer verilerle birlikte grafiklerde gösterilmiştir. Radyasyon ölçüm cihazına ait teknik veriler Tablo 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Radyasyon Ölçüm Cihazı

Şekil 3.14.'te deney düzeneğinin şeması gösterilmiştir. Şemada su deposundan panellere su taşıyan boruların bağlantıları ile dataloger ve termokupl bağlantıları gösterilmiştir. Ayrıca panellerin oluşan güç ve verileri için Voltmetre–Ampermetre bağlantıları da şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Deney Düzeneğinin Şeması

Tablo 3-5. Radyasyon Ölçüm Aleti Teknik Özellikleri

Solarmetre	Bilgileri Özellikleri
Ölçüm menzili	0.1-399.9, 1-3999W/m ² 0.1-399.9, 1-3999Btu/(ft ² -h) 0.1W/m ² ,0.1Btu/(ft ² -h)
Çözünürlük	0.1-399.9, 1-3999W/m ² 0.1-399.9, 1-3999Btu/(ft ² -h) 0.1W/m ² ,0.1Btu/(ft ² -h)
Hassasiyet	±5% okumada (250 ⁰ C) ±0.38W/m ² / ⁰ C
Sıcaklık hatası	±0.12Btu/(ft ² -h)/ ⁰ C ±0.12 Btu/(ft ² -h)/ ⁰ C
Yanılma süresi	0.25sn
Boyutlar	60x132x38mm
Batarya	9Vx1.6F22

Deneyde elde edilen veriler Şekil 3.14.'te Excel dosyası şeklinde hazırlanan veri tablosuna 10'ar dakikalık aralıklarla kaydedildi. Kaydedilen veriler ile panel maksimum güçleri hesaplanıp analizleri yapıldı. Ayrıca panel yüzeyleri sıcaklık verileri, su debisi, akım (A), gerilim (V), panel su giriş ve panel su çıkış verileri ile radyasyon verileri de hazırlanan tabloda kayıt altına alınmıştır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		
1	GÜNEŞ PANELİ VERİ TABLOSU (28 Ağustos Cumartesi)																											
2	SÜRE (SAAT)	ÖN YÜZEYDEN SOĞUTMALI PANEL						ARKA YÜZEYDEN SOĞUTMALI PANEL						BOŞ PANEL						DIŞ ORTAM VERİ								
3		SOĞUK SU GİRİŞ SICAKLIĞI	SOĞUKSU ÇIKIŞ SICAKLIĞI	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL ARKA YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL GERİLİM (VOLT)	PANEL AKIM (AMPER)	PANEL GÜÇ (WATT)	SOĞUK SU GİRİŞ SICAKLIĞI	SOĞUKSU ÇIKIŞ SICAKLIĞI	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL ARKA YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL GERİLİM (VOLT)	PANEL AKIM (AMPER)	PANEL GÜÇ (WATT)	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL ARKA YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL GERİLİM (VOLT)	PANEL AKIM (AMPER)	PANEL GÜÇ (WATT)	DIŞ ORTAM SICAKLIĞI	RADYASYON DEĞERİ	PANELE VERİLEN SU DEBİSİ					
4	1	2	3	4				5	6	7	8				9	10				11								
5	10:00																											
6	10:10																											
7	10:20																											
8	10:30																											
9	10:40																											
10	10:50																											
11	11:00																											
12	11:10																											
13	11:20																											
14	11:30																											
15	11:40																											
16	11:50																											
		Cumartesi Pazar Pazartesi Salı Salı Boş Panel																										
		Hazır																										

Şekil 3.15. Güneş Paneli Veri Tablosu

3.4. PV Panellerde Teorik Hesaplamalar

PV panelden elde edilen elektriksel güç (Q_e); devrede ölçülen gerilim (V) ve akımın (I) çarpımıdır ve eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$Q_e = V \times I \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

Q_e : Elde edilen elektriksel güç (W)

V : Üretilen voltaj

I : Üretilen akım olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen elektriksel verim (η_e); PV panelden elde edilen elektriksel gücün (Q_e), panel yüzeyine gelen toplam enerjiye oranıdır. ($G \times A$) olarak tanımlanır ve eşitlik (3.2) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{Q_e}{G \times A} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

η_e : Elde edilen elektriksel verim (%)

Q_e : Elde edilen elektriksel güç (W)

G : Güneş ışınımı (W/m^2)

A : Panel yüzey alanı (m^2) olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen termal güç hesaplanırken; suyun debisi ($\dot{m}$), suyun özgül ısısı (c_p), suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkları (Δt) kullanılmıştır. Eşitlik (3.3)'te hesaplanmıştır.

$$Q_t = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t (T_{\dot{c}} - T_g) \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

Q_t : Elde edilen termal güç (W)

$\dot{m}$: Kütlesel debi (kg/s)

- c_p : Suyun özgül ısısı (4.186 kJ/kg)
 Δt : Suyun sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
 T_g : Panele giren suyun sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
 $T_{\text{ç}}$: Panelden çıkan suyun sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen termal verim (η_t) hesaplanırken; panelden elde edilen termal gücün (Q_t), panel yüzeyine gelen toplam enerjiye (GxA) oranıdır ve eşitlik (3.4) yardımı ile hesaplanır.

$$\eta_t = \frac{Q_t}{GxA} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

- η_t : Elde edilen termal verim (%)
 Q_t : Elde edilen termal güç (W)
 G : Güneş ışıınımı (W/m^2)
 A : Panel yüzey alanı (m^2) olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen toplam verim (η); termal güç (Q_t) ve elektriksel güç (Q_e), toplamlarının, güneş ışıınımı ve panel yüzey alanının çarpımına (GxA) oranıdır. Eşitlik (3.5)'te hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{Q_e + Q_t}{GxA} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

- η : Elde edilen toplam verim
 Q_t : Elde edilen termal güç (W)
 Q_e : Elde edilen elektriksel güç (W)
 G : Güneş ışıınımı (W/m^2)
 A : Panel yüzey alanı (m^2) olarak verilmiştir.

Elde edilen veriler ile toplam verim (η) hesaplandığında 0.232 yani %23.2 bulunur.

- Panel yüzey alanı: $(67 \times 45) \text{ cm} = 3015 \text{ cm}^2 = 0.3015 \text{ m}^2$

- Panel hücre yüzey alanı: $(60 \times 40)\text{cm} = 2400\text{cm}^2 = 0.240\text{m}^2$
- Soğutma su debisi: $0.1\text{lt/dak} = 1.6666.10^{-3} = 0.00166\text{kg/s}$ 'dir.

Deneyde panel soğutma için kullanılan su akış türünün laminar veya türbülanslı olduğunu anlayabilmek amacıyla Reynolds sayısına (Re) bakılması gerekir. Reynolds sayısı atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranı şeklinde tanımlanır.

$$\text{Reynold Sayısı} = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.6)$$

- ρ : Yoğunluk (kg/m^3)
 V : Akışkanın Hızı (m/s)
 D : Boru Çapı (Eşdeğer Çap) (m)
 μ : Akışkanın Dinamik Viskozitesi (kg/ms)
 $\text{Re} < 2300$ Laminar akış
 $2300 < \text{Re} < 4000$ Geçiş rejimi
 $\text{Re} > 4000$ Türbülanslı akış

Çalışmada akışkan kanalı dikdörtgen şeklinde olduğu için $D(\text{eşdeğer})=0.011826\text{m}$ sistemdeki 25°C 'deki su akış hızı 0.021m/s için Reynold Sayısı:

$\text{Reynold Sayısı} = 278.74$ olarak laminar akış olarak bulunur.

Deneyde 1lt/dk , 0.5lt/dk ve 0.25lt/dk 'lık debilerle panel soğutmaları için Reynold Sayıları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Nusselt sayısı taşınım yoluyla oluşan ısı transferinin, iletimle ile meydana gelen ısı transferine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Sistemdeki Nusselt sayısı ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} \quad (3.7)$$

Denklemdaki işlemler yapıldığında $Nu = 4.29549$ değeri bulunmaktadır.

3.5. Hata Analizi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda bulunan veri ve değerler standart ölçüm cihazlarıyla bulunur. Ancak deney düzeneklerinin ve ölçüm cihazlarının doğru kurulamayıp doğru kullanılmaması, çevresel şartların uygun olmayışı, deneye uygun olmayan cihaz veya materyal kullanılması deneyde hedeflenen sonuçlara ulaşılmasına engel olabilir. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin doğruluğunu arttırmak ve ölçüm cihazlarından kaynaklı hataları görmek için hata analizinin yapılması gerekmektedir. Sistemde kullanılan malzemelerin, deney düzeneğinin ve elde edilen verilerin düzgün analiz edilmesi gerekmektedir. Deneysel yöntemin doğruluğu, deney düzeneğinin tasarlanması, deneylerin yapılması ve deneysel verilerin değerlendirmesi sırasında kişisel hataları içermektedir. Ölçümlerin doğruluğu ise deney setinin ve deneysel çalışmada kullanılan ölçü aletlerinin doğruluğunu kapsamaktadır. Hata analizi sadece deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların yorumlanmasında değil, aynı zamanda uygun ölçüm metodunun ve ölçü aracının seçiminde önemli rol oynamaktadır (Akpınar, 2002).

Deneyler sırasında ölçüm alınan aletlerin kalibrasyonu, hassasiyetleri, çalışma aralıkları, deney sahasındaki değişken meteorolojik hava koşullarının incelenmesi gerekmektedir. Bu etkileri belirlemek için belirsizlik analizi yapılmaz. Yapılan tez çalışmasında deneysel bulguların hata analiz Kline tarafından sunulan belirsizlik analizi hesaplama yöntemi kullanılmıştır (Kline, 1953). Yapılan deneyde elektriksel ölçümdeki belirsizlik analizi PV panel için yapılmıştır. Buna göre PV modülün verimi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\eta_{PV} = \frac{V_{PV} \times I_{PV}}{I_t \times A_m} \quad (3.8)$$

PV modülün verim değeri, panelden ölçülen voltaj (V_{PV}) ve akım değerleri (I_{PV}) çarpımının, güneş ışınlamı (I_t) ve toplam PV alanı (A_m) çarpımına oranıdır. Belirsizlik oranı formülü aşağıda verilmiştir.

$$W_{\eta_{PV}} = \left[\left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial V_{PV}} \mathcal{W}_{V_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_{PV}} \mathcal{W}_{I_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_t} \mathcal{W}_{I_t} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial A_m} \mathcal{W}_{A_m} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.9)$$

Belirsizlik yüzdesi ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\frac{w_{\eta PV}}{\eta_{PV}} \times 100 \quad (3.10)$$

Kullanılan cihazların doğruluk değerleri, akım için $\pm 0.1A$, voltaj için $\pm 0.01V$, ısınım için $\pm \%0.04$, alan için $\pm 0.01m^2$ olarak alınmıştır. Yapılan belirsizlik hesabında panelin maksimum güç değerindeki verim değeri $\%12.5$ bulunmuştur. Sistemdeki toplam belirsizlik analizi aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$W_S = \left[\left(\left(\frac{\partial S}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right) \right]^{1/2} \quad (3.11)$$

Formülde kullanılan kısaltmalar;

S	: Ölçülmesi gereken büyüklük
x_1, x_2, x_3	: Bağımsız değişken değerleri
n	: Bağımsız değişken sayısı
w_1, w_2, w_3	: Bağımsız değerlere ait hata oranları
W_S	: Toplam belirsizlik değeri

Deneydeki kullanılan fotovoltaiik panellerinin gücü için üretiminden kaynaklanabilecek hatalar cihazın kendisi için belirsizlik oranı ± 3 ve oluşan elektriksel verilerin okuması için kullanılan Voltmetre-Ampermetre belirsizlik oranı 0.01 ve bağlantı için belirsizlik oranını 0.01 alındığında belirsizlik oranı aşağıdaki gibi olur.

$$W_S = \left[(w_{cihaz})^2 + (w_{okuma})^2 + (w_{baglantı})^2 \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

$$W_S = [(3)^2 + (0.01)^2 + (0.01)^2]^{1/2}$$

$$W_S = \pm 3W$$

Deneydeki sıcaklık ölçümleri için belirsizlik hesabı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır. Dataloger cihazından kaynaklana belirsizlik 0.5; cihazın sıcaklığı okumasından kaynaklanan belirsizlik 0.5; cihazın bağlantı noktalarından kaynaklanan belirsizlik 0.25 olarak alındığında oluşacak toplam belirsizlik şöyle olacaktır.

$$W_S = \left[(w_{dataloger})^2 + (w_{okuma})^2 + (w_{baglantı})^2 \right]^{1/2} \quad (3.13)$$

$$W_S = [(0.5)^2 + (0.5)^2 + (0.25)^2]^{1/2}$$

$$W_s = \pm 0.75^\circ C$$

Güneş radyasyon değerlerini ölçmek için kullanılan ölçüm cihazından kaynaklı belirsizlik değeri 0,05 ve ışınım şiddetinin okunması esnasındaki belirsizlik değeri 1 olarak alındığında oluşacak toplam belirsizlik değeri aşağıdaki eşitlikte hesaplanmıştır.

$$W_s = [(\mathcal{W}_{solar\ metre})^2 + (\mathcal{W}_{okuma})^2]^{1/2} \quad (3.14)$$

$$W_s = [(0.05)^2 + (1)^2]^{1/2}$$

$$W_s = \pm 1.001 W/m^2$$

Deneydeki sıcaklık ölçümleri için kullanılan termokupllar için belirsizlik hesabı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır. Kalibrasyonda meydana gelen belirsizlik %0,5 Termokupl hata payı %1 Termokupl konum hata payı %0,5 olarak alındığında oluşacak toplam belirsizlik şöyle olacaktır.

$$W_s = [(\mathcal{W}_{termokupl})^2 + (\mathcal{W}_{okuma})^2 + (\mathcal{W}_{bağlantı})^2]^{1/2} \quad (3.15)$$

$$W_s = [(0.5)^2 + (1)^2 + (0.5)^2]^{1/2}$$

$$W_s = \pm 1.22^\circ C$$

Hesaplanan belirsizlik değerleri kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmüştür. Toplam belirsizlik değerleri Tablo 3.6.'deki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3-6. Toplam Belirsizlik Analizi Tablosu

Cihazlar	Teknik Özellikleri	Hassasiyet Değeri	Toplam Belirsizlik
Panel	Ölçüm aralıkları 0 – 40W	$\pm 3W$	$\pm 3W$
Data Logger (Elimko-680)	Ölçüm aralığı –60°C – +280°C	$\pm \%0.5^\circ C$	$\pm 0.75^\circ C$
Solar Metre Sinometer SM206	Solarimetre ölçüm aralığı 0.1 W/m ² – 1399 W/m ²	$\pm 0.05 W/m^2$	$\pm 001 W/m^2$
Termokupl	Termokupl ölçüm aralığı 60°C – +280°C	$\pm \%0.5^\circ C$	$\pm 1.22^\circ C$

3.6. Enerji Analizi

PV sistemin enerji dengesi denklem 3.14'deki gibidir.

$$En_{PV} = En_{PV,elektrik} + En_{PV,termal} \quad (3.16)$$

$En_{PV,elektrik}$ sisteminin elektrik üretimi, $En_{PV,termal}$ ile ise sistemin ısı kayıpları temsil edilmiştir.

$$En_{PV,elektrik} = V_{oc}I_{sc} \quad (3.17)$$

V_{oc} açık devre voltajını, I_{sc} kısa devre akımını göstermektedir.

$$En_{PV,termal} = h_{ca}A_c(T_c - T_a) \quad (3.18)$$

PV sisteminin çevreye olan ısı kayıpları denklem 3.17'de verilmiştir. Kararlı halde güneş hücre sıcaklığı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$4T_c^5 - 3T_aT_c^4 - T_aT_s^4 = 0 \quad (3.19)$$

PV hücreden çevreye olan ısı kaybı rüzgar hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$h_{ca} = 2.8 + (0.3xv_r) \text{ için } 0 \leq v_r \leq 7ms^{-1} \quad (3.20)$$

Bu denklemdeki v , panel üzerinde ölçülen rüzgar hızıdır. PV sistemin toplam enerji dengesi aşağıdaki gibi verilir.

$$En_{PV} = V_{oc}I_{sc} + h_{ca}A_c(T_c - T_a) \quad (3.21)$$

Genel olarak mühendislikteki verimlilik ifadesi çıktının girdiye oranıdır. PV sistemin enerji verimliliği de; çıktı enerjisinin yani elektrik ve termal enerjinin toplamının, PV yüzey üzerine ulaşan güneş enerjisine oranı olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\eta_{PV} = \frac{En_{PV}}{I_s x A_c} = \frac{V_{oc} I_{sc} + h_{ca} A_c (T_c - T_a)}{I_s x A_c} \quad (3.22)$$

Normalde PV panellerden sadece elektrik üretme açısından faydalandığından, verimlilik için sadece elektrik enerjisine dönüşen kısım alınır. $E_{PV,E}$ sistem tarafından bir gün boyunca üretilen enerjinin Wh cinsinden değeridir. PV sistemin günlük elektrik verimi aşağıda verilmiştir.

$$\eta_{PV,D} = \frac{E_{PV,E}}{E_s} \quad (3.23)$$

Belirlenen parametreler sonucunda fotovoltaiik sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Tablo 3.7.'de hesaplamalar sonucunda PV sistemin enerji analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 3-7. Fotovoltaiik Sistemin Enerji Analizi Sonuçları
Fotovoltaiik Sistem Enerji Analizi

$En_{PV,elektrik} = V_{oc} I_{sc}$	51.067W/h
$En_{PV,termal} = h_{ca} A_c (T_c - T_a)$	211.47W/h
$h_{ca} = 2.8 + (0.3xv_r)$	13.3 W/m ² K
$En_{PV} = En_{PV,elektrik} + En_{PV,termal}$	262.537W/h
$\eta_{PV} = \frac{En_{PV}}{I_s x A_c}$	0.87

3.7. Ekserji Analizi

PV sistem tarafından üretilen elektrik ekserjisi, mevcut enerjinin olabildiğince tamamını faydalı olarak kullanmayı hedefler. Ekserji dengesi denklem 3.22'deki gibidir.

$$Ex_{PV} = Ex_{PV,elektrik} + Ex_{PV,termal} + Ex_{PV-d,elektrik} \quad (3.24)$$

Burada $Ex_{PV,elektrik} = PV$ sisteminin elektrik ekserjisini, $Ex_{PV-d,elektrik}$ ve $Ex_{PV,termal}$ sırasıyla iç ve dış ekserji kayıplarını temsil etmektedirler. İçsel kayıplar elektrik enerjisindeki mükemmel yalıtım olmamasından ötürü yıkımdan, dışsal kayıplar ise dış ortamdaki ısı kaybından oluşmaktadır. PV sistemin elektrik ekserjisi, enerjiye

benzer şekildedir. Sistemin Elektrik ve termal ekserji kayıpları Denklem 3.25 ve 3.27'deki gibidir.

$$En_{PV,elektrik} = V_{oc}I_{sc} \quad (3.25)$$

$$Ex_{PV-d,elektrik} = V_{oc}I_{sc} - V_mI_m \quad (3.26)$$

$$Ex_{PV,termal} = \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a)) \quad (3.27)$$

PV sistemlerin ekserji verimi, PV sistemin ekserji değerinin PV sistem yüzeyine gelen güneş radyasyonunun ekserji değerine oranı ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{PV} = \frac{Ex_{PV}}{Ex_{güneş}xA_c} = \frac{V_mI_m - \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a))}{\left[\left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) xI_s\right] xA_c} \quad (3.28)$$

Sistemin ekserji analizleri hesaplanarak Tablo 3.8'de gösterilmiştir. Sistemin ekserji analizi yapılarak yararlı iş analizi yapılmış olacaktır.

Tablo 3-8. Fotovoltaik Sistemin Ekserji Analizi

Fotovoltaik Sistem Ekserji Analizi	
$Ex_{PV,elektrik} = V_{oc}I_{sc}$	51.067W/h
$Ex_{PV-d,elektrik} = V_{oc}I_{sc} - V_mI_m$	10.909W/h
$Ex_{PV,termal} = \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a))$	10.56W/h
$Ex_{güneş} = \left[\left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) xI_s\right]$	882.35W/h
$\psi_{PV} = \frac{Ex_{PV}}{Ex_{güneş}xA_c} = \frac{V_mI_m - \left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a))}{\left[\left(1 - \frac{T_a}{T_c}\right) xI_s\right] xA_c}$	0,11

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yapılan deneyler sonucunda farklı yüzeylerden farklı su debileriyle soğutulan panellerden elde edilen verilere etki eden parametreler; su debisi, radyasyon miktarı, ortam sıcaklığı, panel yüzey sıcaklıkları ve su sıcaklıkları gibi parametreler olup, bu parametrelerin ve panellerden elde edilen güç miktarlarının ayrı ayrı analizleri yapılmıştır. Çalışmada elde edilen verilere ait grafiklerle panellerden elde edilen maksimum güçler ile panel yüzey sıcaklıkları karşılaştırılmıştır.

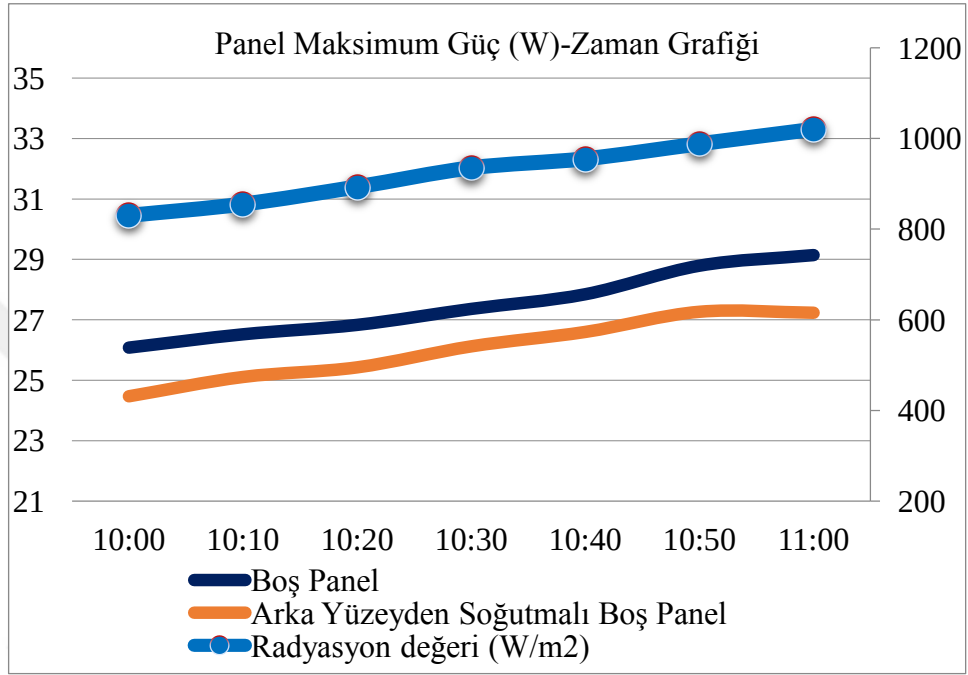
4.1. Farklı Su Debileri İle Soğutulan Güneş Panellerinde Oluşan Güç Farkları

Yapılan deneyde ön ve arka yüzeyleri soğuk su ile soğutulan panellerin oluşan maksimum güç üretimleri arasındaki farklar incelenmiştir. Deneyde kullanılan ön yüzeyi su ile soğutulan panel, arka yüzeyi su ile soğutulan panel ve bir soğutma işlemine tabi tutulmayan paneller aynı gün içerisinde maksimum güç hesabı için tasarlanmış elektrik devresine bağlanmıştır. Ön ve arka yüzeyleri soğutulan iki panele su deposundan iki ayrı eşit pompa ile eşit debide su verilerek panel yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri panel yüzeylerine monte edilmiş termokupl ve dataloger ile bilgisayar ortamında kayda alınmıştır. Sırasıyla ilk gün panellere verilen su debisi 1lt/dk, ikinci gün su debisi 0.5lt/dk, üçüncü gün su debisi 0.25lt/dk ve dördüncü gün tekrar ve kontrol amaçlı olarak tekrar su debisi 1lt/dk olacak şekilde soğuk su verilerek deneyler yapıldı. Elde edilen veriler ile panellerin gün içerisindeki maksimum güçleri (W) ve panel yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri hesaplandı. Oluşan güç farkları ve sıcaklık değişimlerinin analizleri grafikler üzerinden yapıldı.

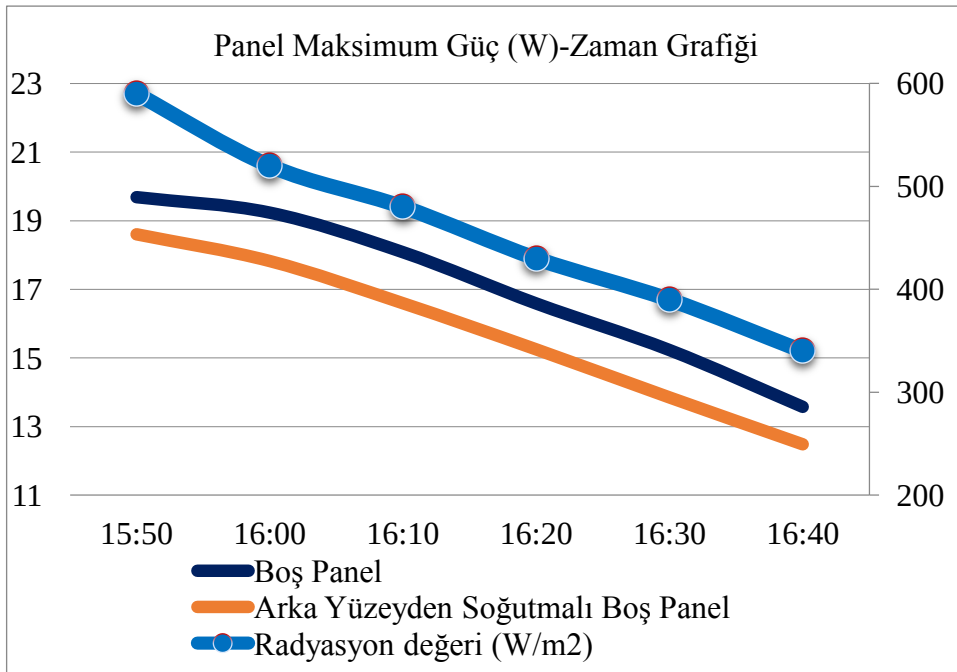
4.1.1. Panellerin Maksimum Güçlerinin Karşılaştırılması

Deneyde elde edilen verilerle panellerin arka yüzeyden soğutulduğunda verimlerinin ve maksimum güç üretimlerinin özellikle güneş radyasyon değerinin arttığı saatlerde boş panele göre artış gösterdiği ancak farkların çok az olduğu görüldü. Bu sebeple panellerde üretimden kaynaklı farklar oluşabileceği düşünülerek daha önce arka yüzeyden soğutulan panel gün içerisinde boş hale getirildi ve diğer boş panelle birlikte maksimum güç üretimleri karşılaştırıldı. Panellerin gün içerisindeki maksimum güç üretimleri Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'deki grafikler üzerinde gösterilmiştir. Grafiklerdeki

verilere bakıldığında deneyde arka yüzeyden soğutulan panelin ortalama 1.395W kadar daha az güç üretimi yaptığı tespit edilmiştir. Bu durumda deney sonuçlarının hassasiyeti ve doğru analizlerinin yapılması için arka yüzeyden soğutulan panelin maksimum güç hesabı yapılırken 1.395W'lık değer eklenerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu sonuçlara göre deneyde elde edilen veriler Tablo 3.6.'da ki Toplam Belirsizlik Analizi Tablosu'na göre panellerin hassasiyet değerleri içerisinde bulunmaktadır.



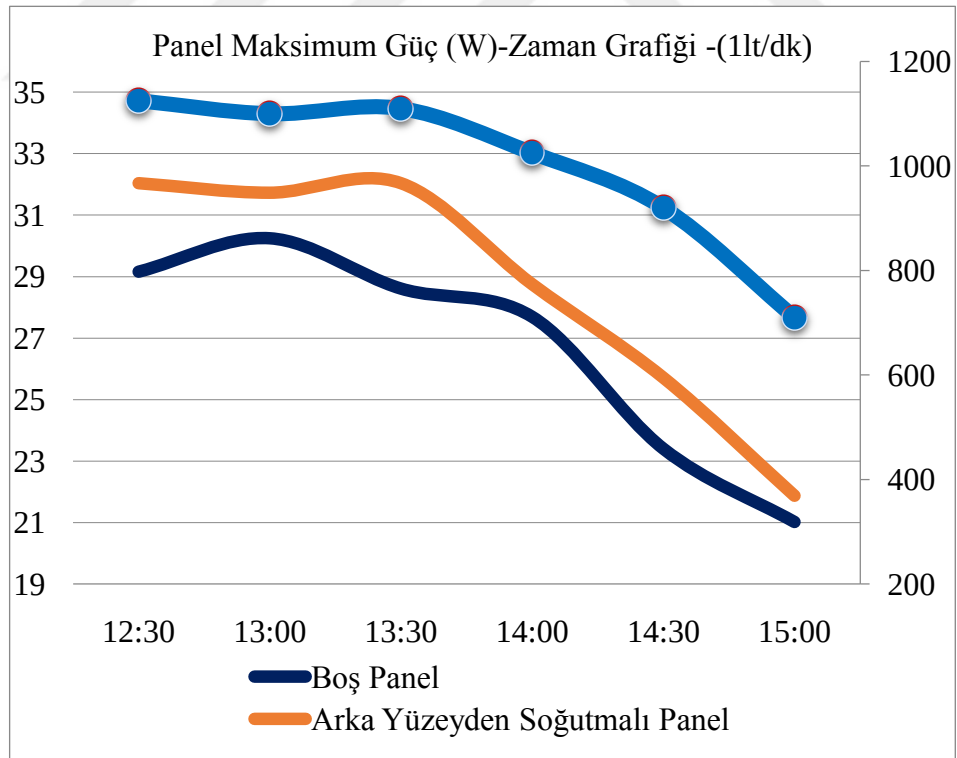
Şekil 4.1. Panellerin Maksimum Güçlerinin Karşılaştırılması



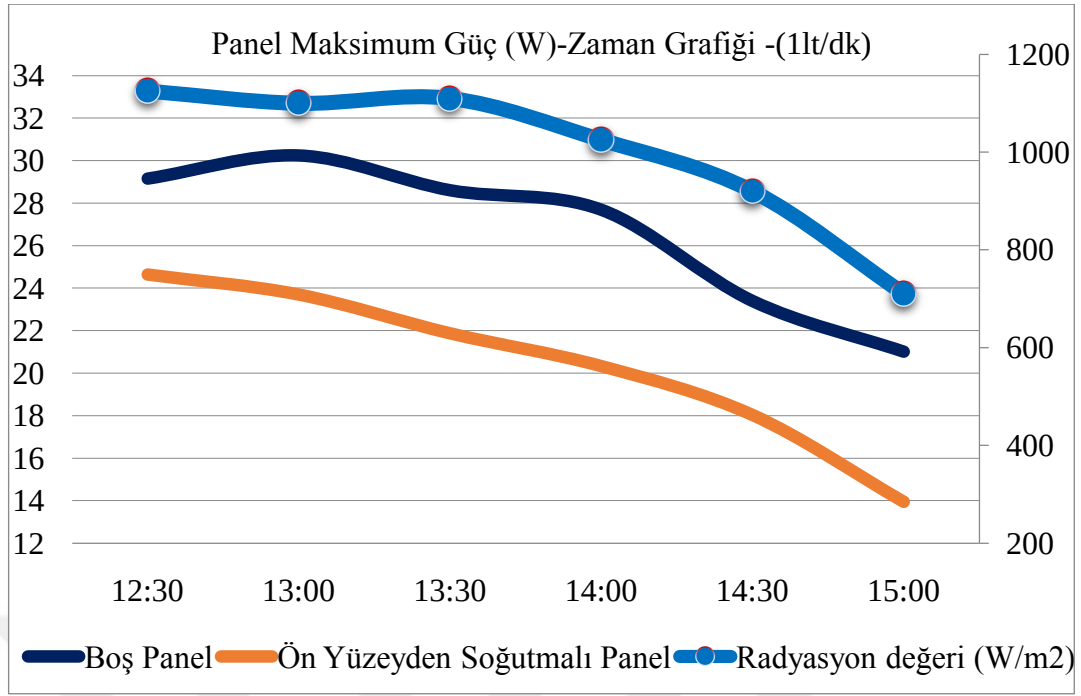
Şekil 4.2. Panellerin Maksimum Güçlerinin Karşılaştırılması

4.1.2. Su Debisi 1lt/dk Olan Panellerin Ön ve Arka Yüzeyden Soğutularak Oluşan Güç Farkları

Deney düzeneğindeki panellerin 1lt/dk'lık su debisi ile soğutularak oluşan maksimum güç üretimleri Şekil 4.3. ve Şekil.4.4'de gösterilip analizi yapılmıştır. Grafiklere bakıldığında güneş radyasyon değerleri ile panellerin güç üretimleri arasında paralellik görülmüştür. Güneş radyasyon değeri düştükçe panellerin ürettiği maksimum güç (W) miktarında azalma görülmektedir. Güneş radyasyon miktarına bağlı olarak panel yüzeylerinin sıcaklığı sonraki grafiklerde belirtilmiştir. Panel yüzeylerinin sıcaklığı ve güneş radyasyon değerlerinin maksimuma ulaştığı 12:30 ve 13:30 saatlerinde boş olarak kullanılan panelin güç üretimi 29.16W ve 30.24W'olarak ölçülmüştür. Ancak arka yüzeyden soğutulan panelin maksimum güç üretimi bu alanlarda 32.04W olarak daha fazla güç üretmiştir. Ön yüzeyden su ile soğutulan panelin güç üretimi ise aynı saatlerde 24.633W ve 21.87W olarak gözlemlenmiştir. Panel ön yüzeyine yerleştirilen çift katmanlı camın ve içerisinden geçen suyun güneş radyasyon değerlerini büyük ölçüde düşürdüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Su Debisi 1lt/dk Olarak Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelin Güç Farkları



Şekil 4.4. Su Debisi 1lt/dk Olarak Ön Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelin Güç Farkları

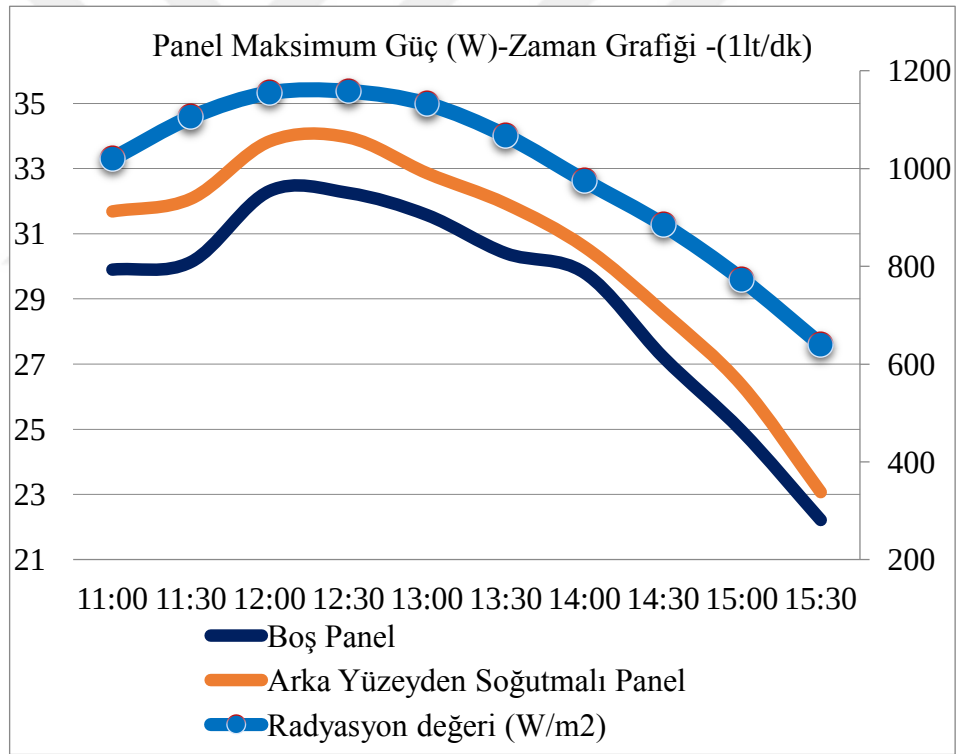
Gün içerisinde farklı radyasyon değerlerinde çift cam ve suyun radyasyon değerlerine ne kadar etki yaptığı Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Tablodaki değerler göz önüne alınarak panellerin ön yüzeyden çift camlı düzenekle soğutulmasının panelin verimini ve güç üretimini düşürdüğü belirlenmiştir. Çift katmanlı cam yüzeyin ve cam arasından geçen suyun güneş radyasyonunu düşürdüğü belirlendiğinden dolayı deneyin bundan sonraki çalışmalarında panel arka yüzeyinden soğutulması uygun görülmüştür. Yapılan hesaplamalara göre çift cam ve suyun güneş radyasyonunu yaklaşık %25 oranında azalttığı hesaplanmıştır.

Tablo 4-1. Farklı radyasyon değerlerinde çift cam ve suyun radyasyon değerlerine yaptığı etki

Güneş Radyasyon Değeri	Çift Cam ve Su İle Güneş Radyasyon Değeri
500 W/m ²	320 W/m ²
600 W/m ²	450 W/m ²
700 W/m ²	530 W/m ²
800 W/m ²	610 W/m ²
900 W/m ²	700 W/m ²
1000 W/m ²	760 W/m ²
1100 W/m ²	840 W/m ²

Deneyin ilk günü yapılan ölçümler ve analizler sonucunda ön yüzeyden cam katman arasından soğuk suyla soğutmanın avantajlı olmadığı ve panel veriminin düştüğü görülmüştür. Bu yüzden sonraki çalışmada panelin arka yüzeyden soğutulması

oluşan güç üretimi ile boş panelin güç üretimleri karşılaştırılıp analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmaya göre arka yüzeyden soğutulacak panele 1lt/dk'lık su debisi verilerek soğutma işlemi yapılarak oluşan maksimum güç üretimi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında güneş radyasyon değerleri ile panellerin güç üretimleri arasında yine paralellik görülmüştür. Güneş radyasyon değeri düştükçe panellerin ürettiği maksimum güç (W) miktarında azalma görülmektedir. Panel yüzeylerinin sıcaklığı ve güneş radyasyon değerlerinin maksimuma ulaştığı 12:00 ve 12:30 saatlerinde boş olarak kullanılan panelin güç üretimi maksimum 32.314W ve 32.25 olarak ölçülmüştür. Ancak arka yüzeyden soğutulan panel bu aralıklarda maksimum 33.843W ve 33.957W güç üretmiştir. Bu sonuçlara göre 1lt/dk debi ile arka yüzeyden panel soğutmada 11:00 ile 15:30 arasında maksimum güç üretiminde ortalama %4.87 oranında bir artış görülmüştür.

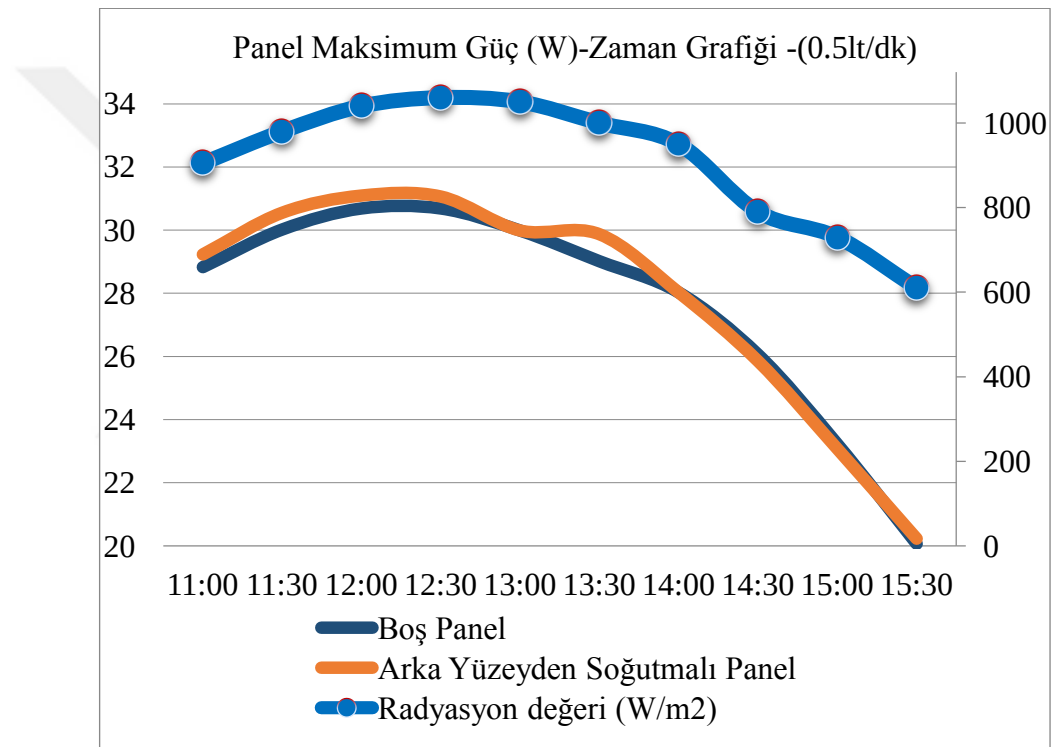


Şekil 4.5. Su Debisi 1lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları

4.1.3. Su Debisi 0.5lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları

Deney düzeneğindeki panellerin 0.5lt/dk'lık su debisi ile soğutularak oluşan maksimum güç üretimleri Şekil 4.6'da gösterilip analizi yapılmıştır. Grafiğe bakıldığında güneş radyasyon değerleri ile panellerin güç üretimleri arasında paralellik

görülmüştür. Güneş radyasyonundaki bazı ani değişimler hava şartlarına (bulutlanma ve rüzgar) bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Güneş radyasyon değeri düştükçe panellerin ürettiği maksimum güç (W) miktarında azalma görülmektedir. Panel yüzeylerinin sıcaklığı ve güneş radyasyon değerlerinin maksimuma ulaştığı 12:00 ve 12:30 saatlerinde boş olarak kullanılan panelin güç üretimi 30.687W olarak ölçülmüştür. Ancak arka yüzeyden soğutulan panel bu aralıklarda maksimum 31.099W ve 31.068W güç üretmiştir. Bu sonuçlara göre 0.5lt/dk debi ile arka yüzeyden panel soğutmada 11:00 ile 15:30 arasında maksimum güç üretiminde ortalama %1.57 oranında bir artış görülmüştür.

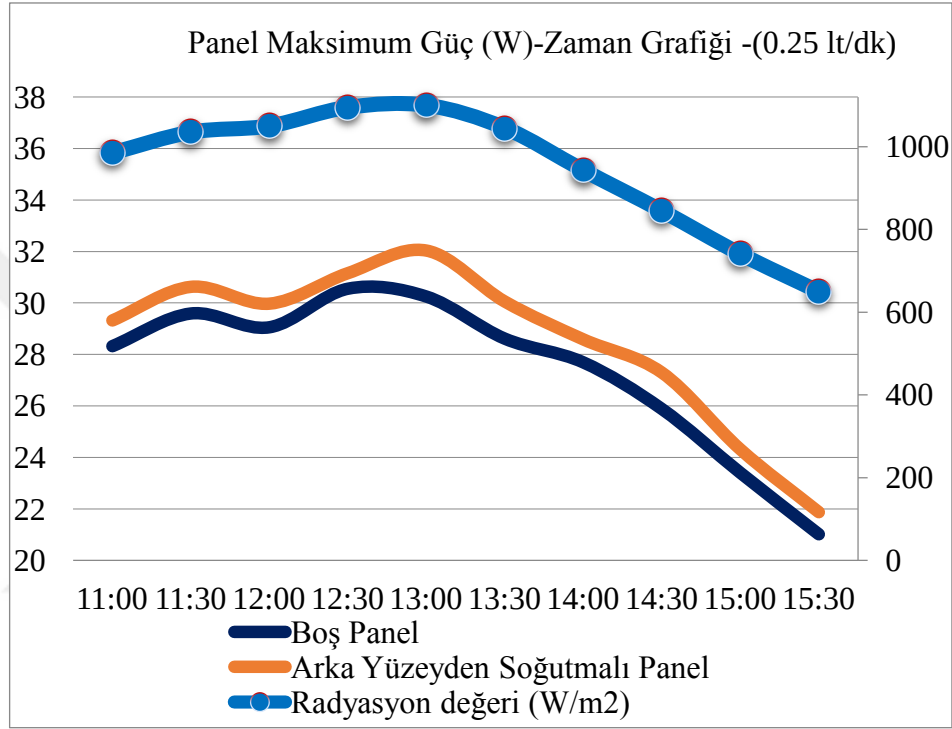


Şekil 4.6. Su Debisi 0.5 lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları

4.1.4. Su Debisi 0.25lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları

Deney düzeneğindeki panellerin 0.25lt/dk'lık su debisi ile soğutularak oluşan maksimum güç üretimleri Şekil 4.7'de gösterilip analizi yapılmıştır. Grafiğe bakıldığında güneş radyasyon değerleri ile panellerin güç üretimleri arasında paralellik görülmüştür. Güneş radyasyonundaki bazı ani değişimler hava şartlarına (bulutlanma ve rüzgara) bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Güneş radyasyon değeri düştükçe panellerin ürettiği maksimum güç (W) miktarında azalma görülmektedir. Panel

yüzeylerinin sıcaklığı ve güneş radyasyon değerlerinin maksimuma ulaştığı 12:30 ve 13:00 saatlerinde boş olarak kullanılan panelin güç üretimi maksimum 30.552W ve 30.248 olarak ölçülmüştür. Ancak arka yüzeyden soğutulan panel bu aralıklarda maksimum 31.155W ve 32.033W güç üretmiştir. Bu sonuçlara göre 0.25lt/dk debi ile arka yüzeyden panel soğutmada 11:00 ile 15:30 arasında maksimum güç üretiminde ortalama %3.97 oranında bir artış görülmüştür.



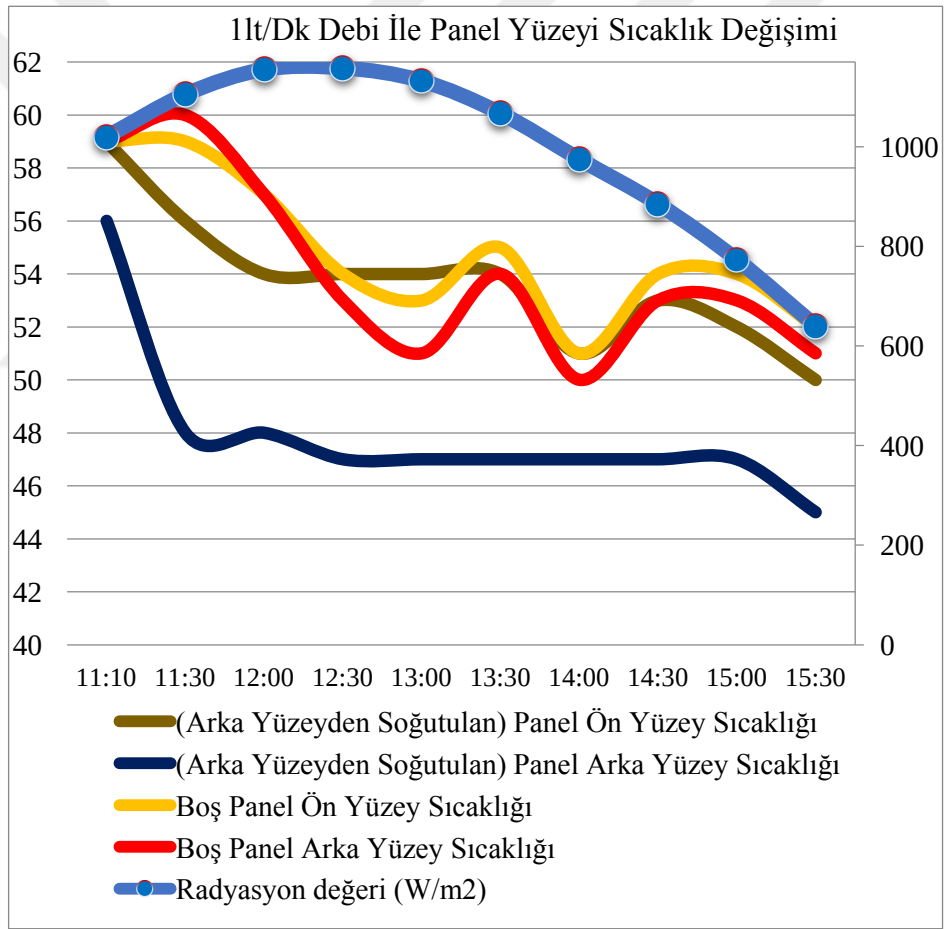
Şekil 4.7. Su Debisi 0.25lt/dk iken Arka Yüzeyden Soğutulan Panel ile Boş Panelde Oluşan Güç Farkları

4.2. Panel Yüzeylerinin Farklı Su debilerindeki Sıcaklık Değişimleri

Deneyde göz önünde bulunduracağımız bir diğer parametre ise panellerdeki güç üretimlerinin yüzey sıcaklıklarıyla olan ilişkisidir. Fotovoltaik panellerin güç üretimlerindeki verimlilik, panellerin yüzey sıcaklıklarının ortalama 25°C üzerinde yüksek sıcaklıklara çıktıkça düştüğü literatürde belirtilmiştir. Fotovoltaik panellerin teknik özelliklerine bakıldığında ise maksimum güç üretimlerinin genellikle 25°C sıcaklık şartlarında belirlendiğini görürüz. Bu yüzden 25°C üzerindeki panellerin yüzey sıcaklıkları ile güç üretimleri arasında ters orantı bulunur. Bu da elektrik üretiminde verim kaybına sebep olur. Yapılan çalışma ile panel yüzeylerinin farklı su debileri ile ne kadar soğutulabileceği ve bu soğutma işleminin panel güç üretimine nasıl etki ettiğinin analizi yapılmıştır.

4.2.1. 1lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi

Deneyde arka yüzeyden 1lt/dk'lık soğuk su debisi ile soğutulan panellerin ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları ile boş panelin ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları, termokupl ve dataloger ile ölçülmüştür. Elde edilen sıcaklık değişimleri Şekil 4.8.'deki grafik ile gösterilmiştir. Arka yüzeyden soğutulan panelin arka yüzey sıcaklığı ortalama 6.7°C olarak soğutulabilirken boş panelin ön ve arka yüzeyleri arasındaki fark ortalama 1°C 'nin altında kalmıştır. Panele verilen depo suyunun sıcaklığı deney boyunca 21°C ile 29°C arasında ölçülmüştür. Ortam sıcaklığına bağlı olarak depo suyunun sıcaklığı da ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

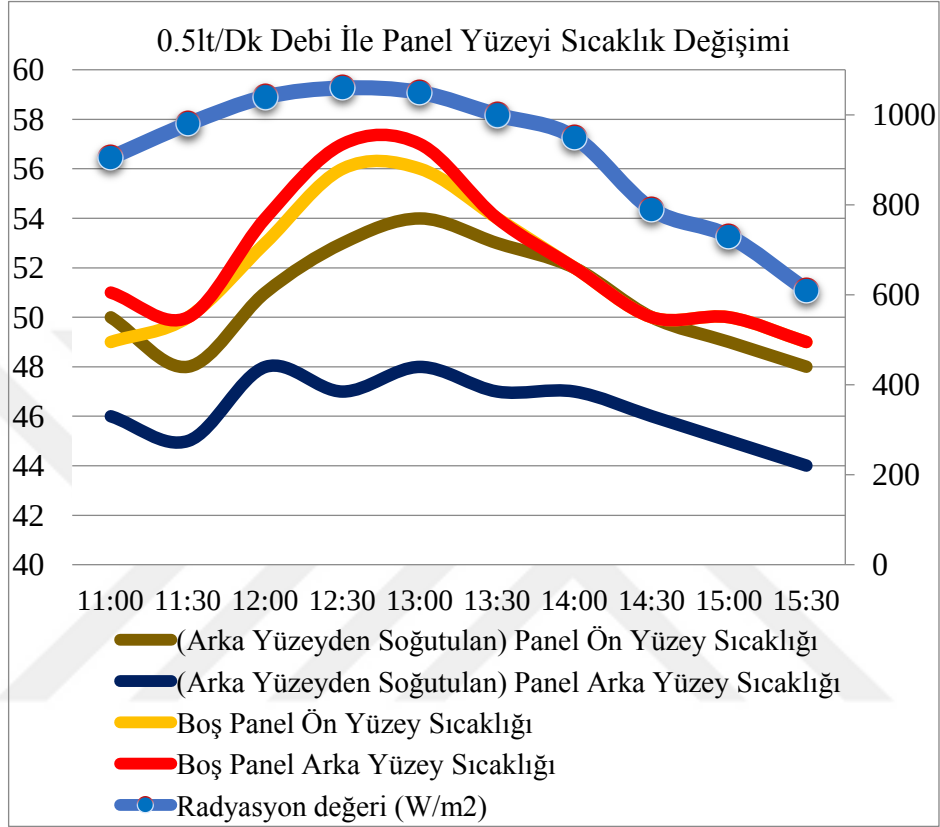


Şekil 4.8. 1lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi

4.2.2. 0.5lt/Dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi

Deneyde arka yüzeyden 0.5lt/dk'lık soğuk su debisi ile soğutulan panellerin ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları ile boş panelin ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları,

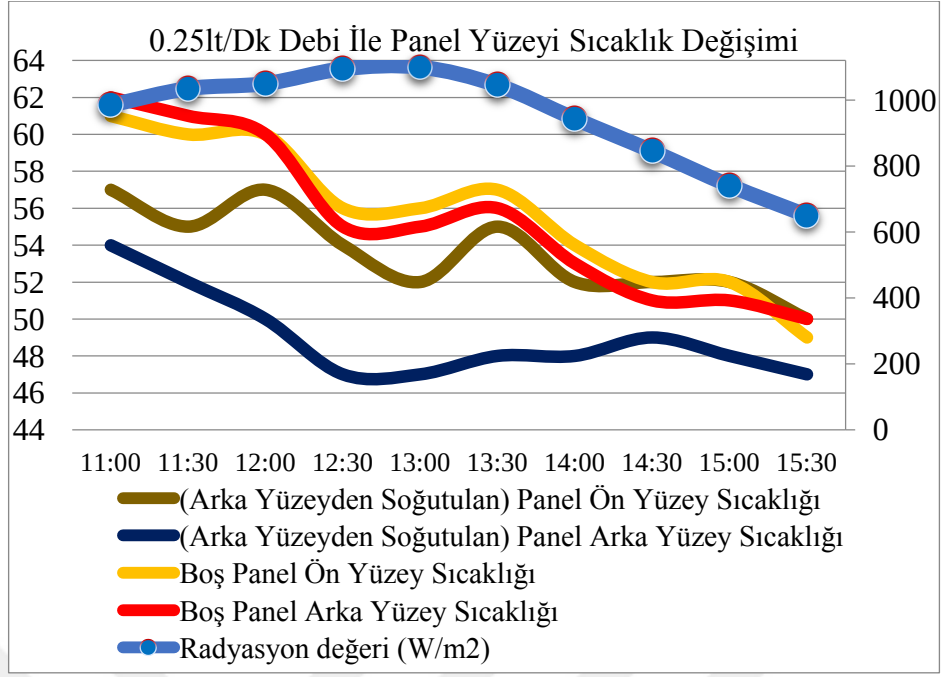
termokupl ve dataloger ile ölçülmüştür. Elde edilen sıcaklık değişimleri Şekil 4.8.'deki grafik ile gösterilmiştir. Arka yüzeyden soğutulan panelin arka yüzey sıcaklığı ortalama 4.9°C soğutulmuştur. Panele verilen depo suyunun sıcaklığı deney boyunca 21°C ile 28°C arasında ölçülmüştür. Ortam sıcaklığına bağlı olarak depo suyunun sıcaklığı da ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. 0.5lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi

4.2.3. 0.25lt/Dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi

Deneyde arka yüzeyden 0.25lt/dk'lık soğuk su debisi ile soğutulan panellerin ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları ile boş panelin ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkları, termokupl ve dataloger ile ölçülmüştür. Elde edilen sıcaklık değişimleri Şekil 4.7.'deki grafik ile gösterilmiştir. Arka yüzeyden soğutulan panelin arka yüzey sıcaklığı ortalama 6.3°C soğutulmuştur. Panele verilen depo suyunun sıcaklığı deney boyunca 21°C ile 29°C arasında ölçülmüştür. Ortam sıcaklığına bağlı olarak depo suyunun sıcaklığı da ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. 0.25lt/dk Debi İle Panel Yüzeyi Sıcaklık Değişimi

Tablo 4.2. Literatürde Yapılan Diğer Çalışmalar

Çalışma modelleri	PV cinsi	Verim artışı	Referans
PV verimi etkileyen faktörler (hava)	polikristal	%4.5	Engin ve ark. (2005)
PV soğutma (PCM malzemesi)	-	%9.7	Hassan (2010)
PV soğutma (hava)	monokristal	%10.01	Sarhaddi ve ark. (2010)
PV soğutma (alüminyum kanatçık-hava)	-	%9	Cuce ve ark. (2011)
PV soğutma (bakır boru-su)	plikristal	%2	El-Seesy ve ark. (2012)
PV modüllerde aktif soğutma (hava)	polikristal	%12-14	Teo ve ark. (2012)
PV/T hibrit sistem (su-hava)	-	%7	Tyagi ve ark. (2012)
PV soğutma (su)	monokristal	%9	Bhaidarah ve ark. (2013)
PV soğutma (su)	monokristal	%7	Kabul ve Duran (2014)
PV soğutma (su)	-	%13.8	Fudholi ve ark. (2014)
PV yüzeyinde rüzgâr etkisi (hava)	-	%9	Du vd. (2016)
PV/T hibrit sistem (su-hava)	polikristal	%6.5-7.5	Rawat ve ark. (2017)
PV/T soğutma (su)	monokristal	%12	Gül ve Akyüz (2019)
PV soğutma (su)	polikristal	%4.87	Bu çalışma (2021)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında yüksek sıcaklıklarda verimi düşen fotovoltaik panellerin verim kayıplarını azaltmak için panel yüzeylerinin tasarlanan düzeneklerle soğuk su ile soğutulması sağlanmış ve elde edilen sonuçların verileri alınarak analizi yapılmıştır. Düzenekte ilk etapta ön yüzeyden soğutulması için tasarlanmış panel, arka yüzeyden soğutulması için tasarlanmış panel ve karşılaştırma yapmak için boş panel olmak üzere teknik özellikleri aynı üç fotovoltaik panel kullanılmıştır. Deney çalışmaları 2021 yılı Ağustos ayı içerisinde Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü Teknoloji Fakültesi terasında açık alanda yapılmıştır. Zaman dilimi olarak; 10:00-15:30 saatleri arasında ölçümler alınmış ve kaydedilmiştir. Deneylerin saat 10'da başlanıp 15:30'da bitirilmesinin bir sebebi deney yerinin gölgeleme faktöründen etkilenmesi bir diğer sebebi ise ölçülen güneş ışınım değeri 500W/m^2 'nin altına düştüğünde alınan verilerin sağlıklı olmamasıdır. Bu nedenle ölçüm zamanı bu aralıkta belirlenmiştir. Deneyde ilk gün ön yüzey ve arka yüzeyden soğutulacak panellere su deposundan 1lt/dk debiyle su pompalanarak soğutma yapılmıştır. Panel yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri, su giriş ve çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklıkları ve güneş radyasyon değerleri dataloger ile bilgisayar ortamına kayıt olurken veri çizelgesine de 10'ar dakika aralıklarla kayıt tutulmuştur. Panellerin oluşan Akım (A) ve Gerilim (V) değerleri de 30'ar dakika aralıklarla kayıt altına alınmış hazırlanan veri tablolarına veriler yazılmıştır. Panellerde oluşan maksimum güç oranları belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ön yüzeyden soğutulan panelin maksimum gücünün gün boyu boş panele göre ortalama %15.52 oranında güç kaybı sağlarken, arka yüzeyden soğutulan panele göre %19.62 daha fazla güç kaybı sağlamıştır. Panelin ön yüzeyine konulan çift katmanlı cam ve aradan geçirilen su güneş radyasyon miktarını %25 oranında düşürmüştür. Bu da panelin güç üretimini olumsuz etkilemiştir. Ön yüzeyden su ya da cam gibi şeffaf olan materyallerin güneş radyasyon miktarına etki ettiği ölçülmüştür. Bu yüzden sonraki günlerde ön yüzeyden soğutulan panel kullanılmamıştır. Arka yüzeyden soğutulan panel ile boş panelin verilerine göre karşılaştırma yapıldığında arka yüzeyden soğutulan panelin %4.87 daha fazla güç ürettiği hesaplanmıştır. Ayrıca panellerin boşken güç üretimleri karşılaştırıldığında arka yüzeyden soğutulan panelin gün boyu ortalama 1.395W daha az güç ürettiği görüldü. Panellerin teknik özelliklerinin aynı olmasına rağmen bu farklılık

deney sonucuna etki etmektedir. Burada panellerin aynı olacağı göz önünde bulundurulursa arka yüzeyden soğutulan panel %9.88 oranında daha fazla güç üretecektir.

Deneyin diğer günlerinde yapılan ölçüm ve analizlerine göre su debisi 0.5lt/dk iken arka yüzeyden soğutulan panelin günün en fazla radyasyon değerinin olduğu zamanda boş panele göre maksimum gücünün ortalama %1.57 oranında daha fazla güç ürettiği görüldü. Su debisinin 0.25lt/dk olduğu günde ise radyasyon değerinin en yüksek olduğu saatlerde arka yüzeyden soğutulan panelin maksimum gücü boş panele göre ortalama %3.97 oranında daha fazla güç üretilmiştir. Ayrıca son gün yeniden su debisi 1lt/dk iken boş panel ve arka yüzeyden soğutulan panelin karşılaştırılması yapılmıştır. Arka yüzeyden soğutulan panelin gücü boş panele göre maksimum güç üretiminde ortalama %4.87 daha fazla güç üretmiştir. Bu sonuçlara göre panel yüzeylerinin soğutulması ile verim kayıpları azaltılabilir. Panellerin ön yüzeyden soğutulmaları güneş radyasyonuna olumsuz etki eder. Bu yüzden arka yüzeyden soğutulmaları daha avantajlı bir durumdur. Soğutma işlemleri panellerin yüksek sıcaklıklardaki güç kayıpları esnasında yapılırken daha iyi sonuç alınmaktadır. Yapılan çalışma ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ön yüzeyden akışkan veya şeffaf materyaller güneş radyasyon miktarında azalmaya sebep olarak panel yüzeyine düşen enerji miktarını azaltır.
- Panellerde ısı kaynaklı verim kaybını azaltmak için yapılacak soğutma uygulamaları panelin arka yüzeyinden yapılmalıdır.
- Panel arka yüzeyden akışkanla yapılacak soğutmalarda akışkanın debisinin yüksek olması ısıyı daha hızlı azaltacağından önemlidir.
- Paneller her zaman soğutulmamalıdır. Panellerde genellikle maksimum verim 25°C’de olup bu sıcaklığın üzerindeki durumlarda yani yüksek sıcaklıklarda soğutma işlemi yapılmalıdır. Soğutma işlemlerinden verim alınan sıcaklıklar yüksek sıcaklıklardır.
- Soğutmada kullanılacak suyun sıcaklığı yani depo sıcaklığı sonuca etki etmektedir. Akışkan ne kadar soğuksa çalışma o kadar verimli olacaktır.
- Çevredeki ortam sıcaklığı, rüzgar, bulutlanma, gölge oluşumu ve güneş radyasyon miktarı deneye sonucuna etki eden faktörlerdendir.
- Panellerin maksimum güç üretimleri için panellerin konumu ve panel açısı gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

5.2. Öneriler

- Ölçüm yaparken kablo ve ekipmanlar aynı olmalı, maksimum verim için kaliteli malzeme kullanılmalıdır.
- Panel arka yüzeyinin ısıyı daha iyi iletebilmesi ve soğuması için panel yüzeyine bakır ya da alüminyum gibi daha iyi ısı ileten malzeme yerleştirilip su ile soğutma yapılabilir.
- Su içerisine nano akışkan içeren farklı bir akışkanla deney yapılabilir.
- Cam yerine daha hafif ya da daha kullanışlı başka bir malzeme ile panel yüzeylerinin soğutulması yapılabilir.
- Bu çalışmada soğutma düzeneğinde çift cam kullanıldı. Panel yüzeyine çift cam yerine tek katlı bir cam düzenek tasarlanıp panel yüzeyi soğutulabilir.
- Su kaynaklarına yakın yerlerde panellerin arka yüzeyden soğutularak verimlerinin artması sağlanabilir.
- Panel soğutmada kullanılan suyun kireç oranının fazla olması soğutma sistemin tıkanmasına ve zamanla veriminin düşmesine neden olabilir.

KAYNAKÇA

- Akpınar E. K., 2002, Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: kurutma deneylerindeki hata analizi, *Mühendis ve Makine*, 46(540);41-48.
- Ancuta, F., 2011, Failure analysis capabilities for PV systems, *International Conference Recent Researches in Energy*, At: Lanzarote, Spain, 1;109–115.
- Andreas, F. ve Baskoutas, S., 2006, Kolloidal kuantum noktalarının boyuta bağlı bant aralığı. *Uygulamalı fizik dergisi*, 1;99.
- Anonim, 2009, impact of photovoltaic modules, <http://www.asunenergy.com> [Ziyaret Tarihi:15 Kasım 2021].
- Anonim, 2011, *National Renewable energy Laboratory*, “ Best Research-Cell Efficiencies”, <https://docplayer.biz.tr/2856794-Fotovoltaik-pv-teknolojileri-prof-dr-suleyman-ozcelik-sozcelik-gazi-edu-tr.html> [Ziyaret Tarihi: 4 Kasım 2021].
- Anonim, 2017a, <https://www.energy.gov/eere/solar/cadmium-telluride> [Ziyaret Tarihi:6 Kasım 2021].
- Anonim, 2017b, <http://electronicstechnician.tpub.com/14092/css/Radiation-And-Induction-Losses-60.htm> Radiation-And-Induction-Losses. [Ziyaret Tarihi:8 Kasım 2021].
- Anonim, 2018, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx güneş enerjisi. [Ziyaret Tarihi:10 Mayıs 2021].
- Anonim, 2019, <https://www.dunyaenerji.org.tr/yenilenebilir-enerjiler-2019-kuresel-durum-raporu/> [Ziyaret Tarihi:6 Eylül 2021].
- Anonim, 2020a, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> [Ziyaret Tarihi:6 Kasım 2021].
- Anonim, 2020b, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-202012_T%C3%BCrkiye%27de%20G%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi_Evren%20%C3%96zg%C3%BCr.pdf [Ziyaret Tarihi:19 Kasım 2021].
- Anonim, 2020c, <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html> [Ziyaret Tarihi:19 Kasım 2021].
- Anonim, 2020ç, <https://www.yegm.gov.tr> [Ziyaret Tarihi:21 Kasım 2021].
- Anonim, 2020d, https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/61974/mod_resource/content/0/5.HAFT.pdf [Ziyaret Tarihi:12 Aralık 2020].
- Anonim, 2021a, YEGM. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> [Ziyaret Tarihi:29 Mayıs 2021].

Anonim, 2021b, MGM. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7> [Ziyaret Tarihi:19 Kasım 2021].

Anonim, 2021c, Türkiye coğrafi konum bilgisi, https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_co%C4%9Frafyas%C4%B1 [Ziyaret Tarihi:10 Aralık 2021].

Anonim, 2021ç, EİGM. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> [Ziyaret Tarihi:19 Kasım 2021].

Anonim, 2021d, Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı Güneş Enerjisi Sektör Raporu 2011, <http://baka.gov.tr/uploads/1303486512gunes-Turkce-Katalog.pdf> [Ziyaret Tarihi:19 Kasım 2021].

Anonim, 2021e, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> [Ziyaret Tarihi:17 Kasım 2021].

Anonim, 2021f, Güneş Pili Şeması <https://muyendis.com/on-grid-solar-sebeke-baglantili-sistem/> [Ziyaret Tarihi:17 Ekim 2021].

Anonim 2021g, Güneş Pili Şeması <https://www.gercekbilim.com/titanyum-dioksit-esasli-veya-boya-esasli-gunes-pilleri/gunes-pili-semasi/> [Ziyaret Tarihi:17 Kasım 2021].

Anonim, 2021h, Atomların Komşu Atomlara Bağlanma Şekli <https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/semiconductor-structure> [Ziyaret Tarihi:21 Kasım 2021].

Anonim, 2021ı, Silisyumun Saflaştırılma Aşaması <http://www.gunessistemleri.com/uretimsureci.php> [Ziyaret Tarihi:6 Kasım 2021].

Anonim, 2021i, Monokristal Silisyum PV Hücre https://www.turkcewiki.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_H%C3%BCresi [Ziyaret Tarihi:17 Kasım 2021].

Anonim, 2021j Polikristal Silisyum PV Hücre, <https://www.fotonik.gazi.edu.tr> [Ziyaret Tarihi:21 Kasım 2021].

Anonim, 2021k, <https://inml.cnsi.ucla.edu/projects/qdot/> [Ziyaret Tarihi:21 Kasım 2021].

Anonim, 2021l, https://cdnacikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_Guz/genel_kimya/9/index.html [Ziyaret Tarihi:17 Kasım 2021].

Anonim, 2021m, <https://solarcati.com/golge-etkenlerinin-olumsuz-etkileri-ve-kacinma-yollari/> [Ziyaret Tarihi:22 Kasım 2021].

Anonim, 2021n, <http://www.puritycleaningsystems.com/solar-panels-cleaning/> [Ziyaret Tarihi:22 Kasım 2021].

Anonim, 2021o, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?m=BATMAN>. [Ziyaret Tarihi:15 Kasım 2021].

- Bagher, A.M., Vahid, M.M.A. ve Mohsen, M., 2015. Types of solar cells and application, *American Journal of Optics and Photonics*, 5;94-113.
- Bahaidarah H., Subhan, A., Gandhidasan P., Rehman S., 2013, Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions, *Energy* 59;445-453.
- Ceylan, Ş., Yılmaz, S., İnanç, Ö., Ergün, A., 2019, Determination of the heat transfer coefficient of pv panels, *Energy* 175;978-985.
- Chandler, S. Purohit A., Sharma A., Nehra S.P., Dhaka M.S. 2015, Impact of temperature on performance of series and parallel connected monocrystalline silicon solar cells, *Energy Reports*, 1;175-180.
- Cuce E., Bali T., Sekucoglu S.A., 2011, Effects of passive cooling on performance of silicon photovoltaic cells, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 6;299-308.
- Du C.J., Fell B., Duck D., Chen K., Liffman Y., Zhang M., Gu Y. Zhu., 2016, Evaluation of photovoltaic panel temperature in realistic scenarios, *Energy Conversion and Management*, 108;60-67
- El-Seesy I.E., Khalil T., Ahmed M.H., 2012, Experimental investigations and developing of photovoltaic/thermal system, *World Applied Sciences Journal*, 19(9);1342-1347.
- Engin D. ve Çolak M., 2005, Yarı saydam güneş pili termal toplayıcı pvt hibrit sistemin İzmir koşullarında analizi, *Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2(10);10-12.
- Eperon, E., Stranks, S.D., Menelaou, C., Johnston, M.B., Herza L.M. ve Snaith, H.J., 2014, Formamidinium lead trihalide: a broadly tunable perovskite for efficient planar heterojunction solar cells, *Energy & Environmental Science*, 7;982-988.
- Fraisse, G., Menezo, C., Johannes, K., 2007, Energy performance of water hybrid PV/T collectors applied to combisystems of direct solar floor type, *Solar Energy*, 81;1426-1438.
- Fudholi A., Sopian K., Yazdi M., Ruslan., Kazem, H. (2014). Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors, *Energy Conversion and Management*, 78: 641-651
- Grubisic-Cabo F., Nizetic S., Marco T.G., 2016, Photovoltaic panels: a review of the cooling, *Transactions Of Fama XL*, 63-74.
- Grunow P., Preiss A., Koch S., ve Krauter S., 2009, Yield and spectral effects of a-si modules, *Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, ISBN 3-936338-25-6, Hamburg, Germany, 2846-2829.

- Gül M., ve Akyüz E., 2019, Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 21(1);444-458.
- Hassan A., 2010, Phase Change Materials for Thermal Regulation of Building Integrated Photovoltaics, *Dublin Institute of Technology*, 150-180.
- Henze, N.B. ve Sahan, B., 2009, Study on mpp mismatch losses in photovoltaic applications, *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 26-45.
- Herrmann W., Althaus J and Steland A., 2006, Statistical and experimental methods for assessing the power output specification of pv modules *21st European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 4-8 September Dresden, Germany
- Herrmann W., 2005, Mismatchverluste bei verschaltung von solarmodulen ertragsgewinn durch vorsortierung?, *Tagungsband des 20. Symposiums*
- Ike C.U. (2013). The effect of temperature on the performance of a photovoltaic solar system in eastern nigeri, *International Journal Of Engineering And Science*, 3(12):10-14.
- Ji J., Lu J., Pei G., 2007, A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation, *Applied Energy*, (84);222-237.
- Jun, K. H., Careem, A. M. and Arof, K. A., 2013, Quantum dot-sensitized solar cells—perspective and recent developments: a review of cd chalcogenide quantum dots as sensitizers, *Renewable Energy*, 22;148-167.
- Kabul A., Duran, F., 2014, Isparta ilinde fotovoltaik/termal (pv/t) hibrit sistemin performans analizi, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(1);31-43.
- Kamkird N., Ketjoy W., Rakwichian S., 2012, Investigation on temperature coefficients of three types photovoltaic module technologies under thailand operating condition, *Procedia Engineering* 32;376-383.
- Kane, A., and Verma, V., 2013, Performance enhancement of building integrated photovoltaic module using thermoelectric cooling, *International Journal of Renewable Energy Research*, 3;320-324.
- Keçel S., Güçlü Yavuzcan H., 2008, Türkiye deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliklerine etkisi, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22;12-20.
- Kılıç, F.Ç., 2015, Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 56 (671);28-40.
- Kline Stephen J., 1953, Describing uncertainty in single sample experiments *Mech, Engineering* 75;3-8.

- Kostic L., Pavloviz T., Pavlovic Z., 2010, Optimal design of orientation of PV/T collector with reflectors, *Applied Energy*, 87(10);3023-3029.
- Maghami M.R., Hizam H., Gomes C., Radzi M.A., Rezadad M.I. and Hajighorbani S., 2016, Power loss due to soiling on solar panel: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59;1307–1316.
- Matsumoto Y., Hirata G., Takakura H., Okamoto H., Hamakawa Y., 1990, A new type of high efficiency with a low-cost solar cell having the structure of $\mu\text{c-SiC}$ polycrystalline silicon heterojunction, *Journal of Applied Physics*, 67;6538-6543.
- Milliron, J., Gur, I. and Alivisatos, A.P., 2005, Hybrid organic–nanocrystal solar cells, *MRS Bulletin*, 30;41-44.
- Moharram K.A., Abd-Elhady M.S., Kandil H.A., El-Sherif H., 2013, Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling, *Ain Shams Engineering Journal*, 4;869-877.
- Moreno M., 2016, Crystalline and non-crystalline solids, book edited by Pietro Mandracci, 51;953-978.
- Öztürk H., 2013, Güneş enerjisinden elektrik üretimi, fotovoltaik teknoloji, *Umuttepe Yayınları*, Yayın No: 97, ISBN:978-605-5100-00-1.
- Peng Z., Herfatmanesh, M.R., Liu, Y., 2017, Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation, *Energy Conversion and Management*, 150:949-955.
- Rawat P., Dhiran T.S., 2017, Comparative analysis of solar photovoltaic thermal (pvt) water and solar photovoltaic thermal (pvt) air systems, international journal of civil, *Mechanical and Energy Science (IJCMES)*, 3(1);8-12.
- Rosa-Clot M., Rosa-Clot P., Tina G.M., Scandura P.F., 2010, Submerged photovoltaic solar panel: SP2, *Renewable Energy*, 35;1862-1865.
- Rodrigues E., Melicio R., Mendes V., 2011, Simulation of a solar cell considering single-diode equivalent circuit model, *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(9);369-373.
- Sabri L. and Benzirar M., 2014, Effect of ambient conditions on thermal properties of photovoltaic cells: crystalline and amorphous silicon, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3;17815-17821.
- Sahay A., Sethi V. K., Tiwari A. C., Pandey, M., 2015, A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42;306-312.
- Salema, F. and Awadallah, M.A., 2015, Detection and assessment of partial shading in photovoltaic arrays, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 3;23-32.

- Sarhaddi F., Farahat S., Ajam H., Behzadmehr A., 2010, Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, *Energy and Buildings*, 42(11);2184-2199.
- Shaheen E., Ginley D.S. and Jabbour G.E., 2005, Organic–Based Photovoltaics, *MRS Bulletin*, 30;10-19.
- Shenck, N.S., 2010, Alternative energy systems. *U.S. Naval Academy Lecture Readings*.
- Smith M.K., Selbak H., Wamser C.C., Day N.U., Krieske M., Sailor D.J., Rosenstiel T.N., 2014, Water cooling method to improve the performance of field-mounted, insulated, and concentrating photovoltaic modules, *Journal of Solar Energy Engineering*, cilt 136.
- Swami R., 2012, Solar Cell. *International Journal of Scientific And Research Publications*, 7(2);1-5.
- Teo H.G., Lee P.S., Hawlader M.N., 2012, An active cooling system for photovoltaic Modules, *Applied Energy*, 90(1);309-315.
- Thomas R., Fordham M., 2001, Photovoltaics and architecture, spon press, London and Newyork.
- Tyagi V., Kaushik S., Tyagi S., 2012, Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3);1383-1398.
- Yeşilata B., Fıratoğlu Z.A., 2003, Lineer elektriksel yüke bağlı PV panellerin optimizasyonu ve bölgesel uygulanabilirliğinin araştırılması, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri dergisi*, 1(1);65-72.
- Zhijun P., Mohammad R., Herfatmanesh Yiming L., 2017, Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation, *Journal of Energy Conversion and Management*, 150;949-955.
- Zhu L., Raman A., Wang K.X., Anoma M.A., Fan S., 2014 Radiative cooling of solar cells, *Optica*, 1(1)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özbay ÇAĞIRTEKİN
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ergani Anadolu Öğretmen Lisesi, Ergani, Diyarbakır	1997
Üniversite	: İnönü Üniversitesi, Malatya	2002
	Batman Üniversitesi, Batman	2018
Yüksek Lisans:	Batman Üniversitesi	2022

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2002-Halen	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir Enerji Sistemleri, Güneş Enerji Sistemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

1. Yılmaz A., Yıldız M.E., Çağırtekin Ö. (2019). Organic Material Potential And Energy Analysis For Biogas Application Of Batman . European Journal of Technique (EJT) , 9 (1) , 66-73 . DOI: 10.36222/ejt.529824 Makale