



**SOĞUTMALI BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN (PV/T)
PERFORMANS ANALİZİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmed MOHAMMED JAMAL AMRLE

Kütahya – 2023

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**SOĞUTMALI BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN (PV/T)
PERFORMANS ANALİZİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Danışman:
Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ

Hazırlayan:
Ahmed MOHAMMED JAMAL AMRLE

Kütahya- 2023

Kabul ve Onay

Makine Mühendisliği Ana bilim dalında, 202085361008 öğrenci numaralı, Ahmed Mohammed Jamal AMRLE'nin hazırlamış olduğu "SOĞUTMALI BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN (PV/T) PERFORMANS ANALİZİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI" başlıklı yüksek lisans tez çalışması ile ilgili tez savunma sınavı jüri tarafından yapılmış ve adayın tezinin OY BİRLİĞİ ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

15/02/2023

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Red
Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ (Danışman)		
Prof. Dr. Mustafa Arif ÖZGÜR		
Prof. Dr. Abdullah AKBULUT		

Onay

Doç. Dr. Arif KOLAY

Enstitü Müdürü

Bilimsel Etik Bildirimi

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “*Soğutmalı Bir Fotovoltaik Sistemin (PV/T) Performans Analizinin Deneysel Araştırılması*” Adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

15/02/2023

Ahmed Mohammed Jamal AMRLE

Özgeçmiş

İlk, orta ve üniversite eğitimini Irak'ta tamamladı. Kuzey Teknik Üniversitesi Soğutma ve İklimlendirme Teknik Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. 2020 yılında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Ayrıca, üniversiteden mezun olduktan sonra iklimlendirme- Soğutma teknolojileri bakım ve onarımı üzerine çalıştı.



ÖZET

SOĞUTMALI BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN (PV/T) PERFORMANS ANALİZİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

AMRLE, Ahmed Mohammed Jamal
Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ
Şubat, 2023, 90 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji verimliliğinin artırılması, yerel enerji potansiyelinin maksimum verimle sürdürülebilirliğinin sağlanması ve enerji dönüşüm sistemlerinin minimum maliyetle daha verimli hale getirilmesi için uygulanması gereken optimum tasarımın belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Güneş enerjisi üretim sistemlerinde fotovoltaik (PV) panel hücrelerinin sıcaklığı işlem sırasında artar ve bu durumda panel verimi düşer. Sonuç olarak; yüzey ısınmasına bağlı olarak panelin elektriksel verimi de düşer. Panel yüzeyi soğutularak verimlilik düşüşü en aza indirilebilir. Bu çalışmada; Kütahya bölgesinin iklim koşulları göz önünde bulundurularak her biri 395 W gücünde olan fotovoltaik (PV) panellerin seçilen farklı soğutma yöntemleri ile çalışma sıcaklıklarının düşürülerek verimlerinin artırılması deneysel olarak incelenmiştir. Paneller Kütahya bölgesinin enlemi dikkate alınarak 30° açıyla yerleştirilmiştir. PV panel hücrelerinin sıcaklığını düşürmek için iki farklı yöntem uygulanmıştır. Sistemde ilk olarak su sirkülasyonlu soğutma yöntemi, ikinci olarak da sistemde hava sirkülasyonlu soğutma yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca aynı özelliklere sahip monokristal bir panel tipi de soğutmasız olarak çalıştırılmıştır. Her panel uygulaması için güneş radyasyonu, panel sıcaklığı, güç, akım ve gerilim gibi panel karakteristik değerleri ölçülmüştür. Hem soğutma sistemli hem de soğutmasız sistemli panellerden elde edilen performans ve elektrik üretim değerleri arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Üretimi, Fotovoltaik Panel (PV), Verimlilik, Yüzey Soğutma

ABSTRACT**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PERFORMANCE ANALYSIS OF A
COOLED PHOTOVOLTAIC SYSTEM (PV/T)**

AMRLE, Ahmed Mohammed Jamal
Master's Thesis Department of Mechanical Engineering
Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Oğuzhan ERBAŞ
February, 2023, 90 pages

It is of great importance to determine the optimal design that should be applied in order to increase the renewable energy resources in energy efficiency, to ensure the sustainability of the domestic energy potential by using the maximum efficiency and to make the energy conversion systems the most efficient with the least cost. In solar power generation systems, the temperature of the photovoltaic (PV) panel cells increases during the process and in this case, the panel efficiency decreases. As a result; Depending on the surface heating, the electrical efficiency of the panel also decreases. Efficiency reduction can be minimized by cooling the panel surface. In this study; Considering the climatic conditions of the Kutahya region, it has been experimentally investigated that the operating temperatures of photovoltaic (PV) panels, each of which has a power of 395 W, are reduced by different cooling methods selected and thus increasing their efficiency. Considering the latitude of the Kutahya region, the panels were placed at 30°. For this purpose; Two different methods have been applied to reduce the temperature of PV panel cells. Firstly, water circulation cooling method was applied in the system, and secondly, air circulation cooling method was applied in the system. In addition, a monocrystalline panel type with the same characteristics was operated without cooling. For each panel application, panel characteristic values such as solar radiation, panel temperature, power, current and voltage were measured. A comparison was made between the performance and electricity production values obtained from the panels with both types of cooling systems and the uncooled system.

Keywords: Efficiency, Electricity Generation, Photovoltaic Panel (PV), Surface Cooling

ÖNSÖZ

Bu çalışma, "SOĞUTMALI BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU" başlıklı "2022 - 35" nolu BAP projesi kapsamında Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Yüksek lisans çalışmalarına başladığım günden beri akademik yönden beni destekleyen ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam Doç. Dr. Oğuzhan ERBAŞ'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

(Babamın evinde her adımda bir ders kazanırım) .Her konuda bana güç veren kıymetli babam Mohammed Jamal AMRLE'ye ve anneme sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ENERJİ KAYNAKLARI VE GÜNEŞ ENERJİSİ

1.1. ENERJİ KAYNAKLARI	11
1.2. GÜNEŞ ENERJİSİ	11
1.2.1. Güneş Enerjisinin Önemi ve Kullanım Alanları	13
1.2.2. Güneş Radyasyon Türleri ve Dağılımı Etkileyen Faktörler	14
1.3. GÜNEŞ TEKNOLOJİLERİ	16
1.3.1. Güneş Paneli	16
1.3.2. Güneş Hücresi	16
1.3.3. Güneş Kollektörü	19
1.3.3.1. Termal Güneş Kollektörleri	19
1.3.3.2. Hibrit Fotovoltaik/Termal (PV/T) Güneş Kollektörleri	22
1.3.4. Sıcaklığın Fotovoltaik Teknolojiler Üzerindeki Etkisi	24

İKİNCİ BÖLÜM

GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ENERJİ KAYIPLARININ HESABI

2.1. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ENERJİ KAYIPLARININ HESABI	27
--	----

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEY VE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN YAPISI

3.1. TASARIMI UYGULANAN GÜNEŞ PANELİ SOĞUTMA YÖNTEMLERİ	38
3.1.1. Su Sirkülasyonlu Soğutma Yöntemi	38
3.1.2. Hava Sirkülasyonlu Soğutma Yöntemi	38
3.2. DENEY SİSTEMİ ANA ELEMANLARI	39
3.2.1. Güneş Paneli	39
3.2.2. Invertor	40
3.2.3. Jel Akü	41

3.2.4. Şarj Regülatörü.....	42
3.2.5. Deney Sisteminde Kullanılan Sirkülasyon Pompası ve Fan Özellikleri	43
3.3. ÖLÇÜM CİHAZLARI	43
3.3.1. Anemometre Cihazı (Testo 425)	43
3.3.2. Multimetre	44
3.2.3. Sıcaklık Ölçüm Cihazı (Testo 735)	45
3.2.4. Testo 835-T2 İnfrared Termometre	45
3.2.5. Testo 480 Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı	46
3.2.6. Güneş Işınımı Ölçüm Cihazı (Piranometre)	47
3.2.7. Sıcaklık Sensörleri Teknik Özellikleri	48

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

YÜZEY SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN FOTOVOLTAİK (PV) PANELLERDE PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL SONUÇLARI

4.1. YÜZEY SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN FOTOVOLTAİK (PV) PANELLERDE PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL SONUÇLARI	50
SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKÇA	67
DİZİN	74

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: Deney Sisteminde Kullanılan Güneş Panellerinin Özellikleri.....	40
Tablo 3.2: Deney Sisteminde Kullanılan İnvertörün Özellikleri	40
Tablo 3.3: Deneyde Kullanılan Akünün Özellikleri	41
Tablo 3.4: Elektrik Parametreleri	42
Tablo 3.5: Fan Özellikleri	43
Tablo 3.6: Anemometrenin (Testo 425) Teknik Özellikleri	44
Tablo 3.7: Multimetrenin Teknik Özellikleri	45
Tablo 3.8: Testo 735 Sıcaklık Ölçer Özellikleri	45
Tablo 3.9: Testo 480 Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı	46
Tablo 3.10: Piranometre Teknik Özellikleri	47

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası	12
Şekil 1.2: Türkiye Güneş Işınım Haritası	13
Şekil 1.3: Güneş Paneli	16
Şekil 1.4: Güneş Panelinin Çalışma Prensibi	17
Şekil 1.5: Monokristal Hücre	18
Şekil 1.6: Polikristal Hücre	18
Şekil 1.7: İnce Amorf Güneş Hücreleri	19
Şekil 1.8: Parabolik Termal Güneş Kollektörü	20
Şekil 1.9: Güneş Enerjisi Kulesi	21
Şekil 1.10: Çanak Tasarımı	21
Şekil 1.11: Liner Fresnel Reflektörü	22
Şekil 1.12: PVT Sıvı Toplayıcı	23
Şekil 1.13: PVT Hava Toplayıcı	24
Şekil 2.1: Düz bir Kolektör için Isı Transfer ve Direnç Ağı	28
Şekil 2.2: Panellerin Seri Bağlanması	33
Şekil 3.1: Deney Sistemi ve Güneş Panelleri Kurulum-Montajı	36
Şekil 3.2: Su Sirkülasyonlu Deney Sistemi	38
Şekil 3.3: Hava Sirkülasyonlu Deney Sistemi	39
Şekil 3.4: Deneyde Kullanılan ORBUS İnvertor	41
Şekil 3.5: Deney Sisteminde Kullanılan Jel Akü	41
Şekil 3.6: Deney Sistemi Şarj Regülatörü	42
Şekil 3.7: Deney Sisteminde Kullanılan Sirkülasyon Pompası ve Fan	43
Şekil 3.8: Anemometre	44
Şekil 3.9: Dijital Multimetre	44
Şekil 3.10: Testo 735 Sıcaklık Ölçer Cihazı	45
Şekil 3.11: Testo 835-T2 İnfrared Termometre Cihazı	46
Şekil 3.12: Testo 480 Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı	47
Şekil 3.13: Piranometre Cihazı	47
Şekil 3.14: Kullanılan Testo Tip I ve Tip II Sıcaklık Sensörleri	48
Şekil 4.1: Deney Sistemi ve Güneş Panellerinin Uydu Konumu	50
Şekil 4.2: Güneş Işınım Değerinin Zamanla Değişimi (21.9.2022)	51

Şekil 4.3: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlere Göre Değişimi (21.9.2022)	52
Şekil 4.4: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (21.9.2022)	52
Şekil 4.5: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (21.9.2022)	53
Şekil 4.6: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (21.9.2022)	54
Şekil 4.7: Güneş Işınım Değerinin Zamanla Değişimi (24.9.2022)	55
Şekil 4.8: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlere Göre Değişimi (24.9.2022)	56
Şekil 4.9: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (24.9.2022)	56
Şekil 4.10: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (24.9.2022)	57
Şekil 4.11: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (24.9.2022)	58
Şekil 4.12: Güneş Işınım Değerinin Zamanla Değişimi (13.10.2022)	59
Şekil 4.13: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlere Göre Değişimi (13.10.2022)	59
Şekil 4.14: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (13.10.2022)	60
Şekil 4.15: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (13.10.2022) ...	60
Şekil 4.16: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (13.10.2022)	61
Şekil 4.17: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlere Göre Değişimi (26.10.2022)	62
Şekil 4.18: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (26.10.2022)	62
Şekil 4.19: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (26.10.2022) ...	63
Şekil 4.20: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (26.10.2022)	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

AÇIKLAMA

P	Güç (W)
V	Voltaj (V)
i	Akım
A_{kol}	Panel Alanı (m ²)
T_g	Giriş Sıcaklığı (°C)
$T_ç$	Çıkış Sıcaklığı (°C)
T	Sıcaklık (°C)
$\dot{m}$	Debi (kg/s)
C_p	Özgül Isı (kJ/kg.K)
K	Termal İletkenlik (W/m-K)
I	Işınım Şiddeti (W/m ²)
$\eta_{ısı}$	Isıl Verim (%)
η_e	Elektriksel Verim
R_t	Toplam İç Direnç (Ω)
r	İç Direnç (Ω)

KISALTMALAR

AÇIKLAMA

CuO	Bakır Oksit
DC	Doğru Akım
FDM	Faz Değiştiren Madde
FF	Dolum Faktörü
kW	Kilowatt
MgO	Magnezyum Oksit
MW	Megawatt
PV	Fotovoltaik
PVT	Fotovoltaik-Isıl

STC	Standart Test Koşulları
UV	Ultraviyole
W	Watt





TEZ METNİ

GİRİŞ

Enerji krizi, modern dünyanın en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Konvansiyonel enerji kaynaklarının sınırlı rezervi ile dengelenen enerji tüketimindeki büyük ve sürekli artış , akaryakıt ve geleneksel enerji kaynaklarının fiyatlarında önemli derecede artışlara neden olmuştur (Awad vd., 2022). Bu kaynaklardan çıkan zararlı maddeler, büyük oranda çevre kirliliğinin sorumlusudur. Asit yağmuru, ozon tabakasının incilmesi ve küresel ısınma çevre kirliliğine örnektir (Kasim & Atwan, 2017). Araştırmacılar, enerji kaynakları üzerinde düşünmeye ve bunlara alternatif kaynaklar bulmaya, başta güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, araştırma ve çalışmalara başlamışlardır. Fosil yakıtların zamanla tükenmesinde dolayı, bunun tükenmeyen ve çevreyi kirliletmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirilmesi gerektiği kabul edilmiştir. Güneşten bize gelen enerji, insanların yararlanabileceği en önemli enerji türlerinden biridir. Diğer kaynaklara göre çevreye zararlı maddeler ve emisyonu olmayan kalıcı bir enerjidir. (Awad vd., 2022)

Yenilenebilir enerji temiz ve yenilenebilir olduğu için enerji piyasalarında popüler hale gelmiş ve fosil yakıtlara olan talep azalmıştır. Ayrıca, gelecekte yenilenebilir enerjiler fosil yakıtların yerini aldığı anda potansiyel iklim değişikliği revize edilecektir. Güneş enerjisi şu anda diğer enerji kaynaklarına göre önde gelen kaynaklardan birisi haline gelmiş ve çoğu ülkede bu enerjiyi kullanmak için büyük bütçeler ayrılmıştır (Awad vd., 2022).

Güneş enerjisi iki farklı bölüme ayrılmıştır: Bunlar, gelen radyasyonun ısıya dönüştürüldüğü güneş termal enerjisi ve güneş enerjisinin elektriğe dönüştürüldüğü fotovoltaiik (PV) enerji sistemleridir. Güneş fotovoltaiik (PV) enerjisi, gelen güneş ışınımını elektrik enerjisine, yenilenebilir enerji kaynağına dönüştüren önemli teknolojilerden biridir. Bilindiği gibi fotovoltaiik güneş pili, üzerine ışık yoğunlaştığında elektrik imal eden yarı iletken bir cihazdır. Fotovoltaiik hücre, güneş radyasyonunun sadece küçük bir kısmını (% 20'den az) elektrik enerjisine dönüştürmektedir (Gardas Ve Tendolkar, 2013).

Doğal kaynakları tüketen ve artan tüketim oranlarının yanı sıra fosil yakıtların yakılmasının neden olduğu iklim değişikliği nedeniyle modern toplumda yenilenebilir elektrik enerjisinin kullanımı artmaktadır. Fosil yakıtlardan, güneş ve rüzgâr enerjisi kaynaklarıyla birlikte, enerji dönüşüm sürecini daha verimli hale getirmemiz gerekmektedir. Bu nedenle yenilenebilir elektrik enerjisi üretiminde meydana gelen tüm

enerji kayıplarını azaltmamız gerekir. Özellikle güneş enerjisi üretim sistemlerinde en yaygın ve geri kazanılabilir bir enerji kaybı olmaktadır. Örneğin, güneş fotovoltaik panelleri ısı üretmektedir ve buna eşlik eden bir sıcaklık artışıyla birlikte enerji üretimi azalmış olmaktadır (Improving Photovoltaic Panel Efficiency By Cooling.- Google Scholar). Genel olarak, bir silikon hücrenin voltaj düşüşü, 1°C başına 2,3 mV'tur. Hücre sıcaklığının akım ve doldurma faktörü üzerindeki etkisi daha az belirgindir ve güneş pili sistemi tasarımında genellikle ihmal edilmektedir (Kasim ve Atwan 2017).

Bu nedenle, hibrit PV/T sistemleri, emilen güneş radyasyonu için daha yüksek bir enerji dönüşüm oranı elde ederek aynı anda elektrik ve termal enerji sağlayabilmektedir. Bu sistemler, hava veya suyun PV modülünün sıcaklığının düşürüleceği ısı emicilerle birleştirilmiş PV modüllerinden oluşur. Bireysel güneş panel sistemlerinde çok fazla enerji üretimi olmasa da daha büyük kurulumlardan daha fazla enerji geri kazanılabilmektedir. PV/T sistem uygulamalarında elektrik üretimi ana öncelik, bu nedenle PV hücrelerinin elektriksel verimini yeterli seviyede tutabilmek için PV modüllerinin daha düşük sıcaklıkta çalıştırılması gerekmektedir (Boulfaf vd., 2016). Faz değiştiren malzeme fotovoltaik panelden ısıyı çekmenin farklı bir yöntemidir. Bu yöntem, doğru tip ve miktarda faz değiştirici malzeme seçilirse daha etkili olmaktadır.

Doğal veya cebri hava sirkülasyonu kullanmak ısıyı uzaklaştırmak için basit ve düşük maliyetli bir yöntemdir. Ortam hava sıcaklığı 20°C'nin üzerindeyse hava sirkülasyon yöntemi daha az etkili olmaktadır. Bu etkinin üstesinden gelmek için PV modülünün arka yüzeyine monte edilmiş bir ısı eşanjörü vasıtasıyla su sirkülasyonu ile ısı çekilebilmektedir.

PV/T sistemleri, standart PV modüllerinden daha yüksek güç çıkışı sağlar ve termal modülün ek maliyeti düşükse uygun maliyetli olma imkânı sağlar. Su tipi PV/T sistemleri, sıcak su ihtiyacını karşılayacak pratik cihazlar olabilir, bu nedenle bu çalışmanın amacı, PV/T sistemlerinin performansını değerlendirmek ve sıradan PV sistemlerine kıyasla dönüşüm verimliliğini artırmaktır. Bu tasarımlar, PV sistemlerinin kullanımının yaygınlaşmasına büyük fayda sağlamaktadır (Boulfaf vd. 2016).

Bu çalışmada da güneş enerjisi modülü sistemini soğutmak için iki yöntem (hava, su) kullanılmıştır. Enerji verimliliğini ve performansı artırmak amacıyla güneş modülünün soğutulması ve sıcaklığının standart değerlere düşürülmesi hedeflenmiştir.

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde, fotovoltaik sistemlerin verimin artırılması için farklı deneysel ve teorik çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Son yıllarda fotovoltaik güneş panellerinin verimini arttırmaya yönelik çalışmalar her geçen gün artış göstermektedir.

Rizk & Chaiko, (2008), basit bir güneş takip sistemi ile step motor ve ışık sensöründen oluşan panelin doğru açıda olmasını sağlayan sistem kullanılmıştır. Sistemin voltaj çıkışlarını algılayarak güneşe göre açıları ayarlanmıştır. Bu yöntemi kullanarak, güneş takip cihazı güneşe yeterince dik bir açıda olmasını sağlamada başarılı olmuştur. Sabit bir yatay dizi üzerinden kazanılan güç artışı % 30'un üzerine çıkmıştır.

Palumbo, (2013), soğutma malzemesi olarak havayı kullanarak doğal konveksiyonla çalışan soğutma kanalını geliştirmiş ve sistemin fanlarını kullanarak farklı hava hızlarında test etmiştir.

Abdulgafar vd., (2014), bu çalışmada, bir fotovoltaik panelin suya daldırma tekniği ile soğutulmasını incelemişlerdir. Su derinliğinin artmasıyla belirgin bir verimlilik artışı bulunmuştur. Sonuçlara göre; 6 cm su derinliğinde güneş panelinin verimliliği yaklaşık % 11 arttırılmıştır.

Irwan vd., (2015), hava soğutma mekanizması olan ve olmayan bir PV panelinin performansını analiz etmek için halojen lambalı bir güneş simülatörü geliştirmiştir.

Machniewicz vd., (2015), yaptıkları çalışmada PV/FDM panellerin termal ve elektriksel performanslarının dinamik simülasyonlarını ESP-r yazılımı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, PV panelin arka tarafındaki ilave FDM katmanının, yaklaşık 20°C geçiş sıcaklığı ile elektrik üretiminin verimliliğini etkin bir şekilde artırabileceği sonucuna varılmıştır

Stropnik & Stritih, (2016), bir PV panelinin modifikasyonu, faz değişim malzemesi (Rubitherm) ile yapılmıştır. FDM'li ve FDM'siz PV panelinin hücre sıcaklığının verileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca her iki PV panelinin TRNSYS yazılımında simülasyonu yapılmıştır. Simülasyonun sonuçları, Slovenya ,Ljubljana şehri için PV-FDM panelinin elektrik üretiminin bir yıllık deneme sürecinde % 7,3 oranında arttığını göstermiştir

Indartono vd., (2016), bu çalışmada, fotovoltaik üzerinde pasif soğutma olarak sarı vazelin kullanmışlardır. Bu deneysel çalışma, iki monokristal PV panelinin performansı karşılaştırılarak yapılmıştır. Bir panelde FDM kullanılırken diğer panelde ise FDM kullanılmamıştır. Tavanda olan PV ortalama güç ve verimlilik artışı sırasıyla % 22,6 ve % 21,2'dir. Ortalama güç ve verimlilik artışı ise sırasıyla % 7,3 ve % 6 olarak sıralanmıştır

Kabul ve Yaşar, (2017), bu çalışmada, PV panelin güneş görmeyen yüzeyine yerleştirilen borular içinden geçen su vasıtasıyla panel yüzeyinde soğutma gerçekleştirilmiştir. Panelin ısısından dolayı suyun sıcaklığı artarak, su deposunun içinde dolaştırılarak ısı deposundaki suya aktarılmaktadır. Deneyin sonuçlarına göre, su boruları uygulanmış ve uygulanmamış paneller karşılaştırıldığında, sistemin ısısı düşürüldüğünde elektrik üretiminde yaklaşık % 35 güç artışı ve % 7 verim artışı sağlanmıştır.

Peng vd., (2017), güneş PV panelinin arkasında soğutma işlevi sağlamak için buz ile yaptıkları bu araştırmada, güneş PV'sinin verimi soğutulmuş durumda % 47'lik bir artış oranına ulaşılmıştır. Maliyet geri ödeme süresinin 15 yıl ile karşılaştırıldığında, 12,1 yıla düşürebileceğini görmüşlerdir.

Erkan vd. (2018), soğutma malzemesi olarak suyu alarak ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemini kullanarak tek kristalli bir fotovoltaik hücrenin soğutulmasını araştırmıştır.

Ömeroğlu (2018), Erzurum ili şartlarında, güneş radyasyonunun termal enerji olarak geri kazanımı için fotovoltaik panel arkasına kanal yaparak, kanal içerisine çeşitli malzemeden kanatçıklar konumlandırılmıştır. Kanatçıklar arasında en iyi sonucu veren bakır silindirik kanatçık olmuştur. Fotovoltaik hücre sıcaklığının açık devre geriliminde yaklaşık % 20 etkisi olduğu saptanmıştır.

Şen, (2019), Yere paralel yerleştirilmiş iki güneş panelinden biri faz değiştiren malzeme ile doldurulmuştur. Fotovoltaik panel, kalsiyum klorür hekzahidrat adı verilen faz değiştiren bir malzeme kullanılarak soğutulmuş ve eş zamanlı yapılan ölçümler sonucunda verimde % 2,95, akım ve gerilimde %1,46 artış sağlanmıştır.

Ceylan vd., (2019), Farklı dış hava sıcaklıklarının arka paneldeki ısı transferi üzerindeki etkisinin minimum düzeyde olduğu görülmüştür. Hava hızı 5 m/s ve dış hava sıcaklığı 10-40°C iken polikristal güneş panelindeki ısı transferi 11,6 W/m²K olarak hesaplamıştır.

Siahkamari vd., (2019), fotovoltaiik soğutma sisteminde faz değıştiren malzeme (FDM) kullanımı üzerine deneysel inceleme yapmışlardır. Deneylerin ilk aşamasında, koyun yağı yeni bir FDM olarak kullanılmış ve ikinci olarak; koyun yağının soğutma verimini artırmak için buna CuO nano partikülleri eklenmiştir. Koyun yağı +CuO nanoparçacıklarının kullanıldığı araştırma deneyleri, üretilen maksimum gücün soğutma sistemi olmayan düzene kıyasla yaklaşık % 24,6 ila % 26,2 ve parafin mumu ile karşılaştırıldığında % 5,3 ila % 12 arttığını doğrulamaktadır.

Bayrak vd. (2019), Elazığ iklim koşullarında polikristal hücre yapılı 75 W gücündeki PV panelin performansını deneysel olarak araştırmıştır. PV panellerde farklı kanatçık parametreleri uygulayarak, sıcaklık, güç ve verimlilik gibi sistem performanslarını analiz etmişlerdir.

Ahmed Hasan vd. (2019), Bağdat koşullarına göre PV panelini soğutmak için yeni bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Nemli bir ahşap yünü ped ile birlikte bir ısı emici olarak bir kanatçık dizisi kullanılmıştır. Sonuç olarak çıkış gücünde ve panelin verimliliğinde sırasıyla % 32,7 ve % 31,5 civarında iyileştirmeler sağlanmıştır.

Mohammed vd. (2019), PV panel yüzeylerine (arka ve ön) yerleştirilmiş akrilik camdan yapılmış iki su camı odası kullanarak deneyler yapılmıştır. Bu odalar güneş ışığı spektrumunu filtrelemenin yanı sıra PV hücresinin sıcaklığını soğutmak için kullanılır. Bağdat, Irak koşullarına göre sonuçlar, soğutma sisteminin sıcaklığı % 50,06 oranında azalma göstermiştir. Bunun maksimum çıkış gücünde ortalama bir artışa ve dolayısıyla PV panelin elektriksel verimliliğinde sırasıyla yaklaşık % 12,69 ve % 14,2 oranında bir artışa yol açtığını göstermiştir.

M. vd., (2019), bu çalışma ile, geliştirmek için yeni bir tekniğe odaklanmıştır. Deney, iki adet 5 W panel kullanılarak gerçekleştirilmiş ve alüminyum panel ile sabitlenmiştir. FDM olarak parafin kullanılmış ve sonuç olarak, FDM ve alüminyum içermeyen doğal havalandırılmalı panel ile karşılaştırılmıştır. Panelin arka tarafında alüminyum levha bulunan PV-FDM'nin verimini ortalama % 24,4 oranında iyileştirdiği deneysel olarak doğrulanmıştır. Ortalama 10,35 °C'lik bir sıcaklık düşüşü için panelin elektriksel verimi % 2 oranında artmıştır.

Piotrowski vd., (2020), soğutma sistemli ve soğutmasız PV panellerinin verimlilik ile dayanıklılıklarının teknik- ekonomik analizini incelemişler ve soğutulmuş panellerin hücre verimliliğinde % 3'lük bir iyileşme gözlemlemişlerdir.

Egab vd., (2023), hava soğutmalı bir soğutucu kullanarak panel sıcaklığının düşürülmesini araştırmıştır. Sistem dikdörtgen kanatçıklar ve delikli dikdörtgen kanatçıklardan oluşmaktadır. Sonuçlara göre; kanatlı PV panelin sıcaklığı kanatsız PV panele göre % 50 azalmıştır.

Arifin vd., (2020), PV panelinin çalışma sıcaklığını azaltmak için panelin arkasına monte edilmiş delikli kanatlara sahip bir alüminyum plaka tasarlamıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiğine (HAD) analizine göre, soğutucuya 1,5 m/s hava verildiğinde PV panelin ortalama sıcaklığı 85,3°C'den 72,8°C'ye düşmüş ve elektriksel verimliliği de % 2,6 artmıştır.

Abdollahi & Rahimi, (2020), yaptıkları çalışmada, Yüzeyin ısı transferini arttırmak için FDM kabının özel bir zig zag geometrisi tasarlanmıştır. Deneyde, FDM olarak ağırlıkça % 82 hindistancevizi yağı ve ağırlıkça % 18 ayçiçek yağından oluşan bir yağ kullanılmıştır. Daha sonra FDM ile soğutma suyu arasındaki ısı transferinin performansını arttırmak için oluşan yağ Boehmite nanopowder ile karıştırılmıştır. Referans durumuna göre üretilen maksimum güçte en yüksek artış 410,530,690 W/m² radyasyon yoğunluklarında % 48,23 olan nano - bileşimli yağda gözlemlenmiştir.

Bayrak vd., (2020), fotovoltaik (PV) paneller için kullanılan farklı soğutma yöntemlerini deneysel olarak incelemiştir. Soğutma yöntemleri olarak faz değiştiren malzeme (FDM), termoelektrik (TE) ve alüminyum kanatçıklar seçilmiştir. Calcium chloride hexahydrate, PV'lerin soğutulmasında yaygın olarak kullanılan FDM'lerden biri, diğeri ise PV panel yüzey sıcaklığının üzerinde erime sıcaklığına sahip FDM olarak seçilmiştir. Farklı sayıda (6, 8 ve 12) TE malzemesi ve farklı yerleşimlerde alüminyum kanatlar kullanılarak PV panellerin yüzey sıcaklıkları ile çıkış güçleri karşılaştırılmıştır. Uygun seçilmeyen FDM'nin PV panelde yalıtım özelliğinin olduğu, panelin sıcaklığını arttırdığı ve çıkış gücünü azalttığı gözlemlenmiştir. Aynı ortam koşullarında en başarılı soğutma yöntemleri test edilmiş, kanatlı sistemli PV 47,88 W ile en yüksek güç üretimini, FDM ve TEM'li PV ise 44,26 W ile en düşük güç üretimini üretmiştir.

Ahmad vd., (2021), bu çalışmada, elektrik gücünün sıcaklıkla azalmasını engellemek için merkezi bir klima sisteminden atık havanın panel için tekrar kullanımına uygun bir geri soğutma sistemi kurulmuştur. Soğutulmuş panel tarafından üretilen elektrik enerjisi, soğutulmamış panele göre günde 623,90 Wh/gün kıyasla günde 677,89 Wh/gün daha fazla elektrik üretilmiştir.

Singh vd., (2020), PV/T sistemi, tek bir emici bakır plaka ile geleneksel fotovoltaik panelin arkasına takılan 6,35 mm çapında bakır borulardan su geçirilerek soğutulmuştur. İki tip fotovoltaik sistem tasarlanmıştır. Biri referans fotovoltaik panel ve diğeri tek yutucu plaka kullanılan su PV/T sistemi ile fotovoltaik elektrik ve termal performans birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 0,0166 kg/s debide elde edilen elektriksel verimde % 6,08 artış olmuştur.

Amber vd., (2021), PV panellerin arka yüzeyine uygulanan dairesel ve dikdörtgen kanatçıklar kullanarak pasif soğutma tekniğinin performansını değerlendirmiştir. Referans modüle göre dikdörtgen ve dairesel kanatçıklar uygulanarak elde edilen verim sırasıyla % 14,5 ve % 13,2 artmıştır.

Stalin vd., (2021), Hindistanın Andra Pradeş şehri koşullarına göre Nano-Faz Değiştiren Malzeme (nano-FDM) kullanarak absorbe edilen termal radyasyonu uygun şekilde kontrol ederek güneş fotovoltaik panellerinin verimliliğini artırma amaçlanmıştır. Nano-PCM, nano-CuO partiküllerinin bir parafin matrisi (%1,0 hacim) içinde minimum hacim yüzdesinde difüze edilmesiyle üretilmiştir. Çalışmada iki adet (30 W) PV panel kullanılmıştır. Birinci panel değiştirilmeden kullanılmış ve ikinci panel ise termal yöntem için nano-FDM ile birleştirilmiştir. Her iki PV paneli de sabah 8:00 ile 17:00 arasında incelenmiştir. Nano-FDM entegrasyonunun sonucunda verim artışı sağlanmıştır.

Abidi, (2021), bu çalışmada 5 W'lık bir güneş panelini hava akımı kullanarak soğutmaya çalışmıştır. Panelin altına iki farklı düzenlemeye sahip bir dizi altıgen pim kanat monte edilmiştir. Sisteme giren hava, kanatçıkların ısısını alarak sistemden dışarı atılmış ve panel soğutulmuştur. Sonuç olarak maksimum elektriksel, termal ve toplam verim miktarlarında sırasıyla % 13,1, % 60,8 ve % 74 artış sağlanmıştır.

Li vd., (2021), Güneş PV panellerinin verimliliğini artırmak için, aynı anda PV panellerini tozdan temizleyip soğutabilen basınçlı hava bazlı bir düzenleme yöntemi üzerinde Çalışılmış ve test edilmiştir.

Agyekum vd., (2021), bu çalışma ile, PV modülünün arka yüzeyine, delikli bir borudan suyu emen ve suyu modülün arka tarafının yüzeyinden aşağıya aktarmak için kılcal hareket ile kullanan pamuklu fitil ağı yardımıyla soğutmuşlardır. Deneyde 23,55 °C'lık bir sıcaklık düşüşü kaydedilmiştir. Bu, panelin gücünde yaklaşık % 30,3 iyileşme sağladığını göstermiştir. Soğutulan panelin elektrik verimliliğinde % 11,9 iyileşme olmuş ve % 1,53'lük bir farkı temsil ettiği gözlemlenmiştir.

Ayed vd., (2021), bu çalışma ile yeni tasarım güneş panellerinin ısı ve güç çıktılarını değerlendirmişlerdir. Bahsedilen panellerin soğutulması için hava akımı kullanılmıştır. Eşit yanal yüzeye sahip piramit, altıgen ve konik olmak üzere üç yeni şekil tasarımı düşünülmüştür. Sonuçlar, konik şekilli güneş panelinin diğer geometrilerden daha iyi termal performans sergilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca konik form, piramit şeklindeki panelden yaklaşık 10,5 °C daha düşük sıcaklıkta olduğu gözlenmiştir.

Tian vd. (2021), yaptıkları çalışmada PVT panelin soğutulmasında MgO/su nano akışkan kullanılmışlardır. PVT panelini soğutmak ve sıcak su üretmek için, altına yerleştirilmiş özel bir bakır boru sistemi tasarlanmıştır. Sonuç olarak, akış hızında 0,5 ila 4 L/d'lık bir artışın, verimliliği % 2,03 oranında azalttığını göstermiştir. Güneş panelinin ekonomik analizi, yatırım geri kazanımının PV için 6 yıl ve PVT için de 4 yıl olduğunu göstermiştir.

Laseinde & Ramere, (2021), yaptıkları çalışmada, sıcak hava koşullarında güneş panelinin yaşadığı büyük bir sorunu etkin bir şekilde ele alan otomatik su püskürtme yönteminin bir optimizasyon seçeneğine odaklanmıştır. Arduino kartı kullanan mikrodenetleyici tabanlı bir termal kontrol su püskürtme sisteminin tanıtılmasının güneş pillerinin verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada, güneş paneli dizisinin verimini % 16,65 oranında artıran bir termal kontrol geri besleme sistemi kullanılarak bir güneş kolektörü soğutma algoritması tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Salehi vd., (2021), yaptıkları çalışma ile sistemde termoelektrik ve doğal soğutma olmak üzere iki soğutma modundaki performansı konveksiyon ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar, ısıtıcı termoelektrik modül kullanımının güneş panellerinin verimini ve gücünü sırasıyla ortalama % 10,50 ve % 10,50 oranında artırabileceğini göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, güneş panellerinin sıcaklığının düşürülmesi genel verimliliği artırmada faydalı ve etkili olabileceğini göstermiştir.

Saadoon vd., (2021), Irak ortamında PV'yi soğutmak ve performansı artırmak için nanoakışkan kullanmışlardır. Bu çalışmada, güneş panelini, 1 gr ve 1,5 gr konsantrasyonda soğutmak için nanoakışkan kullanılmıştır. Sonuçlara göre 1 gr nanoakışkanda toplam verim artışı % 15 ve 1,5 g nanoakışkanda % 18'dir. 1 gr ve 1,5 gr nanoakışkanda termal verim artışı ise sırasıyla % 19 ve % 27 olmuştur. Elektriksel verim 1 g nanoakışkanda ise verim % 11, 1,5 g nanoakışkanda ise % 14'tür.

Erol, (2021), PV panelin arka yüzeyine monte edilen levha üzerine yerleştirilen bakır boru sistemi vasıtasıyla su sirkülasyonu sağlayarak fotovoltaiik panelin sıcaklığını düşürmeyi amaçlamıştır. Osmaniye bölgesi koşullarında soğutmalı ve normal panellerin ısı ve elektriksel verimlerini karşılaştırmıştır. Genel verim için su soğutmalı PV sistemin % 5,9 artış ile normal PV panele göre daha verimli olduğunu gözlemlemiştir.

Abdo vd., (2020), tuzlu su ile doymuş aktif alümina kullanarak güneş panellerinin soğutulması için yeni bir deneysel araştırma yapmışlardır. Sonuçlar, tuzlu su ile doymuş aktif alümina tabletlerinin saf su kullanımıyla aynı soğutma performansını verdiğini göstermiştir. Soğutmasız panellerle karşılaştırıldığında, önerilen yeni dahili konfigürasyon, sırasıyla 800 ve 1000 W/m² güneş radyasyonu yoğunluklarında panelin sıcaklığını 12 ve 14 °C arasında azaltmıştır.



BİRİNCİ BÖLÜM
ENERJİ KAYNAKLARI VE GÜNEŞ ENERJİSİ

1.1. ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji denilince ilk akla gelen elektrik enerjisidir. Artan nüfus ve buna eşlik eden enerji tüketimindeki yükseliş bu hususu çok önemli hale getirmektedir. Enerji kaynakları, enerji elde etmek amacıyla kullandığımız kaynaklardır. Bunlar yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak iki sınıfta incelenir. Yenilenebilir enerji denilince akla güneş, hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjileri gelmektedir. Kömür, nükleer, petrol, doğal gaz ve kömür gibi enerji kaynakları ise yenilenemeyen enerji kaynaklarını temsil etmektedir. Çevreyi kirletme özellikleri ile bilinen yenilenemeyen enerji kaynaklarının yerini artık temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları almaktadır (Şen, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal ve sürdürülebilir bir şekilde üretilen, yani güneş kaldığı sürece her gün yenilenen kaynaklardır. Bu enerji türü insanlar için faydalıdır. Bu kaynaklar çevreyi etkilemeden kullanılabilir. Bu enerjilerin ana kaynağı Güneş ve Dünya'nın dönüşüdür. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, dalga enerjisi ve okyanus ısı enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu kaynak olarak güneş enerjisini kullanmaktadır. Gelgit enerjisi ise Güneş ve Ay'ın kütleçekimlerinde meydana gelen değişimler sonucu oluşur. Jeotermal enerji ise yer kabuğunun muhtelif derinliklerinde biriken ısı ve basıncın meydana getirdiği sıcaklık ile oluşur. Bilim insanları, atıklardan gelen enerjiyi yenilenebilir enerjiler olarak sınıflandırır ve buna biyokütle enerjisi denir (<http://books-library.net>). Türkiye, güneş enerjisinde 8.028,9 MW, biyokütlerde 1.711,1 MW, jeotermal enerjide 1.676,2 GW, hidrolik enerjide 23.283,5 MW ve son olarak rüzgâr enerjisinde 10.861,5 MW kurulu güce sahiptir (Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporları, 2022).

1.2. GÜNEŞ ENERJİSİ

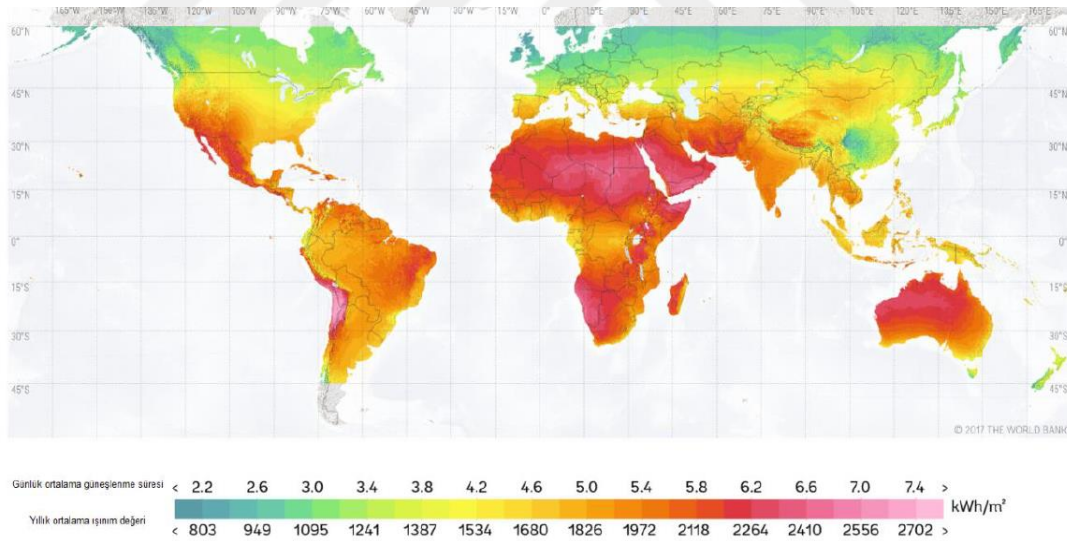
Güneş, dünyanın enerji kaynağıdır, helyum ve hidrojen gazlarından oluşan bir yıldızdır. Merkezinde sıcaklık yaklaşık 15 milyon kelvin olup, yüzeydeki sıcaklık yaklaşık 6000 K düzeyindedir. Dünya ile güneş arasında var olan mesafe 150 milyon km²'dir. Güneş enerjisinin hızı dünya atmosferinin haricinde sabit olarak 1370 W/m² değerindedir. Yeryüzüne ulaşan ışıma oranı ise 0-1000 W/m² değerleri arasında farklılaşmaktadır. Yeryüzüne ulaşan ışıma miktarı dünyada var olan enerji tüketiminin 20.000 katıdır (Ertürk 2018).

Bu arada atmosfere ulaşan radyan gücün % 30'u yansıtılarak, % 23'ü atmosfer tarafından emilmekte, dünya yüzeyine sadece % 47'si ulaşabilmektedir. Bu bir saniyede güneşten gelen gücün beş milyon ton kömür yakmaya eşdeğer olduğu anlamına gelir. Toplam dünya nüfusu tarafından tüketilen yıllık enerji, dünya yüzeyine yaklaşık 40 dakikalık güneş ışığının maruz kalmasıdır. Dünyadaki en iyi güneş radyasyonu yoğunluğu ve güneşlenme süresi bölgeleri, Kuzey Afrika, Orta Doğu, Meksika ve Güneybatı Amerika Birleşik Devletleri, Güney Avrupa, Avustralya, Güney Afrika, Güney Amerika, Doğu ve Batı Kıyısı ve Çin'in batı bölgeleridir (Paneru, 2016).

Şekil 1.1'de dünyada yıllık ortalama güneş ışınlamı süreleri ve oranları renklerle ifade edilmiştir. Yoğun ışınlam ve güneşlenme süresine maruz kalan yerler bölgeler daha koyu bir renk alırken yeterli olmayan radyasyon değeri ve güneş sabiti az olan yerler ise açık renkle gösterilmiştir.

Bu grafiğe bakarak Türkiye'nin aslında dünyadaki ortalamaya yakın olduğu ve güneş enerjisinin Türkiye için çok hayati olduğu görülmektedir (Şen, 2019).

Şekil 1.1: Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası



Kaynak: <http://globalsolaratlas.info>, 2022.

Şekil 1.2.'de yer alan resim ile Almanya verileri karşılaştırılacak olursa ortalama metrekaresine düşen güç oranı Almanya'da 950 W iken Türkiye'de 1680 W olarak görülmektedir. % 76 daha verimli bir güneş ışınlanmasına sahip olan Türkiye için bu konu çok önem arz etmektedir (Şen, 2019).

- Güneş pillerinde olduğu gibi doğrudan elektrik enerjisi üretimi,
- Güneş enerjisini kullanarak su ve havayı ısıtmak,
- Su moleküllerini buharlaştırarak çamaşır kurutmak,
- Endüstriyel amaçlar veya elektrik üretimi için buhar üretimi,
- Tarımsal ürünlerin kurutulması,
- Temiz suyun bulunmadığı yerlerde su damıtma ve tuzdan arındırma,
- Dondurma ve iklimlendirme sistemi,
- Uzayda elektrik kaynağı olduğu için uzay uygulamaları amaçlıdır.
- Güneş enerjisini kullanarak yemek pişirmek.

Güneş enerjisi kullanımının başlıca dezavantajları da şöyle sıralanabilir:

- Güneş pillerinin verimi düşüktür.
- Güneş enerjisini depolamak için kullanılan piller yüksek fiyatlarda olduğu için bu enerjiyi büyük miktarda kaybetmeden depolamak zordur.
- Bir güneş paneli sistemi kurmak oldukça pahalıdır, ancak bu enerjinin kullanımı uzun vadede kârlı olabilir.
- Güneşin, günün belli saatlerinde olması ve güneşlenme süresinin yılın mevsimlerine göre değişmesi kaynağı kararsız hale getirir.
- Güneşten gelen ısı enerjisini elektrik enerjisine veya elektromanyetik enerjiye dönüştüren ekipmanın yüksek maliyetli olması, birçok kişinin bu tür ekipmana sahip olmasını zorlaştırmaktadır.
- Güneş panelinden elektrik enerjisini depolamak için kullanılan piller ömürlerini tamamladıktan sonra çevresel atık olarak ve insan sağlığına zararları büyüktür.

1.2.2. Güneş Radyasyon Türleri ve Dağılımı Etkileyen Faktörler

Güneş radyasyonu üç kategoriye ayrılır:

- Doğrudan güneş radyasyonu: Güneş radyasyonunun yeryüzüne ulaşan ve absorpsiyon veya difüzyon faktörlerinden etkilenmeyen kısmıdır.
- Yaygın güneş radyasyonu: Güneş radyasyonunun yansıma ve kırılma faktörlerine maruz kaldıktan sonra dünyaya ulaşan kısmıdır.
- Yansıyan güneş radyasyonu: Güneşten gelen radyasyonun tamamı yüzey tarafından emilmez, bir kısmı sapar.

Güneş radyasyonunun gücünü ve güneş radyasyonunun dağılımını etkileyen faktörler şunlardır (Graves vd., 2011):

Düşme Açısı: Bu açı, dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınlarının miktarını etkiler, çünkü dünyaya ulaştığında dik veya neredeyse dik olarak düşen güneş ışınları güçlü, yoğun ve çok yüksek konsantrasyonludur. Bu ışınlar, eğik düşen ışınlarla göre daha kısa hareket mesafelerine sahip olduklarından, dış kabukta meydana gelen kırılma, yayılma ve soğurma etkisiyle daha az kayba maruz kalırlar. Dik ışınlar küçük bir alana dağılırken, eğik düşen ışınlar daha geniş bir alana dağıldığından, dik güneş ışınlarından daha zayıf ve daha az yoğun hale gelirler.

Gündüz Saat Farkı: Günün uzunluğundaki fark, farklı enlemlerde dünya yüzeyine ulaşan güneş ışığı miktarının eşitsizliğinde önemli bir rol oynar. Tropikal bölgelerde neredeyse tüm yıl boyunca gündüz ve gece süreleri farklılık göstermez, soğuk ve ılıman bölgelerde ise günler yazın uzar, kışın kısalmır. Gece ve gündüz arasındaki fark ne kadar büyükse, aralarındaki enlem de o kadar büyük olur.

Atmosferin Şeffaflığı: Tozlar, bulutlar, su buharı ve küller atmosferdeki radyasyonu emme ve dağıtma sürecinde önemli bir rol oynar. Buna göre toz ve bulutlarla kirlenmiş havanın çok olduğu alanlar, şeffaf havaya sahip alanlara göre daha az miktarda güneş ışınımı alır.

Yer Yüzü Şekilleri: Arazi, bir bölgeden diğerine gelen güneş radyasyonu miktarlarındaki değişimde önemli bir rol oynar. Dağ yamaçlarının yönü ve eğimi, özellikle güneş ışınlarının çapraz olarak ulaştığı ılıman ve soğuk bölgelerde bu yamaçlara ulaşan güneş radyasyonu miktarını büyük ölçüde etkiler. Tropikal bölgelere gelince, bu faktör sınırlıdır, çünkü güneş ışınları yıl boyunca dik veya dike yakın olarak ulaşır.

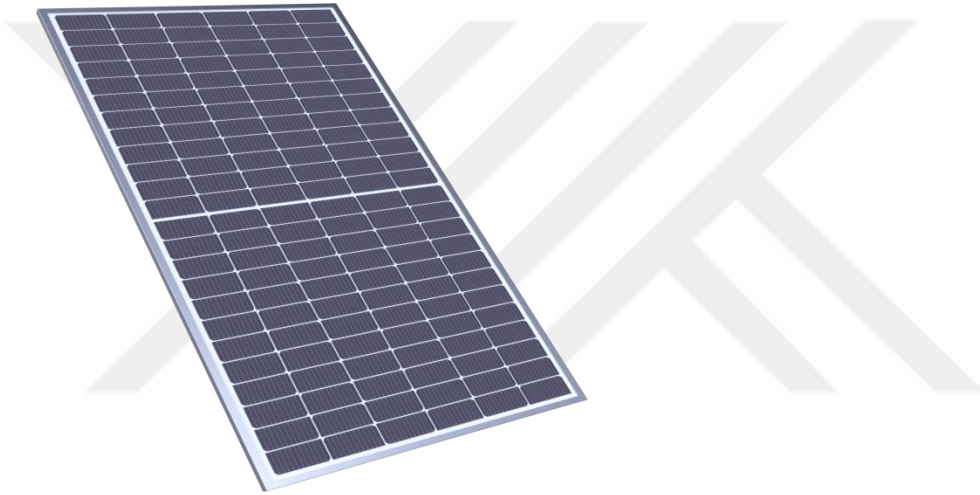
Albedo: Dünya yüzeyinden doğrudan yansıyan, ona ulaşan saf güneş radyasyonunun uzaya oranıdır. Albedo yüzdesi, bölgenin enlem açısından konumuna, yüzeyin kompozisyon, renk, bitki varlığı ve türü bakımından farklı olmasına, bölgeyi kaplamasına bağlı olarak bir yerden diğerine değişir.

1.3. GÜNEŞ TEKNOLOJİLERİ

1.3.1. Güneş Paneli

Güneş paneli aynı zamanda PV (fotovoltaik) panel olarak da bilinir. Üzerine düşen güneş enerjisini elektrik akımına çeviren birden fazla hücrenin birleşmesiyle meydana gelen yapıdır. Bazı elektrikli cihaz ve ekipmanlara güç sağlamak veya gerektiğinde depo edilerek kullanılır. Şekil 1.3'de bir güneş paneli gösterilmiştir. Güneş panellerinin çalışma mekanizmasını netleştirmek için, güneş hücresinin temel bileşenini tanımlamak gerekir:

Şekil 1.3: Güneş Paneli



Kaynak: <https://www.daxlerenergy.com>, 2022.

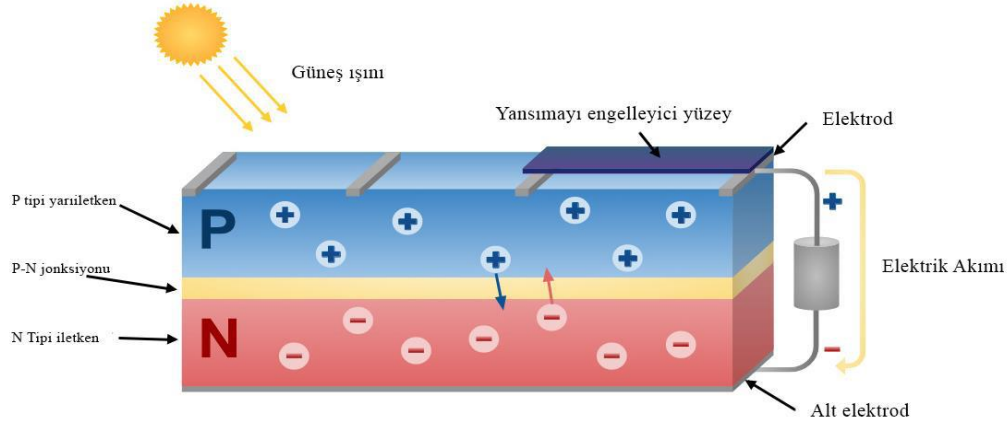
1.3.2. Güneş Hücresi

Bir güneş panelinin temel bileşenlerinin en küçük parçasıdır. Doğrudan ve dolaylı radyasyon enerjisini DC akımda elektrik enerjisine dönüştürmek için çalışır. Güneş ışığı, elektrik akımı üretmek için hücre içindeki elektronları harekete geçirir. Güneş hücresinin verimliliği, hücrenin enerji verimliliğine ve fotonları emme yeteneğine bağlıdır. Güneş hücresi çoğunlukla yarı iletken bir malzeme olan silikondan yapılır (Awad vd., 2022).

Güneşten gelen foton ışınları fotovoltaik panelin yüzeyine çarparak fotoelektrik etki dediğimiz olay ile elektron kopmasına sebep olur. Yapısında katkılanmış malzeme ile elde edilen n tipi ve p tipi yarı iletkenler arasında bulunan p-n jonksiyonunda bir

elektron akışı meydana gelir. Sonuç olarak DC elektrik enerjisi elde edilir. Şekil 1.4 'te güneş panelinin çalışma prensibi gösterilmiştir (Şen, 2019).

Şekil 1.4: Güneş Panelinin Çalışma Prensibi



Kaynak: <https://dipnotes.com>, 2022.

Güneş hücresinin verimini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir:

- Hücreye düşen güneş radyasyonunun oranı.
- Serbest kalan elektronun kinetik enerjisinin bir kısmı ısı şeklinde kaybedilir. Kaybedilen enerji, emilen enerjinin % 43'ü kadardır.
- Elektrik akımının bir kısmı temas noktalarından sızar ve hücre sıcaklığının artmasıyla elektrik kaçağı oranı artar.
- Güneş ışınlarının hücre yüzeyine yansımaları ve hücre direnç kayıpları nedeniyle kayıplar meydana gelir. Boşluk ile serbest kalan elektronlar arasında meydana gelen birleşmeden kaynaklanan kayıplar meydana gelir. (Awad vd., 2022).

Bilim adamları ve araştırmacılar silikondan güneş pilleri üretmeye odaklanmıştır. Bunun nedeni, bu elementin doğada bol miktarda bulunması ve diğer elementlere göre maliyetinin düşük olmasıdır. Güneş pillerinin farklı türleri vardır. Üretiminde kullanılan malzemelere, üretim yöntemlerine ve elektrik enerjisi üretme kabiliyetine bağlı olarak, güneş pilleri aşağıdaki türlere ayrılır(Awad vd., 2022):

Kristalize güneş hücresi: Güneş ışığını yakalayıp elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Safılık derecesine ve üretim yöntemine bağlı olarak monokristal ve polikristal olmak üzere iki tür kristal silisyum vardır, genellikle şekilleri kare ve dikdörtgendir(Awad vd., 2022).

Monokristal hücreler: Saf tek kristal silikondan (monokristal silikon) yapılmış plakalardır. Yaklaşık %16 elektriksel verime sahiptir ve bu verim panelin alanını azaltan diğer güneş panellerine göre nispeten daha yüksek ve daha uzun bir ömrü vardır, ancak bunun dezavantajı fiyatının yüksek olmasıdır Şekil 1.5'te bir monokristal bir hücre yapısı gösterilmiştir (Awad vd., 2022).

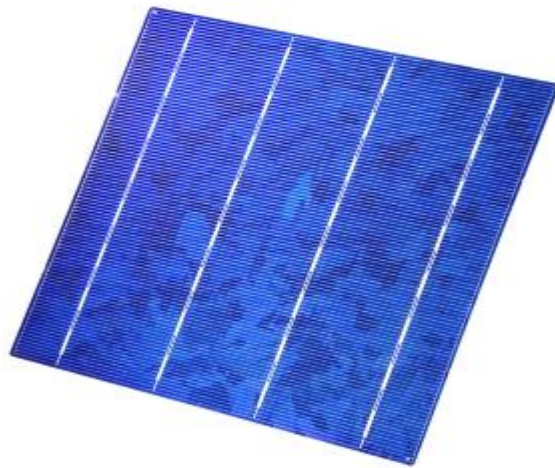
Şekil 1.5: Monokristal Hücre



Kaynak: <http://sundisksolar.buy.ecer.com>, 2022.

Polikristal Hücreler: Polikristal hücreler, monokristal hücrelere göre üretimi daha az maliyetli ve kolaydır. Bu sebeplerden dolayı dış ve iç piyasada bulunması oldukça kolaydır. Fırınlarda kimyasal olarak işlenmiş silindirik silikon kristallerinden kesilmiş silikon çipler; elektriksel özelliklerini arttırmak için güneş ışığını daha yüksek verimle emmek için yansıma önleyici ile kaplanmıştır. Verimliliği % 11 - % 15 arasında değişmektedir Şekil 1.6'da bir polikristal bir hücre yapısı gösterilmiştir (Awad vd., 2022).

Şekil 1.6: Polikristal Hücre



Kaynak: <https://www.researchgate.net>, 2022.

İnce Film: Bu hücre tipi, inceliği, akıcılığı ve hafifliği ile karakterize edilir. Esnektir ve kendisi için uygun şekli alan herhangi bir yüzeye monte edildiğinde kurulumu kolaydır. İklim değişikliklerinden, bulutlardan etkilenmez ve farklı uygulamalarda geçerlidir. Halka açık yerlere, ulaşım istasyonlarına ve araba çatılarına monte edilebilir. Bu hücrelerin dezavantajları yüksek fiyat, % 12'yi geçmeyen düşük verim ve ömürlerinin 15 yıla kadar çıkmamasıdır Şekil 1.7'de İnce amorf güneş hücreleri gösterilmiştir (Awad vd., 2022).

Şekil 1.7: İnce Amorf Güneş Hücreleri



Kaynak: <https://www.google.com/> İnce Amorf Güneş Hücreleri, 2022.

1.3.3. Güneş Kollektörü

1.3.3.1. Termal Güneş Kollektörleri

Üzerine düşen güneş ışığını yakalayıp, kullanılan akışkana (su, hava, yağ) veya kullanıcının önemli ihtiyaçlarından birinde kullanılabilecek herhangi bir akışkana aktarılan ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir (Saud Y. A 1980).

- Düşük konsantrasyonlu güneş kolektörleri

Bu yoğunlaştırıcılar genellikle yüzme havuzlarında kullanılır. Bu yoğunlaştırıcılar ısıyı aktarmak için su veya hava kullanır ve ayrıca soğutma, ısıtma ve havalandırma için tercih edilir. Termal yüzeyler (kayalar, çimento ve su) gün boyunca ısıyı depolar ve geceleri hava soğuduğunda serbest bırakır. Düşük sıcaklıklı konsantrasyonların en önemli kullanımlarından biri, su moleküllerinin buharlaşmasına izin vererek ve tuzları temsil eden ağır bağları çökeltmekten deniz suyundan tuz üretmektir (O'Neill, 2004).

- Orta konsantrasyonlu güneş kollektörleri

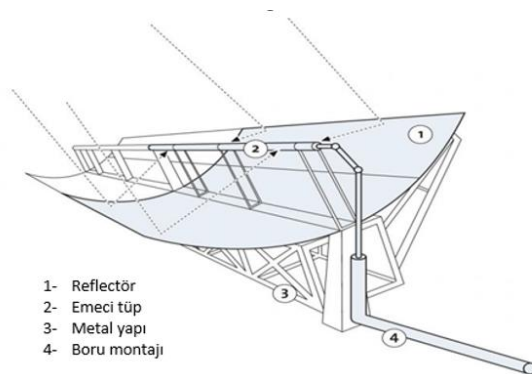
Düz yüzeylerde kullanılır, evsel ve ticari amaçlar için sıcak su üretir. Güneşin termal enerjisinden yararlanarak su ısıtma yöntemi eski çağlardan beri kullanılmaktadır ve bu teknoloji bilim adamları tarafından geliştirilmeye devam etmektedir. Ayrıca kurutma, damıtma ve pişirme için orta sıcaklıkta termal yoğunlaştırıcılar olarak kullanılır. Güneş enerjisi orta sıcaklıklarda odunu kurutmak, yakıt ve kömür üretmek, meyve ve tahılları kurutmak için kullanılmaktadır. Güneş enerjisi 50 ile 100°C arasında değişen bir sıcaklık ürettiği için yemek pişirmek için de kullanılmıştır. Modern güneş ocaklarının güneş enerjisini kabın üzerine odaklamak için reflektörler kullandıklarını ve sıcaklıkların 250°C'ye ulaştığını, doğrudan güneş enerjisine ve doğrudan güneş ışığına ihtiyaç duydukları söylenebilir (Martini vd., 2009).

- Yüksek konsantrasyonlu güneş kollektörleri

Güneş ışığını odaklamak ve yüksek sıcaklıklar üretmek için lensler veya dışbükey aynalar kullanılır. Düz yansıtıcı yüzeyler 250°C'yi aşan sıcaklıklar üretemez. Lensler ve dışbükey aynaların her biri 1000°C'yi aşan sıcaklıklar üretmek için büyük ölçüde geliştirilmiş olsa da bunlar suyu buharlaştırmak ve elektrik enerjisi üretmek için buhar kazanlarını çalıştırmak için kullanılır (J. Karp vd., 2010)(A. vd., 2010).

Güneş ışığını odaklamak için kullanılan en önemli tasarım, içbükey ayna yüzeylerinin kullanıldığı bir parabolik tasarımdır. Parabolik yatak, her bir hacmini dolduran özel sıvılarla dolu tüpler içeren cam yüzeylere güneş ışınlarını yansıtır. Isı transferinin en iyi verimde olması için vakum yapılarak, sıvıları aynaların altında tutmak mümkündür. Şekil, 1.8'da bir Parabolik güneş termal yoğunlaştırıcı yapısı gösterilmiştir.

Şekil 1.8: Parabolik Termal Güneş Kollektörü



Aynalar ve ortada enerji kuleleri ile bir mil karelik bir alana yayılan, güneş ışığını alan binlerce odaklı ve yönü kuleye dönük aynanın yansıtıkları ışığı, enerji kulesine yansıtan başka tasarımlar da vardır. % 98'e varan bir verimle enerji tasarrufu ve havuzlara aktarılan tuzlu su çözeltisini ısıtmak için yeterli olan sıcaklıkların yaklaşık 1000 F'a ulaşması gerekmektedir. Bu tasarımın karşılaştırıldığında avantajlarından biri parabolik güneş termal yoğunlaştırıcıya göre daha yüksek sıcaklıklar elde etmektir. Şekil 1.9'da güneş enerjisi kulesi gösterilmiştir. (A. vd., 2010) (J. H. Karp & Ford, 2008).

Şekil 1.9: Güneş Enerjisi Kulesi



Kaynak: <https://www.aydinlatma.org>, 2022.

Diğer tasarımlar arasında, güneş ışınlarını çanağın üzerinde merkezi bir noktada topladığı için uydu çanaklarına benzer büyük yansıtıcı tasarımı yer alıyor. Bu tasarımın bir dezavantajı, güneşin konumunu takip etmek için büyük bir motora ihtiyaç duymasıdır. Şekil,1.10'da çanak tasarımı gösterilmiştir.

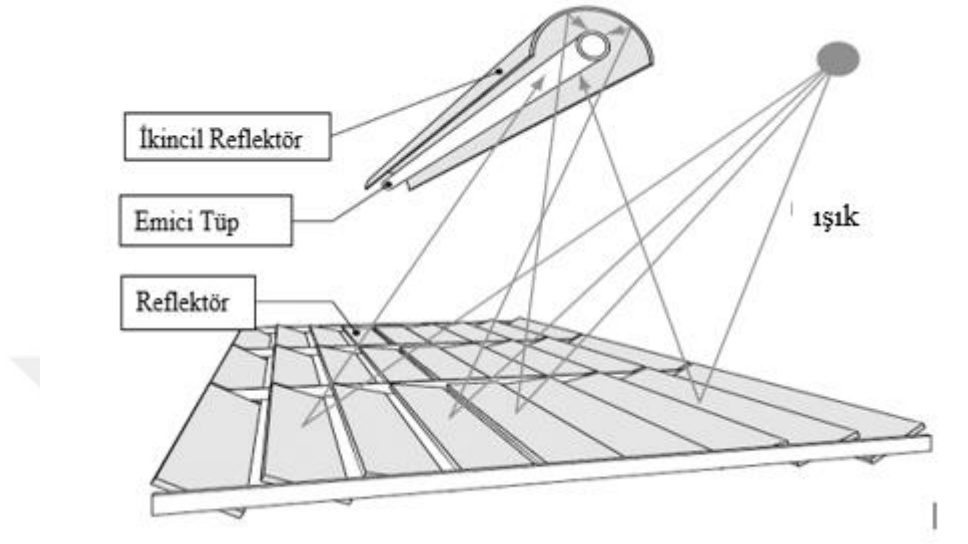
Şekil 1.10: Çanak Tasarımı



Kaynak: Üçgül vd., 2019.

Ayrıca fresnel reflektörler adı verilen başka bir tasarım daha vardır. Tasarım lineer termal alıcı üzerinde ışığı yansıtan bir dizi uzun ve ince basit dışbükey aynadan oluşur. Şekil 1.11'de liner bir fresnel reflektörü gösterilmiştir (Hallas vd., 2010).

Şekil 1.11: Liner Fresnel Reflektörü



Kaynak: <https://www.researchgate.net>, 2022.

1.3.3.2. Hibrit Fotovoltaik/Termal (PV/T) Güneş Kolektörleri

Gelen güneş ışığının küçük bir kısmını elektriğe çeviren ve güneş enerjisinin büyük bir kısmını ısıya dönüştüren sistemlerdir. Bu kolektörler; güneş paneli, cam kapak, metal plaka, hava veya su kanallarından oluşur (Ahmed & Mohammed, 2017).

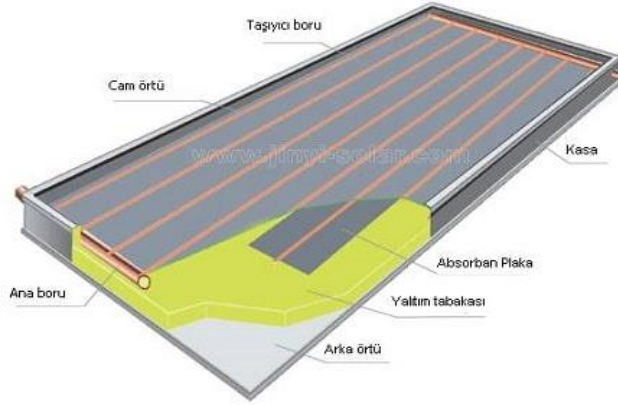
PV/T sistem uygulamalarında elektrik üretimi ana öncelik, bu nedenle PV hücrelerinin elektriksel verimini yeterli seviyede tutabilmek için PV modüllerinin düşük sıcaklıkta çalıştırılması gerekmektedir. Çıkarılan ısı, öncelikle alan ısıtma, su veya hava ısıtma ve binalarda doğal havalandırma gibi düşük sıcaklık uygulamaları için kullanılabilir. Su soğutmalı PV/T sistemleri, evsel binalarda su ısıtmak için pratik sistemlerdir, ancak uygulamaları şu ana kadar sınırlıdır. Hava soğutmalı PV/T sistemleri binalarda zaten uygulanmış ve genellikle çatıya entegre edilmesi kolay olan sistemlerdir (Tripanagnostopoulos, 2007).

- PVT Sıvı Toplayıcı

Su, yağ veya diğer sıvıları, emici plakadan sıvıya ısı iletimi ve ısı transferini artırmak için iyi kaynaklanmış olduklarından, emici plaka üzerine monte edilmiş metal

boruların içinden geçirerek ısıtan özel kolektörlerdir şekil 1.12'de bir PVT sıvı toplayıcısı gösterilmiştir (Ahmed & Mohammed, 2017).

Şekil 1.12: PVT Sıvı Toplayıcı



Kaynak: <https://triplesolar.eu/winkel/product/pvt-paneel>, 2022.

Güneş enerjisiyle su ısıtmanın başlıca avantajları şöyle sıralanabilir:

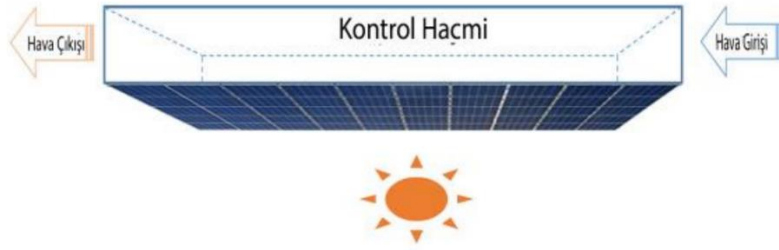
- Çevre dostu olduğu için çevrenin herhangi bir şekilde kirliliğe neden olmaması.
- Elektrikli ısıtıcıya göre elektrik faturasında büyük oranda tasarruf sağlaması.
- Solar ısıtıcıdan çıkan suyun sıcaklığının, güneş radyasyonunun yoğunluğunun artmasıyla artması.
- Yakıt tüketiminde tasarruf sağladığından dolayı daha az yakıt harcayarak kirliliği ve ısı emisyonlarını azaltması.

Güneş enerjisiyle su ısıtmanın başlıca dezavantajları şöyledir:

- Isıtılan suyun içindeki tuzlar boruları korozyona uğratarak tıkanmalara neden olur.
- Hava ısıtıcısına göre daha pahalıdır.
- Isıtıcıdan çıkan suyun sıcaklığı, güneş ışınının yoğunluğunun değişmesinden dolayı düzenli olmaz.
- PVT Hava Toplayıcı

Bu kolektörler üst kanaldan geçen havayı ısıtmak için kullanılır, daha sonra alt kanaldan geçen hava üstten ve alttan güneş pilinin yüzeyine temas eder ve dış havanın sıcaklığını yükselterek ısı transferi gerçekleşir. Toplayıcılar evleri, tarlaları, tarımı ve diğer uygulamaları ısıtmak için kullanılır şekil 1.13'te bir PVT hava toplayıcısı gösterilmiştir (Ahmed ve Mohammed, 2017).

Şekil 1.13: PVT Hava Toplayıcı



Kaynak: Ömeroğlu 2018.

Güneş enerjisiyle hava ısıtmanın başlıca avantajları şunlardır:

- Elektrik enerjisi tüketimini azaltır.
- Güneş enerjili su ısıtmasından daha ucuzdur.
- Diğer ısıtıcılara göre daha az bakım gerektirir.
- Korozyonu güneş enerjili su ısıtıcısından daha azdır.
- Güneş enerjili hava ısıtıcısının imalatında kullanılan ekipman, güneş enerjili su ısıtıcılarında kullanılanlardan daha basittir.
- Havanın özgül ısısı düşüktür, bu nedenle yüksek bir akışa ihtiyaç duyar.

Hibrit (PV/T) güneş kolektörünün avantajları ise:

- Güneş pilinden ısıyı emer ve sıcaklığını düşürür.
- Güneş pilinin voltajını artırır, böylece elektrik kapasitesini artırır.
- Elektrik verimini artırır.
- Zararlı emisyonları yoktur (hücreler ve çevreye herhangi bir zarar vermez, kalıntı ve toksik kimyasal gazlar üretmediğinden dolayı aslında elektrik enerjisi üretimi için ideal bir kaynaktır.
- Termik ve elektrik ünitesinin ayrı ayrı olmasına göre daha az yer kaplar
- İki birimin ayrı olmasına göre daha düşük bir maliyeti vardır.
- Diğer sistemlerden daha ucuzdur.

1.3.4. Sıcaklığın Fotovoltaik Teknolojiler Üzerindeki Etkisi

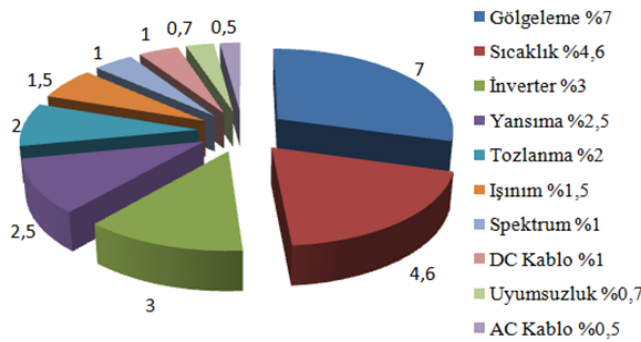
Kristal silikondan oluşan güneş panelleri mevcut küresel pazarın yaklaşık % 86'sını oluşturmaktadır. Bunun nedeni, silikonun çok yaygın olması, toksik olmaması, kolayca bulunabilmesi ve kolayca kullanılabilmesidir. Güneş panelinin (silikon) sıcaklığının artması performansını olumsuz etkiler (Saud, 1980).

Bir fotovoltaik modülde sağlanan güç ile modül sıcaklığı arasında zıt bir ilişki söz konusudur. Modülün sıcaklığı fazlalaştıkça PV modülünden alınan güç azalır. Hararet kaynaklı termal kayıplar, modül sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Ortamın sıcaklığı modül sıcaklığını artıracığından verimi menfi yönde etkileyecektir. Güneş panelleri, 25°C, 1000W/m² güneş radyasyonuna ve AM 1.5 (hava kütlesi) mukabil gelen standart test şartları altında test edilir. Panelin verimliliği standart test koşullarında (STC) hesaplanır. Elektrik elde edilmesi, güneş ışınımının PV modül yüzeyine ulaşınca başlar. Güneş ışınlarının bir bölümü elektrik enerjisine dönüşürken diğer kısmı ise ısı enerjisine dönüşmektedir (Kane ve Verma, 2013)

Panel üzerindeki sıcaklık fazlalaştıkça panelin performansı azalmaya başlar. PV paneller güneş enerjisinin tümünü elektrik enerjisine dönüştüremez. PV panellerin enerji dönüşüm oranı takriben % 5-25 aralığındadır. Dolayısıyla güneş modüllerinin elektrik enerjisine dönüştüremediği enerji, modüllerin ısınmasına ve böylece de ısı kayıplara sebep olur (Sabri ve Benzirar, 2014).

Güneş panellerinin en iyi çalışma sıcaklıkları 25 °C'dir. Yüzeydeki artışlar 25°C'yi geçtiğinde verimde ciddi düşüşler meydana gelir. Yüzeyde oluşan ısıнын akışkana (hava, su) veya faz değiştiren malzemeye aktarılması panelin altında bir akışkan dolaştırılarak veya meydana gelen kayıpları önlemek için hava kanalı yaparak havayı panelin arkasına üfleterek yüzey sıcaklığının düşürülmesi ile verim artırılır (Thomas, 2003). PV sistemlerinin işleyişini değiştiren birçok faktör vardır. Modül sıcaklığı, gölgeleme, açısal kayıplar, radyasyon, çevresel (kar veya toz) etkiler, sistemlerin enerji üretirken kayıplara uğramasına neden olan bu faktörler arasında sayılabilir. Bu faktörler Şekil 1.14'te görülebilir (Çağırtekin, 2022)

Şekil 1.14: PV Panellerde Oluşan Kayıplar



Kaynak: Çağırtekin, 2022.



İKİNCİ BÖLÜM
GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ENERJİ KAYIPLARININ HESABI

2.1. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNDE ENERJİ KAYIPLARININ HESABI

Fotovoltaik sistemlerde meydana çıkan problemlerden biri de fotovoltaik panelin veriminin artırılmasında ortaya çıkmaktadır. Bir fotovoltaik panelin verimliliğini değiştiren birçok faktör vardır. Güneş takip sistemleri, soğutma sistemleri ve kondansatörler gibi bu faktörlerden bazıları verimliliği artırmak için geliştirilmiştir. Bu sistemler tümü aynı anda da kullanılabilir. Fakat bazen fotovoltaik sistem için belirlenen maliyet buna izin vermez. Fotovoltaik panelin verimini etkileyen bileşenler içinde güneş takip sistemlerinde bölgeden müstakil çalışılarak % 40'a ulaşan ekstra verim elde edilebilirken soğutma ünitelerinde % 1-50 aralığında verim artışı görülebilmektedir. (Basak, 2014).

Kolektörün yüzeyine belirli bir miktarda güneş radyasyonu düştüğünde, çoğu emilir ve transmisyon sıvısına iletilerek faydalı enerji olarak taşınır. Tüm ısı sistemlerde olduğu gibi, çeşitli ısı transfer türleri ile çevreye ısı kaybı kaçınılmazdır. İletim, taşınım ve radyasyon açısından tek örtülü bir düzlem kolektör için termal ağ Şekil 2.1(a)'da ve plakalar arasındaki direnç açısından Şekil 2.1(b)'de gösterilmektedir. Plaka sıcaklığı T_p 'dir, kolektör arka plan sıcaklığı T_b 'dir ve emilen güneş radyasyonu S 'dir. Basitleştirilmiş bir şekilde, toplayıcıdan gelen çeşitli ısı kayıpları, Şekil 2.1(c)'de gösterildiği gibi basit bir direnç olan R_L 'de birleştirilebilir böylece toplayıcıdan gelen enerji kayıpları şu şekilde yazılabilir:

$$Q_{\text{loss}} = \frac{T_p - T_a}{R_L} = (T_p - T_a) \quad (2.1)$$

Burada

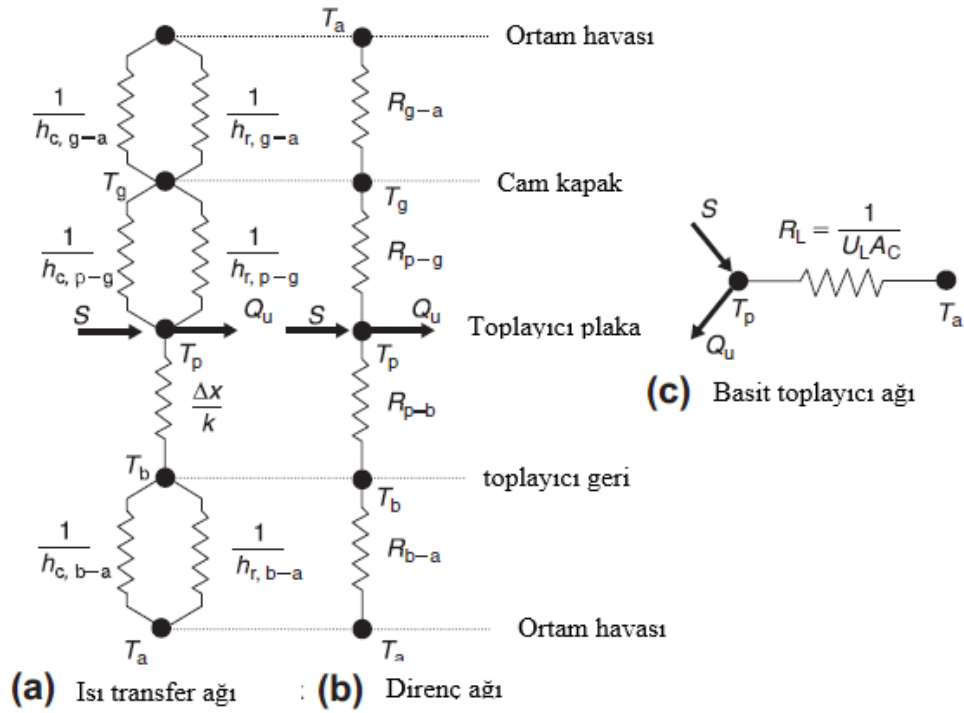
U_L = toplayıcı ısı kaybı katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{ K}$).

T_p = plaka sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$).

U_L ısı kaybı katsayısı, kolektör yapısının ve çalışma koşullarının aşağıdaki ifade ile verilen karmaşık bir fonksiyonudur:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (2.2)$$

Şekil 2.1: Düz bir Kolektör için Isı Transfer ve Direnç Ağı



Bu nedenle U_L , soğurucu plakadan ortam havasına ısı transfer direncidir. Tüm bu katsayılar ayrı ayrı incelenebilir. Kısa dalga güneş radyasyonunu geçirerek ve uzun dalga termal radyasyonunu da koruyarak bir ısı absorbe görevi görmenin yanı sıra cam, konveksiyon yoluyla ısı kaybını da azaltır. Camın yalıtım etkisi, birkaç cam veya plastik levha kullanılarak artırılabilir. Kararlı durum koşulları altında, soğurucu plakadan cam kapağa ısı transferi, cam kapaktan ortama kaybedilen enerji ile aynıdır.

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, T_p sıcaklığındaki emici plakadan T_g 'deki cam kapağa ve T_g 'deki cam örtüden T_a 'daki ortama yukarı doğru ısı transferi konveksiyon ve kızılötesi radyasyonla olur. Bu nedenle, emici plakadan cama ısı kaybı şu şekilde elde edilir:

$$Q_{t,Emiciplakadan\text{camkapağa}} = A_c h_{c,p-g} (T_p - T_g) = \frac{A_c \sigma (T_p^4 - T_g^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_g}\right) - 1} \quad (2.3)$$

A_c = Toplayıcı kolektör alanı (m^2).

$h_{c,p-g}$ = Plaka ve cam kapak arasındaki konveksiyon ısı transfer katsayısı ($W/m^2 K$).

ε_p = Soğurucu plakanın kızılötesi emissivitesi

ε_g = Cam kapağın kızılötesi emissivitesi

60°'ye kadar eğim açıları için konvektif ısı transfer katsayısı $h_{c,p-g}$, kolektör eğimi için derece cinsinden aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir (Eşitlik 2.4)

$$N_u = \frac{h_{c,p-g} - L}{k}$$

$$1 + 1.446 \left[1 - \frac{1708}{Ra \times \cos(\beta)} \right] + \left\{ 1 - \frac{1708 [\sin(1.8\beta)]^{1.6}}{Ra \times \cos(\beta)} \right\} + \left\{ \left[\frac{Ra \times \cos(\beta)}{5830} \right]^{0.333} - 1 \right\}^+ \quad (2.4)$$

Rayleigh değeri Ra şu şekilde verilir:

$$Ra = \frac{g \beta \Pr}{\nu^2} (T_p - T_g) L^3 \quad (2.5)$$

g = Yerçekimi sabiti

β = Hacimsel genleşme katsayısı

Pr = Prandtl sayısı

L = Plakadan cam kapağa olan mesafe (m).

ν = Kinematik viskozite (m^2/s).

Denklemdaki radyasyon terimi:

$$h_{r,p-g} = \frac{\sigma(T_p + T_g)(T_p^2 + T_g^2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_g}\right) - 1} \quad (2.6)$$

olarak yazılabilir.

Sonuç olarak denklem,

$$Q_{t,Emiciplakadancamkapağa} = A_c (h_{c,p-g} + h_{r,p-g}) (T_p - T_g) = \frac{T_p - T_g}{R_{p-g}} \quad (2.7)$$

$$R_{p-g} = \frac{1}{A_c (h_{c,p-g} + h_{r,p-g})} \quad (2.8)$$

yazılabilir.

Benzer şekilde, cam örtüden ortama olan ısı kaybı eşitlik 2.8'de verilmiştir.

$$Q_{t,Camdanortamaısı kaybı} = A_c (h_{c,g-a} + h_{r,g-a}) (T_g - T_a) = \frac{(T_g - T_a)}{R_{g-a}} \quad (2.9)$$

$h_{c,g-a}$ = Rüzgar nedeniyle cam kapak ile ortam arasındaki konveksiyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

$h_{r,g-a}$ = Cam örtü ile ortam arasındaki radyasyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K).

Gökyüzü sıcaklığı sonuçları çok fazla etkilemediği için T_{sky} yerine T_a 'nın kullanıldığı durumda:

$$h_{r,g-a} = \varepsilon_g \sigma (T_g + T_a) (T_g^2 + T_a^2) \quad (2.10)$$

yazılır.

Gökyüzü sıcaklığı dikkate alınırsa:

$$h_{r,g-a} = \varepsilon_g \sigma (T_g + T_a) (T_g^2 + T_a^2) \frac{(T_g - T_{sky})}{(T_g - T_a)} \quad (2.11)$$

yazılabilir.

Atmosferin sabit bir sıcaklığı yoktur. Belirli dalga boylarında seçici olarak ışıma yapar ve 8 ila 14 mm dalga boyu aralığında esas olarak şeffaftır. Bu aralığın dışında ise uzak kızılötesi spektrumun çoğunu kapsayan soğurucu bantlara sahiptir. T_{sky} (K) için çeşitli korelasyon katsayıları mevcuttur. Ölçülen meteorolojik değişkenlerle ilişkilendirmek için aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir.

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (2.12)$$

$$T_{sky} = T_a \left(0.711 + 0.0056 T_{dp} + 0.000073 T_{dp}^2 + 0.013 \cos(15t) \right)^{0.25} \quad (2.13)$$

Burada:

T_a = Ortam sıcaklığı (K)

T_{dp} = Çiğ noktası sıcaklığı (°C)

t = Saat tir.

Ayrıca:

$$R_{g-a} = \frac{1}{A_c (h_{c,g-a} + h_{r,g-a})} \quad (2.14)$$

ise

R_{p-g} ve R_{g-a} dirençleri seri olduğundan, bileşkeleri şu şekilde verilebilir:

$$R_t = R_{p-g} + R_{g-a} = \frac{1}{U_t A_c} \quad (2.15)$$

Öyleyse,

$$Q_t = \frac{(T_p - T_a)}{R_t} = U_t A_c (T_p - T_a) \quad (2.16)$$

yazılabilir.

Bazı durumlarda kolektörler, ısı kayıplarını azaltmak amacıyla iki cam kapaklı olarak imal edilir. Bu durumda Şekil 2.1'de gösterilen sisteme alttan üst cam kapaklara ısı transferini hesaba katan bir direnç daha eklenir. Benzer bir analiz izlenerek, T_{g2} 'deki alt camdan T_{g1} 'deki üst cama ısı transferi şu şekilde verilebilir:

$$Q_{t,Altcamdanüstcama} = A_c (h_{c,g2-g1} + h_{r,g2-g1}) (T_{g2} - T_{g1}) = \frac{(T_{g2} - T_{g1})}{R_{g2-g1}} \quad (2.17)$$

$h_{c,g2-g1}$ = İki cam kapak arasındaki konveksiyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K).

$h_{r,g2-g1}$ = İki cam kapak arasındaki radyasyon ısı transfer katsayısı (W/m^2K).

Radyasyon ısı transfer katsayısı şu şekilde verilebilir:

$$h_{r,g2-g1} = \frac{\sigma(T_{g2}^2 + T_{g1}^2)(T_{g2}^2 + T_{g1}^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{g2}}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_{g1}}\right) - 1} \quad (2.18)$$

Burada ε_{g2} ve ε_{g1} , üst ve alt cam kapakların emissivite katsayısıdır. Son olarak, R_{g2-g1} direnci şu şekilde verilir:

$$R_{g2-g1} = \frac{1}{A_c (h_{c,g2-g1} + h_{r,g2-g1})} \quad (2.19)$$

Önceki denklemlerde, hava özellikleri çalışma sıcaklığının fonksiyonu olduğundan, en yüksek ısı kaybı katsayısı U_t 'nin hesaplanması için iterasyonlarla çözümler gerekebilir. Bu sebeple, U_t 'nin doğrudan tasarım amaçlı kullanımı için aşağıdaki ampirik denklem verilebilir:

$$U_t = \frac{1}{N_g} + \frac{\sigma(T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.05N_g(1-\varepsilon_p)} + \frac{2N_g + f - 1}{\varepsilon_p} - N_g} \quad (2.20)$$

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.091N_g) \quad (2.21)$$

$$C = 365.9(1 - 0.00883\beta + 0.0001298\beta^2) \quad (2.22)$$

$$h_w = \frac{8.6V^{0.6}}{L^{0.4}} \quad (2.23)$$

Durgun hava koşulları için minimum h_w değeri $5 W/m^2C$ 'dir. Kolektörün altından ısı kaybı önce yalıtım yoluyla ve ardından çevredeki ortam havasına kombine bir

konveksiyon ve radyasyon transferi yoluyla iletilir. Radyasyon terimi ($h_{r,b-a}$) ihmal edilirse enerji kaybı şu şekilde yazılabilir:

$$U_b = \frac{1}{\frac{t_b}{k_b} + \frac{1}{h_{c,b-a}}} \quad (2.24)$$

t_b = Arka yüzey izolasyon kalınlığı (m).

k_b = Arka yüzey izolasyon iletkenliği (W/m K).

$h_{c,b-a}$ = Arka yüzeyden ortama taşınım ile ısı kaybı katsayısı (W/m²K).

Kolektör plakasının arkasındaki yalıtımın iletim direnci, kolektör plakasından ısı kaybını belirler. Arka yüzey ısı kaybı katsayısının tipik değerleri 0,3–0,6 W/m²K'dir.

Benzer şekilde, kolektör kenarlarından ısı kaybı için ısı transfer katsayısı şu şekilde elde edilebilir (Kalogirou, 2014):

$$U_e = \frac{1}{\frac{t_e}{k_e} + \frac{1}{h_{c,e-a}}} \quad (2.25)$$

t_e = Kenar yalıtımının kalınlığı (m).

k_e = Kenar yalıtımının iletkenliği (W/m K).

$h_{c,e-a}$ = Kenardan ortama konveksiyon ısı kaybı katsayısı

Fotovoltaik Panellerin Bağlantı Çeşitleri

Fotovoltaik paneller üç tip bağlantıya sahiptir. Bu bağlantılardan biri panelleri seri bağlamak, diğeri panelleri paralel bağlamaktır ve son olarak hem paralel hem de seri olarak bağlamaktır. Bağlantılar yapıldığında kuvvet çıkışı artar. Bağlantı esnasında kurşunsuz lehimler kullanılır. İstenen kuvvet çıkışına göre fotovoltaik sistemin durumuna dikkat edildiğinde kimi zaman akımın bazen de voltajın artırılması gerekir.

PV Panellerin Seri Bağlanması

Fotovoltaik panellerin seri bağlanmasıyla elde edilen akım oranı denklem 2.26 ile bulunur

$$I = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{R + (r_1 + r_2 + \dots + r_n)} \quad (2.26)$$

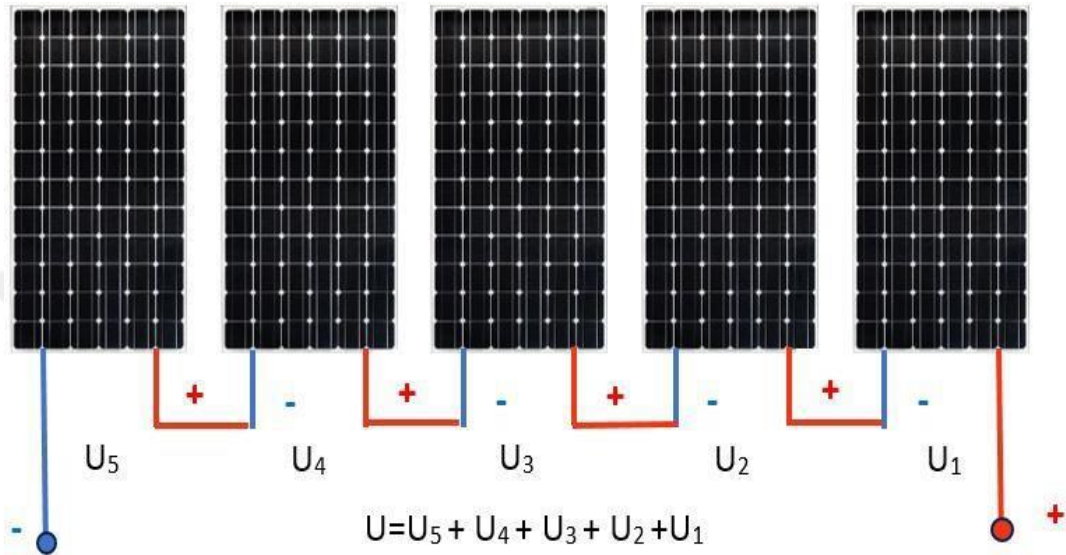
Seri bağlı fotovoltaik panellerin çıkış gerilimi için V ifadesi ve iç mukavemet için r ifadesi kullanılıyorsa, FV güç sisteminin R yükünü beslemesi halinde akım oranı

(I) olarak hesaplanır ve Tüm r değerleri için toplamda iç direnç R_t ifadesi kullanıldığında elde edilen eşitlik 2.27 şöyledir,

$$I = \frac{V}{R + R_t} \quad (2.27)$$

Şekil 2.2'de seri bağlantısı yapılan panellere ilişkin şema verilmiştir.

Şekil 2.2: Panellerin Seri Bağlanması



Kaynak: Özmen, 2022.

Seri bağlı fotovoltaik panellerin çıkış gerilim oranları fazlalaşmaktadır. Daha yüksek gerilim elde edildiğinde seri bağlanacak PV panel adedi çoğalır. Aynı değerdeki akım değeri seri bağlı panolardan geçer. Seri bağlantı sırasında bir panelin artı tarafı diğer panelin arkadan gelen eksi tarafı ile birleştirilir.

FV Panellerin Paralel Bağlanması

Paralel bağlanan fotovoltaik panellerin çıkışındaki akım çoğalır. Bu bağlantılarda çıkış voltajı sabit kalır. Çıkış voltajları;

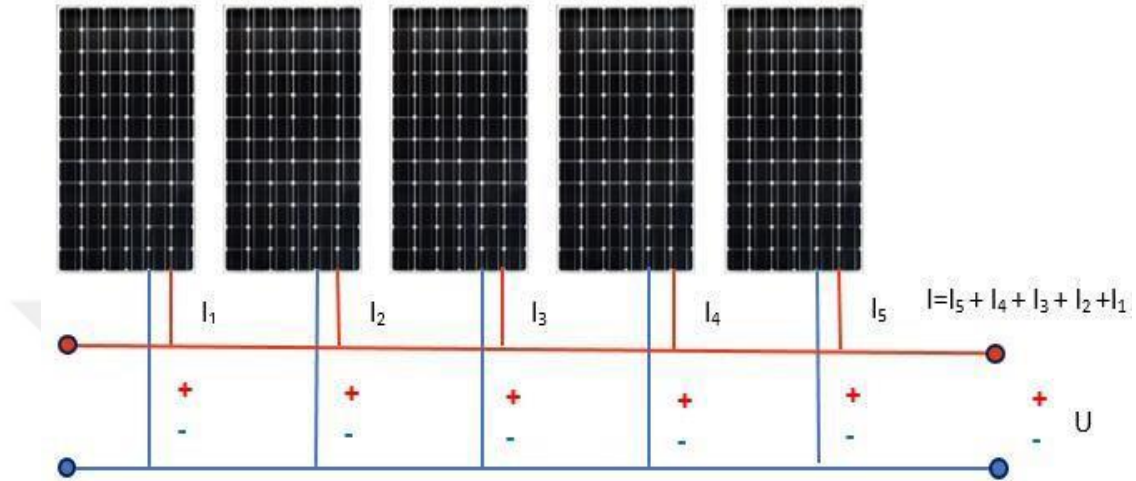
$$V = V_1 = V_2 = \dots V_n \quad (2.28)$$

Burada V, fotovoltaik dizinin çıkış voltajıdır. 1'den n'ye kadar olan tüm voltaj değerlerinin birbirine eşit olduğu görülmektedir. PV panelin iç direnci için r kullanılırsa, birinci PV panelin iç direnci eşitlik 2.29 ile bulunur

$$I = \frac{V}{R + \left(\frac{r}{V}\right)} \quad (2.29)$$

Fotovoltaik diziye bağlı yükün çektiği akım için I , sisteme bağlı yük mukavemeti için R , sisteme bağlanan ilk panelin iç mukavemeti için r , sistemdeki panel adedi için n ifadeleri kullanılmıştır. Paralel bağlantısı yapılan panellere ilişkin şema Şekil 2.3'de verilmiştir.

Şekil 2.3: Panellerin Paralel Bağlanması



Kaynak: Özmen, 2022.

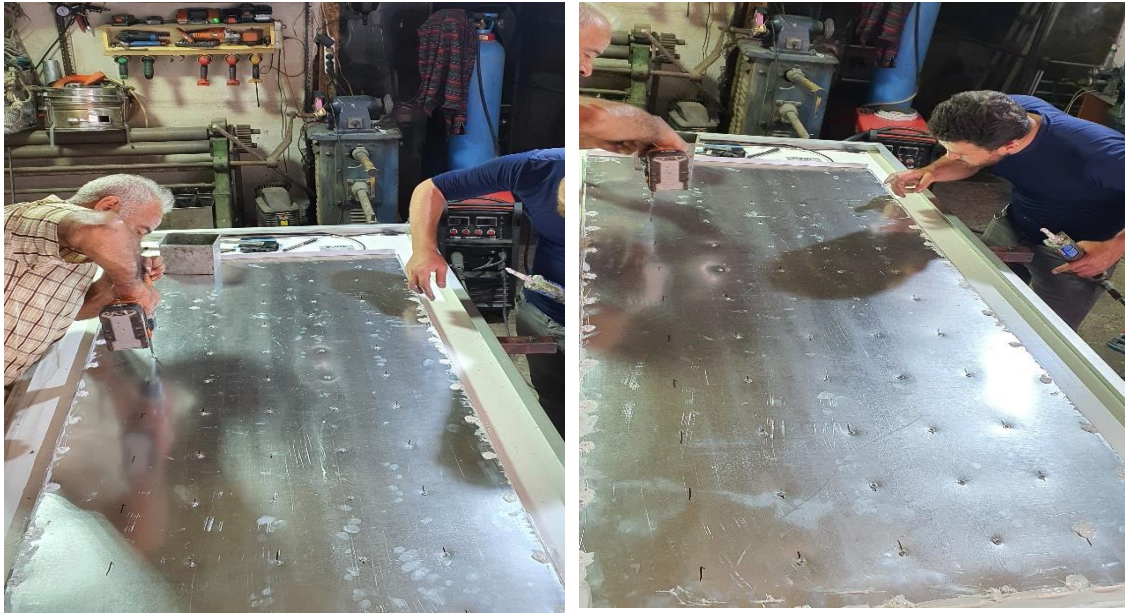
Fotovoltaik sistemde bir panelin artısı diğer panelin artısı ile birleştirilir ve paralel bağlantılar yapılır. Fotovoltaik güç sistemindeki panellerin oluşturduğu yapıya dizin denir(Özmen, 2022).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
DENEY VE ÖLÇÜM SİSTEMİNİN YAPISI

Bu çalışmada, Kütahya ili iklim şartlarında fotovoltaik panellerde (PV), farklı ışınlam değerlerine bağı olarak panel yüzey sıcaklığının elektriksel verimliliğe etkisi deneysel incelenmiştir. Bu amaçla; aynı özelliklere sahip monokristal ve her biri 395 W gücünde panellerden birisi yalın şekilde, ötekilerde ise panel arka yüzeylerinde soğutma uygulaması yapılmıştır. Güneş ışığından en iyi şekilde yararlanmak için, Kütahya bölgesi enlemi dikkate alınarak paneller 30° olacak şekilde yerleştirilmiştir. Soğutma sistemi olarak farklı iki yöntem (su sirkülasyonu, hava sirkülasyonu) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda bunlar arasında karşılaştırma yapılarak güneş panellerinin verimliliğini artırmak için hangi soğutma sisteminin uygun olduğu analiz edilmiştir. Kütahya bölgesi koşullarında soğutmalı ve normal panellerin, ısı ve elektriksel verimleri karşılaştırılmıştır. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda güneş panellerinin verimini en iyi şekilde artırmak amacıyla optimizasyon çalışması yapılmıştır. Deneyler sırasında her panelin sıcaklık, güç, akım ve voltaj gibi PV panel karakteristik değerleri ölçülmüştür. Deneysel sistemin ve güneş panellerinin montajı-kurulum aşaması 2022-35 nolu BAP projesi desteği kapsamında yapılmıştır. Şekil 3.1'de deney sistemi ve güneş panellerinin kurulum-montajı gösterilmiştir.

Şekil 3.1: Deney Sistemi ve Güneş Panelleri Kurulum-Montajı



Çalışma Planı

Deney çalışması Kütahya Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Işınlam oranları 175 - 815 W/m² aralığında değişmiştir. Deneylerde bir adet multimetre, 3 adet güneş paneli, 2 adet kayıt cihazı, 4 adet termokupl, 1 adet

laptop kullanılmıştır. Deneylerin yapılmasında 49,64 V değerinde açık devre gerilimi ve 10,27 A kısa devre akımına sahip 1986 mm uzunluğu 1006 mm genişliği olan 3 adet eş 395 W kuvvetinde güneş paneli kullanılmıştır.

Çalışma Türkiye'nin batısında Kütahya ilinde 39.4167° enlem - 29.9833° boylamda yürütülmüştür. Sistem açık havaya yer seviyesinden bir yükseklikte (1,5 m) ve okumalar hava şartlarına göre sabah sekizden akşam dörde kadar alınmıştır.

Deneyssel çalışma aşağıdaki modeller üzerinde gerçekleştirilmiştir:

- Kütahya ili iklim şartlarının, aylara göre güneş enerjisinden elektrik üretiminde enerji verimliliğine etkisinin belirlenmesi.
- Güneş ışığından en iyi şekilde yararlanmak ve panel hücrelerinin verimliliğini arttırmak için optimizasyon.
- Daha önceki çalışmalara göre, bu çalışmada Kütahya ili iklim koşullarında panel hücrelerini soğutmak için iki farklı soğutma yöntemi kullanarak bu farklı yöntemler ile soğutmasız yalın sistemin karşılaştırılması.
- Su sirkülasyonlu soğutma yönteminde temas yüzeyini maksimuma çıkarmak ve ısı transfer katsayısını artırmak için tasarım optimizasyonu.

PV/T Su soğutmalı ve Hava soğutmalı panelin ve PV panellerinin güç analizlerinin yapılabilmesi için öncelikle PV/T ve PV panellerinin gerilim akım oranları bilmek gerekir. Panellerin artı (+) ve eksi (-) çıkışlarından voltaj ve akım oranını ölçmek için bir adet multimetre kullanılmıştır. Daha sonra gerilim ve akım değerleri ölçülen sistemin güç analizi yapılmıştır.

Elektriksel verimi hesaplamak için, panel yüzeyindeki radyasyon değeri, panel yüzey alanı, piranometre cihazının ölçtüğü ışıyım şiddeti, multimetrenin okuduğu gerilim ve akım değerlerini bilmek gerekmektedir. Ölçülen değerler ile eşitlik 3.1 kullanılarak sistemin elektriksel verim analizi yapılmıştır.

$$\eta_e = \frac{V_m \cdot I_m}{I \cdot A} \quad (3.1)$$

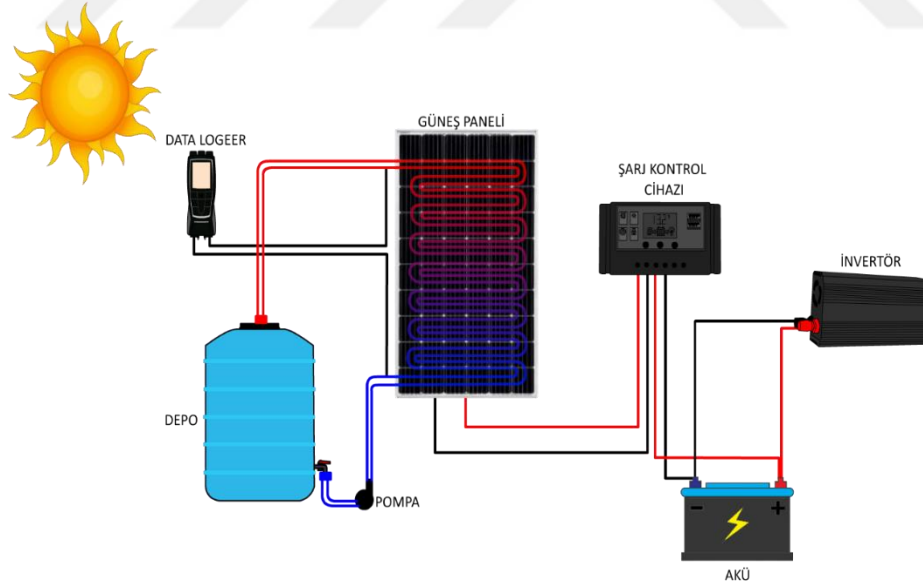
3.1. TASARIMI UYGULANAN GÜNEŞ PANELİ SOĞUTMA YÖNTEMLERİ

3.1.1. Su Sirkülasyonlu Soğutma Yöntemi

Geleneksel monokristal tipi bir fotovoltaik panelin su sirkülasyonu ile arka yüzey sıcaklığının düşürülmesi ve performansının artırılması amacıyla bu tasarımda güneş paneli arkasına bakır borular monte edilmiştir. Su bir pompa vasıtasıyla tanktan çıkar ve güneş panelinin arkasına konumlandırılan bakır boruya girer. Bakır boru ile panel arasında ısı transferi gerçekleşmiştir. Panel arka yüzeyinde bakır boru hattı içerisinde dolaşan akışkan, paneli terk ettikten sonra su deposundan tekrar pompa yardımı ile sirküle edilmiştir. Şekil 3.2'de uygulanan düşünülen soğutma tasarımı gösterilmiştir. Böylelikle panelin soğutma işleminin hızlandırılması amaçlanmıştır.

PV/T sisteminin elektriksel ve termal performansı hesaplanmıştır. Güneş paneli yüksek sıcaklıkta olduğundan ve kanalın içinden geçen akışkan da daha düşük ısıya sahip olduğundan bu iki alan arasında ısı transferi gerçekleşmiştir. PV/T sistemin toplam verimliliğinin analizi ile ısı transferindeki değişim incelenmiştir.

Şekil 3.2: Su Sirkülasyonlu Deney Sistemi

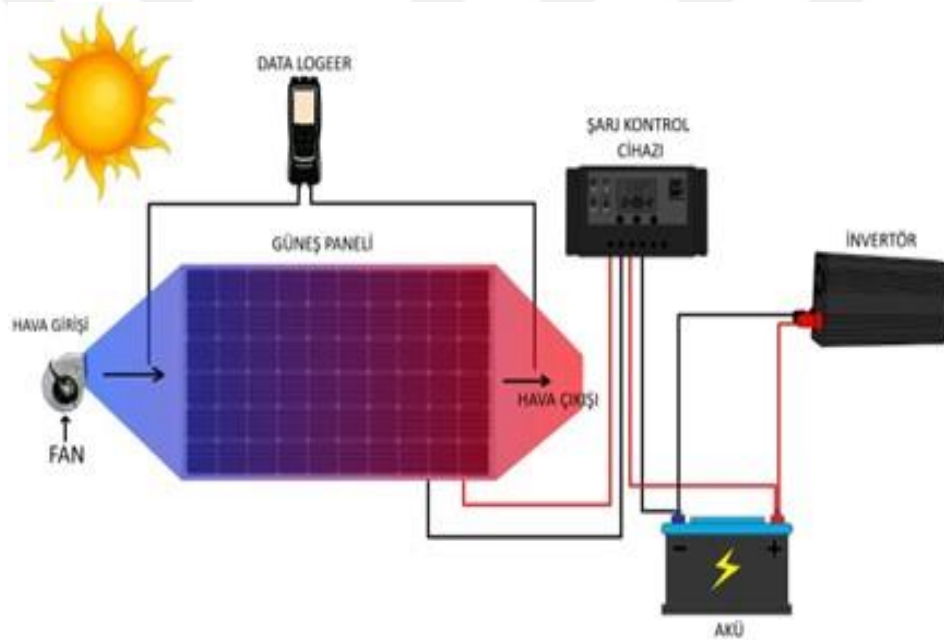


3.1.2. Hava Sirkülasyonlu Soğutma Yöntemi

Bu uygulamada, güneş panelinin arkasına monte edilmiş fan vasıtasıyla zorlanmış havanın bir taraftan girip diğer taraftan çıktığı dikdörtgen şeklinde bir galvaniz hazne tasarlanmıştır. Kanala giren hava güneş paneli ile direkt temas sağlanmıştır.

Hava kütlesinin iki farklı hızda kanala girerek Şekil 3.3'de türbülanslı bir akış rejiminde paneli soğutması amaçlanmıştır. Böylece panel ile akışkan arasında bir ısı transferi gerçekleşmiş ve güneş panelinin sıcaklığı düşmüştür. Öncelikle PV panelin yüzey sıcaklığı olmak üzere 6 farklı noktalardan sıcaklık oranları termokupllarla ile ölçülmüş ve datalogger vasıtasıyla kaydedilmiştir. Hava giriş ve çıkış debilerinin belirlenmesinde de portatif Testo 425 (anemometre) cihazı kullanılmıştır. Cihazın prob çapı 7.5 mm ve teleskobu ile uzatılabilir (maksimum 820 mm). Şekil 3.8'de hava debilerinin belirlenmesinde kullanılan anemometre cihazı gösterilmiştir. Hava soğutma sisteminin (cebri akış) kontrol parametrelerinin (panel yüzey sıcaklığı, fan hızı, hava giriş ve çıkış sıcaklığı) etkisi analiz edilmiştir.

Şekil 3.3: Hava Sirkülasyonlu Deney Sistemi



3.2. DENEY SİSTEMİ ANA ELEMANLARI

3.2.1. Güneş Paneli

Güneş paneli, üzerinde güneş enerjisi soğurmaya yarayan birçok güneş hücresi bulunduran bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada 1 adet su soğutmalı, 1 adet hava soğutmalı ve 1 adetle yalın formda, toplam üç adet aynı güç ve özellikler de PV paneller kullanılmıştır. Deneyde kullanılan Güneş panelinin boyutları (1986 mm), genişliği (1006 mm), kalınlığı (40 mm)'dir. Güneş panelinin özellikleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1: Deney Sisteminde Kullanılan Güneş Panellerinin Özellikleri

Güneş panelinin tipi	Monokristal
Nominal maksimum güç (P _{max})	395 W
Maksimum güç gerilimi (V _{mp})	40,48 V
Maksimum güç akımı (İ _{se})	9,76 A
Açık devre voltajı (V _{oc})	49,64
Kısa devre akımı (İ _{se})	10,27 A
Hücre sayısı (adet)	72
Modül verimi (%)	19,7
Ağırlık	22,5 Kg

3.2.2. Invertör

İnvertör, akü voltajını 12 veya 24 V (veya daha fazla) sürekli (DC) değerinden 110 veya 220 volt (AC) alternatif voltaja yükseltmek için kullanılan bir cihazdır. İnvertörün bazı koruma fonksiyonları şunlardır:

- Aşırı yük koruması
- Kısa devre koruması
- Ters koruma
- Düşük voltaj koruması
- Aşırı gerilim koruması
- Aşırı ısınma koruması.

Tablo 3.2'de deneysel çalışmada kullanılan invertörün özellikleri verilmiştir

Tablo 3.2: Deney Sisteminde Kullanılan İnvertörün Özellikleri

Güç	600 W
Maximum Çıkış Gücü	1200W
Nominal Giriş Voltajı	12 V Dc
Nominal Çıkış Voltajı	220 V Ac
Frekans	50 Hz
Çıkış Düzeni	+ / - % 5
Voltaj Alarm	10.5 + / - 0.5 Volt
Kesme Voltajı	10.5 + / - 0.5 Volt
Verimlilik	85 - 90 %
Isıl Koruma	65 C + / - 5 C

Şekil 3.4 te deneysel çalışmada kullanılan ORBUS İnvertor gösterilmiştir

Şekli 3.4: Deneyde Kullanılan ORBUS İnvertor



3.2.3. Jel Akü

Günümüzde daha verimli depolama için solar jel pillerin kullanımı ön plana çıkıyor. Sık kullanım gerektiren sistemler için tercih edilen akü türlerinden biri örneğin; güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan aküler günlük olarak şarj edilip deşarj edildiği için güneş enerjisi sistemlerinde genellikle jel akü kullanılır. Bu nedenle jel akü, kış mevsiminde uzun süreler veya bulutlu olması şartlarında en uygun seçilmiştir. Tablo 3.3'te deneye sisteminde kullanılan jel akünün özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.3: Deneyde Kullanılan Akünün Özellikleri

Voltaj	12 Volt
Amper	22 Amper
Akü teknolojisi	Deep Cycle Karbon JEL Akü
Boyut	180x76x167 mm
Ağırlık	7100 g

Şekil 3.5 'te deneysel sisteminde kullanılan 6DZM-22 tip jel akü gösterilmiştir

Şekil 3.5: Deney Sisteminde Kullanılan Jel Akü



3.2.4. Şarj Regülatörü

Solar şarj regülatörü, güneş panelinden aküye gelen voltajı ve akımı düzenleyerek akünün aşırı şarj olmasını önlemek için kullanılır. Bu sayede şarj gerilimi akülere uygun şekilde düzenlenir ve aküler dolmak üzere olduğunda akım azaltılarak aküler korumuş olur.

Şarj regülatörün otomatik koruma özellikleri şunlardır:

- Aşırı ısınma
- Aşırı aküdeşarjı
- Aşırı akü şarjı
- Aşırı yük çekimi
- Yükte kısa devre koruması
- Güneş panelinde kısa devre koruması
- Güneş paneli ters kutup bağlantısı
- Jel akü ters bağlantı koruması gibi etkilerden korur.

Tablo 3.4 'te deneye sisteminde kullanılan şarj regülatörün özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.4: Elektrik Parametreleri

Maksimum Çalışma Akımı	20 Amper
Sistem Voltajı	12 Volt / 24 Volt
Akü Maks. Şarj Voltajı	50 Volt
Akü Düşük Voltaj Koruması	10,7 Volt / 21,4 Volt

Deney sisteminde kullanılan şarj regülatörü, Şekil 3.6'de verilmiştir.

Şekil 3.6: Deney Sistemi Şarj Regülatörü



3.2.5. Deney Sisteminde Kullanılan Sirkülasyon Pompası ve Fan Özellikleri

Deneyisel çalışmada su sirkülasyonlu yöntemde akışkanı basınçlandırmak için kullanılan sirkülasyon pompası ve hava sirkülasyonlu yöntemde kullanılan fan ve sirkülasyon pompası Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Şekil 3.7: Deney Sisteminde Kullanılan Sirkülasyon Pompası ve Fan



Fan, güneş panelinin arkasında bulunan hava kanalına hava üfleyerek güneş panelinin soğutulması için önemli bir elemandır. Tablo 3.5'te sisteme hava sirkülasyonu sağlayan fanın özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.5: Fan Özellikleri

Gerilim (nominal)	230 V
Akım	0,38
Frekans	50 Hz
Debi	290 m ³ /h
Motor Hızı	2400

3.3. ÖLÇÜM CİHAZLARI

3.3.1. Anemometre Cihazı (Testo 425)

Kanala giren hava kütlelerinin giriş debilerinin belirlenmesinde portatif Testo 425 (anemometre) cihazı kullanılmıştır. Cihazın prob çapı 7.5 mm ve uzatılabilir teleskobu ile maksimum 820 mm'dir. Şekil 3.8'de hava debilerinin belirlenmesinde kullanılan anemometre cihazı gösterilmiştir. Tablo 3.6'da da Anemometre cihazının teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6: Anemometrenin (Testo 425) Teknik Özellikleri

Ölçüm aralığı	0 ... +20 m/sn
Doğruluk	$\pm(0,03 \text{ m/sn})$
Çözünürlük	0,01 m/sn

Şekil 3.8: Anemometre

3.3.2. Multimetre

Güneş pilinin voltaj ve akım değerleri, toplam elektrik gücünü bulmak için ölçülmüştür. Tablo 3.7'de de multimetrenin teknik özellikleri verilmiştir. Multimetre cihazı (UT203 UNI-T) deneyler sırasında voltaj ve akımı ölçmek için kullanılmıştır. Şekil 3.9'da akım ve gelirim ölçümlerinde kullanılan dijital multimetre gösterilmiştir

Şekil 3.9: Dijital Multimetre

Tablo 3.7: Multimetrenin Teknik Özellikleri

Kullanılan ekran türü	LCD (3999)
Ölçüm	AC akımı, AC voltajı, süreklilik, DC akımı, DC voltajı, frekans, direnç
DC akım ölçüm aralığı	40A/400A
AC akım ölçüm aralığı	40A/400A
DC akım ölçüm doğruluğu	$\pm(2\% + 3 \text{ basamak})$
AC akım ölçüm doğruluğu	$\pm(2,5\% + 5 \text{ basamak})$
DC voltaj ölçüm aralığı	0,01...400mV/4V/40V/400V/600V
DC voltaj ölçüm doğruluğu	$\pm(0,8\% + 1 \text{ hane})$

3.2.3. Sıcaklık Ölçüm Cihazı (Testo 735)

Soğutmalı deney sisteminde akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümünde Testo 735 kompakt sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tablo 3.8'de Testo 735 sıcaklık ölçerin özellikleri ve Şekil 3.10'da da cihazın resmi verilmiştir.

Tablo 3.8: Testo 735 Sıcaklık Ölçer Özellikleri

Boyutlar	220 x 74 x 46 mm
Çalışma sıcaklığı	-20 ... +50 °C
Depolama sıcaklığı	-30 ... +70 °C
Ağırlık	428

Şekil 3.10: Testo 735 Sıcaklık Ölçer Cihazı**3.2.4. Testo 835-T2 İnfrared Termometre**

Cam, seramik veya metal endüstrisinde kullanım için ideal; testo 835-T2 yüksek sıcaklıklı kızılötesi termometre, yüksek sıcaklık aralığında çok çeşitli termal uygulamalar için kullanılan bir cihazdır. Testo 835-T2, 1500 °C'ye kadar termal ölçümler yapmayı sağlayan son derece geniş bir sıcaklık aralığına sahiptir. Soğutmalı ve soğutmasız (yalın) panellerin yüzey sıcaklıklarının ölçümünde bu cihaz kullanılmıştır. Kızılötesi lazerli

cihazında termometre 4- nokta lazer işaretleme ve ölçüm verileri yönetimi bulunmaktadır.

Şekil 3.11'de de Testo 835-T2 İnfrared Termometre cihazı gösterilmiştir.

Şekil 3.11: Testo 835-T2 İnfrared Termometre Cihazı



3.2.5. Testo 480 Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı

Testo 480, havalandırma ve iç mekân hava kalitesi parametrelerini ölçmeyi, analiz etmeyi ve kaydetmeyi sağlayan yüksek hassasiyetli bir nem ve hava akış ölçerdir. Hava soğutmalı deney sisteminde akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları bu cihaz ile ölçülmüştür. Tablo 3.9'da da Testo 480 ölçüm cihazının teknik özellikleri ve Şekil 3.12'de de cihaz resmi gösterilmiştir. Klima ve havalandırma sistemlerinde hava debisi sıcaklık, nem, basınç, ışık şiddeti, radyan sıcaklık, türbülans seviyesi ve CO₂ parametreleri ölçerek kayıt altına alabilmektedir.

Tablo 3.9: Testo 480 Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı

Ölçüm aralığı	-200 ... +1370 °C
Doğruluk	$\pm(0,3 \text{ °C} + 0,1 \% \text{ ölç.değ.})$
Çözünürlük	0,1 °C
Çalışma sıcaklığı	0 ... +40 °C
Ağırlık	435 g
Hafıza	60.000.000 ölçüm değerleri

Şekil 3.12: Testo 480 Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı



3.2.6. Güneş Işınımı Ölçüm Cihazı (Piranometre)

Piranometre, düz bir yüzey üzerinde oluşan yarım küre görüş alanından gelen güneş ışınımını ölçen bir cihazdır. SI ışınım birimleri metrekare başına watt'tır (W/m^2). Deneyler sırasında güneş ışınım şiddetinin ölçümü bu cihaz ile yapılmıştır. Tablo 3.10'da da piranometre cihazının teknik özellikleri ve Şekil 3.13'de de cihaz resmi gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Piranometre Teknik Özellikleri

Ölçüm Aralığı	$0 \div 2000 W/m^2$
Çalışma Sıcaklığı	$-40\text{ }^{\circ}\text{C} \div 80\text{ }^{\circ}\text{C}$
Ağırlık	0,90 kg
Hassasiyet değeri	$13,97\text{ }\mu\text{V}/(W/m^2)$
Tepki süresi %95	< 28 se

Şekil 3.13: Piranometre Cihazı



3.2.7. Sıcaklık Sensörleri Teknik Özellikleri

PV yüzey sıcaklıkları başta olmak üzere akışkan giriş çıkış sıcaklık değerleri de termokupullar vasıtasıyla anlık ölçülerek datalogger vasıtasıyla kaydedilmiştir. Şekil 3.14'de verilen sıcaklık sensörleri akışkan sıcaklık giriş ve çıkış değerlerini hızlı ve kolay şekilde ölçülmesi için kullanılmış bir prob çeşididir. Günümüzde kromal olarak adlandırılan ve % 90 nikel ve % 10 krom içeren termokupl kablolardır. Alumil değerleri % 95 ila % 2 manganez, % 2 alüminyum ve % 1 silikondan oluşur. Genel amaçlar için yaygın olarak tercih edilen kablo türüdür. Ayrıca diğer tiplere göre çeşitli projelerde tercih edilen bir termokupul kablosu olarak adlandırmak mümkündür. Deneysel çalışmada toplam 12 adet sensör kullanılmıştır.

Şekil 3.14: Kullanılan Testo Tip I ve Tip II Sıcaklık Sensörleri





DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
YÜZEY SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN FOTOVOLTAİK (PV) PANELLERDE
PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL SONUÇLARI

4.1. YÜZEY SOĞUTMA TEKNİKLERİNİN FOTOVOLTAİK (PV) PANELLERDE PERFORMANSA ETKİSİNİN DENEYSEL SONUÇLARI

Soğutmalı bir fotovoltaik sistemin (PV/T) performans analizinin yapılması amacıyla, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi otoparkına konumlandırılan deney sistemi ve güneş panellerinin uydu konumu Şekil 4.1’de verilmiştir.

Şekil 4.1: Deney Sistemi ve Güneş Panellerinin Uydu Konumu



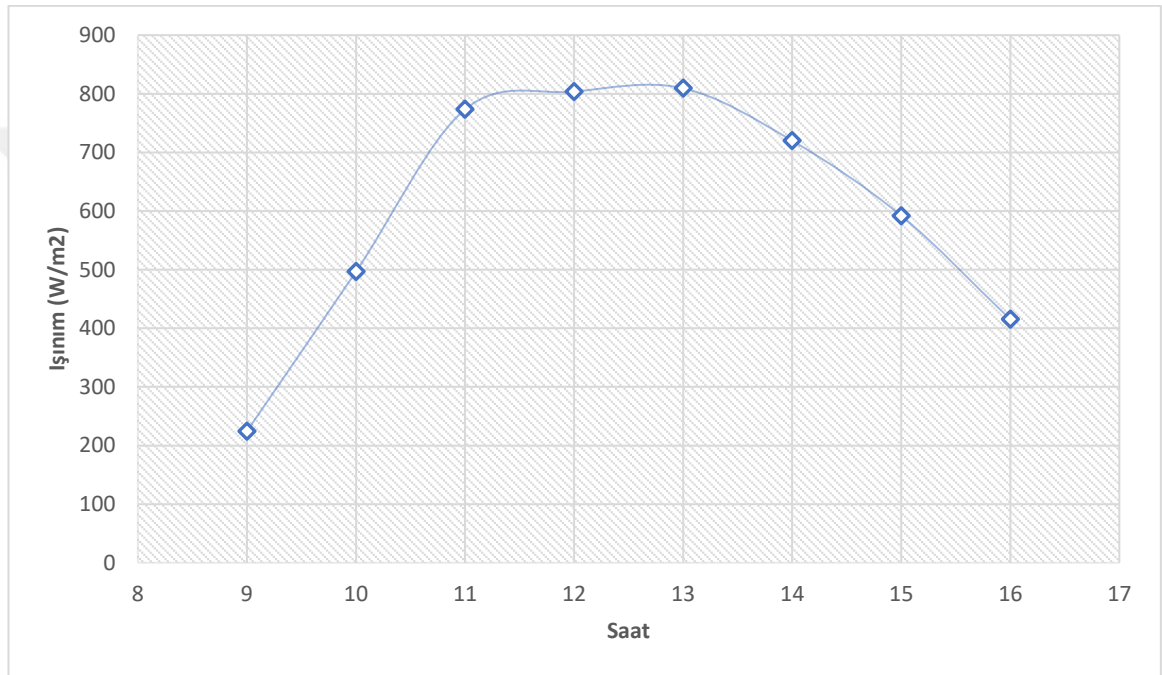
Bu deneysel çalışmanın amacı, güneş enerjisinden elektrik elde etmede kullanılan PV/T güneş panelinde hava ve su ile soğutma yöntemlerinin etkilerinin incelenmesidir. Aynı şekilde PV/T panelin soğutma işleminde kullanılan hava ve su ile evsel sıcak su ihtiyacının karşılanması ve iç ortam ısıtması için kullanılabilecek sıcak hava gereksiniminin karşılanması amaçlanmaktadır.

Kütahya ili enlem derecesi dikkate alınarak 30° açıyla yerleştirilen panellerde; sistemde dolaşan hava ve su debileri dikkate alınarak panellerin soğutulması ve enerji verimliliği incelenmiştir. Analizlerin yapılabilmesi için, yüzeyi soğutulan paneller ile yalın panelde (soğutmasız) yüzey sıcaklıkları, akışkan giriş- çıkış sıcaklıkları, ortam sıcaklığı, güneş ışıyım şiddeti değerleri ölçülerek dataloger vasıtasıyla kaydedilmiştir. Sistem yük değerlerine karşılık gelen gerilim ve akım değerleri de multimetre ile ölçülmüştür, bu ölçümler sonucunda soğutma yapılan paneller ile soğutma yapılmayan panellerin elektrik güç ve verim karşılaştırması yapılmıştır

Deneyler, Kütahya ilinde 2022 yılı Eylül ve Ekim ayları farklı günlerinde yapılmış ve ölçülen güneş ışıınım oranlarının saatlere göre de farklılaşması verilmiştir. Ölçümler saat 9 - 16 arasında yapılmış ve deneylerin yapıldığı günlerde ışıınım şiddeti değişimleri deneyleri karşılaştırma imkânı vermiştir.

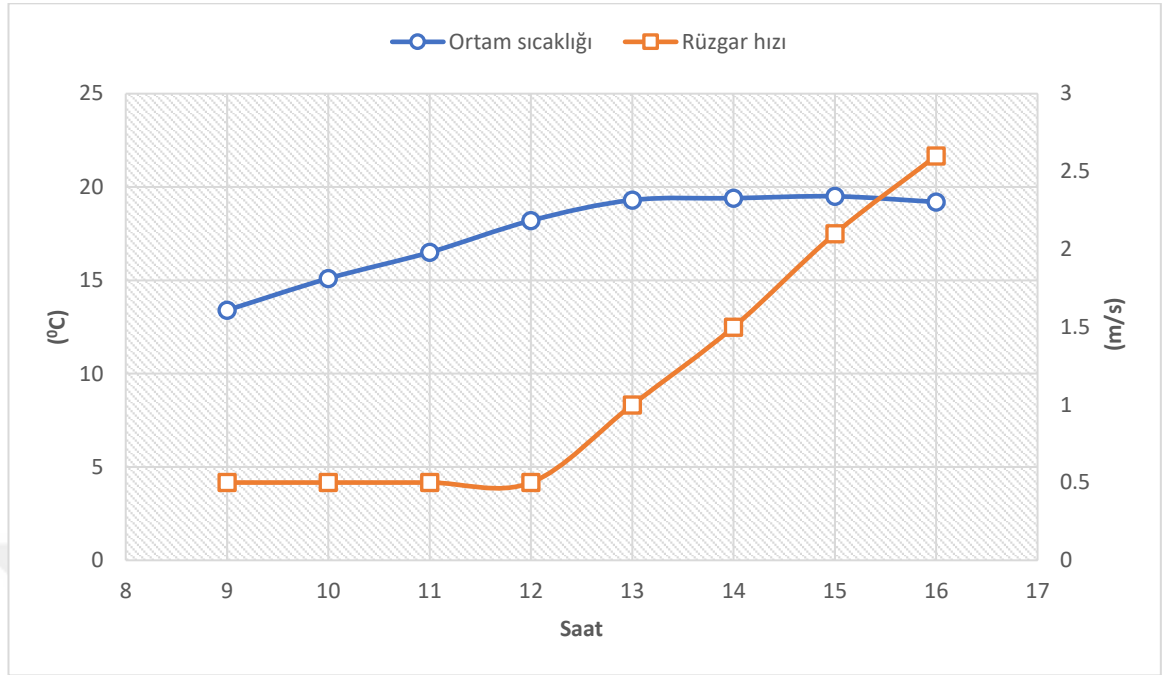
Şekil 4.2'de güneş ışıınım değerinin zamanla değişimi (21.9.2022) verilmiştir. En yüksek ışıınım değeri ($809,43 \text{ W/m}^2$) saat 13:00'de elde edilmiştir. Minimum ışıınım değeri ise saat 9'da elde edilmiştir.

Şekil 4.2: Güneş ışıınım Değerinin Zamanla Değişimi (21.9.2022)



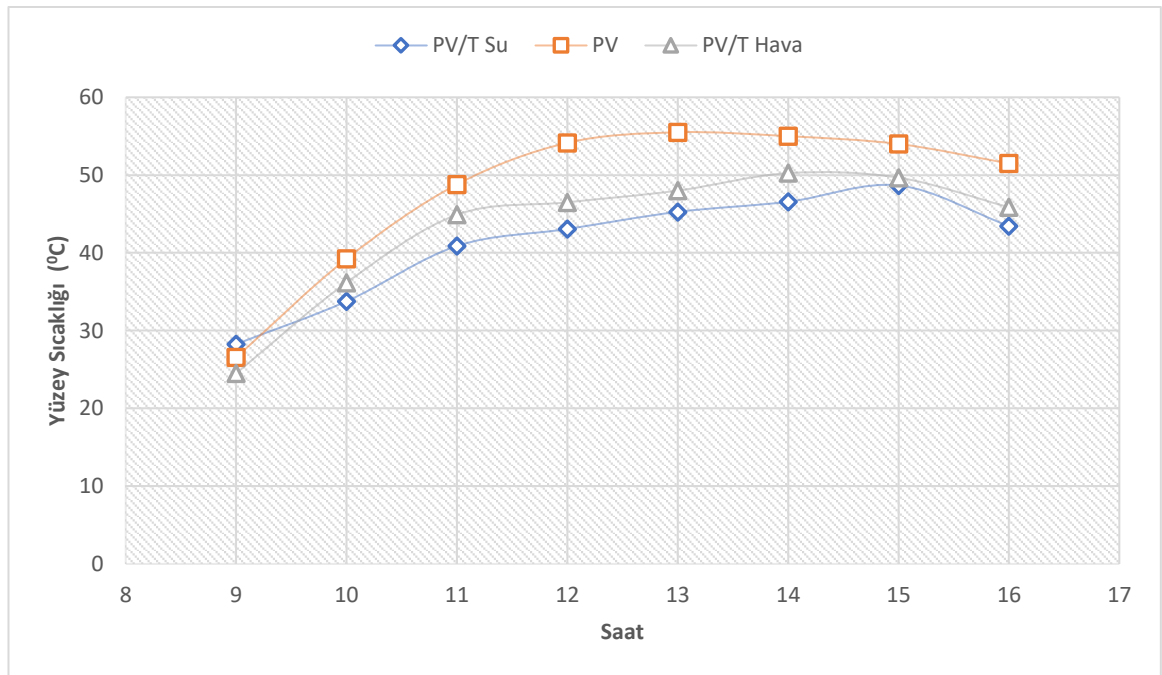
Güneş panellerinin yerleştiği bölgenin sadece ışıınım değerleri değil rüzgâr hızı da paneller için önemli bir etkidir. Çünkü rüzgâr hızı arttıkça güneş panel yüzeyinden gerçekleşen taşınım ile ısı transferi artmaktadır. Aynı gün ve saatlere ait ortam sıcaklığı ile rüzgâr hız değişimleri de Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Şekil 4.3: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlara Göre Değişimi (21.9.2022)



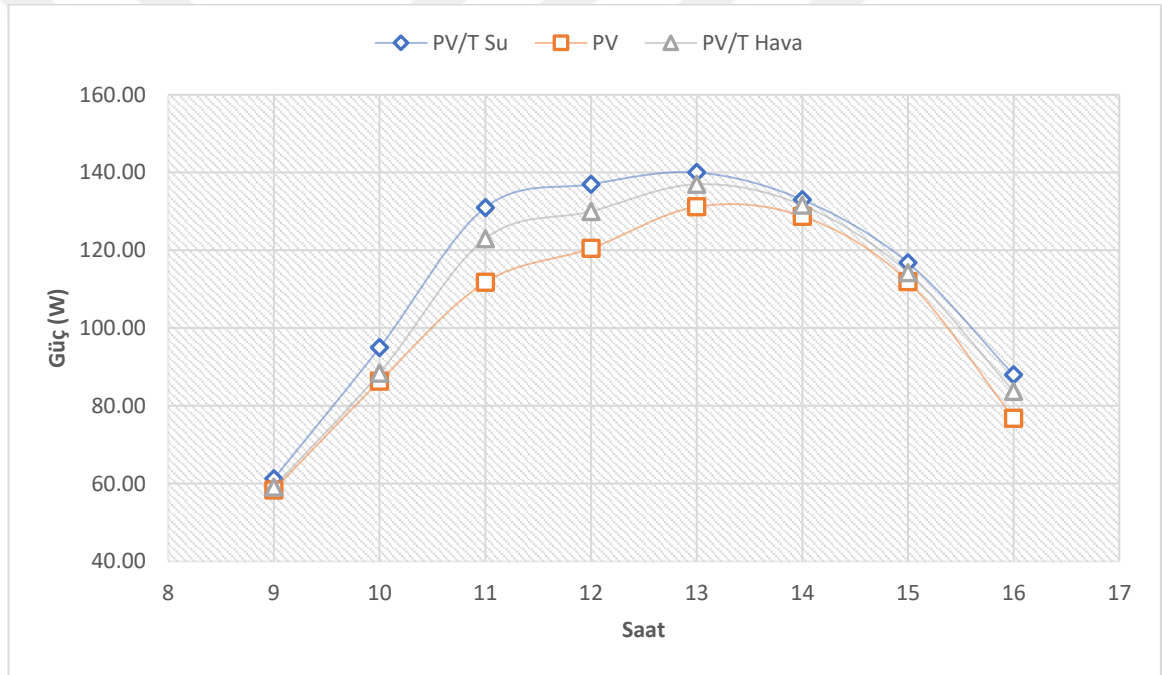
Işınım değerleri (224,4-809,43) W/m^2 aralığında ve panel yüzey sıcaklığı değerleri de (24,5 – 55,5) $^{\circ}C$ arasında değişmiştir (Şekil 4.4). Saat 13:00'de PV/T su soğutmalı panel yüzey sıcaklığı 45,26 $^{\circ}C$ ölçülürken, PV/T hava soğutmalı panelde 48 $^{\circ}C$ ve soğutmasız panelde ise 55,5 $^{\circ}C$ olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.4: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (21.9.2022)



Soğutma yapılan panellerde gerilim değerleri artarken, soğutma yapılmayan yalın panelde ise gerilim değerinde azalma olmuştur. Şekil 4.5'de gündüz saatlerinde PV/T su, PV/T hava soğutma yöntemi kullanımının PV panel güç davranışı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma tekniği kullanıldığında, güçteki maksimum değer PV/T su için 140 W ve PV/T hava soğutma tekniği içinde saat 13:00'de 137 W olurken, PV ise 131,2 W olarak gerçekleşmiştir. Su ile soğutma yöntemi ile soğutmasız panele göre maksimum % 6,7'lik bir güç artışı ve hava ile soğutma ile de % 4,42 oranında bir artış olmuştur. Genel olarak ışıınım değerlerinin arttığı öğlen saatlerinde, akım, gerilim ve güç değerlerinin yükseldiği, öğlen saatlerinden sonra ise azalan ışıınım değerleri ile beraber düştüğü görülmüştür.

Şekil 4.5: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (21.9.2022)



Güneş panellerinin termal veya ısı verimi, güneş enerjisi ışınlarının panel üzerindeki yüzey alanına düşmesiyle oluşan ısı enerjisinin panel tarafından absorbe edilmesi ve dönüştürülmesi oranını ifade eder. Bu oran, panelin yüzey özellikleri, malzeme özellikleri, tasarımı ve çevresel koşullar gibi birçok faktöre bağlıdır. Termal verim, güneş panelinin çalışma sıcaklığına da bağlıdır. Yüksek sıcaklık, panelin termal verimini düşürebilir ve aynı zamanda panelin ömrünü de kısaltabilir.

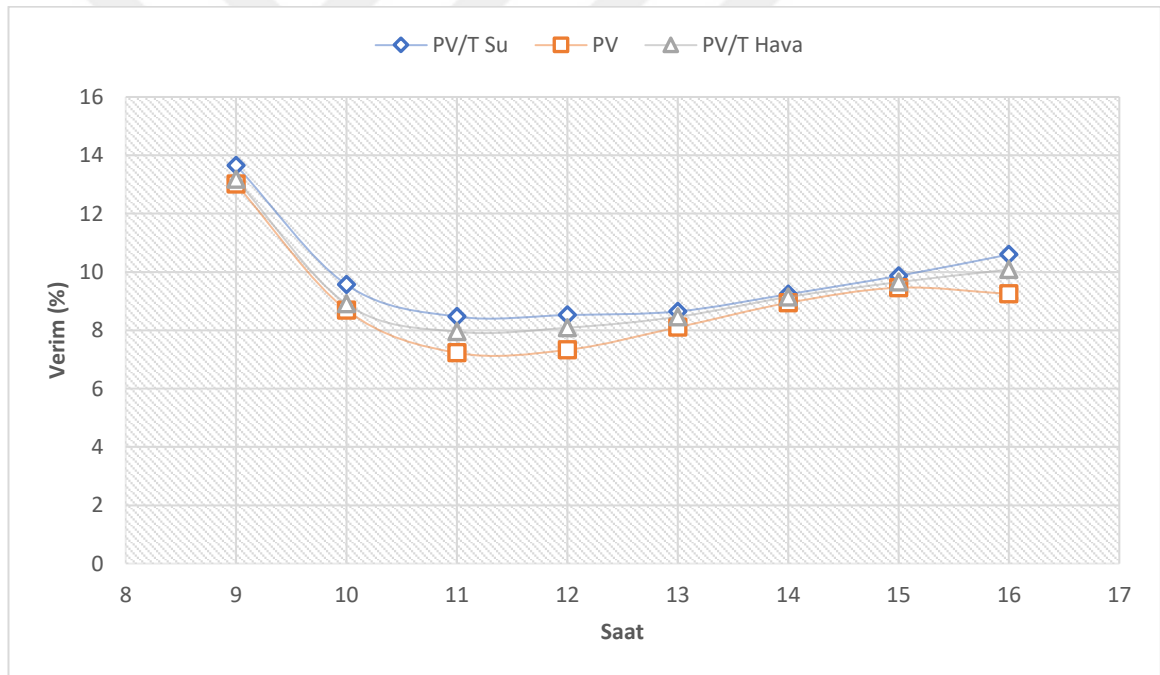
Güneş panellerinin termal verimi, genellikle ısıtma ve sıcak su gibi ısıya dayalı uygulamalarda kullanılır. Yüksek termal verime sahip paneller, daha fazla güneş

enerjisini ısı enerjisine dönüştürebilir ve bu uygulamalarda daha etkili bir şekilde kullanılabilir.

Ancak, güneş panellerinin performansını değerlendirirken sadece termal verim değil, aynı zamanda elektriksel verim de önemlidir. Elektriksel verim, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğini ifade eder. Güneş panellerinin toplam verimi, hem termal hem de elektriksel verimlerin bir kombinasyonudur ve maksimum verimlilik için her iki verim de önemlidir.

Şekil 4.6'da, PV/T su, PV/T hava soğutma yönteminin PV panel elektrik verimliliğine etkisi verilmiştir. PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma yöntemi kullanıldığında, saat 13:00'de elektrik verimliliğinin PV/T su için % 8,64, PV/T hava soğutma tekniği için % 8,46 ve PV için ise % 8,1 olduğu görülmektedir.

Şekil 4.6: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (21.9.2022)



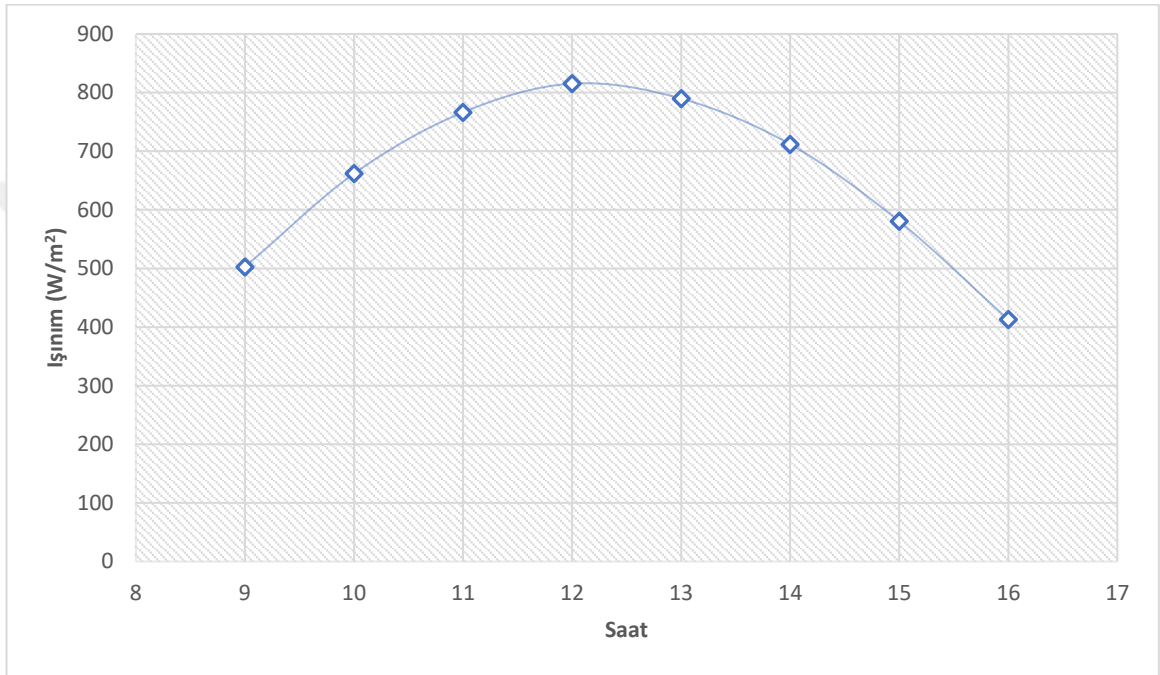
PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma yöntemi kullanıldığında, soğutmalı ve soğutmasız güneş panelleri için ısı verimlilik oranları; PV/T su için % 40, PV/T hava soğutma için ise %33,8 olduğunu görülmektedir. Toplam verim açısından değerlendirildiğinde ise, PV/T su soğutmalı panel % 49,82 ve PV/T hava soğutmalı panel ise % 43,23 verime sahiptir.

Güneş panel yüzey sıcaklıklarının düşürülmesi yani panel yüzeyinin soğutulması amacıyla sistemde dolaşan akışkanlara (hava, su) ısı transferi ile aktarılan termal enerji

(akışkanın kazandığı enerji), güneş kolektörü üzerine düşen güneş ışınlamından elde edilen pratik faydalı enerji olarak ifade edilebilir. Termal enerji oranı; PV/T su için 484,3 W, PV/T hava soğutma için ise 409 W olarak hesaplanmıştır.

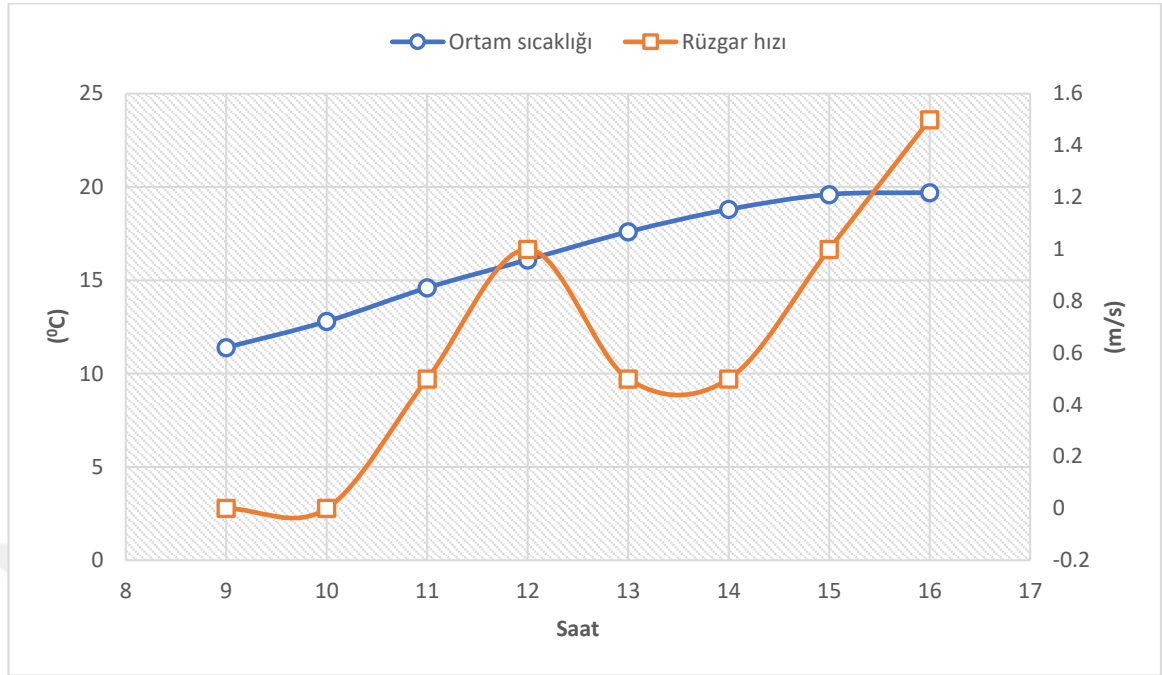
Şekil 4.7'de güneş ışınlamı değerinin zamanla değişimi (24.9.2022) verilmiştir. En yüksek ışınlamı değeri ($815,24 \text{ W/m}^2$) saat 12:00'de elde edilmiştir. Minimum ışınlamı değeri ise saat 16:00'da elde edilmiştir.

Şekil 4.7: Güneş Işınlamı Değerinin Zamanla Değişimi (24.9.2022)



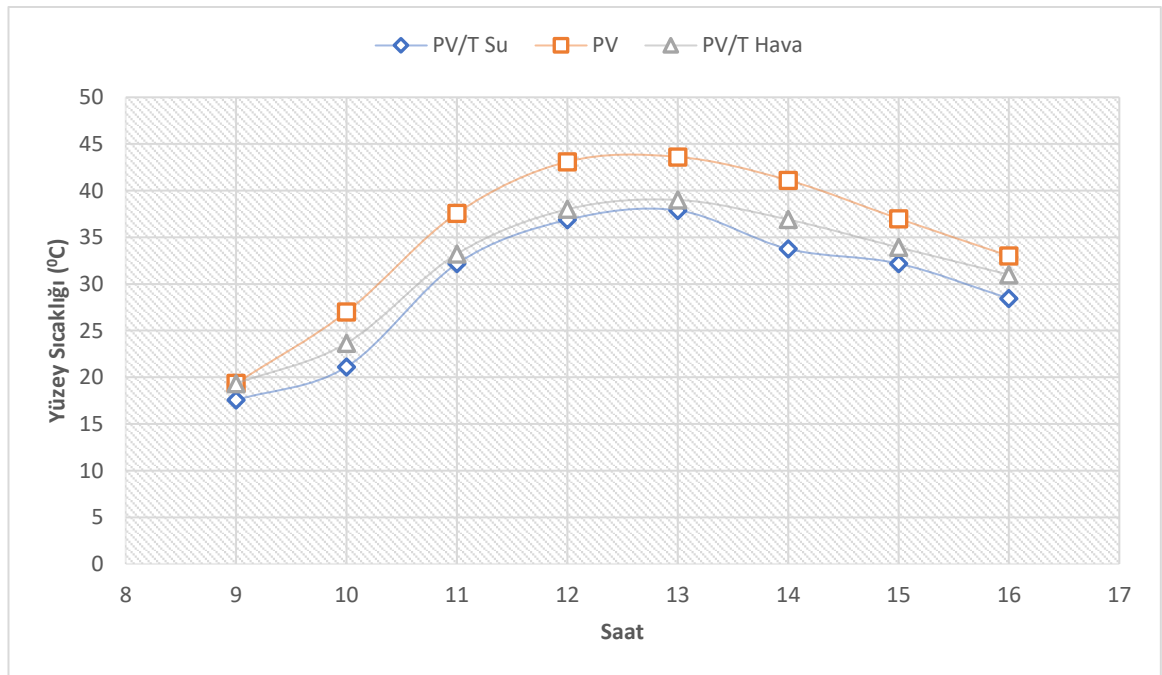
Aynı gün ve saatlere ait ortam sıcaklığı ile rüzgâr hız değişimleri de Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Şekil 4.8: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlara Göre Değişimi (24.9.2022)



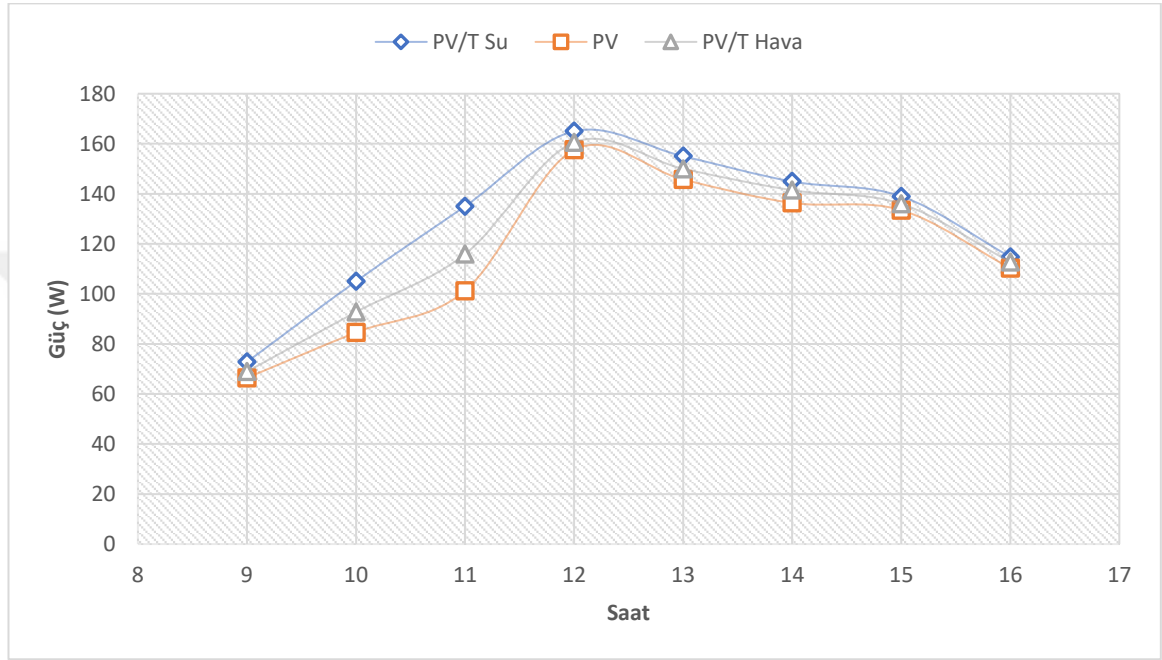
Işınım değerleri (412,85 – 815,25) W/m² aralığında ve panel yüzey sıcaklığı değerleri de (17- 43) °C arasında değişmiştir (Şekil 4.9). Saat 12:00'de PV/T su soğutmalı panel yüzey sıcaklığı 36,8 °C ölçülürken, PV/T hava soğutmalı panelde 38 °C ve soğutmasız panelde ise 43,1 °C olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.9: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (24.9.2022)



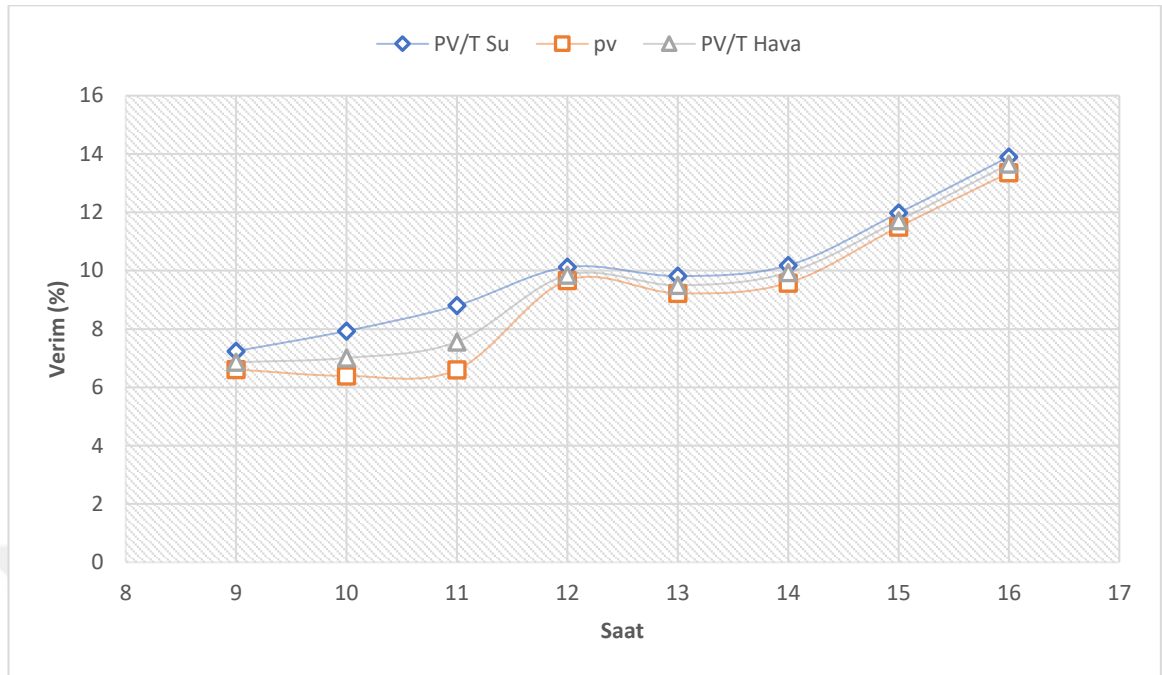
Şekil 4.10'da, PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma tekniği kullanıldığında, güçteki maksimum değer PV/T su için 165 W ve PV/T hava soğutma tekniği içinde saat 12:00'de 160,59 W olurken, PV ise 157,62 W olarak gerçekleşmiştir. Su ile soğutma yöntemi ile soğutmasız panele göre maksimum % 4,6'lık bir güç artışı ve hava soğutma ile de % 1,2 oranında bir artış olmuştur.

Şekil 4.10: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (24.9.2022)



Şekil 4.11'de, PV/T su, PV/T hava soğutma yönteminin PV panel elektrik verimliliğine etkisi verilmiştir. PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma yöntemi kullanıldığında, saat 12:00'de elektrik verimliliğinin PV/T su için % 10,11, PV/T hava soğutma tekniği için % 9,84 ve PV için ise % 9,66 olduğu görülmektedir.

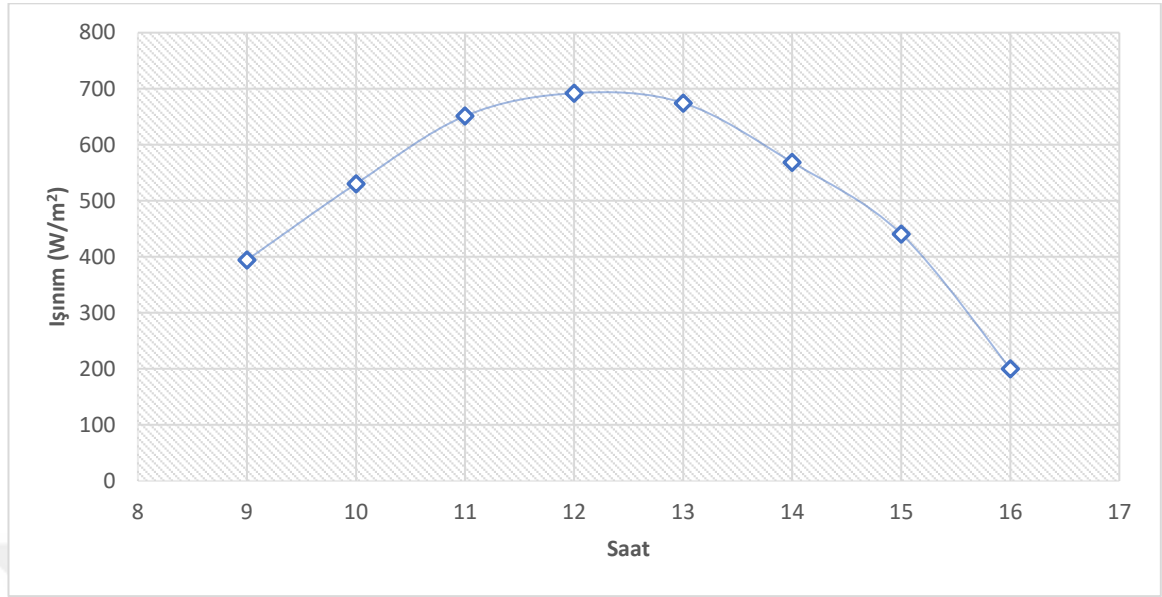
Şekil 4.11: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (24.9.2022)



Soğutmalı ve soğutmasız güneş panelleri için ısı verimlilik oranları; PV/T su için % 47,66, PV/T hava soğutma için ise % 40,6 olduğunu görülmektedir. Toplam verim açısından değerlendirildiğinde ise, PV/T su soğutmalı panel % 57,6 ve PV/T hava soğutmalı panel ise % 50,1 verime sahiptir. Termal enerji oranı; PV/T su için 624,49 W, PV/T hava soğutma için ise 533 W olarak hesaplanmıştır.

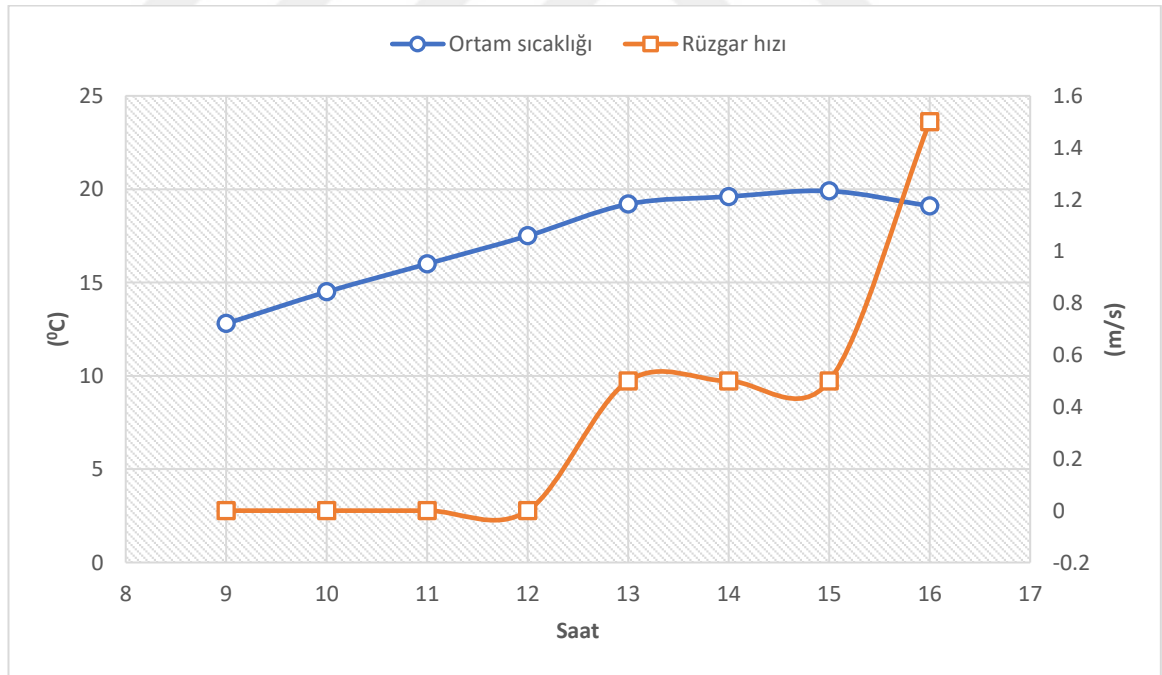
Şekil 4.12'de güneş ışıınım değerinin zamanla değişimi (13.10.2022) verilmiştir. En yüksek ışıınım değeri ($691/9 \text{ W/m}^2$) saat 12:00'de elde edilmiştir. Minimum ışıınım değeri ise saat 16:00'da elde edilmiştir.

Şekil 4.12: Güneş Işınım Değerinin Zamanla Değişimi (13.10.2022)



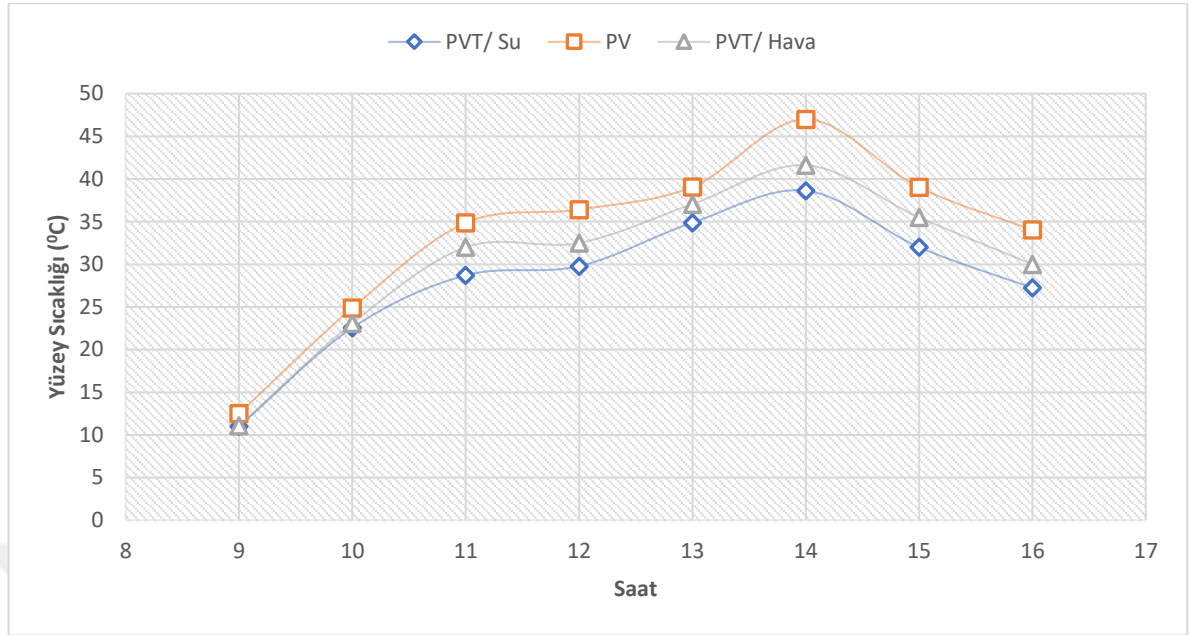
Aynı gün ve saatlere ait ortam sıcaklığı ile rüzgâr hız değişimleri de Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

Şekil 4.13: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlere Göre Değişimi (13.10.2022)



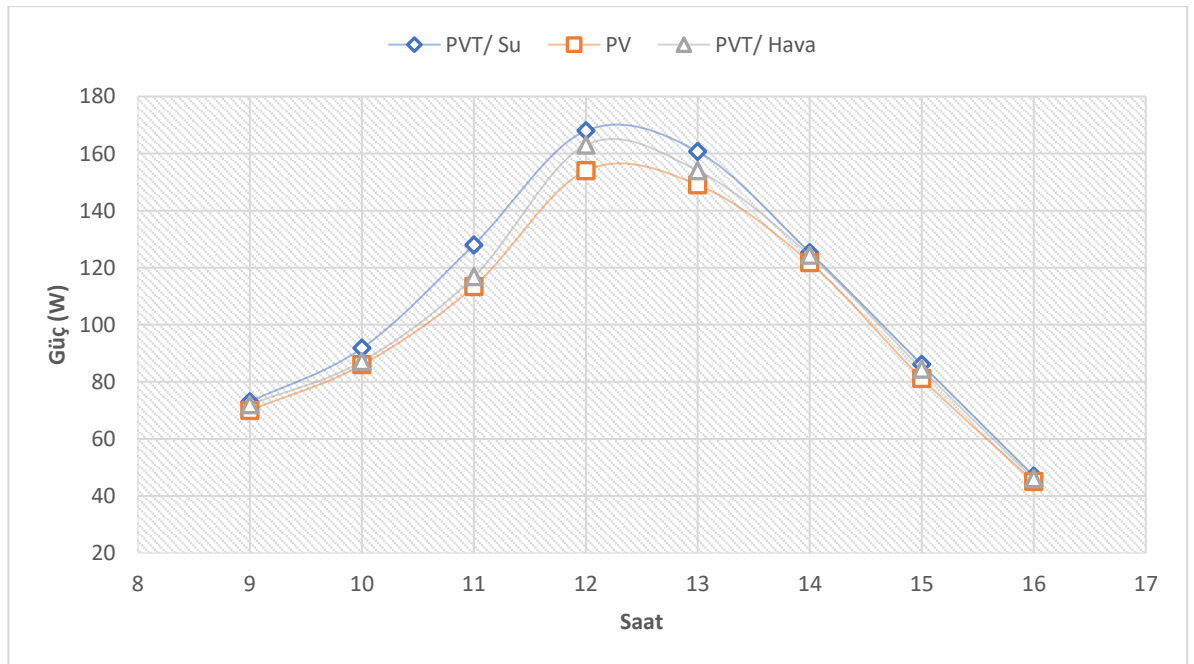
Işınım değerleri (394 - 692) W/m² aralığında ve panel yüzey sıcaklığı değerleri de (11- 47) °C arasında değişmiştir (Şekil 4.14). Saat 14:00'de PV/T su soğutmalı panel yüzey sıcaklığı 38 °C ölçülürken, PV/T hava soğutmalı panelde 41 °C ve soğutmasız panelde ise 47 °C olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.14: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (13.10.2022)



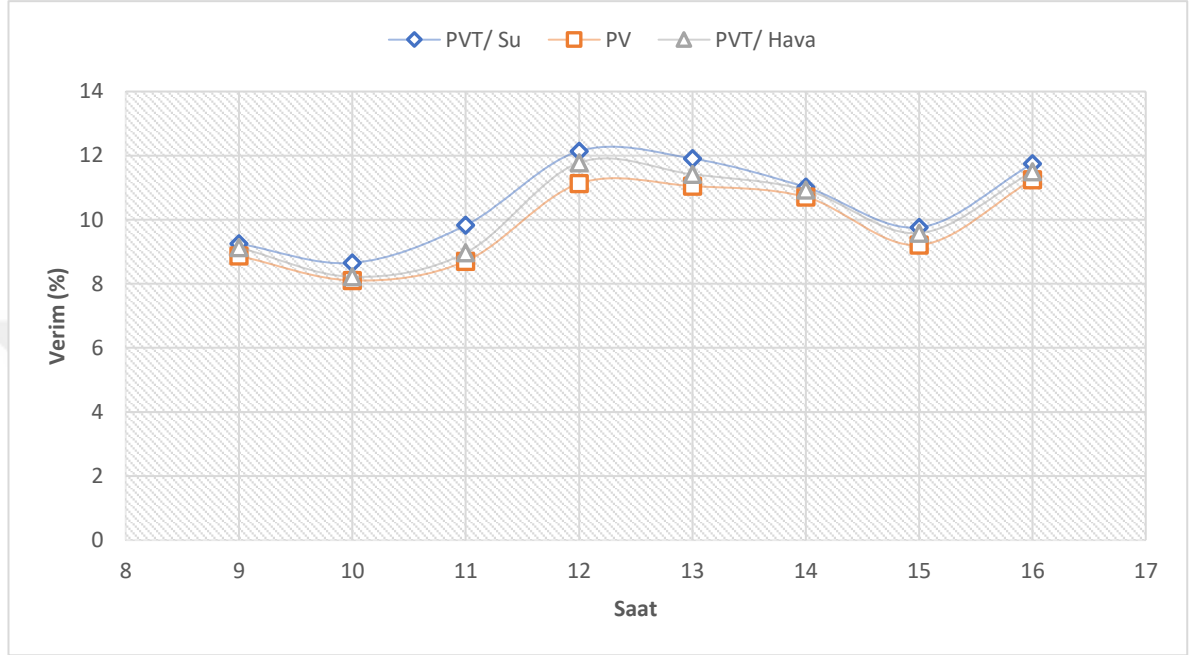
Şekil 4.15'de, PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma tekniği kullanıldığında, güçteki maksimum değer PV/T su için 168 W ve PV/T hava soğutma tekniği içinde saat 12:00'de 165 W olurken, PV ise 154 W olarak gerçekleşmiştir. Su ile soğutma yöntemi ile soğutmasız panele göre maksimum % 9'luk bir güç artışı ve hava soğutma ile de % 7,1 oranında bir artış olmuştur.

Şekil 4.15: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (13.10.2022)



Şekil 4.16'da, PV/T su, PV/T hava soğutma yönteminin PV panel elektrik verimliliğine etkisi verilmiştir. PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma yöntemi kullanıldığında, saat 12:00'de elektrik verimliliğinin PV/T su için % 12,13, PV/T hava soğutma tekniği için % 11,77 ve PV için ise % 11,12 olduğu görülmektedir.

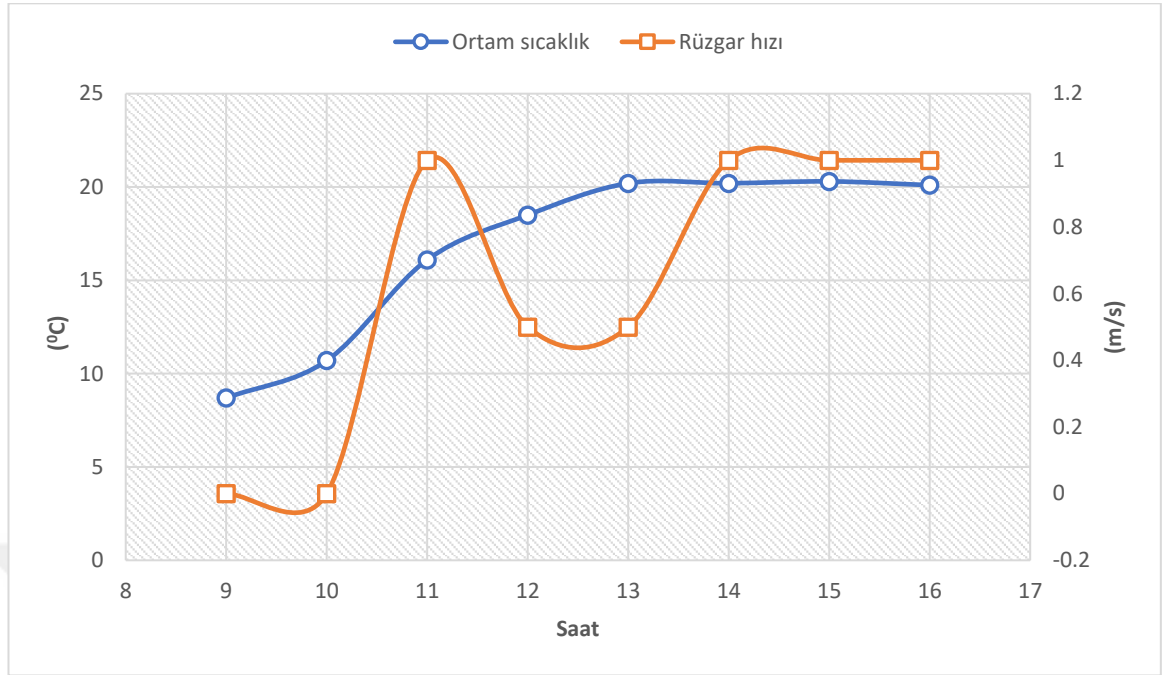
Şekil 4.16: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (13.10.2022)



Soğutmalı ve soğutmasız güneş panelleri için ısı verimlilik oranları; PV/T su için % 58,5, PV/T hava soğutma için ise % 48,78 olduğunu görülmektedir. Toplam verim açısından değerlendirildiğinde ise, PV/T su soğutmalı panel % 69,1 ve PV/T hava soğutmalı panel ise % 49 verime sahiptir. Termal enerji oranı; PV/T su için 608 W, PV/T hava soğutma için ise 506,4 W olarak hesaplanmıştır.

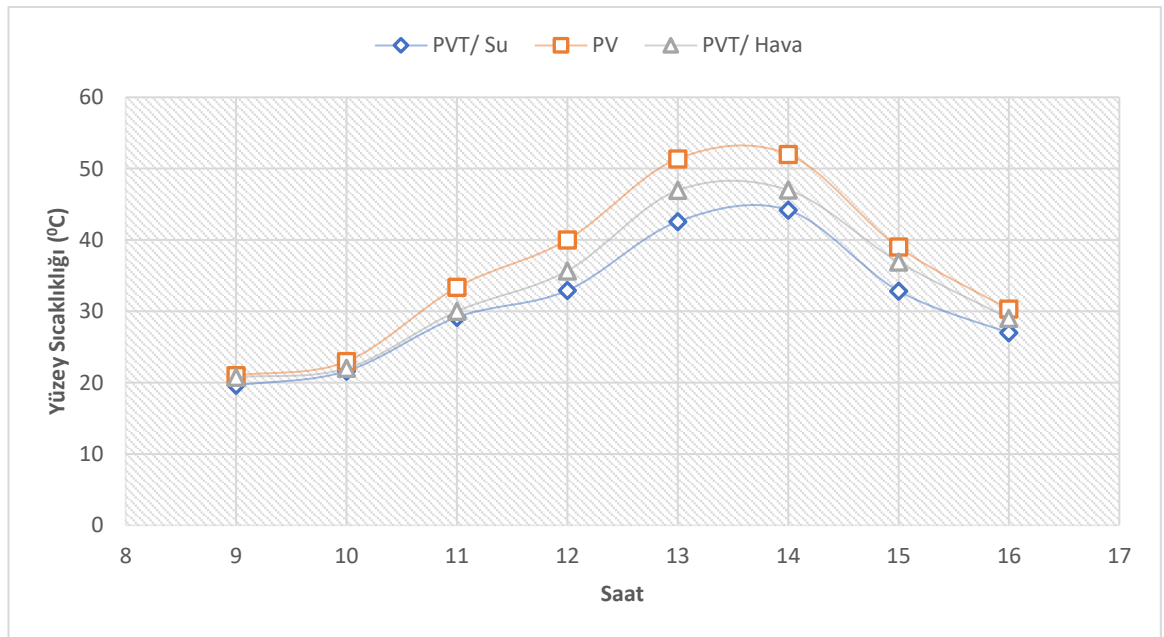
Şekil 4.17'de rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığının (26.10.2022) saatlere göre değişimi gösterilmiştir.

Şekil 4.17: Rüzgâr Hızı ve Ortam Sıcaklığının Saatlara Göre Değişimi (26.10.2022)



Işınım değerleri ($175,6 - 619$) W/m^2 aralığında ve panel yüzey sıcaklığı değerleri de ($19 - 52$) $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir (Şekil 4.19). Saat 14:00'de PV/T su soğutmalı panel yüzey sıcaklığı 44 $^{\circ}\text{C}$ ölçülürken, PV/T hava soğutmalı panelde 47 $^{\circ}\text{C}$ ve soğutmasız panelde ise 52 $^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür.

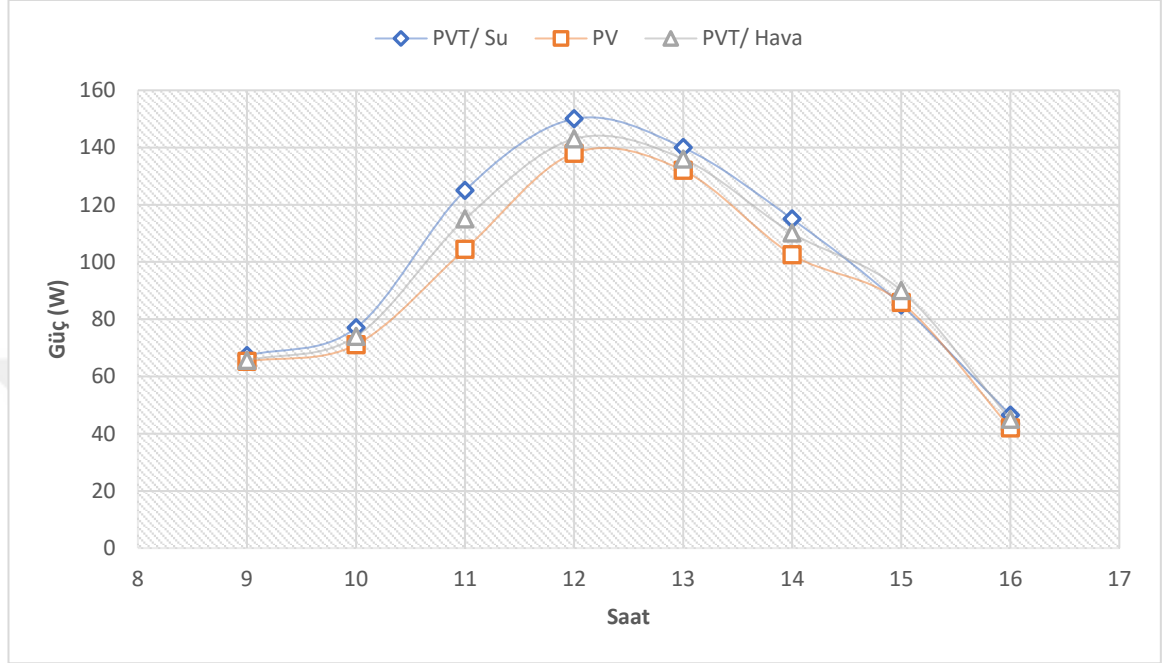
Şekil 4.18: Güneş Panel Yüzey Sıcaklığı Değerlerinin Zamanla Değişimi (26.10.2022)



Şekil 4.20'de, PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma tekniği kullanıldığında, güçteki maksimum değer PV/T su için 150 W ve PV/T hava soğutma tekniği içinde saat

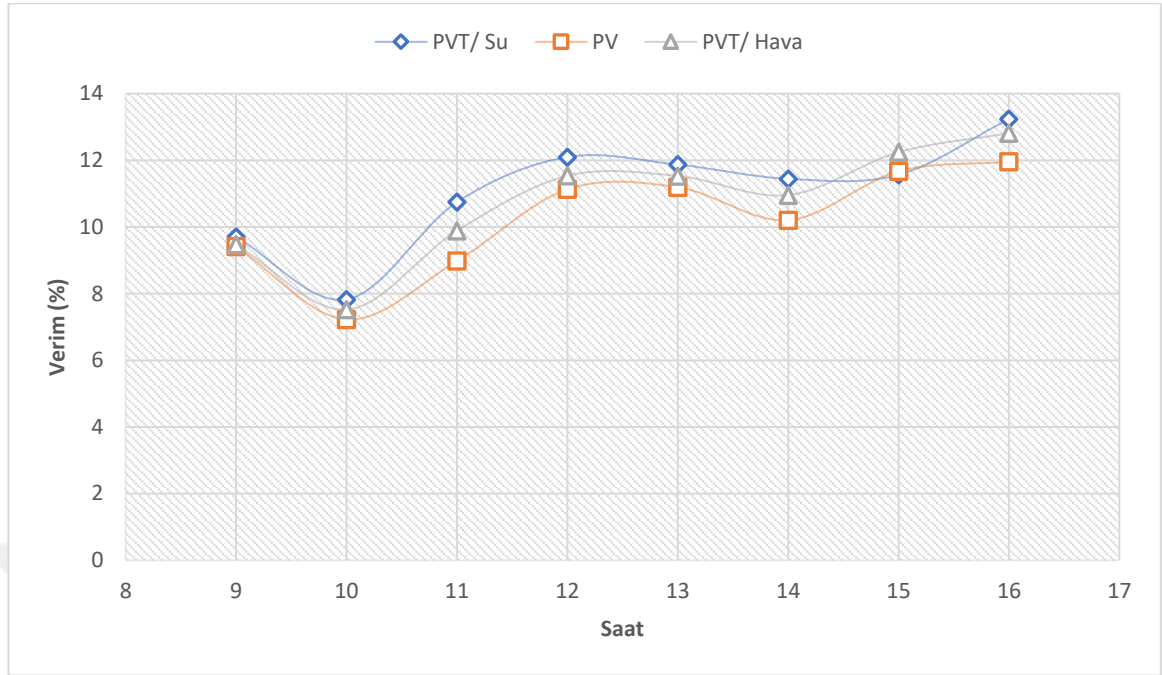
12:00'de 143 W olurken, PV ise 138 W olarak gerçekleşmiştir. Su ile soğutma yöntemi ile soğutmasız panele göre maksimum % 8,7'luk bir güç artışı ve hava soğutma ile de % 3,62 oranında bir artış olmuştur.

Şekil 4.19: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Güç – Zaman Eğrisi (26.10.2022)



Şekil 4.21'de, PV/T su, PV/T hava soğutma yönteminin PV panel elektrik verimliliğine etkisi verilmiştir. PV/T su soğutma ve PV/T hava soğutma yöntemi kullanıldığında, saat 12:00'de elektrik verimliliğinin PV/T su için % 12, PV/T hava soğutma tekniği için % 11,53 ve PV için ise % 11,13 olduğu görülmektedir.

Şekil 4.20: Soğutmalı ve Soğutmasız Panellerde Verim – Zaman Eğrisi (26.10.2022)



Soğutmalı ve soğutmasız güneş panelleri için ısı verimlilik oranları; PV/T su için % 38,29, PV/T hava soğutma için ise % 31,7 olduğunu görülmektedir. Toplam verim açısından değerlendirildiğinde ise, PV/T su soğutmalı panel % 49,29 ve PV/T hava soğutmalı panel ise % 43,23 verime sahiptir. Termal enerji oranı; PV/T su için 351,7 W, PV/T hava soğutma için ise 292,15 W olarak hesaplanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Güneş enerjisi sistemleri, kurulum ve kullanım kolaylığı olmasının yanı sıra çevreyi kirletmemesi ve zararlı atık oluşturmaması gibi özelliklere sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu sistemlerde fotovoltaiik modülün verimliliği; malzeme bileşimine, güneş radyasyon yoğunluğuna, nem ve rüzgâr hızı oranına, ortam ve modül sıcaklığına bağlı olmaktadır. PV sistemlerde verimin düşmesine neden olan etkilerden sıcaklık artışı dışında; gölgeleme kayıpları, tozlanmadan kaynaklanan kayıplar, kablo kayıpları gibi birçok kayıpta bulunmaktadır. Bu kayıplar sistemin toplam verimini de azaltmaktadır. Sıcaklık artışı, modülün performansını en çok etkileyen faktörlerden biridir. Yüksek sıcaklıklar, hücrelerin elektrik üretme kapasitesini azaltmakta ve bu da modül verimini düşürmektedir. Gölgeleme kayıpları, özellikle seri bağlı hücrelerin arasındaki bağlantıları etkileyerek verimi azaltabilmektedir. Tozlanma da modül yüzeyinin ışığı absorbe etme kabiliyetini azaltarak verimi düşürmektedir. Kablo kayıpları ise DC kablolarındaki direnç kayıplarından kaynaklanmakta ve yine verimi azaltmaktadır.

Çevre sıcaklığındaki artışla yüzey sıcaklığının da arttığı ve bu artışın verimi olumsuz etkilediği bu çalışmada yapılan hesaplamalarda da görülmüştür. Bu çalışmada, farklı soğutma yöntemleri ile PV panel verimliliğinin artırılması amaçlanmış ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar da, hem su sirkülasyonlu hem de hava sirkülasyonlu soğutma yönteminin, PV panel çalışma sıcaklığını düşürdüğü ve bu sayede panel verimliliğinde artış sağlandığı görülmüştür. Ayrıca, soğutmasız olarak çalışan monokristal panelin verimliliği de ölçülmüş ve soğutmalı panellere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Soğutularak yüzey sıcaklığı düşürülen paneller, daha yüksek güç üretim verimliliği sergilemiştir.

Ayrıca deney sonuçları incelendiğinde; su sirkülasyonlu soğutma yönteminin hava sirkülasyonlu soğutma yöntemine göre daha verimli olduğu görülmüştür. Su soğutma sistemi ile panellerin sıcaklığı ortalama 7 °C kadar azaltılmış ve bu da panellerin güç üretiminde % 8 ila %12 arasında artış sağlamıştır. Bu sonuçlar, özellikle sıcak iklim bölgelerinde fotovoltaiik panellerin verimliliğini artırmak için su soğutma yönteminin uygulanabileceğini göstermektedir. Bundan sonraki çalışmalarda; daha yüksek verimlilik sağlamak için su soğutma sisteminin tasarım ve uygulamasının iyileştirilmesi, panellerin daha iyi bir şekilde soğutulması ve dolayısıyla daha yüksek güç üretim verimliliği elde edilebilmesi için HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizinin de yapılması önemlidir.

PV panellerin çalışma sıcaklıklarının düşürülmesi, verimliliklerini artırmak için etkili bir yöntemdir. Bu nedenle, soğutma sistemlerinin kullanımı daha yaygın hale getirilmelidir. PV panellerin tasarımında, soğutma sistemlerinin entegrasyonu göz önünde bulundurulmalı ve panellerin sıcaklıklarının düşürülmesine yönelik daha etkili yöntemlerin geliştirilmesi hedeflenmelidir. Bununla birlikte, su soğutma yöntemi kullanımı, bazı ek maliyetler getirebilir. Özellikle, su kaynağına erişim sınırlı olan bölgelerde bu maliyetler daha yüksek olabilir. Bu nedenle, su soğutma yöntemi kullanılacaksa, su tüketimini minimize etmek için etkili stratejiler geliştirilmelidir. Bu stratejiler arasında geri dönüşümlü sistemler ve yağmur suyunun kullanımı gibi çeşitli seçenekler yer alabilir.

Fotovoltaik sistemlerde entegre ısı geri dönüşüm üniteleri (soğutma prosesi) hem elektrik üretim verimliliğini artırmak hem de termal enerji kaynağı olarak kullanılacak sıcak su sağlamak için kullanılabilir. Bu termal enerji kaynağı, evlerde, işletmelerde ve endüstriyel tesislerde ısıtma, sıcak su sağlama ve proses ısısı gibi birçok alanda kullanılabilir. Bu şekilde, elektrik üretiminde artış sağlanırken aynı zamanda enerji tasarrufu ve karbon salınımının azaltılması da mümkündür.

KAYNAKÇA

- Aylık Elektrik Üretim-Tüketim Raporları. (2022). TEİAŞ. Erişim Adresi: <https://www.teias.gov.tr/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>
- Linear fresnel reflector (LFR). (2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/342163823_Linear_Fresnel_Reflector_LFR
- Copper indium gallium diselenide. (2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: https://www.atakale.com.tr/index.php?route=product/product&product_id=112
- Miliozzi, A., & Nicolini, D. (2010). New trends in designing parabolic trough solar concentrators and heat storage concrete systems in solar power plants. *Solar Energy*, 130(5), 268-292.
- Abdo, S., et al. (2020). Cooling solar panels using saturated activated alumina with saline water: Experimental study. *Solar Energy*, 208(1), 345-356.
- Abdollahi, N., & Rahimi, M. (2020). Potential of water natural circulation coupled with nano-enhanced PCM for PV module cooling. *Renewable Energy*, 147(4), 302-309.
- Abdulgafar, S. A., Omar, O. S., & Yousif, K. M. (2014). Improving The efficiency of polycrystalline solar panel via water immersion method. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3297(1), 8127–8132.
- Abidi, A, (2021). Evaluation of thermal, electrical and overall efficiency of an air-cooled solar panel equipped with hexagonal pin-fins. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48(1), 30-40.
- Agyekum, E. B., et al. (2021). Effect of dual surface cooling of solar photovoltaic panel on the efficiency of the module: experimental investigation. *Heliyon*, 7(9), 63-73.
- Ahmad, F. F, et al. (2021). Performance enhancement and infra-red (IR) thermography of solar photovoltaic panel using back cooling from the waste air of building centralized air conditioning system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 24(5), 95-103.
- Ahmed Hasan, I., Saleh kareem, I., & Adil Attar, D. (2019). Effect of evaporative cooling

- combined with heat sink on pv module performance. *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*, 27(2), 252–264.
- Ahmed, O. K., & Mohammed, Z. A. (2017). Influence of porous media on the performance of hybrid PV/Thermal collector. *Renewable Energy*, 112(3), 378–387.
- Amber, K. P, et al. (2021). Experimental performance analysis of two different passive cooling techniques for solar photovoltaic installations. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(3), 2355–2366.
- Arifin, Z. et al. (2020). Numerical and experimental investigation of air cooling for photovoltaic panels using aluminum heat sinks. *International Journal of Photoenergy*, 145(6), 220-229.
- Awad, M. M., Ahmed, O. K., & Ali, O. M. (2022). Performance of Bi-fluid PV/thermal collector integrated with phase change material: Experimental assessment. *Solar Energy*, 235(7), 50–61.
- Ayed, H, et al. (2021). Thermal, efficiency and power output evaluation of pyramid, hexagonal and conical forms as solar panel. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27(8), 100-119.
- Basak, Ö. D. (2014). Effect of components on a solar panel system efficiency. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(29), 7–11.
- Bayrak, F., Ertürk, G., & Oztop, H. F. (2017). Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels. *Journal of Cleaner Production*, 164(5), 58–69.
- Bayrak, F., Oztop, H. F., & Selimefendigil, F. (2019). Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy*, 188(3), 484–494.
- Bayrak, F., Oztop, H. F., & Selimefendigil, F. (2020). Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels. *Energy Conversion and Management*, 212(2), 83-91.
- Boulfaf, N, et al. (2016). Thermal study of hybrid photovoltaic thermal (PV-T) solar air collector using finite element method. *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(1), 171–182.

- Çağırtekin, Ö. (2022). *Fotovoltaik panellerde ısınma kaynaklı kayıpları azaltmak için panel yüzeylerinin farklı tasarımlarla soğutulması ve sonuçların analizi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman.
- Ceylan, İ, et al. (2019). Determination of the heat transfer coefficient of PV panels. *Energy*, 175, 978–985.
- Ömeroğlu, G. (2018). Fotovoltaik-Termal (PV/T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi. *Science and Eng. J of Fırat Univ.*, 30(1), 161–167.
- Egab, K., & Okab, A. (2023, 8-12 October). *Enhancing a solar panel cooling system using an air heat sink with different fin configurations*: In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 671,(1),15- 25, Gothenburg, Sweden.
- Erol, H. (2021). Su Soğutmalı Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 142–148.
- Gardas, B. B., & Tendolkar, M. (2013). Design of cooling system for photovoltaic panel for increasing its electrical efficiency. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 3(1), 65–69.
- Graves, C., Ebbesen, S. D., Mogensen, M., & Lackner, K. S. (2011). Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO₂ and H₂O with renewable or nuclear energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 1–23.
- Hallas, J. M., Karp, J. H., Tremblay, E. J., & Ford, J. E. (2010). Lateral translation micro-tracking of planar micro-optic solar concentrator. *High and Low Concentrator Systems for Solar Electric Applications*, 7769(6), 60-69.
- Solar thermal energy. (2022, 28 Aralık). Erişim Adresi: <http://books-library.net/files/download-pdf-ebooks.org-ku-9619.pdf> ,
- Globalsolaratlas. (2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: <http://globalsolaratlas.info/?c=43.580391,547.734375,2> - Search.
- Solar-panel- monocrystalline. (2022, 29 Aralık), Erişim Adresi: <http://sundisksolar.buy.ecer.com.ru/pz58b4bed-90w-solar-panel-monocrystalline-silicon.html> - Search.
- Günes-paneli.(2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: <https://dipnots.com/2019/03/24/gunes->

paneli-nasil-calisir-gunes-pili- nedir/ - Search.

Solargis.(2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/germany> - Search. <https://www.bing.com/search?q=https%3A%2F%2Fsolargis.com%2Fmaps-and-gis-data%2Fdownload%2Fgermany+&go=Search&q=ds&form=QBRE>

Solargis.(2022, 29 Aralık), Erişim Adresi: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey> - Search. daxlerenergy. (29 Aralık 2022). Erişim Adresi: <https://www.daxlerenergy.com/> - Search. https://www.bing.com/search?q=https%3A%2F%2Fwww.daxlerenergy.com%2F&q=ds&form=QBRE&msbsrank=0_1__0&sp=-1&pq=https%3A%2F%2Fwww.daxlerenergy.com%2F&sc=1-29&sk=&cvid=436F512795B442F89786A700AE47F1B1&ghsh=0&ghacc=0&ghpl=

Gensed. (2022, 1 Mart). Erişim Adresi: <https://www.gensed.org/assets/attachments/dosyalar/Mart-2022-Kurulu-G%C3%BC%C3%A7-Raporu.pdf> -

Improving photovoltaic panel efficiency by cooling... - Google Scholar. (2022, 27 Aralık). Erişim Adresi: <https://scholar.google.com/scholar>

Indartono, Y. S., Suwono, A., & Pratama, F. Y. (2016). Improving photovoltaics performance by using yellow petroleum jelly as phase change material. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 11(3), 333–337.

Irwan, Y. M., et al. (2015). Analysis air cooling mechanism for photovoltaic panel by solar simulator. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 5(4), 636–643.

İsrail dünyanın en uzun güneş kulesini inşa ediyor - aydınlatma portalı. (2022, 29 Aralık), Erişim Adresi: <https://www.aydinlatma.org/israil-dunyanin-en-uzun-gunes-kulesini-insa-ediyor.html>

Kabul, A., ve Yaşar, E. (2017). Fotovoltaik/Termal (pv/t) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi. *SDU International Journal of Technological Science*, 9(1), 17–32.

Kane, A., & Verma, V. (2013). Performance enhancement of building integrated photovoltaic module using thermoelectric cooling. *International Journal of*

Renewable Energy Research, 3(2), 320–324.

Karp, J. H., & Ford, J. E. (2008). Multiband solar concentrator using transmissive dichroic beamsplitting. *High and Low Concentration for Solar Electric Applications III*, 7043(31) 81-88.

Karp, J. H., Tremblay, E. J., & Ford, J. E. (2010). Planar micro-optic solar concentrator. *18*(2), 1122-1133.

Kasim, N. K., & Atwan, A. F. (2017). *Improvement of PV/Thermal Solar System Via a Water cooling* (Unpublished Doctoral Thesis), Al-Mustansiriyah University, Iraq

Laseinde, O. T., & Ramere, M. D. (2021). Efficiency improvement in polycrystalline solar panel using thermal control water spraying cooling. *Procedia Computer Science*, 180, 239–248.

Le panneau solaire monocristallin en 10 points. (2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: <https://www.jade-technologie.com/panneau-solaire-polycristallin-2/>

Li, D., King, M., Dooner, M., Guo, S., & Wang, J. (2021). Study on the cleaning and cooling of solar photovoltaic panels using compressed airflow. *Solar Energy*, 221(5), 433–444.

Rajvikram, M., et al. (2019). Experimental investigation on the abasement of operating temperature in solar photovoltaic panel using PCM and aluminium. *Solar Energy*, 188(8), 327–338.

Machniewicz, A., Knera, D., & Heim, D. (2015). Effect of transition temperature on efficiency of PV/PCM panels. *Energy Procedia*, 78(9), 1684–1689.

Mini-channel cooling of a photovoltaic cell mini-channel. (2022, 28 Aralık), Erişim Adresi: https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Mini-Channel+Cooling+of+a+Photovoltaic+Cell+Mini-Channel+Cooling+of+a+Photovoltaic+Cell.+International+Journal+of+Multidisciplinary+Studies+and+Innovative+Technologies&btnG=

Mohammed, F. M., Mohammed, J. A.-K., & Sanad, M. A.-S. (2019). Performance enhancement of photovoltaic panel using double-sides water glazing chambers cooling technique. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 22(1), 22–30.

O'Neill, M. J. (2004). 1,000 W/kg Solar Concentrator Arrays for Far-Term Space

Missions. *aip.scitation.org*, 699(1) 875–882.

Özmen, B. N. (2022). *Fotovoltaik güç sistemlerinde termoelektrik etki ve verim* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Pmukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Palumbo, A. (2013). *Design and analysis of cooling methods for solar panels* (Unpublished Master's Thesis), Youngstown State University, United States.

Paneru, G. R. (2016). *GIS-based identification of potential sites for installing solar energy collection plants in kathmandu valley* (Unpublished Master's Thesis), University of Salzburg, Austria.

parabolik oluk kollektörler - shoptr4.gwmm.org. (2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: adresinden erişildi [https://shoptr4.gwmm.org/category?name=parabolik oluk kollektörler](https://shoptr4.gwmm.org/category?name=parabolik%20oluk%20kollektörler)

Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., & Liu, Y. (2017). Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*, 150(11), 949–955.

Piotrowski, L. J., Simões, M. G., & Farret, F. A. (2020). Feasibility of water-cooled photovoltaic panels under the efficiency and durability aspects. *Solar Energy*, 207(6), 103–109.

PVT-Warmtepomppaneel M3 375L - Triple Solar. (2022, 29 Aralık). Erişim Adresi: <https://triplesolar.eu/winkel/product/pvt-paneel-3m3-375l/>

Rizk, J., & Chaiko, Y. (2008). Solar tracking system: more efficient use of solar panels. *proceedings of world academy of science: Engineering & Technology*, 43(8), 313–315.

Saadoon, M., Hasan, I., & Mohammed, M. (2021). Preparing nanofluids (Al₂O₃) for enhancement performance of photovoltaic. *Engineering and Technology Journal*, 39(9), 1445–1453.

Sabri, L., & Benzirar, M. (2014). Effect of ambient conditions on thermal properties of photovoltaic cells: crystalline and amorphous silicon. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(12), 17815–17821.

- Salehi, R., et al. (2021). Evaluation of solar panel cooling systems using anodized heat sink equipped with thermoelectric module through the parameters of temperature, power and efficiency. *Energy Conversion and Management: X*(11), 100-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100102>
- Şen, İ. E. (2019). *Fotovoltaik panellerde faz değıştiren madde kullanımının verim üzerine etkisinin deneysel olarak araştırılması*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Siahkamari, L., et al. (2019). Experimental investigation on using a novel phase change material (PCM) in micro structure photovoltaic cooling system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 100(8), 60–66.
- Singh, K., Singh, S., Kandpal, D. C., & Kumar, R. (2020). Experimental performance study of photovoltaic solar panel with and without water circulation. *Materials Today: Proceedings*, 46(7), 6822–6827.
- Stalin, P. M. J., Prasad, K. S., Kumar, K. P., Hemadri, G., Rajesh, M., & Kumar, K. P. (2021). Performance improvement of solar PV through the thermal management using a nano-PCM. *Materials Today: Proceedings*, 50(3), 1553–1558.
- Stropanik, R., & Stritih, U. (2016). Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM. *Renewable Energy*, 97(9), 671–679.
- Thomas, R. (2001). *Photovoltaics and Architecture* (1st Edition). London: Taylor & Francis.
- Tripanagnostopoulos, Y. (2007). Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems. *Solar Energy*, 81(9), 1117–1131.
- Üçgöl, İ., vd. (2020). Parabolik oluk yoğunlaştırmacı sistemlerin isparta organize sanayi bölgesinde kullanımı. *Yekarum*, 4(2), 40-48.
- Soteris, A. Kalogirou. (2014). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, (2nd Edition). United States of America: Academic Press.

DİZİN**-A-**

Akü, ix, xi, 42, 43

-G-

Güneş enerjisi, v, 1, 11, 13, 14, 20, 23, 24, 67

Güneş paneli, 8, 14, 16, 24, 39, 40, 41, 43

-H-

Hava, viii, xi, 4, 22, 23, 24, 38, 39, 40, 47

-I-

Invertor, viii, 41

-S-

Sıcaklık, ix, x, xi, xiii, 46, 49, 67

Su, viii, xi, 2, 3, 14, 22, 38, 39, 54, 58, 61, 65, 67, 71

-Ş-

Şarj, ix, xi, 43

-T-

Testo, ix, x, xi, 40, 44, 45, 46, 47, 48, 49