



**FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME VE ZORLANMIŞ TAŞINIMLA SOĞUTMA
İŞLEMİNİN FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN ÇIKIŞ GÜCÜ ÜZERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

YASEMİN İNCİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Uğur AKYOL

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Dinçer AKAL

2024

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME VE ZORLANMIŞ TAŞINIMLA SOĞUTMA
İŞLEMİNİN FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN ÇIKIŞ GÜCÜ ÜZERİNE
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

YASEMİN İNCİ

ORCID: 0009-0005-6334-5123

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Uğur AKYOL
İkinci Danışman: Doç. Dr. Dinçer AKAL

HAZİRAN-2024
Her hakkı saklıdır.

ÖZET

FAZ DEĞİŞTİREN MALZEME VE ZORLANMIŞ TAŞINIMLA SOĞUTMA İŞLEMİNİN FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN ÇIKIŞ GÜCÜ ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Yasemin İNCİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Uğur AKYOL

İkinci Danışman: Doç. Dr. Dinçer AKAL

Dünyamızda fosile dayalı enerji kaynaklarının beraberinde getirdiği sorunlar yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı talebin artmasına neden olmaktadır. Güneş enerjisi bu alanda yaygın olarak tercih edilen enerji kaynaklarından birisidir. Güneşten gelen enerjinin bir kısmı fotovoltaik (FV) paneller vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşmektedir. FV panellerin yüzey sıcaklıklarının yükselmesi FV panellerin verimini düşürerek üretilen elektrik enerjisinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada FV panellerin aşırı ısınmasını önlemek ve soğutma işleminin FV güneş panellerinin çıkış gücü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla hem aktif hem de pasif soğutma yöntemini içeren iki farklı soğutma uygulamasının kullanıldığı deneysel bir çalışma yapılmıştır. Deneylerde üç adet özdeş mono kristal FV panel kullanılmıştır. İlk FV panel standart halde olup bu panele herhangi bir soğutma yöntemi uygulanmamıştır. Aktif soğutma yöntemi uygulanan ikinci FV panelde bir fan vasıtasıyla hava sirkülasyonu ile soğutma işlemi uygulanmıştır. Üçüncü FV panelde ise hem aktif hem de pasif soğutma işleminin bir arada olduğu (hibrit) soğutma yönteminde, fan yardımıyla hava sirkülasyonu ile soğutma işlemine ilaveten, FV panele RT44HC faz değiştiren malzeme (FDM) ilave edilerek pasif soğutmanın etkisi de araştırılmıştır. Deneylerin yapıldığı 45 günlük süreçte hiçbir soğutma işlemi uygulanmayan standart panele göre aktif soğutuculu panelin %14,85, hibrit soğutuculu panelin ise %21,06 oranında daha fazla elektrik enerjisi ürettiği görülmüştür. Çalışmada deneysel veriler kullanılarak enerji analizi yapılmış, örnek bir gün için standart panelin %12,41, aktif soğutuculu panelin %13,97 ve hibrit soğutuculu panelin ise %14,64 enerji verimliliğine sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, FV Panel, Soğutucu Fan, Faz Değiştiren Malzeme, Enerji Analizi

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PHASE CHANGING MATERIAL AND FORCED CONVECTION COOLING PROCESS ON THE OUTPUT POWER OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS

Yasemin İNCİ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Uğur AKYOL

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dinçer Akal

The problems caused by fossil-based energy sources in our world cause an increase in the demand for renewable energy sources. Solar energy is one of the widely preferred energy sources in this field. Some of the energy coming from the sun is converted into electrical energy through photovoltaic (PV) panels. The increase in surface temperatures of PV panels reduces the efficiency of PV panels and causes a decrease in the electrical energy produced. In this study, an experimental study was conducted using two different cooling applications, including both active and passive cooling methods, in order to prevent overheating of PV panels and to examine the effect of the cooling process on the output power of PV solar panels. Three identical monocrystalline PV panels were used in the experiments. The first PV panel is standard and no cooling method has been applied to this panel. In the second PV panel, where the active cooling method was applied, cooling was applied by air circulation through a fan. In the third PV panel, in the (hybrid) cooling method where both active and passive cooling processes are combined, in addition to the cooling process with fan-assisted air circulation, the effect of passive cooling was also investigated by adding RT44HC phase change material (FDM) to the PV panel. During the 45-day period of the experiments, it was observed that the active cooled panel produced 14.85% more electrical energy and the hybrid cooled panel produced 21.06% more electrical energy compared to the standard panel with no cooling process. In the study, energy analysis was made using experimental data, and it was observed that the standard panel had an energy efficiency of 12.41%, the active cooled panel had 13.97% and the hybrid cooled panel had 14.64% energy efficiency for a sample day.

Keywords: Solar Energy, PV Panel, Cooling Fan, Phase Change Material, Energy Analysis

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
TEŞEKKÜR	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Güneş Enerjisi	2
1.2 Literatür Özeti	5
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	12
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	14
2.1 Fotovoltaik Pillerin Tarihçesi	14
2.2 Fotovoltaik Pillerin Yapısı ve Çalışma Prensibi	14
2.3 Fotovoltaik Panel Bileşenleri	16
2.4 Fotovoltaik Panel Teknolojileri	18
2.4.1 Birinci Nesil Fotovoltaik Panel Teknolojisi	18
2.4.1.1 Mono kristal	19
2.4.1.2 Poli kristal	19
2.4.2 İkinci Nesil Fotovoltaik Panel Teknolojisi	20
2.4.2.1 Amorf Silisyum (a-Si)	21
2.4.2.2 Kadmiyum Tellür (CdTe)	21
2.4.2.3 Bakır İndiyum Galyum Diselenid	22
2.4.3 Üçüncü Nesil Fotovoltaik Panel Teknolojisi	22
2.4.3.1 Boya Duyarlı Güneş Pilleri (DSSC)	23
2.4.3.2 Organik Güneş Pilleri	24
2.5 Fotovoltaik Panel Kayıpları	24
2.5.1 Işınım Kayıpları	26
2.5.1.1 Spektrum Kayıpları	26
2.5.1.2 Yansıma Kayıpları	26
2.5.1.3 Gölgeleme Kayıpları	26
2.5.1.4 Tozlanma ve Karlanma Kayıpları	27

2.5.2 Sistem Kayıpları.....	27
2.5.2.1 Düşük Işınım Kayıpları	27
2.5.2.2 Sıcaklık Kayıpları	28
2.5.2.3 Kablo Kayıpları.....	28
2.5.2.4 Uyumsuzluk Kayıpları	28
2.5.3 İnverter Kayıpları.....	29
2.5.3.1 DC/AC Çevrimden Kaynaklı Kayıplar	29
2.5.3.2 Güç Kısıtlamasından Kaynaklı Kayıplar	29
2.5.3.2 MPPT Kayıpları	29
2.6 Fotovoltaik Panellerde Yüzey Soğutma Yöntemleri	30
2.6.1 Su ile Soğutma	30
2.6.2 Hava ile Soğutma.....	31
2.6.3 Nano Akışkan ile Soğutma	32
2.6.4 Faz Değiştiren Malzeme ile Soğutma	32
3. MATERİYAL VE METOT	34
3.1 Deneysel Yöntem.....	34
3.2 Deney Düzeneginde Kullanılan Malzemeler	40
3.3 Enerji Analizi	44
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. RT-44HC'ye ait teknik özellikler.....	36
Çizelge 3.2. Deney düzeneğinde kullanılan FV panellere ait teknik özellikler	41
Çizelge 3.3. Fan teknik özellikleri.....	42



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1. Türkiye genelinde güneş radyasyonu potansiyeli haritası.....	3
Şekil 1. 2. Türkiye’de aylık ortalama global radyasyon dağılımı	3
Şekil 2. 1. Yarı iletken için enerji diyagramı	15
Şekil 2. 2. FV panel ve bileşenleri.....	16
Şekil 2. 3. FV sistem oluşumu.....	18
Şekil 2. 4. Mono kristal FV panel.....	19
Şekil 2. 5. Poli kristal FV panel.....	20
Şekil 2. 6. İkinci nesil ince film FV paneller.....	21
Şekil 2. 7. Bakır indiyum galyum diselenid FV panel.....	22
Şekil 2. 8. Boya duyarlı güneş pili ve yapısı	23
Şekil 2. 9. FV sistemde oluşabilecek kayıplar	25
Şekil 2. 10. FV paneller üzerine çatıdan kaynaklı gölge düşmesi durumu	27
Şekil 2. 11. Su ile aktif soğutma sistem tasarımı örneği.....	31
Şekil 2. 12. FV panellerde kanatçıklı yapı ile pasif soğutma yöntemi uygulaması.....	31
Şekil 2. 13. FV panellerde fan ile aktif soğutma yöntemi uygulaması.....	32
Şekil 2. 14. FV panellerde FDM ile soğutma yöntemi uygulaması	33
Şekil 3. 1. a- Soğutucu fan kanalı parçaları b- Soğutucu fan kanalı montaj resmi.....	35
Şekil 3. 2. FV panel arkasına montaj edilmiş havalandırma kanalının boyut parametreleri	35
Şekil 3. 3. FDM ile dolu alüminyum kapsüllerin FV panel arkasına yerleşim düzeni ve boyut parametreleri.....	37
Şekil 3. 4. Hibrit soğutma sistemi montaj adımları	37
Şekil 3. 5. Sıcaklık sensörlerinin yerleşimi	38
Şekil 3. 6. Soğutucu fan kontrol devresi.....	39
Şekil 3. 7. a- Deney düzeneğinin önden görüntüsü b- Deney düzeneğinin yandan görüntüsü	40
Şekil 3. 8. Deney düzeneğinin arkadan görüntüsü	40
Şekil 3. 9. FV panel ve boyut parametreleri	41

Şekil 3. 10. Hava istasyonu	42
Şekil 3. 11. Soğutucu fan.....	42
Şekil 3. 12. Soğutucu fan kontrol devresi elemanları.....	43
Şekil 4. 1. 8 Ağustos 2023, 22 Ağustos 2023 ve 9 Eylül 2023 günlerinde global güneş ışıınının saatlik değerleri.....	46
Şekil 4. 2. 8 Ağustos 2023’de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı	47
Şekil 4. 3. 22 Ağustos 2023’de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı	47
Şekil 4. 4. 9 Eylül 2023’de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı.....	48
Şekil 4. 5. 8 Ağustos 2023, 22 Ağustos 2023 ve 9 Eylül 2023 tarihlerindeki günlük toplam enerji üretimi.....	50
Şekil 4. 6. 8 Ağustos 2023’de FV panellerin enerji verimliliği.....	51
Şekil 4. 7. 22 Ağustos 2023’de FV panellerin enerji verimliliği.....	52
Şekil 4. 8. 9 Eylül 2023’de FV panellerin enerji verimliliği	54

SİMGELER DİZİNİ

V_{oc}	Açık devre voltajı (V)
I_f	Fan akımı (A)
P_f	Fan gücü (W)
$E_{\check{c}}$	FV sistemin birim zamanda enerji çıktısı (W)
η_{FV}	FV sistemin elektriksel enerji verimi
$\eta_{FV,f}$	Fanlı FV sistemin elektriksel enerji verimi
V_f	Fan voltajı (V)
$E_{\check{c},f}$	Fan ile soğutmalı sistemde FV panellerde birim zamanda enerji çıktısı (W)
A	FV panel alanı (m ²)
E_e	FV panellerde elektrik üretimi (W)
E_g	FV sistemin birim zamanda enerji girdisi (W)
I_s	Güneş ışıınımı (W/m ²)
I_{sc}	Kısa devre akımı (A)
P_{max}	Maksimum güç (W)
I_{mp}	Maksimum güç akımı (A)
V_{mp}	Maksimum güç voltajı (V)

KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternatif Akım
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
a-Si	Amorf Silisyum
N ₂ O ₅	Azot Pentaoksit
CuO	Bakır Oksit
BDGP	Boya Duyarlı Güneş Pilleri
CFD	Computational Fluid Dynamics
CNC	Computer Numerical Control
ZnO	Çinko Oksit
DC	Doğru Akım
EVA	Etilen Vinil Asetat
FDM	Faz Değiştiren Malzeme
FTO	Flor Katkılı Kalay Oksit
FV	Fotovoltaik
FV/T	Fotovoltaik/Isı
GEPA	Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
ITO	İndiyum Katkılı Kalay Oksit
Cd-Te	Kadmiyum Tellür
SnO ₂	Kalay Dioksit
LCD	Liquid Crystal Display
MPPT	Maximum Power Point Tracking
PET	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen
PVF	Polivinil Florür
RTC	Real Time Clock
SD	Secure Digital
ANSYS	Swanson Analysis Systems
TE	Termoelektrik
TiO ₂	Titanyum Dioksit
UV	Ultraviyole
USB	Universal Serial Bus

TEŞEKKÜR

Çalışma sürecinde bilgi ve tecrübeleriyle yardımını esirgemeyen değerli danışmanlarım Prof. Dr. Uğur AKYOL ve Doç. Dr. Dinçer AKAL' a şükranlarımı sunarım. Ayrıca tüm eğitim hayatı sürecimde desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Yasemin İNCİ

Makine Mühendisi



1. GİRİŞ

Son zamanlarda artan enerji ihtiyacının çevresel ve ekonomik olarak karşılanabilmesi için alternatif enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu teknolojilerin temelinde enerji kaynaklarının daha verimli ve ekonomik kullanımı hedef haline gelmiştir. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların oluşması çok uzun zaman alırken tüketilmesi çok hızlı gerçekleşmektedir. Bu sebeptendir ki fosil yakıtlar yenilenemez enerji kaynakları olarak da nitelendirilmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin arz talep ilişkisine göre istenilen miktardaki talebi tam olarak karşılayamaması maliyet artışına sebep olmaktadır. Bunların yanında fosil yakıtlarının yanma esnasında açığa çıkardığı karbondioksit ile atmosferdeki karbondioksit miktarını arttırarak çevre havanın kirlenmesine sebep olmaktadır. Fosil yakıtlar; küresel ısınma, iklim değişikliği, canlı türlerinin nesillerinin tükenmesi, asit yağmurları, çeşitli sağlık problemleri gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Tüm bu sebepler ele alındığında insanoğlu daha temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağı arayışına girmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları burada topluma hitap edebilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları doğada devamlı var olan ve tükenmeyen kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli dünyanın enerji talebinin birçok katını karşılayabilecek kapasitededir (Herzog, Lipman ve Kammen, 2001). Bu sebepten artan nüfus ve endüstriyel faaliyetlerin ihtiyaç duyduğu enerji yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanabilmektedir.

Doğada var olan yenilenebilir enerji kaynakları enerjide çeşitliliğe sebep olmaktadır. Bu da var olan kaynağa göre enerjiyi elde edebilme fırsatı sunmuştur. Enerjideki çeşitlilik, fosil yakıtı varlığı ile jeopolitik konum olarak üstünlük sağlayan ülkelerin üstünlüğünü değiştirmektedir. Fosil yakıt bulunmayan ülkeler dışa bağımlı olarak enerji ihtiyacını karşılamak zorunda kalırken yeni bir çözüm olarak yenilenebilir enerji kaynakları ile gerekli enerji ihtiyacını karşılayabileceklerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları tüketimi ile fosil yakıt bakımından zengin olan ülkelerin dünya üzerinde kurdukları enerji dengeleri değişmiş olacaktır (Herdem, 2021). Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtı bulunmayan ülkelerdeki istihdamın artmasına katkıda bulunacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, hidro, jeotermal, güneş, rüzgar, odun, bitki artıkları, biyokütle, gel-git ve dalga olarak kabul edilmektedir (Özkaya, 2004). Güneş enerjisi, enerji sektörüne hakim olan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Güneşten gelen ışınların toplanması ile ısı veya elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu enerjinin kaynağı olan güneş, FV

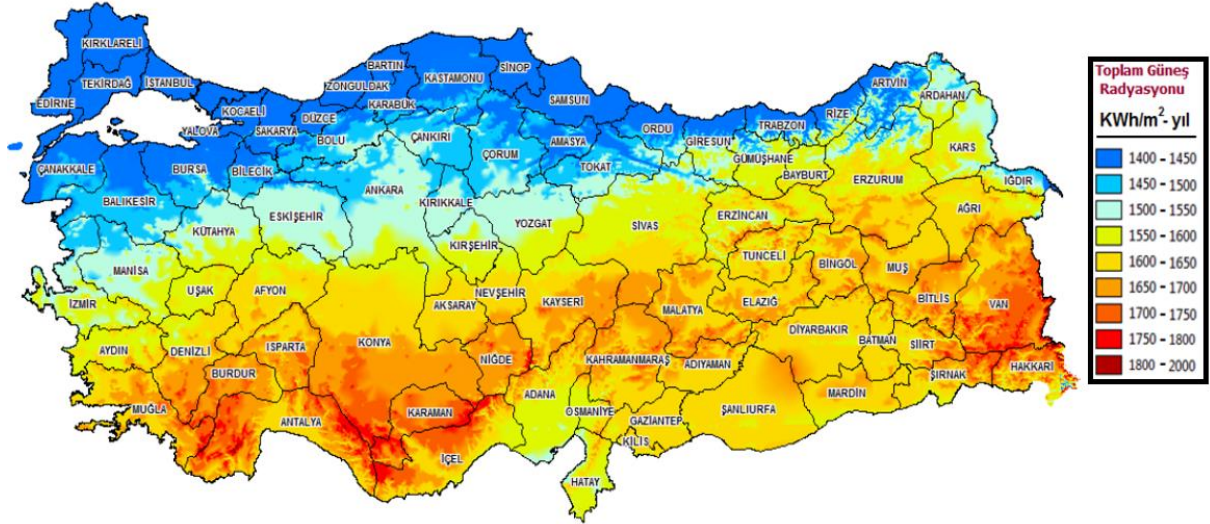
paneller ile enerji dönüşümünü sağlamaktadır. Günümüz şartlarında güneş enerjisinden elektrik üretimi en çok ilgi duyulan yatırımlar arasında yer almaktadır (Kılıcı, 2020).

1.1 Güneş Enerjisi

Güneş; hidro, jeotermal, rüzgar, odun, bitki artıkları, biyokütle, gel-git, dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen ve hızlı gelişen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşte oluşan füzyon tepkimeleri ile güneş enerjisi meydana gelir (Kaplukan, 2015). Güneşte var olan hidrojen atomlarının güneşin çekirdeğinde birleşerek yani nükleer füzyonu ile helyum atomlarına dönüştürülür ve burada ısıma enerjisi açığa çıkar. Buradaki nükleer reaksiyonların oluşması için gerekli basınç ve sıcaklık güneşte bulunmaktadır. Bu olay gerçekleşirken çok büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan enerjinin yalnızca bir kısmı yeryüzüne ulaşabilmektedir (Oduncu, 2020).

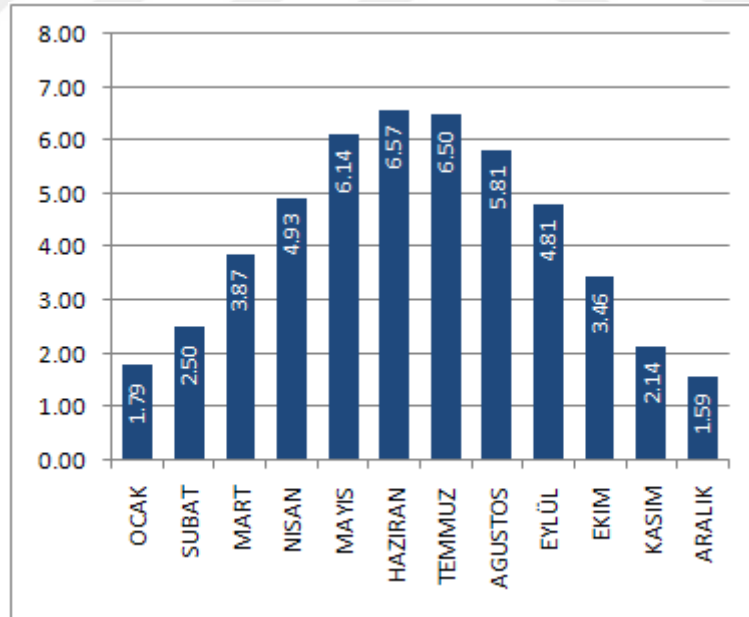
Güneş, yaklaşık olarak $3,9 \times 10^{26}$ W güç yayabilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneşten yayılan enerjinin çok az bir bölümü yeryüzüne ulaşabilmektedir. Atmosferin dış yüzeyinde metrekareye ortalama 1.367 W güç düşerken yeryüzüne ulaşan kısmı metrekarede 0-1.100 W değerindedir. Ultraviyole ve X ışınlarından meydana gelen bu ışımalarının bir bölümünü atmosfer tarafından emilirken bir bölümünü de yansıtır. 1970 yılından itibaren güneş enerjisi ile ilgili yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Bu sayede güneş enerji sistemleri teknolojik olarak ilerleme gösterirken maliyet açısından azalmalar meydana gelmiştir.

Türkiye coğrafi konumu itibariyle diğer ülkelere kıyasla yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresinin 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisinin $1.527,46 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yıl}$ (günlük ortalama $4,18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{gün}$) olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1.1'de Türkiye genelinde güneş radyasyonu potansiyeli haritası yer almaktadır. Türkiye güneş enerjisi açısından oldukça avantajlı bir enlemde bulunmaktadır. Harita incelendiğinde güneş radyasyonu potansiyeli Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinde yüksek değerlere sahiptir. Bunun sebebi yaz aylarında sıcaklık değerlerinin yüksek olmasıdır. Coğrafi konumu ve yağmurlu gün sayısının fazla olmasından kaynaklı Karadeniz bölgesinin haritadaki en düşük güneş radyasyonuna sahip olduğu gözlemlenmektedir (Tekin ve Güneri, 2021).



Şekil 1.1. Türkiye genelinde güneş radyasyonu potansiyeli haritası (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2022, s. 1).

Şekil 1.2’de Türkiye’de aylık ortalama global radyasyon dağılımı gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde en düşük güneş radyasyonu Aralık ayındayken en yüksek ise Haziran ayındadır.



Şekil 1.2. Türkiye’de aylık ortalama global radyasyon dağılımı (ETKB, 2022, s. 1).

Güneş (nükleer enerji hariç) dünyadaki tüm enerji kaynaklarının oluşumunu sağlayan ana kaynaktır. Yeryüzü üzerine gelen güneş ışınları ısı veya elektriğe dönüştürülmesi çeşitli teknolojilerin kullanılması ile sağlanmıştır (Oduncu, 2020). Temelde güneş enerjisi

teknolojileri ısı güneş enerjisi ve FV güneş enerjisi teknolojileri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Isıl güneş enerjisi teknolojileri güneş enerjisinden ısı elde etmektedir. Elde edilen ısı doğrudan kullanılır ya da elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanım sağlanmaktadır.

Isıl güneş enerjisi teknolojileri sıcaklık değerlerine göre düşük sıcaklık sistemleri ve yoğunlaştırıcı ısı sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük sıcaklık sistemleri; düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörleri, güneş havuzları, güneş bacaları, su arıtma sistemleri, güneş mimarisi, ürün kurutma – sera ısıtma sistemleri ve güneş enerjisi ile pişirme gibi uygulamalar güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesine yönelik uygulamalardır (ETKB, 2022). Düşük sıcaklık sistemlerinde düzlemsel güneş kolektörleri güneş enerjisinden en kolay yararlanılan yöntemdir. Güneş kolektörleri, güneş ışınlarının emilmesiyle ısı enerjiye dönüştürülerek bir akışkana iletilmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır. Güneş kolektörü, güneş ışınımını ikincil bir devreye faydalı ısı enerjisi olarak iletmektedir. Kolektör içerisinde bulunan absorber ışınım ile alınan enerjinin emilmesini sağlar. Absorber bölümünde minimum yansıtma olması için dış yüzeyi kaplanmıştır. Üretilen ısının borular ile oluşturulan kanaldan ısı taşıyıcı akışkana aktarımı sağlanmaktadır (Karakoç, Karakoç, Erbay ve Aras, 2012).

Yoğunlaştırıcı ısı sistemler, güneşten gelen ışınları daha yoğun bir şekilde toplayarak yüksek termodinamik verimlilik elde etmeyi amaçlayan sistemdir. Güneş ışınlarını yoğunlaştırmak için parabolik aynalar, çanaklar veya heliostatlar kullanılmaktadır (ETKB, 2022). Bu sistemde geniş bir alana düşen güneş ışınlarının aynalar vasıtası ile küçük bir alana odaklanması sağlanır. Yoğunlaşmış olan ışınlar enerji santrallerinde gerekli ısıyı üretmek için kullanılmaktadır. Yoğunlaştırıcı ısı sistemler ısı veya elektrik enerjisi üretiminde kullanılan sistemlerdir (Kaplukan, 2015).

FV güneş enerjisi teknolojileri, güneş enerjisini elektrik akımına dönüştürebilen teknolojilerdir. FV paneller içerisinde güneş pillerini barındırır. Bu piller güneş enerjisini depolayan bir batarya görevi görmektedir. Güneş pilleri p ve n tipi yarı iletkenlerden oluşur. Panel yüzeyine yansıyan fotonlar sayesinde p tipi yarı iletken elektron kopararak n tipi yarı iletken elektron verir. Güneş ışığı panele yansıdığı müddetçe bu elektron hareketi devam eder. Oluşan bu elektron hareketinden elektrik enerjisi üretilmektedir.

FV sistemlerde ışınım, sistem ve inverter kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıplar FV sistem verimliliğini azaltmaktadır. Özellikle sistem kayıplarının içerisinde bulunan sıcaklık kayıpları FV panel performansını doğrudan etkilemektedir. FV panellerde sıcaklık artışı açık

devre voltajında düşüşe neden olmaktadır. Açık devre voltajı ve FV panel gücü birbiriyle bağlantılıdır. Açık devre voltajı azaldığında FV panel çıkış gücünde azalmaktadır. FV panellerin yüzey sıcaklığının 45°C'yi geçmesi FV panel verimliliğinin azalmasına neden olmaktadır. FV panel sıcaklığını azaltmak için soğutma prosesleri uygulanmaktadır. Soğutma sistemlerinde su, nano akışkan bileşimi, kanatçıklı yapılar, soğutma fanı, FDM gibi soğutucu ekipmanlar kullanılarak FV panel yüzeyi soğutulmaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Amelia vd. (2016), FV panellerin yüzeyini soğutmak için fan ile soğutma tekniğini kullanmışlardır. Referans olması amacıyla bir adet FV panele herhangi bir soğutma tekniği uygulanmamıştır. Birbirinden farklı dört adet FV panellerin arkasına sırası ile bir, iki, üç ve dört adet DC fan bağlanmıştır. Farklı panellere farklı sayıda fan bağlanma sebebi FV panelden verimli elektrik çıkışının üretilmesi için gerekli optimum fan sayısına ulaşmak istenmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında bir, iki, üç ve dört fanlı soğutma sistemlerinde güç çıkış performansları sırasıyla; %12,93, %37,17, %41,28 ve %44,34 arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar bize optimum DC fan sayısının iki adet olduğunu göstermiştir. Üç ve dört adet DC fan çıkış performansı arasında çok fazla bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca DC fan sayısı minimuma indirilerek FV panel için soğutma mekanizmasının kurulum maliyeti azaltılabilecektir.

Haidar, Orfi, Oztop ve Kaneesamkandi (2016), ısı ve kütle transferine dayanan teorik bir model geliştirilmişlerdir. FV panel yüzeyi soğutulmuş çıkış gücünün artması sağlanmıştır. Modelde eğimli bir kanala bağlı olan FV panel bulunmaktadır. Kanalın alt tarafı adyabatiktir ve bir bez parçası üzerinde su akar. Hava, bir fan yardımı ile kanal içerisine su ile aynı yönde akar. Hava kanalın içindeki ıslak yüzey üzerinden akarken su buharlaşır ve havayı soğutur. Soğuyan hava FV panelden ısıyı emer. Isı havaya aktarıldıkça FV panel sıcaklığı düşer. Sıcaklık azaldıkça FV panelde elektrik üretimi artar. Model, su tabakası ile ortam arasında ısı ve kütle transferini içermektedir. Aynı zamanda FV panel ile ortam arasındaki ısı transferini de içermektedir. Elde edilen veriler hava debisi, sıcaklık ve nemin soğutma işlemi üzerinde etkisini göstermektedir. Özellikle hava giriş sıcaklığı azaldıkça FV panel yüzey sıcaklığının da önemli ölçüde azalmıştır. Soğutma tekniği kullanıldığında FV panel yüzey sıcaklığında yaklaşık 6°C'lik bir azalma elde edilmiştir.

Syafigah, Amin, İrvan, Irwanto ve Amelia (2017), FV panelin termal ve elektriksel performansını incelemişlerdir. Termal performans için ANSYS CFX kullanılmışlardır. Elektrik performans için ise PSPICE kullanılmışlardır. ANSYS CFX'ten üretilen sıcaklık değerini kullanmışlardır. Elektrik performansında ise akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisini oluşturmak için PSPICE'ta kullanmışlardır. 6 farklı DC fan hızı kullanmışlardır. FV panel sıcaklığını düşürmek için DC fan hızının artması gerekmektedir. Fanın hızı arttığında güç tüketimi de artmaktadır. En yüksek hızlı DC fan, FV panel tarafından üretilen gücü en fazla arttırmıştır. Aynı DC fan en yüksek giriş gücüne ihtiyaç duyduğundan, çıkış gücü tasarrufu en düşüktür. Hızı 3,07 m/s DC fan, en yüksek net çıkış gücü tasarrufunu elde etmiştir. Optimum fan hızı 3,07 m/s olarak seçilmiştir.

Benato ve Stoppato (2019), FV panellerde su soğutmalı nozul püskürtme sistemini geliştirmişlerdir. Uygulanan sistem ile FV panel yüzey sıcaklığı önemli seviyede azalmıştır. Deney düzeneğini laboratuvar ortamında kurmuşlardır. Güneş ışığı yerine iki adet halojen lamba kullanmışlardır. Nozul ile su püskürtme sağlanmıştır. En uygun nozul açısının 90° olduğu belirlenmiştir. Sistemde kullanılacak en ideal nozul sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın amacı minimum su tüketimiyle maksimum güç üretimini sağlamaktır. Su püskürtme basınçlarını ve beş açma kapama döngüsünü test etmişlerdir. En uygun nozul püskürtme basıncının 1,5 bar olduğu gözlemlenmiştir. 30 saniye aktif kalan 120 saniye kapalı kalan soğutma sisteminin modül sıcaklığını 28°C azaltmıştır. Bu ayarlarda FV panel verimliliği %12,2'den %13,9'a yükselmiştir.

Abdollahi ve Rahimi (2020), FV paneller için hibrit pasif soğutma sistemi tasarlamışlardır. Doğal taşınımlı su sirkülasyonuna ek olarak FDM ve nano toz bileşimi kullanmışlardır. Çalışmada güneş ışığı yerine güneş simülatörü kullanmışlardır. Sistemde akan suyu soğutmak için FDM ağırlıkça %82 hindistan ceviz yağı ve ay çiçek yağı içermektedir. Nano toz bileşimi olarak Boehmite nano toz kullanmışlardır. Boehmite nano toz yüksek termal iletkenliğe sahip bir maddedir. Soğutma performansını iyileştirmek için FDM içerisine nano toz ilave etmişlerdir. Deneyler için 3 adet FV panel kullanmışlardır. İlk FV panel standart halde bırakılmışlardır. İkinci FV panele FDM ile soğutma uygulamışlardır. Üçüncü FV panele ise FDM ve nano toz ile soğutma uygulanmışlardır. 3 farklı radyasyon şiddetinde deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deney sistemi için zig zag desenli FDM kabı tasarlanmışlardır. Kabin alt tarafı su ile doldurulmuştur. Simülatör çalıştırıldığında FV panel kademeli olarak ısınmıştır. Kaldırma kuvveti etkisiyle sistemde doğal su akışı oluşmuştur. FV panelin arkasına yerleştirilen

kanaldan sıcak su geçmektedir. Sıcak su, zig zag desenli FDM kabına giderek ısısını FDM'ye vermektedir. Tazelenen su akışı yer çekimi etkisiyle kanala tekrar gitmektedir. Sistemde pompa kullanılmadan doğal taşınım ile su sirkülasyonu sağlanmıştır. FDM ile soğutma tekniğinin FV panel verimine katkıda bulunduğunu gözlemlemişlerdir. FDM ile uygulanan soğutma tekniğinde 410, 530, 690 W/m²'lik radyasyon değerlerinde sırasıyla %21,19, %26,88, %29,24'lük verim artış olmuştur. FDM ve Boehmite nano toz karışımındaki sistemde aynı radyasyon değerinde sırasıyla %44,74, %46,63, %48,23'lük verim artışı olmuştur.

Bayrak, Oztop ve Selimefendigil (2020), FV panellerde yüzey soğutma tekniği olarak FDM, termoelektrik (TE) ve alüminyum kanatçıklar kullanmışlardır. İki farklı FDM kullanmışlardır. Kullanılan FDM ilki FV panel soğutmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. İkinci FDM ise FV panel sıcaklığının üzerinde erime sıcaklığına sahip olmaktadır. TE malzemeden 6, 8, 12 adet kullanmışlardır. Farklı yerleşimlerde alüminyum kanatlar kullanmışlardır. Toplamda 10 adet FV panele farklı soğutma teknikleri uygulamışlardır. FV panel sıcaklığının üzerinde erime sıcaklığına sahip olan FDM, FV panel sıcaklığını arttırdığı ve çıkış gücünü azalttığını gözlemlemişlerdir. Kanatlı FV panel 47,88 W ile en yüksek gücü üretmektedir. FDM ve TEM'li FV panel ise 44,26 W ile en düşük gücü üretmektedir.

Bevilacqua, Morabito, Bruno, Ferraro ve Arcuri (2020), deneysel çalışmalarını üç farklı soğutma sistemi kurarak yapmışlardır. Bir FV panele (FV1) referans olması amacıyla herhangi bir soğutma sistemi uygulamamışlardır. İki adet FV panel (FV3 ve FV4) arkasına ikişer adet nozul ile su püskürtmeli bir soğutma işlemi uygulamışlardır. FV4'e uygulanan sistemin FV3'e uygulanan sistemden farkı arka yüzeye ince metalik bir plaka konumlandırması olmalarıdır. Bunun yapılma amacı daha homojen sıcaklık üretebilme kabiliyetini değerlendirmektir. Diğer bir FV panele (FV5) fan ile soğutma işlemi yapmışlardır. FV5'in arka yüzeyine tam ortada olacak şekilde fan konumlandırılmışlardır. FV5'in arka yüzeyine küçük delikler açmışlardır. FV panellerin arka yüzey sıcaklığı 40°C'ye ulaştığında soğutma sistemi devreye girmiştir. FV3 aylık enerji üretimini %8,6'ya çıkarmaktadır. FV4 sisteminde ise aylık enerji üretimini %6,7'ye çıkarmaktadır. İnce metalik plaka kullanılması havanın bulutlu ve soğuk olduğu günlerde FV panel performansını arttırmıştır. FV5 sistemi soğutma sisteminde en kötü sonucu vermiştir. Su ile soğutma sistemi diğer soğutma sistemlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Sudhakar, Santosh, Asthalakshmi, Kumaresan ve Velraj (2020), FDM (OM 35) ve su kombinasyonu kullanarak FV panellerde yüzey soğutma yapmışlardır. 4 farklı deney düzeneği hazırlamışlardır. Bunlardan ikisi soğutma suyu kanalı akışı yönüne göredir (aşağıdan yukarıya

ve yukarıdan aşağıya). Diğer ikisi ise periyoda dayalıdır (sürekli ve izin verilen maksimum sıcaklık mekanizması). Sonuçları herhangi bir soğutma tekniği uygulanmayan FV panel ile karşılaştırmışlardır. Aşağıdan yukarı (durum 1) ve yukarıdan aşağı (durum 3) sürekli su beslemeli FDM tabanlı FV panellerin yüzey sıcaklığında azalmalar görülmüştür. Maksimum sıcaklık mekanizmasına kıyasla güç çıkışında iyileşmeler olmuştur. Bunun sebebi durum 1 ve 3 için FDM eritme işlemi süresi yaklaşık iki saat iken, durum 2 ve 4 için bu süre yarım saattir. Durum 3 (yukarıdan aşağıya sürekli su temini soğutma tekniğini) ortalama elektrik üretimi, elektriksel verimliliği, güç geliştirme yüzdesi, ortalama sıcaklık düşüşü, maksimum toplam ekserji çıktısı ve enerji verimliliği sırasıyla; %11,92, %12,4, %13,54, 5,4°C, %26,07, %8,08 ile en iyi performansa sahiptir.

Agyekum, Kumar, Alwan, Velkin ve Shcheklein (2021), çift yüzeyli soğutmanın FV panelin çıkış gücü üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. FV panelin arka yüzeyini soğutmak için pamuk fitil ağı ve su kullanmışlardır. Pamuk fitili delikli borudan suyu emerek panelin arka yüzeyine kılcal borular ile hareket etmesi sağlanmıştır. Delikli boruyu panel üzerine stratejik olarak konumlandırmışlardır. Borudan gelen su panelin ön yüzeyine yayılarak soğutma işlemini sağlamıştır. Çalışmanın diğer bir amacı da su kaybını minimize etmektedir. Panelin arka tarafında buharlaşma ile oluşan su kaybını azaltmak (kaçan buharı geri toplamak) için alüminyum delikli levha sabitlemişlerdir. Panelin iç kısmında ve ortam havasında bir miktar değişime izin vermek için delikler oluşturmuşlardır. Sonuçlara göre soğutulan sistem sıcaklığı 35,72°C, referans olarak soğutma işlemi uygulanmayan panel ise 59,27°C'dir. Sıcaklıktaki azalma 23,55°C'dir. Soğutma tekniği uygulanmamış panelde ve uygulanmış panelde verimlilikler sırası ile %12,83, %14,36'dır. Bu, soğutulan FV panelde %11,9'luk elektrik verimliliği elde edilerek %1,53'lük iyileşme elde etmişlerdir. Uygulanan soğutma tekniğinin FV panel verimliliği üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna varmışlardır.

Almuwailhi ve Zeitoun (2021), FV panel yüzeyini soğutmak için doğal taşınım, zorlanmış taşınım ve buharlaştırmalı (evaporatif) soğutma tekniklerini kullanmışlardır. Doğal taşınımla soğutma tekniğinde 30, 60, 90, 120 mm için hava boşluklarını kullanmışlardır. Zorlanmış taşınımda, soğutma kanalının altına 1, 2, 3 m/s hızlarla fan ile soğutma tekniği uygulamışlardır. Buharlaştırmalı doğal taşınım ile soğutma tekniğinde FV panel alt yüzeyini ıslatmışlardır ve soğutma kanalı kullanmışlardır. Buharlaştırmalı zorlanmış taşınım ile soğutma tekniğinde FV panel alt yüzeyini ıslatmışlardır ve soğutma kanallarından fan ile hava itilmesini sağlamışlardır. Doğal taşınım ile soğutma tekniğinde 120 mm'lik hava boşluğu kullanılarak

günlük enerji üretiminin %1,7 verimin %1,2 artmasını sağlamışlardır. Zorlanmış taşınım ile soğutma tekniğinde 3 m/s hızında hava kullanılarak günlük enerji üretiminin %4,4 veriminin ise %4 artmasını sağlamışlardır. Doğal taşınım ile buharlaşmalı soğutma tekniğinde günlük enerji üretiminin %3,6 verimin ise %2,7 artmasını sağlamışlardır. Zorlanmış taşınım ile buharlaşmalı soğutma tekniğinde 2 m/s'lik hız ile günlük enerji üretiminin %3,8 verimin %3,8 artmasını sağlamışlardır.

Nizetic, Jurcevic, Coko ve Arıcı (2021), FDM ile pasif soğutma tekniğini deneysel olarak incelemişlerdir. Üç adet Silisyum poli kristal FV panel kullanmışlardır. İki farklı FDM ile soğutmada 2/5 tekniğini uygulamışlardır. İlk FV panelin referans olması için soğutma uygulamamışlardır. İkinci FV panelin arka yüzeyine bir kap içerisinde FDM doldurularak soğutma uygulamışlardır. Üçüncü FV panele ise aynı ebatta sekiz adet alüminyum kaplar içerisine FDM eklenerek FV panel arkasına monte etmişlerdir. Kullanılan FDM ve alüminyum ağırlığı ikinci FV panel için sırasıyla 1,38 kg ve 0,586 kg'dır. Kullanılan FDM ve alüminyum ağırlığı üçüncü FV panel için sırasıyla 0,73 kg ve 0,373 kg'dır. Kullanılan FDM ve alüminyum miktarı üçüncü FV panelde ikinci FV panele göre sırasıyla %47 ve %36 daha azdır. Tek kap ile FDM uygulamasının referans FV panele göre %2,5'lik FV panel performansında artış elde etmişlerdir. Çoklu kap ile FDM uygulamasının, tek kap ile FDM uygulamasına göre %10,7'lik FV panel performansında artış elde etmişlerdir. Kullanılan FDM ve alüminyum kap ağırlığı azlığı bakımından çoklu kap uygulamasının maliyeti daha düşüktür.

Akı, Umut, Aka ve Tez, (2022), FV panellerde aşırı ısınmadan kaynaklanan verim kaybını azaltmayı amaçlamışlardır. FDM kullanarak soğutma tekniği uygulamışlardır. FV panelin arka yüzeyine alüminyum kapsüller içerisine Rubitherm 44 ekleyerek sabitlemişlerdir. Verileri bir ay boyunca 10 dakikalık aralıklarla almışlardır. Soğutma uygulanan FV panel standart FV panelden %9,85 daha fazla elektrik enerjisi üretmiştir. FV panellerin günlük karşılaştırılmaları için maksimum, minimum ve rastgele enerji üretim tarihleri seçmişlerdir. Seçili günlerde FDM kullanılan FV panelden daha fazla enerji elde etmişlerdir.

Alktranee ve Bencs (2022), FV panel sıcaklığını azalmak için su ile soğutma yöntemini deneysel olarak incelemişlerdir. FV panelin arka yüzeyine pamuk fitil ağları döşemişlerdir. FV panelin üst bölümüne su ile dolu şişeler konumlandırmışlardır. Bu şişelerden pamuk fitil ağlara su akmaktadır. Pamuk fitiller yüksek emme kapasitesine sahiptir. Akan su yer çekimi etkisi ve pamuk fitillerin emme kapasitesi sayesinde aşağı doğru hareket etmektedir. FV panelin arka yüzeyinde yükselen ısıyı absorbe etmek için pamuk fitilleri kullanmışlardır. Su ile ıslatılan

pamuk fitilleri çevre havaya maruz bırakmışlardır. Pamuk fitiller burada üretilen fazla ısıнын dağılmasını sağlamıştır. FV panel sıcaklığında %22 oranında azalma elde etmişlerdir. FV panelde 16,3 W çıkış gücünde artış elde etmişlerdir.

Aydın (2022), kolektif ve nano akışkan ile soğutma tekniklerini kullanmıştır. FV/T sistemde enerji verimini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. İlk olarak FV panele yalnızca kanatçıklarla soğutma uygulamıştır. Kanatçık türü olarak levha ve silindirik kanatçık kullanmıştır. İkinci olarak kanatçıklı FV panele su ve nano akışkan ile soğutma uygulamıştır. Deneyler sabit bir akışkan debisinde gerçeklemiştir. Ağırlıkça %0,2, %0,4 ve %0,6 oranında Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su kullanmıştır. Kanatçıklı panellerin, kanatçıksız panellere göre performansı daha iyi çıkmıştır. Silindirik ve levha kanatçıklı FV panelde, kanatçıksız panele göre sırasıyla %2,62 ve %1,52'lik güç artışı olmuştur. Silindirik kanatçıklı FV panelde levha kanatçıklı FV panele göre %1,08 verimde artış olmuştur. Su ve nano akışkan soğutmalı sistemlerin tümü kanatçıklı FV panelden daha etkili soğutma yapmıştır. Su soğutmalı-kanatçıklı FV panelde, kanatçıksız-soğutmasız FV panele göre %3,57 verim artışı olmuştur. Ağırlıkça %0,2 oranında Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CuO -su ve su soğutmalı FV paneller için gün boyu ortalama güç artışlarını sırasıyla %4,344, %4,058, %3,420 ve %2,693 olarak hesaplamıştır. En yüksek güç artış oranı %0,2 oranında Al_2O_3 -su nano akışkan-su soğutmalı FV panelde olmuştur. Tüm nano akışkan-su kombinasyonlu soğutmaların yalnız su ile soğutmaya göre daha etkili soğutma yaptığını göstermiştir.

Hussien, Eltayesh ve El-Batssh (2022), FV paneller üzerinde iki farklı soğutma yönteminin deneysel ölçümlerini yapmışlardır. Üç farklı panel dizlimi kullanmışlardır. İlk FV panel üzerine herhangi bir soğutma tekniği uygulamamışlardır. Diğer iki FV panelde iki farklı soğutma tekniği kullanmışlardır. Soğutma tekniği uygulanan ilk FV panelin altında kanal kullanarak zorlanmış hava soğutması ve üfleyici kullanarak hava beslemesi sağlamışlardır. İkinci FV panelin altına simetrik olarak küçük fanlar yerleştirilerek zorlanmış taşınım ile soğutma uygulamışlardır. FV panel soğutmadaki hava akışı özellikleri ve sıcaklık dağılımının, CFD ve deneysel verilerle uyumlu olduğunu göstermişlerdir. FV panel arkasında yerleştirilen küçük fanlar soğutma performansını arttırmıştır. FV panel verimliliğinde maksimum %2,1'lik artış, %7,9'luk enerji tasarrufu sağlamışlardır. Blower soğutma yönteminde, FV panel verimliliğinde maksimum %1,34'lük artış, %4,2'lik enerji tasarrufu sağlamışlardır.

Türk (2022), FV panellerde elektriksel verimliliğin artması için iki farklı pasif soğutma tekniği uygulamıştır. Toplamda üç adet FV panel kullanmıştır. Birinci FV panelin alt yüzeyine

30 adet termoelektrik jeneratör kullanarak soğutma yapmıştır. FV panelin alt yüzeyindeki hücre sıcaklığının düşürülmesini sağlamıştır. Ayrıca atık ısıdan faydalanarak ilave elektrik üretimini amaçlamıştır. Termoelektrik jeneratör yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının oluşması için alt yüzeylere alüminyum kanatçıklarla soğutucu yapılar eklemiştir. İkinci FV panel karşılaştırma amacıyla herhangi bir soğutma işlemi uygulamamıştır. Üçüncü FV panele ise alt yüzeyine alüminyum kanatçıklarla pasif soğutma tekniği uygulamıştır. Termoelektrik jeneratörlü ve alüminyum kanatçıklarla uygulanan soğutma tekniklerinin verimleri birbirine yakın değerler çıkmıştır. Termoelektrik jeneratörlü sistemde %8,4 alüminyum kanatçıkla soğutma sisteminde %8,5 daha fazla enerji elde etmiştir. Her iki pasif soğutma yönteminde de soğutmasız panele göre elektriksel verimliliğin daha başarılı olduğunu göstermiştir. Termoelektrik soğutmada elde edilen ilave enerji seviyesi daha düşüktür ve ekstra maliyet gerektirmektedir. Kanatçıklarla soğutmada arızalanma durumunun olması, bakım gerektirmemesi ve montajının kolay olması avantajlarındadır. Bu sebeple kanatçıklarla soğutma tekniği termoelektrik jeneratörle soğutmaya göre daha avantajlı olmaktadır.

Uğur (2022), üç farklı FDM kullanarak FV panellere pasif soğutma tekniği uygulamıştır. 4 adet 110W mono kristal FV panel kullanmıştır. Üç adet FV panel arka yüzeyine cam muhafaza sabitlemiştir. Cam muhafazaların içerisine FDM eklemiştir. Parafin, yağ asidi ve tuz hidrat FDM'lerini kullanmıştır. Bir adet FV panele ise kontrol ve karşılaştırma amacıyla herhangi bir soğutma tekniği uygulamamıştır. İlk olarak tüm FV panellerde soğutma uygulamadan verileri almıştır. Buradaki amaç FV panel verimliliklerinin aynı olup olmadığını kontrol etmektir. Deneysel inceleme sonucunda parafin kullanılacak olan panelde %11,4, tuz hidrat kullanılan panelde %17,22, yağ asidi kullanılacak panelde %30 güç üretiminin fazla olduğu göstermiştir. FV panellerin elektriksel verimlilikleri parafin, tuz hidrat ve yağ asidinde sırasıyla %9,2, %8,4 ve %6,6 olarak hesaplamıştır. Soğutma uygulandıktan sonrasında elektriksel verimlilikleri parafin, tuz hidrat ve yağ asidinde sırasıyla %9,7, %9,4 ve %8,1 olarak hesaplamıştır. Ortalama en fazla verim artışı olan FDM'nin yağ asidi olduğu göstermiştir.

Erdoğan, Bilen ve Kıvrak (2023), soğutma uygulamasının FV panellerde verim üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. İlk FV panele referans olması için soğutma uygulamamışlardır. İkinci FV panele ise su ile soğutma sistemi uygulamışlardır. Soğutma sistemi ekipmanları olarak sirkülasyon pompası, filtre, su boruları ve su deposu kullanmışlardır. Bu teknikte su FV panelin üst yüzeyinde akmaktadır. Soğutma uygulanan FV panelin soğutma uygulanmaya panele göre güç çıkışının fazla olduğunu göstermişlerdir. Güç çıkışı soğutma

uygulanan FV panelde 11,143 kW değerindedir. Soğutma uygulanan FV panelde soğutma uygulanmayan FV panele göre güç artışı ve verim sırasıyla %9,51 ve %13,69 değerlerindedir.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneşin daha verimli olarak kullanılabilmesi çalışmamızın temel amacıdır. FV paneller güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan yöntemlerden birisidir. FV paneller içerisinde modül hücreler barındırır. Özellikle yaz aylarında sıcaklığın artması ile FV panel modül hücre sıcaklıkları da artmaktadır. Modül hücre sıcaklığı 45°C ve üzerindeki sıcaklıklara çıktığında FV panelden elde edilen enerjinin verimliliğinde azalmalar meydana gelmektedir. Bu çalışmanın amacı FV panellerde meydana gelen aşırı ısınma probleminin önüne geçmektir. Yüksek sıcaklık ile meydana gelen kayıplar azaltılacak ve FV panel çıkış gücünün artması sağlanacaktır. FV panel sıcaklığının azaltılması için aktif ve pasif soğutma yöntemleri kullanılmıştır. Aktif ve pasif soğutmanın birlikte yapıldığı hibrit sistem kullanılmıştır. Hibrit sistemde FDM ve soğutucu fanın birlikte kullanılmasında literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Bu çalışmada uygulanan fan ile aktif soğutma yönteminde fanın seçimi ve konumlandırılması önemli hususlardandır. Fanın soğutması tüm panele yeterli gelmeli ve düşük güç tüketiminde olmalıdır. Soğutucu fan kanalında kullanılan malzemenin ısı yansıtma özelliği ve aşınmaya karşı dirençli olması gerekmektedir. Soğutucu kanalın tüm FV panel modüllerini kapsayarak soğutmanın tüm noktalardan eşit olarak geçmesi sağlanmalıdır. Soğutucu fanların çalışması için giriş gücü gerekmektedir. Fanların sürekli çalışması soğutma sisteminde enerji kaybına neden olmaktadır. FV panelin sıcaklık değerinin arttığı aralıklarda fanın çalışması gerekmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak fanların birbirinden bağımsız çalıştığı soğutucu fan kontrol devresi, gereksiz enerji tüketiminin önüne geçmektedir.

FDM ile soğutma sisteminde kullanılacak FDM seçimi, FDM'nin FV panele yerleşimi ve bulunduğu kapsül malzemesi önemli hususlardandır. FV panelin enerji verimliliğinin 45°C'de azaldığı dikkate alınmaktadır. Bu sıcaklık değerlerinde hal değişimi gerçekleştirebilecek FDM seçimi yapılmalıdır. FDM'in tüm FV panel modüllerini kapsayacak şekilde yerleştirilmesi, soğutmanın tüm modülleri kapsamı açısından önemli olmaktadır. FDM'in bulunduğu kapsül malzemesinin ısı iletkenlik katsayısının yüksek olması gerekmektedir. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek olan metaller genellikle maliyetli metallerdir.

Burada en yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip en uygun fiyatlı malzeme seçilmesi önemli hususlardandır.

FV panel sisteminin kurulacağı bölgedeki güneşin geliş açısının uygun biçimde FV panellerin konumlandırılmalıdır. Sistemin kurulduğu bölgedeki gölgelenme gibi verimi etkileyecek etmenlere dikkat edilmelidir. Ayrıca sistemden elde edilen fan verileri ve FV panel verileri birbirinden bağımsız kaydedildiğinden verileri işlemede ve analizlerde kolaylık olması amacıyla konsolidasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında deneysel sistem kurulmuş ve teorik hesaplamalar yapılmıştır.



2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

2.1 Fotovoltaik Pillerin Tarihçesi

FV pillerin tarihi Alexandre Edmond Becquerel'in 1839 yılına dayanmaktadır. Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olduğunu göstermiştir (Kaymak, t.y). 1877 yılında W.G. Adams ve R.E. Day, katılaştırılmış selenyumda FV etkiyi bulmuştur. Bu gelişmenin ardından 1883 yılında C. Fritts, verimliliği %1'in altında olan ince bir altın tabakası üzerinde yer alan selenyum güneş hücresini geliştirmiştir. W. Hallwachs, bakır ile bakır oksit kullanarak yarı iletkenli güneş hücresi tasarımı yapmıştır. A. Einstein'ın 1904 yılında yazdığı makalesinde, kuantum açısından fotoelektrik olayı incelemesi bu konuya olan etkiyi arttırmıştır. Bell laboratuvarlarında 1954 yılında silisyum pozitif ve negatif eklemli ilk güneş hücresi üretilmiştir. Üretilen güneş hücresi günümüze ışık tutarak birçok çalışmaya ve gelişmeye katkı sağlamıştır (ETKB, 2022).

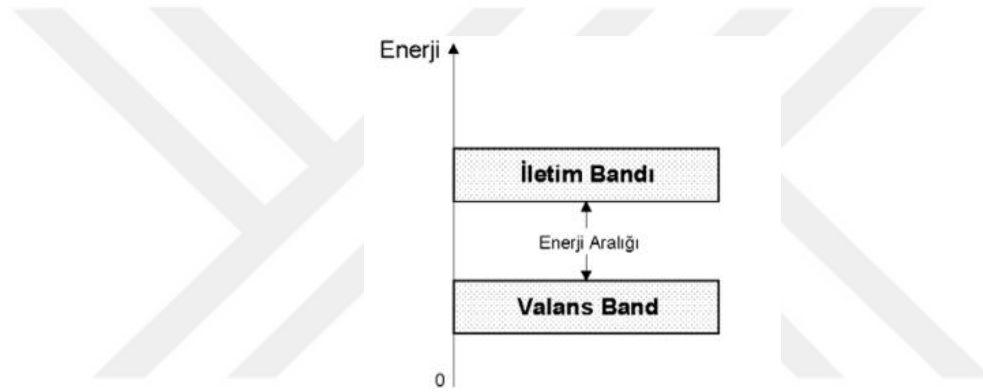
FV endüstrisinde birçok dönemde çöküş ve büyümeler olmuştur. Güneş enerjisi teknolojileri, 1973 yılındaki petrol krizinden sonra geliştirilmiş ve ticarileştirilmiştir. 1980 yılının başlarında petrol fiyatlarında keskin düşüş meydana gelmiştir. Sürdürülebilir politika desteğinin olmaması nedeniyle güneş enerjisi endüstrisi çökmüştür (Mirza, 2006). 2000'li yılların başlarında güneş enerjisi pazarı ve teknolojik gelişimi tekrardan ivme kazanmıştır. Son dönemlerde olağanüstü bir büyüme sergilemiştir. Güneş enerjisine dayalı elektrik üretiminin toplam kurulu kapasitesi, 1990'ların başında neredeyse yok denecek kadar az olan kapasiteden 2010 yılı sonu itibarıyla 40 GW'ın üzerine çıkmıştır (REN21, 2009), (El-Shimy, Abdo, 2015). Fosil yakıtlar enerji ihtiyacını her anlamda karşılayamamaktadır. Bu nedenle FV pillerdeki teknolojik gelişmeler enerji sektöründe farklı bir eğilim göstermiştir.

2.2 Fotovoltaik Pillerin Yapısı ve Çalışma Prensibi

FV pillerin temelinde yarı iletken maddeler bulunmaktadır. Yarı iletken maddeler normal koşullarda yalıtkan durumdayken üzerine ısı, ışık, elektriksel gerilim veya manyetik etki gibi dış etkiler uygulandığında iletken hale geçen maddelerdir. Üzerine uygulanan dış etkilerin kaldırılmasıyla tekrar yalıtkan duruma geçmektedirler.

Yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda değerlik elektronlarının bulunduğu enerji düzeyi ile bu elektronların bulunabileceği bir sonraki enerji düzeyi arasında bulunan enerji düzeyleri, elektronların bulunmasının yasak olduğu enerjilerdir. Değerlik elektronlarının bulunduğu enerji

bandına “valans bandı” adı verilir. Yasak enerji aralığından sonra elektronların bulunabileceği ilk enerji düzeylerinden başlayan enerji bandına “iletim bandı” adı verilir. Yasak enerji aralığının büyüklüğü, maddenin yarı iletken ya da yalıtkan olarak sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Fotonların enerjisi, güneş ışınımında enerji taşıma birimleri olarak tanımlanmaktadır. Fotonların enerjisi, yasak enerji aralığına eşit ya da ondan büyük ise, değerlik bandındaki bir elektrona enerjisini aktararak onu iletken bandına çıkarır. Yasak enerji aralığı 2,5 eV (elektron volt) değerinden daha büyük ise madde yalıtkandır. Güneş ışınlarının miktarı, güneş spektrumunda enerjinin 2,5 eV (dalga boyu 0,5 μm) değerinden daha büyük olan bölgede çok daha az olmaktadır. Bu tür malzemeler FV çevrimde soğurucu tabaka olarak kullanılmaya uygun değildir (Kaymak, t.y). Şekil 2.1’de yarı iletkenler için enerji diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Yarı iletkenler için enerji diyagramı (Demirtürk, t.y, s. 10)

Yarı iletken özellik gösteren maddeler arasında FV pil için en uygun olanlar silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir. Yarı iletken maddelerin son yörüngelerinde (valans bandı) dört elektron bulunmaktadır. Yarı iletken maddelerden daha az enerji ile elektronları harekete geçirebilmek için p veya n tipi katkılama yapılmaktadır. Katkılama işlemi saf yarı iletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü bir şekilde eklenmesiyle gerçekleşmektedir. Yarı iletken n tipi yarı iletken elde edebilmek için periyodik cetvelin 5. grubundan bir elementle katkılanması gerekmektedir. Katkılanan elementin valans yörüngesinde beş elektron vardır. Serbest halde bulunan bir elektron kristal yapıya verilir. Bu nedenle 5. Grup elementlerine verici veya n tipi katkı maddesi denir. En yaygın örneği silisyum elementinin katkılanabilmesi için n tipi katkı maddesi olarak fosfor elementi kullanılmaktadır. Yarı iletken p tipi yarı iletken elde edebilmek için periyodik cetvelin 3. grubundan bir elementle katkılanması gerekmektedir. Katkılanan elementin valans yörüngesinde üç elektron

vardır. Kristal yapıda bir elektron eksikliği oluşur ve buna boşluk denir. Bu sebeple alıcı veya p tipi katkı maddesi olarak adlandırılır.

Katkı maddeleri olan p tipi veya n tipi malzemelerin eklenmesiyle yarı iletken eklemler oluşmaktadır. N tipi katkılamada serbest elektronlar bulunmaktadır. Ne kadar fazla n tipi katkılama yapılırsa o kadar fazla serbest elektron vardır. P tipi katkılamada da katkılanan element kadar boşluk yani elektron eksikliği oluşmaktadır. N tipi yarı iletken ve p tipi yarı iletken ilk durumda nötr haldedir. N tipi yarı iletken madde ile p tipi yarı iletken maddenin bir araya getirilmesiyle bir geçiş bölgesi oluşmaktadır. Bu bölgede elektron ve boşluklar birbirini çekmektedir. Bu sebeple n tipinden p tipine elektron geçişi olurken, p tipinden n tipine de boşluk geçişi olmaktadır. Geçiş bölgesinde elektron ve boşlukların birleşmesiyle nötr bölge meydana gelmektedir. Bu geçiş bölgesinden boşluktan elektronlara doğru bir elektrik alan oluşmaktadır. P ve n tipi yarı iletkenin birleşme bölgesinde nötr halde bulunan atomlardan, güneşten gelen fotonlar sayesinde elektron koparılmaktadır. Fotonların enerjisi elektron ve boşlukları ayırmaktadır. Geçiş bölgesinde var olan elektrik alan kuvveti sayesinde kutuplaşma olmaktadır. Boşluklar p tipinin birleşme noktasındaki elektronların çekimiyle p tipinin uç noktasına gelirken, elektronlarda n tipinin birleşme noktasındaki boşlukların çekimiyle n tipinin uç noktası gelmektedir. Böylelikle kutuplaşma olmakta ve potansiyel fark meydana gelmektedir. Potansiyel farkın oluşması ile yarı iletkenler pil görevi görmektedir.

2.3 Fotovoltaik Panel Bileşenleri

FV paneller sırasıyla; alüminyum çerçeve, temperli cam, EVA film, solar hücreler, sırt folyosu ve bağlantı kutusundan oluşmaktadır. Şekil 2.2’de FV panel ve bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. FV panel ve bileşenleri (Svarc, 2020, s. 1)

FV panel bileşenlerinin en dış yüzeyinde bulunan alüminyum çerçeve montaj için gerekli yapıyı oluşturmaktadır. FV paneli fiziksel etkilerden korumaktadır. Bağlantı aparatı ile panel montajının kolayca yapılmasını sağlamaktadır. Alüminyum malzeme sert ve oldukça hafiftir. Rüzgar ve diğer dış kuvvetlere karşı dayanımlı bir montaj elemanıdır. Alüminyum çerçeve ile temperli cam arasında su geçirmez yalıtım malzemesi bulunmaktadır (Güneş paneli yapımı-yapısı, t.y).

Temperli cam, dış yüzeyi sıkıştırılarak iç yüzeyi ise gerilerek oluşturulmaktadır. Bu sayede dolu, rüzgar, taş ve benzeri cisim çarpmalarına karşı dayanıklıdır (Güneş paneli yapımı-yapısı, t.y). Cam 3 ile 4 mm kalınlığında yüksek mukavemetli temperli camdan yapılmaktadır. Temperli cam mekanik yüklere ve aşırı sıcaklık değişikliklerine dayanıklı olacak şekilde üretilmektedir. Antireflekte özelliği ile yansımaları önlemekte ve güneş ışığının büyük bir kısmını absorbe edebilmektedir (Svarc, 2020).

EVA film, temperli cam-solar hücreler ve solar hücreler-sırt folyosu arasında bulunan parçaları birbirine yapıştıran özel bir katmandır. Üretim sırasında solar hücrelerin her iki tarafına da uygulanmaktadır. EVA, sıcak laminasyon yöntemi ile eritilerek solar hücreleri tamamen çevrelemektedir (Güneş paneli yapımı-yapısı, t.y). EVA, şeffaf (plastik) bir polimer katman olan etilen vinil asetat anlamına gelen bir kısaltmadır. Aşırı sıcaklık ve neme dayanıklıdır. Nem ve kir girişini önleyerek uzun vadede panel performansında önemli etkiye sahip olmaktadır (Svarc, 2020).

Solar hücreler, güneş ışığını doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Güneş panelinin performansı, kullanılan silikonun hücre tipine ve özelliklerine göre belirlenmektedir. İki ana tip silikon vardır mono kristalin ve poli kristalin silikondur. FV hücresinin tabanı, genellikle 0,1 mm kalınlığında çok ince bir levhadır. Pozitif p tipi silikondan veya negatif n tipi silikondan oluşmaktadır (Svarc, 2020).

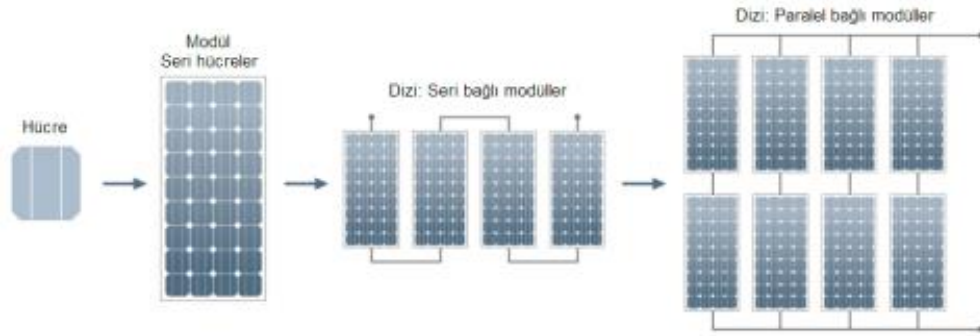
Sırt folyosu, güneş panelinin optimum sıcaklıkta çalışmasını ve yalıtımı sağlamaktadır (Güneş paneli yapımı-yapısı, t.y). Sırt folyosu, termal stabilite ve uzun süreli UV direncine sahiptir. PP, PET ve PVF gibi çeşitli polimerlerden veya plastiklerden yapılmaktadır (Svarc, 2020).

Bağlantı kutusu, panelin arka yüzeyinde bulunan ve panellerin birbirine bağlanması için gerekli kabloların bulunduğu bölümdür. Sert hava koşullarına ve dış ortamdan oluşabilecek herhangi bir etkiye karşı bir muhafaza görevi görmektedir. Bağlantı kutusu aynı zamanda

hücrelerin gölgelenmesi veya kirlenmesi durumunda ortaya çıkan ters akımı önlemek için gerekli olan bypass diyotlarını içermektedir (Svarc, 2020).

2.4 Fotovoltaik Panel Teknolojileri

FV panellerin en küçük birimi FV hücrelerdir. Hücrelerin bir araya gelmesiyle modüller, modüllerin bir araya gelmesiyle de FV sistemler oluşmaktadır. Şekil 2.3’de FV sistem oluşumu gösterilmektedir. FV panellerin seri ya da paralel bağlanması talep edilen üretim kapasitesine bağlı olarak değişmektedir (Akagündüz, 2023). Üretim kapasitesinin artması için akım ve gerilim değerlerinin artması gerekmektedir. Akım ve gerilim değerlerinin artması FV panellerin seri ya da paralel bağlanması ile gerçekleşmektedir. Seri bağlantılarda sistem üzerinde akım sabit kalırken, paralel bağlantılarda gerilim sabit kalmaktadır. Seri bağlantı yaparken FV modüllerin akım değerlerinin birbirine yakın olması gerekmektedir. Bunun nedeni FV paneller aynı akımı taşımak zorunda olduğundan en düşük akımdaki FV panele göre çalışması gerekmektedir. Bu durum FV sistemin performansını düşürmektedir. Paralel bağlantı yaparken de FV modüllerin gerilim değerlerinin birbirine yakın olması gerekmektedir (Bayrak, 2017).



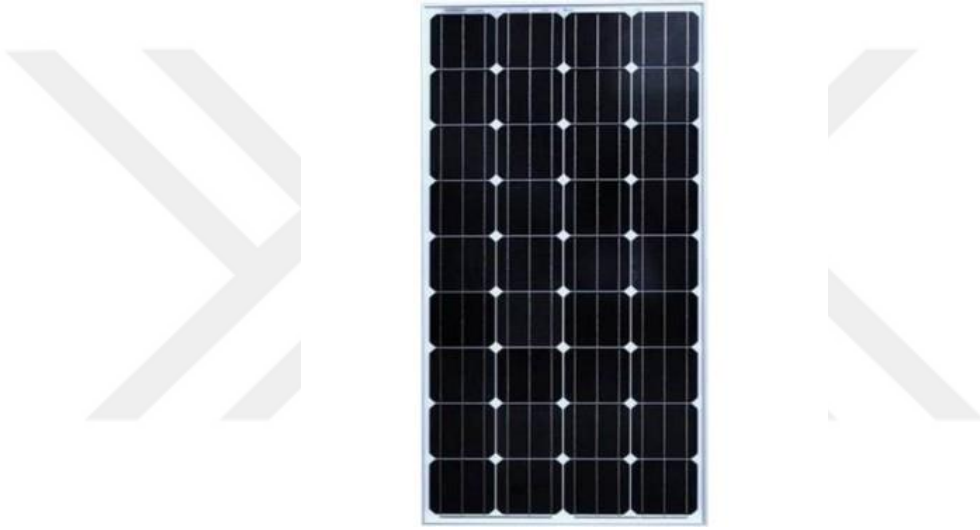
Şekil 2.3. FV sistem oluşumu (Öztürk, t.y, s. 2)

2.4.1 Birinci Nesil Fotovoltaik Panel Teknolojisi

Birinci nesil FV panel teknolojisi, düşük güneş ışınımı absorbesine karşın verimlilikleri %12-16 arasındadır. Bu durum birinci nesil FV panel teknolojisine olan talebin artmasına neden olmaktadır. FV panel üretiminde firmaların %93’ü birinci nesil teknolojiyi tercih etmektedir. Kullanım ömrü 25 yıla tekabül etmektedir. Birinci nesil FV panel teknolojisi, mono kristal ve poli kristal FV panel olarak iki gruba ayrılmaktadır (Salar, Öncel, Salar, 2011).

2.4.1.1 Mono kristal

FV panel imalatında sıkça tercih edilmektedirler. Yapılarında tek kristal formda silisyum elementi bulunmaktadır. Çok kristalli yapılara kıyasla saflık dereceleri oldukça yüksektir. Saf kristal gereksinimleri dolayısıyla maliyetleri fazladır (Akagündüz, 2023). Verimlilikleri %15-18 arasında değişmektedir. Laboratuvar ortamlarında verimlilikleri %20'ye ulaşmaktadır. Verimliliğinin yüksek olması sebebiyle uzun vadeli yatırımlarda tercih edilmektedir. Amorti süreleri 4 ile 6 yıl arasında değişmektedir. 20 yıllık kullanım sonrasında %7 civarında verim kaybı meydana gelmektedir (Salar vd, 2011). Şekil 2.4'de mono kristal FV panel gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Mono kristal FV panel

2.4.1.2 Poli kristal

Silisyuma uygulanan soğutma işlemiyle çok kristalli yapılar oluşmaktadır. Bu yapıların ince dilimlenmesiyle poli güneş pilleri meydana gelmektedir (Eryılmaz, 2022). Mono kristal FV panellere göre daha düşük maliyetli olduklarından sektörde daha fazla tercih edilmektedirler. Maliyetinin düşük olmasının nedeni kristal yapılarının tam homojen olmamasıdır. Verimlilikleri %12-15 arasında değişmektedir. Laboratuvar ortamında verimlilikleri %16.2'ye çıkmaktadır. Amorti süreleri 2 ile 4,5 yıl arasında değişmektedir. 20 yıllık kullanım sonrasında %14 civarında verim kaybı meydana gelmektedir (Salar vd, 2011). Şekil 2.5'de poli kristal FV panel gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Poli kristal FV panel

2.4.2 İkinci Nesil Fotovoltaik Panel Teknolojisi

Güneş ışığı absorpsiyonu yüksek olmasına rağmen verimlilikleri düşüktür. Bu sebeple sektörün %7 gibi düşük bir bölümünü kapsamaktadır. Panellerin yapıları 1-4 μm arasında değişmektedir. Bu nedenle bu teknolojiye ince film teknolojisi de denmektedir. İkinci nesil ince film teknolojisindeki bu paneller %7-14 arasında verimliliğe sahiptirler (Salar vd, 2011).

İnce film güneş pili, üst üste yerleştirilen aşırı ince yarı iletken katmanlardan oluşmaktadır. FV panel üretimi esasında maliyetin düşürülmesi amacıyla kullanılan malzeme miktarı ve işçiliğin azaltılması, imalat aşamasını basitleştirmek gibi birçok çalışmalar yapılmıştır. Yarı iletken malzemenin düşük maliyetlerdeki cam, metal, plastik folyo gibi geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması maliyet açısından dikkat çekmektedir. İkinci nesil FV teknolojisi genellikle çok kristalli yapıdadırlar. Bu teknolojiye yarı iletken malzemenin, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine değin değişen damarlardan oluşmaktadır. Yarı iletken malzemenin damarlar içerisindeki elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri FV uygulamalar için çok uygundur. Bu küçük yapıdaki damarlar arasında var olan mikro düzeydeki yapısal kusurlar, çok kristalli malzemelerdeki karşılaşılan en önemli sorundur. Optiksel özellikleri uygun seçilen yarı iletken bir malzemede, milimetrenin binde bir kalınlığı içerisinde güneş ışınlarının tamamına yakın bir bölümü soğurulabilmektedir (Temiz Enerji Yayınları, t.y). Şekil 2.6’da ikinci nesil ince film FV paneller gösterilmektedir.



Şekil 2.6. İkinci nesil ince film FV paneller (İnce film güneş pili, 2017, s. 1)

2.4.2.1 Amorf silisyum (a -Si)

Amorf silisyum, 250°C'deki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Güneş ışığı soğurma katsayısı çok yüksektir. Amorf silisyum ile kristalli silisyum arasındaki en önemli fark, silisyum atomlarının malzeme içerisindeki düzenlerinin birinci derecedeki komşu atomların ötesinde geliştiği güzel olarak bulunmasıdır. Malzeme içerisindeki bu geliştiği güzel yerleşim elektrik iletim kalitesini düşürmektedir. Bu sebeple yarı iletken içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak elektriksel olarak FV çevrime uygun hale getirilebilmektedir (Temiz Enerji Yayınları, t.y). Genellikle düşük güçlü cihazlarda kullanılır. Yüksek kaliteli cihazlar geliştirmek için karbon, germanyum, nitrojen, kalay ve amorf silikon alaşımları ile kullanılmaktadır (Eryılmaz, 2022).

Amorf silisyum FV panellerde verimlilik %8-10 arasındayken laboratuvar koşullarında %27'lere çıkmaktadır. Fakat en önemli dezavantajlarından birisi zaman içerisinde %21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır. Üretimi için yüksek maliyetli bir alt yapı gerekmektedir. Üretim sürecinde ise maliyetler düşüktür. Bu sebeple firmalar tarafından tercih edilebilmektedir. Amorti süreleri 1,5-3,5 yıl arasında değişmektedir (Salar vd, 2011).

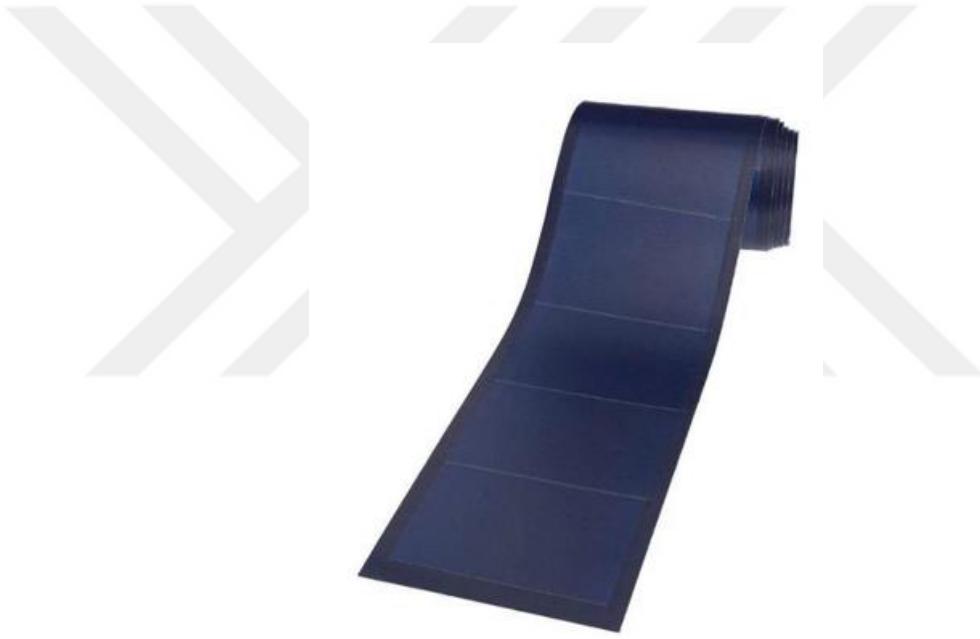
2.4.2.2 Kadmiyum tellür ($CdTe$)

Kadmiyum elementi ile tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşturulan bir yarı iletkenidir. Kadmiyum periyodik cetvelin ikinci grubunda bulunurken, tellür altıncı grubunda yer almaktadır. Kadmiyum tellür, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı 1,45 eV değerine

sahiptir. Bu değer güneş ışıınımdan maksimum elektriksel dönüşümü elde etmek için ihtiyaç duyulan değere oldukça yakındır. Ayrıca güneş ışıınımları absorbe etme katsayısı oldukça yüksektir (Temiz Enerji Yayınları, t.y). Verimi 1 cm²'de %17, 8.390 cm²'de %11'lik değere sahiptir (Salar, Öncel, Salar, 2011). Kadmiyum tellür kolay depolama, geniş ölçekli üretim ve maliyet düşüklüğü sebebiyle gelecek vaad eden bir teknoloji olmaktadır (Uyar, 2016).

2.4.2.3 Bakır indiyum galyum diselenid (CIGS)

Bu güneş pili yarı iletken esnek bir taban üzerine yapılmaktadır. Diğer ince film güneş panellerine göre daha yüksek verime sahiptirler. Verimlilikleri %11-14 arasında değişmektedir. Cam veya esnek yüzey ile kullanılabilirler (Salar vd, 2011). Şekil 2.7'de bakır indiyum galyum diselenid FV panel gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Bakır indiyum galyum diselenid FV panel (Beyit ve Dervişoğulları, t.y, s. 4)

2.4.3 Üçüncü Nesil Fotovoltaik Panel Teknolojisi

Üçüncü nesil FV teknoloji organik moleküllerden oluşmaktadır. İletkenliği ve molekül ağırlığı fazla olan bir teknolojidir. İnorganik malzemelerle oluşturulan güneş pillerinin yapıları rijit, maliyetleri yüksek, uygulama alanları kısıtlı ve kaynak problemi fazladır. Bu sebeple üçüncü nesil FV teknolojisi gündeme gelmektedir (Aydın, 2022). Üçüncü nesil FV teknolojisinde, FV hücrelerin üst katmanına aktif polimer yüzey kaplanmaktadır. Güneşten

2.4.3.2 Organik güneş pilleri

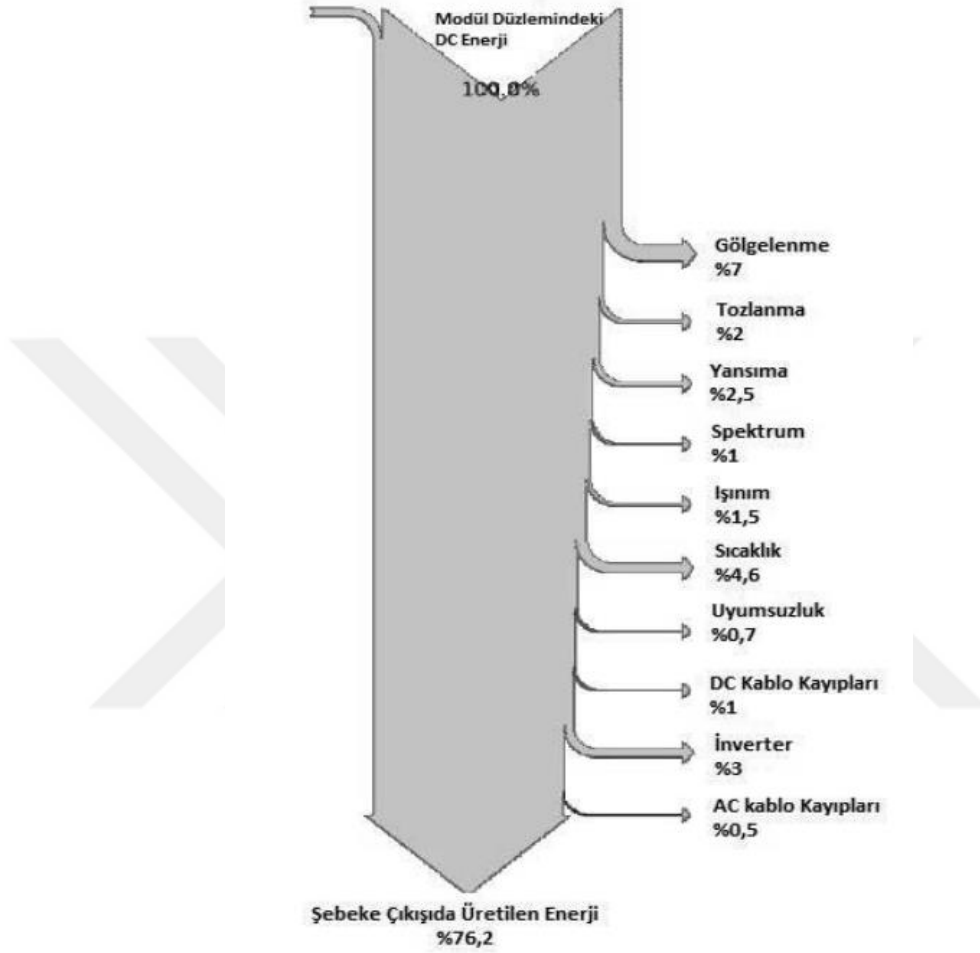
Organik güneş pilleri, organik materyaller kullanılarak elde edilen güneş pilleridir. İnorganik pillere göre daha düşük maliyetli olması, üretim metodu kolaylığı, hafif ve esnek FV panel üretimine olanak sağlıyor olması tercih edilme sebeplerindedir. İlk icat edilen organik FV panel tek katmadan oluşan ve poliasetilen yapılıdır. Tek katmanlı FV panellerin verimliliğinin çok düşük olması çift katmanlı organik pil çalışmalarını tetiklemiştir. Tek katmanlı güneş pillerinin verimliliğinin düşük olmasının başlıca sebebi, organik yarı iletkenlerde yük taşıyıcıların yavaş olması ve elektron eksitonlarının tam olarak ayrışamamasıdır. Eksiton elektron-hol çiftidir. Çift katmanlı organik güneş pillerinde elektrot levhalarının arasında elektron çiftlerinin ayrışması için akseptör (verici, n) ve donör (alıcı, p) olarak isimlendirilen yarı iletken olan tabakalar mevcuttur. Çift katmanlı organik güneş pillerinde eksiton ve ara tabaka arasındaki uzaklık eksitonun difüzyon mesafesine eşit ya da daha az olmalıdır. Bunun sonucunda ara levha yüzeyine gelen eksiton miktarını azaltarak verimi önemli ölçüde düşürmektedir (Kahyaoğlu, 2021).

2.5 Fotovoltaik Panel Kayıpları

Şebekeye bağlı FV bir sistemden elde edilen enerji miktarı çeşitli faktörlere bağlıdır. Üretilen enerji; sistemi oluşturan yapıların nominal karakteristik özellikleri, sistemin konfigürasyonu, sistemin bulunduğu yerin coğrafi konumu, kurulum sahası çevresinde bulunan yapılar, sistemin çalışması esnasında meydana gelebilecek arızalar bunlara örnektir. FV sistemin performansını belirlemek için bir oran kullanılır. Bu orana performans oranı (PO) denmektedir. Denklem 2.1’de Fotovoltaik panellerde PO hesabı gösterilmiştir. PO, sistemin AC çıkışındaki üretilmiş olan enerjinin Standart Test Koşullarında (STK) sistemdeki FV paneller tarafından üretilen enerjiye olan oranıdır. (STK; 1.000 W/m² ışınım değeri, 25°C solar hücre sıcaklığı, 1,5 AM hava kütlesi güneş spektrumundadır.) (https://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf)

$$PO = \frac{\text{Üretilen enerji (Şebeke çıkışı)}}{\text{Solar ışınım x Üreteç alanı x STK'daki modül verimi}} \quad (2.1)$$

Şebeke çıkışında üretilen FV sistemdeki enerji, STK'daki FV panellerle üretilen enerjiden sistem kayıplarının çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Sitemde kayıplar ne kadar az ise PO o kadar yüksektir (Deniz, 2013). Şekil 2.9'da FV sistemde oluşabilecek kayıplar gösterilmektedir.



Şekil 2.9. FV sistemde oluşabilecek kayıplar (Deniz, 2013, s. 3).

Bir FV sistemde oluşan kayıpları aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz:

- Işınım kayıpları
- Sistem kayıpları
- İnverter kayıpları

2.5.1 Işınım Kayıpları

Işınım kayıpları, FV panelin eğim açısıyla oluşan güneş ışınımından elde edilebilecek kazancı ve kaybı incelemektedir. FV panellerinin yüzeyine gelen güneş ışınımı miktarı ne kadar fazla olursa üretilen enerji miktarı da buna doğru orantılı olarak artmaktadır (Coşkun, 2022). Işınım kayıpları; spektrum, yansıma, gölgelenme, tozlanma ve karlanma kayıpları olarak dört ana grupta incelenmektedir.

2.5.1.1 Spektrum kayıpları

Güneşten gelen ışınlarda sapma olması halinde oluşan kayıpları ifade etmektedir. FV modüllerin spektral tepkilerindeki seçicilikten dolayı anlık olarak gelen güneş ışınımında sapmalar olması halinde kayıplar meydana gelmektedir. Güneş ve gökyüzü ışınimleri için bir yıl boyunca incelenen spektra, açık gökyüzünün ideal spektrumundan (AM 1,5) farklılıklar göstermektedir. Bu sapmalar hesaplanır ve toplam yıllık gelen güneş ışınımı solar hücre teknolojisine bağlı olarak bir faktör ile çarpılarak belirli bir orandan azaltılmaktadır.

2.5.1.2 Yansıma kayıpları

Güneşten gelen fotonlar, FV panel yüzeyi ile nominal açı yaptığında bir bölümü soğurulmakta bir kısmı da yansımaktadır. Yansıtma katsayısı ortamın optik kırıcılık indisine ve yok olma katsayısına bağlıdır. Tam olarak absorbe edilemeyen fotonların enerjisi düşmektedir. Düşük foton enerjisi verim azalmasına neden olmaktadır (Özdamar, 2022).

FV malzemelerin kalitesi optik yansımaya, iletim kayıplarının azlığına, emilen ışınım yoğunluğuna bağlı olmaktadır. Kristal silisyum, amorf silisyumdan daha fazla ışığı absorbe etmektedir. Işığın yansımalarının önlenmesi ve absorbe etmesinin en yüksek seviyeye çıkartılması için FV modüller farklı katmanlardan üretilmektedir. FV panellerde bulunan temperli camlar, güneş ışığı emilimini en yüksek seviyeye çıkartırken yansıtmayı minimize etmektedir. FV hücreler, ışığın yansımalarını önlemek amacıyla yansıma önleyici kaplama ile kaplanmaktadır. Normal koşullarda oluşan bir ışınım da FV hücreler gelen ışığın %4'ünü geri yansıtılmaktadır (Deniz, 2013).

2.5.1.3 Gölgelenme Kayıpları

FV sistemlerde panel üzerine herhangi bir cismin gölgesinin düşmesi halinde enerjide kayıplar oluşmaktadır (Coşkun, 2022). FV panellerde enerji üretiminin en fazla etkileyen

parametrelerden birisi gölgelenmedir. Güneşin pozisyonun devamlı değişken olması, gölgelenmenin FV hücreler üzerindeki etkisini belirlemek için oldukça zordur (Deniz, 2013). Sistemin yanlış dizilimi ya da dış etmenlerden kaynaklı herhangi bir cisimden gölge oluşması sistem verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Gölgelenmeye neden olabilecek etkenlerin olması durumunda gölgelenme analizi yapılarak sistem tasarımı kurulmalıdır (Selbaş ve Çetin, 2022). Şekil 2.10'da FV paneller üzerine çatıdan kaynaklı gölge düşmesi durumu gösterilmektedir.



Şekil 2.10. FV paneller üzerine çatıdan kaynaklı gölge düşmesi durumu

2.5.1.4 Tozlanma ve karlanma kayıpları

FV sistemlerin kurulumunun özellikle dış ortamlarda olmasından kaynaklı tozlanma ve karlanma gibi sorunları beraberinde getirmektedir. FV sistemlerin yüzeylerine yerleşen toz ve kar tabakaları güneş ışınlarının emilimini engellemeye, panel sıcaklığında artmaya ve panel camını aşındırmaya sebep olmaktadır. Bunlar da enerjide kayba dolayısıyla verimde azalmaya sebep olmaktadır (Ju ve Fu, 2011). Panellerindeki verimin düşmemesi ve mümkün olan en fazla güç çıkışının elde edilebilmesi için düzenli olarak temizlik yapılması gerekmektedir.

2.5.2 Sistem Kayıpları

FV sistemlerin tasarımı aşamasında gerçekleşen kayıplardır. Bu kayıplar; Düşük ısıtım, sıcaklık, uyumsuzluk ve kablo kayıplarıdır.

2.5.2.1 Düşük ısıtım kayıpları

FV sistem verileri hesaplamalarında STK'da güneşten gelen ısıtım değeri 1.000 W/m²'dir. Fakat gerçek sahada alınan verilere göre ısıtım değeri bu değerin altında

kalmaktadır. Piyasa verilerine göre birçok firma ışıının azalmasından kaynaklı bir güç düşüşü olduğunu kabul etmektedir. Bu bölümde önemli olan değişkenler FV panelin çıkış gücü, STK koşullarında hesaplanmaktadır. STK verilerine gerçek uygulamalarda çok az karşılaşılmaktadır. Bu sebeple düşük ışıının değeri sistemin performansını etkileyen önemli hususlardandır. Yapılan bir araştırmada sektörde bilinen 30 FV modül üreticisine ait 121 adet panel verileri incelenmiştir. 121 panel verisinden 71'inde düşük ışıının performansına ait veriler bulunmuştur (Deniz, 2013; Herteleer, 2011) .

2.5.2.2 Sıcaklık kayıpları

Solar hücrelerin aşırı ısınması FV panellerin verimini doğrudan etkilemektedir. Solar hücrelerin fazla ısınması, sistemde performans kaybına sebep olmaktadır. Ortam sıcaklığı arttığında, solar hücre sıcaklığı da artmaktadır. Bu artış sistemde kayıplar meydana getirirken panel verimini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Güneş panellerinin nominal çalışma sıcakları 25°C'dir. FV panelin yüzey sıcaklığının 45°C'yi geçmesi halinde verimde ciddi ölçekte azalmalar meydana gelmektedir. Bunun önüne geçmek için soğutma yöntemleri uygulanabilmektedir (Thomas, 2003).

2.5.2.3 Kablo kayıpları

Kablolama sistemde verim kayıplarına neden olan parametrelerden birisidir. Kablo boyutlarının doğru hesaplanmaması, kabloların yanması veya yüksek verim kaybına neden olmaktadır. Sistem tasarımı yapılırken kablo kesit hesaplarının güvenli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Enerjinin verimli bir şekilde taşınması için gerilim düşümü önemli bir etkidir. Gerilim düşümü kablo kesiti ile ters orantılı olarak değişmektedir. Hem AC hem de DC tarafta %1-3 arası gerilim düşümü Türkiye için kabul edilebilir değer aralığıdır. (Deniz, 2013).

2.5.2.4 Uyumsuzluk kayıpları

FV paneller, inverter girişinde DC akımın sağlanması için seri veya paralel olarak bağlanmaktadır. Bağlanan panellerin güçleri, bireysel olarak bulunan panellerin güçlerinden daha düşük seviyededir. Bunun sebebi çeşitli uyumsuzlukların olmasıdır. Bunlar; statik uyumsuzluk, gölgelenme etkisi ve çevresel gerilim faktörleridir. Statik uyumsuzluk FV panel üretimi esnasındaki toleranslar ve panel içerisindeki solar hücrelerin yaşlanma faktörleridir. Çevresel gerilim çeşitli hava koşullarından dolayı FV panelin zarar görmesinden kaynaklanmaktadır (Koirala, Sahan ve Henze, 2009). FV panellerin farklı çalışma sıcaklıkları,

farklı açılar, farklı kablo kesitleri ve uzunlukları gibi olaylara maruz kalması yine uyumsuzluk sebeplerindendir.

2.5.3 İnverter Kayıpları

FV panellerden doğru akım (DC) üretilir. Üretilen enerjinin kullanılabilmesi için doğru akımı alternatif akıma (AC) çevirmek gerekmektedir. İnverterler doğru akımı alternatif akıma çevirmeye yarayan cihazlardır. Fakat dönüştürme işlemi sırasında enerji kayıpları meydana gelmektedir.

2.5.3.1 DC/AC çevriminden kaynaklı kayıplar

İnverterin standby (bekleme modu) konumunda enerji tüketimi dikkate alınarak, inverter verim eğrisi ile hesaplanmaktadır. İnverterdeki kayıplar, güç katmanı topolojisinin tipine ve inverterdeki yarı iletken, manyetik elementler, kapasitörlerin iletim ile anahtarlama gibi özelliklerine bağlı olarak meydana gelmektedir (Koutroulis ve Blaabjerg, 2011).

2.5.3.2 Güç kısıtlamasından kaynaklı kayıplar

STK'da hesaplanan nominal modül gücünün, inverterin nominal AC çıkış gücüne oranı ile hesaplanmaktadır. İnverter üretilen gücün tamamının şebekeye aktarılmasına engel olabilmektedir. FV sistemlerde genellikle inverter gücü, FV modül gücünden düşük değerde seçilmektedir. a-Si ve CdTe ince film gibi düşük sıcaklık katsayılarına sahip teknolojilerin kullanıldığı uygulamalarda önemli enerji kayıplarına sebep olmaktadır (Burger ve Rüther, 2006).

2.5.3.3 MPPT kayıpları

Sistemdeki inverterin maksimum ve minimum çalışma voltajının belirli değerlerde olması gerekmektedir. İnverterde FV sistemin en yüksek güç noktasında çalışmasını sağlamak amacıyla MPPT adında bir algoritma kullanılmaktadır. Voltaj aralığı yüksek olan inverter kullanımı daha avantajlıdır. Voltaj aralığı dar olan MPPT inverterlerde, sıcaklık sebebiyle voltajda dalgalanmalar oluşmaktadır. İnverterlerdeki MPPT adedi verimi etkileyen bir başka husustur. Farklı enerji üretimi olan dizilerin aynı MPPT'ye bağlanması verimi azaltmaktadır. FV panellerin MPPT akımlarına göre gruplandırılıp seri olarak bağlanması uyumsuzluk kayıplarını da azaltmaktadır (Selbaş ve Çetin, 2022).

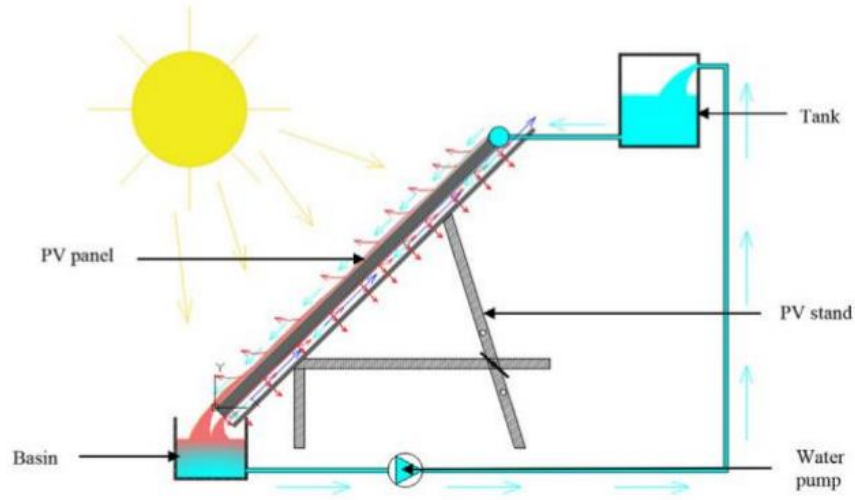
2.6 Fotovoltaik Panellerde Yüzey Soğutma Yöntemleri

FV panellerin yüzeylerinde meydana gelen aşırı ısınma problemi verimi etkileyen önemli hususlardandır. FV panel yüzey sıcaklığı, 40-45°C'yi aştığında verimde ciddi azalmalar meydana gelmektedir. Bunun önüne geçmek adına çeşitli soğutma yöntemleri kullanılmaktadır. Bazı soğutma yöntemlerinde enerji tüketimine ihtiyaç duyulmazken bazılarında ise enerji tüketimine ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji tüketimi olmayan yöntemlere pasif soğutma yöntemi, enerji tüketimi olan sistemlere ise aktif soğutma yöntemleri denilmektedir. Kullanılan soğutma yöntemlerinin başlıca olanları; su ile soğutma, hava ile soğutma, nano akışkan ile soğutma, FDM ile soğutmadır. Bu yöntemleri hibrit olarak tasarlamak da mümkündür.

2.6.1 Su ile Soğutma

Bu yüzey soğutma metodunda hem pasif hem aktif soğutma uygulamaları mevcuttur. Pasif soğutma yöntemlerinden en etkili su ile soğutma yöntemidir. Su ile soğutma yönteminde birçok konfigürasyon bulunmaktadır. Su ile pasif soğutma yönteminden olan, termosifon etkisi oluşturularak soğutma yapılabilir. Termosifon etkisi, hareket halindeki sıcak suyun kendinden daha soğuk suyu iterken yer değiştirmesi durumudur. Yoğunluğu sıcak suya göre daha yüksek olan soğuk su daha alt seviyede bulunmaktadır. Tasarlanan sistemde bu sebepten FV panel her zaman su deposunun altında bulunmaktadır. Depodan gelen soğuk su FV panele ulaşmaktadır. FV panelde ısınan su tekrar yükselir ve tanka dökülür. Bu çevrim sürekli olarak devam etmektedir (Grubišić-Čabo, Nižetić ve Giuseppe Marco, 2016).

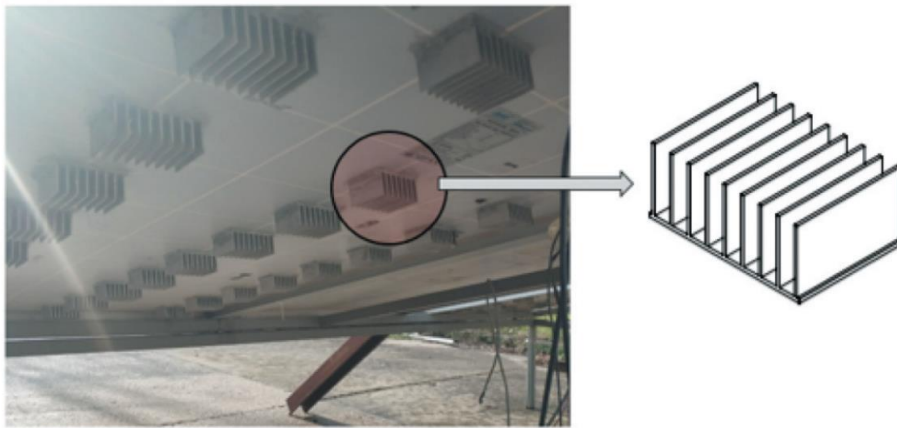
Su ile aktif soğutma yönteminde panelin arka yüzeyine su geçişi olması için kanallar yapılmaktadır. Bu kanallarda suyun dolaşması için pompa kullanılmaktadır. Bu işlemde su dolaşımı için kullanılan pompanın, enerji sarfıyatı bulunmaktadır (Bilen vd, 2021). Şekil 2.11'de su ile aktif soğutma sistem tasarımı örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Su ile aktif soğutma sistem tasarımı örneği (Agyekum vd, 2021, s. 5).

2.6.2 Hava ile Soğutma

Hava ile soğutma yöntemi de tıpkı su ile soğutmada olduğu gibi hem aktif hem de pasif soğutma olarak iki gruba ayrılmaktadır. Hava ile pasif soğutma yönteminde, genellikle FV panelin arka yüzeyine kanatçıklı yapılarla soğutma uygulanmaktadır. Burada doğal ısı taşınımı ile soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kanatçıkların kullanım amacı ısı transfer hızını arttırmaktır. Kanatçıkların yapımında kullanılan malzemeler yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmalıdır. Şekil 2.12’de FV panellerde kanatçıklı yapı ile pasif soğutma yöntemi uygulaması gösterilmektedir (Bilen vd, 2021).



Şekil 2.12. FV panellerde kanatçıklı yapı ile pasif soğutma yöntemi uygulaması (Akyol vd, 2023, s. 8.443)

Hava ile aktif soğutma yönteminde ise zorlanmış taşınım ile soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yüzey soğutma işlemi için fan kullanılmaktadır. Fan, FV panel arka yüzeyine bir kanal oluşturularak ya da doğrudan bağlanabilmektedir. Fanın çalışması için gerekli enerji FV panelden alınmaktadır. Hava ile aktif soğutma yapılacak sistemlerde, fanın enerji sarfiyatı dikkate alınarak sistem tasarımı yapılmalıdır. Şekil 2.13’de FV panellerde fan ile aktif soğutma yöntemi uygulaması gösterilmektedir (Bilen vd, 2021).



Şekil 2.13. FV panellerde fan ile aktif soğutma yöntemi uygulaması (Hussien vd, 2022, s. 5)

2.6.3 Nano Akışkan ile Soğutma

Nano akışkanlar, soğutma sıvısı ve katı nano parçacıkların dağılmış karışımları olarak kabul edilmektedirler. Kullanılan parçacıkların çoğu Al_2O_3 veya CuO parçacıkları gibi metal oksitlerdir. Dağılan parçacıkların ağırlık yüzdesi %0,1-2,0 civarındadır. Parçacıklar, soğutma sıvısı boyunca Brownian hareketine sahiptir. Nano akışkanların ana avantajları, daha yüksek termal iletkenlik (dolayısıyla bağlanabilirlik) ve yüksek ısı kapasitesidir (Al-Shamani vd, 2014).

2.6.4 Faz Değiştiren Malzeme ile Soğutma

Faz değiştiren malzeme ile soğutma yöntemi pasif soğutma metotlarından biridir. Bu yöntemde FV panelin arka yüzeyine çeşitli kapsülleme yöntemleriyle FDM’ler yerleştirilmektedir. FV panel yüzey sıcaklığının artmasıyla katı formda bulunan FDM sıvı forma geçmektedir. Hal değişimi esnasında FDM ısıyı absorbe etmektedir. Bu yöntem ile ısı, gizli ısı olarak depolanmaktadır. Depolanan ısı atmosfere aktarılmaktadır. Atmosfere ısı aktarımı esnasında FDM tekrar katı formuna geri dönmektedir. Soğutma uygulaması boyunca

çevrim tekrar etmektedir (Karakaya ve Şen, 2019). Şekil 2.14’de FV panellerde FDM ile soğutma yöntemi uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 2.14. FV panellerde FDM ile soğutma yöntemi uygulaması (Nizetic vd, 2021, s. 4).

3. MATERYAL VE METOT

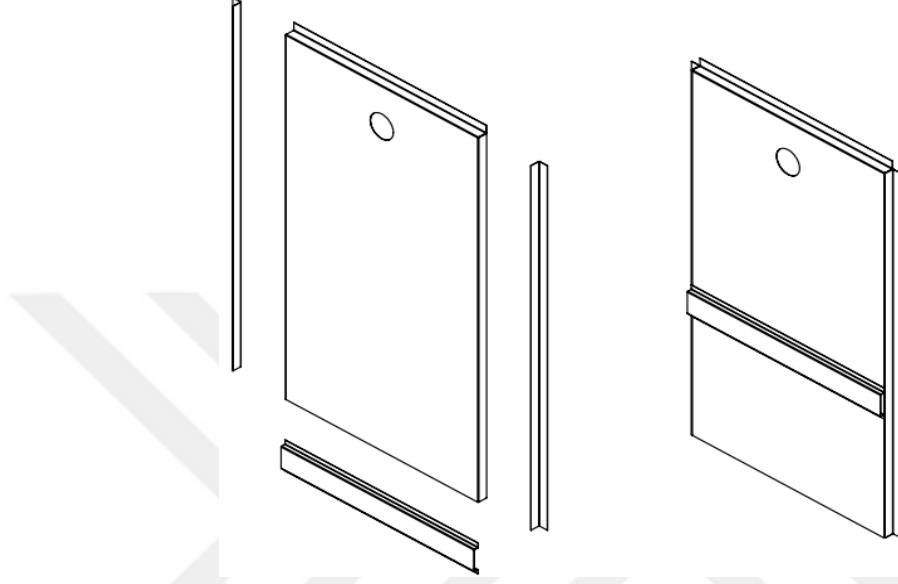
3.1 Deneysel Yöntem

FV panellerde aşırı ısınma açık devre voltajında düşüşe neden olmaktadır. Açık devre voltajı, 1.000 W/m^2 güneş ışınımı ve 25°C modül sıcaklığında yüksüz halde bulunan FV panelden ölçülen gerilim değeridir. Açık devre voltajının düşmesi FV paneldeki elektriksel verimliliğin azalmasına neden olmaktadır. Elektriksel verimliliği arttırmak amacıyla çeşitli soğutma teknikleri kullanılmaktadır. Çalışmamızda iki farklı soğutma tekniği kullanılmıştır. Bunlardan ilki hava ile aktif soğutma yöntemidir. Bu yöntemde FV panelin arka yüzeyine fan bağlanarak soğutma sağlanmaktadır. İkinci soğutma yöntemi ise FDM ile pasif soğutma tekniğidir. Hava ile aktif soğutma yönteminde fanın çalışması için enerji tüketimine ihtiyaç vardır. FDM ile soğutma, pasif soğutma tekniği olması sebebiyle herhangi bir enerji tüketimine ihtiyaç yoktur.

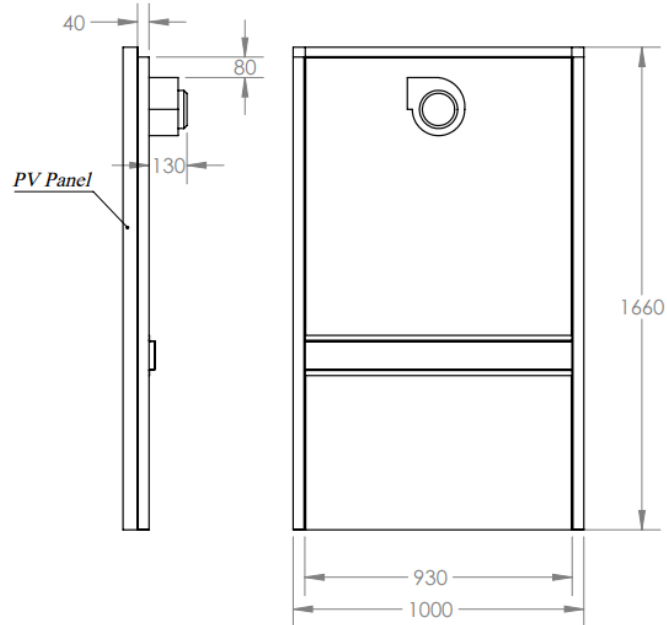
Bu çalışmada üç adet FV panel kullanılmıştır. Birinci FV panele referans olması amacıyla herhangi bir soğutma tekniği uygulanmamıştır. İkinci FV panelin alt yüzeyine hava sirkülasyonu sağlamak amacıyla düşük enerji tüketen fan sistemi uygulanmıştır. Üçüncü FV panelin alt yüzeyine ise hem aktif hem pasif soğutma içeren hibrit bir soğutma tekniği uygulanmıştır. Aktif soğutma tekniği ikinci FV panele uygulanan teknik ile aynıdır. Pasif soğutma tekniği ise FDM kullanılarak uygulanan soğutma yöntemidir. Böylece FV panellerde, sıcaklık değerlerine bağlı olarak üretilen elektriksel değerler karşılaştırılmaktadır. Güneş enerji sistemi üzerinden sıcaklığın yüksek olduğu aylarda düzenli olarak veriler alınmıştır.

Fan ile soğutma yönteminde FV panelin arka yüzeyine galvanizli sac ile bir kanal oluşturulmuştur. Galvanizli sac, metal üzerine çinko kaplanmasıyla elde edilir. Metal üzerine çinko kaplanması metalin direncini artırır ve aşınmayı engeller. Ayrıca galvanizli sac yüksek ısı yansıtma özelliğine sahiptir. Bu durum enerji verimliliği için önemli bir avantajdır. Galvanizden oluşturulan kanal üzerine soğutucu fan sabitlenmiştir. Fan FV panel arkasındaki kanaldan havayı emerek dış ortama basmaktadır. Böylece FV panel arkasındaki sıcaklığın düşürülmesi hedeflenmiştir. Boyutları $1.000 \times 2.000 \text{ mm}$, kalınlığı 1 mm olan galvanizli sac CNC lazer kesim makinesi ile istenilen kanal ebatlarında kesilmiştir. Kesilen parçalar CNC abkant büküm presisi ile bükülerek birleştirilmeye uygun hale gelmiştir. Parçaların birleştirilmesi için kaynak makinesi ile kaynatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de a- soğutucu fan kanalı parçaları b- soğutucu fan kanalı montaj resmi gösterilmektedir. Soğutucu kanal üzerinde

bulunan çapı 110 mm olan daire biçimdeki açıklığa fan, matkap yardımıyla vidalar ile sabitlenmiştir. Fanın çevresinden herhangi bir hava kaçağı olmaması adına silikon uygulanmıştır. Hazır hale gelen soğutma kanalı FV paneldeki alüminyum çerçeveye arka yüzeyine gelecek şekilde matkap yardımıyla vidalar ile sabitlenmiştir. şekil 3.2’de FV panel arkasına montaj edilmiş havalandırma kanalının boyut parametreleri gösterilmektedir.



şekil 3.1. a- Soğutucu fan kanalı parçaları b- Soğutucu fan kanalı montaj resmi

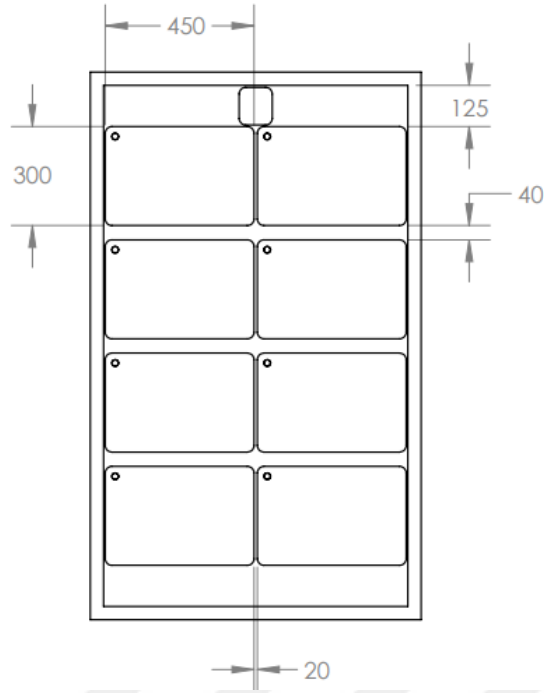


şekil 3.2. FV panel arkasına montaj edilmiş havalandırma kanalının boyut parametreleri

Hibrit soğutma yönteminde FDM, kapsüllerin içerisine yerleştirilmiştir. Bu kapsüller alüminyumdan yapılmış kompakt depolama modülleridir. Alüminyum yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip bir metaldir. Gümüş, bakır ve altın alüminyuma göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip metallerdir. Ancak maliyet açısından bakıldığında alüminyum tercih sebebi olmaktadır. Modül boyutları 450x300 mm, kalınlığı 14,65 mm'dir. Alüminyum kapsüllerin içerisine Rubitherm markasına ait RT-44HC FDM eklenmiştir. Çizelge 3.1'de RT-44HC'ye ait teknik özellikler verilmiştir. Her bir kapsülde 0,35 kg RT-44HC bulunmaktadır. Sistemimizde toplamda 8 adet alüminyum kapsül bulunmaktadır. Alüminyum kapsüller FV panel arka yüzeyine silikon ile sabitlenmiştir. Şekil 3.3'de FDM ile dolu alüminyum kapsüllerin FV panel arkasına yerleşim düzeni ve boyut parametreleri gösterilmektedir.

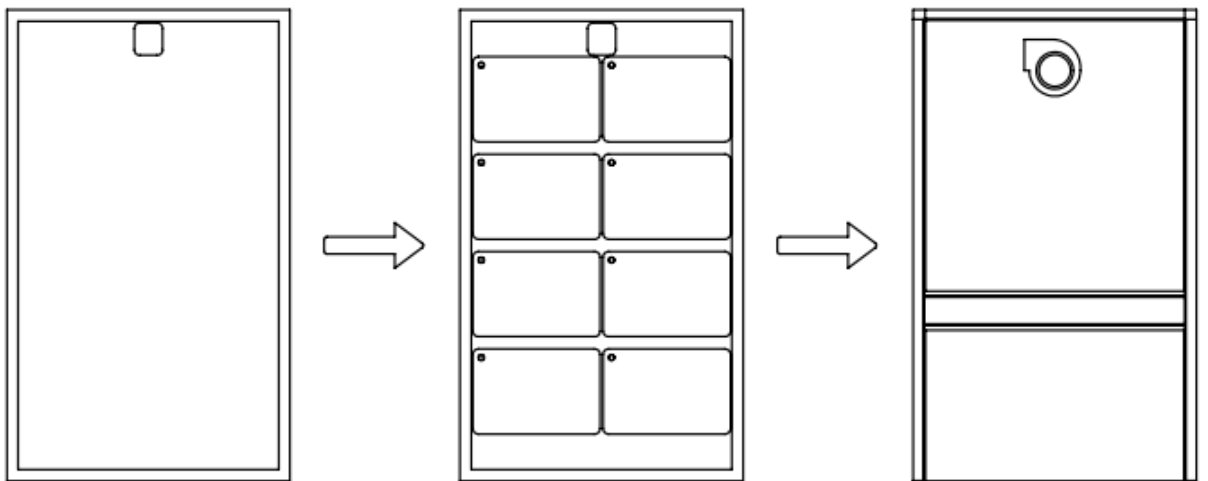
Çizelge 3.1. RT-44HC'ye ait teknik özellikler

En Önemli Veriler (Tipik Değerler)	
Erime Noktası	41-44°C
Donma Noktası	44-40°C
Isı Depolama Kapasitesi $\pm 7,5\%$	250 kJ/kg
Özgül Isı Kapasitesi	2 kJ/kg·K
Yoğunluk Katı (25°C'de)	0,8 kg/l
Yoğunluk Sıvı (60°C'de)	0,7 kg/l
Isıl İletkenlik (İki Faz İçin)	0,2 W/m·K
Hacimsel Genişleme	12,5 %
Parlama Noktası	>180°C
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	70°C



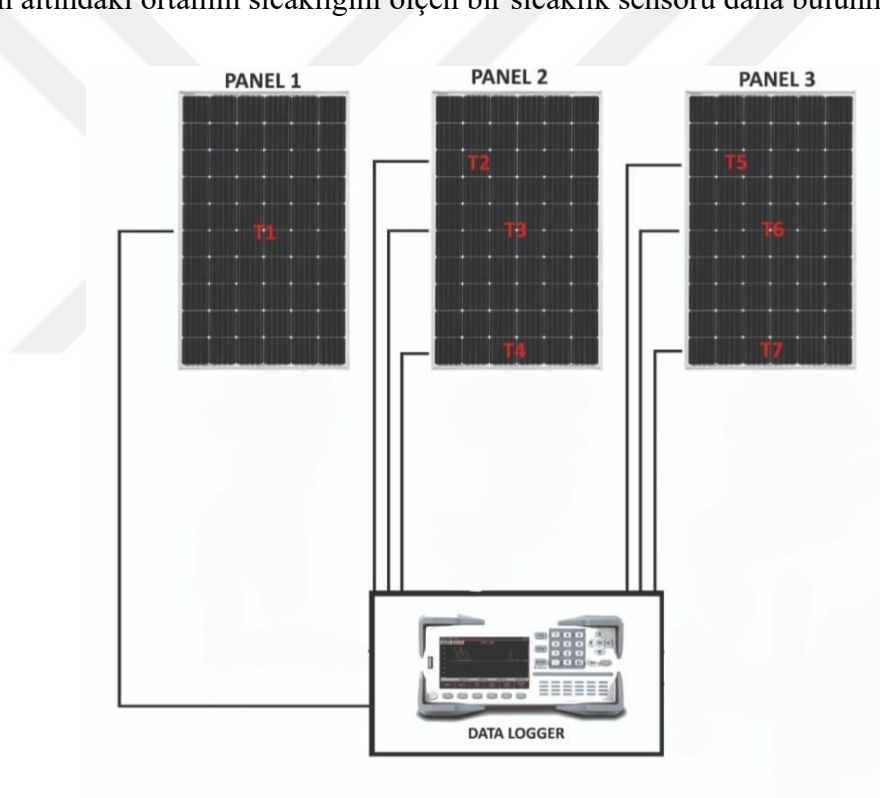
Şekil 3.3. FDM ile dolu alüminyum kapsüllerin FV panel arkasına yerleşim düzeni ve boyut parametreleri

Hibrit soğutma yönteminde FDM'ler FV panel arkasına sabitlendikten sonra sırada diğer bir soğutma tekniği olan fan ile aktif soğutma tekniği uygulamasıdır. Hava ile soğutma yönteminde önceki FV paneldeki fana özdeş bir fan ve kanal kullanılmıştır. Hazırlanan soğutma kanalı FDM ekli FV panel arkasına sabitlenmiştir. Şekil 3.4'de hibrit soğutma sistemi montaj adımları gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Hibrit soğutma sistemi montaj adımları

FV panellerdeki sıcaklıkların ölçülmesi için sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Sıcaklık sensörlerinin yerleşimi Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Şekilde Panel 1, Panel 2 ve Panel 3 sırasıyla soğutma uygulanmayan standart FV panel, fan ile soğutma uygulanan FV panel ve hibrit soğutma uygulanan FV paneldir. Tüm sıcaklık sensörleri FV panelin arka yüzeyine yerleştirilmiştir. Burada şekilde “T” harfi ile belirtilen yerler sıcaklık sensörlerinin konumlarıdır. Panel 1 ile ifade edilen FV paneldeki T1 simgesi, FV panelin arka yüzeyinin tam orta noktasına konumlandırılan sıcaklık sensörünü ifade etmektedir. Panel 2 ile ifade edilen FV paneldeki T2 simgesi fan çıkışındaki, T3 FV panelin orta noktasındaki, T4 FV panelin hava girişinde bulunan sıcaklık sensörlerini ifade etmektedir. Panel 3 ile ifade edilen FV paneldeki T5 simgesi fan çıkışındaki, T6 FV panelin orta noktasındaki, T7 FV panelin hava girişinde bulunan sıcaklık sensörlerini ifade etmektedir. Bu sıcaklık sensörlerine ek olarak FV panellerin altındaki ortamın sıcaklığını ölçen bir sıcaklık sensörü daha bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Sıcaklık sensörlerinin yerleşimi

Fan vasıtasıyla soğutma tekniğinde fanın devamlı olarak çalışması istenmeyen bir durumdur. FV panelin verimli olarak çalıştığı sıcaklık aralıklarında fanın çalışması sistemi soğutacak dolayısıyla verimliliğini azaltacaktır. Buna ek olarak fanın çalışması için güç tüketimine ihtiyaç vardır. Fanın sürekli çalışması sistemdeki üretilen enerjinin bir kısmının devamlı olarak fanın çalışması için harcanmasına neden olacaktır. Bu enerji verimliliğini

azaltan bir durumdur. Bu sebeplerden soğutucu fan kontrol devresi hazırlanmıştır. Hazırlanan elektronik devrede sıcaklığa bağlı olarak fanlar birbirinden bağımsız bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Her bir sıcaklık sensöründen okunan sıcaklık değeri 40°C'nin altında olduğunda, ilgili fan durmaktadır. Ölçülen sıcaklık 40°C ve üzerinde ise ilgili fan devreye girmektedir. Fan kontrol ve veri toplama panosunda iki adet fanın harcadıkları enerji periyodik olarak kayıt edilmektedir. Sıcaklık, gerilim, akım değerleri saniyede bir ölçülerek ve 5 saniye boyunca ortalamaları alınarak kayıt edilmektedir. Şekil 3.6'da soğutucu fan kontrol devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Soğutucu fan kontrol devresi

Veri işleme ve analizlerde kolaylık sağlaması açısından kaydedilen fan verileri, ayrı olarak kaydedilen panel üretim verileri ile konsolidasyon (veri birleştirme) işlemine tabi tutularak zaman periyotları eşleştirilmiştir. Böylece 5 dakikalık sabit zaman periyotlarına sahip tek parça veri dosyası elde edilmiştir. Analizler bu veri dosyası üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Deneyler Edirne ilinde bulunan Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ahmet Karadeniz yerleşkesinde yapılmıştır. Edirne ili Merkez ilçesi koordinatları; enlem 41,6771 boylam 26,5557'dir. FV panellerin yerleştirildiği taşıyıcı sistem, Edirne ili coğrafya şartlarında 25° eğim açısı ile sabitlenmiştir. FV paneller konumlandırılırken gölgelenme etkisi ve rüzgar geçişinin engellenmemesine dikkat edilmiştir. Taşıyıcı sistem üzerine yerleştirilen FV paneller vidalar ile aralarında boşluk olmadan sabitlenmiştir. Kurulum tamamlandıktan sonra 03/08/2023 ile 16/09/2023 tarihleri arasında her üç panelin elektrik üretim miktarları ve çevre iklim verileri kaydedilmiştir. Sabah 07.00'den akşam 19.00'a kadar her 5 dakikada bir sistemsel

veriler kaydedilmiştir. Şekil 3.7’de a- Deney düzeneğinin önden görüntüsü b- Deney düzeneğinin yandan görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 3.8’de Deney düzeneğinin arkadan görüntüsü gösterilmektedir.



Şekil 3.7. a- Deney düzeneğinin önden görüntüsü b- Deney düzeneğinin yandan görüntüsü

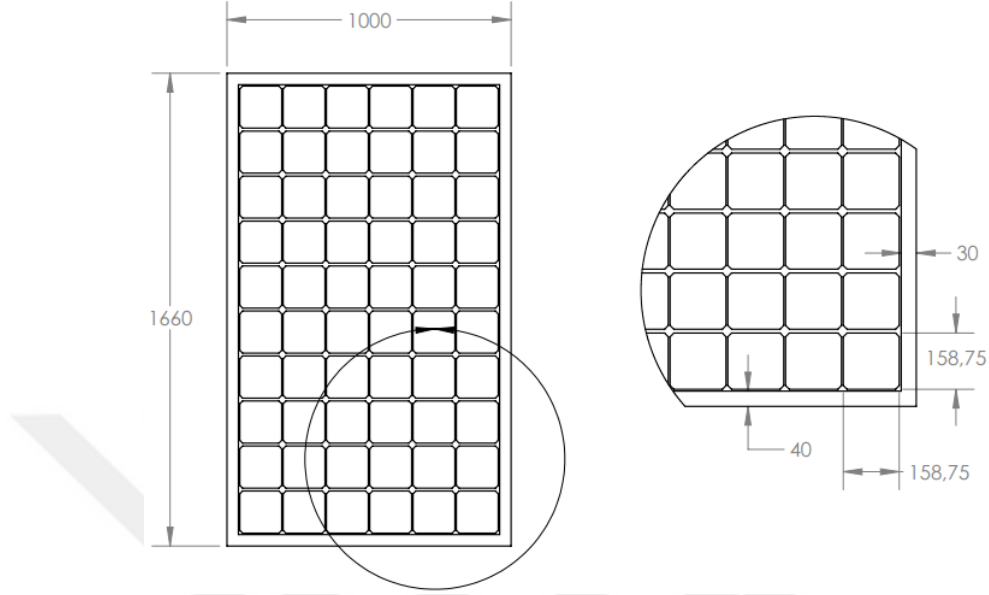


Şekil 3.8. Deney düzeneğinin arkadan görüntüsü

3.2 Deney Düzeneğinde Kullanılan Malzemeler

FV panellerin üzerinde eş zamanlı olarak üretilen elektrik enerjisi parametreleri olan akım, gerilim ve sıcaklık değerlerini ölçmek için bir elektronik devre ve otomasyon sistemi hazırlanmıştır. Tasarlanan sistem üzerinde; ölçülen gerilim ve akım değerlerini hafıza kartına kayıt alan data logger, sıcaklık sensörleri, akü, mono kristal FV panel, fan, fan kontrol devresi ve bağlantı kabloları bulunmaktadır.

Deney düzeneğinde özdeş 3 Adet Pantec markasına ait mono kristal FV paneller kullanılmıştır. Şekil 3.9’da FV panel ve boyut parametreleri gösterilmektedir. Deney düzeneğinde kullanılan FV panellere ait teknik özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.9. FV panel ve boyut parametreleri

Çizelge 3.2. Deney düzeneğinde kullanılan FV panellere ait teknik özellikler

Güneş Modül Tipi	PSM340M
Maksimum Güç Voltajı (V _{mp})	34,98 V
Maksimum Güç Akımı (I _{mp})	9,72 A
Açık Devre Voltajı (V _{oc})	39,76 V
Kısa Devre Akımı (I _{sc})	9,98 A
Maksimum Güç STK (P _{max})	340 W (+/- 3%)
Modül Verimliliği (%)	20,48
Maksimum Sistem Voltajı	DC 1.000 V
Maksimum Seri Sigorta Oranı	15 A
Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı	45 (±2°C)

Deney düzeneğinde ışıınım, bağıl nem, rüzgar hızı gibi verileri ölçmek ve kayıt altına almak için Davis Vantage Pro2 Plus hava istasyonu kullanılmıştır. Hava istasyonu içerisinde sensör takımları, USB veri kaydedici ve kablosuz gösterge paneli (Alıcı ünite) elemanlarını barındırmaktadır. Sensör takımı kablosuz aktarıcıya sahiptir. Sensör takımı; rüzgar hızı, sıcaklık, bağıl nem, yağış, basınç, güneş radyasyonu ve UV sensörlerini içermektedir. Sensör

takımından alınan tüm veriler kablosuz gösterge panelinde görüntülenmektedir. Aynı zamanda veriler USB veri kaydedicide depolanmaktadır. Şekil 3.10’da hava istasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Hava istasyonu

Soğutma sisteminde kullanılan fana ait teknik özellikler Çizelge 3.3’de gösterilmektedir. Kullanılan fanlar özdeştir ve aynı özelliklere sahiptir. FV sistemde fanlar devrede olduğunda 12 V ile yaklaşık yarı güçte çalıştırılmaktadır. Ancak gücün hesaplanması ölçüm değerlerine göre yapılmaktadır. Şekil 3.11’de soğutucu fan gösterilmektedir.

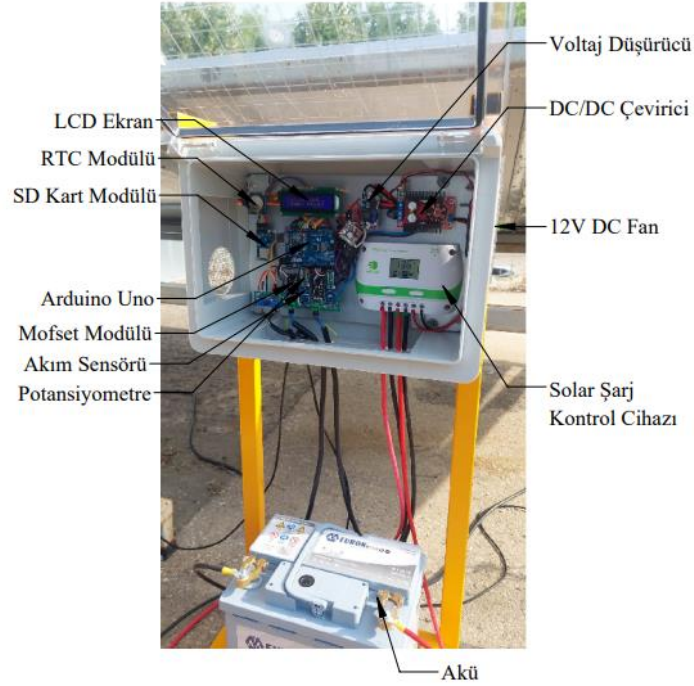
Çizelge 3.3. Fan teknik özellikleri

Çalışma Gerilimi	24 V
Nominal Güç	45 W
Gerilim	2.000 V/dk



Şekil 3.11. Soğutucu fan

Sıcaklıklarına bağılı birbirinden bağımsız olarak fanların kontrol edilmesi için soğutucu fan kontrol devresi tasarlanmıştır. Tasarlanan devrede akü, solar şarj kontrol cihazı, sıcaklık sensörü, arduino uno, DC/DC çevirici, voltaj düşürücü güç modülü, mofset modülü, potansiyometre, röle, akım sensörü, RTC modülü, SD kart modülü, LCD ekran, solar kablolar ve 12 V fan kullanılmıştır. Soğutucu fan kontrol devresi elemanları Şekil 3.12’de gösterilmektedir. Aktif soğutmada kullanılan fanın devreye girme ve çıkma işlemleri modül tarafından kontrol edilmektedir. Mikro denetleyici olarak arduino uno kullanılmıştır. Verilerin kayıt olması için arduino SD kart modülü kullanılmıştır. Bilgilerin kayıt edildiği zaman ve aralığın belirlenmesi için RTC modülü kullanılmıştır. Bu sayede istenilen aralığında veriler kayıt altına alınmıştır. Akım sensörü modülü, akım ve gerilim değerlerinin ölçümünde kullanılmıştır. Solar sarj kontrol cihazı sayesinde FV panellerden akım doğrudan aküye aktarılmıştır. Fanların çalışması için gerekli olan enerji aküden sağlanmaktadır. Fanların çalışması için gerekli sıcaklığı ölçecek 8 adet dijital sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Elektronik devre elemanlarının aşırı ısınmasına karşı ve depolanan enerjinin harcanması için 60x60x25 mm ebatlarında DC 12 V fan kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Soğutucu fan kontrol devresi elemanları

3.3 Enerji Analizi

Enerji, iş ya da iş yapabilme potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Termodinamiğin 1. Yasası enerjinin korunumunu ve dönüşümünü ifade etmektedir. Evrende var olan enerji yok edilemez ancak biçim değiştirebilir. FV panelde enerji verimliliği, FV panelden elde edilen enerji çıkışının FV panele aktarılan enerjiye olan oranı ile hesaplanır. FV panele aktarılan enerji güneş enerjisidir ve bu enerji girdisi olarak adlandırılabilir. FV sistemlerde enerji girdisi Denklem 3.1’de verilmiştir. Denklemde, I_s güneş ışınlamı (W/m^2), A ise FV panel yüzey alanını (m^2) ifade etmektedir.

$$\dot{E}_g = I_s \times A \quad (3.1)$$

FV panellerde elektrik üretim değeri denklem 3.2’de gösterilmiştir. Denklemde, V_{mp} maksimum voltajı (V), I_{mp} maksimum akımı (A) ifade etmektedir.

$$\dot{E}_e = P_{max} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (3.2)$$

FV sistemlerde hücrenin kalitesini göstermek amacıyla doldurma faktörü olarak adlandırılan bir değer kullanılmaktadır. Bu değer esasında FV panel verimliliğinde ölçüt olarak kullanılmaktadır. Doldurma faktörü ile verim hesaplanabilmektedir. Denklem 3.3’de gösterilmiştir. Denklemde, V_{oc} açık devre voltajını (V), I_{sc} kısa devre akımını (A) ifade etmektedir.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (3.3)$$

FV sistem üzerinden elde edilen elektriksel enerji verimi enerji çıkışının enerji girişine oranı ile hesaplanmaktadır. Denklem 3.4’de FV sistemdeki elektriksel enerji verimi denklemi verilmiştir.

$$\eta_{FV} = \frac{\dot{E}_e}{\dot{E}_g} = \frac{P_{max}}{\dot{E}_g} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{I_s \times A} \quad (3.4)$$

Fan ile soğutmada fanın çalışması için enerji harcanması gerekmektedir. Aktif soğutma uygulanan sistemde enerji dengesi yazılırken fanın güç tüketiminin elektriksel güçten

eksiltilmesi gerekmektedir. Fanın çalışması için anlık olarak çekilmesi gereken güç (P_f) denklem 3.5’de gösterilmektedir. Denklemde, V_f fanın anlık gerilimi (V), I_f fanın anlık akımını (A) ifade etmektedir.

$$P_f = V_f \times I_f \quad (3.5)$$

Belirli bir zaman periyodu boyunca fanların harcadığı toplam enerji, bu periyot boyunca hesaplanan enerji tüketimlerinin kümülatif toplamı alınarak hesaplanmaktadır. FV panellerin net üretimini kıyaslayabilmek için ilgili panellere bağlı birim zamanda fanların enerji tüketimleri, bağlı oldukları panellerin birim zamanda üretim miktarından düşülmüştür. Fan ile soğutma uygulanan FV panellerde, birim zamanda enerji çıkışının hesaplanması denklem 3.6’da gösterilmiştir.

$$\dot{E}_{c,f} = P_{\max} - P_f \quad (3.6)$$

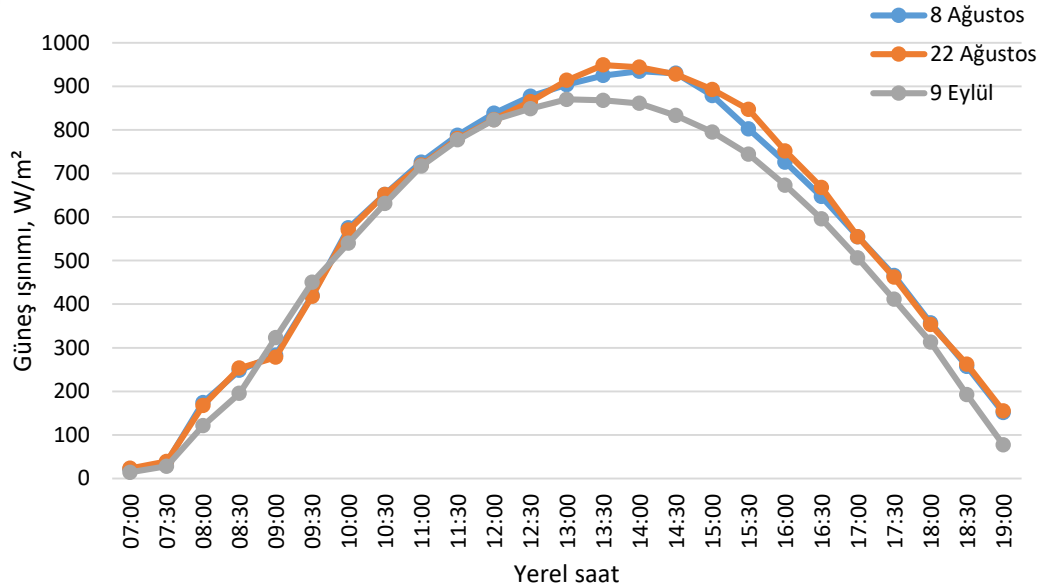
Fan ile soğutma uygulanan bir FV sistemdeki verimlilik denklem 3.7’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta_{FV,f} = \frac{\dot{E}_c}{\dot{E}_g} = \frac{P_{\max} - P_f}{I_s \times A} \quad (3.7)$$

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada 45 günlük zaman diliminde sabah 07:00 ile akşam 19:00 saatleri arasında her 5 dakikada bir veri alınarak sistem çalıştırılmıştır. 45 günlük süreçte referans olacak çeşitli günler seçilmiştir. Seçilen günlerde deneysel veriler ile çeşitli grafikler oluşturularak yorumlar yapılmıştır. Referans günler; periyodun ilk haftasından bir gün, ortasından bir gün ve son haftasından bir gün olacak şekilde seçilmiştir.

Güneş ışınımının artması, çevre sıcaklığı ve FV panelin yüzey sıcaklığını arttırmaktadır. Sıcaklığın artması FV panelde kayıpların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum FV panel enerji verimliliği dönüşümünü azaltmaktadır. FV panel enerji verimliliğini arttırmak amacıyla uygulanan soğutma teknikleri ile enerji üretiminde artışlar meydana gelmiştir.

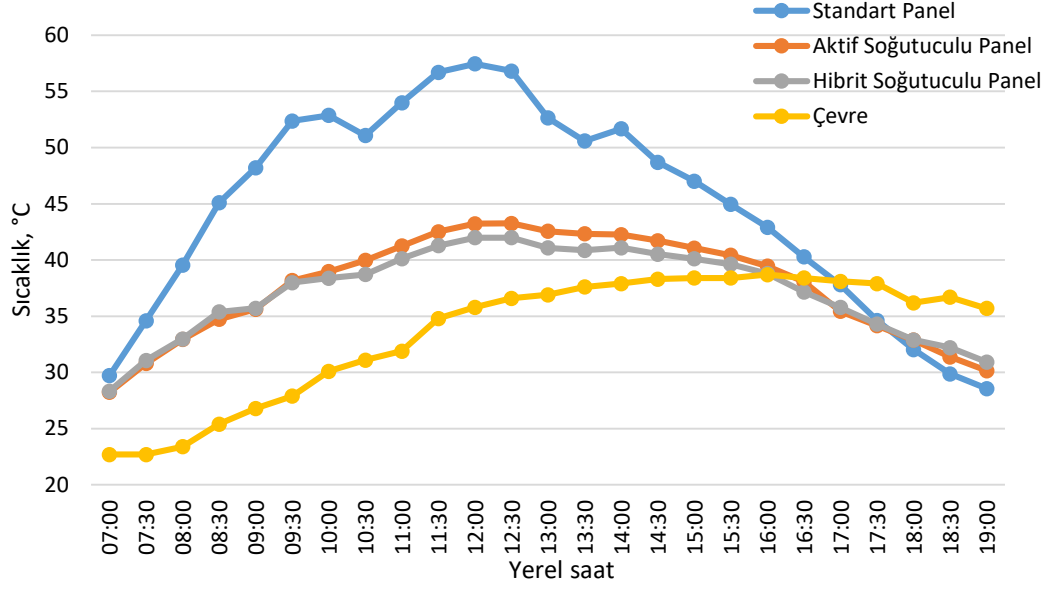


Şekil 4.1. 8 Ağustos 2023, 22 Ağustos 2023 ve 9 Eylül 2023 günlerinde global güneş ışıınımının saatlik değerleri

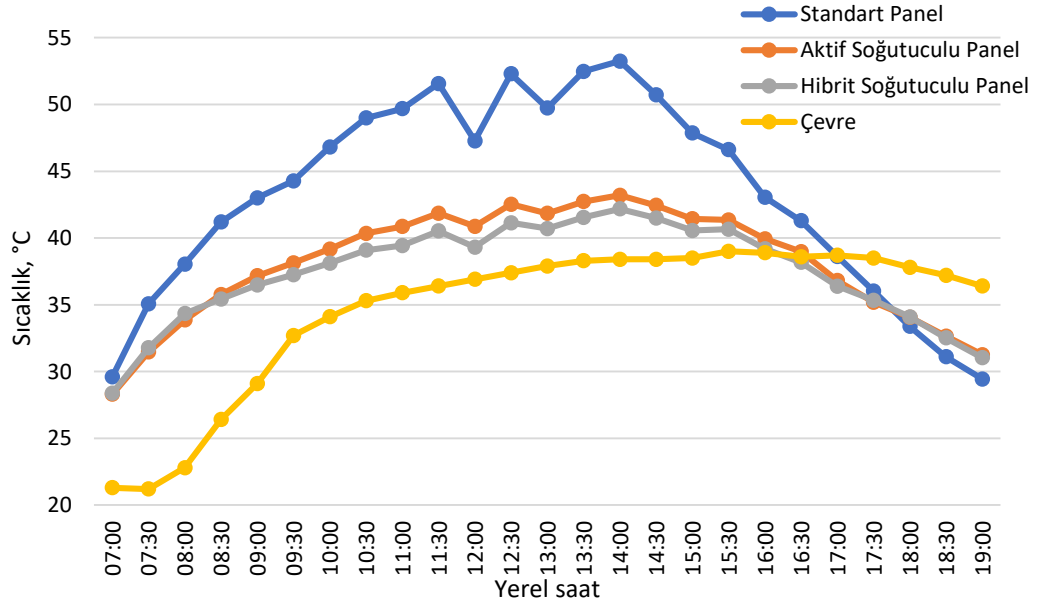
Güneş ışıınımı yoğunluğunun artması ya da azalması çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerden bazıları şunlardır; coğrafi konum, iklim şartları, güneşin lokasyonu, güneş ışıınımı uzaklığı, mevsim, hava kalitesi, gökyüzünün durumu, yılın zamanı, günün saati.

Şekil 4.1’de 8 Ağustos 2023, 22 Ağustos 2023 ve 9 Eylül 2023 günlerinde global güneş ışıınımının saatlik olarak değerleri verilmiştir. Ağustos ayında güneş ışıınımı Eylül ayına göre daha yüksek değerlere sahiptir. 8 Ağustos 2023 gününde en yüksek güneş ışıınımı değeri saat 14:00’da 935 W/m², 22 Ağustos 2023 gününde en yüksek güneş ışıınımı değeri saat 13.30’da

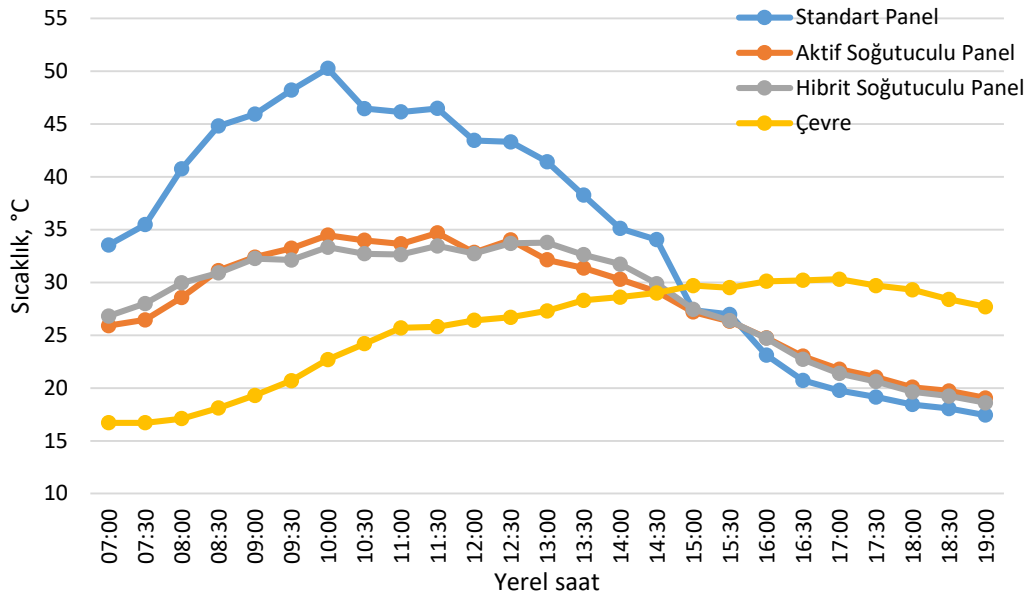
949 W/m² iken 9 Eylül 2023 gününde en yüksek güneş ışınlımı değeri saat 13:00'da 870 W/m² değerindedir. Buradan saat 13.00 ile 14:00 arasında en yüksek güneş ışınlımı değerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. 8 Ağustos 2023'de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı



Şekil 4.3. 22 Ağustos 2023'de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı



Şekil 4.4. 9 Eylül 2023’de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı

Şekil 4.2’de 8 Ağustos 2023’de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı değerleri verilmiştir. Standart FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 12:00’da 57,45°C, en düşük sıcaklık değeri saat 19:00’da 28,56°C’dir. Aktif soğutuculu FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 12:30’da 43,26°C, en düşük sıcaklık değeri saat 07:00’da 28,56°C’dir. Hibrit soğutuculu FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 12:30’da 41,99°C, en düşük sıcaklık değeri saat 07:00’da 28,34°C’dir. Çevre sıcaklığı en yüksek değeri saat 16:00’da 38,7°, en düşük değeri saat 07:00’da 22,7°C olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.3’de 22 Ağustos 2023’de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı değerleri verilmiştir. Standart FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 14:00’da 53,24°C, en düşük sıcaklık değeri saat 19:00’da 29,44°C’dir. Aktif soğutuculu FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 14:00’da 43,19°C, en düşük sıcaklık değeri saat 07:00’da 28,29°C’dir. Hibrit soğutuculu FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 14:00’da 42,17°C, en düşük sıcaklık değeri saat 07:00’da 28,38°C’dir. Çevre sıcaklığı en yüksek değeri saat 15:30’da 39°, en düşük değeri saat 07:30’da 21,2°C olarak ölçülmüştür.

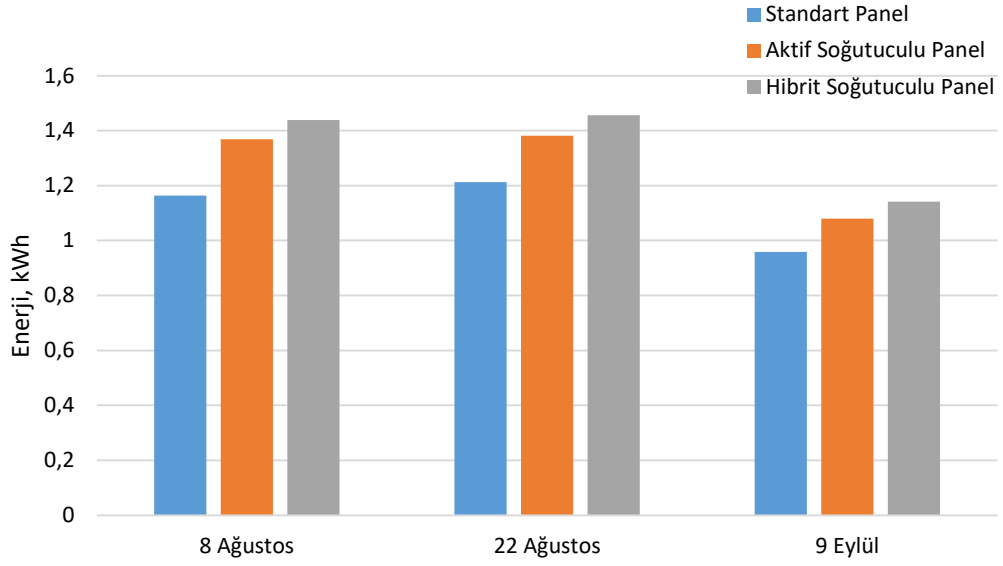
Şekil 4.4’de 9 Eylül 2023’de FV panellerin arka yüzey sıcaklıkları ve çevre sıcaklığı değerleri verilmiştir. Standart FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 10:00’da 50,27°C, en düşük sıcaklık değeri saat 19:00’da 17,43°C’dir. Aktif soğutuculu FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 11:30’da 34,69°C, en düşük sıcaklık değeri saat 19:00’da 19,05°C’dir. Hibrit soğutuculu FV panel için en yüksek sıcaklık değeri saat 13:00’da 33,77°C, en düşük

sıcaklık değeri saat 19:00'da 18,06°C'dir. Çevre sıcaklığı en yüksek değeri saat 17:00'da 30,3°, en düşük değeri saat 07:00'da 16,7°C olarak ölçülmüştür.

FV panel yüzey sıcaklıkları, seçili günlerde soğutma uygulanmayan FV panelde her zaman daha yüksek değerdedir. Aktif soğutma uygulanan FV panelin ise hibrit soğutma uygulanan FV panele göre yüzey sıcaklığının daha fazla olduğu görülmektedir. Tüm bu veriler ışığında soğutma uygulamalarının başarılı olduğu görülmektedir.

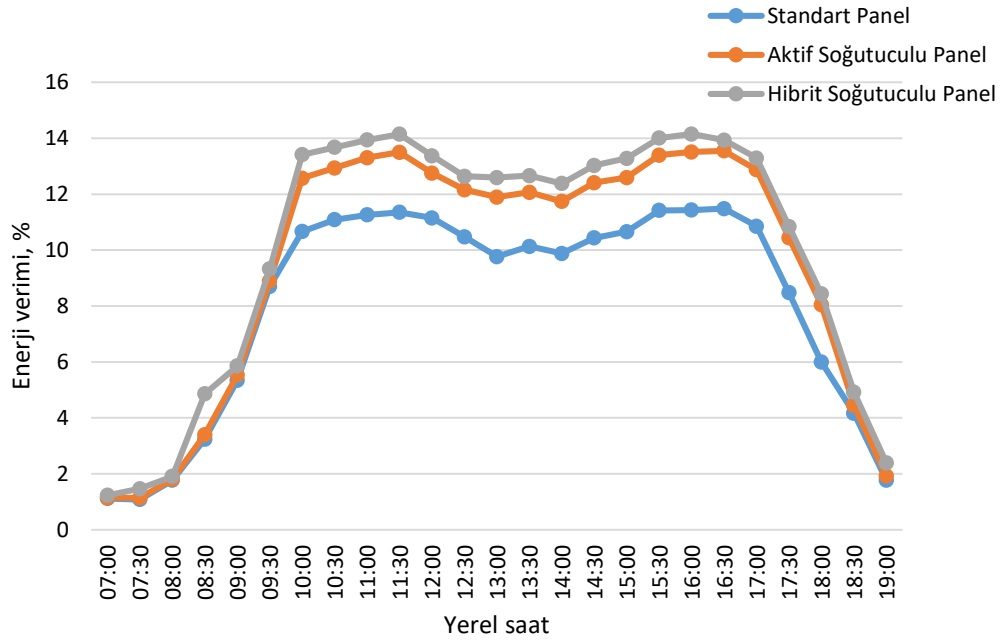
8 Ağustos 2023 için aktif soğutuculu FV panelde fan çalışma saatleri 10:00-18:00 arasındayken, hibrit soğutuculu FV panelde fan çalışma saatleri 10:00-17:00 saatleri arasındadır. 22 Ağustos 2023 için aktif soğutuculu FV panelde fan çalışma saatleri 09:30 – 18:00 arasındayken, hibrit soğutuculu FV panelde fan çalışma saatleri 10:00-17:30 saatleri arasındadır. 9 Eylül 2023 için aktif soğutuculu FV panelde fan çalışma saatleri 11:30-16:30 arasındayken, hibrit soğutuculu FV panelde fan çalışma saatleri 12:00-16:30 saatleri arasındadır. Hibrit soğutuculu FV panelde fanın nispeten daha az çalıştığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi, RH-44HC maddesinin hal değişim sıcaklığı 41-44°C arasında değiştiğinden yüzey soğutmayı yaparak fanın çalışmasına gerek kalmamasıdır. Ayrıca grafiklerde görüldüğü üzere fan çalışması durduktan sonra sıcaklığın az bir miktar da olsa arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi çevre ile ısı transferinin meydana gelmesidir.

Ağustos ayı grafikleri incelendiğinde günün en sıcak saatleri olan 11:00-16:00 arasında aktif soğutuculu FV panel ile hibrit soğutuculu FV panelin sıcaklık değeri 40-45°C arasında değişmiştir daha yüksek sıcaklıklara çıkamamıştır. Bunun nedeni FV panel arka yüzeyi 40°C'ye ulaştığında ilgili fanın çalışır konuma geçmesidir. Ayrıca hibrit panelde ek olarak RT-44HC maddesinin hal değişim sıcaklığı 41-44°C arasında değişmesi de katkı sağlamıştır.



Şekil 4.5. 8 Ağustos 2023, 22 Ağustos 2023 ve 9 Eylül 2023 tarihlerindeki günlük toplam enerji üretimi

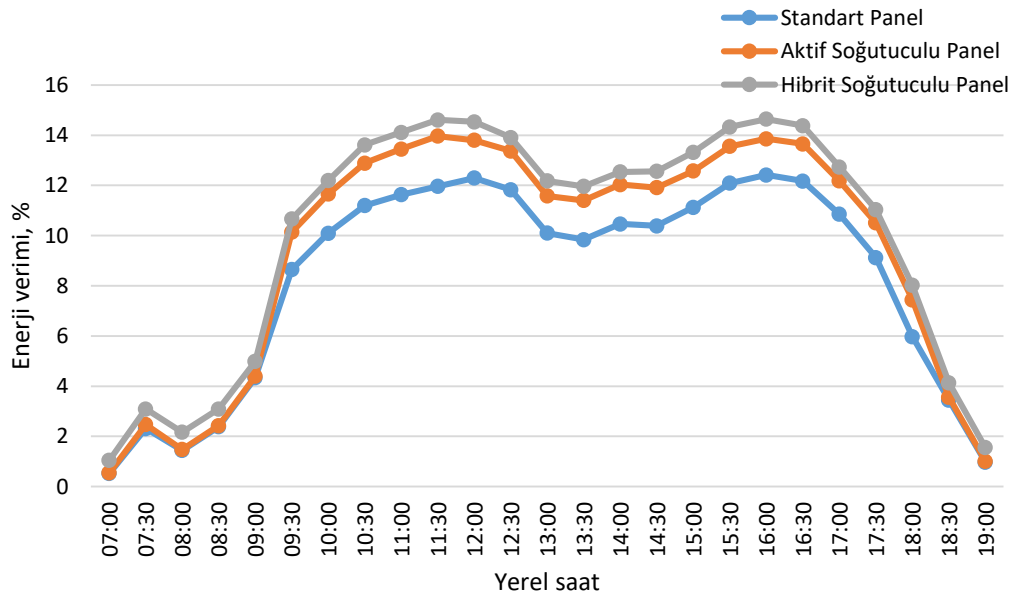
Şekil 4.5’de 8 Ağustos 2023, 22 Ağustos 2023 ve 9 Eylül 2023 tarihlerindeki günlük toplam enerji üretimleri gösterilmektedir. Verilere göre 8 Ağustos için Standart FV panel günlük 1,163 kWh, aktif soğutuculu FV panel 1,369 kWh, hibrit soğutuculu FV panel 1,439 kWh enerji üretimi yapmaktadır. 22 Ağustos gününde, 8 Ağustosa göre standart FV panel %4,21 artış ile 1,212 kWh, aktif soğutuculu FV panel %0,87 artış ile 1,381 kWh, hibrit soğutuculu FV panel %1,18 artış ile 1,456 kWh enerji üretmiştir. 9 Eylül gününde, 8 Ağustosa göre standart FV panel %17,62 düşüş ile 0,958 kWh, aktif soğutuculu FV panel %21,11 düşüş ile 1,08 kWh, hibrit soğutuculu FV panel %20,63 düşüş ile 1,142 kWh enerji üretmiştir. Verilere bakıldığında en yüksek enerji üretimi 22 Ağustos gününde olmuştur.



Şekil 4.6. 8 Ağustos 2023’de FV panellerin enerji verimliliği

Şekil 4.6’da 8 Ağustos 2023’de FV panellerin enerji verimliliği gösterilmiştir. Standart FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı noktalar saat 11:30’da %11,35 iken saat 16:30’da %11,48’dir. Standart FV panelin arka yüzey sıcaklığı 11:30’da 56,69°C iken 16:30’da 40,2°C değerine sahiptir. Aktif soğutuculu FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı noktalar saat 11:30’da %13,49 iken saat 16:30’da %13,54’dür. Aktif soğutuculu FV panelin arka yüzey sıcaklığı 11:30’da 42,51°C iken 16:30’da 38,08°C değerine sahiptir. Hibrit soğutuculu FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı noktalar saat 11:30’da %14,14 iken saat 16:30’da %13,93’dür. Hibrit soğutuculu FV panelin arka yüzey sıcaklığı 11:30’da 41,28°C iken 16:30’da 37,16°C değerine sahiptir. 8 Ağustos gününde FV panel yüzey sıcaklıklarına bakıldığında en yüksek sıcaklık standart FV paneldeyken en düşük sıcaklık hibrit soğutuculu FV paneldedir. Sıcaklık değeri fazla olan FV panelin enerji verimliliğinin daha az olduğu grafikte görülmektedir. Enerji verimlilikleri yüksekten düşüğe doğru hibrit soğutuculu, aktif soğutuculu ve standart FV panel sıralanabilmektedir. Güneş ışıınımı değeri saat 11:30’da 788 W/m² iken saat 16:30’da 647 W/m² değerine sahiptir. Çevre sıcaklığı saat 11:30’da 34,8°C iken 16:30’da 38,4°C değerine sahiptir. Standart FV panel için günün 07:00 ile 19:00 saatleri arasında ortalama enerji verimi %8,15, aktif soğutuculu FV panel için %9,52 ve hibrit soğutuculu FV panel için %10,07’dir. Standart FV panele göre aktif soğutuculu FV panel %16,81, hibrit soğutuculu panel %23,55 enerji verimliliğinde artış göstermiştir.

8 Ağustos 2023 gününde aktif soğutuculu FV panelde soğutucu fanın çalıştığı zaman aralığı saat 10:00-18:00 arasındadır. Hibrit soğutuculu FV panelde soğutucu fanın çalıştığı zaman aralığı saat 10:00-17:00 arasındadır. Elimizdeki bu verilerden yola çıkarak grafik incelendiğinde standart FV panel ile aktif soğutuculu FV panel saat 07:00-10:00'a kadar benzer enerji verimliliğine sahiptir. İlgili fanın çalışması saat 10:00'dan sonra aktif olunca grafikte görüldüğü gibi aktif soğutuculu FV panelin enerji verimliliğinde hızlı bir artış söz konusu olmuştur. Fan saat 18:00'dan sonra çalışmadığı için enerji verimliliğindeki artışta azalma meydana gelmiştir. Ayrıca hibrit soğutuculu FV panelde bulunan RT-44HC maddesinin hal değişim sıcaklığı 41-44°C olduğu bilinmektedir. İlgili FV panelin 41°C ve üzerine ulaştığı zaman aralığı saat 10:00 – 16:00 arasındadır. Grafik incelendiğinde bu zaman aralığında hibrit soğutuculu FV panel, aktif soğutuculu FV panelden belirli oranda artış göstermektedir fakat saat 16:00'dan sonra bu artışta bir azalma söz konusudur. Bunun nedeni saat 10:00-16:00 arasında hibrit soğutuculu FV panelde fana ilave olarak FDM'nin soğutmaya yardımcı olmasıdır. Saat 16:00'dan sonra enerji verimliliği artışındaki azalmanın sebebi güneş ışınımının azalması ve çevre havanın sıcaklığının azalmasıdır.

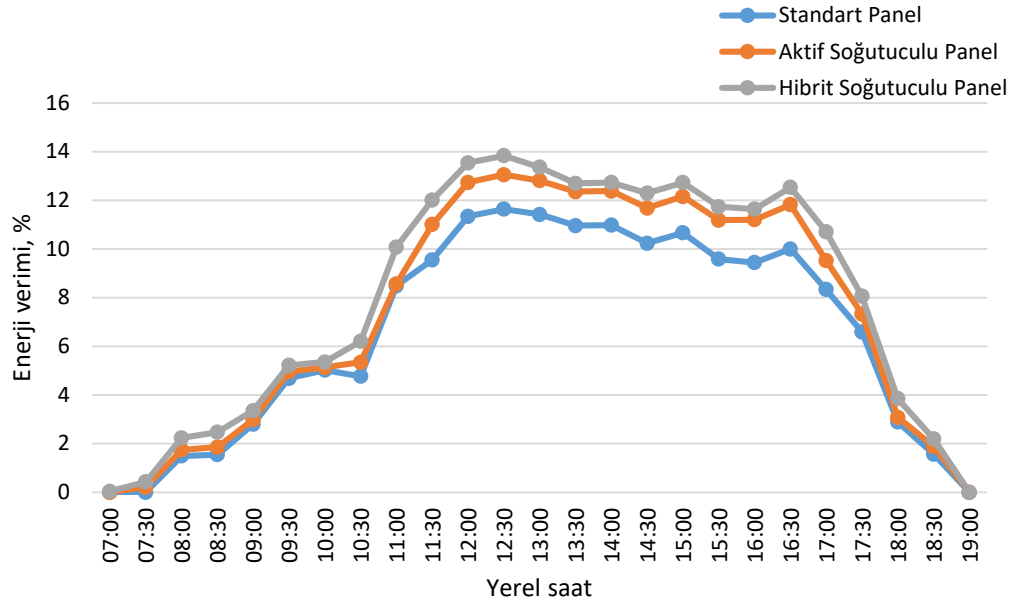


Şekil 4.7. 22 Ağustos 2023'de FV panellerin enerji verimliliği

Şekil 4.7'de 22 Ağustos 2023'de FV panellerin enerji verimliliği gösterilmiştir. Standart FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı noktalar saat 12:00'da %12,29 iken saat 16:00'da %12,41'dir. Standart FV panelin arka yüzey sıcaklığı 12:00'da 47,27°C iken 16:00'da 43,05°C değerine sahiptir. Aktif soğutuculu FV panelde enerji verimliliğinin

maksimum değere ulaştığı noktalar saat 11:30'da %13,97 iken saat 16:00'da %13,86'dır. Aktif soğutuculu FV panelin arka yüzey sıcaklığı 11:30'da 41,85°C iken 16:00'da 39,93°C değerine sahiptir. Hibrit soğutuculu FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı noktalar saat 11:30'da %14,61 iken saat 16:00'da %14,64'dür. Hibrit soğutuculu FV panelin arka yüzey sıcaklığı 11:30'da 40,52°C iken 16:00'da 39,19°C değerine sahiptir. 22 Ağustos gününde, FV panel yüzey sıcaklıklarına bakıldığında en yüksek sıcaklık standart FV paneldeyken en düşük sıcaklık hibrit soğutuculu FV paneldedir. Sıcaklık değeri fazla olan FV panelin enerji verimliliğinin daha az olduğu grafikte görülmektedir. Enerji verimlilikleri yüksekten düşüğe doğru hibrit soğutuculu, aktif soğutuculu ve standart FV panel sıralanabilmektedir. Güneş ışıınımı değeri saat 11:30'da 750 W/m², saat 12:00'da 824 W/m² iken saat 16:00'da 752 W/m² değerine sahiptir. Çevre sıcaklığı saat 11:30'da 36,4°C, 12:00'da 36,9 iken 16:30'da 38,4°C değerine sahiptir. Standart FV panel için günün 07:00 ile 19:00 saatleri arasında ortalama enerji verimi %8,3, aktif soğutuculu FV panel için %9,43 ve hibrit soğutuculu FV panel için %10,05'dir. Standart FV panele göre aktif soğutuculu FV panel %13,61, hibrit soğutuculu panel %21,08 enerji verimliliğinde artış göstermiştir.

22 Ağustos 2023 gününde aktif soğutuculu FV panelde soğutucu fanın çalıştığı zaman aralığı saat 09:30-18:00 arasındadır. Hibrit soğutuculu FV panelde soğutucu fanın çalıştığı zaman aralığı saat 10:00-17:30 arasındadır. Elimizdeki bu verilerden yola çıkarak grafik incelendiğinde standart FV panel ile aktif soğutuculu FV panel saat 07:00-09:30'a kadar benzer enerji verimliliğine sahiptir. İlgili fanın çalışması saat 09:30'dan sonra aktif olunca grafikte görüldüğü gibi aktif soğutuculu FV panelin enerji verimliliğinde hızlı bir artış söz konusu olmuştur. Fan saat 18:00'dan sonra çalışmadığı için enerji verimliliğindeki artışta azalma meydana gelmiştir. Ayrıca ilgili FV panelin 41°C ve üzerine ulaştığı zaman aralığı saat 10:25-16:20 arası olduğu bilinmektedir. Grafik incelendiğinde bu zaman aralığında hibrit soğutuculu FV panel, aktif soğutuculu FV panelden belirli oranda artış göstermektedir fakat saat 16:20'den sonra bu artışta bir azalma söz konusudur. Bunun nedeni saat 10:25-16:20 arasında hibrit soğutuculu FV panelde fana ilave olarak FDM'nin soğutmaya yardımcı olmasıdır. Saat 16:20'den sonra enerji verimliliği artışındaki azalmanın sebebi güneş ışıınının azalması ve çevre havanın sıcaklığının azalmasıdır.



Şekil 4.8. 9 Eylül 2023’de FV panellerin enerji verimliliği

Şekil 4.8’de 9 Eylül 2023’de FV panellerin enerji verimliliği gösterilmiştir. Standart FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı nokta saat 12:30’da %11,64’dür. Standart FV panelin arka yüzey sıcaklığı 12:30’da 43,31°C değerine sahiptir. Aktif soğutuculu FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı nokta saat 12:30’da %13,05’dir. Aktif soğutuculu FV panelin arka yüzey sıcaklığı 12:30’da 34,02°C değerine sahiptir. Hibrit soğutuculu FV panelde enerji verimliliğinin maksimum değere ulaştığı noktalar saat 12:30’da %13,83’dür. Hibrit soğutuculu FV panelin arka yüzey sıcaklığı 12:30’da 33,7°C değerine sahiptir. 9 Eylül gününde, FV panel yüzey sıcaklıklarına bakıldığında en yüksek sıcaklık standart FV paneldeyken en düşük sıcaklık hibrit soğutuculu FV paneldedir. Sıcaklık değeri fazla olan FV panelin enerji verimliliğinin daha az olduğu grafikte görülmektedir. Enerji verimlilikleri yüksekten düşüğe doğru hibrit soğutuculu, aktif soğutuculu ve standart FV panel sıralanabilmektedir. Güneş ışıınımı değeri saat 12:30’da 849 W/m² değerine sahiptir. Çevre sıcaklığı saat 12:30’da 26,7°C değerine sahiptir. Standart FV panel için günün 07:00 ile 19:00 saatleri arasında ortalama enerji verimi %6,56, aktif soğutuculu FV panel için %7,4 ve hibrit soğutuculu FV panel için %7,97’dir. Standart FV panele göre aktif soğutuculu FV panel %12,8, hibrit soğutuculu panel %21,49 enerji verimliliğinde artış göstermiştir.

9 Eylül 2023 gününde aktif soğutuculu FV panelde soğutucu fanın çalıştığı zaman aralığı saat 11:25-16:40 arasındadır. Hibrit soğutuculu FV panelde soğutucu fanın çalıştığı zaman aralığı saat 11:35-16:20 arasındadır. Elimizdeki bu verilerden yola çıkarak grafik

incelendiğinde standart FV panel ile aktif soğutuculu FV panel saat 07:00-11:25'e kadar benzer enerji verimliliğine sahiptir. İlgili fanın çalışması saat 11:25'den sonra aktif olunca grafikte görüldüğü gibi aktif soğutuculu FV panelin enerji verimliliğinde hızlı bir artış söz konusu olmuştur. Fan saat 16:40'dan sonra çalışmadığı için enerji verimliliğindeki artışta azalma meydana gelmiştir. Hibrit soğutuculu FV panelin arka yüzey sıcaklığının 41°C'ye yakın değerlerde bulunduğu saatler 10:30-12:35'dir verilerde görülmektedir. Fakat bu zaman aralığında bile sıcaklık artışı çok fazla olmamıştır. Bu sebeple hibrit soğutuculu FV panel, aktif soğutuculu FV paneli genel anlamda yakın enerji verimliliğinde takip etmektedir. Sonuç olarak RT-44HC maddesinin hal değişimi sıcaklığına tam olarak erişmediği için soğutmaya fazla bir katkıda bulunmadığı gözükmemektedir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında FV panellerin aşırı ısınmasından dolayı meydana gelen kayıpları en aza indirmek için çeşitli yüzey soğutma yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerden ilki aktif soğutma yöntemi olan ve belirli bir enerji tüketimine sahip olan fan vasıtasıyla soğutma yöntemidir. Diğer bir soğutma yöntemi ise pasif soğutma yöntemi olan FDM ile soğutmadır. Deney düzenğinde üç adet birbirine özdeş FV paneller kullanılmıştır. İlk FV panel standart bırakılmıştır. İkinci FV panel arka yüzeyine, hazırlanan kanal üzerinde bulunan fan ile soğutma sistemi uygulanmıştır. Üçüncü FV panele iki farklı soğutma uygulanmıştır. Bunlardan ilki FV panel arka yüzeyine tıpkı ikinci FV paneldekine özdeş kanal ve fan kullanılarak soğutma yapılmıştır. İkinci olarak, alüminyum kapsüller içerisinde bulunan RT-44HC FDM'i ile soğutma uygulanmıştır. Hazırlanan modüller Edirne ili iklim şartlarında Ağustos ve Eylül aylarının bazı günlerini içerecek şekilde toplamda 45 günlük süreçte sabah 07:00 ile akşam 19:00 saatleri arasında veriler toplanmış ve kayıt altına alınmıştır. FV panel yüzey sıcaklıkları ve FV panel akım ve gerilim değerleri datalogger vasıtasıyla 5'er dakikalık periyotlarla kayıt altına alınmıştır. Gerekli çevresel veriler ise çevre sıcaklığı, ışıınım gibi hava istasyonu ile 5'er dakikalık periyotlarla ölçülüp kayıt altına alınmıştır. Çalışmaya yön vermesi amacıyla deneylerin yapıldığı zaman aralığından çeşitli günler seçilmiş ve bu günlere göre sonuçlar yorumlanmıştır. Günlerin seçimi, çalışmanın başlangıcından bir hafta sonrası, çalışmanın tam ortası ve çalışmanın bitiminden bir hafta öncesi olacak şekilde yapılmıştır.

Deneylerin yapıldığı 3 – 31 Ağustos tarihleri arasında aktif soğutuculu FV panel standart FV panele göre %15,83, hibrit soğutuculu FV panel standart FV panele göre %21,9 daha fazla enerji üretimi sağlamıştır. 1 – 16 Eylül tarihleri arasında ise aktif soğutuculu FV panel standart FV panele göre %14,58, hibrit soğutuculu FV panel standart FV panele göre %19,79 daha fazla enerji üretimi sağlamıştır. Yapılan çalışmada 45 günlük süreç incelendiğinde ise aktif soğutuculu FV panel standart FV panele göre %14,85, hibrit soğutuculu FV panel standart FV panele göre %21,06 daha fazla enerji elde etmiştir. Tüm bu sonuçlar incelendiğinde hem aktif hem de hibrit soğutma yöntemlerinden başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Soğutma yöntemleri karşılaştırıldığında fan ile aktif soğutmada enerji üretiminde artış yüksek seviyelerdedir. Aynı şekilde hibrit sistemde hem fan ile aktif hem de FDM ile pasif soğutmanın birleşimiyle enerji üretiminde artış yüksek seviyelerdedir. Elbette sonuçlardan da görüleceği üzere yalnız FDM ile pasif soğutma işlemi, fan ile aktif soğutma işlemi kadar yüksek enerji artışlarına neden olmasa da belirli oranda soğutmada başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Ağustos ayında güneş ışıını ve rüzgar hızının Eylül ayına göre daha yüksek seviyelerde olması elektrik enerjisi üretiminde Ağustos ayının daha yüksek seviyelerde olduğunu ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca Eylül ayında ışıının azalması Ağustos ayına göre FV panel hücre sıcaklığındaki ısınmada azalmaları meydana getirir. Buna neden olarak da uyguladığımız soğutma sistemlerinin çalışma aralığının azaldığı gözlemlenmiştir. Ağustos ayı içerisinde fanın çalışma süresi ortalama günlük 8 saat iken Eylül ayı içerisinde bu zaman aralığı günlük ortalama 4,4 saattir. Ayrıca FDM'in aktif hale geçebilmesi için gerekli yüzey sıcaklığı Eylül ayında Ağustos ayına göre çok daha dar bir zaman aralığını kapsamaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere soğutma sistemlerini yılın en sıcak aylarında uygulamak daha verimli sonuçlar elde etmeyi sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abdollahi, N., Rahimi, M. (2020). Potential of water natural circulation coupled with nano-enhanced PCM for PV modüle cooling. *Renewable Energy*, 147(1), 302-309. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.002>
- Agyekum, E.B., Kumar S.P., Alwan, N.T., Velkin, V.I., Shcheklein, S.E. (2021). *Heliyon*, 7(9). Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07920>
- Akagündüz, M.U. (2023). *Havalı soğutmada geometrinin pv panel verimine etkisinin deneysel ve nümerik olarak araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Akı, O., Umut, I., Akal, D., Tez, T. (2022, Ağustos 29-31). *Experimental investigation of output power using phase change material (RT-44HC) in Polycrystalline Solar Panels*. IV. Uluslararası Tarım, Biyoloji ve Yaşam Bilimleri Konferansı, Edirne, Türkiye.
- Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., Sönmezoğlu, S. (2013). Organik güneş pilleri. *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1-30.
- Akyol, U., Akal, D., & Durak, A. (2023). Estimation of power output and thermodynamic analysis of standard and finned photovoltaic panels. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(3), 8438-8457.
- Alktrane, M., Bencs, P. (2022). Evaporatif Soğutmanın Fotovoltaik Modül Performansına Etkisi. *Process Integr Optim Sustain*, 6, 921–930. <https://doi.org/10.1007/s41660-022-00268-w>
- Almuwailhi, A., Zeitoun, A. (2021). Investigating the ccooling of solar photovoltaic modules under the conditions of Riyadh. *Journal of King Saud University. Engineering Sciences*. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.03.007>
- Al-Shamani, A. N., Yazdi, M. H., Alghoul, M. A., Abed, A. M., Ruslan, M. H., Mat, S., & Sopian, K. (2014). Nanofluids for improved efficiency in cooling solar collectors—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 348-367.
- Amelia, A.R., Irwan, Y.M., Irwanto, M., Leow, W.Z., Gomesh, N., Safwati, I., Amwar, M.A.M. (2016). Cooling on photovoltaic panel using forced air convection induced by DC fan. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(2), 526-534.
- Aydın, A. (2022). *Monokristalin yapılı PV/T sistemde kolektif soğutma uygulaması ve nanoakışkan kullanımının pv panel verimine etkilerinin deneysel ve matematiksel analizi* (Doktora Tezi), Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman.
- Bayrak, F. (2017). *Fotovoltaik panellere bütünleştirilmiş farklı pasif soğutma yöntemlerin sistem verimliliğine etkisinin sayısal ve deneysel incelenmesi* (Doktora Tezi), Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bayrak, F., Oztop, H.F., Selimefendigil, F. (2020). Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic panels. *Energy Conversion and Management*, 212(). Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112789>

- Benato, A., Stoppate, A. (2019). An experimental investigation of a novel low-cost photovoltaic panel active cooling system. *Energies*, 12(8), 1448.
- Bevilacqua, P., Morabito, A., Bruno, R., Ferraro, V., Arcuri, N. (2020). Seasonal performances of photovoltaic cooling systems in different weather conditions. *Journal of Cleaner Production*, 272. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122459>
- Beyit, O., Dervişoğulları, Ş. (t.y). *Güneş pilleri ve güneş enerji sistemleri*. Erişim adresi <https://ktemb.org/download-forms/tr/Gne%20Pilleri.pdf>
- Bilen, K., Bilal, I., Gezer, S., ve Kıyık, F. (2021). Hava soğutmalı fotovoltaiik panellerde kanatçık tipinin soğutmaya etkisinin teorik olarak incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 25(2), 711-722.
- Burger, B., & Rüther, R. (2006). Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature. *Solar Energy*, 80(1), 32-45.
- Can, C. (2019). *Boyaya duyarlı güneş pilleri* (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Ceylan, İ., Gürel, E.A. (2017). *Güneş enerji sistemleri ve tasarımı*. Bursa: Dora Yayıncılık.
- Coşkun, O. (2022). *Fotovoltaiik sistemlerin verimliliğini etkileyen faktörler*. Erişim adresi: <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/fotovoltaiik-sistemlerin-verimliliğini-etkileyen-faktorler/3753/>
- Çanka Kılıç, F. (2015). Güneş enerjisi Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri. *Mühendis ve Makine*, 56, 28-40.
- Çolak, Ş.Ç. (2010). *Fotovoltaiik paneller yardımı ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin maliyet analizi ve gelecekteki projeksiyonu* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirtürk, T. (t.y). *Elektronik ders notları 2*. Erişim adresi <http://yucelkocygigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf>
- Deniz, E. (2013, Kasım 21-24). *Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar*. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, İzmir. Erişim adresi: https://www.emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf
- El-Shimy, M. ve Abdo, T. (2015). Photovoltaic Technologies: History, Advances, and Characterization. *Encyclopedia of Energy Engineering and Technolog* (2. Baskı) (1397-1424). Newyork: Taylor and Francis.
- Erdoğan, İ., Bilen, K., Kıvrak, S. (2022). Experimental Investigation of the efficiency of solar panel over which water film flows. *Politeknik dergisi*, 1-1. <https://doi.org/10.2339/politeknik.1163785>
- Eryılmaz, N. (2022). *Fotovoltaiik (PV) panellerde verim artırma yöntemlerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Munzur Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tunceli.

- Faranda, R. ve Leva, S. (2008). Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems. *WSEAS transactions on power sysstem*, 3(6), 446-455.
- Fesharaki, V. J., Dehghani, M., Fesharaki, J. J., ve Tavasoli, H. (2011, November). The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency. In *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation–ETEC*, Tehran, Iran (Vol. 20, pp. 20-21).
- Gong, J., Sumathy, K., Qiao, Q., Zhou, Z. (2017). Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 234-246.
- Grubišić-Čabo, F., Nižetić, S., ve Giuseppe Marco, T. (2016). Photovoltaic panels: A review of the cooling techniques. *Transactions of FAMENA*, 40(SI-1), 63-74.
- Güneş paneli yapımı-yapısı. (t.y). Erişim adresi <https://www.antalyaenerji.com/gunes-paneli-nasil-yapilir/>
- Haidar, Z.A., Orfi, J., Oztop, H.F., Kaneesamkandi, Z. (2016). Cooling of solar PV panels using evaporative cooling. *Journal of Thermal Engineering*, 2(5), 928-933.
- Herteleer, B. (2011). *Berekenen en dimensioneren van autonome fotovoltaische installaties voor kantoren in Afrika [Calculating and sizing of autonomous photovoltaic systems for offices in Africa]*. Yüksek Lisans Tezi, Catholic University College Ghent.
- Herdem, M. (2021). *Yenilenebilir bir enerji güneş enerjisi*. Erişim adresi <https://mustafaherdem.com/yenilenebilir-bir-enerji-gunes-enerjisi/>
- Herzog, A.V., Lipman, T.E. ve Kammen, D.M. (2001). Renewable energy sources. Encyclopedia of life support systems (EOLSS) forerunner volume-perspectives and overview of life support systems and sustainable development.
- Hussien, A., Eltayesh, A., El-Batssh, H. (2022). Experimental and numerical investigation for PV cooling by forced convection. *Alexandria Engineering Journal*. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.09.006>
- İnce film güneş pili. (2017). Erişim adresi <https://tr.pv-mounting.com/info/thin-film-solar-cell-how-much-do-you-know-21844807.html>
- Ju, F. ve Fu, X. (2011, Eylül). Research on impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance. In *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering* (pp. 3601-3606).
- Kahyaoğlu, A. (2021). *Organic solar battery production with chlorophylland increasing efficiency* (Doktora Tezi), Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Kapluhan, E. (2015). Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: güneş enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki kullanım durumu. *Coğrafya Dergisi*, (29), 70-98.
- Karakaya, H., & Şen, İ. E. (2019). Fotovoltaik panellerde verim iyileştirme yöntemleri. *Academic Perspective Procedia*, 2(3), 1179-1188.

- Karakoç, H., Karakoç, N., Erbay, B., Aras, H. (2012). *Enerji analizi* (1. Baskı). Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayını. Erişim adresi https://www.researchgate.net/publication/369941477_Experimental_Investigation_of_Output_Power_Using_Phase_Change_Material_RT-44HC_in_Polycrystalline_Solar_Panels
- Kaymak, M. K. (t.y). *Fotovoltaik*. Erişim adresi <https://web.itu.edu.tr/~kaymak/PV.html>
- Kılıcı, O. (2020). *Değişken Özellikli Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Mevcut Verilerle PVsyst Programında Üretim ve Performans Analizi* (Yüksek Lisan Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Koirala, B. P., Sahan, B., ve Henze, N. (2009, September). Study on MPP mismatch losses in photovoltaic applications. In *European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC)* (pp. 3727-3733).
- Koutroulis, E., ve Blaabjerg, F. (2011). Methods for the optimal design of grid-connected PV inverters. *International Journal Renewable Energy Research*, 1, 54a.
- Mirza, U.K. (2006). Review: Solar Revolution: The Economic Transformation of the Global Energy Industry by Travis Bradford. *Electronic Green Journal*, 1(25), 248.
- Nizetic, S., Jurcevic, M., Coko, D., Arıcı, M. (2021). A novel and effective passive cooling strategy for photovoltaic panel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 145. Erişim adresi <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.11164>
- Oduncu Teneke, O. (2020). *Enerji ve kalkınma ilişkisi: Türkiye örneği*. (Doktora Tezi), Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Özdamar, O.S. (2022, Eylül 30). *PV panellerde aktif ve pasif soğutma isimlerinin uygulanması ve analizi*. Uluslararası Avrasya İklim Değişikliği Kongresi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van. Erişim adresi: https://webportal.yyu.edu.tr/images/content/1667915411_EURACLI_22_ABSTRACT_BOOK.pdf
- Özkaya, S. V. (2004). *Yenilebilir Enerji Kaynakları*. 10 Ekim 2023, Erişim adresi <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa>
- Öztürk, H. H. (t.y). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler
- REN21. (2009). Renewable Energy Policy Network for the 21st centur. Paris. Erişim adresi http://re.indiaenvironmentportal.org.in/files/Renewables_Global_%2520Status_report.pdf
- Salar, Y.İ., Öncel, Ç.D. ve Salar, S. (2011). Tarımsal uygulamalarda güneş enerjisi kullanımı araştırma raporu / Ceylanpınar. Erişim adresi: https://www.karacadag.gov.tr/Dokuman/Dosya/www.karacadag.org.tr_10_TY6E47EI_tarimsal_uretimde_gunes_enerjisi_kullanimi.pdf
- Selbaş, R. ve Çetin, H. (2022). Fotovoltaik güneş santrallerinin verimlerinin değişiminin incelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), 10-17.

- Sudhakar, P., Santosh, R., Asthalakshmi, B., Kumaresan, G., Velraj, R. (2020). Performance augmentation of solar photovoltaic panel through PCM integrated natural water circulation cooling technique. *Journal Pre-proof*, 172, 1433-1448. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.138>
- Suhaimi, S., Shahimin, M. M., Alahmed, Z. A., Chyský, J., & Reshak, A. H. (2015). Materials for enhanced dye-sensitized solar cell performance: Electrochemical application. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(4), 2859-2871.
- Syafıgah, Z., Amin, N.A.M., İrvan, Y.M., Irwanto, M., Amelia, A.R. (2017, Eylül 26). *Performance power evaluation of DC fan cooling system for PV panel by using ANSYS CFX*. AIP Conference Proceedings, Krabi, Thailand. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1063/1.5002435>
- Svarc, J. (2020). *Solar panel construction*. Erişim adresi <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2022). *Güneş*. Erişim adresi <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- Tekin, E. ve Güneri, Y. (2021). *Türkiye güneş enerji potansiyeli*. Erişim adresi <https://www.piagrid.com/rehber/turkiye-gunes-enerji-potansiyeli>
- Temiz Enerji Yayınları. (t.y). *Güneş Pilleri*. Erişim adresi https://habitatdernegi.org/wp-content/uploads/2023/06/G_Pilleri.pdf
- Thomas, R. (Ed.). (2003). *Photovoltaics and architecture*. Taylor & Francis. Didcot, UK.
- Türk, Seray. (2022). *Fotovoltaik panellerde sıcaklığın etkisi ve panel sıcaklığının düşürölmesi için farklı soğutma yöntemlerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Uğur, Zölal. (2022). *Farklı faz değiştiren malzemelerle kaplanmış güneş panelinin soğutulması ve enerji üretiminde verimlilik farkının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi), Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman.
- Uyar, F. (2016). *Güneş pili çalışma prensibi ve eşitleri*. Erişim adresi: <http://www.enerjibes.com/gunes-pili/>
- Waldauf, C., Schilinsky, P., Hauch, J., Brabec, C.J. (2004). Material and device concepts for organic photovolltaics: towards competitive efficiencies. *Thin Solid Films*, 451, 503-50