



**HAVA SOĞUTMALI, ISI DEPOLAMALI  
FOTOVOLTAİK TERMAL KOLEKTÖR (PV/T)  
TASARIMI VE ANALİZİ**

**2023  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Oumalkaire YASSIN AHMED**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**HAVA SOĞUTMALI, ISI DEPOLAMALI FOTOVOLTAİK TERMAL  
KOLEKTÖR (PV/T) TASARIMI VE ANALİZİ**

**Oumalkaire YASSIN AHMED**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**T.C.**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Ekim 2023**

Oumalkaire YASSIN AHMED tarafından hazırlanan “HAVA SOĞUTMALI, ISI DEPOLAMALI FOTOVOLTAİK TERMAL KOLEKTÖR (PV/T) TASARIMI VE ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ .....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/10/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Alper ERGÜN (KBÜ) .....

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Onur KARAAĞAÇ (SÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Oumalkaire YASSIN AHMED

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **HAVA SOĞUTMALI, ISI DEPOLAMALI FOTOVOLTAİK TERMAL KOLEKTÖR (PV/T) TASARIMI VE ANALİZİ**

**Oumalkaire YASSIN AHMED**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**Ekim 2023, 60 sayfa**

Fotovoltaik modül içindeki ısı artışı, fotovoltaik güneş panellerinin performansındaki düşüşün ana nedenlerinden sayılabilir. Bu sıcaklık artışını düşürerek, modüllerde elektriksel verim kaybını önlemek ve termal enerji kazanımı sağlamak Fotovoltaik/termal (PV/T) paneller ile mümkün olmaktadır. Günümüzde fotovoltaik panellerde elektriksel verimliliği artırmaya, termal enerji kazanımları elde etmeye ve farklı proseslerde kullanımına yönelik çok sayıda çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada sıcak proses (kurutma, ısıtma vb.) havası elde etmeye yönelik hava soğutmalı, ısı depolamalı, hava ısıtıcı destekli fotovoltaik/termal (PV/T) sistem tasarlanarak deneysel olarak incelenmiştir. Tasarlanan deneysel sistemde polikristal yapılı 20 W gücünde (PV) panel ve cam kaplamalı su kanallı hava ısıtıcı kolektörü kullanılmıştır. Sistemde farklı günlerde ve ışınım değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen analiz sonuçlarına göre, PV/T ve PV sistemleri için en yüksek sıcaklıklar ortalama  $696,35 \text{ W/m}^2$  ışınımı değerine sahip

birinci günde elde edilmiştir. PV/T panel için, ortalama hava giriş ve çıkış sıcaklıkları sırasıyla 37,46 °C ve 46,82 °C olarak bulunmuştur. PV'nin ortalama arka yüzey sıcaklığı 58,24°C bulunurken, PV/T ortalama arka yüzey sıcaklığı 52,56 °C bulunmuştur. Bu sıcaklık değerlerinde, her bir panel tarafından üretilen ortalama en yüksek elektrik gücü ve verimlilik değerleri sırasıyla; PV panel için 9,82 W, %11,52 ve PV/T panel için 10,32 W, %12,13'tür. Sistemde PV/T panel ve hava ısıtıcı kolektör tarafından üretilen ortalama termal güçler ve termal verim değerleri en yüksek sırasıyla; 40,96W, %48,80 ve 62,68W, %39,97 olarak belirlenmiştir. Sisteme giren ve çıkan enerji miktarlarına göre hesaplanan genel verim değerlerinde en yüksek ortalama verim değeri üçüncü günde % 45,38 olarak bulunmuştur. Sistemde hesaplanan üç günlük genel verim ortalama değeri %39,03 olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Güneş Enerji, Havalı kolektörler, Fotovoltaik Termal Sistemler.

**Bilim Kodu** : 92802

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **AIR COOLED, HEAT STORAGE PHOTOVOLTAIC THERMAL COLLECTOR (PVT) DESIGN AND ANALYSIS**

**Oumalkaire YASSIN AHMED**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Energy Systems Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Sezayi YILMAZ**

**October 2023, 60 pages**

Heat increase inside the photovoltaic module can be considered one of the main reasons for the decrease in the performance of photovoltaic solar panels. By reducing this temperature increase, preventing electrical efficiency loss in modules and gaining thermal energy is possible with Photovoltaic/thermal (PV/T) panels. Today, there are many studies on increasing electrical efficiency in photovoltaic panels, obtaining thermal energy gains and using them in different processes. In this study, an air-cooled, heat-storing, air heater-supported photovoltaic/thermal (PV/T) system to obtain hot process (drying, heating, etc.) air was designed and experimentally examined. In the designed experimental system, a polycrystalline 20 W power (PV) panel and a glass-coated water channel air heater collector were used. Experiments were carried out in the system on different days and radiation values. According to the analysis results obtained from the experiments, the highest temperatures for PV/T and PV systems were obtained on the first day with an average radiation value of

696,35 W/m<sup>2</sup>. For the PV/T panel, average air inlet and outlet temperatures were found to be 37,46°C and 46,82 °C, respectively. While the average back surface temperature of PV was found to be 58,24°C, the average back surface temperature of PV/T was found to be 52,56°C. At these temperature values, the average highest electrical power and efficiency values produced by each panel are respectively; For PV panel it is 9,82 W, 11,52% and for PV/T panel it is 10,32 W, 12,13%. Average thermal powers and thermal efficiency values produced by the PV/T panel and air heater collector in the system, in the highest order; 40,96W is determined as 48,80% and 62,68W is determined as 39,97%. In the general efficiency values calculated according to the amount of energy entering and leaving the system, the highest average efficiency value was found to be 45,38% on the third day. The three-day general efficiency average value calculated in the system was determined as 39,03%.

**Key Word** : Solar Energy, Air collectors, Photovoltaic Thermal Systems.

**Science Code** : 92802



## TEŞEKKÜR

Bu tez, çok çaba gerektiren amansız bir araştırma çalışmasının sonucudur. Öncelikle bu mütevazı çalışmayı başarabilmem için bana güç ve sabır veren yüce ALLAH'a Őükretmek isterim. Ardından, danışmanım Prof. Dr. Sezayi Yılmaz'a nezaketi, anlayışı ve bunları gerekleştirmemdeki sabrı için teşekkür ederim. Bana hayat veren, yüksek lisans çalışmalarına devam etmem için bana motivasyon veren, eğitimim boyunca beni maddi ve manevi destekleyen kişiye, sevgili annem Nima Toubeh Eigueh'e en içten ve derin teŐekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam boyunca beni motive eden ve destekleyen tüm aileme de unutmadan teşekkür ederim. Ayrıca çalışmamda yardımcı olan Dr. Öğretim üyesi Batıkan Erdem Demir'e de teŐekkürlerimi sunarım. Son olarak, çalışmamın gerçekleşmesinde doğrudan veya dolaylı olarak emeği geçen ve tamamlanmasına katkı sağlayan herkese teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
LİTERATÜR TARAMASI.....	6
BÖLÜM 3 .....	11
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ANALİZİ VE ÖZELLİKLERİ .....	11
3.1. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ .....	11
3.1.1. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli.....	11
3.2. PV GÜNEŞ PİLİNİN TANIMI.....	12
3.3. FOTOVOLTAİK HÜCRENİN ÇALIŞMA PRENSİBİ .....	13
3.4. SICAKLIĞIN FOTOVOLTAİK (PV) PANEL VERİMİNE ETKİSİ.....	14
3.5. GÜNEŞ HÜCRELERİ VE ÇEŞİTLERİ .....	15
3.5.1. Monokristal Fotovoltaik (PV) Panel.....	15
3.5.2. Polikristal Fotovoltaik (PV) Panel.....	16
3.5.3 Amorf Fotovoltaik Panel .....	17
3.6. FOTOVOLTAİK SİSTEM TÜRLERİ.....	17
3.6.1. Şebekeye Bağlı Sistemleri .....	17
3.6.2. Şebekeye Bağımsız Sistemleri.....	18

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.7. PV-T SİSTEMLER .....	19
3.8. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ .....	22
3.8.1. Isıl Enerjisinin Depolaması.....	22
3.8.2. Duyulur Isı Depolaması.....	22
3.8.2.1.Sıvı Bazlı Duyulur Isı Depolama Maddeleri .....	22
BÖLÜM 4 .....	25
MATERYAL VE YÖNTEM .....	25
4.1. ARAŞTIRMA YERİNİN TANITIMI VE ÖZELLİKLERİ.....	25
4.2. DENEY SİSTEMİ.....	25
4.3. KULLANILAN EKİPMAN VE İŞLEM ADIMLARI .....	28
4.3.1. Yalın Panel.....	28
4.3.2. Hava Soğutmalı (PV/T) Fotovoltaik Termal Panel Tasarımı .....	29
4.3.3. Su Ceketli Isı Depolamalı Hava Isıtma Kolektörü Tasarım ve İmalatı ..	29
4.4. ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖZELLİKLERİ .....	30
4.4.1. Sıcaklık ölçüm cihazı .....	30
4.4.2. Işınım Ölçer (Piranometre) .....	31
4.4.3. Sistemde Kullanılan Hava Fanları ve özellikleri .....	32
4.4.4. Arduino Mega R2560 .....	33
4.4.5. DS18B20 Sıcaklık Sensörü.....	33
4.4.6. Direnç .....	34
4.4.7. Güç Kaynağı .....	34
4.5. METOT .....	35
4.5.1. Teorik Analiz .....	36
BÖLÜM 5 .....	41
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	41
BÖLÜM 6 .....	55
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	55
KAYNAKLAR .....	57
ÖZGEÇMİŞ .....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye'nin ok yönünde gelişim göstermesi hedeflenmektedir.....	3
Şekil 3.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası .	12
Şekil 3.2. PV hücre, modül, panel ve dizisi .....	13
Şekil 3.3. Güneş hücresinin yapısı ve çalışma prensibi .....	14
Şekil 3.4. 25 - 45°C sıcaklıkta ve 500 -1600 W/m <sup>2</sup> güneş ışınımında iki I-V grafiği .....	15
Şekil 3.5. Monokristal fotovoltaiik (PV) panel .....	16
Şekil 3.6. Polikristal fotovoltaiik (PV) panel .....	16
Şekil 3.7. Amorf fotovoltaiik panel .....	17
Şekil 3.8. Şebeke bağımlı sistemler.....	18
Şekil 3.9. Şebekeye bağımsız sistemleri .....	18
Şekil 3.11. Havalı PV/T kolektörünün sistemi. ....	20
Şekil 3.12. PV/T sıvı kolektörünün sistemi. ....	20
Şekil 3.13. Isı borulu PV/T sistemi. ....	21
Şekil 3.14. PV/T-FDM kolektörünün sistemi. ....	21
Şekil 4.1. Hava soğutmalı, ısı depolamalı fotovoltaiik termal kolektör (PV/T) sistemi. ....	26
Şekil 4.2. Deney sisteminin elemanları ve akış şeması.....	27
Şekil 4.3. Deney sisteminin yerleştirme eğim açısı (yan görünüş) .....	27
Şekil 4.4. Deney düzeneği montaj resimleri; a) ön görünüş, b) arka görünüş, c) yan görünüş.....	28
Şekil 4.5. PV/T İmalatı ve termal macun. ....	29
Şekil 4.6. Hava ısıtıcı kolektörü. ....	30
Şekil 4.7. Sıcaklık ölçer ve K tipi Termokupl (picotech 8).....	30
Şekil 4.8. Güneş ışınımını ölçer (piranometre). ....	31
Şekil 4.9. Hava Fanları; a) Hava Isıtıcı Fanı, b) Direnç soğutma fanı. ....	33
Şekil 4.10. Arduino Mega R2560. ....	33
Şekil 4.11. Sıcaklık sensörü (Sonoff).....	34
Şekil 4.12. Dirençler ve soğutucu bağlantıları.....	34
Şekil 4.13. Güç kaynağı. ....	35

## Sayfa

Şekil 5.1. Zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınımının değişimi (5 Ağustos). ....	41
Şekil 5.2. Elektrik güç ve verimliliğin zamana göre değişimi. ....	42
Şekil 5.3. Termal güç ve verimlilik değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.....	43
Şekil 5.4. Toplam genel verim ve güneş ışınımının değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi. ....	44
Şekil 5.5. Zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınımının değişimi (7 ağustos). ....	45
Şekil 5.6. Elektrik güç ve verimliliğin zamana göre değişimi. ....	46
Şekil 5.7. Termal güç ve verimlilik değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.....	47
Şekil 5.8. Toplam genel verim ve güneş ışınımının değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi. ....	48
Şekil 5.9. Zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınımının değişimi (8 Ağustos). ....	49
Şekil 5.10. Elektrik güç ve verimliliğin zamana göre değişimi. ....	50
Şekil 5.11. Termal güç ve verimlilik değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi. ....	51
Şekil 5.12. Toplam genel verim ve güneş ışınımının değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi. ....	52
Şekil 5.13. Sistemde ışıma ve zamana bağlı ısı depolamanın etkisi (5 Ağustos). ..	53
Şekil 5.14. Zamanın bir fonksiyonu olarak depolanan ısı enerjisi kazanımı (5 Ağustos). ....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Duyulur ısı depolamada kullanılan materyallerin termofiziksel özellikleri. ....	24
Çizelge 4.1. Sistemde kullanılan PV panellerin teknik özellikleri.....	29
Çizelge 4.2. ISO MS-602 marka piranometre ölçer teknik özellikleri. ....	32

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\dot{Q}_{t,pv/t}$	: PV/T'den elde edilen termal güç (W)
$\dot{Q}_e$	: Elde edilen elektriksel güç (W)
$\dot{Q}_{t,hi}$	: Hava ısıtıcıdan elde edilen termal güç (W)
$\dot{Q}_{t,toplam}$	: Toplam termal güç (W)
$\dot{Q}_{S,toplam}$	: Sistemden alınan toplam güç (W)
$\dot{Q}_{S,giren}$	: Sistemden giren enerji (W)
F	: Fan
$\dot{W}_F$	: Fan elektriksel gücü (W)
$T_d$	: Dış hava sıcaklığı (°C)
$T_{ç1}$	: PV/T hava çıkış sıcaklığı (°C)
$T_{ç2}$	: Isıtıcı hava çıkış (°C)
$T_g$	: PV/T'ye giren havanın sıcaklığı (°C)
R	: Direnç
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
$\eta_e$	: Elektriksel verim (%)
$\eta_{t,pv/t}$	: PV/T Termal verimi (%)
$\eta_{t,hi}$	: Hava ısıtıcı Termal verimi (%)
$\eta_{t,toplam}$	: Toplam termal verim (%)
$\eta_{S,genel}$	: Sistem genel verimi (%)
$I_g$	: Güneş Işınımı (W/m <sup>2</sup> )
A	: Yüzey alan (m <sup>2</sup> )
$A_{toplam}$	: Toplam alan (PV,PV/T,HI) (m <sup>2</sup> )
I	: Akım (I)
V	: Gerilim (V)
$\Delta t$	: Sıcaklık farkı (K, °C)
$C_p$	: Özgül ısınma ısısı (kJ/kgK)

T : Zaman(sn)

## **KISALTMALAR**

AB : Avrupa Birliği

CdTe : Kadmiyum Tellür

CIGS : Bakır-indiyum galym salenoid

CIS : Bakır-indiyum solenoid

DC : Doğru Akım

FDM : Faz değiştiren malzemelere

GSYH : Gayrisafi Yurt İçi Hasıla

OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik  
Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)

PV : Fotovoltaik panel

PV/T : Fotovoltaik-Termal/ panel

SAGP : Satın Alma Gücü Paritesi

SCHI : Su Ceketli Hava Isıtıcı Panel

HI : Hava Isıtıcı



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Binlerce yıldır dünyanın enerji üretimi fosil enerji kaynakları tarafından güvence altına alınmış, üretilmiş ve hala da üretilmeye devam etmektedir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenen kaynaklar olması, maliyetlerinin artması, çevre sorunları vb. dezavantajlarından dolayı ülkeler için, yıllar geçtikçe yenilenebilir enerji kaynakları enerji talebini karşılamak için giderek daha önemli hale gelmiştir. Enerji, gelişmekte olan ülkelerin sosyo-ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji, güneş, rüzgâr, topraktan gelen ısı, su veya biyokütle gibi doğal kaynaklardan elde edilen, çevreyi kirletmeyen ve çevre dostu enerjidir. Yenilenebilir enerjiler güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik ve biyokütle gibi birçok teknolojik alanı içermektedir.

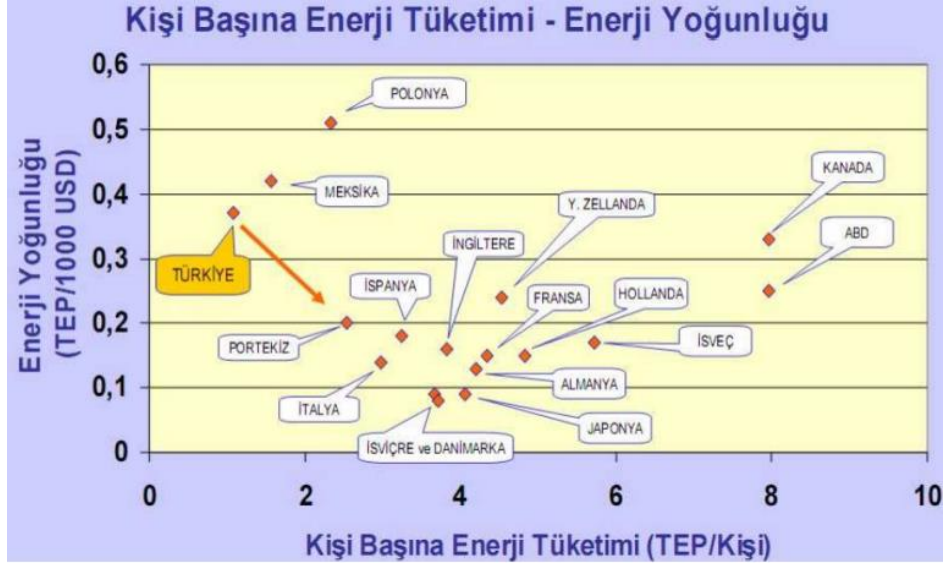
Bildiğimiz gibi güneş enerjisi, güneş radyasyonunun iki farklı enerji biçimine dönüştürülmesinden elde edilir: Bir evin veya bir endüstrinin elektrik ve ısı ihtiyacını karşılayabilen elektrik ve ısı. Şubat 2023 itibarıyla Türkiye'de güneş enerjisi kurulu gücü 9.690MW'tır. Rüzgâr enerjisi, atmosferdeki rüzgarın elektrik enerjisine dönüştürülmesidir ve çevreyi kirletmeyen temiz bir enerjidir. Rüzgar enerjisinin kurulu gücü Şubat 2023'te 11.405 MW idi. Biyokütle, enerjiye dönüştürülebilen tüm organik maddeleri ifade eder. Biyokütle enerjisi neredeyse hiç kirletici madde yaymaz ve sera etkisi üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Biyokütle enerjisi kurulu gücü 2023 yılında 2.347 MW. Jeotermal enerji, elektrik ve ısı üretmek için dünyanın doğal ısını kullanan bir yenilenebilir enerji şeklidir. 2023 Şubat ayında ise jeotermal enerji kurulu gücü 1.691MW olmuştur [1].

Fosil enerjisi, yeraltındaki organik maddenin milyonlarca yıl boyunca dönüşümünden oluşur. Bu enerji esas olarak karbonlu bileşenlerin depolanmasıdır. Farklı fosil yakıt türleri petrol, kömür ve doğal gazdır. Fosil enerjiler yenilenemeyen

enerjilerdir ve yıllar geçtikçe daha sınırlı hale gelmektedir. Bu enerji çevre için zararlı ve kirleticidir. Bu nedenle sınırsız ve kolayca dönüştürülebilen yenilenebilir enerjilerin aksine sera gazı emisyonları üretir.

Dünyada bütün ülkeler kişi başına düşen milli gelirlerini artırmak için farklı uygulamalar ve politikalar geliştirmektedir. Bu uygulamaların temelinde de enerji kaynaklarına sahip olabilme ve bu enerji kaynaklarını verimli kullanarak, enerji yoğunluklarını düşürebilmeyi hedeflemektedir. Enerji kaynakları açısından değerlendirildiğinde enerji yoğunluğu, belirli bir sistemin birim hacmi başına depolanan enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Genel olarak, sadece mevcut olan veya elde edilebilen enerji miktarı dikkate alınır. Birim hacim başına enerji, yakıtlar için faydalı bir parametredir. Örneğin, hidrojen yakıtını benzinle karşılaştırsak, hidrojen daha yüksek bir özgül enerjiye ancak daha düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir.

Ülkeler ekonomileri açısından değerlendirildiğinde “enerji yoğunluğu” “enerji verimliliğinin” yaygın bir ölçüsü olarak tanımlanır. Enerji yoğunluğu, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm Dünya’da kullanılan bir göstergedir. Genellikle 1000 \$’lık hasıla için tüketilen TEP (ton petrol eşdeğeri) miktarı, uluslararası yayınlarda enerji yoğunluğu göstergesi olarak tercih edilmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin ok yönünde gelişim göstermesi hedeflenmektedir [2].

Grafiğe göre enerji yoğunluğu, farklı ülkelerde kişi başına düşen enerji tüketiminin bir fonksiyonu olarak ifade ediliyor. Türkiye, enerji yoğunluğu daha düşük ve enerji tüketimi daha önemli olan diğer ülkelerden farklı olarak 0,38 TEP/1000 USD enerji yoğunluğuna ve 1 TEP/kişi enerji tüketimine sahiptir.

Güneş enerjisi, fosil kökenli yakıtların tükenmesi, maliyetleri ve çevresel etkileri dikkate alındığında gelecek yüzyılın en önemli enerji kaynağı olarak görülmektedir. Güneş enerjisinden çeşitli şekillerde yararlanılmaktadır. Bunlar direkt elektrik üretimi ve ısısından yararlanma olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş enerjisi ısısından düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak yararlanılabilir. Günümüzde kullanım sıcak suyu, havuz ve sera ısıtması gibi düşük sıcaklık uygulamalarında, düzlemsel, vakum borulu, ısı borulu ve değişik yapıda havalı kolektörler sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik (PV) panellerin kullanımı son derece yaygın hale gelmiştir. Fotovoltaik (PV) panellerin elektriksel verimleri kullanılan panel çeşidine göre yaklaşık %15 ila %25 arasında değişim göstermektedir. Fotovoltaik (PV) paneller üzerine düşen güneş ışınımının büyük bir bölümü ise ısı enerjisi olarak depolanmakta ve bu ısı enerjisi PV'lerde elektriksel enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu ısıdan oluşan elektriksel enerji kayıplarını PV modül elemanına zarar vermeden önlemek ve yararlı ısı enerjisi olarak değerlendirmek mümkündür. Bu şekilde tasarlanan ve kullanılan fotovoltaik (PV) modüller Fotovoltaik/Termal (PV/T) sistemlerdir. PV/T sistemlerin tasarım şekillerine göre su,

hava, ısı borulu, ısı pompalı, soğutmalı, odaklamalı (CPV/T) vb. birçok uygulaması mevcuttur. Fotovoltaik paneller (PV) günümüzde elektrik enerjisi üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lokal ve endüstriyel uygulamalarda, aynı anda ısı ve elektrik ihtiyacının olduğu tesislerde kullanımı son derece avantajlı olan PV/T sistemler kullanılabilir. Böylece sistem toplam verimlerinin artırılması ve maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olabilir. Son yıllarda fotovoltaik (PV) sistemlerin kullanımında, geri ödeme (amortisman) sürelerinin azaltılmasına yönelik uygun malzeme, akışkan kullanılarak yenilikçi tasarımları ile elde edilen fotovoltaik/termal (PV/T)'lerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar artmaktadır. PV/T kısaltmasıyla da bilinen fotovoltaik termal paneller, mahal ısıtma uygulamaları, kurutma, sıcak su üretimi gibi farklı proses ısılarının ve bununla birlikte sistemlerin elektrik enerjisi ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılabilir [3].

Bu çalışma; PV/T panellerin verimliliğini artırmaya ve değişik prosesler için kullanılabilir daha (ekserjik) sıcak hava elde etmeğe yönelik yapılan deneysel bir çalışmadır. Çalışmada, PV/T panel ile birlikte ısı depolamalı bir hava kolektörü birlikte tasarlanıp imal edilmiştir. Tasarlanan sistemde aynı özelliklere sahip iki adet 20W polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Panelin birisi hava soğutmalı kanatçıklı PV/T olarak hazırlanırken, diğer panel yalın bırakılmıştır. Sistemin ısı verimini artırmak ve farklı proseslerde farklı amaçlarla kullanılabilir sıcak havayı sağlamak için test sistemine hava ısıtıcısı eklenmiştir. Hava ısıtıcısı; su kanallı ısı kanatçıklı olarak tasarlanmıştır. Buradan elde edilen sıcak hava kurutma, ısıtma gibi proseslerde kullanılabilir. Deney sisteminde yalın panel ile PV/T panelin elektriksel performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Tezin birinci bölümünde enerji ve yenilenebilir enerjilerin önemi ve yapılan çalışmalar hakkında detaylı bilgi verildi. Ardından tezimizin ikinci bölümünde, konu ile ilgili yapılan çalışmalar ve benzer sonuçlara literatür bölümünde yer verilmiştir. Üçüncü bölümde hücrelerin, güneş panellerinin teorik kısmı ve çalışma prensibinin yanı sıra termal güneş kolektörleri, fotovoltaik/termal hibritlerin temel kavramları, enerji depolamanın önemi ve son olarak da termal enerji depolama türleri ele

alınmıştır. Deney kısmına ayrılan dördüncü bölümde soğutma sistemimizin tasarım aşamaları, gerçekleştirdiğimiz ölçüm protokolü ve kullanılan ölçüm cihazları detaylı olarak anlatılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan denklemler ve uygulanan yöntem de bu bölümde açıklanmaktadır. Beşinci bölümde elde ettiğimiz verilerin grafikleri ve bu grafiklerden yapılan değerlendirmeler yer almaktadır. Altıncı ve son bölümde ise yüksek lisans tezimizin sonuç ve önerilerine yer verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmada, fotovoltaik panellerin elektriksel verimliliğini artırmak için 20 watt gücünde polikristal yapıda bir PV panele termal soğutucu kanatlar monte edilmiştir. PV/T paneli soğutan ve ısınarak çıkan havanın değişik proseslerde kullanılabilirliğini (ekserjisini) artırmak için su kanallı ve kanatçıklı bir hava ısıtma kolektörü tasarlanarak sisteme dahil edilmiştir. Hava kolektörü içerisinde ısıl verimi artırmak ve ısı depolaması yapmak için su kullanılmıştır. Aynı zaman da PV/T panelin elektriksel verimliliğini mukayese edebilmek için aynı özelliklere sahip yalın bir PV panel kullanarak deney sistemi oluşturulmuştur.

Bu çalışmamıza benzer olarak fotovoltaik panellerin PV ve PV/T sistemlerin ve hava ısıtmalı kolektörlerin elektriksel ve termal verimliliklerini artırmaya yönelik birçok bilimsel çalışma yapılmıştır ve bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Gül ve arkadaşları (2019) ,soğutmalı ve soğutmasız bir PV/T panel sisteminin elektriksel ve ısıl performanslarının karşılaştırılması amacı ile deneysel bir çalışma gerçekleştirerek, sistemin ısıl veriminde %49,9 ile %52,11 arasında ve elektrik veriminde %12,9 oranında bir artış olduğu tespit etmişlerdir [4].

Akman (2019): Çalışmasında, sistemin elektriksel verimini artırmak için su kanallı (SKP) , sulu serpantinle (SRP) iki farklı soğutma yöntemi ve soğutmasız basit konvansiyonel panel (HP) gerçekleştirilmiştir. Üç tip fotovoltaik panelin elektrik gücü değerleri HP için 11,80 W, SRP için 14,44 W ve SKP için 15,23 W'tır. Performans değerleri ise sırasıyla %13, %16 ve %17'dir [5].

Zhang ve arkadaşları (2019): Çalışmalarında deneysel bir sistem ve taze hava ön ısıtmalı bir PV sistemi için dinamik bir ısı transferi modeli oluşturmuşlardır. PV taze

hava sıcaklığının 18,68°C arttığı tespit edilmiş ve dolayısıyla hava ön ısıtma sisteminin hava sıcaklığını verimli bir şekilde ısıtabileceği sonucuna varılmıştır [6].

Teo ve arkadaşları (2012): Çalışmalarında, aktif soğutmalı ve soğutmasız fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit güneş enerjisi sistemleri incelenmiştir. Solar hibrit sistem soğutulduğunda yapılan deneylere göre güneş pillerinin veriminde %12 ile %14 arasında önemli bir artış ve panel sıcaklığında azalma elde edilmiştir. Ancak aktif soğutmasız güneş hibrit sisteminde sıcaklık artmış ve güneş pillerinin verimi %8-9 civarına ulaşmıştır [7].

Karima E ve arkadaşları (2019) : Bu çalışmalarında, tipik bir tek geçişli fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit hava kolektörünün elektriksel ve termal performansı, Irak'ta Bağdat ve Felluce şehrinde seçilmiş iki örnek olay için modellenmiş, simüle edilmiş ve analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre kış günü çalışmalarında %12.3, %19.4 ve %53.6, yaz günü çalışmalarında %9, %22.8 ve %47.8 olarak elektriksel verim, ısı verim ve toplam kolektör verimini elde etmişlerdir. Güç ve bağıl elektriksel/termal eşdeğer verimliliğin kışın yazıya göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [8].

Benlioğlu (2021): Çalışmasında, güneş enerjisini elektriğe çeviren fotovoltaik (PV) modüller ve güneş enerjisini ısıya çeviren güneş hava kolektörü incelenmiştir. Deneysel kısım için, nem içeriği 3,3125 su/g olan kuru gıda olarak nane, 0,0625 su/g su/g nihai nem içeriğine sahip olana kadar alınmıştır. %40 değerine ulaşan ortalama bir kurutma verimi elde edilmiştir [9].

Tiwari ve ark (2006): Yaptıkları çalışmada, bir fotovoltaik güneş enerjisi termal hava kolektörünün Hindistan'ın bileşik iklimi için performansı değerlendirilmiş ve simüle edilmiştir. Yapılan simülasyonlara göre günlük termal verim yaklaşık %58'e ulaşmıştır [10].

Arslan ve ark (2020): Çalışmada, kanatlı hava ve akışkan fotovoltaik-termal kolektörlerden oluşan bir sistem imal edilmiş ve tasarlanmıştır. Fotovoltaik modülün yüzey sıcaklığını elde etmek için geliştirilen ANSYS yazılımı kullanılmıştır. Kütle

akış hızı arttıkça fotovoltaik modülün yüzey sıcaklığının azaldığı ve verimin %0,42 oranında arttığı tespit edilmiştir [11].

Akbulut (2022): Çalışmasında, farklı tipteki güneş panellerini karşılaştırabilmek için termal fotovoltaik güneş kolektörü PVT analiz edilmiş ve modellenmiştir. Yapılan deneylere göre kanatlı PVT sistemlerinin ısı verimi %44,11 değerine ulaşırken kanatsız PVT sistemlerinin ısı verimi %39,21 olarak elde edilmiştir. Kanatlı PVT sistemlerinin basit bir PVT sisteminden daha fazla termal verim sağlayabildiği bulunmuştur [12].

Peng ve arkadaşları (2010): Yapmış oldukları çalışmada, panelin arka sıcaklık artışını azaltmak ve termal verimi artırmak için kanatçıkla pimli güneş hava kolektörü tasarlanmıştır. Deneyimlerine göre, yirmi beş tip kanatlı pimli toplayıcının ortalama termal verimi 0,5 ile 0,74 arasındayken, cam için 0,83'lük bir güneş geçirgenliği elde edilmişti [13].

Benli (2018): Bu çalışma, Adana ilinde fotovoltaik (PV) ve termal (PV-T) kolektörlerden oluşan bir sistemi analiz etmekte ve karşılaştırmaktadır. PVT kolektörü, PV kolektöründen %6 ila 12 daha yüksek bir elektriksel değere sahiptir. Bu değer farkının kolektörü etkileyen çeşitli faktörlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir [14].

Bakır (2017): Çalışmada, fotovoltaik/termal sistemler üzerinde gölgeleme etkisi ve eğim açısının etkileri incelenmiştir. Deneysel kısım için 25°, 30°, 35°, 40° gibi farklı eğim açısı değerleri ve PV/T kolektör için 6 cm, 15 cm, 22 cm olmak üzere 3 gölge çapı alınmıştır. Enerji verimliliğini ve ekserji verimliliğini artırmak için mükemmel açının 30° olduğu belirlenmiştir. Gölge çapı büyük olduğunda, gölgelemenin bu enerji ve ekserji verimliliğini güçlü bir şekilde etkilediği bulunmuştur [15].

Eyinc (2018): Çalışmasında hem ısı hem de elektrik üretimine olanak sağlayan fotovoltaik termal sistemin öneminden bahsetmiş ve Karabük koşullarında bu sistemler için enerjik ve yorumlayıcı analizler yapmıştır. Çalışma sonucunda



ortalama ekserji veriminin np-parafin karışım paneli için %10, parafin-mum paneli için %9,2 olduğu elde edilmiştir [16].

Günaydın (2018): yapmış olduğu çalışmasında, bir yoğunlaştırıcı kullanarak üç paneli analiz etti ve faz malzemeleri eklenmişti. Elde edilen deneysel sonuçlara göre parafin nanoparçacıklardan oluşan panelin ortalama ekserji verimi yaklaşık %9,9, parafin panelin verimi ise %8,8 olarak bulunmuştur [17].

Uğur (2022): Çalışmada kullanılan 4 paneli karşılaştırmak için faz değişim malzemeleri kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İlk panelde FDM eklenmemiştir. İkinci panelde arka yüzeydeki cam muhafaza içerisinde FDM gibi parafinik bir malzeme kullanılmıştır. Üçüncü güneş panelinin arka yüzeyindeki cam muhafazanın içinde FDM olarak bir tuz hidrat malzemesi kullanılmıştır. Dördüncü güneş paneli için FDM olarak bir yağ asidi malzemesi kullanıldı. Elde edilen sonuçlara göre, 3 deney panelinde malzeme ilavesinden sonra enerji verimliliğinde bir artış tespit edilmiştir [18].

Bolat (2016): Bu çalışmada, farklı faz değişim malzemelerine sahip iki adet 110W monokristal panel kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalara göre parafinden oluşan panelin elektriksel veriminin %7'ye ulaştığı, soğutmasız bir panelin elektriksel veriminin ise %10 olduğu elde edilmiştir [19].

Kabeel ve arkadaşları (2016) : Çalışmalarında, parafin mumu içeren düz hava güneş kolektör sistemi ve soğutmasız sistem üzerinde bir çalışma tasarlanmıştır. Yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlardan, enerji verimliliği değerinin faz değişim malzemesi içermeyen güneş enerjili ısıtmaya göre %12 daha yüksek olduğu vermiştir [20].

Öksüz (2019) : Çalışmasında, karşılaştırma için bir fotovoltaik sistem ve bir PV/T-su sistemi kurmuş ve incelemiştir. Termal verimliliği ölçmek için 3 farklı kütle akış hızı kullanılmıştır: 0,05 kg/sn, 0,1 kg/sn ve 0,15 kg/sn. Kütle akış hızı 0,15 kg/sn mertebesinde olduğunda sıcaklıkta keskin bir artış olduğu ve kütle akış hızı 0,05 kg/sn mertebesinde olduğunda termal verimliliğin keskin bir şekilde düştüğü

bulunmuştur. Kütle akış hızı yüksek olduğunda termal verimin de arttığı bulunmuştur [21].

El Slimani ve arkadaşları (2016): Çalışmalarında, bir güneş fotovoltaik-termal hibrit hava toplayıcı kullanan dolaylı bir güneş kurutma sistemi modellenmiş ve tasarlanmıştır. Yakın deneysel ve simülasyon değerleri gözlenmiştir. Yaptıkları deneye göre, termal verim için ortalama %41.09 ve elektrik verimliliği için ortalama %9.33 elde edilmiştir [22].

Kabul (2017): Yaptıkları çalışmada, fotovoltaik panellerin verimliliğini artırmak için, her ikisi de panellerin arkasına yerleştirilen su soğutmalı ve hava soğutmalı olmak üzere iki tür soğutma kullanılmıştır. Su ile soğutulan PV/T panellerin yüzey sıcaklığının %16 oranında azaldığı ve hava ile soğutulan PV/T panellerin yüzey sıcaklığının herhangi bir işlem uygulanmayan PV panellere göre %8 daha yüksek olmuştur [23].

## BÖLÜM 3

### FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN ANALİZİ VE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

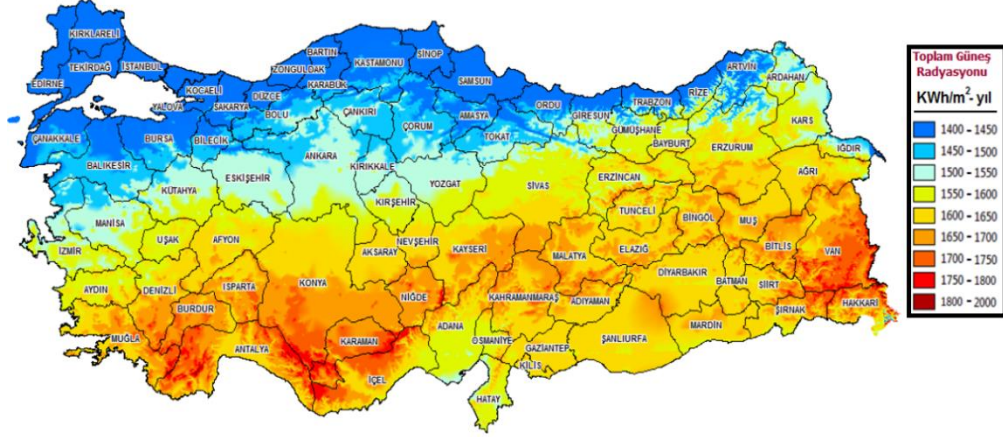
Günümüzde güneş enerjisi, evsel ve endüstriyel sektörlerde elektrik ve ısı talebini karşılamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Isı enerjisinde olarak kullanılan termal sistemleri; sıcak su temini, mahal ısıtma, kurutma vb. sistemler olarak özetlenebilir. Elektrik enerjisinin karşılanmasında ise fotovoltaik panellerin kullanıldığı off-grid veya on-grid sistemler kullanılmaktadır. Fotovoltaik modüllerden oluşan güneş panelleri güneş enerjisini daha hızlı, daha verimli ve daha düşük maliyetle elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Bu elektrik dönüşüm sistemlerinde watt düzeyinde lokal uygulamaların yanında, mega watt düzeylerinde güneş enerjili elektrik santralleri de (GES) kullanılmaktadır.

##### 3.1.1. Türkiye’de Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye, büyük bir güneş enerjisi potansiyeline ve güneş modüllerinin kurulumunda büyük bir ilerlemeye sahiptir. Türkiye'nin aldığı ortalama güneş ışınım gücü yılda 1598 kWh/m<sup>2</sup>, yıllık ortalama güneşlenme saati 2623 saat olup, bu da günde yaklaşık 7,2 saat güneş ışığına eşdeğer olmak üzere toplam 110 gün güneş ışığına eşdeğerdir. Diğer bir deyişle bu değer, günde 3,6 kWh/m<sup>2</sup> enerji üretilebileceği anlamına gelmektedir. Birçok çalışma, Türkiye'nin fotovoltaik panellerden elektrik üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Bazı kaynaklara göre bu seviyenin 600.000 megavat cinsinden hesaplandığı söylenebilir [24].

Şekil 3.1 Türkiye'nin güneş potansiyeli haritasını göstermektedir. Haritadan da görülebileceği gibi 1 m<sup>2</sup>'lik bir alan için ortalama yıllık güneş radyasyonu Türkiye'nin güneyine doğru gidildikçe kademeli olarak artmaktadır. Türkiye'nin

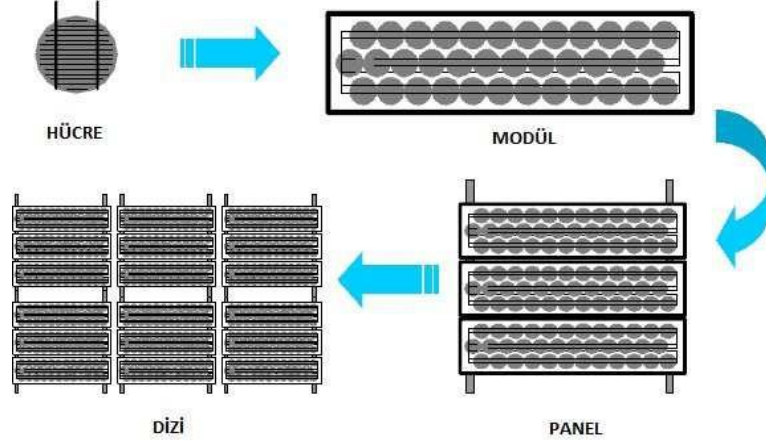
enlem ve nem oranının yüksek olması nedeniyle en az ışınlanan bölge Orta ve Doğu Karadeniz bölgesidir [24].



Şekil 3.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [24].

### 3.2. PV GÜNEŞ PİLİNİN TANIMI

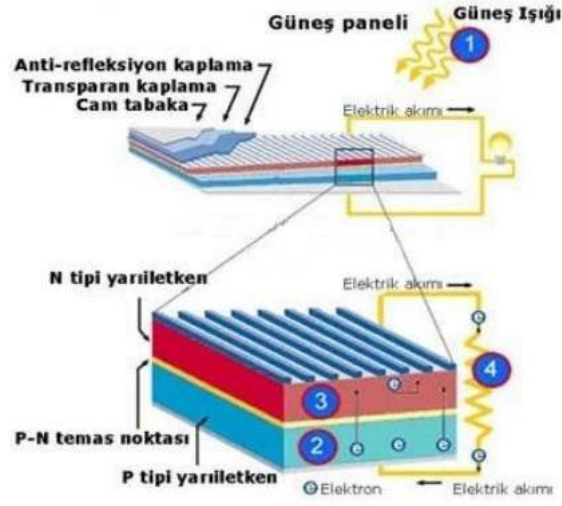
Güneş pilleri, güneş ışınımını elektriğe dönüştürür. “Foto” (ışık) ve “voltaik” (gerilim) kelimelerinden türetilen fotovoltaik kelimesi, Alessandro Volt ‘tan esinlenmiştir. Fotovoltaik kelimesi PV olarak kısaltılmıştır. Kare, dikdörtgen ve dairesel şekillerde üretilirler. Silisyum, amorf silikon, kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum selenoid (CIS), bakır indiyum galyum selenoid (CIGS) genellikle tercih edilen hücre malzemeleridir. Yarı iletken ürünler, hücre ara yüzüne ulaşan ışık fotonlarındaki elektronları ve bu elektronların dış ortamdaki hareketini yakalayabilir. Şekil 3.2'de, görüldüğü gibi çok sayıda hücre seri ya da paralel bağlanarak ‘modül’, modüller birleştirilerek ‘panel’ ve paneller birleştirilerek ‘dizi’ elde edilir [25].



Şekil 3.2. PV hücre, modül, panel ve dizisi [25].

### 3.3. FOTOVOLTAİK HÜCRENİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

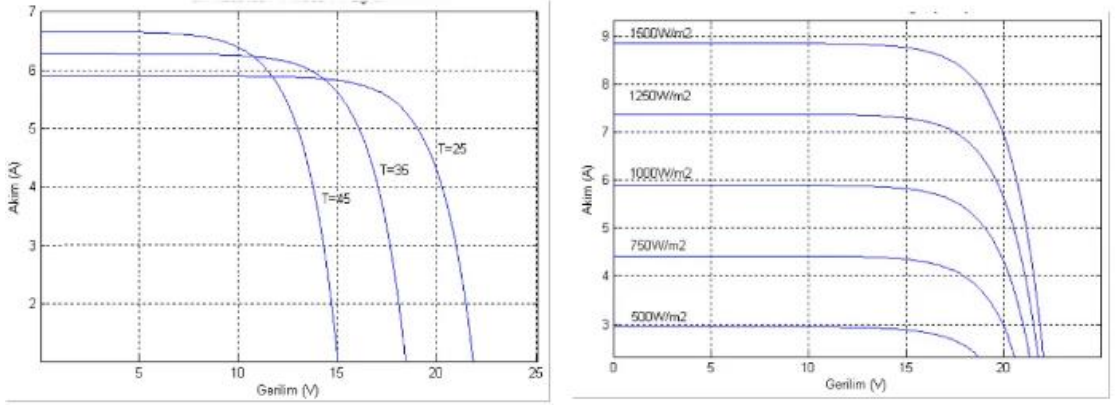
Fotovoltaik paneller, güneş pilleri tarafından üretilen güneş enerjisinden elektrik üretir. Güneşten gelen ışınımı, yarı iletkenin yüzeyine ulaştırır ve fotonları oluşturmak için atomlardan elektronları serbest bırakır. Güneş radyasyonu spektrumundaki her dalga boyu için, fotonlar farklı miktarlarda enerji içerir. Fotonlar güneş hücresine ulaştığında bir kısmı tamamen yansır, bir kısmı güneş hücresi tarafından emilir ve bir kısmı da güneş hücresinden geçer. Güneş pili tarafından emilen fotonlar elektrik üretir [27]. Kristal bir güneş pilinin substratı, yeşil bölgeyi oluşturmak için kısmen P-tipi malzemelerden biriyle (örneğin alüminyum, galyum, indiyum) kaplanır. En üstteki N-tipi katman, fosfor, arsenik veya antimon gibi hareketli elektronlar üreten kimyasallarla kaplıdır. Güneş hücresinin yapısı ve çalışma prensibi Şekil 3.3'te gösterilmiştir [26].



Şekil 3.3. Güneş hücresinin yapısı ve çalışma prensibi [27].

### 3.4. SICAKLIĞIN FOTOVOLTAİK (PV) PANEL VERİMİNE ETKİSİ

Sıcaklık, fotovoltaik panellerde güneşten alınan enerjinin elektrik enerjisi üretim miktarını etkileyen önemli bir faktördür. Güneş pilinin aldığı ışık miktarı arttıkça elektrik enerjisi de artmaktadır. Ancak ısınımın artması ile panelin kendi sıcaklığı da yükselmektedir. Bu sıcaklık artışına bağlı olarak da güneş pilinin elektriksel verimi düşmektedir. Yarı iletkenler sıcaklık değişimlerine karşı hassastır. Optimum seviyelerin üzerindeki sıcaklıklar açık devre voltajını ve güneş pili çıkış gücünü azaltırken, daha düşük sıcaklıklar güneş pili voltajını artırır. Güneş ısınımının farklı değerlerinin bir fonksiyonu olarak değişen akım gerilim eğrileri, güneş ısınımı arttıkça artar. Şekil 3.4, voltaj ve akım değerlerinin sıcaklık ve güneş ısınımının bir fonksiyonu olarak gelişimini göstermektedir [28].



Şekil 3.4. 25 - 45°C sıcaklıkta ve 500 -1600 W/m<sup>2</sup> güneş ışınımında iki I-V grafiği [28].

### 3.5. GÜNEŞ HÜCRELERİ VE ÇEŞİTLERİ

Güneş hücreleri, güneş pili solar hücre olarak da bilinir. Güneş hücreleri (pilleri) fotovoltajik etki esasına göre güneş ışınlarını (foton) doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerdir. Güneş hücre üretiminde yarı iletken malzeme olarak silisyum kullanılır. Güneş hücrelerinin imalatında saf silisyum kullanılır. Bu malzemenin üretimi kısıtlı olup piyasada ticari olarak uygulaması olan ve kullanılan üç çeşit silisyum hücre teknolojisi mevcuttur Bunlar; monokristal, polikristal ve amorfur.

#### 3.5.1. Monokristal Fotovoltajik (PV) Panel

Monokristal hücreler, tek bir kristalden (yani silikon) oluşan hücrelerdir. Yüksek saflıkları nedeniyle %13 ile %17 arasında daha yüksek verime sahiptirler ve en iyi elektronik özelliklere sahiptirler. Monokristal hücreler çok uzun süre çalışır, ancak çok pahalıdır. Monokristal güneş panelleri, polikristal güneş panellerinden daha koyu bir görünüme sahiptir Şekil 3.5.'te bir monokristal güneş paneli görülmektedir.



Şekil 3.5. Monokristal fotovoltaik (PV) panel

### 3.5.2. Polikristal Fotovoltaik (PV) Panel

Polikristal güneş panelleri, polikristal formdaki kristal silikon parçalarından yapılmış hücrelerdir. Güneş panellerinin verimliliği %11 ile %15 arasındadır ve monokristal hücrelerden daha düşüktür. Bu verimsizlik, elektronların dolaşmak için daha az alana sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, çok kristalli hücreler satın alma fiyatlarında daha kolay bulunur, bu nedenle daha sınırlı bir bütçeye sahip olanlar için tasarlanmıştır. Genellikle parlak noktalar ile dikdörtgen ve koyu mavidirler Şekil 3.6'da Polikristal bir güneş paneli görülmektedir.



Şekil 3.6. Polikristal fotovoltaik (PV) panel



### 3.5.3 Amorf Fotovoltaik Panel

Amorf silikon modüller, ince bir silikon tabakasının cam, yumuşak plastik ve hatta metal üzerine püskürtülmesiyle yapılır. %5 ila %8 gibi çok düşük bir verime sahiptirler, yalnızca çok ince silika jel gerektirirler ve ucuzdurlar. Genellikle hesap makineleri veya güneş enerjili saatler gibi küçük tüketici ürünlerinde kullanılırlar. Üretim yöntemleri karmaşıktır, ancak kristal panellerden daha fazla enerji gerektirmez Şekil 3.7’de Amorf PV panel görülmektedir.



Şekil 3.7. Amorf fotovoltaik panel [29].

## 3.6. FOTOVOLTAİK SİSTEM TÜRLERİ

Fotovoltaik sistemler için 2 tip fotovoltaik kurulum vardır;

- Şebeke Bağımlı Sistemler (On – Grid Systems)
- Bağımsız Sistemler (Off – Grid Systems)

### 3.6.1. Şebekeye Bağlı Sistemleri

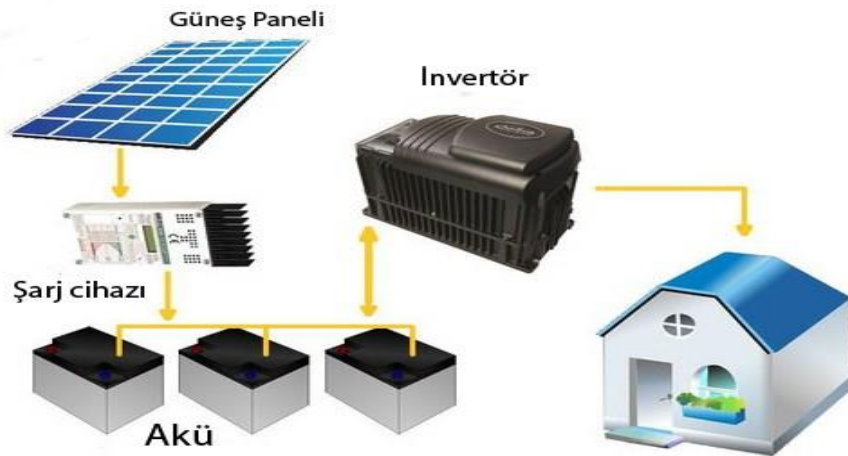
Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem, dağıtım şebekesine bağlı bir fotovoltaik güneş enerjisi üretim sistemidir. Şebekeye bağlı fotovoltaik kurulumlar, güneş panelleri, bir veya daha fazla invertör, güç koşullandırma ve şebekeye bağlı ekipmandan oluşur. Bu tip sistemde çift yönlü olarak üretilen elektrik enerjisi, akü paketinde depolanmadan doğrudan şebekeye iletilir. Şebeke bağımlı sistem yapısını ve kullanılan ekipmanları Şekil 3.8’de gösterilmiştir [30].



Şekil 3.8. Şebeke bağımlı sistemler [30].

### 3.6.2. Şebekeye Bağımsız Sistemleri

Off-grid sistemler, güneş enerjisini piller aracılığıyla depolayan ve tüketici talebini karşılamak için elektrik üretimi sağlayan sistemlerdir. Güneş enerjisini depolayan piller geceleri veya güneşin yeterli elektrik üretmediği zamanlarda daha verimli çalışır ve daha fazla tüketir. Off-grid sistemler, güneş ışınları güneş panellerine çarptığında doğru akım (DC) şeklinde elektrik sağlar. Şarj kontrol cihazına iletilmek üzere üretilen ve böylece şarj akışını düzenleyen ve bataryaya regüle edilmiş güç sağlayan DC gücün aksine, şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemleri, güneş panelleri, piller, şebekeden bağımsız invertörler ve solar şarj kontrol cihazlarından oluşur. Off-grid sistemin yapısı ve kullanılan ekipmanlar Şekil 3.9'da gösterilmiştir [31].



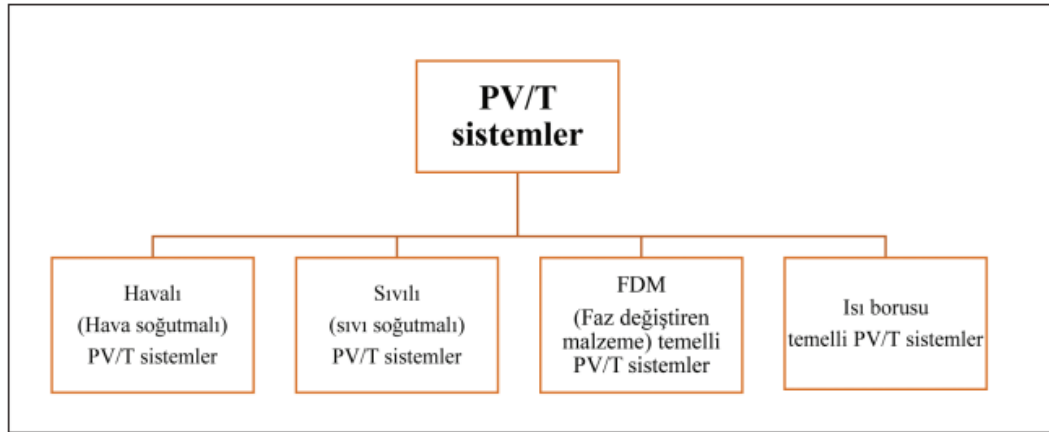
Şekil 3.9. Şebekeye bağımsız sistemleri [31].

### 3.7. PV-T SİSTEMLER

Fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit güneş sistemleri, aynı anda elektrik ve ısı üretmeyi mümkün kılar. Soğutma sistemi, bir sıcaklık artışı ve büyük bir aşırı yük olduğunda PV panelinin arka yüzeyinin soğutulmasını sağlar. Sonuç olarak; Yüksek bir sıcaklık seçtiğimizde, güç üretimi büyük ölçüde azalır [21].

PV/T sistemleri farklı alanlarda kullanılmaktadır: bunlar binalar için elektrik ve ısı üretme, güneşli damıtma, güneş kurutma, sera ve termoelektrik jeneratör vb. sayılabilir.

PV/T sistemleri temel olarak dört farklı kategoride sınıflandırılabilir. Farklı PV/T sistemleri Şekil 3.10'da gösterilmektedir.



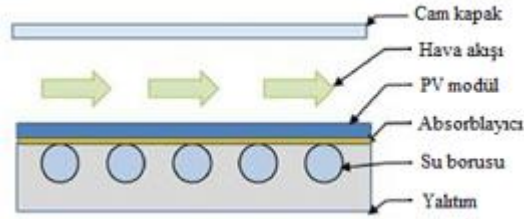
Şekil 3.10. PV/T sistemlerinin genel sınıflandırması

PV/T hava kolektörler: PV/T hava kolektör sistemi, fotovoltaik sistem için daha iyi soğutma sağlayabilen, böylece fotovoltaik sistemin arkasındaki sıcaklık artışından kaynaklanan ısı kaybını azaltabilen hava soğutmalı bir fotovoltaik sistemdir. Hava gücüyle çalışan bir PV/T sisteminin ortalama verimliliği %20-40'tır. Fotovoltaik sistemin arka tarafının sıcaklığı arttığında, hava akışı hücrenin sıcaklığının düşürülmesini sağlar ve sistem verimliliğini artırır. Bu tip PV/T sistemi, ısı transferi akışkanı olarak havayı kullanır. Kolay uygulanabilirlik, basitlik ve işletme maliyetleri açısından çok verimli uygulamalardır. Şekil 3.11'de, PV/T hava kolektörünün bileşenlerini göstermektedir [32].



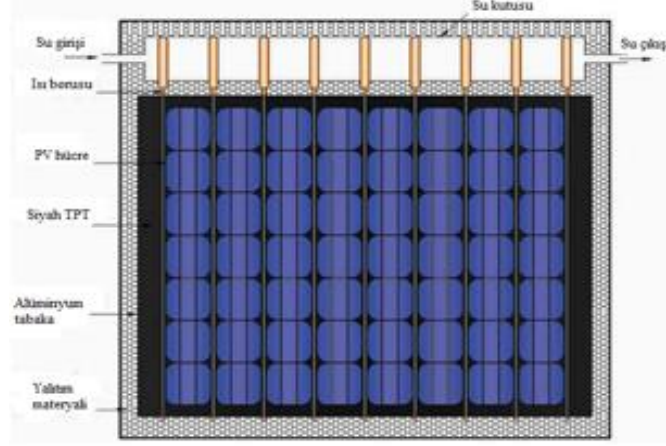
Şekil 3.11. Havalı PV/T kolektörünün sistemi.

PV/T Sıvı kolektörler: Sıvı PV/T sistemleri, hava sistemlerine göre daha yüksek verimlilik, daha kolay erişilebilirlik, daha düşük fiyat ve ideal soğutma özellikleri ile çok sık kullanılan sistemlerdir. Göreceli olarak yüksek termal iletkenlik ve düşük kullanım hacmi, PV dizisi için soğutma sağlamak için PV/T sistemlerinin önemli avantajlarıdır. Şekil 3.12'de, PV/T sıvı kolektörünün bileşenlerini göstermektedir.



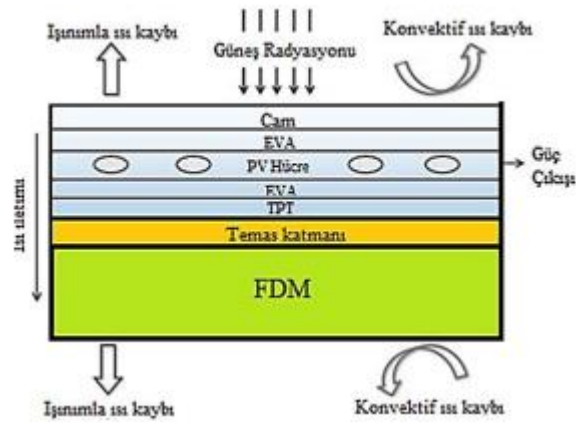
Şekil 3.12. PV/T sıvı kolektörünün sistemi.

Isı borulu PV/T: Isı borulu PV/T kolektör sistemi, PV/T sistemini verimli bir şekilde soğutabildiği için çoğunlukla soğuk bölgelerde kullanılan bir sistemdir. Isı borusu, sıcaklıkta önemli bir düşüş olmadan ısının hızlı bir şekilde taşınmasını sağlayan çok önemli bir yüksek termal iletkenliğe sahip bir sistemdir. Şekil 3.13'te, ısı borulu PV/T bileşenlerini göstermektedir



Şekil 3.13. Isı borulu PV/T sistemi.

PV/T-FDM kolektörler: PV/T-FDM toplayıcı sistemleri, gizli ısıyı depolamak için faz değıştiren malzemeleri kullanan sistemlerdir. Bu faz değıştiren malzemeler genellikle sistem ısını daha iyi depolamak için termal enerji yönetiminde kullanılır. Faz değıştiren malzemelere ısı uygulandığında ve erime noktalarına ulaştıklarında, orta derecede ısınma yaşarlar. FDM gizli füzyon ısını ve katı fazdan sıvı faza geçişi kullanır. Termal enerji kaynağı mevcut olmadığında, sıvı FDM depolanan enerjiyi serbest bırakır ve orijinal durumuna geri döner. FDM, fotovoltaik modülleri soğutmak için kullanılır ve FDM kullanımına izin veren farklı özellikler şunlardır: yüksek gizli füzyon ısı, yüksek termal iletkenlik, yüksek kimyasal kararlılık ve yapısal malzemeye zarar vermemesi. Şekil 3.14'te, PV/T-FDM kolektörünün bileşenlerini göstermektedir.



Şekil 3.14. PV/T-FDM kolektörünün sistemi.

### **3.8. ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ**

Bir enerji depolama sistemi, gerektiğinde serbest bırakmak için enerjiyi depolamak üzere tasarlanmış bir kurulum veya cihazdır. Enerji depolama tankları, alternatif kaynaklardan enerji depolayarak alınan enerji ile talep arasındaki boşluğu kapatmaya yardımcı olurken, fazla enerjinin depolanmasında önemli bir rol oynar. Bu kaynaklar ancak belirli zamanlarda enerji sağlayabilir. Bu sistem sayesinde önem kazanmakta ve enerjiyi kullanarak enerji tasarrufu sağlamaktadır [26].

#### **3.8.1. Isıl Enerjinin Depolaması**

Termal enerji depolama sistemleri, bir sistemi soğutmak veya ısıtmak için termal enerjiyi kimyasal enerjiye dönüştürür. Termal enerji, maddeyi oluşturan moleküllerin ve atomların kinetik ve potansiyel enerjilerinin bir sonucudur ve ısı, sıcak maddeden soğuk maddeye aktarıldığında (sıcaklık farkı vardır) oluşur. Kimyasal bağların tersinir bölünmesi ve erimesi sırasında meydana gelen yüksek termal kimyasal reaksiyonlar nedeniyle ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir [33].

#### **3.8.2. Duyulur Isı Depolaması**

Duyulur ısı depolama yöntemleri, dokuma malzemenin sıcaklığı arttığında açığa çıkan ısının depolanmasından oluşur. Duyulur ısı depolama tipik olarak katılar, sıvılar veya katıların ve sıvıların birlikte kullanıldığı hibrit malzemeler için kullanılır. Duyulur ısı depolamanın çok fazla ısı depolayabileceğini ve ayrıca atık ısıyı geri kazanabileceğini unutmayın, ancak ne yazık ki bu tür depolamanın en büyük dezavantajı, depolama miktarını artırmak zorunda olmanızdır [34].

##### **3.8.2.1.Sıvı Bazlı Duyulur Isı Depolama Maddeleri**

Duyulur ısı depolama malzemeleri genel olarak sıvı bazlı malzemeler ve katı bazlı malzemeler olarak ikiye ayrılır. Su, güneş enerjisini depolamak için en sık kullanılan sıvıdır. Suyu bir ısı depolama ortamı olarak kullanmanın birçok avantajı vardır [35]:

- Daha yüksek ısı depolama kapasitesi.
- Satın almak daha ucuzdur ve kolayca bulunabilir.
- Geniş bir sıcaklık aralığında (25-90°C) kullanılabilir.
- Enerji deposu olduğu gibi enerji taşıyan bir sıvı olarak da özümsebilir.
- Fiziksel, kimyasal ve termodinamik özellikleri çok iyi bilinmektedir.
- Zehirleyici ve yanıcı değildir.
- Korozyon etkisini azaltan teknolojiler geliştirilmiştir.

Ancak suyun dezavantajları da vardır:

- Yüksek sıcaklıklarda enerji depolamak zordur.
- Donduğu zaman genişlediğinden donmaya karşı önlem alınmalıdır.
- Korozyon yapıcı özelliğinden dolayı depo içine korozyon önleyici madde konmalıdır.

Duyulur termal enerji depolama sistemi genellikle su, hava, yağ, kaya, tuğla, kum ve toprak gibi malzemelerde depolanır. DIED sistemlerinde depolanan enerji; Sıcaklık farkı, depolama elemanı miktarı ve ısı kapasitesi ile orantılıdır[16]. Çizelge 3.1'de hissedilebilir ısı depolama sistemlerinde kullanılan malzemelerin özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Duyulur ısı depolamada kullanılan materyallerin termofiziksel özellikleri.

Madde	Yoğunluk $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Isı iletim katsayısı, k, (W/mK)	Özgül Isı, c,(J/kgK)	Isı yayılım katsayısı $\alpha$ (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	Isı kapasitesi (10 <sup>-6</sup> J/m <sup>3</sup> K)
Oğun	721	0,159	1260	0,17	0,91
Beton	1600	0,790	840	0,59	1,34
Ateş tuğlası	1920	0,900	790	0,59	1,52
Cam	2710	0,760	837	0,33	2,27
Alüminyum	2702	237	903	97,13	2,44
Karbon çeliği	7854	60,5	434	17,75	3,41
Saf demir	7870	80,2	447	22,8	3,52
Çakıl taşı	2050	1,73	1840	0,46	3,77
Su	996	0,615	4178	0,15	4,16



## BÖLÜM 4

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 4.1. ARAŞTIRMA YERİNİN TANITIMI VE ÖZELLİKLERİ

Araştırma yeri, ağustos ayı boyunca çok güneşli günlerin yaşandığı Karabük ilidir. Panellerin eğim açısı, deney sisteminin kurulduğu ilin (Türkiye, Karabük, 32:37 D boylam ve 41:12 K enlem) enlem derecesine yaklaşık eşit olacak şekilde 40° ayarlanmıştır.

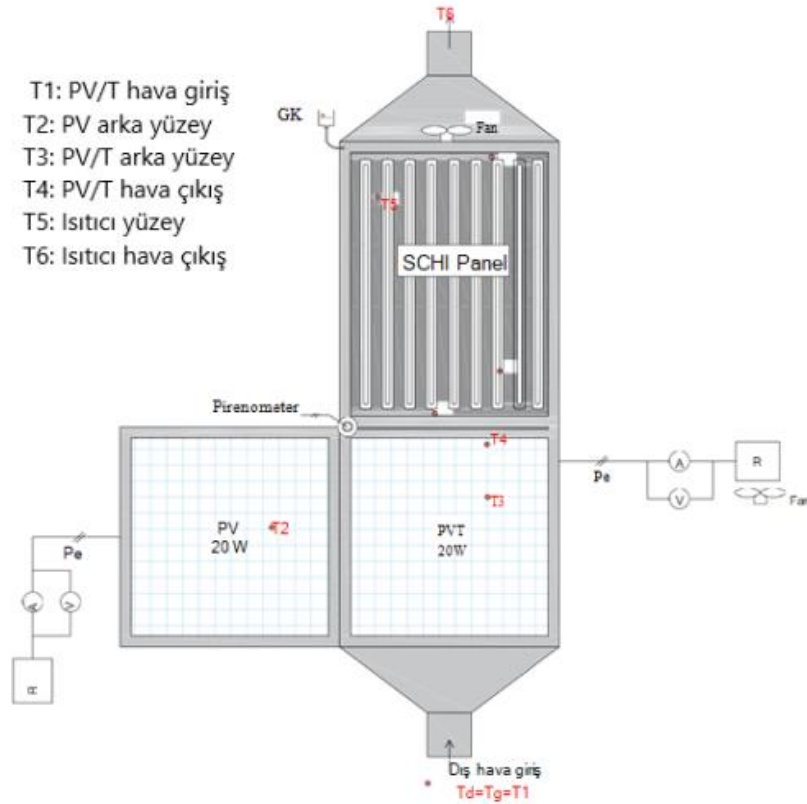
#### 4.2. DENEY SİSTEMİ

Bu çalışmada, fotovoltaiik panellerin elektriksel verimliliğini artırmak için, 20 Watt gücünde polikristal yapıda bir PV panele termal soğutucu kanatlar monte edilerek hava ısıtmalı bir PV/T panel elde edilmiştir. PV paneli soğutan ve ısınarak çıkan havanın değişik proseslerde kullanılabilirliğini (ekserjisini) artırmak için su kanallı ve kanatçıklı bir hava ısıtma kolektörü tasarlanarak sisteme dahil edilmiştir. Hava kolektörü içerisinde ısı verimi artırmak ve ısı depolaması yapmak için su kullanılmıştır. Aynı zaman da PV/T panelin elektriksel verimliliğini mukayese edebilmek için aynı özelliklere sahip yalnız bir PV panel kullanarak deney sistemi oluşturulmuştur. Bu deney sistemi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarında tasarlanarak imal edilmiştir ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Deneylere başlanmadan önce sıcaklık, ışınım, elektriksel güç ve hava hızı ölçüm ve kayıt cihazlarının kalibrasyonu ve sisteme montajları yapılmıştır.

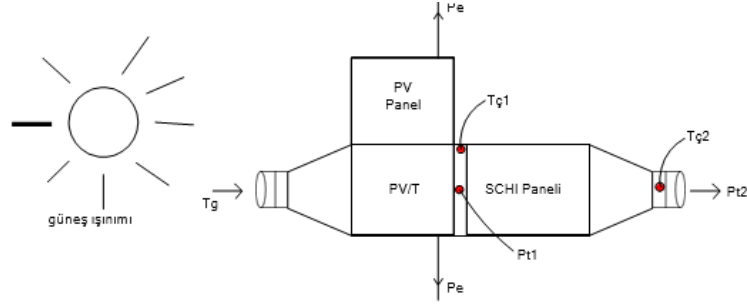
Deney sisteminde iki adet 20 Watt’lık polikristal yapıda fotovoltaiik (PV) panel ve camla kaplı bir hava toplayıcı kullanılmıştır. Sistemde iki adet PV panel vardır. Birinci panel soğutmasız yalnız panel şeklinde, ikincisi ise hava soğutmalı PV/T panel şeklindedir. Sistemde PV/T Panelin üzerine hava sıcaklığını daha kullanılabilir

(ekserjik) hale getirmek için, ısı depolamalı hava ısıtma kolektörü eklenmiştir. Tasarlanan deneysel sistemde, sıcaklık, ışınım, elektriksel ve termal güç ölçüm ve kayıtları yapılarak bu verilerden elektriksel ve ısı verim hesaplamaları ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalarda kullanılan parametreler ve sistemin akış şeması Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

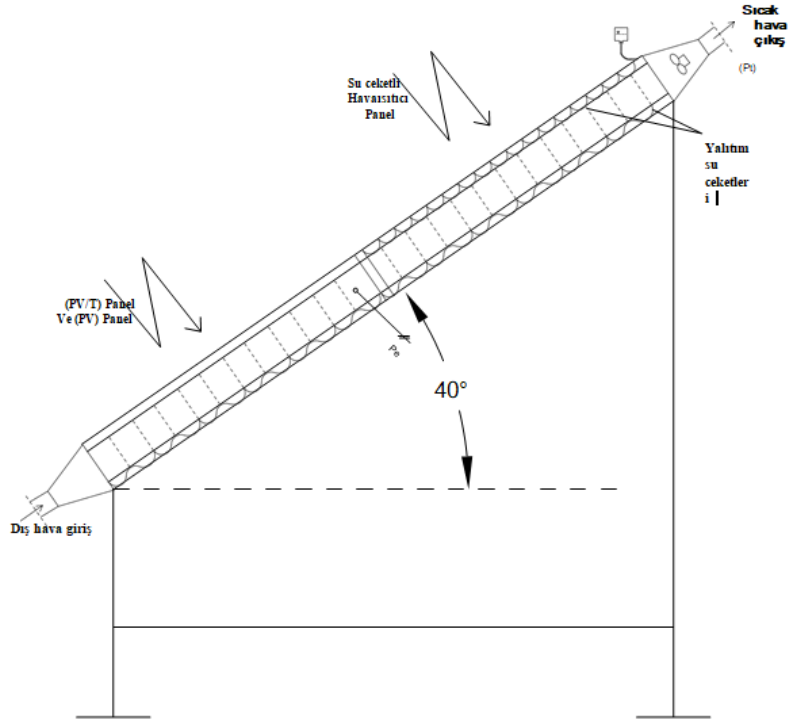
Sistemde birinci panel yalın panel, ikincisi ise PV/T paneldir. PV/T'de hem panel soğutması sağlanmakta hem de elektriksel ve termal verim değerlerinin yükseltilmesi hedeflenmektedir. PV/T'nin çıkış havası sıcaklığı ısı depolamalı hava ısıtıcı kolektörde değişik proses uygulamaları (kurutma, ısıtma vb.) için  $T_{ç2}$  çıkış sıcaklığına yükseltilmektedir. Sistemde hava hızı dolayısı ile debisi sabit tutulmuştur. Deneysel sistemde sıcaklıkları ait verileri kayıt altına alabilmek için Pico Technology 8 ölçüm cihazına eş zamanlı olarak bilgisayara bağlanan K tipi termokupullar kullanılmıştır. Sistemden alınan sıcaklık, ışınım, akım, gerilim vb. ölçüm noktaları Şekil 4.2'de görülmektedir. Deneysel sistemde eğim açısı bölgenin eğim açısına eşit (yaklaşık  $40^\circ$ ) olarak yerleştirilmiştir ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Hava soğutmalı, ısı depolamalı fotovoltaik termal kolektör (PV/T) sistemi.



Şekil 4.2. Deney sisteminin elemanları ve akış şeması.



Şekil 4.3. Deney sisteminin yerleştirme eğim açısı (yan görünüş)

Isı depolamalı hava kolektörü ve fotovoltaik paneli birleştirmek için, her ikisini de destekleyecek ahşap bir kasa kullanılmıştır. Kolektör kasası alttan ve yan yüzeyleri ısı kaybına karşı yalıtılmıştır. Çalışma kapsamında tasarlanan ve kurulan deney sistemine ait son halini gösteren montaj resimleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.4. Deney düzeneği montaj resimleri; a) ön görünüş, b) arka görünüş, c) yan görünüş.

### 4.3. KULLANILAN EKİPMAN VE İŞLEM ADIMLARI

#### 4.3.1. Yalın Panel

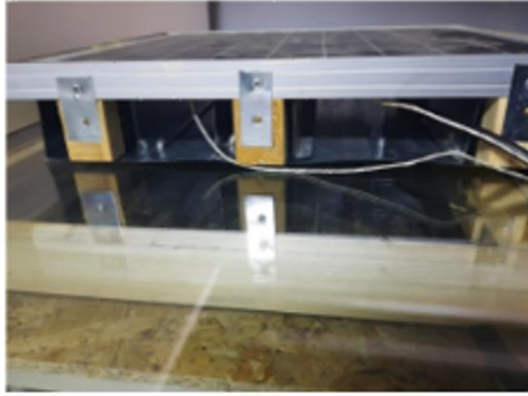
Fotovoltaik panellerin verimliliği ve performansı değişik birçok farklı faktörlere bağlıdır. Bunlar: malzeme, konum, yüzeyin yönü ve eğim açısı, gölge, panel tipi, bakım ve temizlik ve modüllerin arkasındaki sıcaklık yükselmeleridir. Çizelge 4.2'de sistemde kullanılan 20 Watt'lık polikristal yapıdaki yalın bir panelin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sistemde kullanılan PV panellerin teknik özellikleri.

<b>Maksimum Güç ( <math>P_{max}</math> )</b>	<b>20 Watt</b>
<b>Açık Devre Gerilimi ( <math>V_{oc}</math> )</b>	22,10 V
<b>Kısa Devre Akımı ( <math>I_{sc}</math> )</b>	1,35 Amper
<b>Maksimum Güç Voltajı ( <math>V_{mp}</math> )</b>	18 Volt
<b>Maksimum Güç Akımı ( <math>I_{mp}</math> )</b>	1,11 Amper
<b>Modül Uygulaması</b>	A sınıfı
<b>Boyut (mm)</b>	360x43,5x17
<b>Ağırlık (kg)</b>	2,5 kilogram
<b>Maksimum Sistem Gerilimi</b>	1000 Volt DC
<b>Maksimum Seri Sigorta Sınıfı</b>	10 A
<b>Güç Tolerans Aralığı</b>	+ 5 %

#### 4.3.2. Hava Soğutmalı (PV/T) Fotovoltaik Termal Panel Tasarımı

20 Watt'lık yalın PV panellerden birisi hava soğutmalı PV/T şekline dönüştürülmüştür. Bunun için 0,35 mm kalınlığında, 40 mm yüksekliğinde ve 360 mm uzunluğunda çelik kanatlar hazırlanarak termal macun ile PV/T fotovoltaik termal kolektör elde edilmiştir ve Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5. PV/T İmalatı ve termal macun.

#### 4.3.3. Su Ceketli Isı Depolamalı Hava Isıtma Kolektörü Tasarım ve İmalatı

PV/T panelden çıkan havanın sıcaklığını yükseltmek ve daha ekserjik hale getirmek için, su ceketli ısı depolamalı havalı kolektör tasarlanıp, imal edilerek kullanılmıştır. Kolektör boyutu 540x435 mm'dir. Kolektörde su ceketlerinin ölçüsü 10 x12 mm, alt yüzeyinde kullanılan hava kanatçıkların ölçüsü 40x40 mm boyutlarında,

kanatçıkların saç kalınlığı da 0,35 mm'dir. Su kanallarının üst yüzeyi aynı zamanda mat siyaha boyanarak selektif (seçici) yüzeyidir. Su kanallarının oluşturulmasında ve hava kanallarının alt yüzeye montajında elektrik dikiş kaynağı kullanılmıştır. Kolektöre su dolumu ve genişleme deposu bağlantısı için 10 mm çapında boru bağlantısı yapılarak Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Hava ısıtıcı kolektörü.

#### 4.4. ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖZELLİKLERİ

##### 4.4.1. Sıcaklık ölçüm cihazı

Sıcaklık ölçüm ve kayıt için olarak picotech 8 ve uygun K tipi termokupl kullanılmıştır. Bu cihaz, Şekil 4.7'de görüldüğü üzere, sıcaklık ölçümlerini, ölçülen sıcaklık verilerinin bilgisayarda paket programı ile depolanmasını ve işlenmesini sağlar.



Şekil 4.7. Sıcaklık ölçer ve K tipi Termokupl (picotech 8).

Pico teknoloji 8 cihazının farklı özellikleri ve avantajları şunlardır:

- 1 milyona kadar örnek toplayabilir.
- -270 ila +1820 °C sıcaklık aralığının etkili ölçüm yapabilir.
- -250 ila +1370°C aralığı, 0,025°C'den daha iyi bir hassasiyeti vardır.
- Doğru veri elde etmede kullanımı kolaydır.
- Gerçek zamanlı veri toplama, analiz etme ve görüntüleme kabiliyetine sahiptir.
- Her kanal için kılavuz alarm seviyeleri vardır.
- 20 birime/160 kanala kadar genişletilebilir.
- Ölçüm ve kayıt işlemlerinde uygun hassasiyet özelliği ile yüksek maliyetleri ortadan kaldırır.
- Hızlı işlem oranı ile saniyede 10 ölçüme yapabilme özelliği vardır.

#### 4.4.2. Işınım Ölçer (Piranometre)

Güneş ışınımını ölçebilmek için ISO MS-602 marka piranometre kullanılmıştır ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 8. Güneş ışınımını ölçer (piranometre).

Deneylerde güneş ışınım miktarını ölçmek için ISO MS-602 piranometre kullanılmış ve özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

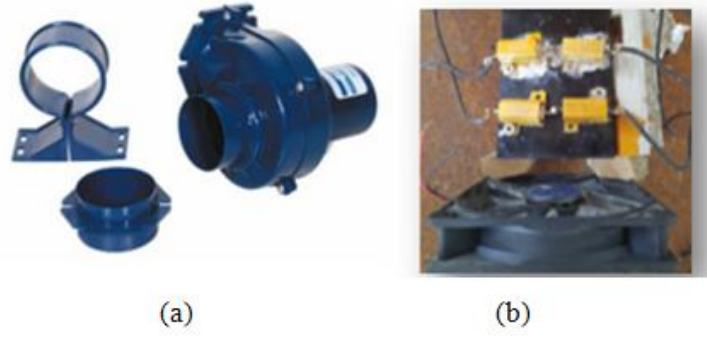
Çizelge 4.2. ISO MS-602 marka piranometre ölçer teknik özellikleri.

ISO 9060 Sınıfı	Second Class
Tepki süresi (%95)( sn)	< 17
Hassas ayar Zero offset	+ 10 W/m <sup>2</sup>
Termal radyasyon	
Hassas ayar(Zero Offset)	< 6 W/m <sup>2</sup>
Sıcaklık değişimi (5K/hr)	
Non-stabilite (değişme / yıl)	< 1.7 %
Non-linearite (1000W/m <sup>2</sup> )	< 1.5 %
Yönel tepki (1000W/m <sup>2</sup> )	< 25 W/m <sup>2</sup>
Spektral seçicilik(0.35 – 1.5 µm)	< 1%
Sıcaklık tepkisi (50C)	< 2%
Tilt tepkisi (1000 W/m <sup>2</sup> )	< 2%
Anma Duyarlılığı (µV/W/m <sup>2</sup> )	7
Anma Empedansı (ohm)	20 – 140
Çalışma sıcaklığı, C	– 40 ~ 80 C arası
Kablo uzunluğu	10m

#### 4.4.3. Sistemde Kullanılan Hava Fanları ve özellikleri

Hava kolektörünün üst kısmında, 3700 lt/dk kapasiteli havayı sistem içinde dolaştırmak için 12 V DC fan kullanılır. Fan invertör güç kaynağına bağlanabilir ve akış hızı voltaja göre ayarlanabilir. Ayrıca PV ve PV/T elektrik güç çıkışlarını kesen 14,6 ohm direnç devresinin aşırı ısınmasını önlemek ve alınan ölçümlerin sağlıklı olmasını sağlamak için 15V nominal gerilim ve 0,14 nominal akım ile ekstra bir fan kullanılmaktadır bu fan Şekil 4.9’da görülmektedir.





Şekil 4.9. Hava Fanları; a) Hava Isıtıcı Fanı, b) Direnç soğutma fanı.

#### 4.4.4. Arduino Mega R2560

Arduino kendi yazılım programı ile kendisine aktarılan yazılımları kullanarak gerekli pimlerden çıkış sağlamaya yarayan bir mikroişlemcidir. Böylece bu yazılım, bilgisayarda belirlenmek istenen çeşitli parametrelerin kaydedilmesini daha kolay ve daha doğrudan hale getirecektir. Kullanılan Arduino Mega R2560, Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Arduino Mega R2560.

#### 4.4.5. DS18B20 Sıcaklık Sensörü

DS18B20 sıcaklık sensörlü, ortam sıcaklığının ölçülmesini kolaylaştıran bir sensördür ve ortaya çıkan PV/T kolektördeki sıvı akışkan giriş ve çıkışlarının farklı ortam sıcaklıkları Arduino yazılımına kaydedilecektir. DS18B20 sıcaklık sensörü, sıvı geçirmez paslanmaz çelik sensör ucuna sahiptir ve çalışma sıcaklığı aralığı  $-55^{\circ}\text{C}$  ile  $+125^{\circ}\text{C}$  arasındadır. Sensör Şekil 4.11'da gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Sıcaklık sensörü (Sonoff).

#### 4.4.6. Direnç

Direnç, elektrik devrelerinin tasarımı ve analizi, elektrik enerjisinin iletilmesi ve dönüştürülmesi gibi birçok elektrik uygulaması ve konusuyla ilgili temel bir kavramdır. Devrede birbirine seri bağlı ( $10\Omega+4.6\Omega$ ) 14.6 ohm'luk iki adet direnç kullanılmıştır. Dirençler fotovoltaik (PV) panel çıkışlarına kapalı devre şeklinde bağlanmıştır. Elektriksel güç ölçüm değerlerinde stabil değerler elde etmek için dirençlerde oluşan ısının atılması soğutulması gereklidir. Bunun için Şekil 4.12'de görülen sistemde dirençler, için hava fanı destekli (10x20) cm boyutlarında kanatçıkla alüminyum soğutucu plaka üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.12. Dirençler ve soğutucu bağlantıları.

#### 4.4.7. Güç Kaynağı

Güç kaynağı, elektrik enerjisinin bir elektrikli cihaza veya sisteme sağlandığı elektronik bir bileşendir. Temel olarak, bir güç kaynağı, elektrikli ekipmanın ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamak için elektrik enerjisini farklı voltaj ve akım seviyelerine dönüştürür. Bu, elektroniğin düzgün çalışmasını garanti eder. Güç kaynağı Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Güç kaynağı.

#### 4.5. METOT

Yapılan bu çalışma fotovoltaik/ termal panellerin ısı depolamalı ek ısıtıcı bir sistemde kullanılabilirliğine yönelik deneysel bir çalışmadır. PV/T panelli termal depolamalı bir hava kolektörü tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, panelin arka yüzeyinin sıcaklığını düşürmek, panelin elektriksel ve termal verimini artırmak ve sistem tarafından elde edilen fazla ısıyı depolayabilmektir. Bu amaçla bir deney sistemi kurulmuş ve deneyler için aynı özelliklere sahip iki fotovoltaik panel kullanılmıştır. Kurulan deneysel konfigürasyonda birinci PV modül yalın bırakılmış, ikinci PV modül kanatçıklar eklenerek hava soğutmalı PV/T panel elde edilerek karşılaştırılması yapılmıştır. Fotovoltaik paneli soğutan ve ısınan havanın kurutma, ısıtma vb. gibi farklı işlemlerde kullanılabilirliğini (ekserji) arttırmak için PV/T panel ile su kanallı ve kanatlı bir hava ısıtma kolektörü kullanılmıştır. Hava kolektöründe kullanılan su, ısı verimi artıracak ve ısıyı depolayacaktır. Deneyler Karabük Üniversitesi'nde Ağustos 2023'te üç farklı günde 11:00-18:30 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Veriler önceden oluşturulan Excel elektronik tablolarına girilmiştir. Sistem üç farklı günde 5 dakikalık aralıklarla ölçülmüş; 30 dakika boyunca güneş radyasyonu değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmış, panel yüzeyine yerleştirilen termokupllar kullanılarak farklı yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklıkları ve giriş çıkış sıcaklıkları elde edilmiş ve güç değerleri zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilmiştir. Kaydedilen bu parametrelerin analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak grafikler şeklinde verilmiştir.

#### 4.5.1. Teorik Analiz

PV ve PV/T fotovoltaik panellerden elde edilen elektriksel güç ( $\dot{Q}_e$ ) devrede ölçülen gerilim (V) akımın (I) çarpımıdır ve Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_e = I \times V \quad (4.1)$$

Eşitlikte;

$\dot{Q}_e$  : Elde edilen elektriksel güç (W)

V: gerilim (volt)

I : Akım (amper)

olarak verilmiştir.

PV ve PV/T panelden elde edilen elektriksel verim ( $\eta_e$ ) fotovoltaik panellerden elde edilen elektriksel gücün ( $\dot{Q}_e$ ), panel yüzeyine gelen toplam enerjiye oranı ( $I_g \times A$ ) olarak tanımlanır ve Eşitlik 4.2 ile hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{\dot{Q}_e}{I_g \times A} \quad (4.2)$$

Eşitlikte;

$\eta_e$  : Elde edilen elektriksel verim (%)

$\dot{Q}_e$  : Elde edilen elektriksel güç (W)

$I_g$  : Güneş ışınımı ( $W/m^2$ )

A : Yüzey alan (pv ; pv/t) ( $m^2$ )

olarak verilmiştir.

PV/T panelden ve hava ısıtıcısından elde edilen termal güç hesabında Eşitlik 4.3 kullanılmıştır. Sistemde hava debisi sabittir.

$$\dot{Q}_{t,pv/t} = \dot{m}.c_p.\Delta t ; \dot{Q}_{t,h1} = \dot{m}.c_p.\Delta t \quad (4.3)$$

Eşitliklerde;

$\dot{Q}_{t,pv/t}$  : PV/T den elde edilen termal güç (W)

$\dot{Q}_{t,h1}$  : Hava ısıtıcıdan elde edilen termal güç (W)

$\dot{m}$ : Kütleli debi (kg/s)

$C_p$  : Havanın özgül ısısı ( 1007 kJ/kg.°C)

$\Delta t$ : PV/T de ve hava ısıtıcısında havanın giriş – çıkış sıcaklık farkları (°C)

$\Delta t$ : ( $T_{ç1}-T_g$ ) Veya  $\Delta t$ : ( $T_{ç2}-T_{ç1}$ ) şeklinde kullanılabilir.

$T_g$  : PV/T'ye giren havanın sıcaklığı (°C)

$T_{ç1};T_{ç2}$ : PV/T den veya hava ısıtıcıdan çıkan havanın sıcaklıkları (°C)

olarak verilmiştir.

PV/T panelin ve hava ısıtıcısının termal verim ( $\eta_t$ ) değerleri hesaplanırken; PV/T panelden ve hava ısıtıcısından elde edilen termal güç değerleri bu ünitelere giren ve anlık güneş ışınım değeri ile ünitelerin yüzey alanları kullanılarak ( $I_g \times A$ ) hesaplanan toplam güç değerine bölünerek Eşitlik 4.4 yardımı ile hesaplanır.

$$\eta_{t,pv/t} = \frac{\dot{Q}_{t,pv/t}}{I_g \times A} ; \eta_{t,h1} = \frac{\dot{Q}_{t,h1}}{I_g \times A} \quad (4.4)$$

Eşitlikte;

$\eta_{t,pv/t}$  : PV/T Termal verimi (%)

$\eta_{t,h1}$  : Hava ısıtıcı Termal verimi (%)

$\dot{Q}_{t,pv/t}$  : PV/T den alınan termal güç (W)

$\dot{Q}_{t,h1}$ : Hava ısıtıcıdan alınan termal güç (W)

$I_g$  : Güneş ışınımı (W/m<sup>2</sup>)

$A$  : Yüzey alanı (pv/t ; h1) (m<sup>2</sup>)

olarak verilmiştir.

Güneş ışınlam değeri  $300 \text{ W/m}^2$  değeri altına indiğinde veya tamamen bittiğinde hava ısıtıcısı su kanalında bulunan 7 litre kapasitedeki suyun depoladığı ısı enerjisinin hesabında aşağıdaki Eşitlik 4.5 kullanılır. Hava ısıtıcısında depolanan enerji ışınlam değeri bittiğinde deney devam ettirilerek sistem çıkış havasının ısıtılmasında kullanılmaktadır. Deney ısıtıcı içerisindeki su sıcaklığı ile hava sıcaklığı eşitleninceye kadar devam etmektedir.

$$\dot{Q}_{h,depo} = \dot{m}.c_p. \Delta t \quad (4.5)$$

Eşitlikte;

$\dot{Q}_{h,depo}$  : Hava ısıtıcısında depolan enerji (W)

$\dot{m}$  : Kütleli debi (kg/s)

$C_p$  : Suyun özgül ısısı (4,186 kJ/kg)

$\Delta t$ : Suyun sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_g$  : Paneldeki suyun ilk sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\phi}$  : Paneldeki suyun son sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

olarak verilmiştir.

Panel yüzey alan  $0,1566 \text{ m}^2$ , kolektör yüzey alanı  $0,2349 \text{ m}^2$  ve hava ısıtıcısı depolama su kapasitesi 7 litre yaklaşık 7 kg'dır.

Sistemin toplam termal gücü PV/T'den ve Hava ısıtıcısından elde edilen ısı enerjilerinin toplamıdır. Toplam termal güç ve toplam termal verim aşağıdaki Eşitlik 4.6 ve Eşitlik 4.7 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{t,toplam} : \dot{Q}_{t,pv/t} + \dot{Q}_{t,h1} \quad (4.6)$$

Eşitlikte;

$\dot{Q}_{t,toplam}$  : Toplam termal güç (W)

$\dot{Q}_{t,pv/t}$ : PV/T'den alınan termal güç (W)

$\dot{Q}_{t,h1}$  Hava ısıtıcısından alınan termal güç (W)

$$\eta_{t,toplam} : \frac{\dot{Q}_{t,toplam}}{I_g \times A} \quad (4.7)$$

Eşitlikte;

$\eta_{t,toplam}$  : Toplam termal verim (%)

$\dot{Q}_{t,toplam}$  : Toplam termal güç (W)

$I_g$  : Güneş ışınımı (W/m<sup>2</sup>)

A : Yüzey alanı (pv/t ; h1) (m<sup>2</sup>)

Sistemin genel verimi ise sistemden elde edilen toplam (elektriksel ve termal) gücün, sisteme giren (ışınım, fan vb.) güce oranı olarak tanımlanır. Sistemden elde edilen toplam güç, PV/T den ve hava ısıtıcısından elde edilen termal güç ile PV ve PV/T panelden elde edilen elektriksel çıkış güçleri toplanarak bulunur. Elektriksel güç gücü ısı enerjisiye dönüştürmek için güç katsayısı ( $c_p=0,38$ ) değerini kullanarak termal güç olarak ifade edebiliriz. Buradan, sistemden elde edilen toplam enerjiyi aşağıdaki Eşitlik 4.8, sistem genel verimini ise Eşitlik 4.9 kullanılarak bulabiliriz.

$$\dot{Q}_{S,toplam} = \dot{Q}_{t,toplam} + \dot{Q}_{e,ısı} \quad (4.8)$$

Eşitlikte;

$\dot{Q}_{S,toplam}$  : Sistemden alınan toplam güç (W)

$\dot{Q}_{t,toplam}$  : Sistemden alınan toplam termal güç (W)

$\dot{Q}_{e,ısı}$  : Sistemden alınan toplam elektriksel gücün ısı değeri ( $Q_e/0,38$ ) (W)

$$\eta_{S,genel} : \dot{Q}_{S,toplam} / \dot{Q}_{S,giren} \quad (4.9)$$

Sisteme giren enerji eşitlik 4.10 kullanılarak bulunur eşitliği ile bulunur.

$$\dot{Q}_{S,giren} = (I_g \times A_{toplam}) + \dot{W}_F / 0,38 \quad (4.10)$$

Eşitlikte;

$I_g$  : Güneş ışınımı ( $W/m^2$ )

$A_{toplam}$  : Toplam alan (PV,PV/T,HI) ( $m^2$ )

$\dot{W}_F$  : Hava fanı elektriksel gücü (W)

Hava fan debisi sistemde sabittir. Fan sabit debide 12 volt gerilim değerinde, yaklaşık 0,83-0,84 Amper akım çekmektedir. Fan elektriksel gücü yaklaşık 10 W, ısı güç karşılığı da ( $10 / 0,38 = 26,31$ ) W olarak alınmıştır.

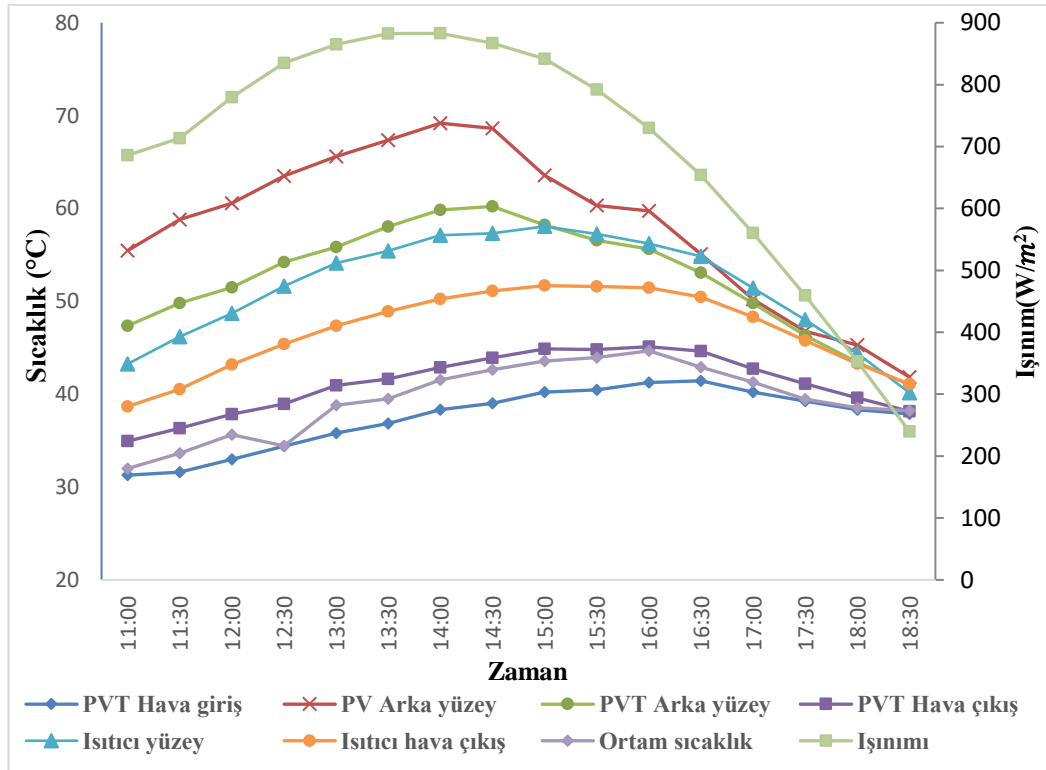


## BÖLÜM 5

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneyleyler, Türkiye'nin Karabük ilinde, Ağustos ayının başında, açık ve hafif bulutlu bir havada, üç farklı günde gerçekleştirilmiştir. Deneyleyler deney yerinin gölgelemesi dikkate alınarak genelde sabah 11:00'da başlamış ve akşam 18:30'da sona ermiştir. PV panelden ve PV/T panelden sırasıyla ölçülen sıcaklık, akım, gerilim ve güç verileri karşılaştırılmış ve aynı anda kaydedilmiştir.

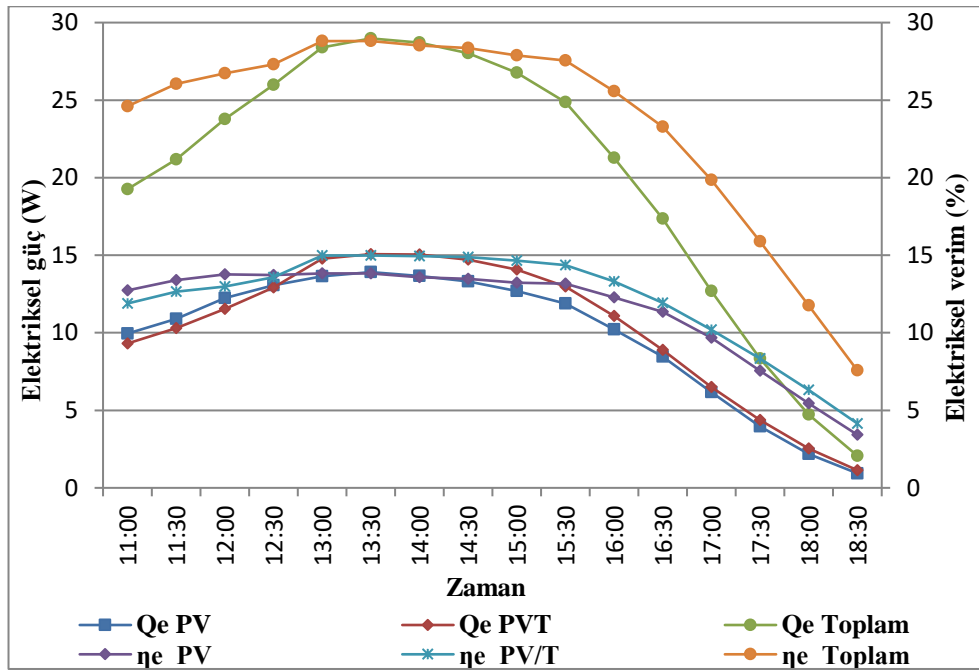
Şekil 5.1'de, 5 Ağustos günü saat 11:00'den itibaren zamana bağlı olarak güneş ışınımının ve PV ve PV/T panellerin ilk gün için sıcaklıklarının değişimleri görülmektedir.



Şekil 5.1. Zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınımının değişimi (5 Ağustos).

Güneş ışınımı saat 14:00'te maksimum 882,77 W/m<sup>2</sup> değerine ulaşmış ve ardından 18:30'da yaklaşık 239,79 W/m<sup>2</sup>'ye ulaşana kadar azalmaya başlamış olup, güneş ışınımının zamansal ortalaması 696,35 W/m<sup>2</sup>'de olmuştur. Farklı hava giriş sıcaklığı, PV arka yüzey sıcaklığı, PV/T arka yüzey, PV/T hava çıkış, ısıtıcı yüzey ve ısıtıcı hava çıkış sıcaklığı için ortalama değerleri sırası ile 37,46°C, 58,24°C, 52,56°C, 41,16°C, 51,51°C, 46,82°C ve ortalama ortam sıcaklığı 39,42°C'dir. Güneş ışınımının arttıkça PV panelin arkasındaki sıcaklığın arttığı, panel soğudukça PVT panelin arkasındaki sıcaklığın azaldığı görülmektedir.

Sistemden elde edilen deney verileri kullanılarak Eşitlik 4.1'den elektriksel güç, Eşitlik 4.2'den verim değerleri hesaplanarak zamana bağlı olarak Şekil 5.2'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

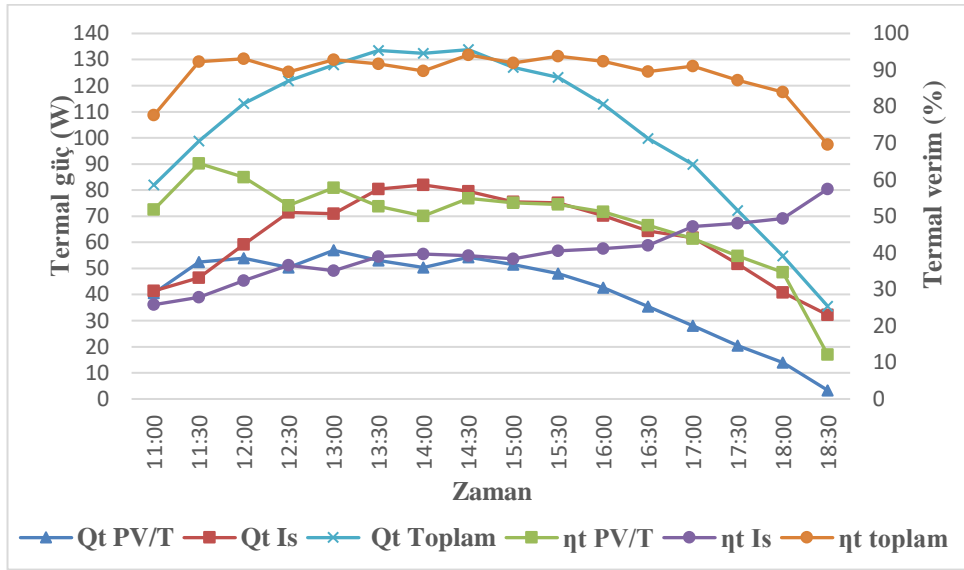


Şekil 5.2. Elektrik güç ve verimliliğin zamana göre değişimi.

Şekil 5.2'de, PV panelin elektrik güç değerlerinin en yüksek ve en düşük değerler olarak 9,95 W ile 0,93 W arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler PV/T panelde ise 9,29 W ile 1,13 W arasında değişmektedir. İki güneş panelinin (PV ve PV/T) elektriksel verimlilikleri ise %12,72 ile %3,42 ve %11,88 ile %4,14 arasında değişmektedir. Elektrik gücü ve elektrik veriminin her iki panelde de 13:30'a kadar arttığı ve 13:30'dan itibaren düşmeye başladığı görülmektedir. Deney süresince iki

güneş panelinin (PV ve PV/T) ortalama elektriksel güç değerleri sırasıyla 9,82 W ve 10,32 W, ortalama elektriksel verimlilik değerleri ise sırasıyla %11,52 ve %12,13 olarak gerçekleşmiştir. Görülebileceği gibi, PV/T panelin soğutma etkisi panelin arkasındaki sıcaklığın düşmesini sağlayarak sistemin elektrik verimliliğini artırdığından, PV/T'nin güç değerleri ve elektriksel verimlilik değerleri PV panelden daha yüksek olmuştur.

Sistemden alınan ilk gün (5 Ağustos) deney verileri kullanılarak PV, PV/T ve hava ısıtıcısı ve sistem için, Eşitlik 4.3'ten termal güç, Eşitlik 4.4'ten termal verim, Eşitlik 4.6'dan toplam güç ve Eşitlik 4.7'den ise toplam termal verim değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler zamana bağlı karşılaştırmalı olarak Şekil 5.3'te verilmiştir.

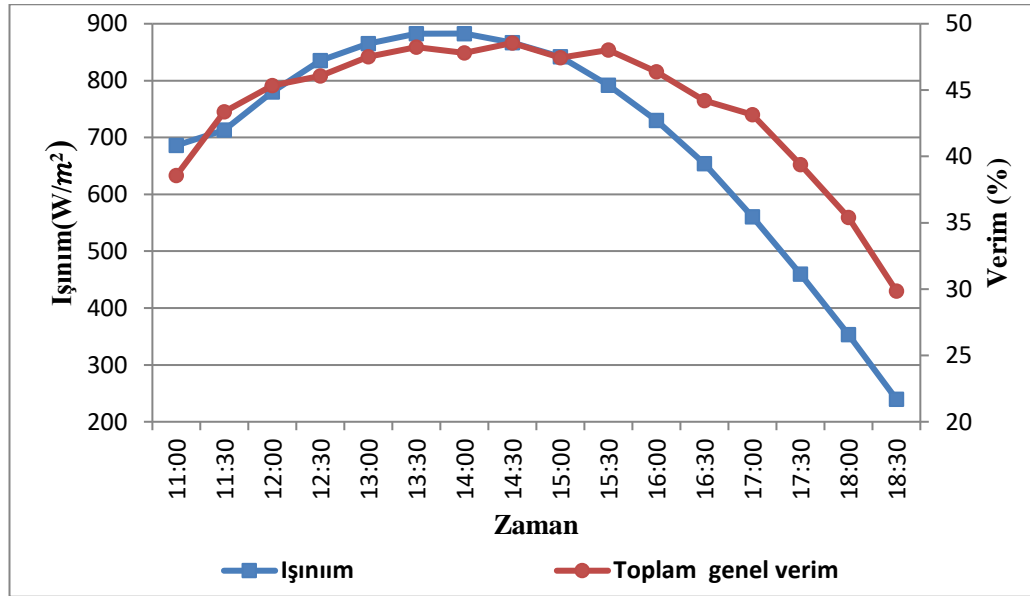


Şekil 5.3. Termal güç ve verimlilik değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.

Deneylerin ilk gününde, Şekil 5.3'te saat 11:00 ile 13:30 zaman aralığında, PV/T'nin termal gücünün 40,54 W ile 53,06 W arasında, hava ısıtıcı kolektörün termal gücünün 41,42 W ile 80,41 W arasında ve toplam termal gücünde 81,97 W ile 133,48 W arasında değiştiği görülmektedir. PV/T'nin termal verimi %51,82 ile %52,73, hava ısıtıcı kolektörün termal verimi %25,79 ile %38,94 ve toplam termal verimin %77,62 ile %91,67 arasında değiştiği görülmektedir. PV/T panelin, kolektörün ve iki verimin toplamının termal verimleri için hesaplanan ortalama

değerler sırasıyla 40,96 W, 62,68 W ve 103,65 W ve termal verimleri için hesaplanan ortalama değerler sırasıyla %48,80, %39,97 ve %88,77'dir. Işınım zamanla azaldıkça, özellikle 400 W/m<sup>2</sup> değerlerinin altına indiğinde PV/T panelin termal verimliliğinin kademeli olarak hızla düştüğü, buna karşılık ısıl atalet ve ısı depolama özelliğinden dolayı hava ısıtıcı kolektörün termal verimliliğinin arttığı görülmektedir.

Sisteme giren ve çıkan enerjiler kullanarak sistem için gelen verim değerleri Eşitlik 4.8 ve 4.9 kullanarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler tüm deney günleri için zamana ve ışınımına bağlı olarak analiz edilmiştir. Birinci gün için (5 Ağustos) bulunan değerler, Şekil 5.4'te verilmiştir.

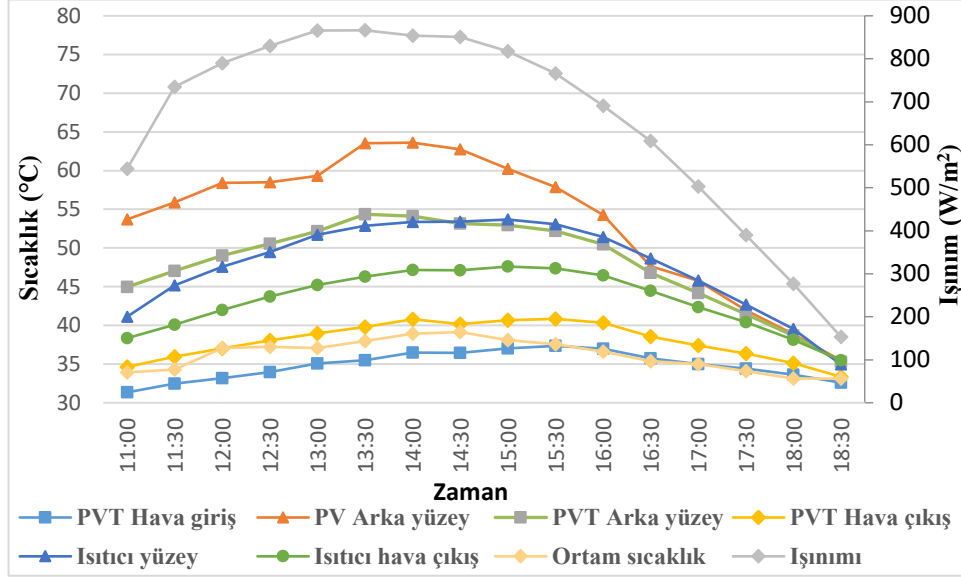


Şekil 5.4. Toplam genel verim ve güneş ışınımının değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.

Şekil 5.4 incelendiğinde, sistem genel veriminin ışınımına bağlı olarak %38,55 ile %48,23 arasında değiştiği görülmektedir. Güneş ışınımı ve sistemin toplam genel verimi için hesaplanan ortalama değerler sırasıyla 696,35 W/m<sup>2</sup> ve %43,70'dir. Zamanla ışınım azaldıkça, özellikle 400 W/m<sup>2</sup>'nin altına düştüğünde sistemin genel verim değeri düşmektedir.

Deneylerin ikinci gününde (7 Ağustos) sistemden ölçülen zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınım değerleri şekil 5.5'te görülmektedir. Sistemde saat 11:00 ile 13:30

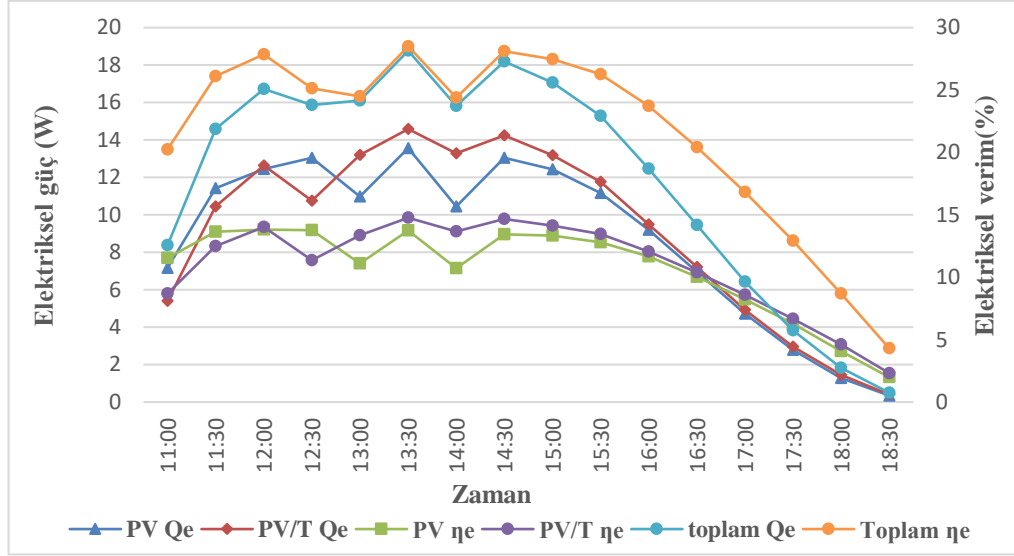
arasında güneş ışınımı  $544,48 \text{ W/m}^2$ 'den  $866,32 \text{ W/m}^2$ 'ye yükseldiği görülmekte verilerden ortalama güneş ışınımı  $658,92 \text{ W/m}^2$  olarak bulunmuştur.



Şekil 5.5. Zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınımının değişimi (7 ağustos).

Farklı hava giriş sıcaklıkları, PV arka yüzey sıcaklığı, PV/T arka yüzey, PV/T hava çıkışı, ısıtma yüzeyi ve ısıtma havası çıkış sıcaklığı için ortalama değerler  $34,83^\circ\text{C}$ ,  $53,62^\circ\text{C}$ ,  $47,96^\circ\text{C}$ ,  $38,01^\circ\text{C}$ ,  $47,78^\circ\text{C}$ ,  $43,26^\circ\text{C}$  ve ortalama ortam sıcaklığı  $36,16^\circ\text{C}$ 'dir.

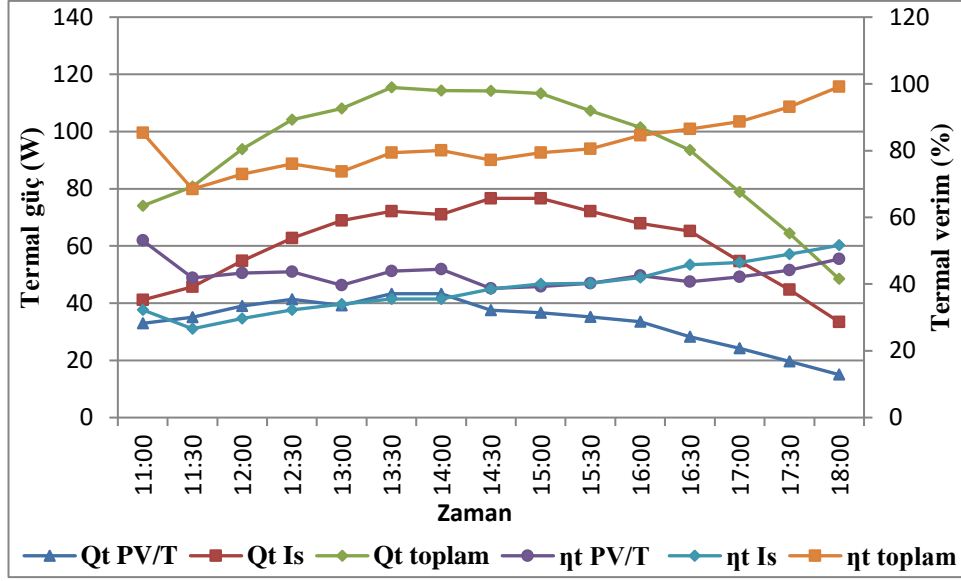
İlk günkü deneylerde gösterilen hesaplama yöntemi burada da kullanıldı. İkinci günde (7 Ağustos) hesaplanıp elde edilen elektrik gücü ve elektriksel verim değerleri, zamanın fonksiyonu olarak karşılaştırma amacıyla Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Elektrik güç ve verimliliğin zamana göre değişimi.

Şekil 5.6'da fotovoltaik panelin elektriksel güç değerlerinin en yüksek ve en düşük değerler olarak 7,16 W ile 0,34 W arasında değiştiği görülmektedir. PV/T panelde bu değerler 5,39 W ile 0,40 W arasında değişmektedir. İki güneş panelinin (PV ve PV/T) elektriksel verimleri %11,54 ile %1,99 ve %8,69 ile %2,31 arasında değişmektedir. Her iki panelde de elektrik gücü ve elektrik veriminin saat 13:30'a kadar arttığı, saat 13:30'dan itibaren ise düşmeye başladığı görülmektedir. Deney sırasında iki güneş panelinin (PV ve PV/T) ortalama elektrik gücü değerleri sırasıyla 8,81 W ve 9,12 W, ortalama elektrik verim değerleri ise sırasıyla %10,63 ve %10,95 olarak gerçekleşti.

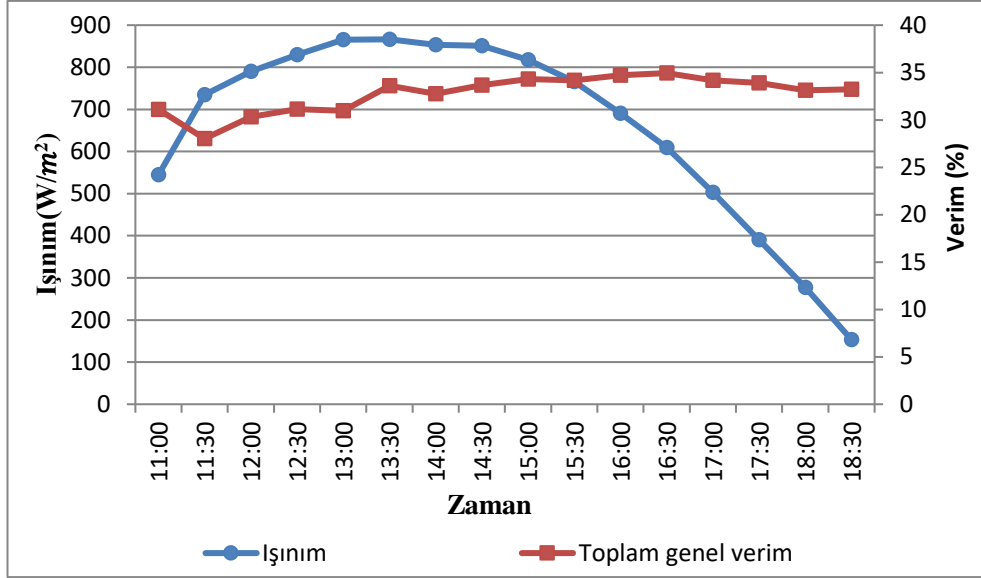
İlk gün yapılan deneylerde sunulan hesaplama yöntemi burada da kullanılmıştır. İkinci günde (7 Ağustos) hesaplanan ve elde edilen termal güç ve termal verim değerleri, zamanın bir fonksiyonu olarak karşılaştırma amacıyla Şekil 5.7'te verilmiştir.



Şekil 5.7. Termal güç ve verimlilik değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.

Deneylelerin ikinci gününde Şekil 5.7'de görüldüğü üzere, 11:00 ile 13:30 saatleri arasında PV/T'nin termal gücü 32,92 W ile 43,30 W arasında, kolektörün termal gücü 41,09 W ile 72,11 W arasında ve iki termal gücün toplamı için 74,02 W ile 115,41 W arasında ve PV/T'nin termal verimi %53,05 ile %43,84 arasında, kolektörün termal verimi %32,25 ile %35,57 arasında ve iki termal verimin toplamı için %85,30 ile %79,41 arasındadır. Kolektörün termal gücü ve iki gücün toplamı için hesaplanan ortalama değerler sırasıyla 33,60 W, 60,52 W ve 94,13 W, termal verimlilikler için hesaplanan ortalama değerler ise %43,02, %40,37 ve %81,66'dır. Işınım zamanla azaldıkça, özellikle 300 W/m<sup>2</sup> değerlerinin altına indiğinde PV/T panelin termal verimliliğinin kademeli olarak hızla düştüğü, buna karşılık ısı atalet ve ısı depolama özelliğinden dolayı hava ısıtıcı kolektörün termal verimliliğinin arttığı görülmektedir.

İlk gün yapılan deneylerde sunulan hesaplama yöntemi burada da kullanıldı. Hesaplanan toplam genel verim, güneş ışınımı ve ikinci günde (7 Ağustos) elde edilen değerler, zamanın bir fonksiyonu olarak karşılaştırma amacıyla Şekil 5.8'de verilmiştir.

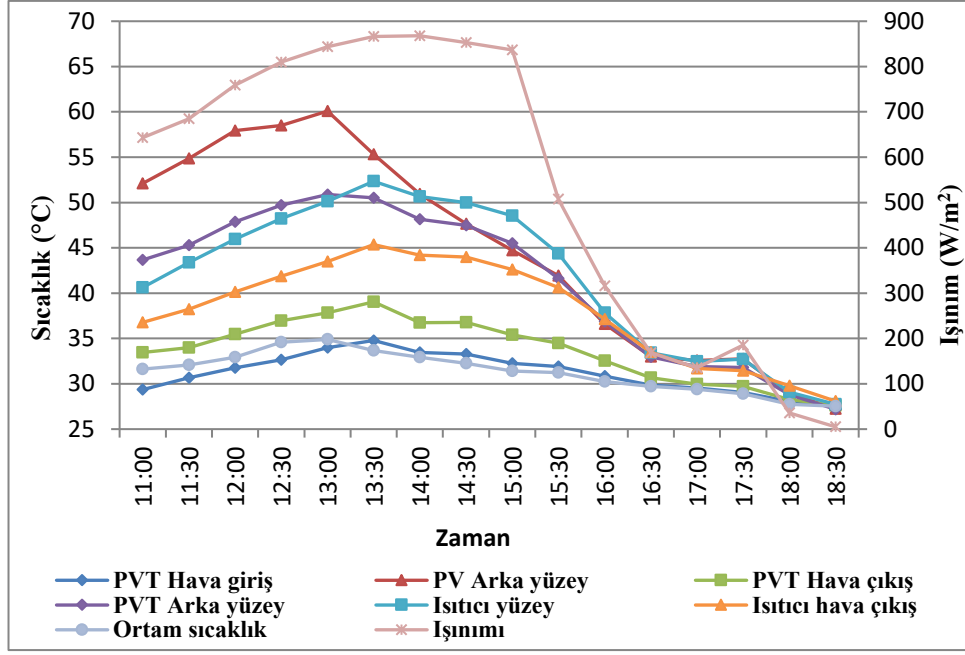


Şekil 5.8. Toplam genel verim ve güneş ışınımının değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.

Şekil 5.8'de görüldüğü gibi sistemin genel verimliliğinin radyasyona bağlı olarak %31,10 ile %33,59 arasında değiştiğini görüyoruz. Güneş ışınımı ve toplam genel sistem verimliliği için hesaplanan ortalama değerler sırasıyla 658,92 W/m<sup>2</sup> ve %32,75'tir. Sonuçlar incelediğinde ışınım değeri 500 W/m<sup>2</sup>'nin altına düşmeye başladığında, sistemin ısı depolama özelliğinden dolayı verim değeri yükselme eğilimi göstermektedir. Bunu nedeni sistemi giren enerjinin azalması oransal olarak analın enerji sabit kalması ile açıklanabilir.

Deneylerin üçüncü gününde (8 Ağustos) sistemden ölçülen zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınım değerleri şekil 5.9'de görülmektedir. Sistemdeki güneş ışınımının saat 11:00 ile 13:30 arasında 643,21 W/m<sup>2</sup>'den 866,55 W/m<sup>2</sup>'ye çıktığı görülmüyor. Hava çok bulutlu olduğundan saat 15.00'ten sonra güneş ışınımı çok hızlı azaldı. Verilere göre güneş ışınımının ortalama değeri 532,38 W/m<sup>2</sup>'dir.

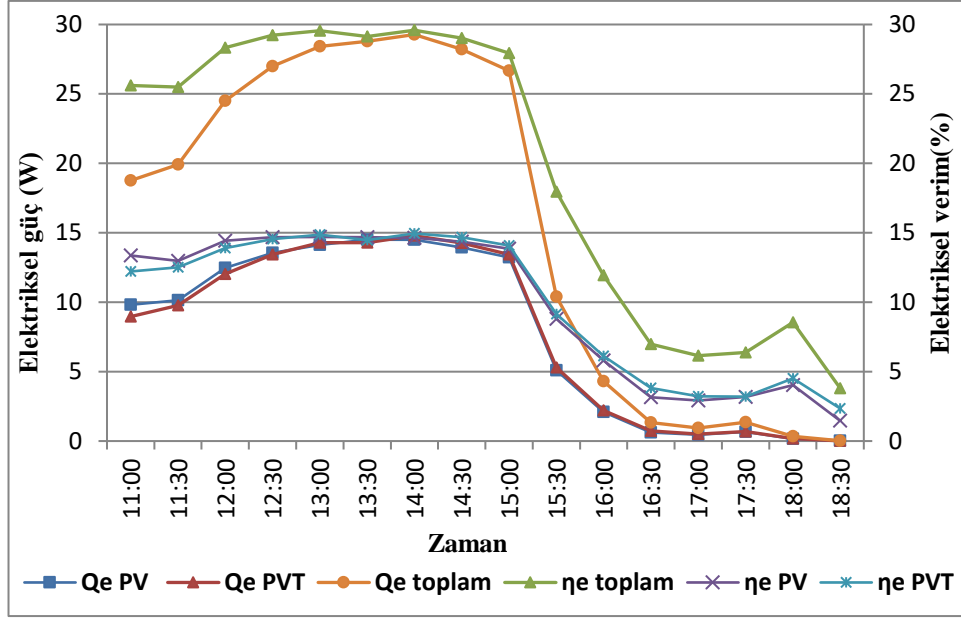




Şekil 5.9. Zamana bağlı sıcaklıkların ve güneş ışınımının değişimi (8 Ağustos).

Farklı hava giriş sıcaklıkları, PV arka yüzey sıcaklığı, PV/T arka yüzey, PV/T hava çıkışı, ısıtma yüzeyi ve ısıtma havası çıkış sıcaklığı için ortalama değerler 31,18°C, 44,70°C, 41,27°C, 33,68°C, 1,71°C, 38,05°C ve ortalama ortam sıcaklığı 31,31°C'dir.

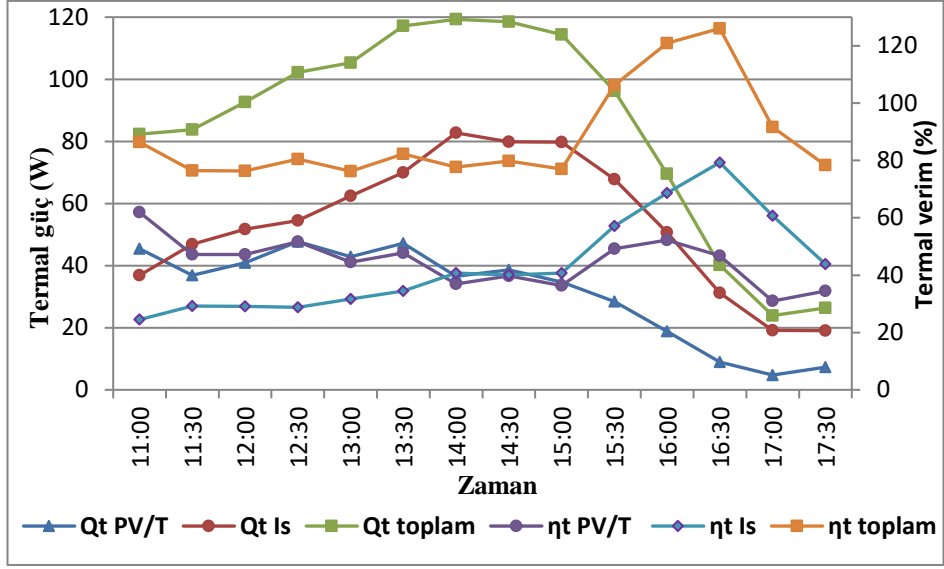
İlk günlük deneylerde gösterilen hesaplama yöntemi burada da kullanıldı. Üçüncü günde (8 Ağustos) hesaplanıp elde edilen elektrik gücü ve elektrikselsel verim değerleri, zamanın fonksiyonu olarak karşılaştırma amacıyla Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Elektrik güç ve verimliliğin zamana göre değişimi.

Şekil 5.10'da fotovoltaik panelin elektriksel güç değerlerinin en yüksek ve en düşük değerler olarak 9,80 W ile 0,0082 W arasında değiştiği görülmektedir. PV/T panelde bu değerler 8,96 W ile 0,0132 W arasında değişmektedir. İki güneş panelinin (PV ve PV/T) elektriksel verimleri %13,37 ile %1,45 ve %12,22 ile %2,34 arasında değişmektedir. Grafik, panellerin gücünün ve elektrik çıkışının 15 saate kadar arttığını ve 15 saatten sonra çok hızlı bir şekilde düştüğünü göstermektedir. Bu önemli düşüşün nedeni güneş ışınımındaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Deney sırasında iki güneş panelinin (PV ve PV/T) ortalama elektrik gücü değerleri sırasıyla 7,83 W ve 7,80 W, ortalama elektrik verim değerleri ise sırasıyla %9,81 ve %9,91 olarak gerçekleşti. Toplam elektriksel güç ve toplam elektriksel verimlilik değerleri ise 15,63W ve %19,72 'tür.

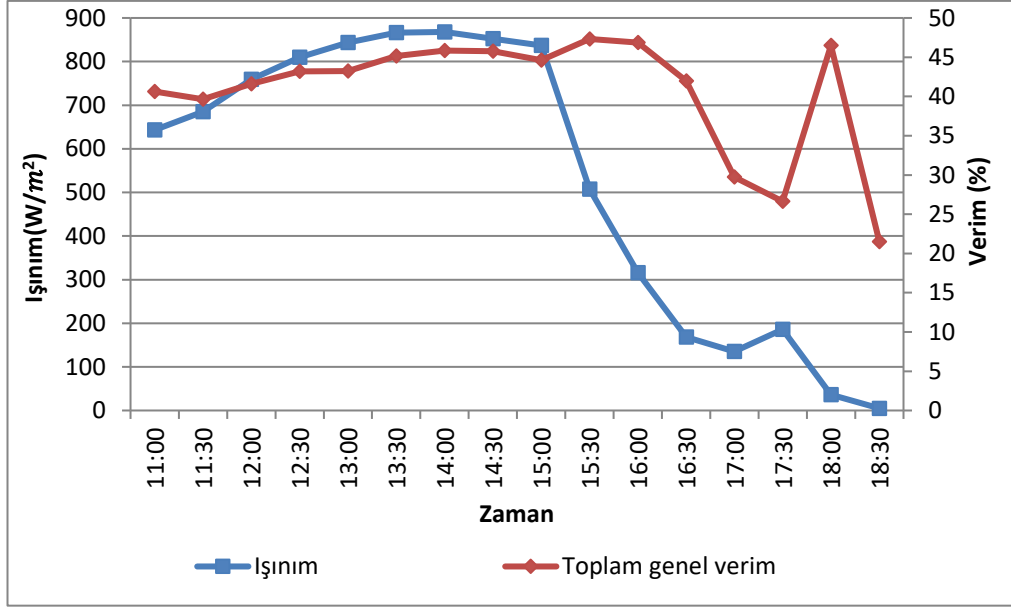
Üçüncü günde (8 Ağustos) hesaplanan ve elde edilen termal güç ve termal verim değerleri, zamanın fonksiyonu olarak karşılaştırma amacıyla Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Termal güç ve verimlilik değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.

Deneylerin üçüncü gününde PV/T panelin termal güçleri, kolektör ve iki gücün toplamına ait verilere göre ortalama değerler sırasıyla 31,37 W, 53,77 W ve 85,15 W olup, termal verimlere ilişkin verilerden elde edilen ortalama değerler %44,80, %43,48 ve %88,29'dur. Güneş ışınımındaki keskin azalma nedeniyle termal verimin %100'ü aştığı görülmektedir.

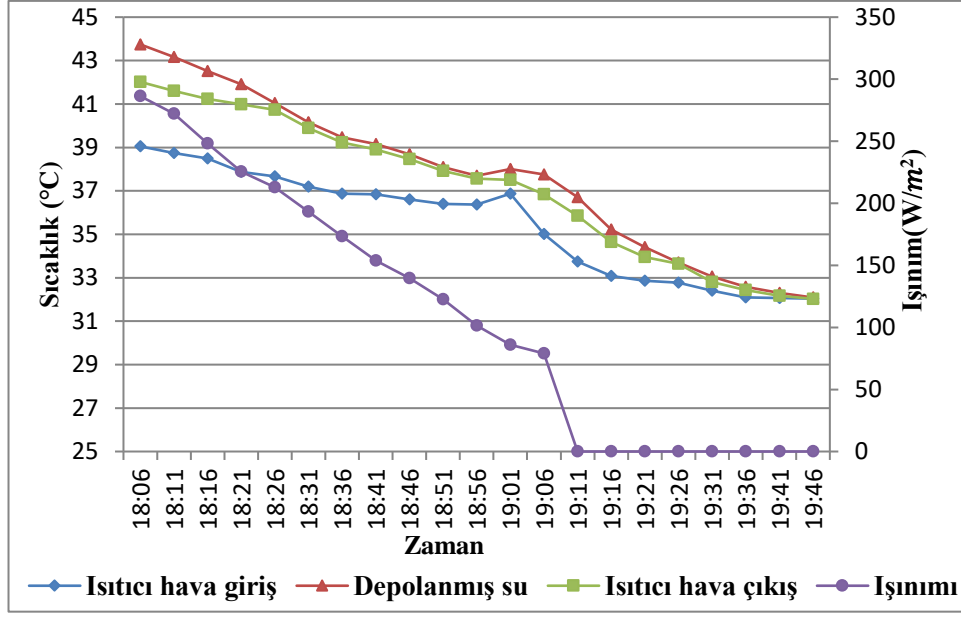
Üçüncü günde (8 Ağustos) hesaplanan toplam genel verim ve güneş ışınımı değerleri, zamanın bağlı karşılaştırmalı olarak Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Toplam genel verim ve güneş ışınımının değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi.

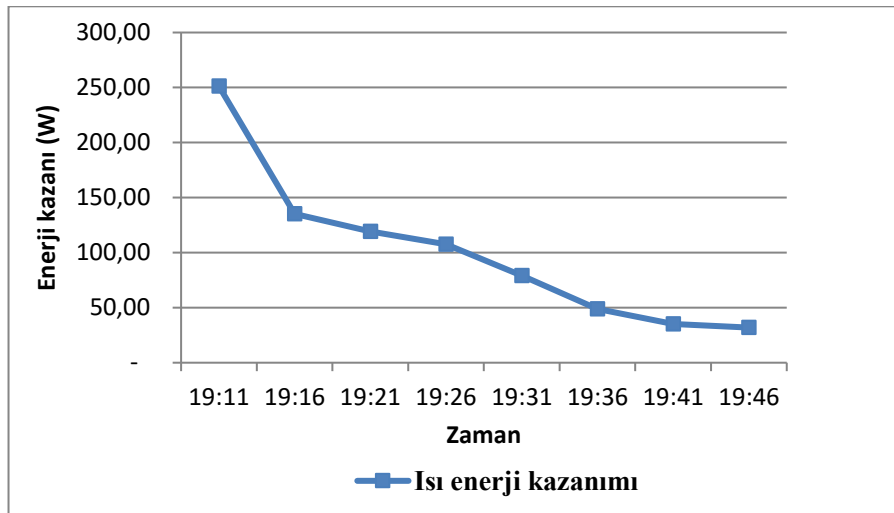
Şekil 5.12'de gösterildiği gibi, deneylerin üçüncü gününde, 11:00 ile 13:30 saatleri arasında, sistemin toplam genel verimi %40,64 ile %45,86 arasında değişmiştir. Sistemin genel verimi ve ışınım için hesaplanan ortalama değerler sırasıyla %40,64 ve 532,38 W/m<sup>2</sup>'dir.

Sistemin ısı depolama etkisini analiz edebilmek için ışınımın 300 W/m<sup>2</sup> değerinin altına düştüğü ve tamamen bittiği zaman dilimlerindeki birinci günde (5 ağustos) sıcaklık değişimleri Şekil 5.13'te, bu verilerden hesaplanan depolanan ısı enerjisi kazanım değerlerinin zaman bağlı değişimleri de Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.13. Sistemde ısı depolamanın zamana ve ışınımına bağlı etkisi (5 Ağustos).

Şekil 5.13'te zamana ve ışınımına bağlı olarak depolanmış su, giriş ve çıkış hava ısı sıcaklıklarının değişimi görülmektedir. Depolanan ısı enerjisini analiz edebilmek için sistemde sıcaklık değerlerinin değişimi güneş ışınımının  $300 \text{ W/m}^2$  değerini altındaki değerler alınmıştır. Grafiksel sonuçlar incelendiğinde ortalama sıcaklık değerleri gelen sıcak hava için  $35,48^\circ\text{C}$ , depolanmış su için  $37,69^\circ\text{C}$  ve çıkan sıcak hava için  $37,16^\circ\text{C}$ 'dir. Güneş ışınımı tamamen bittiği zaman dilimi saat 19:11'dir. Bu zamandan itibaren depolanan ısı enerjisinin miktarı Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14. Zamanın bir fonksiyonu olarak depolanan ısı enerji kazanımı (5 Ağustos).

Güneş battıktan ve panellerin üzeri kapatıldığında ışı nım değeri  $0 \text{ W/m}^2$ 'dir buradan sonra sıcaklık farkları ve hava debisi değeri kullanarak hesap edilen ortalama depolanan enerji miktarı  $99,52 \text{ W}$  olarak bulunmuştur.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Karabük ili iklim şartlarında Hava Soğutmalı, Isı Depolamalı Fotovoltaik Termal Kolektörü bir sistem (PV/T) Tasarımlanarak deneysel olarak test edilmiştir. Deneylelerden elde edilen veriler ile sistemlerin teorik hesaplamaları yapılarak enerji ve verim analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneylelerden elde edilen veriler ve hesaplamalar dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler ve sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- PV ve PV/T panellerin ürettiği gücün gün içinde dış hava koşullarına, özellikle de ışınımına bağlı olarak değiştiği ve ışınımın yüksek olduğu öğle saatlerinde en yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir.
- PV/T panelin elektrik verimliliğinin PV panelinden daha yüksek olduğu görülebilir çünkü PV/T paneldeki hava sirkülasyonu PV/T panelin yüzey sıcaklığını düşürürken PV panelin yüzey sıcaklığı daha yüksektir.
- PV'nin arka yüzeyi ve PVT'nin arka yüzeyi için hesaplanan üç günlük ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 52,29°C ve 47,26°C'dir. İki panel arasındaki yüzde sıcaklık farkı % 9,6' olarak bulunmuştur.
- PV/T hava giriş sıcaklığı, PV/T hava çıkış sıcaklığı, ısıtıcı yüzey sıcaklığı ve ısıtıcı hava çıkış sıcaklığı için hesaplanan üç günlük ortalama sıcaklık değerleri ise sırasıyla 34,49°C, 37,61°C, 47°C ve 42,71°C'dir.
- PV ve PV/T paneller için hesaplanan üç günlük ortalama elektrik verim değerleri sırasıyla %10,65 ve %11'dir. PV/T'nin sıcaklık düşümüne bağlı olarak elektriksel verimliliğindeki artış oranı %3,18 olarak bulunmuştur.
- PV/T panel ve hava ısı toplayıcı için hesaplanan üç günlük ortalama termal verimlilik değerleri sırasıyla %45,56 ve %41,27'dir. Sistemde PV/T ile hava ısıtıcısının ortalama termal verim değerleri birbirine yakındır.

- Sistemde hesaplanan üç günlük genel verim ortalama değeri %39,03 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen deneyime dayanarak gelecekte yapılacak çalışmalar önerilebilir:

- Gıda maddeleri için kurutma sistemleri kurulabilir; elde edilen sıcaklık değerleri dikkate alındığında kurutma işlemi için düşünülebilecek gıda maddeleri aromatik bitkiler (maydanoz, nane, sumak vb.) olabilir, çünkü bunlar çok nemli olmayan gıdalardır.
- Isı depolama sistemi kapasitesi artırılarak, güneş battıktan sonra belirli bir süre daha sistemlerin çalışması sağlanabilir. Böylece Kurutma ve bina ısıtma uygulamalarına farklı çözümler getirilebilir.



## KAYNAKLAR

1. İnternet: [https://www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=88369](https://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369).
2. İnternet: [http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/db99a0f7088b168_ek.pdf).
3. Akdamar, İ., "Güneş enerjili, fotovoltaik/termal (PV/T) kollektör destekli kurutma fırını tasarımı ve incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2018).
4. Gül, M. and AKYÜZ, E., "Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi", **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 21 (1): 444–458 (2019).
5. Akman, Ö., "Fotovoltaik panellerde sıcaklığın elektriksel verime etkileri ve termal güç eldesi", **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2019).
6. Zhang, Y., Liu, Z., Wu, Z., Zhang, L., and Luo, Y., "Numerical evaluation on energy saving potential of the photovoltaic fresh air preheating system in different climate regions of China", **Applied Thermal Engineering**, 154 (March): 407–418 (2019).
7. Teo, H. G., Lee, P. S., and Hawlader, M. N. A., "An active cooling system for photovoltaic modules", **Applied Energy**, 90 (1): 309–315 (2012).
8. Amori, K. E. and Taqi Al-Najjar, H. M., "Analysis of thermal and electrical performance of a hybrid (PV/T) air based solar collector for Iraq", **Applied Energy**, 98: 384–395 (2012).
9. Mustafa BENLİOĞLU, M., "İsi Depolu Havalı Güneş Kolektörlü Kurutma Sistemi", Yüksek Lisans Tez, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2021).
10. Tiwari, A., Sodha, M. S., Chandra, A., and Joshi, J. C., "Performance evaluation of photovoltaic thermal solar air collector for composite climate of India", **Solar Energy Materials And Solar Cells**, 90 (2): 175–189 (2006).
11. Arslan, E., Aktaş, M., and Can, Ö. F., "Experimental and numerical investigation of a novel photovoltaic thermal (PV/T) collector with the energy and exergy analysis", **Journal Of Cleaner Production**, 276: 2–16 (2020).
12. Akbulut, L., "Bir hibrit hava akışkanlı güneş kolektörünün performansının sayısal incelenmesi", Yüksek Lisans Tez, **Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Başkent (2022).

13. Peng, D., Zhang, X., Dong, H., and Lv, K., "Performance study of a novel solar air collector", *Applied Thermal Engineering*, 30 (16): 2594–2601 (2010).
14. Benli, F., "Fotovoltaik (Pv) Ve Fotovoltaik Termal (Pv-T) Kolektörlerin Deneysel Olarak Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tez , *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2018).
15. Bakir, E., "Enerji depolamalı yeni nesil fotovoltaik / termal toplayıcıların termal performansının değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat (2017).
16. Eyiñç, H., "Nanopartikül Ve Faz Değiştiren Malzemeli Bir Fotovoltaik Termal Sistemin Deneysel Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2018).
17. Günaydin, A., "Yoğunlaştırılmış Nano Parçacıklı Pvt/Fdm Sisteminin Deneysel Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2018).
18. Uğru, Z., "Farklı Faz Değiştiren Malzemelerle Kaplanmış Güneş Panelinin Soğutulması Ve Enerji Üretiminde Verimlilik Farkının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Batman (2022).
19. Bolat, B., "Yoğunlaştırıcı Güneş Panellerinde Isı Deposu Olarak Parafin Wax Kullanılmasının Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2016).
20. Kabeel A.E., Khalil A., Shalaby S.M., Zayed M.E., "Experimental Investigation of Thermal Performance of Flatand V-Corrugated Plate Solar Air Heaters with and without PCM as Thermal Energy Storage", *Energy Conversion and Management*, 113, 264-272 (2016).
21. Öksüz, M., "PV ve PVT-SU güneş kolektörlerinin verimlerinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, (2019).
22. Slimani, M. E. A., Amirat, M., Bahria, S., Kurucz, I., Aouli, M., and Sellami, R., "Study and modeling of energy performance of a hybrid photovoltaic/thermal solar collector: Configuration suitable for an indirect solar dryer", *Energy Conversion And Management*, 125: 209–221 (2016).
23. Kabul, A., & Yaşar, E., "Fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit sistemlerin soğutma tekniklerinin deneysel olarak incelenmesi", *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(1), 17-32 (2017).
24. Karaagac, M. O., OGUL, H., & Bardak, S., " Kanatlı Hayvan Çiftliği İçin Güneş Enerji Sisteminin Tasarımı ve Maliyet Hesabı", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s.711-722,(2020).
25. Turhan, S., Çetiner, İ., "Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi*, 6 Ulusal Çatı ve

Cephe Sempozyumu (2012).

26. Ertürk, G., “Enerji DEPOLAMALI Fotovoltaik Güneş Panellerinde Gölgeleendirmenin Enerji VE Ekserji Verimliliği Üzerine Etkisinin Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Makine Mühendisliği Teknolojileri* Programı Programı: Termodinamik Ve Isı Tekniği,152143102,(2018).
27. İnternet: Güneş-Pili-Nedir-Nasıl-Çalışır; <https://moduled-com.tr/güneş-pili-nedir-nasıl-çalışır/2007>.
28. Ceylan, İ, Gürel, E., "Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı", *Dora Yayıncılık*, Bursa, 1–261 (2018).
28. [http://fisinigunesetak.com/?page\\_id=8970](http://fisinigunesetak.com/?page_id=8970)
29. İnternet: Şebekeye Bağlı On Grid Sistem, <https://dmrsolar.com.tr/şebekeye-bağlı-on-grid-sistem/>
30. İnternet: <https://www.adensolar.com/tr/services/off-grid>.
31. Yıldız, G., & GÜREL, A. E. "PV/T Sistemler: Tipleri, Avantajları ve Uygulamaları", *TTMD dergisi*,s30-38, Temmuz-Ağustos (2019).
32. Kozak, M., Kozak, ğ., "Enerji depolama yöntemleri", *SDU International Technologic Science*, 4, 17-29 (2012).
33. Ekiz, A., "Kanatçık Yapı Destekli Faz Değiştiren Madde İle Fotovoltaik Panel Pasif Soğutması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2022).
34. Osma, E., "Duyulur ısı depolamada nanoakışkan kullanımının deneysel araştırılması", Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trakya (2023).
35. Günerhan, H., "Duyulur Isıl Enerji Depolama Sistemlerinin Enerji Yönünden İncelenmesi", *Derleme Makalesi*, Mühendis ve Makine cilt 63, sayı 706, s159-185 45(530) (2022).

## ÖZGEÇMİŞ

Oumalkaire YASSIN AHMED İlk, orta, lise ve üniversite eğitimini aynı ülke olan Cibuti'de tamamladı. 2019 yılında Cibuti Üniversitesi Fizik-Kimya Fen Bilimleri bölümünden lisans derecesini aldı. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Türkçe sınavına girmeye başladı. 2020 yılı Ekim ayında Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır.