



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BUHAR SIKIŞTIRMALI KLASİK SOĞUTMA SİSTEMİ KULLANARAK PV
SİSTEMLERİN SOĞUTULMASI VE VERİM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sadık VURAN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ**

**Ağustos-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAY

Sadık VURAN hazırlanan “Buhar Sıkıştırırmalı Klasik Soğutma Sistemi Kullanarak PV Sistemlerin Soğutulması” adlı tez çalışmasında 05/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmza****Başkan**

Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

.....

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Adem YILMAZ

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Ali Serkan AVCI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Sadık VURAN

Tarih:05/08/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUHAR SIKIŞTIRMALI KLASİK SOĞUTMA SİSTEMİ KULLANARAK PV SİSTEMLERİ SOĞUTULMASI VE VERİM ANALİZİ

Sadık VURAN

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

2022, 91 sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ
Dr. Öğretim Üyesi Ali Serkan AVCI
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ**

Bu tez çalışmasında fotovoltaik güneş panellerinde ısı kaynaklı kayıpları düşürmek ve panel verimini yükseltmek için panelin arka yüzeyine sıkıştırılmış buhar yardımı ile soğutulmaya çalışılmıştır. Panellerin alt yüzey sıcaklıklarının sıkıştırılmış buhar ile soğutulması ile elde edilen değerleri ölçüp elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Dış ortamın zamana bağlı sıcaklık değişimleri, güneş radyasyon değerleri ve ortam koşulları ölçülmüştür. Elde edilen bulguların analiz sonuçları panel üzerindeki verim hareketliliği incelenmiştir. Deney için üç adet 105W'lık PV panel kullanılmıştır. Modül üç panelin arka yüzeyine sarmal şekilde montajlanan bakır boru içinde kompresör yardımıyla sıkıştırılmış R600 gazı ile soğutulmuştur. Modül iki panelin arka yüzeyine sadece su olması durumunda soğutulma yapılmıştır, modül bir panel ise ortam koşullarında bulunun bir panelin durumunu gözetlemek ve referans amaçlı olarak boş bırakılmıştır. Panel yüzeyine yerleştirilen üç farklı yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığı ve giriş çıkış sıcaklıkları yapılmış ve zamana bağlı olarak oluşan güç, akım ve volt değerleri kaydedilmiştir. Sonuçlara göre deney düzeneğinde kullanılan tüm panellerin maksimum güç oranları önceden belirlenmiştir. Deney analizleri sonucunda soğutma düzeneği kurulan panel ve boş panelin verileriyle kıyaslanma yapıldığında soğutma yapılan panelde %5,73 güç üretimi fazlalığı bulunmuştur. Boşken panellerin güç üretimlerini kıyasladığımızda soğutulan panelin tüm gün boyunca ortalama olarak 0,5W daha az güç üretmiştir. Her üç panellinde aynı özelliklerine sahip olmasına rağmen oluşan farklılıklar deney sonucunda etkisini göstermiştir. Hesaplamalar sonucunda elektriksel verimin %9 iken, soğutulan panelde verim %7,9 olarak bulunmuştur. Yapılan deneyde soğutma yapılan modül üç, tüm gün ortalama sıcaklık değeri 33°C' de iken referans panelin ortalama sıcaklık değeri ise 40°C' de kalmıştır. Yapılan çalışmada panel 14°C soğutulmuş ve bu sıcaklık farkı istenildiğinde daha da artırılabilir şeklindedir. İdeal çalışma sıcaklığına 25°C yakın olarak soğutma yapılan modül için panel arka yüzey sıcaklık aralığı olarak 30°C' ye sabit tutularak panelin üreteceği güç miktarı gözlemlenmiştir. Soğutma elemanı olan kompresör toplamda üç saat boyunca tükettiği enerji miktarı 0,319 kWh olarak bulunmuştur. Tüketmiş olduğu bu enerji miktarını karşılamak için 40W panel yeterli olacaktır.

Yapmış olduğumuz çalışmada soğutulan modül 3 no'lu panelin arka yüzeyini su ile tamamen kaplayıp tüm yüzey alanını eşit bir şekilde soğutulmuştur. Soğutulan bu yüzey alanın eşit olmasından kaynaklı olarak

diğer çalışmalara nazaran soğutma borularının temas ettiğı alanların dışında tüm yüzey alanı eşit bir Şekilde soğutulmuştur. Böylelikle panel verimli yükseltilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik panel, Klasik soğutma, PV soğutma, Panel verim artışı,

ABSTRACT**MS THESIS****IN PHOTOVOLTAIC PANELS, PANEL SURFACES ARE USED WITH
DIFFERENT DESIGNS TO REDUCE LOSSES FROM HEATING
COOLING AND ANALYSIS OF THE RESULTS****Sadık VURAN****BATMAN UNIVERSITY GRADUATE EDUCATION INSTITUTE
DEPARTMENT OF RENEWABLE ENERGY****Advisor: Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ****2022, 91 Pages****Jury****Assoc. Prof. Dr Halil İbrahim VARİYENLİ****Asst. Prof. Dr Ali Serkan AVCI****Advisor: Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ**

In this thesis, it has been tried to cool the photovoltaic solar panels with the help of compressed steam on the back surface of the panel in order to reduce the heat-related losses and increase the panel efficiency. The values obtained by cooling the lower surface temperatures of the panels with compressed steam were measured and the data obtained were compared. Time-dependent temperature changes of the outdoor environment, solar radiation values and ambient conditions were measured. The results of the analysis of the obtained findings were examined in terms of yield mobility on the panel. Three 105W PV panels were used for the experiment. The module is cooled by compressed R600 gas with the help of a compressor in a copper pipe mounted spirally on the back surface of the three panels. The back surface of the module two panels was cooled only in case of water, while a module panel was left blank for reference purposes and to monitor the status of a panel in ambient conditions. Three different surface temperatures, ambient temperature and input and output temperatures placed on the panel surface were made and the power, current and volt values that occurred depending on time were recorded. According to the results, the maximum power ratios of all panels used in the experimental setup were determined beforehand. As a result of the test analysis, when the data of the panel with the cooling device and the empty panel are compared, it was found that there is an excess of 5.73% power generation in the panel where the cooling is done. When we compare the power output of the empty panels, the cooled panel produced 0.5W less power on average throughout the day. Although all three panels have the same characteristics, the differences have shown their effect as a result of the experiment. As a result of the calculations, while the electrical efficiency was 9%, the efficiency in the cooled panel was 7.9%. In the experiment, the cooling module three, the average temperature of the whole day was 33°C, while the average temperature of the reference panel remained at 40°C. In the study, the panel was cooled to 14°C and this temperature difference can be increased if desired. For the module, which is cooled at 25°C close to the ideal operating temperature, the panel back surface temperature range is kept constant at 30°C, and the amount of power produced by the panel is observed. The

amount of energy consumed by the compressor, which is a cooling element, for three hours in total was found to be 0.319 kWh. A 40W panel will be sufficient to meet this amount of energy consumed.

In our study, the cooled module completely covered the back surface of the panel no. 3 with water and cooled the entire surface area equally. Due to the fact that this cooled surface area is equal, compared to other studies, the entire surface area is cooled equally, except for the areas where the cooling pipes come into contact. Thus, the panel has been increased efficiently.

Keywords: Convention cooling, Photovoltaik panel, PV cooling, Panel acclimation,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimi gördüğüm süre içerisinde ve tez çalışmamın her aşamasında; deneyimlerini benden esirgemeyen, her türlü problemin üstesinden gelmeme yardımcı olup desteğini sürekli yanımda gördüğüm saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ' a ve Dr. Öğr. Üyesi Ayla DURMUŞ' a şükranlarımı sunarım. Ayrıca eğitim hayatım boyunca bana destek olan, deney yapmamda bana yardım eden ve motivasyon kaynağım olan sevgili eşim Sultan VURAN' a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER TABLOSU

TEZ KABUL VE ONAY	ii
TEZ BİLDİRİMİ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ.....	viii
İÇİNDEKİLER TABLOSU	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	3
1.2. Rüzgâr Enerjisi Sistemleri	4
1.3. Biyokütle Enerji Sistemleri.....	5
1.4. Jeotermal Enerji Sistemleri	6
1.5. Dalga ve Gelgit Enerjisi Sistemleri	7
1.6. Güneş Enerji Sistemleri	7
1.6.1. Termal güneş enerjisi sistemleri	8
1.6.2. PV sistemler	8
2. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ.....	9
2.1. Fotovoltaik Özellikli Yapılar	9
1.1.1. Kristal yapıli silisyum hücreler	10
1.1.2. İnce Film Hücreler	13
1.1.3. Nano dokulu fotovoltaik hücreler	14
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	15
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
4.1. Deney Seti Ana Parçaları, Özellikler ve Montaj Yöntemleri	23

4.1.1. Panel.....	25
4.1.2. Bakır boru	26
4.1.3. Cam tabaka	26
4.1.4. Fan	27
4.1.5. Kondenser	28
4.1.6. Kompresör	28
4.1.7. R600a gazı	29
4.1.8. Drayer	30
4.2. Veri Alma ve İşleme Ekipmanları	31
4.2.1. Radyasyon ölçüm aleti.....	32
4.2.2. K tipi termokulp.....	33
4.2.3. Elimko 680 ölçüm aleti.....	34
4.2.4. Termal macun	35
4.2.5. Rüzgâr hızölçer	36
4.2.6. Dual laservideoır termometre	37
4.2.7. Testo 881-2 termal kamera	38
4.2.8. Uni-t multimetre UT33C+	39
4.2.9. Enerji tüketim sarfiyat ölçeri PMG-1	40
4.2.10. LED ampuller	41
4.3. Soğutma sistemi	42
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	43
5.1. Teorik Hesaplamalar ve Hata Analizi.....	43
5.2. Hata Analizi	43
5.3. Enerji Analizi.....	45
5.4. Ekserji Analizi	47
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA DEVAMI.....	49
6.1. Deneyin Yapılışı ve Hazırlanması	49
7. DENEY SONUÇLARININ ALINIP KARŞILAŞTIRILMASI.....	54
7.1. Panel Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması.....	54
7.2. Radyasyon Değerine Göre Akım Çekilmesi Deneyi	59

7.3.	Soğutma Sistemin Devreye Alınması	61
7.4.	Sistemin Aralıklı Çalıştırılıp Durdurulması.....	63
7.5.	Panel Sıcaklık Karşılaştırılması	66
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
8.1.	Sonuçlar	70
8.2.	Öneriler	72
9.	KAYNAKÇA	73
10.	EKLER	77
11.	ÖZGEÇMİŞ	81

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Cebeci,2017)	2
Tablo 1.2. Aylar içerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu (EİEGM, 2008).....	3
Tablo 1.3. Termal yoğunlaştırma yöntemleri verimleri ve yoğunlaşma faktörü (Pitz-Paal, 2020).....	8
Tablo 1.4. Hücre çeşitleri	9
Tablo 3.1. Yapılan benzer çalışmalar	21
Tablo 4.1. Deney seti ana parçaları	23
Tablo 4.2. TS-M364-105WP PV Özellikleri.....	25
Tablo 4.3. R600a gazı teknik özellikleri	29
Tablo 4.4. Veri alma ve işleme ekipmanları	31
Tablo 4.5. Radyasyon ölçüm cihazın teknik verileri	32
Tablo 4.6. Termokupl kablo teknik bilgiler	33
Tablo 4.7. Elimko 680 data logger cihazına ait teknik bilgiler	34
Tablo 4.8. Rüzgâr ölçüm cihazı teknik özellikleri	36
Tablo 4.9. Lazer sıcaklık ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	37
Tablo 4.10. Termal kamera teknik özellikleri	38
Tablo 4.11. Multimetre ölçüm aleti teknik özellikleri.....	40
Tablo 4.12. Enerji tüketim sarfiyat ölçer priz teknik özellikleri	40
Tablo 4.13. LED lambaların teknik özellikleri.....	41
Tablo 5.1. Belirsizlik analizi tablosu	45
Tablo 5.2. PV enerji analiz sonuçları	47
Tablo 5.3. Ekserji analizi	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.Türkiye yıllık güneşlenme potansiyel atlası (GEPA)	2
Şekil 1.2.YEK sınıflandırması	4
Şekil 1.3.Rüzgâr enerji santrali (anonim)	5
Şekil 1.4.Biyokütle elektrik üretim yöntemleri	5
Şekil 1.5.Jeotermal enerji dönüşüm çevrimi	6
Şekil 1.6.Gelgit enerjisi üretim yöntemleri (Khare, 2019)	7
Şekil 1.7.Kristal yapıli FV hücrenin yapısı ve görevi	10
Şekil 1.8.Dökme ve kesilmiş çoklu kristal silisyum bloklar	13
Şekil 1.9.Amorf silisyum hücresi	14
Şekil 3.1.(a) Deney düzeneği, (b) nanoakışkan kolektör boruları sıcaklık dağılımı,	15
Şekil 3.2.Soğutmalı Sistem Deney Düzeneği (Çakır,2021)	15
Şekil 3.3.Panel soğutma çalışması (Erol,2021).	16
Şekil 3.4.Panel soğutma çalışması (Kerem, 2020)	16
Şekil 3.5.Yüzey soğutma deneyi (Khelifa,2016)	18
Şekil 4.1.Deney seti ön görünüşü	22
Şekil 4.2.Deney tesisat görünümü	24
Şekil 4.3.Özdeş paneller	25
Şekil 4.4.Bakır boru şekillendirilmesi ve kılcal boru montajı	26
Şekil 4.5.Cam tabaka konsiksiyon üzerine montajı	27
Şekil 4.7.Kondenser montajı	28
Şekil 4.8.Kompresör montajı ve gaz basım işlemi	28
Şekil 4.9.R600a gazı	29
Şekil 4.10.Filtre görünümü ve kesiti	30
Şekil 4.11.Radyasyon ölçümü	32
Şekil 4.12.Termokupl ve montajlı hali	33
Şekil 4.13.Termokupl yerleşim planı	33
Şekil 4.14.Ölçüm cihazı (dataloger) ön (a) ve arka (b) görünüşü	35
Şekil 4.15.Termal macun	35
Şekil 4.16.Rüzgâr ölçüm aleti	36
Şekil 4.17.Uzaktan ısı ölçer	37
Şekil 4.18.Termal kamera	39
Şekil 4.19.Multimetre ölçüm aleti	39
Şekil 4.20.Enerji tüketim sarfiyat ölçer priz	40
Şekil 4.21.LED lambaların deney düzeneğinde kullanımı	41
Şekil 4.22.Temel soğutma çevrimi ve deney sisteminde kullanımı	42
Şekil 6.1.Deney düzeneği kurulumu	50
Şekil 6.2.Veri toplama malzemeleri	51
Şekil 6.3.Soğutma sistemi	51
Şekil 6.4.Veri aktarım tablosu	52
Şekil 6.5.Genel görünümü	53
Şekil 7.1.Boş sistem sıcaklık verileri	54
Şekil 7.2.Boş sistem sıcaklık verileri	55
Şekil 7.3.Boş sistemde akım çekilmesi	56
Şekil 7.4.Modül-1 sıcaklık karşılaştırılması	57
Şekil 7.5.Modül-2 sıcaklık karşılaştırılması	57
Şekil 7.6.Modül-3 sıcaklık karşılaştırılması	57
Şekil 7.7.Radyasyon değeri ve rüzgâr hızı	58
Şekil 7.8.Radyasyon değerine göre sıcaklık verileri	59
Şekil 7.9.Sistemde çekilen güç grafiği	60
Şekil 7.10.Radyasyon değerine göre panel sıcaklık verileri	61
Şekil 7.11.Panellerden çekilen watt grafiği	61
Şekil 7.12.Soğutma sistemin devreye alınması	62
Şekil 7.13.Soğutma sistemin devreye alınarak alınan güç grafiği	63
Şekil 7.14.Sistemin belli aralıkla çalıştırılmasıyla elde edilen güç grafiği.	64
Şekil 7.15.Sistemin belli aralıkla çalıştırılarak elde edilen sıcaklık grafiği	64
Şekil 7.16.Termal kamera ile soğutulan panellerin görüntüsü	65
Şekil 7.17.Modül-1(P1) sıcaklık karşılaştırılması	66
Şekil 7.18.Modül-2(P2) sıcaklık karşılaştırılması	67

Şekil 7.19. Modül-3(P3) sıcaklık karşılaştırılması	68
Şekil 7.20. Boş ve cam tabakalı panel görüntüsü	69
Şekil 7.21. Boş ve cam yüzeyli panel sıcaklık grafiği	69
Şekil 10.1. Sisteme 1. gün su eklenerek yapılan deney	77
Şekil 10.2. Sisteme 2. gün su eklenerek yapılan deneyi	77
Şekil 10.3. Sisteme 3. gün su eklenerek yapılan deney	78
Şekil 10.4. Radyasyon değerine göre 2. veri grafiği.....	79
Şekil 10.5. Güç değerine göre 2. veri grafiği.....	79
Şekil 10.6. Soğutma sistemin çalışması.....	80
Şekil 10.7. Soğutma sistemin güç grafiği 2. gün	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

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

Kısaltmalar

A-Si	:Amorf Silisyum
AC	:Alternatif Akım
CdCl ₂	:Kadmiyum Klorid
CdTe	:Kadmiyum Tellürid
CIGS	:Bakır İndiyum Galyum Selenit
CPV	:Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri
Csa	:İklim Sınıflandırması
CuInSe ₂	:Bakır İndiyum Diselenid
DC	:Doğru Akım
DSSC	:Boya Duyarlı Güneş Pilleri
EES	:Mühendislik Denklem Çözücüsü
EPK	:Elektrik Piyasası Kanunu
FV	:Fotovoltaik
GaAs	:Galyum Arsenit
GEPA	:Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına
GTS	:Güneş Takip Sistemi
IR	:Infrared (Kızılötesi) Spektroskopisi
IRENA	:International Renewable Energy Agency
LSC	:Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı
MGN	:Maksimum Güç Noktası
PV	:Fotovoltaik
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

1. GİRİŞ

Enerji, en basit tanımı iş yapabilme yeteneği veya canlıların yaşamsal faaliyetleri sürdürmesidir. İlk zamanlarda bugüne kadar insanlar yaşamlarını devam ettirebilmeleri için enerjiye ihtiyaçları gün yüzüne çıkmıştır. Günümüzde enerji yaşamsal fonksiyonları sürdürmek yerine tamamen konfor ve lüks yaşamlar için olmazsa olmazıya dönüşmüştür. Bu nedenle tüketilen enerji miktarı zamanla nüfusun yükselmesiyle birlikte doğru orantısal olarak artmıştır (Othman ve ark., 2016). 1950’li yıllarda sanayinin artması ve dünya çapında var olan fosil yakıtları hızla tükenmektedir. Var olan fosil yakıtların düzensiz tüketilmesiyle fosil yakıtlar, çevreye zarar vererek iklim değişikliğine neden olmuştur. Likit petrol türevleri, kömür ve doğalgaz bu kaynakların başlıca olanlarıdır. (Wolf,1976). Fosil kaynakların popülerliğini kaybetmesinden sonra güneş enerjisiyle ilgili çalışmalar 1970’lerden sonra hızlanmıştır. İlk yıllardan sonra maliyetinin yavaş yavaş düşmesiyle daha da ilgi gösterilmiştir. Güneş enerjisi, fosil yakıtlara oranla çok temiz bir enerji kaynağı olması ve çevreyi kirletmemesi hasebiyle daha fazla ilgi çekmeye başlamıştır. Fotovoltaik adı güneş radyasyonunda (ışınım) olan fotonların hücre üzerine düşmesiyle beraber voltaj (gerilim) oluşmasından gelmektedir.

Verimleri sınırlı bir oranda olan bu sistemler işletme koşullarında meydana gelen tozlanma, yüzey sıcaklığı, iklim koşulları ve ışıınım şiddeti gibi farklı etkenler verimlilik değerleri vardır (Cuce, 2013). Bu değerler, PV sistemlerde yatırımcının geri dönüş zamanını belirleyici faktörlerdendir. Diğer önemli olan bir değer ise güneş radyasyon sürekli olarak panel yüzey sıcaklığı artırması ve panel verimliliğin düşmesidir (Du, 2012; Kalogirou, 2009; Yılmaz ve ark., 2016). Fotovoltaik sistemler ısı enerji kazanımları yoktur. Sürekli olarak dış ortamda olmalarından dolayı belirli bir sıcaklık altında çalışmaktadır. Fotovoltaik sistemlerde termal olarak da enerji kazandırabileceği fikri ilk olarak Martin WOLF tarafından öne sürülmüştür. Bu iki farklı sistemin birlikte kullanılması durumuna PV/T sistemi denilmiştir (Karthick, 2009). Martin Wolf tarafından ilk olarak kullanılan PVT sistemler 1970’li yıllarda başlamıştır (Kolhe, 2012). Yapılan bu çalışma sonradan çalışan pek çok araştırmacıya ilham kaynağı olmuştur. PVT sistemlerinde kullanılmak üzere farklı akışkanlardan su, soğutucu akışkan ve su kullanılabilir (Han, 1988; Du ve ark., 2013).

Türkiye coğrafi olarak Kuzey Yarım Küre’de yer alır. 36-42° kuzey enlemleri ile 26-45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Coğrafi konumu sayesinde Türkiye, birçok ülkeye göre yenilenebilir enerjilerden olan güneş enerjisinden gereksinimlerinin karşılanmasında daha avantajlı konumdadır. Türkiye güneşlenme potansiyeli Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye yıllık güneşlenme potansiyel atlası (<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>)

Türkiye’nin yıllık toplam potansiyeli bölgelere göre incelendiğinde en fazla güneş enerji potansiyeli olan bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesidir. İkinci sırada ise Akdeniz Bölgesi olduğu görülmektedir. Yıllık güneş ışıınım değeri 1.305kWh-yıl (Karadeniz Bölgesi) ile 1.648kWh-yıl (Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz Bölgesi) arasında değişmektedir. Ortalama güneş ışıınım değeri 1.200 kWh/m² yıl olan diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında elektrik üretimi için oldukça elverişli bir konuma sahip olduğu görülmektedir (GEPA). Türkiye yıllık bölgesel enerji potansiyel dağılımı Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı (Cebeci,2017)

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)
Güney Doğu Anadolu	1.648	2.845
Akdeniz	1.548	2.737
Doğu Anadolu	1.528	2.615
İç Anadolu	1.523	2.519

Ege	1.481	2.563
Marmara	1.329	2.250
Karadeniz	1.305	1.929

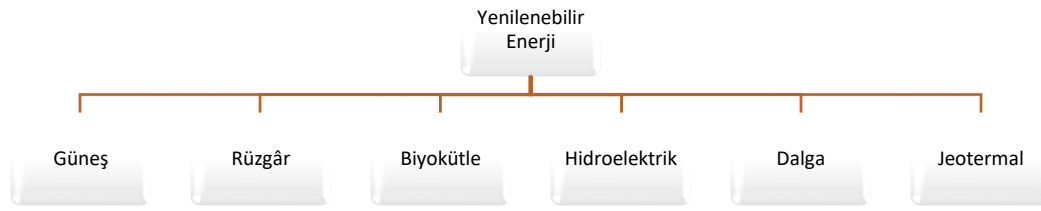
Günlük toplam ışıınım ve güneşlenme süresi tabloda gösterilmiş; en yüksek günlük toplam ışıınım değeri, en uzun güneşlenme süresi haziran ve temmuz ayında gerçekleşmiştir. En düşük toplam güneş ışıınım değeri ve en kısa güneşlenme süresi aralık ayında görülmüştür. Türkiye'nin aylara göre güneşlenme saati aşağıda Tablo 1.2'de verilmiştir (EİEGM, 2008).

Tablo 1.2. Aylar içerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu (EİEGM, 2008)

Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli			
Aylık Toplam Güneş Enerjisi			Güneşlenme Süresi
Aylar	(Kcal/cm²-ay)	(kWh/m²-ay)	(Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1.311	2.640
Ortalama	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

1.1.Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları adından aldığı gibi temiz enerji veya yeşil enerji olarak da ifade edilir. Kaynağın doğa dostu, atıksız ve doğal olarak bulunan işlenmeye veya ön sürece gerek duymadan başvurulun hammaddelerdir. Enerji alanında kullanılan yakıt kaynakları; güneş, rüzgâr, HES, jeotermal, biyoenerji ve dalga enerjisi olarak Şekil 1.2'deki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 1.2.YEK sınıflandırması (<https://www.elektrikrehberiniz.com/wp-content/uploads/2013/10/enerji-kaynaklarinin-siniflandirmasi.jpg>)

İlk yatırım bedellerinin güneş, rüzgâr gibi kaynaklara göre daha yüksek oluşu; \$cent/kWh oranının yüksekliği sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları diğer yöntemlerin gerisinde kalmaktadır. Kurulan ve yeni üretime geçecek tesislerde kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılarak üretimin sağlanması yenilenemez enerji kaynağı olan fosil kaynaklara göre çok daha az olması sebebiyle oluşan şüphelerin tamamen ortadan kalkmasına yarar sağlayacaktır.

1.2.Rüzgâr Enerjisi Sistemleri

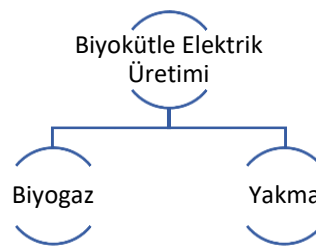
Rüzgâr enerjisi sistemleri; bilinen diğer adıyla rüzgâr türbinleri ile elektrik elde etme rüzgârın fiziksel kuvvetini, kinetik enerjinin mekanik enerjiye çevirmesi ve generatör rotoruna hareket kazandırma prensibidir. Rüzgâr türbinleri tasarımlarını eski çağlarda kullanılan yel değirmenlerinden almıştır. Bir doğa olayı olan rüzgârın elektrik enerjisi üretiminde atık, ham maddesiz ve zehirli gaz salınımı olmayan temiz bir kaynaktır. Elektrik enerjisi üretimi için herhangi bir yakıt maliyetinin olmaması, işletme ve kurulum giderlerine sahip olmasıyla avantaj iken RES'lerin rüzgâr şiddetinin yerinde ve süreklilik barındırdığı coğrafyada kurulması bir dezavantaj olarak ifade edilebilir. Rüzgâr hızının sürekli olmaması, değişken bir yapıda olması ayrıca yoğun olmayan sıcak hava yerine daha yoğun bir akıma sahip soğuk rüzgârların olduğu bölgelerde verimli olmaktadır (Miller, 2018).



Şekil 1.3.Rüzgâr enerji santrali (<https://sem.metu.edu.tr/egitim/ruzgar-enerjisi-ve-ruzgar-turbini-teknolojileri-temel-online.html>)

1.3.Biyokütle Enerji Sistemleri

Biyokütle enerji sistemleri, dolaylı olarak kaynağı güneş olan diğer bir yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle amaçlı yetiştirilen tarımsal ürünler (mısır, arpa, buğday...) ve genel tarımsal artık, ağaç ve bitki, hayvan atıkları gibi doğal atıklar biyokütle sistemlerinin temel girdileridir. Biyokütle ile elektrik üretilebileceği gibi bununla ısınma amaçlı da kullanılabilir. Kimyasal işlemler sonrasında metanol, etanol, bitkisel yağ ve biyogaz elde etmek amaçlı biyokütle kaynakları kullanılabilir (Edomah, 2018). Biyokütle kaynaklarının doğrudan yakılarak elektrik üretilebileceği gibi ikincil ürün haline getirilerek de elektrik üretimi sağlanabilmektedir. Biyokütle kaynakları ile elektrik enerjisi üretimi Şekil 1.4’te gösterildiği gibi iki yöntemle yapılabilmektedir.



Şekil 1.4.Biyokütle elektrik üretim yöntemleri (Warwick, 2002)

Türkiye’de 371 MW doğrudan yakma, 1.138 MW biyogaz olmak üzere 1.509 MW kurulu güce sahip biyokütle elektrik üretim için sistem mevcuttur (Warwick, 2002).

1.4. Jeotermal Enerji Sistemleri

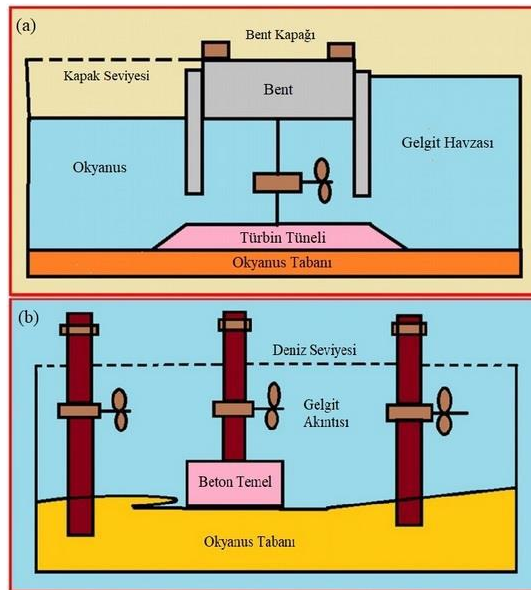
Jeotermal enerjiden elektrik üretimi, magmadan gelen sıcaklığın etkisiyle yer altı sıcak buhar rezervuarlarına açılan yarıklardan çıkan basınçlı buharın ve sıcak suyu alınarak basınç kazandırılması bununla birlikte sıcak basınçlı buharın buhar türbinine yollanması prensibine dayanır. Elektrik üretimi buhar türbini yardımı ile gerçekleşir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temel özellikleri olan atıksız, doğal olması özelliklerine sahip olan jeotermal enerji sistemleri rüzgâr ve güneş enerjisinden farklı olarak atmosfere ve zaman koşullarına bağlı kalmadan elektrik enerjisi devamlılığı sağlayabilmeleri ile öne çıkmaktadır. Bu avantajları ile bazı yükleri karşılayabilirler. Başlatma ve durdurma süreleri kısadır. Ancak yeraltı rezervuarlarına bağlı olmalarından kaynaklı her yerde tesis edilememeleri dezavantajlıdır. İlk yatırım maliyetlerinin 2/3'ünü sondaj ve kazı maliyetleri oluştururken üretim uzun yıllar süreklilik devam etmekte ve elektrik üretim maliyetleri oldukça düşük olmaktadır. Jeotermal kaynaklar ile elektrik üretiminin yanında kaldırım-cadde ısıtması, konut ısıtması, seracılık, kaplıca ve mineralli su amaçlı için kullanılırlar. Jeotermal enerji elde etme döngüsü aşağıdaki Şekilde 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Jeotermal enerji dönüşüm çevrimi (www.eski.emhk.itu.edu.tr)

1.5.Dalga ve Gelgit Enerjisi Sistemleri

Dalga ve gelgit enerjileri ya da okyanus enerjisi olarak da adlandırılır. Deniz yüzeyi veya içerisindeki suyun kinetik hareketinin sahip olduğu yerde mekanik enerjiye aktarılması prensibine dayanır. Okyanus enerjisi yöntemi dünya genelinde farklı farklı ülkelerde bulunsa da Türkiye’de bu enerji yöntemleriyle elektrik üretimi gerçekleşmemektedir. Gelgit enerjisi dünya ve ay yüzeyleri arasındaki uzaklığın yıl içinde değişmesi ve aralarındaki çekim gücünün değişmesi ile kıyılardan suların çekilip geri gelmesidir. Bu yöntemde Şekil 1.6b’da görülen suyun içine rüzgâr türbini benzeri yapı oluşturarak düşük akıntılardan faydalanıldığı gibi Şekil 1.6a’da görülen okyanusun ya da denizin, körfez veya koy gibi yerlerinde suyun önüne bent çekilerek suyun bu sete bırakılan türbinlerden geçişi gerçekleşir (Bryden, 2004). Bu yöntemin avantajı gelgitin her durumu için çift yönlü motorlar sayesinde elektrik üretimine olanak sağlamasıdır.



Şekil 1.6.Gelgit enerjisi üretim yöntemleri (Khare, 2019)

1.6.Güneş Enerji Sistemleri

Güneş enerji sistemleri fotovoltaik ve termal olarak ikiye ayrılırlar. Termal sistemler geniş alana yayılmış bir nükleer santral gibi davranırlarken fotovoltaik sistemler yarıiletken temellidir. Termal yöntemler çanak yoğunlaştırma, parabolik yoğunlaştırma, güneş bacası gibi başlıklar altında incelenebilir.

1.6.1. Termal güneş enerjisi sistemleri

Termal sistemler yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri olarak adlandırılırlar. Doğrudan güneş altında kalan kolektörler aracılığı ile içerisinde bulunan sıvı olan tüp veya benzeri ekipmanlar bulundurur. Güneş kulesi, lineer parabolik ve çanak yoğunlaştırıcı ile frensel yoğunlaştırıcı olarak ayrılırlar. Güneş altında anlık verimleri %20'nin üzerinde olsa bile yıllık bazda verimleri %8'e kadar düşmektedir. Bu yöntemlerin yıllık ve anlık verimleri ile yoğunlaşmaları Tablo 1.3'de verilmiştir (Pitz-Paal, 2020).

Tablo 1.3.Termal yoğunlaştırma yöntemleri verimleri ve yoğunlaşma faktörü (Pitz-Paal, 2020)

Ad	Pik Verim	Yıllık Verim	Yoğunlaşma
Parabolik	%21	%10-16	70-100
Fresnel	%20	%9-13	25-100
Kule	%23	%8-23	300-1.000
Çanak	%29	%16-28	1.00-3.0

1.6.2. PV sistemler

Fotovoltaik yöntem, güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümü elektro fiziksel ve fotofiziksel bir olaydır (Dincer, 2018). Güneş kendi yüzeyinde dışarı 63 MW/m² radyoaktif güç oluştururken bu güç evrene doğru yayılır. Güneş ile Dünya arasındaki 150 milyon km mesafe, bu enerji miktarını atmosfer üzerine ortalama 1367 W/m² güneş ışıınımlı ulaştırır (Indulkar, 2017). Atmosfer dışında 1367 W/m² olan Güneş ışıınımlı değeri Güneş sabiti (solar constant) olarak adlandırılır. Ancak bu ışıınımlı değeri Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığa bağlı olarak aydan aya değişmektedir. Yaklaşık olarak Güneş'ten Dünya'ya doğru bir günde 4000 trilyon kWh'e yaklaşık olarak gelecek bir elektromanyetik radyasyon ulaşır (Gupta, 1999). Bu enerji miktarı Dünya'da harcanan bir yıllık tüketilen elektrik enerjisinin binlerce kat fazlasına karşılık gelmektedir.

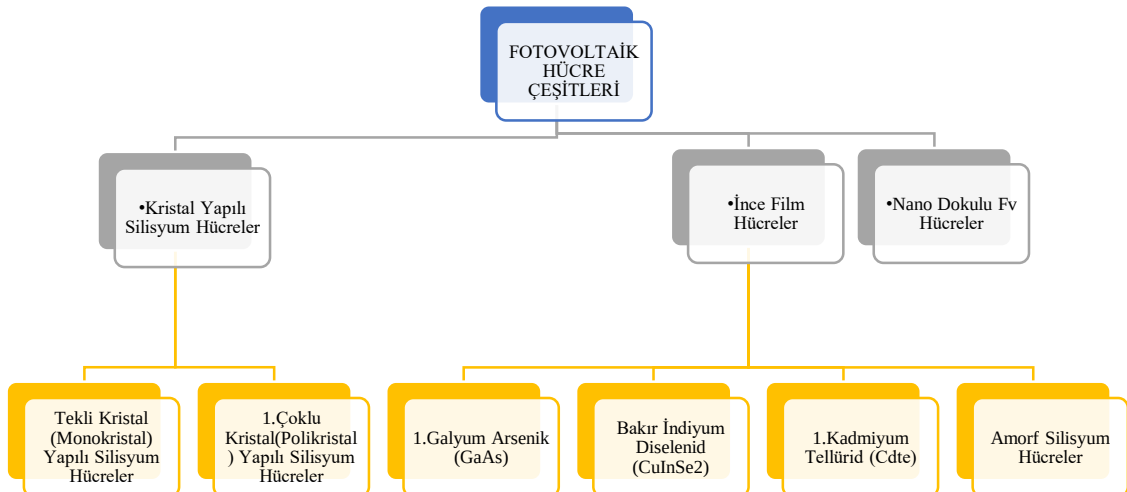
2. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİ

Fotovoltaik sistemler sadece doğru akım üretirler. Üretilen doğru akımı alternatif akıma eviriciler sayesinde dönüştürülerek alternatif akım aygıt ve cihazlarında kullanılması mümkündür. İhtiyaç duyulan güç, tasarım gereksinimine göre sistemin çıkış gerilim panellerin birbirine paralel ve seri bağlanması ile elde edilir. Sistem gerilimi DC-DC konvertörler ile yükseltilerek DC-AC invertörler ile alternatif akıma dönüştürülerek alçak gerilimde doğrudan veya orta gerilimde şebekeye bağlanarak hizmete sunulur. PV paneller kullanım alanları çok yaygın olmakla birlikte şebekeye bağlantılı (on - grid) ya da şebekeden bağımsız olarak (off - grid) olarak kullanılabilir.

2.1.Fotovoltaik Özellikli Yapılar

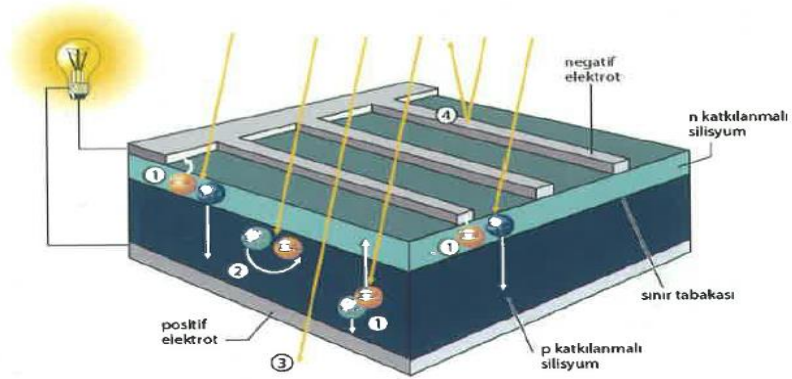
Fotovoltaik özellik gösteren parçalar güneş enerjisini elektrik enerjisine doğrudan dönüştürürler. En yaygın kullanımda olan silikon hücrelerin yanı sıra ince-film teknolojileri ile birlikte yeni geliştirilen fotovoltaik yapılar da vardır. Kalınlıkları bir mikrondan bin mikrona kadar olabilen güneş hücrelerinin verimleri de %1'den %24'e kadar değişiklik gösterir. Fotovoltaik jonksiyon temelli yapıları Tablo 1.4'de belirtilmiştir.

Tablo 1.4. Hücre çeşitleri (Çataklı Enerji, 2019)



1.1.1. Kristal yapılı silisyum hücreler

Klasik kristal silisyum Fotovoltaik hücre, iki tane farklı katkılanmış silisyum katmanından oluşur. Güneş ışığına bakan katman fosfor ile negatif katkılanmış, altındaki katman ise bor elementi ile pozitif katkılanmış olur. Geçiş bölgesinde, güneş ışığının etkisiyle serbest bırakılan yüklerin (elektronlar ve delikler) ayrılmasını sağlayan bir elektrik alanı oluşur. Fotovoltaik hücreden elektrik akımını elde edebilmek için, ön ve arka tarafına metal kontaklar yerleştirilmelidir. Bunun için genellikle serigrafi yöntemi kullanılır. Hücrenin arka yüzünde, alüminyum veya gümüş macun kullanılarak tüm alanı kapsayan bir kontak katmanının uygulanması mümkündür. Ön taraf ise olabildiğince çok ışık geçirebiliyor olmalıdır. Bu nedenle bu taraftaki kontaklar çoğunlukla çok ince bir ızgara ya da ağaç deseni halinde tatbik edilir. Fotovoltaik hücrenin ön yüzüne, termal buharlaştırma ya da biriktirme yöntemleriyle ince bir silisyum nitrid ya da titanyum oksit katmanı (yansıma önleyici katman) tatbik edilirse, ışığın (soğrulmadan) yansıması azaltılabilir. Işınım söz konusu olduğunda, daha önce tarif edildiği üzere elektron bağları kırılır. Devreye bir (Şekil 1.7’de görülen lamba gibi) de tüketici bağlanırsa, elektrik akım oluşur.



Şekil 1.7. Kristal yapılı FV hücrenin yapısı ve görevi (Çataklı Enerji, 2019)

FV hücrelerde, rekombinasyon olgusu, ışığın soğrulmadan yansıyan kısmı ve önyüzdeki kontaklardan kaynaklanan gölgelenme nedenli kayıplar söz konusudur. Bunun dışında, çok uzun ve çok kısa dalga boylu ışınım enerjisinin büyük bir kısmı değerlendirilememektedir. Şekilde geçirim kayıpları için örnekler verilmiştir. Kullanılmayan enerjinin diğer bir kısmı, soğrularak ısıya dönüştürülür. Aşağıdaki enerji bilançosunda kristal silisyum FV hücre örneğinde kayıp oranları belirtilmiştir:

%100	Etki eden güneş ışıınımı
%3,0	Ön yüzdeki kontaklar nedenli gölgelenme ve yansıma etkisi
%22,0	Uzun dalga boylu ışıınının fazla düşük foton enerjisi
%30,0	Kısa dalga boylu ışıınının fazla foton enerjisi
%8,5	Rekombinasyon
%20,0	Başta tüketim bölgesinde olmak üzere gerilim düşüşleri
%0,5	Seri direnci (akımsal ısı kayıpları)
%16,0	Kullanılabilen elektrik enerji

1.1.1.1.Tekli kristal (monokristal) yapıli silisyum hücreler

Tekli kristal yapıli silisyumun üretimi için Czochralskisüreci (potada çekme süreci) yaygınlaşmıştır. Bu yöntemde, çoklu kristal yapıya sahip çıkış maddesi (poli silisyum) bir kuvars potasında yaklaşık 1.420°C'de eritilir. Tanımlı yönelimli bir kristal çekirdeği, silisyum eriyiğine daldırılır ve yavaşça döndürölmek suretiyle yukarıya doğru dışarıya çıkartılır. Bu Şekilde kristal, çapı 30 elliye ve uzunluğu birkaç metreyi bulabilen silindir biçiminde tekli bir kristal halinde büyür. Bu yuvarlak tekli kristal silindirleri, kenarları düzleştirilerek kesitleri kare ya da kenarları yuvarlak kare biçimine getirilir ve sonrasında tel testerelerle yaklaşık 0,2 mm kalınlığında dilimler haline getirilir. Kenar düzleştirme ve dilimleme işlemlerinde silisyumun önemli bir kısmı kaybolur. Bu kesim artıkları ve silindirlerin konik uçları, yeniden eritmek zorundadır. Dilimler aşındırma ve durulama banyolarında kimyasal yolla kesim atıkları ve hasarlardan arındırılır. Bu temizleme sürecinde dilimlerin her iki yüzünde yaklaşık 0,01 mm kadar malzeme aşındırılır. Daha önce bor ile p katkılanmış ham dilimler kullanılarak, fosfor yayılması ile ince n katkılanmış tabaka meydana getirilir. Yayınım ocağında fosfor gazı 800 ila 900°C'lik sıcaklıklarda yayılarak üst tarafın katkılanması tersine çevrilir. Bunun sonucunda FV hücrenin kalbi olan p n geçiş bölgesi meydana gelir. Yansıma önleyici (YÖ) tabaka da tatbik edildikten sonra, seri grafik baskı yöntemiyle hücrenin ön kısmına elektrik kabul hatları ve arka kısmına kontaklar basılır. Arka yüzündeki kontaklar, yansımayı önleyici tabakayı geçecek Şekilde ön tarafa temas etmeleri için fırınlanmalıdır. Sonunda FV hücrelerin kenarları, aşındırıcı sıvıyla işlenerek, p ile n katkılamalı katmanların arasındaki geçişlerin temiz olması ve kısa devre oluşmasının önlenmesi

sağlanır. Tekli ve çoklu kristal yapılı FV hücrelerdeki açık devre gerilimi 0,6 V iken, kısa devre akımı hücre büyüklüğü ve teknolojisine bağlı olarak 3 ila 16 A arasında değişir %15 - 18,8 (Czochralski silisyumu).

Tekli kristal silindirden ne kadar kırpıldığına bağlı olarak yuvarlak, kare ya da kenarları yuvarlak kare biçiminde hücreler meydana gelir. Yuvarlak hücreler, üretimde daha az kayıp meydana geldiği için kare ya da köşeleri yuvarlak kare hücrelerden daha ucuzdur. Yine de modüller halinde birleştirildiklerinde meydana gelen alan kaybı nedeniyle bunlar standartlarda neredeyse kullanılmaz. Mimari öge olarak kullanıldıkları uygulamalarda, yarı saydamlık özelliği arandığı hallerde ya da Güneş Evi Sistemlerinde yuvarlak hücreler yine de tercih edilen alternatifler olmaktadır. Verim: % 15-18,8 arasındadır.

1.1.1.2.Çoklu kristal (polikristal) yapılı silisyum hücreler

Çıkış malzemesi olan poli silisyum, bir kuvars potasında eritilir, bor ile katkılanır ve dikdörtgen kesitli bir kalıp halinde dökülür. Dökülen blok, kontrollü bir şekilde değişmeli olarak ısıtılıp soğutularak, malzeme katılaşırken kristal yapısında belirli bir yönelimin oluşması sağlanır. Bu şekilde yönelimli katılaşmada çok sayıda, olabildiğince büyük ve homojen silisyum kristalleri oluşur; bunların tane büyüklükleri birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar varabilir. Tane sınırları, rekombinasyon riski yüksek kristal kusurları teşkil ederek çoklu kristal yapılı FV hücrelerin verimini olumsuz yönde etkilediğinden, bu hücre türünün verimi, tekli kristal yapılı FV hücrelere göre biraz daha düşüktür. Blok dökümde, külçe denen büyük silisyum bloklar meydana gelir. Külçeler çoğunlukla bant testerelerle çubuklar halinde kesilip, sonrasında tel testerelerle yaklaşık 0,2 mm kalınlığında dilimler haline getirilir. Dilimlerin kesilmesinde silisyum malzemenin bir kısmı talaş olarak kaybolur. Temizleme işlemi ve fosfor ile katkılamadan sonra, yansımayı önleyici katman tatbik edilir. Sonrasında kontaklar basılır ve kenarlar aşındırıcı sıvıyla temizlenir. Şekil 1.8’de polikristal bloklar verilmiş ve Verim: %13-17,1dir.



Şekil 1.8.Dökme ve kesilmiş çoklu kristal silisyum bloklar (Çataklı Enerji, 2019)

1.1.2. İnce Film Hücreler

1.1.2.1.Galyum arsenik

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında % 25 ve % 28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Diğer yan-iletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlı GaAs pillerde, laboratuvar koşullarında, %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcılı sistemlerde kullanılmaktadır.

1.1.2.2.Kadmiyum tellürid

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş pili maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise % 7 civarında verim elde edilmektedir.

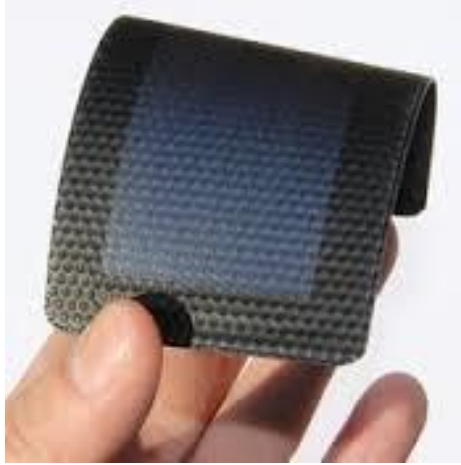
1.1.2.3.Bakır indiyum diselenid

Bu çok kristal pilde laboratuvar şartlarında % 17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise % 10,2 verim elde edilmiştir.

1.1.2.4. Amorf silisyum hücreler

İnce katman teknolojisinin klasik malzemesi, amorf silisyumdur. Henüz 1974 yılında araştırmacılar ilk işlevsel amorf hücreleri geliştirmiştir. İyi suni ışık duyarlılığı sayesinde bu ilk ince katman hücresi neslinin özellikle tüketim eşyası alanındaki başarı öyküsü, kısa süre sonra başlamıştır. O tarihten beri amorf mini modüller, hesap makineleri, saatler, el fenerlerinde vb. ürünlerde milyonlarca kez kullanılmaktadır. Amorf (düzensiz yapılı) silisyum, düzenli bir kristal yapı oluşturmaz, atomlar düzensiz bir yapı

halinde bulunur. Amorf silisyum hücre görüntüsü Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



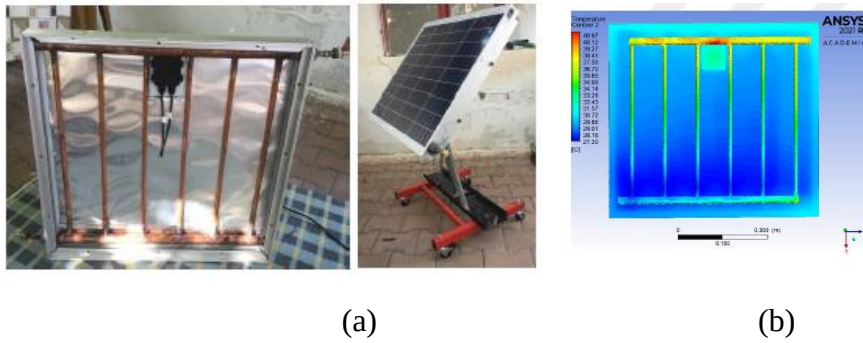
Şekil 1.9.Amorf silisyum hücresi (Çataklı Enerji, 2019)

1.1.3. Nano dokulu fotovoltaiik hücreler

Gelecekte nano dokulu hücrelerin piyasadaki payı artacaktır. Dünya çapında farklı anorganik ve organik malzemelerden yararlanılan nano teknolojileri üzerinde çalışılmaktadır. Organik fotovoltaiik alanındaki en önemli bilimsel başarıyı, Kaliforniya Üniversitesinde fizik profesörü olan Alan Heeger tarafından elde edilmiştir. Bu başarısından dolayı 2000 yılında Nobel Kimya Ödülü'ne layık görülmüştür. Haziran 2007'de Nobel ödülü sahibi Koreli bilim adamı Kvyanghee Lee ile birlikte, verimi %6,5 düzeyinde olan organik bir FV hücreyi tanıtmıştı. Organik hücreler için rekor sayılan bu verim, çift polimerli bir hücre ile elde edilmiştir. Anorganik malzemelerle yapılan nano dokulu FV hücrelerde silisyum ve CIS gibi klasik malzemeler kullanılır. Örneğin California Institute of Technology'de, BP Solar ile iş birliği halinde silisyum nano boncuklardan oluşan, yüksek verimli FV hücreler üzerinde çalışılmaktadır.

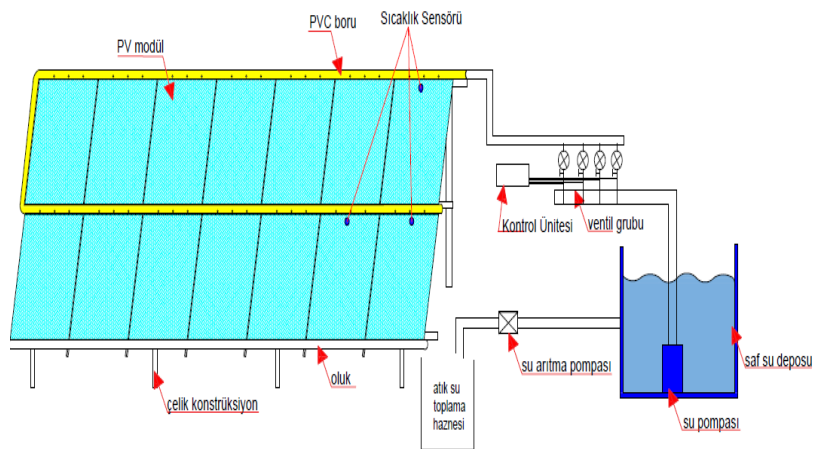
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çiçek (2021) yapmış olduğu çalışmada PV/T hücrenin ortalama termal sıcaklığı 31,7 °C olan PV soğutma deneyinde soğutma yapılan panel verimliliği %18,45 elektriksel verim artışı sağlanmıştır. Bu deneylere ek olarak Ansys simülasyon programında yapmış olduğu nano akışkan kullanarak %5 Al_2O_3 yüzey sıcaklığı 29,15°C iken %10 Al_2O_3 yüzey sıcaklığı ise 28,75°C olarak kayda alınmıştır. Yapmış olduğu çalışma Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1.(a) Deney düzeneği, (b) nanoakışkan kolektör boruları sıcaklık dağılımı (Çiçek,2021)

Çakır (2021) 1,75 kW’lık bir güneş enerji tesisinde su ile soğutma yöntemi kullanılarak sistemin verim artışı analiz edilmiştir. Sonuç olarak ısınım değeri en yüksek illerimizden olan Antalya ilinde yapılan deneylerde soğutma işlemi ile birlikte güçte % 24,3’lük, verimde ise % 2,2’lük artış sağlanmıştır. Şekil 3.2’de yapılan çalışma gösterilmiştir.



Şekil 3.2.Soğutmalı sistem deney düzeneği (Çakır,2021)

Erol (2021) çalışmasında panelin arka yüzeyine montajlanan bakır borular üzerinde su soğutma yapmaktadır. Soğutma yapılmayan normal halde bulunan panel ile kıyaslanma yapmıştır. Fotovoltaik panelin sıcaklık ve elektriksel enerjileri performansları kıyaslanmıştır. Verim için, su soğutmalı panelin %5,9 ile soğutma yapılmayan panelden daha iyi olduğu görülmüştür. Deney düzeneği Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Panel soğutma çalışması (Erol, 2021)

Kerem (2020) yan yana ve eş açılarla montajlanan panellerden birinin üst kısmına suyu homojen bir şekilde gönderebilecek bir boru sistemi yerleştirilmiştir. Her iki durumda da ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri kayıt altına alınarak performans kıyaslaması yapılmış olup PV yüzey sıcaklığı 32°C'den 19°C'ye düşürüldüğünde üretilen elektriksel güç değeri beş günün sonunda ortalama 79,621W'tan 91,149W'a çıkarılarak %14,47 verim artışı gözlenmiştir. Şekil 3.4'te panel soğutma çalışması gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Panel soğutma çalışması (Kerem, 2020)

Rajput (2018) Monokristal ve polikristal silikon güneş pilleri için sıcaklıktaki her bir derecelik artışı verimde yaklaşık % 0,45 oranında azalmaya sebep olmaktadır. Idoko

ve ark. (2018) Güneş Panelin alt katmanına yerleştirdiği alüminyum plakalar ve soğuk su ile panelin sıcaklığını 20 °C'ye sınırlandırmıştır. Yapılan hesaplama ile soğutma yapılan panel % 3'ün üzerinde verim artışı olduğu ve panelin daha verimli bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Erkan (2018) Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle PV sistem soğutması araştırılmıştır. PV hücresi hem soğutmasız hem de soğutmalı durumlarda farklı güneş ışınlama değerleri için analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre soğutmasız analizlerde 57 °C'ye kadar ısınan PV hücresi yüzey sıcaklığı, mini-kanal soğutma yöntemi kullanılarak 25°C'ye kadar soğutulmuştur.

Kabul (2017) yapmış olduğu deneyde su, hava ve boş panel sıcaklığı sırasıyla 61, 80, 73°C olarak sıcaklıkları gözlemlemiştir. Su ile soğutma da iki farklı debide kullanarak soğutma işleminde 0,66-1,46 kg/s olarak çalışmıştır. 0,66 kg/s de verimin %5-7 iken 1,46 kg/s debide ise % 10-14 güç artışı olarak bulmuştur.

Rahman ve ark. (2017), Fotovoltaik panelin çalışma sistemini etkileyen PV hücre sıcaklığı, güneş radyasyonu, nem, toz ve su kütle akışı gibi parametrelerinin etkilerini deney yaparak incelemişlerdir. PV panelin altına kanallar yardımı ile su geçirmiş ve her bir derece yükselmesinde verim %0,22 oranında azalma kaydetmişlerdir. Ek olarak her 100W/m² güneş radyasyonu yükselmesi hücrelerin sıcaklığı 3,82°C arttığını bulmuşlar. Sakellariou ve ark., (2017), bir panel ile beraber hibrit bir sistem tasarlayarak iki panelin verimliliğini inceleyip bu çalışmalara ek olarak bilgisayar ortamında simülasyon yaparak elektrik verimi ve termal verimlilikte olumlu sonuçlar almışlar.

Bai (2016) Amorf silikon hücrelerinin ısı etkileşimi çok kristalli güneş pillerinden daha azdır. Amorf silikon hücreleri, modül tasarımına bağlı olarak bazı verimlilik özelliklerine sahiptir. Bu hücrelerin verimi, sıcaklıktaki derece artışı başına yaklaşık % 0,25 azalır. Hasanuzzaman ve ark, (2016), PV sistemlerin soğutma çeşitlerinden olan aktif ve pasif soğutma yapmak için deneylerinde yüksek verim artışı araştırması ve çalışmaları derlemiştir. Sonuç olarak yapılan derlemede pasif soğutmada % 15,5 iken aktif soğutmada % 22 e kadar verim artışını sağlayabildiğini görmüştür. Sun ve ark., (2016) panel güneş açısının PVT sistemlerine olan etkisini araştırarak verim karşılaştırmaları yapmıştır. Kurşun (2016) alt yüzeyinde kanatçıklar bulunan fotovoltaik güneş panelinin dielektrik sıvıya daldırma yöntemi ile soğutulmasında soğutma kanalı

geometrisi ve panel konumunun fotovoltaik hücre sıcaklıklarına etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Sonuç olarak kanal çıkışının daraltılması ve panelin eksenel konumunun kanal çıkışına yakın olması durumunda fotovoltaik hücreler için daha etkin soğutma sağlandığı gözlemlenmiştir.

Khelifa ve ark. (2016), Şekil 3.5’te gösterilen Panel altında geçirdikleri kanallarla panel altında hücreleri soğutmaya çalışmışlar. Yaptıkları çalışmada elektrik verimini ve elektrik verimliliklerini hesaplamış ve simülasyon yapılarak PV hücreleri ve su arasındaki sıcaklık transferi etkisini incelemişlerdir.



Şekil 3.5. Yüzey soğutma deneyi (Khelifa, 2016)

Chandrasekar ve Senthilkumar (2015), Fotovoltaik panel de pasif soğutma için ısı yayıcı ile pamuklu basit olarak bir sistem geliştirmişlerdir. Görsel kontrol için kırmızı renkli su kullanıldığı deneyde maksimum panel modül sıcaklığı 49,2 °C’den 43,3 °C’e düşmüştür. Böylelikle elektriksel verim % 14 artış gözlenmiştir.

Sohail ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada beş yılda yapılan fotovoltaik-Sıcaklık üzerinde çeşitli soğutma tekniklerini incelemişler özellikle tek fazlı akış bazlı yöntemlerinden biri olan ısıl yöntemi ve verimliliğini deneyler üzerinden araştırmışlardır. Daldırma yöntemi de dâhil ederek doğal, cebri (zoraki) hava ve su ile soğutma yöntemi kıyaslamıştır. Sonuç olarak en etkili soğutma yöntemi ile fotovolik-sıcaklık sisteminin ve verimliliğini büyük ölçüde yükseltilebileceği anlaşılmıştır.

Chandrasekar ve ark. (2013) Panel üzerinde termal degradasyon bilinen uzun zamanlı termal gerilme nedeni ile molekülde kalıcı yapısal bir hasar meydana gelmektedir ve aynı sürede modülün elektrik verimini düşürmektedir. Fotovoltaik modüldeki etkiyi azaltmak için soğutma yöntemlerinden biri olan pasif soğutucuda pamuktan bir fitil kullanarak panel üstündeki etkisini araştırmışlardır. Pamuklu fitil üstünden alüminyum-oksit, su / su ve bakır-oksit/su-nano çözeltileri panel üzerindeki soğutucu akışkan olarak karşılaştırmışlardır. Panel verimini sırası ile %9 / %9,7 / %9,5 olarak hesaplamışlardır.

Bambook ve ark. (2012) panelin altını kapatarak altında hava geçirerek bir sistem geliştirmişler. Termal olarak % 28-55 verim ve elektrik olarak % 10,6 ile % 12,2 verimlilik elde etmişler. Hava kütleli debi oranını doğru orantıyla artması sonucunda verimliliğin artabileceği sonucunun bulmuşlar.

El-Seesy ve ark. (2012) 46x56,5 cm boyutunda bir panelin altına soğurucu bakır boru bırakılmıştır. Verimde %2 artış elde ederken toplam PV/T toplam verimini % 4,45 olarak hesaplamıştır.

Kumar ve ark. (2011) panelin alt yüzeyine dik bir Şekilde yerleştirilen dikey yüzgeçler kullanarak panelin üstünden hava verip altıdan geçecek bir düzenekte kanatçıklara değerek bir PV/T hava toplayıcı geliştirmişler. Yapılan çalışmada 88°C'den 66°C'ye düşürmüşler. Cuce ve ark., (2011) çalışmasında sadece bir panel kullanarak 200-800W/m² aralığında radyasyon şiddetleri arasında kullanarak ve ortam sıcaklığını sürekli yükselterek panel verimliliğini gözlemlemiştir. Panelde kullanmış olduğu alüminyum kanatçık için elektrik verimini %9 artığını bulmuştur.

Rosa-Clot ve ark. (2010) fotovoltaik paneli bir suya batırma yöntemi kullanmıştır. Sıcaklığı 30°C'de panel derinliğini ise 4 cm olarak ayarladığında %11'e kadar verim artırdığını hesaplamıştır. Panelin su altında kalmasından kaynaklı olarak panel yüzeyine çarpan radyasyon yoğunluğunun düştüğünü gözlemlemiştir.

Sarhaddi ve ark. (2010) panelin arka yüzeyine bıraktıkları hava kanalları ile panel verim kaybını önlemek için soğutma yapmışlar. Sıcaklık ve elektriksel verim için

simülasyon geliştirmişlerdir. Elektriksel verim % 18, PV/T hava toplayıcısının ısı verimi %17, toplam enerji verimleri sırasıyla % 10,01 ve % 45 olarak gözlemlemişlerdir.

Fraisse ve ark. (2007) cam kaplı PV modülün yıllık elektriksel verimini %6,8 bulurken, camsız PV modülün yıllık elektriksel verimini %9,4 olarak bulmuşlardır. Camsız PV modülün daha yüksek bulmalarının nedenini cam ile hücre arasındaki sıcaklığın yükselmesine neden olduğunu bildirmişlerdir.

Ji ve ark. (2007) doğal sirkülasyonlu bir PVT-su kolektörü yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre bu sistemin % 65'e varan enerji kazanımı sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca bu sistem için yapılan simülasyon sonuçlarına göre yüksek doluluk oranı (packing factor) ve sır geçirgenliğinin toplam sistem performansının arttığı gözlenmiştir. (Engin ve ark., 2005) Doğal dolaşımli sistem ve pompa yardımıyla oluşturdukları zorlanmış dolaşımli sistem üzerinde yaptıkları deneyde elektriksel verimi %4,5 artırmışlardır.

Thomas (2001), Fotovoltaik güneş panelleri en iyi çalışma sıcaklık aralığı için 25°C'de gerçekleşmekte olduğunu belirtmiştir. Panel yüzeyine gelen ısı artışları 40-45°C'yi vardığında verimde ciddi miktarda düşme meydana geldiğini belirlemiştir. PV panelde oluşan verim kayıpları engellenmesi için panel altına bir sıvı akışkan veya faz değiştiren madde eklenerek yüzeydeki sıcaklığı, soğutma için kullanılan malzemeye transfer ederek yüzey sıcaklığı düşürülür ve bu sayede verim artışı meydana geleceğini bildirmiştir.

Araştırma sonuçlarında elde edilen bulgular kıyaslandığında Yapmış olduğumuz çalışmada soğutulan modül 3 no'lu panelin arka yüzeyini su ile tamamen kaplayıp tüm yüzey alanını eşit bir şekilde soğutulmuştur. Soğutulan bu yüzey alanın eşit olmasından kaynaklı olarak diğer çalışmalara nazaran soğutma borularının temas ettiği alanların dışında tüm yüzey alanı eşit bir şekilde soğutulmuştur. Böylelikle panel verimli yükseltilmiştir. Literatür çalışmaların bazıları ele alındığında aşağıdaki Tablo 3.1'de kıyaslanmıştır.

Tablo 3.1.Yapılan benzer çalışmalar

Çalışma Modelleri	Verim Artışı	Referans
Kanatçık-hava soğutma	%9	Cuce ve ark., (2011)
Hava	%10,6	Bambrook ve ark., (2012)
Bakır boru- su soğutma	%2	El-Seesy ve ark., (2012)
Pasif soğutma	%14	Chandrasekar (2015)
Kanal	%	Khelifa (2016)
Su ve hava	%5-7, %10-14	Kabul (2017)
Alüminyum plakalar ve su	%3	Idoka ve ark., (2018)
Su püskürtme	%14,47	Kerem (2020)
Bakır boru- su soğutma	%5,9	Erol (2021)
Su püskürtme	%2,2	Çakır (2021)
Bakır boru- su soğutma	%2,2	Çiçek (2021)
Yüzey soğutma	%7,9	Bu çalışma (2022)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada deney sisteminde kullanılan ana parçalar, veri alma sistemleri ve deneyde kullanılan ölçüm aletleri teker teker anlatılmış; teknik özellikleri tablo şeklinde verilmiştir. Deney düzeneği Batman Üniversitesi İktisat Fakültesi çatı katında yaklaşık on beş metre yüksekliğinde olan binanın ve bulunduğu arazi yüzey alanından daha yüksek bir nokta olan açık deney alanı üzerinde çalışma yapılmıştır. Araştırma yapılan konu üzerinde önceden yapılan deneylerin kademeleri vasıtasıyla, olası hatalarla mücadele etmek için bilgiler toplanmıştır. Gerekli tüm ekipmanlar belirlenip deney sahasına sırayla taşınmıştır. Bu malzemelerin en ideal şekilde çevre koşullarının gölgeleme etkisi yaratmayan veri almayı etkilemeyecek bir konumda kurulması için düzenek hazırlanmaya başlanmıştır. Deneyin ana parçaları, montajı ve bakır sistemlerinin gaz kaçaqları olmayacak ayrıca çevre koşullarından etkilenmemek için tüm kaynaklar deney sahasında yapılmıştır. Kaynak işlemlerin bitiminden sonra veri almakta yardımcı olan LED lambaların montajları yapılmıştır. Yapılan deneye görüntüsü ve üç boyutlu modellemesi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1.Deney seti ön görünüşü ve üç boyutlu görüntüsü

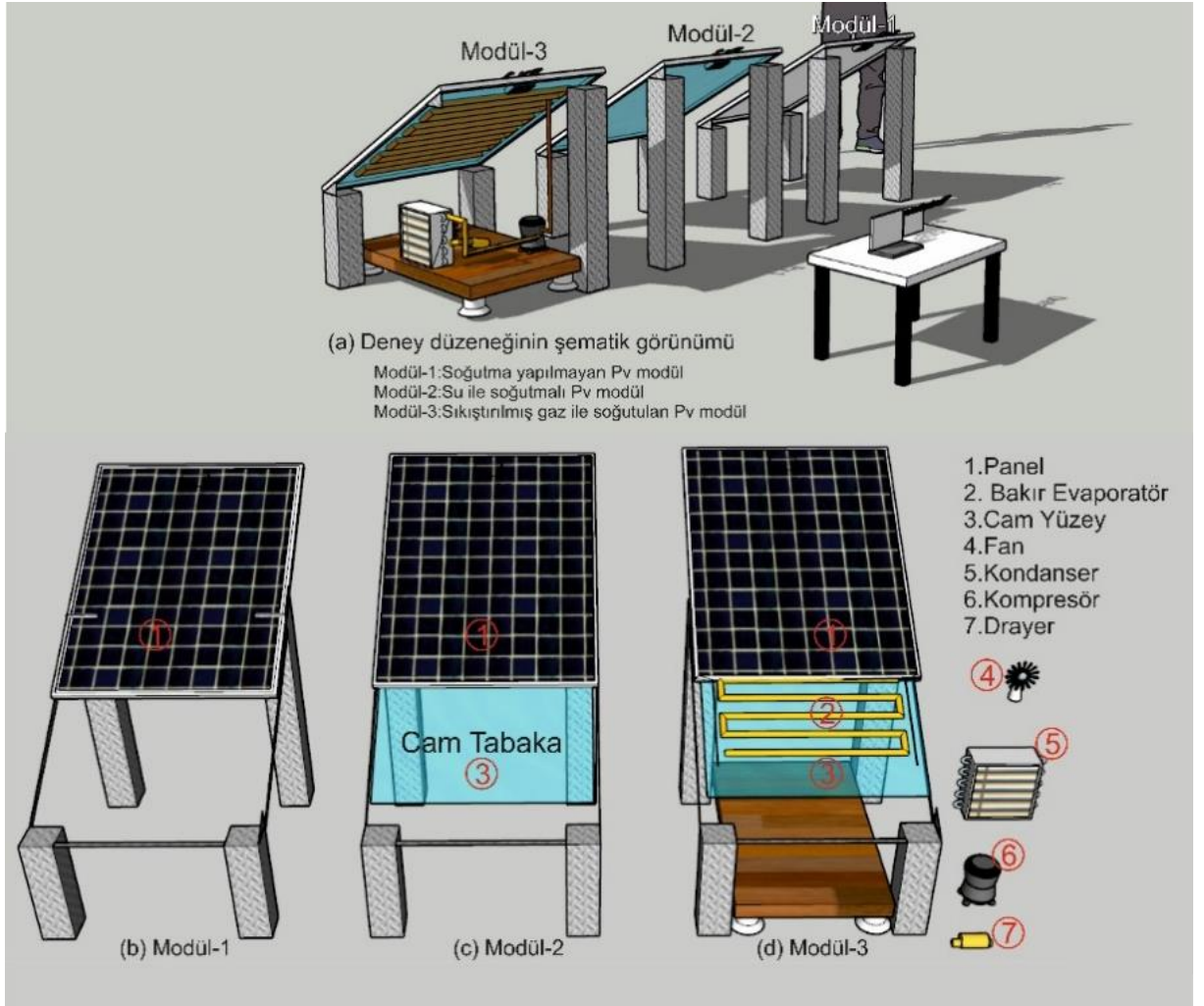
4.1. Deney Seti Ana Parçaları, Özellikler ve Montaj Yöntemleri

Deney setine ait ana parçaların adı, kullanıldığı modül ve parça özellikleri liste halinde Tablo 4.1’de belirtilmiştir. PV panel her üç modülde de varken cam plakalar ve su iki PV de bulunmaktadır. Bir no’lu modülde ise herhangi bir parça bulunmamaktadır.

Tablo 4.1.Deney seti ana parçaları

No	Adı	Ait olduğu modül	Özellikler
1	PV panel	1,2,3 no’lu modüller	TS-M364-105 Monocrystalline 105W,Voc:24,62 V _{isc} :5,14
2	Yassı Evaporatör	3 no’lu modül	Ebat:30 cmX50 cm, 120L kapasite
3	Cam kapak	2,3 no’lu modüller	4 mm cam, Transmittance:0,92
4	Fan	3 no’lu modül	Yön: Emme, Fan çapı: 250 mm 1.400 devir
5	Kondenser	3 no’lu modül	Tip: ¼ HP, Yüzey:1,7m ²
6	Ev tipi buzdolabı kompresörü	3 no’lu modül	208-220VAC 50 Hz LRA:11,2 LBP R-600a S
7	Drayer	3 no’lu modül	25 gr kurutma filtre,
8	R600 gaz	3 no’lu modül	F:C ₄ H ₁₀ , BoilingPoint:-11,7°C

Tablo 4.1’de deney sistemine ait ana parça detayları ve Şekil 4.1’de deney tesisatın şematik gösterimine yer verilmiştir. Modül bir herhangi bir işlem yapılmayan standart koşullardaki panel, modül iki normal su ve modül üç ise soğutma devresi ile soğutma yapılan modüllerdir. Şekil 4.1’de de görüldüğü gibi üç modül, aynı açıda olacak şekilde bırakılmıştır. Modül üç kompresör, Kondenser ve yassı Evaporatör ile irtibatlandırılmıştır. Şekil 4.2’de deney düzeneğinin kesit görüntüleri ve arka görünümü gösterilmiştir. Kullanılan malzemeler ve panel isimleri şekil üzerinde ayrılmıştır.



Şekil 4.2. Deney tesisat görünümü

4.1.1. Panel

Deney sisteminde kullanılan üç benzer özellikte olan paneller (Şekil 4.3) kendi aralarında farklı düzeneklere sahip olan soğutma evreleri kullanılmıştır. Arka kısımda panelin altına cam yardımıyla sadece su ile soğutma yapılan modül iki cam tabaka ile panel arasına sızdırmaz akvaryum silikon ile yapıştırılmıştır. Tablo 4.2’de paneller hakkında verilen tüm bilgiler aktarılmıştır. Panellerin bırakılması için panel boylarına demir profillerden montajı rahat olması için sökölüp çıkartılan ayak yapı yaptırılmıştır. Konstrüksiyon ayakları gövdeye 10 cm yuva olarak ayakların girebileceği Şekil 4.3’de vida eklenmiştir.



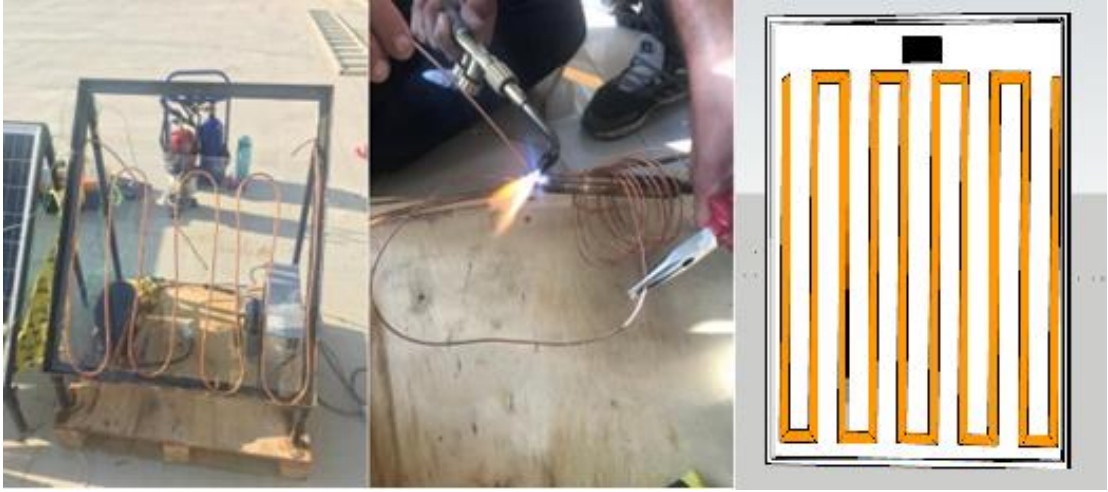
Şekil 4.3.Özdeş paneller

Tablo 4.2.TS-M364-105WP PV Özellikleri

Türü	Açıklama
Model:	TS-M364
Marka:	Solar Enerji
Hücre Tipi:	Monokristal
Maksimum Güç:	0W(+/-%5)
Maksimum Voltajı:	20,84V
Maksimum Akım:	4,92A
Açık Devre Voltajı Voc:	24,62V
Kısa Devre Akım Isc:	5,14A
Boyut:	675x790x20 mm

4.1.2. Bakır boru

Deney sisteminde kullanılmak üzere 6 metre uzunluğundaki ve et kalınlığı 2 mm olan bakır boru 50 cm uzunluğunda ve 10 cm uzaklığında bükülmüştür. Şekillendirilen bakır boru diğer çalışan aksanlarla montajı için oksijenle kaynak yapılmıştır (Şekil 4.4). Çalışır duruma hazır gelen soğutma sistemi darbelere veya herhangi bir sarsıntıyı önlemek amaçlı palet üzerine tüm sistem bırakılarak montajları tamamlanmıştır.



Şekil 4.4. Bakır boru şekillendirilmesi ve kılcal boru montajı

4.1.3. Cam tabaka

Cam tabaka, Tablo 4.1’de de belirtildiği gibi, düşük demirli, 92 % geçirgenliğe sahip düz camdan imal edilmiştir. Modül-2 ve Modül-3 arka çerçevesine silikonla montajlanmıştır. Demir konsiksiyon çerçeve haznesine oturtularak cam tabaka ile panel çerçevesine tutamaç görevi görmüştür. Şekil 4.5’te cam kapağın montaj için hazırlanışı görülmektedir.



Şekil 4.5.Cam tabaka konsiksiyon üzerine montajı

4.1.4. Fan

Modül-3'te kullanılan soğutma sistemini üzerine eklenen fan 220 Volt olup emme kuvvetine sahip bir pervanedir. Sıkıştırılan gazın kondansörde sıcaklığı atmak için fan yardımıyla sıcaklığı uzaklaştırmaya yardımcı olmuştur. Fan motor Modül-3'ün üzerine bırakılan ahşap sehpa üzerine vida yardımı ile montajlanmıştır. Şekil 4.6'da fan motorun montajı gösterilmiştir.



Şekil 4.6.Fan montajı

4.1.5. Kondenser

Kondenseler 32x28 mm çapraz geometrili yüksek performanslı Finlerden 3/8 bakır borudan yapılmıştır (Şekil 4.7). Kondenselerin giriş ve çıkış boruları bakır borudan olup sıcak hava dalgasını üzerinden rahatlıkla atmak için üretilmiştir. Tablo 4.2’de bahsedildiği gibi ¼ HP gücünde olup yüzey soğutma alanı 1,7’dir.



Şekil 4.7.Kondenser montajı

4.1.6. Kompresör

Buzdolapların soğutma sistemi için tasarlanmış olan kompresörün aynı görev için deney düzeneğimizde çalışması için seçilen kompresör 220 V olup soğutmak için seçilen R600 gazı ($F:C_4H_{10}$, Boiling Point:-11,7°C) kullanılmıştır. Sistem üzerine 100 gr gaz basıldıktan sonra soğutma sistemi test edilmiştir. Test işlemi sırasında istenilen soğutma olayı yakaladıktan sonra kurulum kapalı sistem olarak tamamlanmıştır. Şekil 4.8’de kompresör montajı ve gaz basım işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.8.Kompresör montajı ve gaz basım işlemi

4.1.7. R600a gazı

Soğutma sistemi kompresör için uygun olan R600a gazı (Şekil 4.9) kullanılmıştır. Sisteme toplam 100 g basımı yapılmıştır. Tablo 4.3'te gaz hakkında geriye kalan tüm özellikler aktarılmıştır.



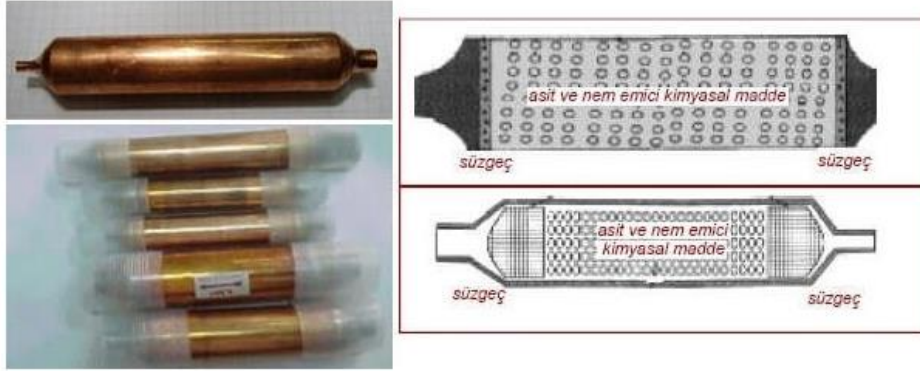
Şekil 4.9.R600a gazı

Tablo 4.3.R600a gazı teknik özellikleri

R600a Gazı	Teknik Özellikleri
Fiziksel Durumu	Gaz
Formu	Sıkıştırılmış Gaz
Görünüm/Renk	Renksiz
Erime Noktası	-159,4°C
Kaynama Noktası	-11,7°C
Kritik Sıcaklık	135,0°C
Dinamik Viskozite	0,238 mPa.s(-10°C)

4.1.8. Drayer

Kondenser çıkışına konulan drayer, görevi sistem içinde bulunan yabancı maddeleri sıvı ve asitleri tutmaktır. Havanın yağ termometre ısısı soğutma sisteminin iç temizliğine doğrudan bağlıdır. Sistemin içinde yabancı madde dolaşımı olmamalıdır. Kuru ve temiz soğutucu gaz akışkan ile kuru ve temiz yağ dolaşımı olmalıdır. Akışkanın içine sisteme doldurmadan önce veya sistemin diğer elemanlarından bir miktar sıvı karışabilir. Bu sıvı kılcal borunun soğutucu giriş yerinde donarak sistemi tıkamasına ve soğutmasını önler. İçindeki yabancı maddeler de parçacıklar da tıkama yapabilir. Sistem içine sıvı ve tozların dolmaması için önlemek hemen hemen mümkün değildir. Şekil 4.10'da filtre görünümü ve kesiti verilmiştir.



Şekil 4.10. Filtre görünümü ve kesiti (<https://www.thesisat.org/drayer-filtre-montaji.html>)

4.2. Veri Alma ve İşleme Ekipmanları

Tablo 4.4'te deney setinde kullanılan veri alma ve işleme ekipmanları, kullanıldığı yerler ve karakteristik özellikleri yer almaktadır. Sistemde alınan verilerin hassasiyetlerine dikkat edilerek ve hata payını en aza indirmek amaçlı kullanılan tüm malzemeler tek tip seçilmiştir. Böylelikle elde edeceğimiz veri analizi ve değerlendirme yapıldığında hata payını en aza indirmeyi hedeflenmiştir.

Tablo 4.4. Veri alma ve işleme ekipmanları

No	Adı	Kullanıldığı yer
1	Radyasyon Ölçüm Aleti	Deney Düzeneği
2	K tipi Termokulp	1.2.3 no'lu modüller
3	Elimko 680	Deney tesisatı
4	Termal Macun	Termokulp panel bağlantı noktaları
5	Rüzgâr Hız Ölçer	Deney Düzeneği
6	Dual Laser VideoIR Termometre	Deney Düzeneği
7	Testo 881-2 Termal Kamera	Deney Düzeneği
8	Unı-t Multimetre UT33C+	Deney Düzeneği
9	Enerji Tüketim Sarfiyat Ölçeri PMG-1	Deney Düzeneği
10	LED ampul	Deney Düzeneği

4.2.1. Radyasyon ölçüm aleti

PV panel doğrultusunda güneşten gelen radyasyonun şiddetini ölçmek için kullanılmıştır. Yapılan deney aşamasında sürekli olarak veri almak için sabitlenen radyasyon ölçüm aletinin montajı Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Tablo 4.5’te radyasyon ölçüm aleti ile ilgili teknik özellikler belirtilmiştir.



Şekil 4.11.Radyasyon ölçümü

Tablo 4.5.Radyasyon ölçüm cihazın teknik verileri

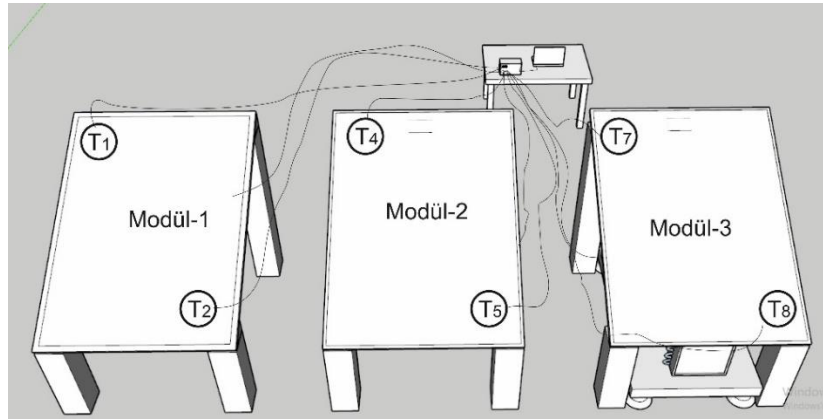
Solarmetre	Özellikleri
Ölçüm mesafesi	0,1-399,9, 1-3.999 W/m ² 0,1-399,9, 1-3.999Btu/(ft ² -h) 0,1W/m ² , 0,1Btu/(ft ² -h)
Çözünürlük	0,1-399,9, 1-3.999 W/m ² 0,1-399,9, 1-3.999Btu/(ft ² -h) 0,1W/m ² , 0,1Btu/(ft ² -h)
Hassasiyet	±5%okumada (250°C) ±0,38W/m ² /°C
Sıcaklık hasası	±0,12Btu/(ft ² -h)/°C ±0,12Btu/(ft ² -h)/°C
Yanıtma süresi	0,25 sn
Boyutlar	60x132x38
Batarya	9Vx1,6F22

4.2.2. K tipi termokulp

Ortam sıcaklık değeri, panellerin ön, arka yüzey sıcaklık değerlerini ölçmek için Şekil 4.12'deki (sağ) gibi K Tipi Termokupllar montajlandı. Termokupl iki farklı alaşımın uçlarının birbirine lehimlemesi ile oluşturan temel bir ısı ölçü malzemesidir. Daha önceden belirlenen panel üzerindeki noktalara monte edilmiştir (Şekil 4.13). Sistemde kullanmış olan termokupla ait teknik veriler Tablo 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Termokupl ve montajlı hali



Şekil 4.13. Termokupl yerleşim planı

Tablo 4.6. Termokupl kablo teknik bilgiler

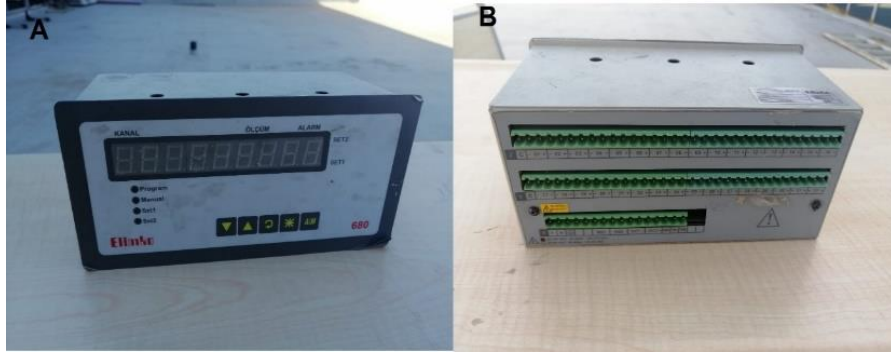
Termokupl Bilgileri	Özellikleri
Tipi	1xK Tipi Bakır Uçlu Yüzey Termokupl
Çalışma Sıcaklığı	-60 – 280°C
Tek Elemanlı	1xNiCr-Ni
Kablo Kesiti	2x0,50 mm ²
Kablo İzolasyonu	Teflon+Teflon

4.2.3. Elimko 680 ölçüm aleti

PV panellerin ön ve arka yüzeylerine monte edilen termokupl diğer uçlarındaki veri bağlantı soketleri ile cihaza bağlantısı yapılmıştır. Alınan sıcaklık değerleri excel ortamına aktarmak maksadıyla ölçüm aletinde otuz iki toplam veri alma kanalına sahiptir. Elimko-680 modelli dataloger Şekil 4.14’te gösterilmiştir. Toplamda on adetten oluşan termokupl dataloger bağlanıp USB kablo yardımı ile bilgisayara veri aktarımı yapılarak veriler toplanmıştır. Ölçüm cihazına ait teknik veriler Tablo 4.7’de gösterilmiştir

Tablo 4.7.Elimko 680 data logger cihazına ait teknik bilgiler

Data Logger Bilgileri	Özellikleri
Doğruluk Değeri	0,5
Gösterge Değeri	9 DigitLED (14 mm)
A/S Çevirim Değeri	16 bit
S/A Çevirim Değeri	12 bit
Giriş Seçme Aralığı	0,2-9,9Saniye/Kanal
Gösterge Tarama Aralığı	1-99Saniye/Kanal
Gürültü Bastırma Değeri	120 DB 50 Hz’de
Çalışma Ortam Sıcaklık	10-50°C
T/C Ortam Sıcaklık Kom.	0-50°C
Kontak Formları	Üst (HI) veya Alt (LO)
Sabit Bant	0-9.999 EU
Çalışma Gerilimi	85-375V / 85-265V AC
DC	20-85V DC / 20-60V AC
Güç Sarfı	Max-7W
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250V AC 5A
Giriş işareti	T/C, R/T, mA, mV, V
Ölçü Elemanı	Termokupl Rezistans
Termometre	Standart ve özel çıkışlı transmitter ve çeviriciler
Bellek	EEPROM max. 10 ⁵ yazma
Ağırlık	650gr.



Şekil 4.14. Ölçüm cihazı (datalogger) ön (a) ve arka (b) görünüşü

4.2.4. Termal macun

Deneyde HY 510 olan termal macun kullanılmıştır. Termal iletkenliği $1,93 \text{ W/m-K}$ Termal Direnç: $<0.225^\circ\text{C-inW}$ özelliklerine sahiptir. Termal macun (Şekil 4.15) panel üzerine ve arka yüzeylerine bırakılan termokuplların yüzey sıcaklıklarını daha iyi değerler almak için uçlarına ve panele temas eden yüzeye sürülmüştür. Günlük olarak sürülen termal macunun ortam koşullarından silinmesi, tozlanması ve aşırı sıcaklıklarda kendi özelliğini yitirmesi olasılığına karşın uçlara sürülen macunun temizlenip tekrardan sürülmüştür. Deney boyunca sensör uçlarına sürülen toplam on tüp (300 g) termal macun kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Termal macun

4.2.5. Rüzgâr hız ölçer

Kestrel 2000 adlı rüzgâr hızölçer ile deney boyunca her on dakikada bir veri alınmıştır. Günlük olarak alınan değerleri bilgisayarda hazırlanmış olan programa atılarak hem sayısal veriler hem de grafik oluşturularak toplanan bilgiler sisteme aktarılmıştır. Şekil 4.16’da rüzgâr ölçüm aleti ve Tablo 4.8’de rüzgâr ölçüm cihazı teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.16.Rüzgâr ölçüm aleti

Tablo 4.8.Rüzgâr ölçüm cihazı teknik özellikleri

Bilgiler	Özellikleri		
Rüzgâr Hızı Ölçüm Aralığı	0,4	60,0	m/s
	59	11.948	ft/min
	1,0	218	km/h
	0,8	135	mph
	0,6	118,3	kt (Knots)
	0	12	B (Beaufort)
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-29,0 to 70,0°C		
Çözünürlük	0,1		
Hassasiyet	1,0°C		
Rüzgâr Soğuğu	0,4-60,0m/s , -45,0-125,0°C		
Otomatik Kapanma	İşlem yapılmadığı takdirde 45 saniye sonra		
Pil	1 x CR2032 (Dahil) Ortalama 300 saat ömür		

Koruma Sınıfı	IP67
Ebatları	122 x 42 x 18 mm
Ağırlık	65 g

4.2.6. Dual laservideoir termometre

Deney sisteminde ikinci bir sıcaklık ölçüm aracı olarak kullanılan VideoIR termometre kullanılmıştır. Panel üzerinde çift yönlü lazer göndermesi ile ölçüm yapan cihaz, panel üzerinde gezdirilerek panel sıcaklıkları not edilmiştir. Sıcaklık değerlerin fazla farklılığın olmadığı ve termokuplların olmadığı bölgelerde gezdirilerek diğer sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Tablo 4.9’da cihaz hakkında diğer teknik özellikler belirtilmiştir. Lazer termometre kullanımı Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17.Uzaktan ısı ölçer

Tablo 4.9.Lazer sıcaklık ölçüm cihazı teknik özellikleri

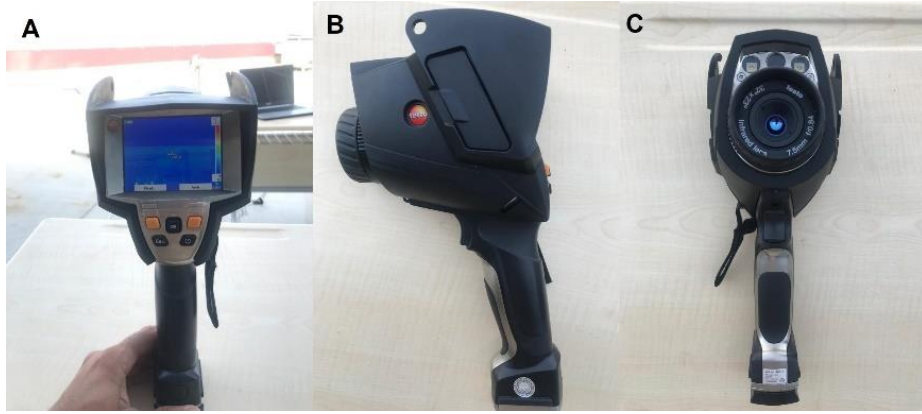
Dual Laser VideoIR Termometre	Teknik Özellikler
Lazer yakınsama mesafesi	50' (127 cm)
Sıcaklık aralığı	-58 to 3992°F (-50 to 2200°C)
Maksimum çözünürlük	0,1 °F/°C
Emisyon	0,10 to 1,00 ayarlanabilir
Hedefe olan mesafe	50:1
K tipi sıcaklık aralığı	M:-58 to 2498°F (-50 to 1370°C); K tipi prob dahildir: (-58 to 752°F /-50 to 400°C)
Hava sıcaklığı aralığı	32 to 122°F (0 to 50°C)
Bağıl nem	0 to 100%RH

4.2.7. Testo 881-2 termal kamera

Yapılan araştırma verilerini desteklemek amaçlı olarak termal kamera kullanılmıştır. Deneyde sistemim soğutulup soğutulmadığını paneller arasındaki sıcaklık farkları gösterilmiştir. Şekil 4.18’de sistemde kullanılan termal kamera görüntüsü verilmiştir. Termal kamera hakkında teknik özellikler Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10.Termal kamera teknik özellikleri

Testo 881-2	Özellikleri
Kızılötesi görüntü çıkışı	
Detektör tipi	FPA 160x120 pixels, a.Si
Termal hassasiyet	<80 mK at +30°C
Görüş alanı/dk odak mesafesi	32° x 23° /0,1 m (standart lens)
Geometrik çözünürlük	3,3 mrad(standard lens) 1,0 mrad(telephoto lens)
Görüntü yenileme hızı	33 Hzfor UE, otherwise 9 Hz
Odak	manuel
Spektra aralık	8 to 14 µm
Görsel	
Görüntü ekranı	3,5” lcdwith 320x240 piksel
Ölçüm	
Sıcaklık aralığı	-20°Cto +100°C 0°Cto + 350°C değiştirilebilir.
Keskinlik	± 2°C, ± 2 % of mv (-20°C to +350°C)
Minimum çap ölçüm noktası	10 mm at 1 m (standart lens)
Çevre koşulları	
Çalışma sıcaklık aralığı	-15°Cto +40°C
Hava nemi	-30°Cto +60°C
Fiziksel özellikleri	
Ağırlık	900 pr
Boyut	152x108x262 mm



Şekil 4.18.Termal kamera

4.2.8. Uni-t multimetre UT33C+

Deney düzeneğinin veri alma bölümünde yardımcı eleman olarak ve diğer araçların kontrollerini yapılmıştır. Fotovoltaik panellerin LED lambalar yardımı ile çekilen akım ölçülmüştür. LED lambalara seri bağlanan amper volt ölçerin hata payını aza indirmek ve doğruluğunu kontrol etmek için belli periyotlarla ölçüm yapılmıştır. Şekil 4.19’da multimetre ölçüm aleti gösterimi ve teknik özellikleri Tablo 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.19.Multimetre ölçüm aleti

Tablo 4.11. Multimetre ölçüm aleti teknik özellikleri

Multimetre Ölçüm Aleti	Teknik Özellikleri
Model	UT33C+
DC(V)	600V
AC(V)	600V
DC(A)	10A
Resistance (Ω)	20M Ω
Temperature measurement ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$)	-40 $^{\circ}\text{C}$ ~ 1000 $^{\circ}\text{F}$ / -40 $^{\circ}\text{C}$ ~ 1832 $^{\circ}\text{F}$
Display	1.999
Drop test	2M

4.2.9. Enerji tüketim sarfiyat ölçeri PMG-1

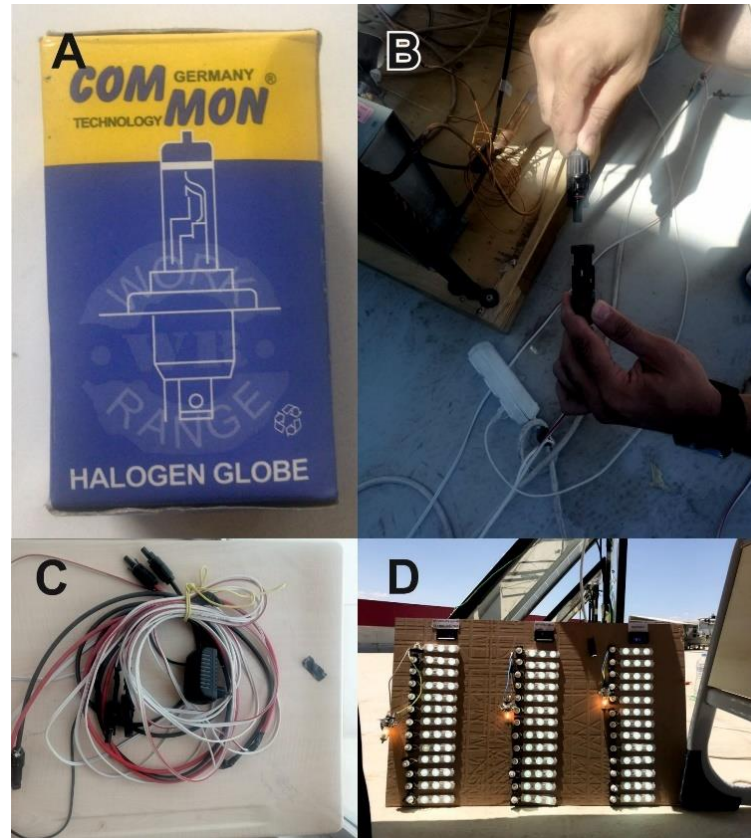
Soğutma sistem elemanı olan kompresörün ne kadar enerji tükettiğini ölçmek için kullanılmıştır. Tercih edilen prizin deneyde kullanılan görüntüsü Şekil 4.20’de gösterilmiş. Teknik özellikleri aşağıda Tablo 4.12’de daha detaylı olarak verilmiştir.

**Şekil 4.20.** Enerji tüketim sarfiyat ölçer priz**Tablo 4.12.** Enerji tüketim sarfiyat ölçer priz teknik özellikleri

Sarfiyat Ölçer	Özellikleri
Derecelendirme	230VAC/50Hz/16A/3680W
Voltaj aralığı	200-276VAC, doğruluk: +/-1,5%
Mevcut tranje	0,005-16A, doğruluk: +/-2%
Güç doğruluğunu ölçün	+/-2%
Birikimli görüntüleme aralığı	0-9.999KWH
Measure frekans aralığı	45-65Hz
Çalışma sıcaklığı	0 $^{\circ}\text{C}$ ila + 40 $^{\circ}\text{C}$

4.2.10. LED ampuller

Deney düzeneğinde panellerden akım çekmek için kullanılmıştır. LED'ler 2 farklı üründen oluşmaktadır. Bu LED'lerin deneyde kullanım şekli Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Bağlantı noktasının enerji kaybını önlemek amaçlı olarak erkek ve dişi soketler kullanılmıştır, Şekil 4.20b'de gösterilmiştir. Diğer teknik özellikler tablo 4.13'de verilmiştir.



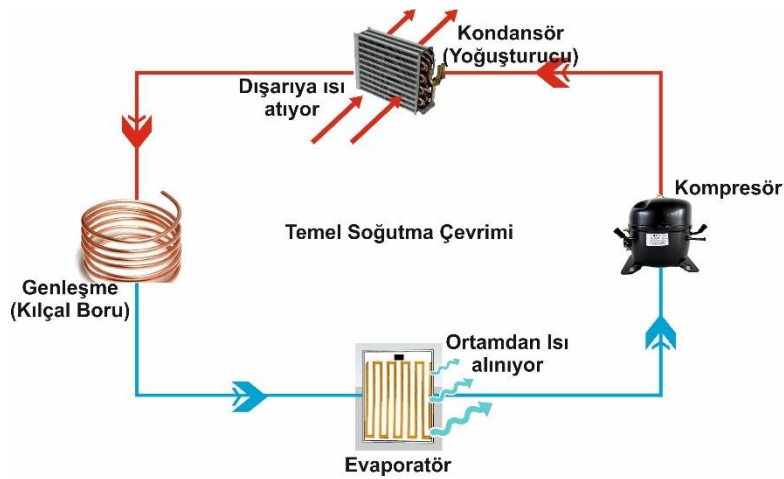
Şekil 4.21.LED lambaların deney düzeneğinde kullanımı

Tablo 4.13.LED lambaların teknik özellikleri

LED Lambalar	Teknik Özellikleri
Halojen Globe	70/75 W, 24V
LED Modül	1,5 W

4.3. Soğutma sistemi

Soğutma sistemi, ısıyı absorbe eden soğutucu bir akışkanın dışına ısıyı yayması sonucunda oluşan sıcaklık farklılıkları olarak tanımlanabilir. Bu ısı farklılıklarını bir soğutucu içinde oluşturur. Çevrim döngüsü; düşük basınçtaki soğutucu akışkan kompresör tarafından yüksek basınca yükselttikten sonra kondensere yollanır. Kondenserde yoğuşma oluşturularak kılcal borulara ve buradan geçerek alçak basınçla faz değiştirmesi ile sıvı haline dönüştürülür. Buradan da soğutucu kısım vasıtası ile soğutma gerçekleşir. Bu sistemlerde; ısının düşük sıcaklıktaki kaynağından yüksek sıcaklıktaki ortama gönderilmesi ile istenen ortamın yani depolama alanları ya da yaşam alanları soğutulur. Bu çalışma sistemi, yapmış olduğumuz deney düzeneğinde soğutma görevi üslenmiştir. Yapılan soğutma sistem çevrimi Şekil 4.22’de çizim taslağı ve deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Temel soğutma çevrimi ve deney sisteminde kullanımı

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

5.1. Teorik Hesaplamalar ve Hata Analizi

Güç hesabı panelde üretilen gerilimin akım ile çarpımıdır. Denklem (5.1) verilmiştir.

$$Q_e = V \times I \quad (5.1)$$

Sistem üzerinde elde edilen elektriksel verim değeri için, PV üzerine gelen enerji miktarının toplamı ve elektriksel gücün çarpımına oranıdır. (5.2) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{Q_e}{G \times A} \quad (5.2)$$

$$\eta_e = 0,09$$

Burada;

η_e : Elde edilen elektriksel verim (%)

Q_e : Elde edilen elektriksel güç (W)

G : Güneş ışınlamı (W/m^2)

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

5.2. Hata Analizi

$$\eta_{PV} = \frac{V_{PV} \times I_{PV}}{I_t \times A_m} \quad (5.3)$$

Fotovoltaik modülün verim değeri için, panelden ölçülen akım değerleri (I_{PV}) ve voltaj (V_{PV}) çarpımının, Toplam fotovoltaik alanı (A_m) ve güneş ışınlamı (I_t) çarpımına oranıdır. Belirsizlik denklemi aşağıdaki eşitlikte (5.4)'de verilmiştir.

$$W_{\eta_{PV}} = \left[\left(\left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial V_{PV}} W_{V_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_{PV}} W_{I_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_t} W_{I_t} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial A_m} W_{A_m} \right)^2 \right) \right]^{1/2} \quad (5.4)$$

Belirsizlik yüzdesi ise aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\frac{W_{\eta_{PV}}}{\eta_{PV}} \times 100 \quad (5.5)$$

Kullanılan aletlerin doğruluk değerleri, voltaj için $\pm 0,01V$, akım için $\pm 0,1A$, alan için $\pm 0,01m^2$ ışıyım için $\pm \%0,04$, olarak alınmıştır. Yapılan belirsizlik hesaplamasında panelin maksimum güç değerindeki verim değeri $\%12,5$ bulunmuştur. Sistemdeki toplam belirsizlik analizi aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$W_s = \left[\left(\left(\frac{\partial_s}{\partial_{x1}} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial_s}{\partial_{x2}} W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial_s}{\partial_{x3}} W_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial_{sn}}{\partial_{xn}} W_n \right)^2 \right) \right]^{1/2} \quad (5.6)$$

Burada;

x_1, x_2, x_3 : Bağımsız değişken değerleri

S : Ölçülmesi gereken büyüklük

W_1, W_2, W_3 : Bağımsız verilere ait hata oranları

n : Bağımsız değişken sayısı

W_s : Toplam belirsizlik değeri

Deneydeki PV panellerin gücü için üretiminden oluşabilecek hatalar cihazın kendisi için oranı ± 5 belirsizlik iken ve oluşan elektriksel verilerin görünmesi için kullanılan Ampermetre-Voltmetre oranı 0,01 ve bağlantı için oranı 0,01 alındığında belirsizlik oranı aşağıdaki denklem gibi olur.

$$W_s = \left[(W_{cihaz})^2 + (W_{okuma})^2 + (W_{bağlantı})^2 \right]^{1/2} \quad (5.7)$$

$$W_s = [(5)^2 + (0,01)^2 + (0,01)^2]^{1/2}$$

$$W_s = \pm 5W$$

Sistemde sıcaklık değerleri için belirsizlik için denklem aşağıda belirtilmiştir. Ölçüm cihazından kaynaklı belirsizlik değeri 0,5 iken bağlantı noktasından kaynaklı değeri ise 0,25 olarak alınırsa toplamda oluşacak belirsizlik değeri aşağıdaki gibidir.

$$W_s = \left[(W_{dataloger})^2 + (W_{okuma})^2 + (W_{bağlantı})^2 \right]^{1/2} \quad (5.8)$$

Radyasyon değerlerini ölçmek için kullanılan cihazın belirsizlik değeri 0,05 ve ışıyım şiddetinin okunması sırasındaki belirsizlik değeri 1 olarak alındığında toplam oluşacak belirsizlik değeri denklemde hesaplanmıştır.

$$W_s = [(W_{solarmetre})^2 + (W_{okuma})^2]^{1/2} \quad (5.9)$$

Deney sıcaklık seviyelerinin ölçümleri için kullanılan termokuplur hata hesaplaması için belirsizlik hesabı aşağıdaki denklemde hesaplanmıştır. Kalibrasyonda için %0,5, iken termokuplur %1, termokuplur konum %0,5 konum hata payı olarak alındığında oluşacak toplam belirsizlik şöyle olacaktır.

$$W_s = [(W_{termokuplur})^2 + (W_{okuma})^2 + (W_{bağlantı})^2]^{1/2} \quad (5.10)$$

Denklem üzerinde yapılan hesaplamalar doğrultusunda hesaplanan belirsizlik değerleri sonucunda kabul edilebilir bir değerlerde olduğu görülmüştür. Toplam belirsizlik değeri Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Belirsizlik analizi tablosu

Cihazlar	Teknik özellikleri	Hassasiyet	Belirsizlik
Panel	Ölçüm aralıkları 0-105W	± 5W	± 5W
(Elimko-680)	Ölçüm aralığı	±%0,5°C	± 0,75°C
(Dataloger)	-60°C / +280°C		
Solar metre	Ölçüm aralığı	± 0,05W/m ²	± 1,001W/m ²
Sinometer SM206	-0,1W/m ² / +1.399W/m ²		
Termokuplur	Ölçüm aralığı -60°C / +280°C	± %0,5°C	±1,22°C

5.3.Enerji Analizi

Fotovoltaik sistemin enerji dengesi denklem 5.11’deki gibidir.

$$E_{\eta_{PV}} = E_{\eta_{PV},elektrik} + E_{\eta_{PV},termal} \quad (5.11)$$

$E_{\eta_{PV},elektrik}$ Sisteminde elektrik üretimi $E_{\eta_{PV},termal}$ ile ise sistemin ısı kayıpları temsil edilmiştir.

Burada;

$E_{\eta_{PV},elektrik} = \text{Sistemin Elektrik üretimi}$

$E_{\eta_{PV},termal} = \text{Sistemin ısı Kayıpları}$

$$E_{\eta_{PV},elektrik} = V_{oc}I_{sc} \quad (5.12)$$

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

$$E_{\eta_{PV},termal} = h_{ca}A_c(T_c - T_a) \quad (5.13)$$

Fotovoltaik sisteminin çevreden kaynaklı oluşan ısı kayıpları denklem 5.12’de verilmiştir. Kararlı halde hücre sıcaklığı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$4T_c^5 - 3T_aT_c^4 - T_aT_s^4 = 0 \quad (5.14)$$

Fotovoltaik hücreden çevreye olan ısı kaybı rüzgâr hızına bağlı olarak aşağıdaki bağlantı gibi verilmiştir.

$$h_{ca} = 2,8 + (0,3xvr) \text{ için } 0 \leq vr \leq 7 \text{ ms}^{-1} \quad (5.15)$$

Bu problemdeki v , PV üzerinde ölçülen rüzgâr hızıdır. Fotovoltaik sistemin toplam enerji dengesi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$E_{\eta_{PV}} = V_{oc}I_{sc} + h_{ca}A_c(T_c - T_a) \quad (5.16)$$

Mühendislikteki verimlilik tanımı çıktının girdiye oranıdır. Fotovoltaik sistemin enerji verimliliği ise elektrik ve termal enerjinin toplamının, fotovoltaik yüzey üzerine ulaşan güneş enerjisine oranı olarak da yorumlanabilir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\eta_{PV} = \frac{E_{\eta_{PV}}}{I_s x A_c} = \frac{V_{oc} I_{sc} + h_{ca} A_c (T_c - T_a)}{I_s x A_c} \quad (5.17)$$

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

$$\eta_{PV,D} = \frac{E_{PV,E}}{E_s} \quad (5.18)$$

Belirlenen değerler sonucunda PV sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Tablo 5.2’de hesaplamalar sonucunda fotovoltaik sistemin enerji analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 5.2.PV enerji analiz sonuçları

$E_{\eta_{PV}} = E_{\eta_{PV},elektrik} + E_{\eta_{PV},termal}$
$E_{\eta_{PV},elektrik} = V_{oc} I_{sc}$
$E_{\eta_{PV},termal} = h_{ca} A_c (T_c - T_a)$
$h_{ca} = 2,8 + (0,3xv_r)$ için $0 \leq v_r \leq 7 \text{ ms}^{-1}$
$\eta_{PV} = \frac{E_{\eta_{PV}}}{I_s x A_c}$

5.4.Ekserji Analizi

Fotovoltaik sistemde üretilen elektrik ekserjisi, mevcut olan enerjinin alabildiğince tamamını faydalı olacak şekilde kullanmayı hedefler. Ekserji dengesi denklem 5.17’deki gibidir.

$$Ex_{PV} = Ex_{PV,elektrik} + Ex_{PV,termal} + Ex_{PV,-d,elektrik} \quad (5.19)$$

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

Şekildedir. Sistemin elektrik ve termal ekserji kayıpları denklem 5.20 ve 5.22'deki gibidir.

$$En_{pv,elektrik} = V_{oc}I_{sc} \quad (5.20)$$

$$Ex_{PV-d,elektrik} = V_{oc}I_{sc} - V_mI_m \quad (5.21)$$

$$Ex_{pv,terma} = \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a)) \quad (5.22)$$

$$\psi_{PV} = \frac{Ex_{PV}}{Ex_{güneş} x A_c} = \frac{V_mI_m - \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a))}{\left[\left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_c}\right) x I_s\right] x A_c} \quad (5.23)$$

Düzenegin ekserji analizleri hesaplanarak Tablo 5.3'teki gösterilmiştir.

Tablo 5.3.Ekserji analizi

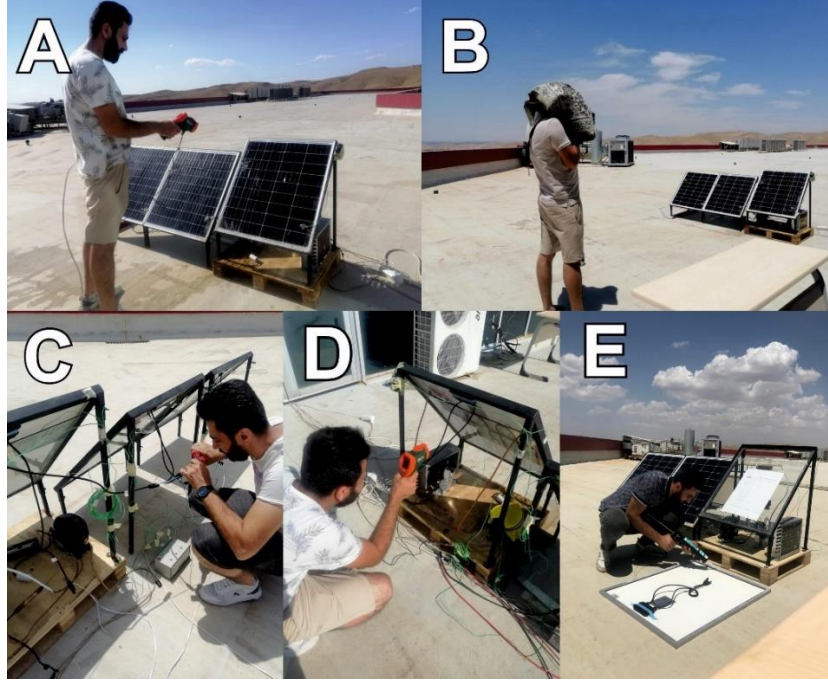
PV Ekserji Analizi
$En_{pv,elektrik} = V_{oc}I_{sc}$
$Ex_{PV-d,elektrik} = V_{oc}I_{sc} - V_mI_m$
$Ex_{pv,terma} = \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a))$
$\psi_{PV} = \frac{Ex_{PV}}{Ex_{güneş} x A_c} = \frac{V_mI_m - \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_c}\right) x(h_{ca}A_c(T_c - T_a))}{\left[\left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_c}\right) x I_s\right] x A_c}$

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA DEVAMI

6.1.Deneyin Yapılışı ve Hazırlanması

Bu çalışmada, PV ve PV/T sistemlerine ait elektriksel ve ısı verimliliklerinin incelenmesi amacıyla bir deney sistemi kurulmuştur. Deneysel verilerin doğrulama çalışması ve hata oranlarını düşürmek için aynı koşullarda birkaç kez tekrarlanmıştır.

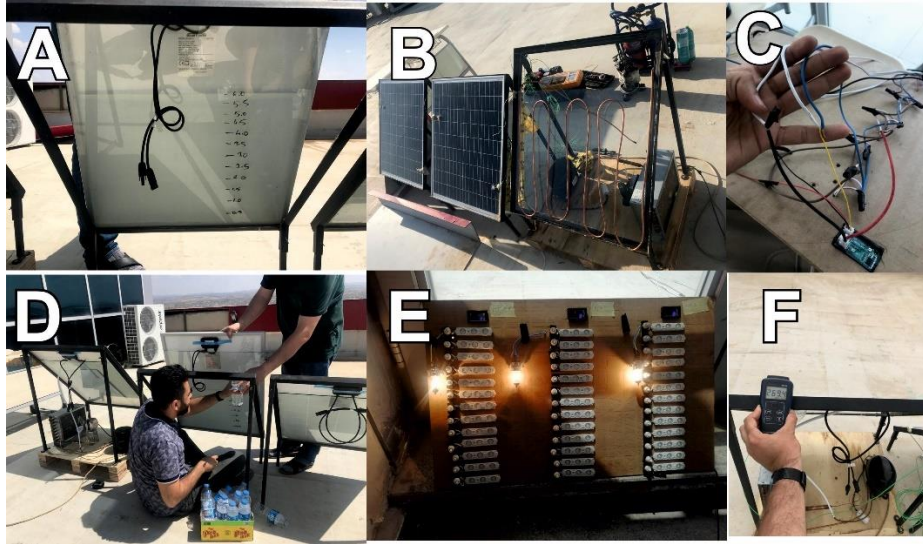
Bu çalışmada daha önce belirtilen deney çalışma alanı olan iktisat fakültesi çatı katı olarak belirlendikten sonra deney düzeneği taşınmadan önce gün boyun gölge hareketleri ve hava koşulları takip edilmiştir. Deney için uygun olarak karar verilen sahanın, deney malzemeleri getirilmiştir. Seçilen özdeş paneller için demir doğrama atölyesinde 45°'lik açılarla konsiksiyon imal edilmiştir Şekil 6.1c'de gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan üç farklı panellerden birinin normal koşullarda bulunan, güneş sahalarda kullanılan panel tarzı olup diğer panelin de cam tabaka yardımı ile panel çerçevesine su geçirmez silikon ile yapıştırılarak Şekil 6.1e'de görsel olarak verilmiştir. İkinci modül ile cam tabaka silikon çekildikten sonra panel arkasına toplamda altı litre su tutacak kapasiteye sahip olmuştur. Panel arkasına yarım litre su şişesi şeklinde ilave ederken Şekil 6.2d'deki gibi dolum yapılmıştır. Her dolumda su seviyesi tespiti için çizgi çizilerek eklenen su miktarının seviyesi belirlenmiştir. Böylelikle olası su kaçakların ve buharlaşma olduğunda kayıp olan su seviyesi belirlenmesi ardından su ilavesinde fazla eklemeyi önlemek olmuştur. Şekil 6.2a'da gösterilmiştir.



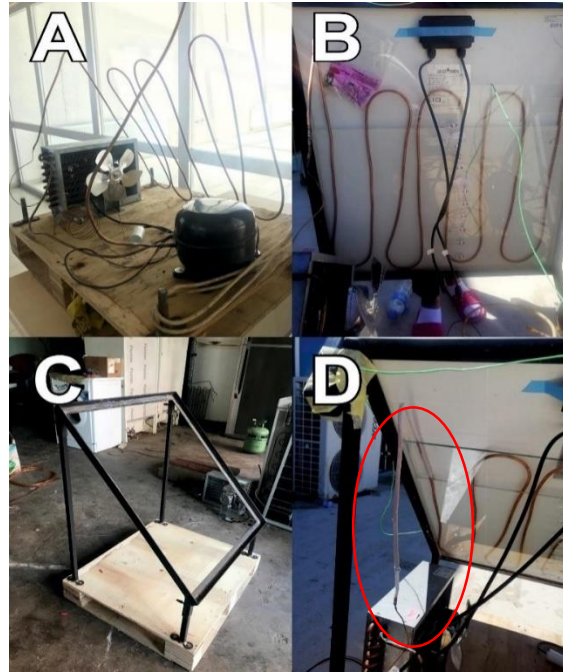
Şekil 6.1. Deney düzeneği kurulumu

Deney düzeneğinde hazırlanan ilk iki modülün montajı bitirdikten sonra asıl olan üçüncü modülün soğutma sistemi düzeneği hazırlanmasına geçilmiştir. Üçüncü modülde soğutma devresi olan 208-220 VAC, 50 Hz ve R-600a ile çalışan motor kompresörü seçilmiştir. Kompresör panel ayak iskeletini oluşturan ahşap paletin üzerine hava alacak bir konumda bırakılarak kondenserin aksi yönüne bırakılmıştır. Kondenserin sıcak hava dalgasını üzerinden atılırken motora veya başka bir sisteme ulaşmaması için her iki ana parça zıt kutuplara montajlanmıştır. Şekil 6.3a’da gösterilmiştir. Modül 2’de olduğu gibi burada da aynı Şekilde toplamda altı litre su eklenmiş ve her döküm esnasında su seviyeleri belirtilmiştir. Şekil 6.2a’de gösterilmiştir.

Modül 3’ün soğutma sistemi devreye testi alındığında su içindeki soğutması gözlemlenmiştir. Bakır boru üzerinde oluşan soğuma Şekil 6.3d’de kırmızı alanla çizilen bölmede görüldüğü gibi buzlanmıştır. Soğuma sistemi panel arkasına cam yüzey yardımı ile montajlanarak içindeki su havuzuna daldırılmıştır. Bakır boruların suyun sıcaklığını düşürerek panel yüzey sıcaklığı düşürmüştür. Deney düzeneğinin ilk aşaması olan malzemelerin montajı yapıldıktan sonra sistem üzerinde verilerin toplanmasında yardımcı olan solar metre ve rüzgâr ölçüm aletlerinin sürekli aynı açı ile ölçülmesi için sabitlenmiştir. Şekil 6.2f’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Veri toplama malzemeleri



Şekil 6.3. Soğutma sistemi

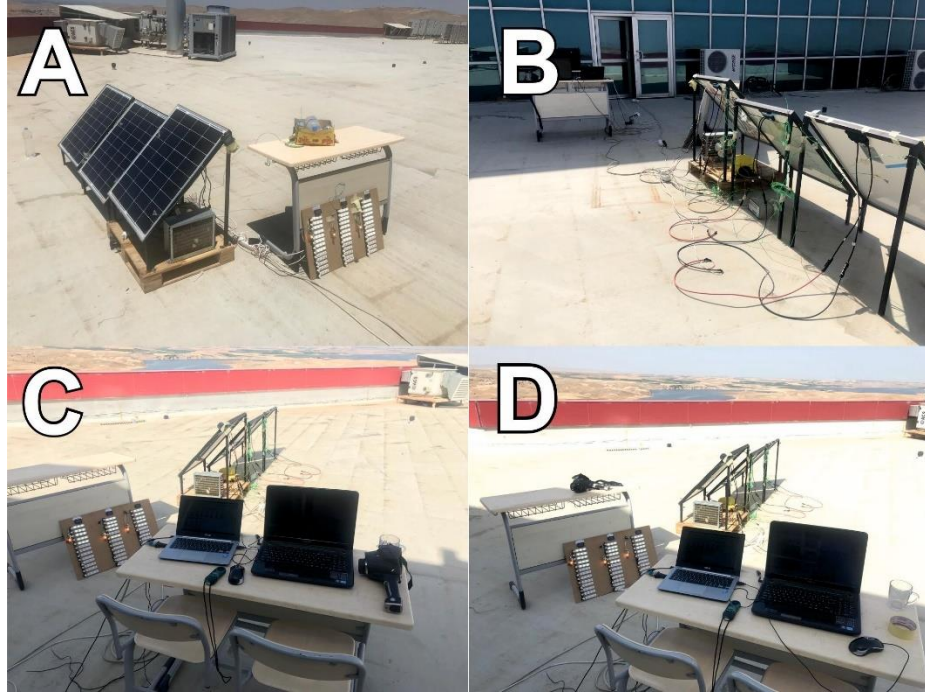
Deney düzeneğinde kullanılan 105 W gücünde olan panelin pik değerini belirlenmesi gerekmektedir. Pik değeri panel radyasyon değerine göre maksimum güç üzerinde ürettiği değer ve sıcaklık tespiti yapılmalıdır. Önceden hazırlanan LED düzeneğinde üç adet 70/75 W araç farları, otuz adet 1,5 W değerinde modül LED, üç adet amper-volt ölçer ve anahtar düzeneğiyle kurulmuştur. Kurulan LED düzeneği radyasyon değerine göre sırasıyla LED'lerin anahtarı açılarak her LED için tüketilen güç miktarı excel programına aktarılmıştır. Şekil 6.4.'te gösterilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	VERİ TABLOSU																						
2			REFERANS PANEL (BOŞ)						SU İLE PANEL SOĞUTMA						SIKİŞTIRILMIŞ BUHARLA PANEL SOĞUTMA						DİĞER		
3			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
4	S.NO	SÜRE	ORTAM SICAKLIĞI	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI ÜST	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI ALT	PANEL ARKA YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL GERİLİM (VOLT)	PANEL AKİM (AMPER)	Beg P. GÜÇ (WATT)	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI ÜST	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI ALT	PANEL ARKA YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL GERİLİM (VOLT)	PANEL AKİM (AMPER)	Sulu P. GÜÇ (WATT)	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI ÜST	PANEL ÖN YÜZEY SICAKLIĞI ALT	PANEL ARKA YÜZEY SICAKLIĞI	PANEL GERİLİM (VOLT)	PANEL AKİM (AMPER)	PANEL GÜÇ (WATT)	RADYASYON DEĞERİ W/m²	KÜTLE AKIHI m/s
4																							
5	1	10'																					
6	2	20'																					
7	3	30'																					
8	4	40'																					
9	5	50'																					
10	6	60'																					
11	7	70'																					
12	8	80'																					
13	9	90'																					
14	10	100'																					
15	11	110'																					
16	12	120'																					
17	13	130'																					
18	14	140'																					
19	15	150'																					
20	16	160'																					
21	17	170'																					
22	18	180'																					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13								

Şekil 6.4. Veri aktarım tablosu

Belli bir yükselme eğiliminden sonra grafiğin pik noktasına ulaşmasının ardında düşme eğilimine girmiştir. Art arda alınan pik noktaların ortalaması alınarak panelin maksimum güç değerine göre sistem çalıştırılmıştır. O an ki güneşin radyasyon değerine göre hesaplanan pik değerine eş değer olan LED sayısı açılarak panel üzerinde akım çekilmiştir. Bu işlem sırasında panelde akım çekmesiyle birlikte ısınma meydana gelmiştir. Gelen bu sıcaklık değerleri de panel verimini etkilemesi ardında soğutma sistemi olan modül ile normal modül arasındaki fark tespiti gözlemlenmiştir.

Deneyin yapıldığı süre zarfında günlük olarak tüm güneşlenme süresi boyunca veriler toplanmıştır. Sabah serinliğinden gün batımına kadar ki tüm hava olayları faktörleri sıcaklık farkları ve güç farkları veri tablosuna yansıtılmıştır. Deneyin soğutma çalışmasını gözle görebilmek için termal kamera kullanılmıştır. Deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



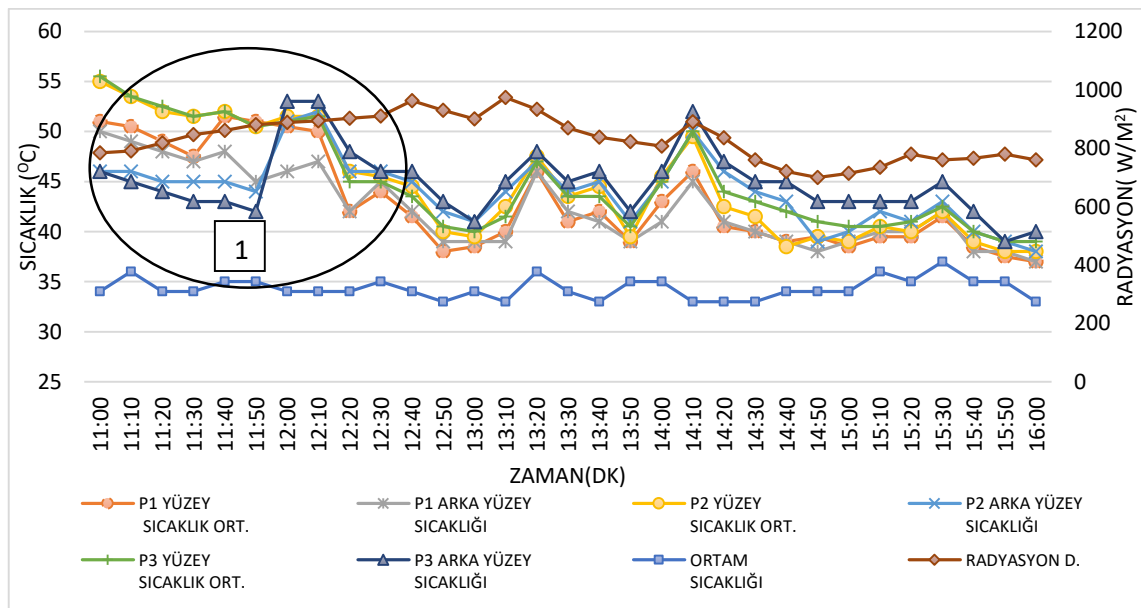
Şekil 6.5.Genel görünümü

7. DENEY SONUÇLARININ ALINIP KARŞILAŞTIRILMASI

Yapılan deneyler sonucunda farklı sistemlerden elde edilen veriler toplanarak incelenmiştir. Panel verimini etkileyen faktörler ortam sıcaklığı, radyasyon değeri, rüzgâr hızı ve soğutma sisteminde kullanılan sistemin çalışma prensibi gibi faktörlerin değişmesi veya hareket etmesi sonucunda verim farklılığı meydana getirmiştir. Çalışmada elde edilen veriler, daha önceden hesaplanan maksimum güç hesapları değerlerinde çalıştırılarak panel yüzey sıcaklıkları karşılaştırılmıştır.

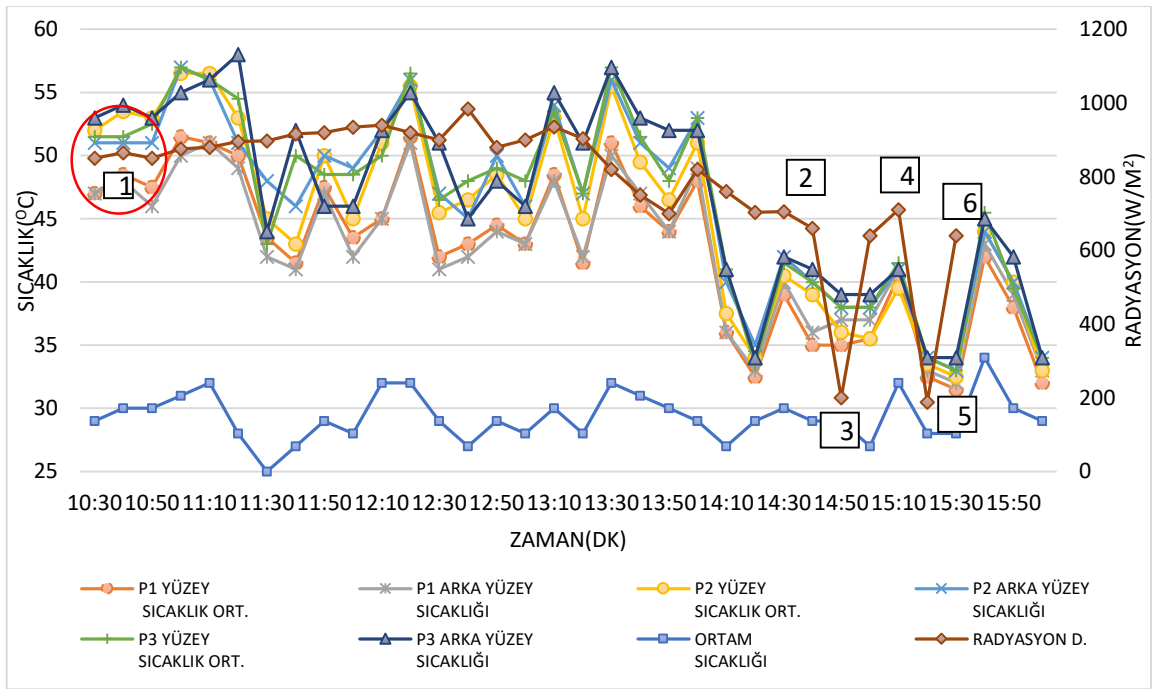
7.1. Panel Sıcaklık Değerlerinin Karşılaştırılması

Yapılan deneyde ön ve arka yüzey sıcaklıkları ölçümü yapıldığında üç panelin yüzey sıcaklık ortalamaları kıyaslanmıştır. Deney düzeneğinin kurulumun esnasındaki zaman farklarından kaynaklı olarak Şekil 7.1’de ilk atmış dakikanın birbirinden farklı olmasının nedeni, panellerin farklı zamanla panel ölçülerine uygun şekilde imal edilen konsüksiyon üzerine bırakılmasından kaynaklanmıştır. Şekil 7.1’de bir numaralı siyah yuvarlak içine alınan alanın değerlerin farklı olduğu gözlemlenmiştir. Ortam koşullarının değişmesinden kaynaklı olarak radyasyon değerinin değişmesiyle panel sıcaklık grafiğinde değerlerin farklılık göstermesine neden olmuştur.



Şekil 7.1. Boş sistem sıcaklık verileri

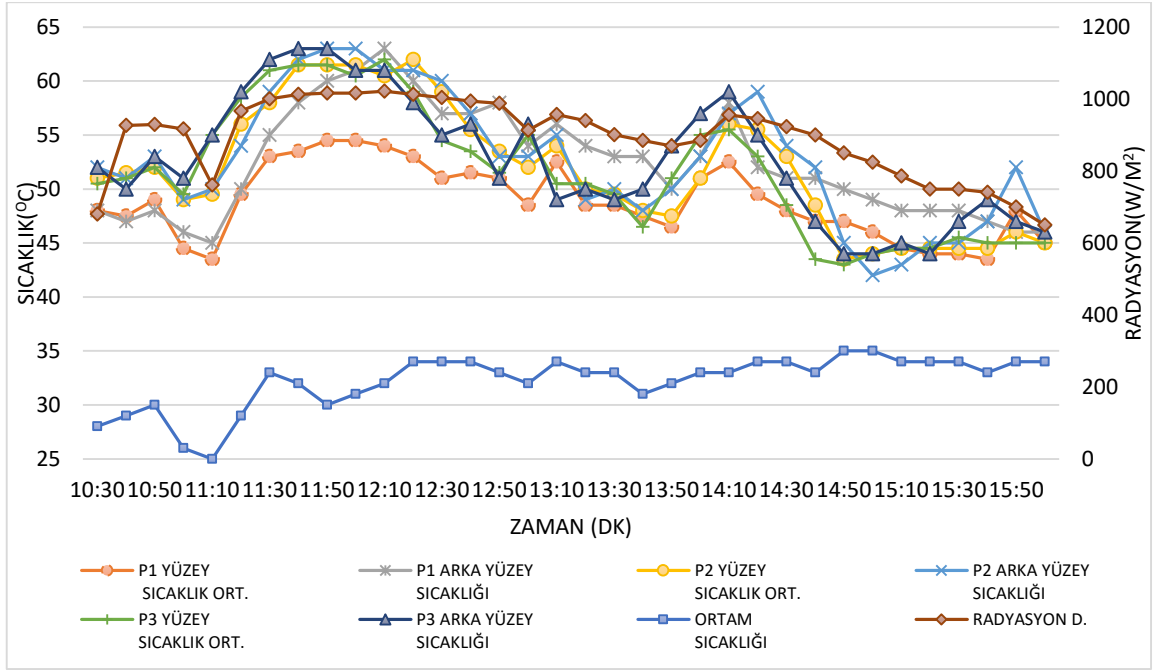
İlk gün alınan verilerin doğruluğunu göstermek amaçlı ve hata payının en aza indirmek için aynı sistem üzerinde farklı zamanda veriler toplanmıştır. Deney sisteminde kullanılan her üç panelin aynı ortamda kalmasıyla beraber panel sıcaklık değerleri birbirlerine çok yakın bir değere ulaşmıştır. Verileri almaya başladığımız da panel sıcaklıkları ortama 50 °C de başlamış olup birinci noktada gösterilmiştir. Şekil 7.1’de gösterilen verileri Şekil 7.2’de gösterilen değerler kıyaslandığında sistemi desteklediği görülmüştür. Bir önceki verilerin belli bir süre sonra sıcaklık değerlerin birbirlerine yaklaştığı ve özdeş panellerin de aynı koşullarda aynı karakteristik özelliğini göstermiştir. Şekil 7.2’de, 290’da ve 330’da görüleceği gibi radyasyon ve ortam sıcaklıklarının düşmesinden kaynaklı olarak panel yüzey sıcaklıklarının yükselip alçalmıştır. Şekil 7.2’de numaralı alanlarda ile grafikte gösterilen yerde radyasyon hareketlerinden kaynaklı panel sıcaklıkları değişimi görülmüştür.



Şekil 7.2.Boş sistem sıcaklık verileri

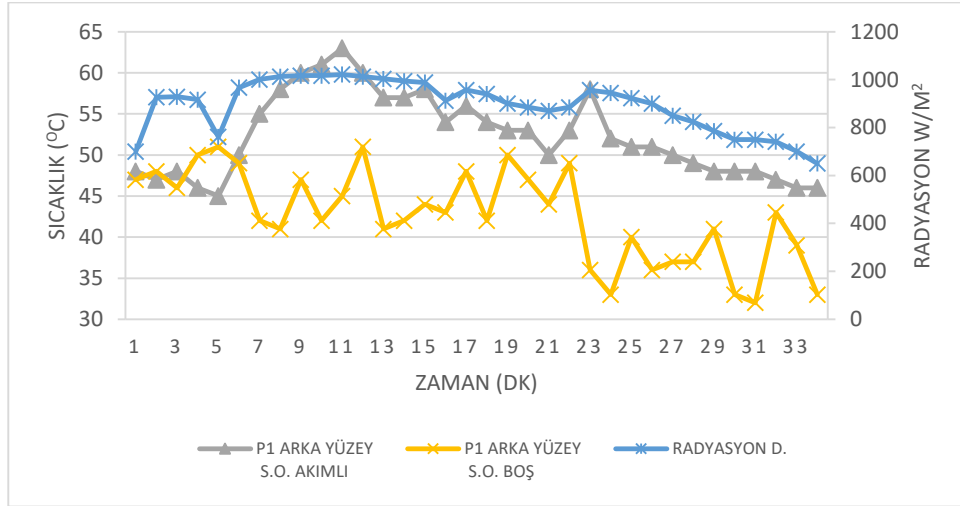
Yapılan boş deneyler sonucunda aynı değerler tekrardan alınmıştır. Güneş panellerinin yüzey sıcaklıklarının ortam sıcaklıklarının yükselmesi ile birlikte verim düşüklüğünü meydana gelmiştir. Panellerin akım çekmesinin ardında yarı iletkenlerin elektron hareketlerinden kaynaklı sıcaklığın yükselmesiyle birlikte verimi düşürmektedir. Akım çekilmeyen panellerde tespit edilen maksimum sıcaklığın 58 °C ulaşırken bir diğer deneyin verilerine bakıldığında panellerden güç çekildiğinde 63 °C’

ye ulaşıldığı görülmektedir. Böylelikle panellerde çekilen gücün sonucunda yüzey sıcaklıklarının yükseldiği görülmüştür.

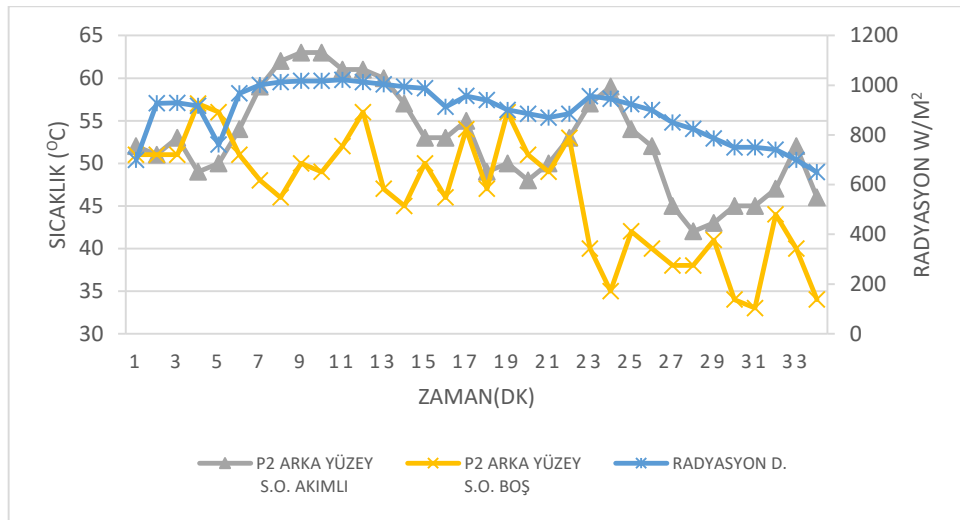


Şekil 7.3.Boş sistemde akım çekilmesi

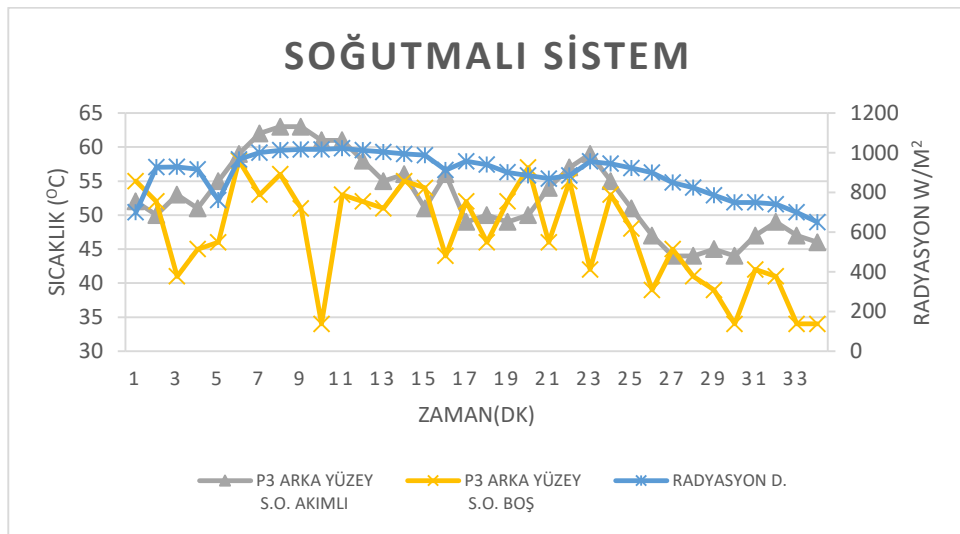
Şekil 7.4'ü incelendiğinde sıcaklık faktörün gözle görülecek kadar farklılığın olduğunu görülmektedir. Deney sisteminde kullanılan panellerin arka yüzey sıcaklık farklarının her birinin daha iyi bir şekilde görünmesi için ayrılmıştır. Şekillere bakıldığında ilk süreçlerin belli bir zaman aralığından sonra gece sıcaklık düşüşünden etkilenecek soğuyan panellerin çalışmasının ardından ilk değerlerin yakın olduğu ve daha sonra panellerin ısınmasının ardından farklılık görülmüştür. İki farklı günde yapılan deneylerin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılmış olan deneyde sıcaklık değerlerinin ortalaması alındığında sırasıyla Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6 sırasıyla olarak 6, 10, 6 °C düşüşleri görülmüştür.



Şekil 7.4. Modül-1 sıcaklık karşılaştırılması



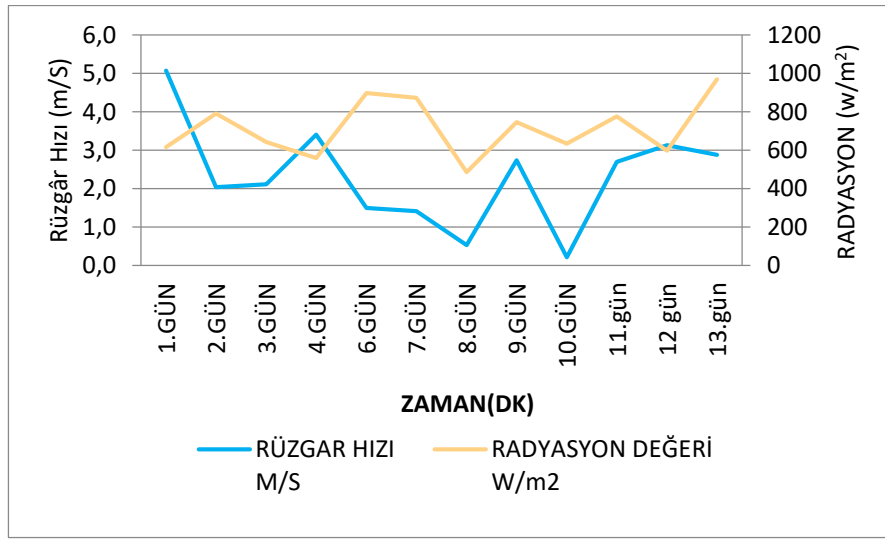
Şekil 7.5. Modül-2 sıcaklık karşılaştırılması



Şekil 7.6. Modül-3 sıcaklık karşılaştırılması

Yapılan deneyler sonucunda günlük radyasyon değerleri ve rüzgâr hızı toplanmıştır. Verilerin toplandığı ve deneyin yapıldığı koşullarda rüzgâr hızı önemli bir faktör oluşturmuştur. Deneylerin yapılma zamanında toplam 495 verilerin günlük ortalama değerleri alınarak grafik oluşturulmuştur. Yapılan grafik Şekil 7.7'deki gösterilmiştir. Rüzgâr hızının bulunduğu konumun yüksekliği ile birlikte panel sıcaklığını düşürdüğü ön görülmüştür. Panellerin tahmini olarak normal şartlarda 80 °C olması beklenirken bu değere yaklaşılmadığı görülmüştür. Radyasyon değerlerinin toplanan verilerin ortalaması göz önüne alındığında 661 W/m² olarak değer hesaplanmıştır.

Üç farklı deney sonuçları değerlendirmesi yapıldığında sistemin ortam sıcaklığından kaynaklı panel ön yüzey ve arka yüzey sıcaklıkların yükseldiğini ve sistemden güç çekildiğinde de sıcaklığın yükseldiği Şekil 7.4 Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da görülmüştür.



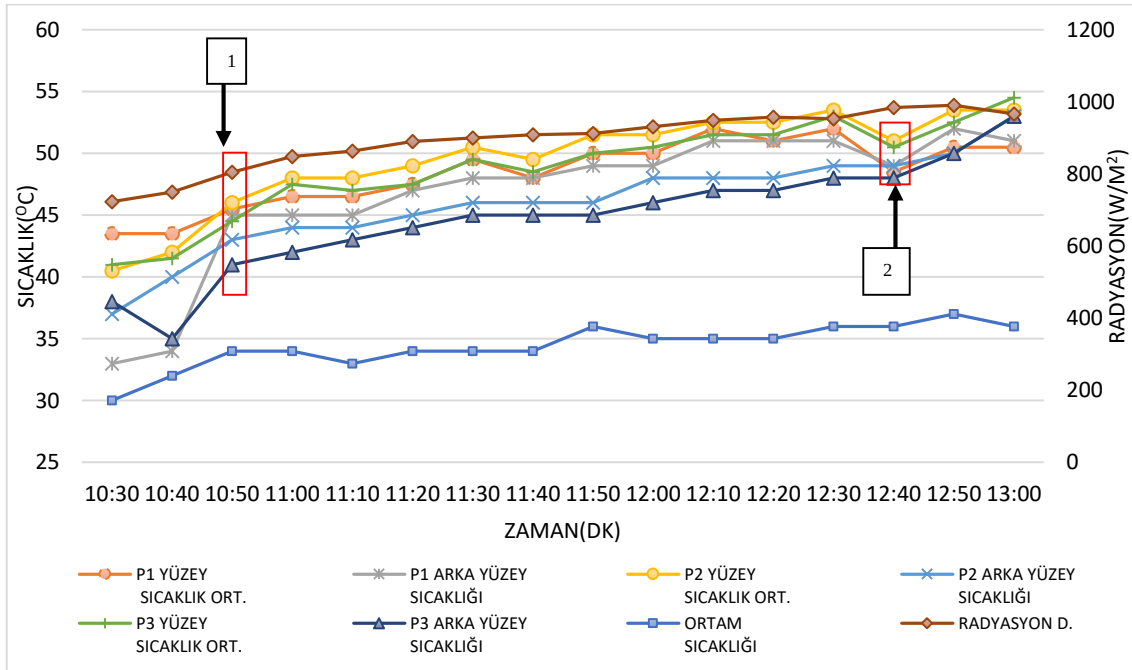
Şekil 7.7.Radyasyon değeri ve rüzgâr hızı

Verileri desteklemek amacıyla yapılan çalışmalara ek olarak deney düzeneğine su eklenmiştir. EK 1 kısmında bulunan grafikler incelendiğinde boş sistem deneyinde yapılan işlemler aynı şekilde yapılmış ve değerlendirilmiştir. Sistemin ilk devreye girmesinin ardından Şekil 10.1'deki kırmızı çerçeveye alınan kısımdan önce verilerin farklı olmasının nedeni akşam hava sıcaklığının düşmesi ve soğuk su eklenmesinden kaynaklı olarak panellerin sıcaklıkları düşmüştür. İşaretli alandan sonraki sıcaklık değerleri ortam sıcaklığının artmasının ardından tekrardan aynı sıcaklık ortalamalarına

ulaştıktan sonra sistemim düzenli bir Şekilde ilerleyişi görülmektedir. Şekil 10.2 ve Şekil 10.3 deneyin doğruluk amaçlı olarak tekrardan yapılmıştır. Böylelikle üç günlük verileri kıyaslandığında hata payının az indirgenmiş olduğu görülmektedir.

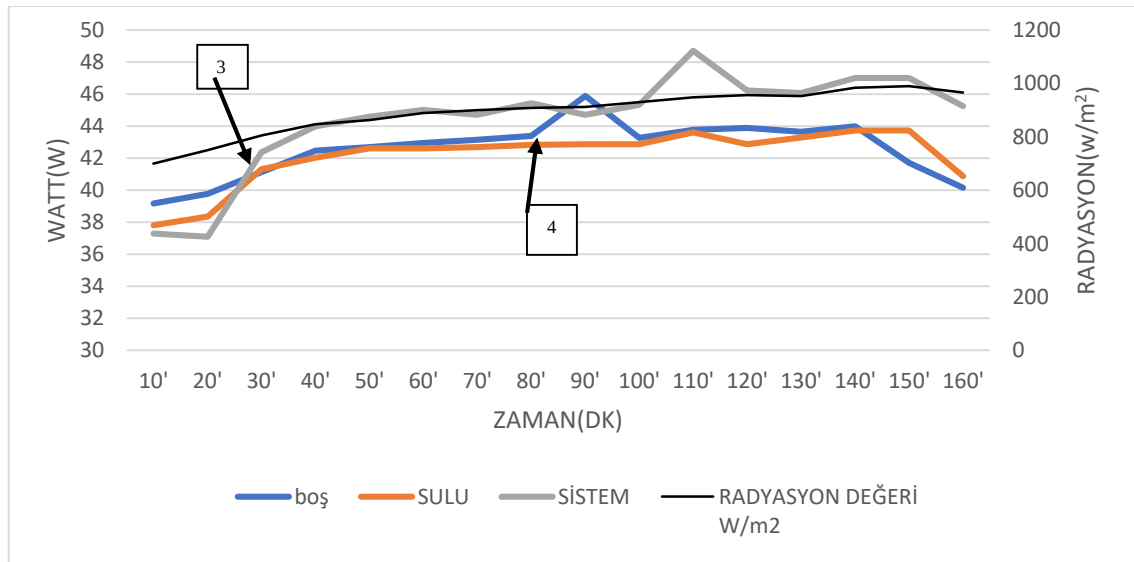
7.2.Radyasyon Değerine Göre Akım Çekilmesi Deneyi

Araştırma verilerini bir sonraki adımı olan panellerin akım üzerindeki sıcaklık verilerin alınmasın ve watt grafiğın aynı paralelde hareket etmesi gerekmektedir. Yapılan bu deneyde tüm sistem kurulduktan sonra özdeş panellerde çekilen akımın sıcaklık grafiğı Şekil 7.8'deki gibidir. Sıcaklık değerlere bakıldığında sistemim birinci noktadan önceki sıcaklık değerlerinin farklı olmasının nedeni sabah erken saatlerinin vermiş olduğu serinlikten kaynaklı olmuştur. Grafikte işaretlenen birinci noktadan itibaren panellerin sıcaklık değerleri aynı doğrultuda hareket etmektedir. Bu eğim doğrultusu üç panelin özdeş olduğu ve aynı koşullarda çalıştırıldığında elde edilecek bulguların aynı olacağını göstermektedir. İkinci nokta incelendiğinde panel sıcaklıklarının düştüğünü ve radyasyon değerinin herhangi bir hareketliliğın olmadığı görülecektir. Deney yapılan yerin açık alan olmasından kaynaklı olarak rüzgâr hızının artmasıyla beraberinde panellerin sıcaklık değerlerini hareketlendiğı görülmüştür.



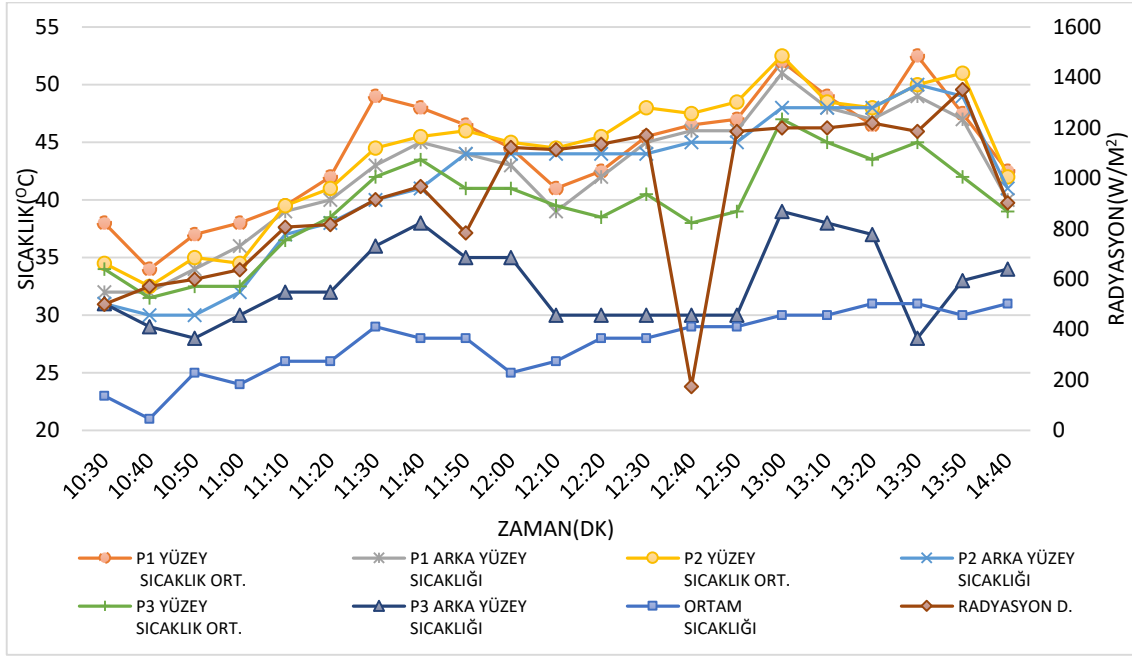
Şekil 7.8.Radyasyon değerine göre sıcaklık verileri

Sistemde paneller üzerinde akım volt çekme işleminde elde edilen ilk bulgular tespit edilmiştir. Verilerin farklılık göstermesinin ardında Şekil 7.9’da görüldüğü gibi watt değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Zamanla çalışan panellerin sıcaklık değerleri denkleştikten sonra grafik değerleri yorumlanmaya başlanmıştır. Üçüncü nokta olarak işaretli alandan itibaren istenilen sonuçlara ulaşılmıştır. Sistemin kendini toplamasının ardında çevresel faktörlerin etkilenmediği takdirde herhangi bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Hava koşullarının deney yapmaya elverişli olduğu takdirde sistemde aksaklığın ve olası sorunlarla karşılaşmasında belirli bir düzeyde hareket ettiği, bozulduğu takdirde bulguların farklılığı dördüncü noktada görülmüştür. İşaretlenen dördüncü noktanın ve sonrasında oluşan ani bozulmanın çevre faktörlerinden biri olan rüzgâr hızının artmasından etkilenmiştir. Laboratuvar ortamında deney yapıldığında değerler arasında ani hareketlik olmayacağı düşünülmektedir.

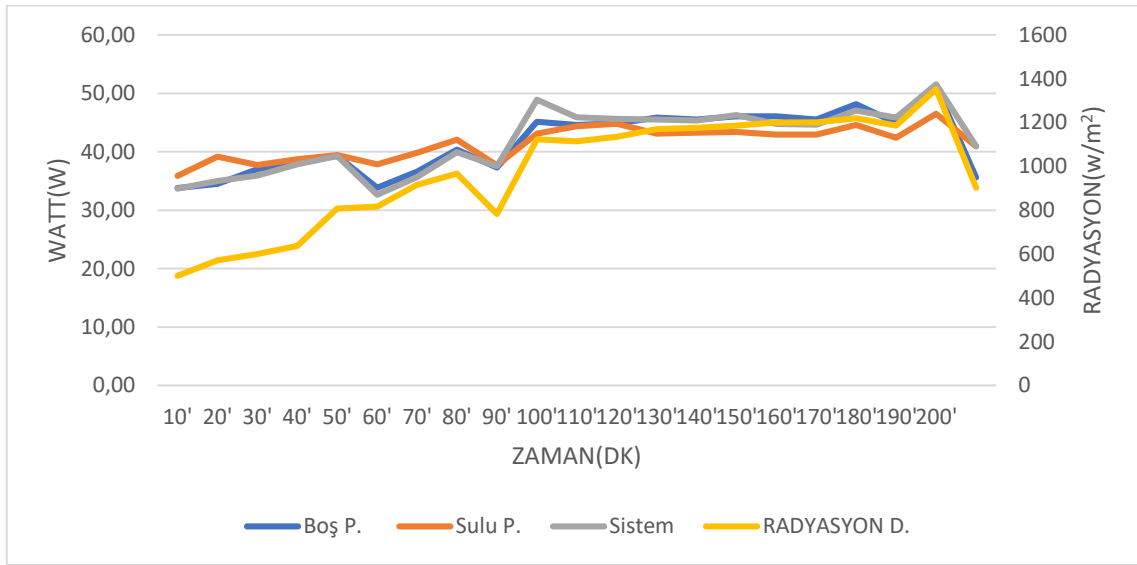


Şekil 7.9.Sistemde çekilen güç grafiği

Deney verilerin kontrol ve doğruluk amaçlı yapılan 2. deney işleminde elde edilen verileri EK 2. kısmına bırakılmıştır. Bu çalışma sonucunda farklı günlerde yapılan deney sistemim ufak hata paylarının olmasına karşılık olarak panel sıcaklık değeri ve çekilen watt değerlerin radyasyonla orantılı hareket ettiği gözlemlenmiştir. 3. Farklı deneyde alınan veriler Şekil 7.10 ve 7.11’de verilmiştir.



Şekil 7.10. Radyasyon değerine göre panel sıcaklık verileri

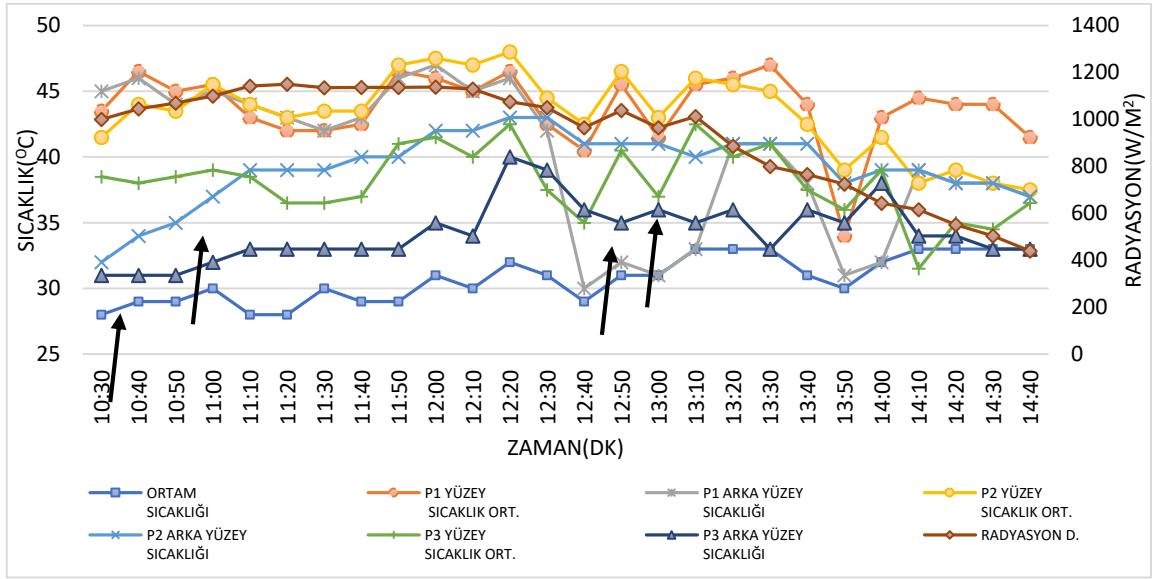


Şekil 7.11. Panellerden çekilen watt grafiği

7.3. Soğutma Sistemin Devreye Alınması

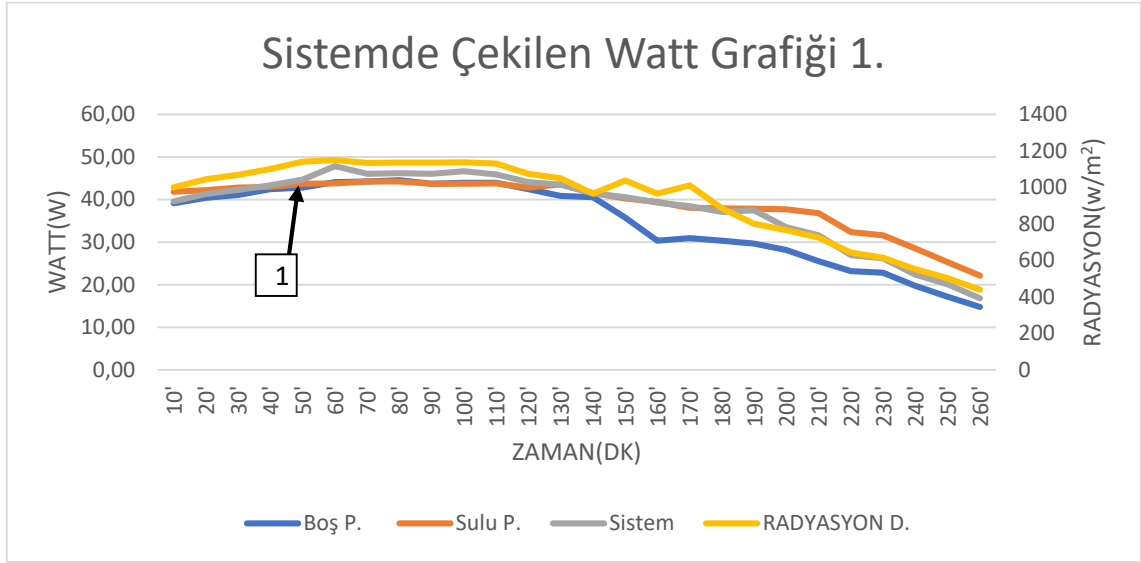
Araştırma konusu olan PV panellerde sıkıştırılmış buhar ile soğutma sistemi test amaçlı olarak tüm gün çalıştırılmıştır Şekil 7.12 'de. Çalışma esnasında soğutulan üçüncü modülün arka yüzey sıcaklığı ortalama olarak soğutulmuştur. Sistem sıcaklığı düşük derecelerde ortalama 30-40 °C arasında tutularak deney gözlemlenmiştir. Sabah erken saatlerin vermiş olduğu avantaj tekrardan veriler üzerinde görülmüştür. Hava koşulların tekrardan ısınması ve panel yüzey sıcaklık ortalama sıcaklık değerlerinin

üzerine çıkmasıyla soğutulan panelin arka yüzey sıcaklık değeri sabit tutulmuştur. İkinci modül işaretli yerlerin arka ve ön yüzeyinin soğutulan modül sıcaklık değerine yakın olmasının nedeni tüm panel sistemlerine suları değiştirilmiştir. İlk andan sonra sistemin düzelmesinin ardında Modül 3'ün ön ve arka yüzey sıcaklık değerini koruduğu görülmüştür. Böylelikle yapılan çalışma başarılı bir şekilde soğutulduğu gözlemlenmiştir. şekilde siyah oklarla gösterilen modül için ön ve arka yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklık değerlerine yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 7.12. Soğutma sistemin devreye alınması

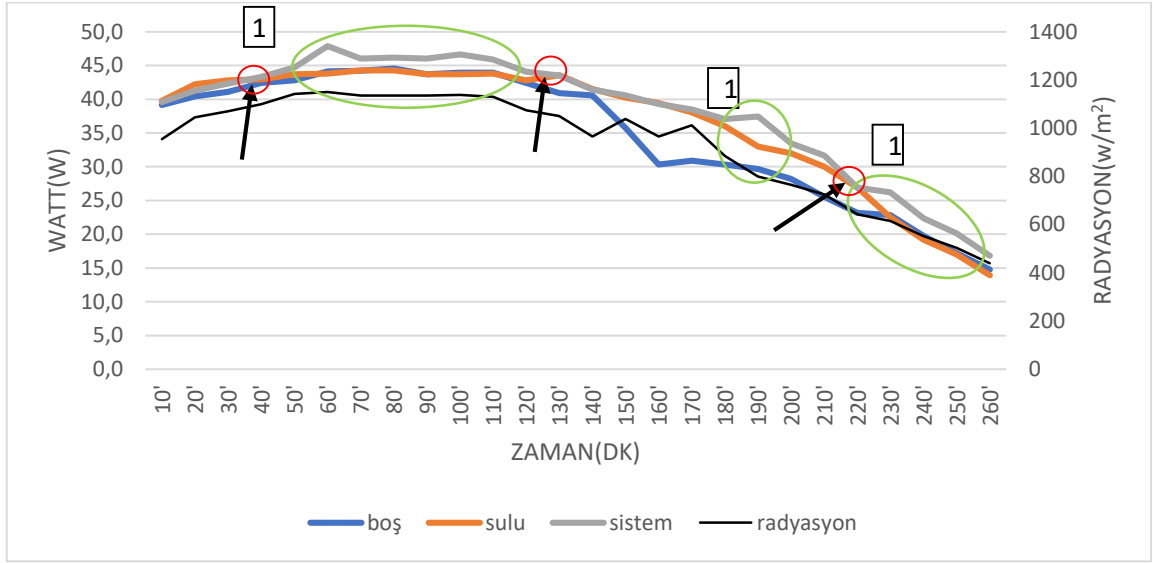
Soğutma sistemin devreye girmesinin ardında Şekil 7.13'de işaretlenen birinci alanda görüldüğü gibi PV panellerin yüzey sıcaklık değerlerinin düşmesine bağlı olarak üretilen güç miktarının arttığını bulunmuştur. Deneyin doğruluk payını test etmek amaçlı olarak bu tarz veri toplama işlemi birkaç kez tekrarlanmıştır. Yapılan bu deneyle orantılı olarak alınan diğer verilerden bir tanesi EK 3 kısmında sunulmuştur.



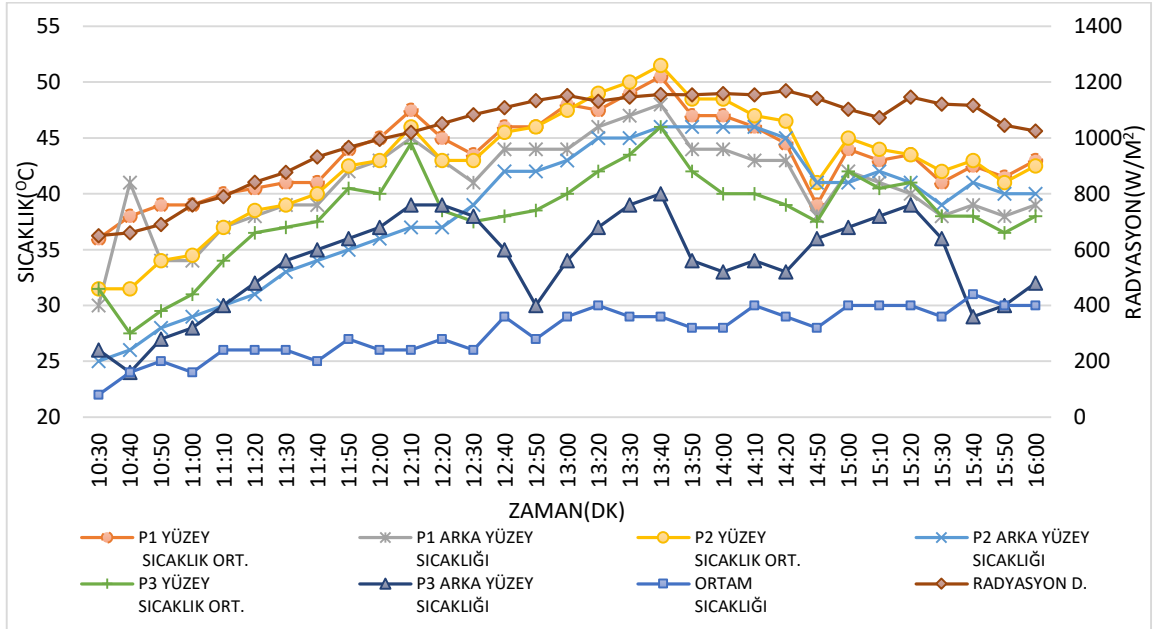
Şekil 7.13. Soğutma sistemin devreye alınarak alınan güç grafiği

7.4. Sistemin Aralıklı Çalıştırılıp Durdurulması

Şekil 7.14 grafiği incelendiğinde iki farklı çizim görülmektedir. Yuvarlak yeşil halkayla ok işaretli bölgeler belirtilmiştir. Deney düzeneği ilk aşamadan sonra sistemin belli bir düzeyde aynı eksen boyunca hareket etmeye başlamasının ardında soğutma sistemi devreye girmiştir. Sistem otuz dakika çalışmasının ardından toplaman veriler kıyaslandığında çekilen güç miktarı Şekil 7.14’de görülmüştür. İlk çalışma zamanında soğuyan üçüncü Modülün watt grafiği kendi diliminde pik noktasına ulaştıktan sonra panel yüzey sıcaklığın artmasıyla grafik eğrisi düşmeye başlamıştır. Yuvarlak yeşil alan boyunca Modül 3 sistemin başarılı olduğunu göstermektedir. Deney düzeneğinin istenilen sıcaklığın (Şekil 7.15) yani ortalama 30 °C’ ye ulaştığında sistemin durduğu ve 40 °C’ ye ulaştığında sistemi tekrardan devreye sokulmuştur.



Şekil 7.14.Sistemin belli aralıkla çalıştırılmasıyla elde edilen güç grafiği.

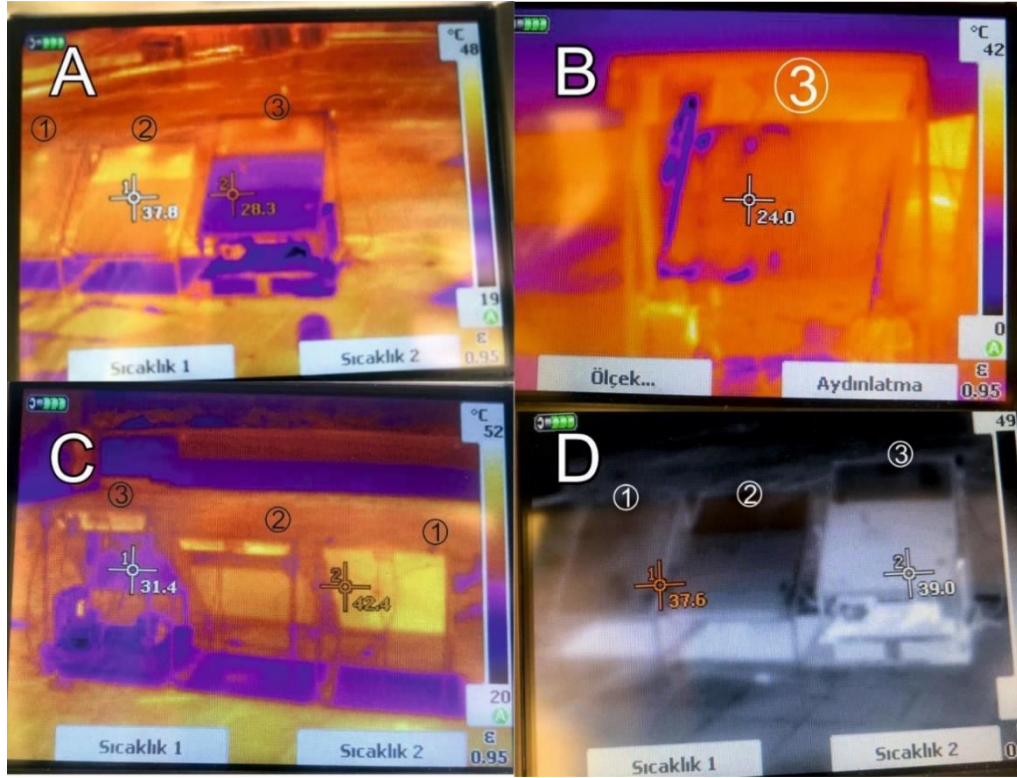


Şekil 7.15.Sistemin belli aralıkla çalıştırılarak elde edilen sıcaklık grafiği

Kurulan deney düzeneğinde yapılan soğutma çalışmasında termal kamera ile görüntü alınmıştır. Görüntüler incelendiğinde soğutma devresi olan Modül 3. Diğer iki panel arasındaki sıcaklık farkı gözle görülmektedir. Şekil 7.16a'da görüldüğü gibi panel ön sıcaklık değeri 28 °C tespit edilirken diğer panel sıcaklık değerleri 37 °C'i bulmuştur.

Kurulan deney düzeneğinde yapılan soğutma çalışmasında termal kamera ile görüntü alınmıştır. Görüntüler incelendiğinde soğutma devresi olan Modül 3. diğer iki panel

arasındaki sıcaklık farkı gözle görülmektedir. Şekil 7.16a’da görüldüğü gibi panel ön sıcaklık değeri 28 °C tespit edilirken diğer panel sıcaklık değerleri 37 °C’i bulmuştur.

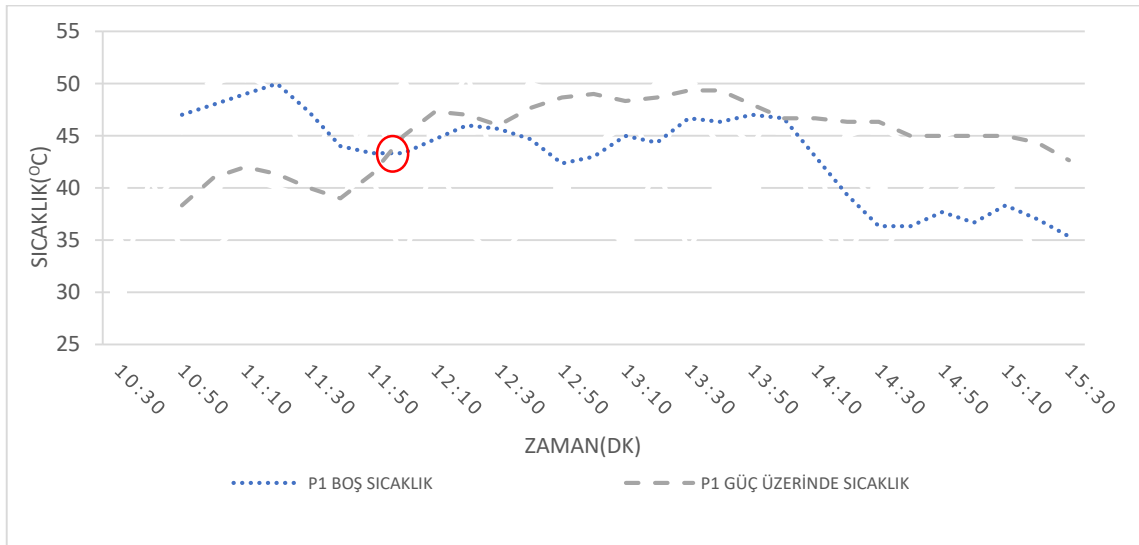


Şekil 7.16. Termal kamera ile soğutulan panellerin görüntüsü

7.5. Panel Sıcaklık Karşılaştırılması

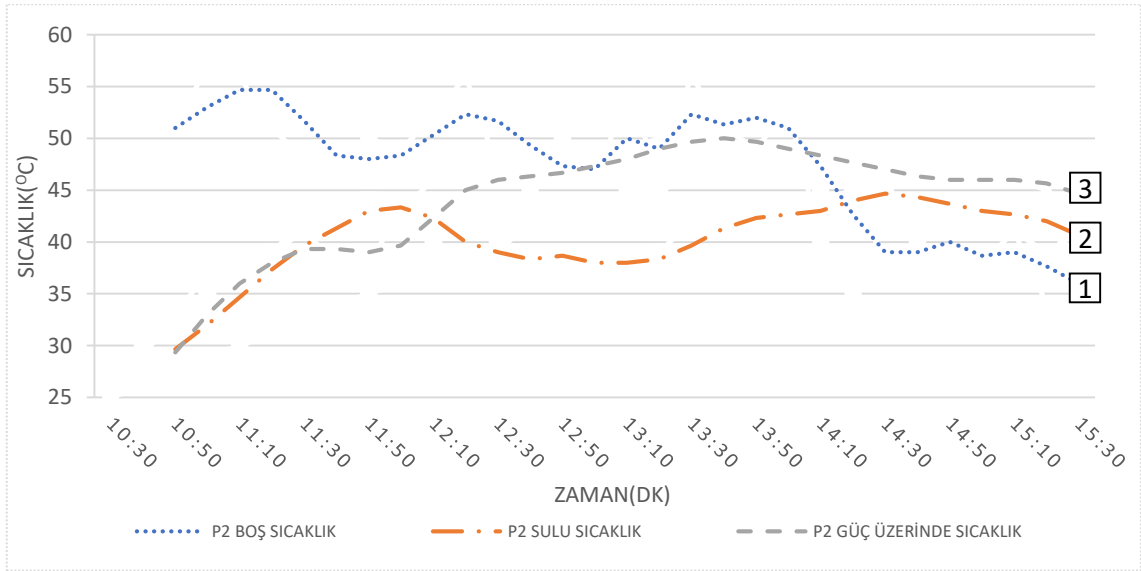
Panel yüzey sıcaklıkları ayrı ayrı incelendiğinde Şekil 7.17 deki gibi bir tablo oluşmaktadır. Oluşan bu sıcaklık farklılıkları modül birin grafiği aşağıda verilmiştir. Panellerin iki farklı durum sonucunda sıcaklığın yükseldiğini bulduk. PV paneller ortam sıcaklığın yükselmesiyle birlikte panel yüzey sıcaklığın yükselir. PV panelleri güç üzerinde iken panel sıcaklığının yükselmektedir. Grafikte işaretlenen bölgenin solunda kalan sıcaklık farkının yüksek olmasının neden deney setinin açık bir yerde yapılması rüzgâr ve radyasyon değerlerini düşük olmasından kaynaklı olarak güç üzerindeki panelin sıcaklığı daha düşüktür. Kırmızı yuvarlak alana sağ tarafında kalan kısım ise panellerin belli bir sıcaklığa ulaşması ve radyasyon miktarının yükselmesiyle birlikte istenilen değerlere ulaşılmıştır. 13:00 saatlerinde radyasyon miktarının en üst seviyesine ulaştığında iki panelin oluşan sıcaklık farklarına bakıldığında 6 °C olduğu hesaplanmıştır.

Rajput (2018) yapmış olduğu deney verilerine göre monokristal ve polikristal silikon güneş pilleri için sıcaklıktaki her bir derecelik artışı verimde yaklaşık % 0,45 oranında azalmaya sebep olmaktadır.



Şekil 7.17.Modül-1(P1) sıcaklık karşılaştırılması

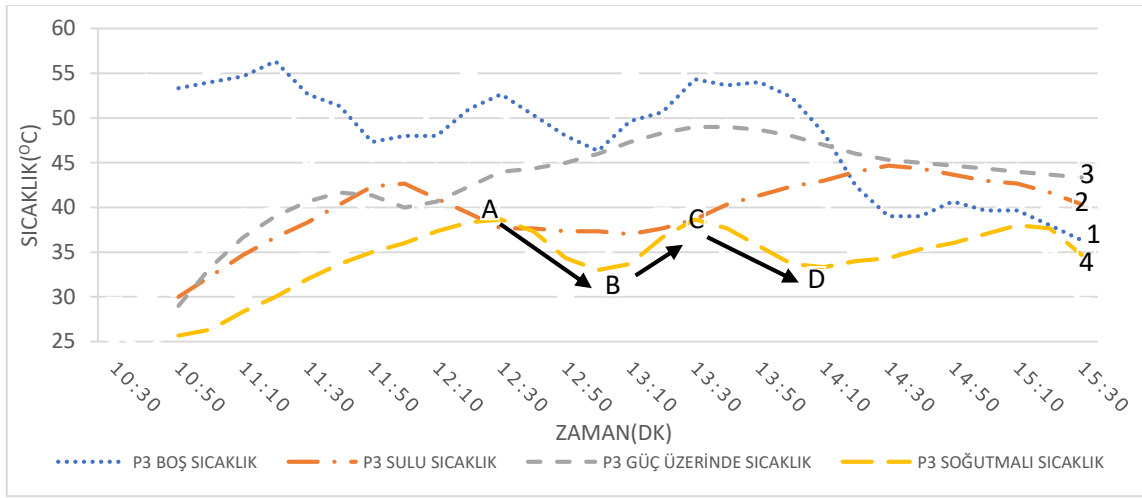
Modül-2 olan PV panelin sıcaklık grafiği Şekil 7.18’de gösterilmiştir. Bir numaralı noktalı çizgide gösterilen sıcaklık değerinin yüksek olmasının nedeni; sabit su haznesi ile soğutulma yapıldığında panelin sıcaklık farkını görmek için panelin arka yüzeyine bırakılan cam tabakanın panel arka yüzeyine yapıştırılmasından kaynaklanmıştır. Panel arkasında yapıştırılan cam tabakanın hava sirkülasyonunu engellemesinden kaynaklı olarak panel ile cam tabaka arasında sıkışan havanın ısınması ile birlikte panel arka yüzeyin sıcaklığını yükseltmektedir. Su ve sulu güç ile soğutma yapılan panel sıcaklıkları kıyaslandığında yani grafikte iki ve üç numara ile işaretlenen çizgide saat 12:00 – 14:00 arasında oluşan sıcaklık farklılıkları gözle görülecek bir seviyede belirlemektedir.



Şekil 7.18. Modül-2(P2) sıcaklık karşılaştırılması

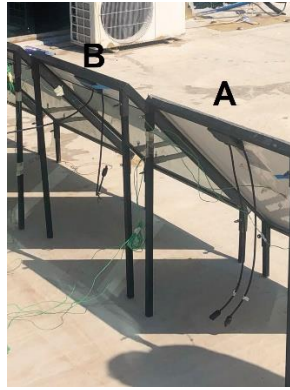
Deney düzeneğinde soğutma yapılan Modül-3 grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 7.19). Grafik yorumlandığında sıcaklık verileri görülmektedir. Bir numaralı panelin herhangi bir soğutma kullanılmadan panelin normal hali belirtilmiştir. Sıcaklık değerinin en yüksek olmasının nedeni panelin arka yüzeyine soğutma devresinin bırakılması için montajlanan cam tabakanın hava sirkülasyonunu engellemiştir. Bu hava akışı esnasında içerde bulunan havanın ısınmasıyla panel arka yüzeyi sürekli bir ısıya maruz kalmıştır. İki ve üç numaralı alanların sıcaklık farklılıkları ise panelin su ile soğutulduğunda vermiş olduğu tepki ile güç üzerinde iken panelin sıcaklık yükselmeleri bulunmuştur. Dört numaralı sıcaklık eğrisi incelendiğinde dalgalı bir şekilde hareket ettiği görülecektir. Bu

dalgalanma soğutma devresinin çalıştırılarak panel yüzey sıcaklık değerlerini düşürmüştür. Soğutma devresinin yarım saate aralıklarla çalıştırılıp duraksatılmıştır. A noktasından B noktasına kadar geçen zamanda çalışan soğutma devresi istenilen sıcaklığa ulaştığında sistem kapatılmıştır. Geçen zamanla B noktasında C noktası radyasyon sıcaklık etkisiyle panel yüzey sıcaklıkları yükselmiştir. C noktasında sistem ısınmasını engellemek için soğutma devresi tekrardan devreye girmiştir. Soğuma işlemi devam ederken D noktasında tekrardan duraklatılarak bir sonraki sıcaklık değerline ulaşana dek çalıştırılmadı. Böylelikle panel yüzey sıcaklığı düşürülerek panel verimi artırılmıştır.

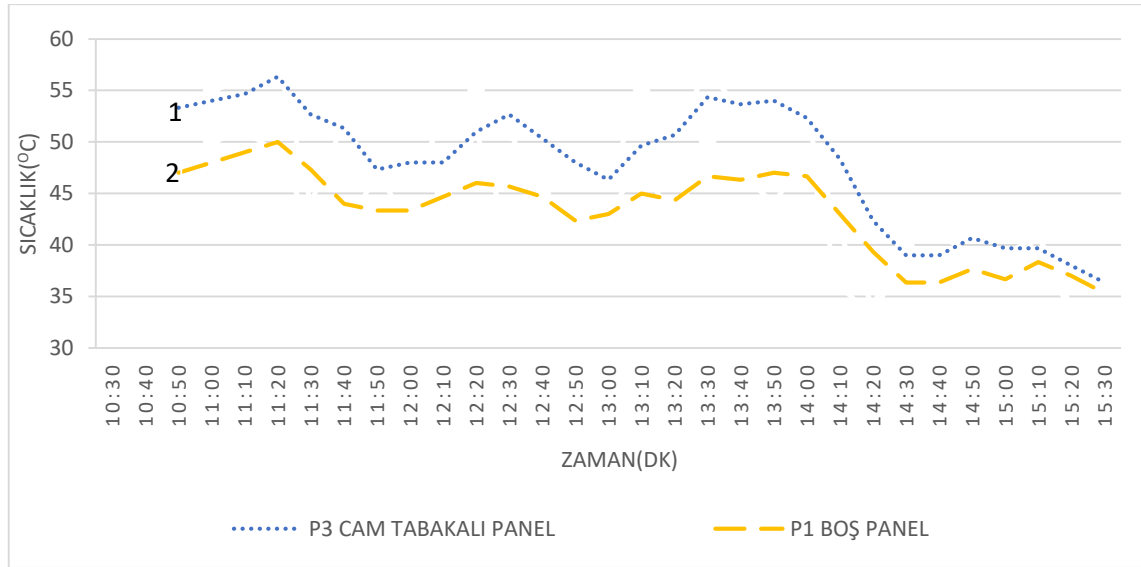


Şekil 7.19.Modül-3(P3) sıcaklık karşılaştırılması

Panelin arka yüzeyine montajlanan cam tabaka hava sirkülasyonunu engellemiştir. Bu yüzden ki normal referans olarak panelin sıcaklığından daha yüksek olmuştur (Şekil 7.21). Şekil 7.20’de A ile gösterilen panelin arka yüzeyinde herhangi bir şey olmadığı ve B ile gösterilen panelin ise arka yüzeyine soğutma devrenin bırakılması için konulan cam tabaka gösterilmektedir. Hava akışını engelleyen tabaka panelin arka yüzeyini ısıtarak panel verimliliğini düşürmektedir. Grafikte daha detaylı olarak incelendiğinde sıcaklık farklılığı görülmektedir. Arka yüzeyinde herhangi bir şey bulundurmeyan panelin sıcaklığı daha düşük olmuştur.



Şekil 7.20.Boş ve cam tabakalı panel görüntüsü



Şekil 7.21.Boş ve cam yüzeyli panel sıcaklık grafiği

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1.Sonuçlar

Yapmış olduğum tez çalışmasında panellerin yüksek sıcaklıklarda panel verimi düşen sistemlerin verim düşüklüğünü gidermek için PV panellerin arka yüzeylerine soğutma düzeneği ile soğutulmuştur. Soğutma sonunda panellerden gelen verileri toplanarak yapılan analizler kıyaslanmıştır. Deney düzeneğinde ilk modül karşılaştırma yapmak için boş panel, ikinci modül sadece arka yüzeyine su eklenerek soğutulma yapılmış olup üç modül ise soğutma sistemi ile soğutulmuştur. Aynı özelliğe sahip olan üç fotovoltaik panel deneyde kullanılmıştır. Üniversitenin iktisat fakültesinin çatı katında kurulmuştur. Deneyler 2022 yılının haziran ayında on beş farklı günde yapılmıştır. Çalışma saatleri olarak sabah dokuz ile akşam dört saatleri arasında sıcaklık, akım, volt, radyasyon, gibi verileri toplanarak kayıt altına alınmıştır. Akşam saatleri güneş radyasyon değerinin 600 W/m^2 'nin altına düştüğünde toplanan verilerin sağlıklı olmasından dolayı deneye sonraki gün devam edilmiştir. Bundan dolayı Türkiye'deki güneşlenme süresi ve radyasyon düşüklüğünden kaynaklı belli zaman aralığında çalışma yapılmıştır. Deneyin ilk günü tüm modüller boş olarak sıcaklık değerleri toplanmıştır. Toplanan sıcaklık verilerinin karşılaştırılması için ilk günden itibaren ikinci ve üçüncü günde aynı şekilde veriler toplanmıştır. Radyasyon değerleri panel yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri, ortam sıcaklıkları veri kayıt cihazı ile bilgisayarda önceden oluşturulan excel ara yüzünde değerler girilmiştir. Çizelgede belli bir periyodik aralıkla toplanan değerler kaydedilmiştir. Her on dakikada bir alınan akım ve gerilim değerleri eklenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan tüm panellerin maksimum güç oranları önceden belirlenmiştir. Yapmış olduğumuz deney analizleri sonucunda soğutma düzeneği kurulan panel ile boş panelin verileri ile kıyaslanma yapıldığında soğutma yapılan panelde % 5,73 güç üretimi fazlalığı oluşmuştur. Boşken panellerin güç üretimlerini kıyasladığımızda soğutulan panelin tüm gün boyunca ortalama olarak, 0,5 W daha az güç ürettiği gözlemlenmiştir. Her üç panellinde aynı özelliklerine sahip olmasına rağmen oluşan farklılıklar deney sonucunda etkisini göstermiştir. Hesaplamalar sonucunda elektriksel verimin % 9 iken, soğutulan panelde verim % 7,9 olarak bulunmuştur.

Deney sonuçlarına göre görüldüğü gibi panellerin yüzey sıcaklıkları düşürüldüğünde verim kayıpları azaltılabilir. Soğutma düzeneği panelin yüksek sıcaklıklardaki oluşan güç kayıpları zamanında yapılıncaya daha iyi değerler alınmaktadır. Yapmış olduğumuz çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Soğutma yapılmayan ve yalnızca doğal taşınım ile ısı dengeye ulaşan fotovoltaik panellerde sıcaklığa bağlı olarak elektrik verimlerinin nominal değerlerin oldukça altında bir değer olduğu ve böylelikle sıcaklığın PV elektrik verimini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, aynı karakteristikteki PV/T ile alınan sonuçların PV ile alınan sonuçlarla karşılaştırılması üzerine kanıtlanmıştır.
- Soğutma yapılmayan PV panellerde yüzey sıcaklığının saf su ile soğutulan PV/T panele göre daha fazla olduğu ve buna göre elektrik güç çıkışının ise PV/T panele göre daha az olması deneysel verilerle kanıtlanmıştır. Sıcaklıktaki artışın açık bir şekilde elektrik verimini düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Seçilen bakır borunun çapı ve sarmal sayısı artınca panellin arkasında bulunan suyun soğutma derecesi düşer ve verim miktarı artar.
- Paneller sürekli soğutulmamalıdır. Genellikle panellerde en yüksek verimin 25°C’de olup bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında yani yüksek sıcaklıklarda soğutulmalıdır.
- Herhangi bir dışardan enerji vermeyerek (pasif soğutma) yöntemi kullanılarak soğutulan panellerin kompresörün tüketeceği güç miktarında sistemden eksileceği hesaba katılarak çalıştırılmalıdır.
- Günlük olarak çalışan kompresör toplamda üç saat boyunca tükettiği enerji miktarı 0,319 kWh olarak görülmüştür.
- Kompresör için tüketilen enerji miktarını karşılamak amaçlı olarak 40W bir panel çalışmasına yetecektir.

8.2.Öneriler

- Panel yüzey sıcaklığın 30°C de sabitlenmediği takdirde panel yüzey sıcaklığın daha aşağılara indirilirse verim artışı olacaktır.
- Veri toplama araçlarının yani kablo ekipmanlarının aynı olmalıdır, maksimum verim için kaliteli malzeme kullanılmalıdır.
- Soğutma devresinde kullanılan R-600'a gazı yerine 134'a gazı bırakılırsa soğuma işlemin artabilir.
- Yapılan deney sahasının aşırı rüzgâr almasından kaynaklı panel yüzey sıcaklığı etkilenmiştir.
- Soğutma yapılan panellin ortamla ayıran cam panel üzerine ısı transferini engellemek için cam yünü kullanılmalıdır.
- Deney düzeneğinde kullanılan panellerde su seviyesinin ulaşamadığı kısımların ilk aşamada kapatılırsa verim yükseleceği düşünülmektedir. Şekil 7.13. A'da görülmektedir.
- Kılcal borunun su seviyesinin başlangıç noktasından itibaren başlaması sistemin direk oradan soğutmaya başlamasına neden olacaktır. Böylelikle kompresör fazladan enerji harcamayacaktır. Şekil 7.13.B'de gösterilmiştir.
- Panel arkasında bulunan suyun saf su olması soğutma sistemin daha hızlı bir Şekilde soğumasına neden olabilir.
- Deney düzeneğinin laboratuvar ortamında yapılması bulunan verim yüksekliğinin daha fazla olacağı düşünülmektedir.

9. KAYNAKÇA

- Bai, A., Popp J., Balogh P., Gabnai Z., Palyi B., Farkas I., Pinter G., Zsiborács H.,2016, Technical and economic effects of cooling of monocrystalline photovoltaic modules under Hungarian conditions, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*; (60):1086-1099.
- Bambrook, S.M., Sproul, A.B.,2012, Maximising the energy output of a PVT air system. *Solar Energy*, 86(6):1857-1871.
- Bryden, I.,2004, *Survey of Energy Resources*, 20th Edition, Elsevier Science. Tidal Energy.
- Çakır, A. ve Onay, E.,2021, Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Arttırılmasında Su Soğutmalı Otomasyon Sistemi Uygulaması: Antalya Örneği, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 13(1):23-33.
- Çataklı Enerji Yayıncılık, 2019, Fotovoltaik Sistemler, *Ankara*, 5. Baskı 45-52
- Çengel, Y., A.B., M.A.,2008, *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, (7.Baskı ,9786053551621) Ankara: Palme Yayıncılık
- Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T.,2013, Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures. *Energy Conversion and Management* (71):43–50DOI:10.1016/j.enconman.2013.03.012
- Chandrasekar, M., Senthilkumar, T.,2015, Experimental Demonstration of Enhanced Solar Energy Utilization in Flat PV (Photovoltaic) Modules Cooled by Heat Spreaders in Conjunction with Cotton Wick Structures (*Energy*)1–10
- Chegaar, M.,2004, Extracting DC Parameters of Solar Cells Under Illumination. *Vacuum*, 75(4):367-72.
- Çiçek, İ.,2021, Güneş enerji sistemlerinde nanoakışkan kullanımının incelenmesi, Yüksek lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-165.
- Cuce, E., 2014, Improving thermodynamic performance parameters of silicon photovoltaic cells via air cooling. *International Journal of Ambient Energy* 35:(4), 193-199, <https://doi.org/10.1080/01430750.2013.793481>.
- Cuce, E., Cuce, P.M., and Bali, T.,2013, An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters. *Applied Energy*, 111: 374-382, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.025>.
- Dincer I., Bicer Y.,2018, Photonic Energy Production, *Comprehensive Energy Systems*, 3, Elsevier, USA.
- Du, B.,2012, Performance analysis of water cooled concentrated photovoltaic (CPV) system. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (16):6732-6736.
- Du, D., Darkwa, J., Kokogiannakis, G.,2013, Thermal management systems for photovoltaics (PV) installations: a critical review, *Solar Energy*(97):238-254.

- Edomah, N.,2018, Economics of Energy Supply, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, *Elsevier*, DOI:10.1016/B978-0-12-409548-9.11713-0.
- El-Seesy I.E., Khalil T., Ahmed M.H., Experimental Investigations and Developing of Photovoltaic/Thermal System, *World Applied Sciences Journal*,19(9):1342-1347, 2012.
- Erkan, O., Özkan, M., Arslan, O.,2018, Mini Kanal ile Fotovoltaik Hücre Soğutma. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2 (2):34-38. Retrieved from. <https://dergipark.,org.tr/en/pub/ijmsit/issue/40810/477469>
- Erol, H.,2021, Su Soğutmalı Fotovoltaik Sistemin Performans Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (2):142-148
- Gupta, P.,1999, Renewable energy sources-a longway to go in India, *Renewable Energy*, 16(1-4), 1216-1219.
- Han J.C., Park J.S.,1988 Developing heat transfer in rectangular channels with rib turbulators. *Int J HeatMass Transfer* (31):183-95
- <https://sem.metu.edu.tr/egitim/ruzgar-enerjisi-ve-ruzgar-turbini-teknolojileri-temel-online.html> [Erişim Tarihi: 5 Eylül 2022].
- <https://www.elektrikrehberiniz.com/wp-content/uploads/2013/10/enerji-kaynaklarinin-siniflandirmasi.jpg> [Erişim Tarihi: 5 Eylül 2022].
- <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> [Erişim Tarihi: 5 Eylül 2022].
- Idoko, L., Anaya-Lara, O. ve McDonald, A.,2018, Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique (4):357-369
- Kabul, A., & Yaşar, E.,2017, Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemlerin Soğutma Tekniklerinin Deneyisel Olarak İncelenmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9 (1):17-32 . Retrieved from <https://dergipark.,org.tr/tr/pub/utbd/issue/36151/406272>
- Kalogirou, S.,2009, Solar Energy Engineering Processes and Systems, *Elsevier Inc.*
- Karthick, S.P.,2009, Modelling and Anaysis of Solar Photovoltaic Thermal Collector. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* 3(4).
- Kerem, A., Atik, M., Bayram, A.,2020, Fotovoltaik (PV) panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneyisel İncelenmesi, *International Journal of Engineering Researchand Development*, 12 (2),565-578
- Khare, V., Khare C., Nema S., Baredar P.,2019, Chapter 2 - Introduction of Tidal Energy, *Tidal Energy Systems*, Elsevier
- Khelifa, A., Touafek, K., Ben Moussa, H., Tabet, I.,2016, Modeling and detailed study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar collector. *Solar Energy* 135,169-176.

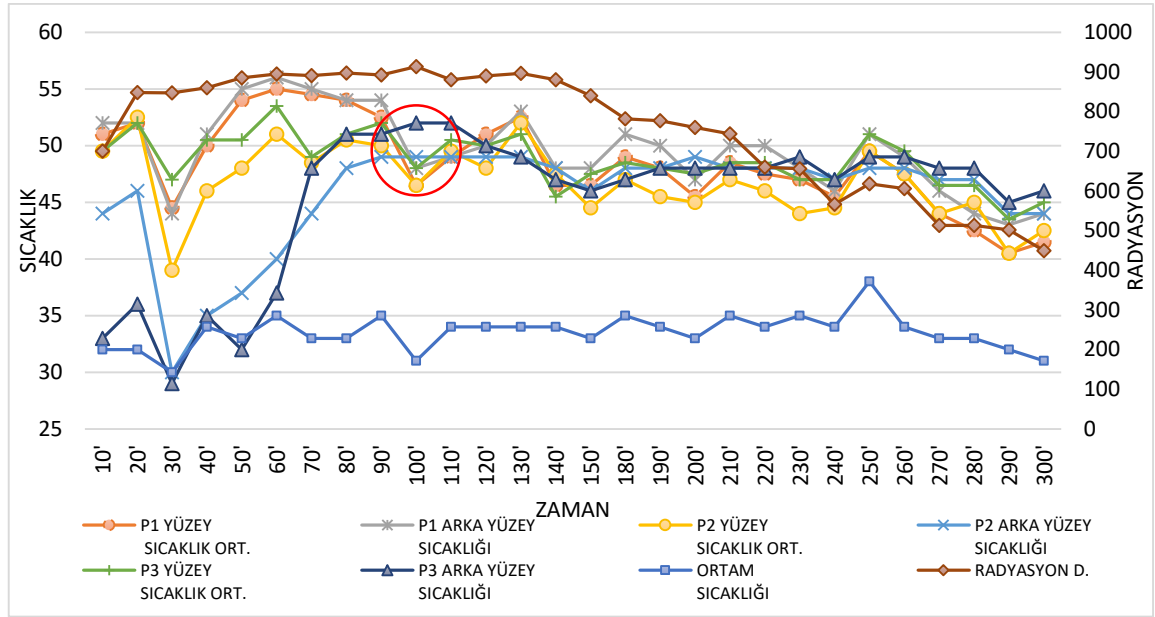
- Kolhe, M.,2012. Water Cooled Photovoltaic System. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy* 2.
- Kumar, R., Rosen, M.A.,2011, A critical review of photovoltaic-thermal solar collectors for air heating. *Appl Energy*, (88):3603-14.
- Kurşun, B., Ökten, K. & Dede, G.,2016, Fotovoltaik Güneş Panellerinin Sıvıya Daldırma Yöntemi ile Soğutulmasında Kanal Geometrisi ve Panel Konumunun Etkisi .*Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2):135-142 . DOI: 10.21605/cukurovaummfd.316734
- Hasanuzzaman, M., A.B.M.A. Malek, M.M. Islam, A.K. Pandey ve N.A. Rahim. 2016, Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review
- Miller L.M., Keith D.W.,2018, *Climatic Impacts of Wind Power, Joule*, 2(12), 2618-2632
- Othman, M.Y., Hamid, S.A., Tabook, M.A.S., Sopian, K., Roslan, M.H. and Ibarahim, Z.,2016, Performance analysis of PV/T Combi with water and air heating system: *An experimental study. Renewable Energy*, (86): 716-722.
- Pitz-Paal R.,2020, Concentrating Solar Power, *Future Energy*, 3rd Edition, Elsevier.
- Rahman, Mohammad Mafizur, Hasanuzzaman, Md, Rahim Nasrudin Abd,2017, Effects of operational conditions on the energy efficiency of photovoltaic modules operating in Malaysia. *J. Clean. Prod*, 143(C):912-924.
- Rajput UJ., Yang J.,2018, Comparison of heat sink and water type PV/T collector for polycrystalline photovoltaic panel cooling, *Renewable Energy* (116):479-491.
- Ramalingam K., Indulkar C.,2017, Chapter 3 - Solar Energy and Photovoltaic Technology, *Distributed Generation Systems - Design, Operation and Grid Integration*, Butterworth-Heinemann.
- Rosa-Clot, M., P. Rosa-Clot, G. M. Tina, and C. Ventura,2016, Experimental photovoltaic-thermal Power Plants based on TESPI panel. *Solar energy*, 133, 305-314.
- Sakellariou, Evangelos, Axaopoulos, Petros,2017, Simulation and experimental performance analysis of a modified PV panel to a PVT collector. *Solar Energy*, 155(C),715-726
- Sarhaddi, F. Temmuz 2010, Uygulamalı Enerji 87(7):2328-2339 DOI:10.1016/j.apenergy.2010.01.001
- Sohail R., Mohammad A. Ebadian, and Cheng-Xian Lin., 2015, A review of PV–T systems: Thermal management and efficiency with single phase cooling. *International Journal of Heat and Mass Transfer* (91):861-871.
- Sun, L.L., Li, M., Yuan, Y.P., Cao, X.L., Lei, B., Yu, N.Y.,2016, Effect of tilt angle and connection mode of PVT modules on the energy efficiency of a hot water system for highrise residential buildings. *Renew Energy*, (93):291-301.
- Thomas, R., Fordham, M.,2001. Photovoltaics-Architecture, Spon Press, *London and Newyork*.

- Warwick W.,2002, A Primer on Electric Utilities, Deregulation, and Restructuring of U.S. Electricity Markets, *The U.S. Department of Energy-Federal Energy Management Program*, USA.
- Wolf, M.,1976. Performance Analyses of Combined Heating and Photovoltaic Power-Systems for Residences. *Energy Conversion*, 16(1-2):79- 90.
- Yıldız M.E., Yılmaz, A.2022, Investigation of the efficiency of air heated solar collectors with different geometries by experimental method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*. MAY2022. :10.1177/09576509221101971
- Yılmaz, E.Ç., Öner, İ.V., Yeşilyurt, M.K.,2016, Degradation Mechanisms of Organic Solar Cells, *Int. J. of Eng. Res. &Sci (IJOER)*,.2(10):172- 174.

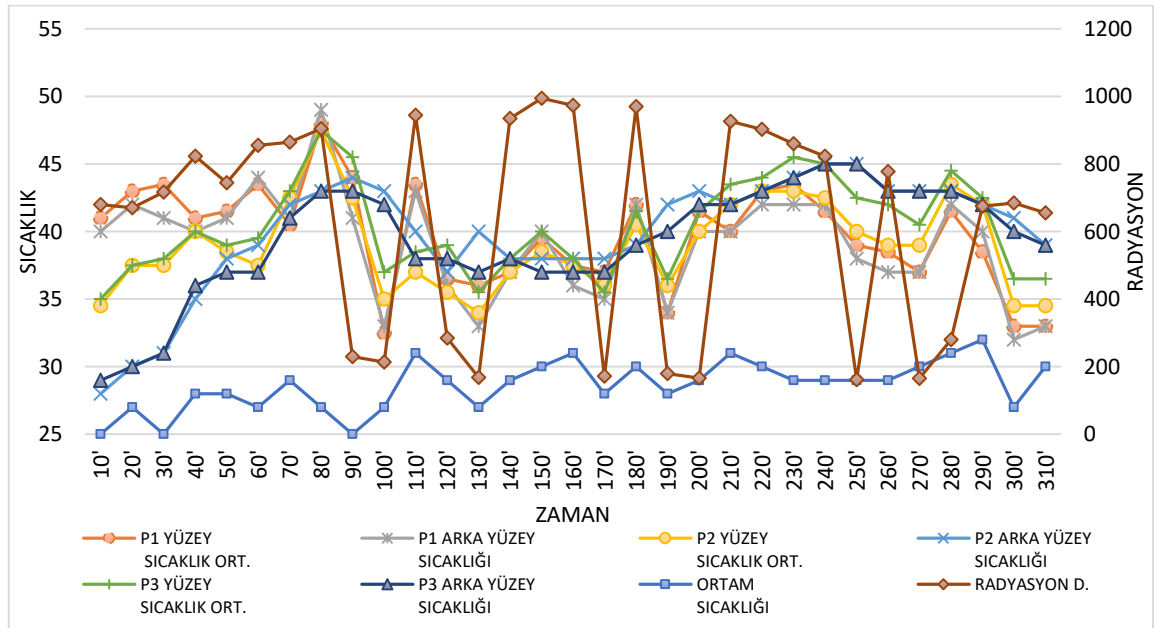
10. EKLER

EK-1

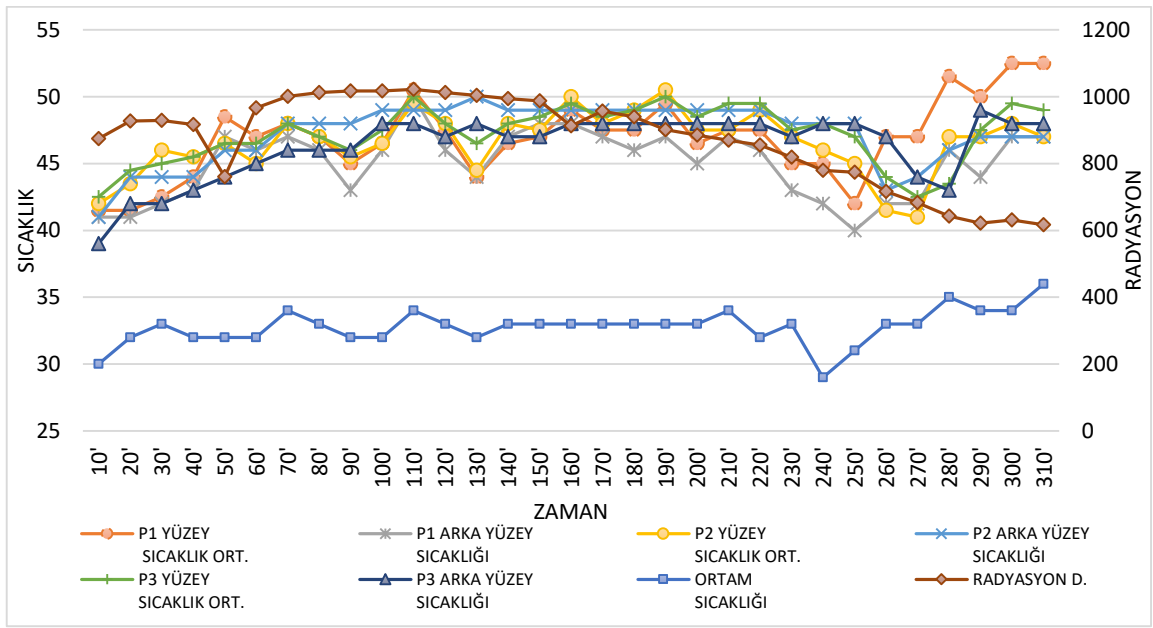
1. Sulu soğutma



Şekil 10.1.Sisteme 1. gün su eklenerek yapılan deney



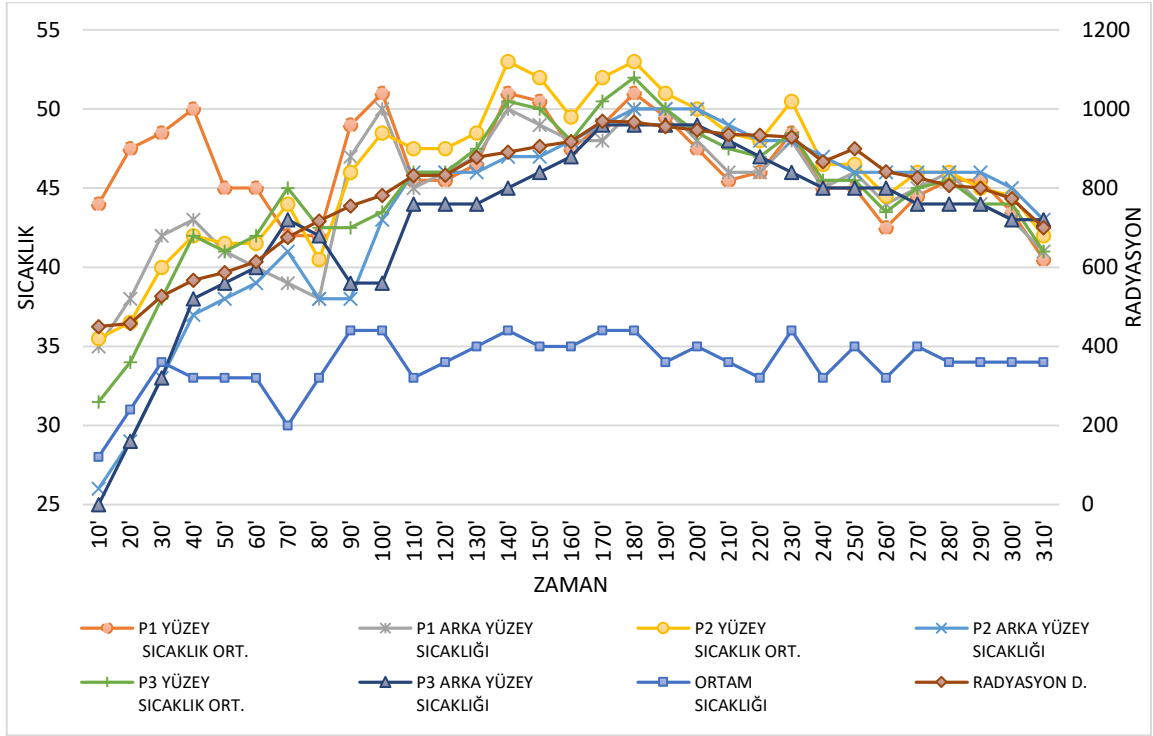
Şekil 10.2.Sisteme 2. gün su eklenerek yapılan deneyi



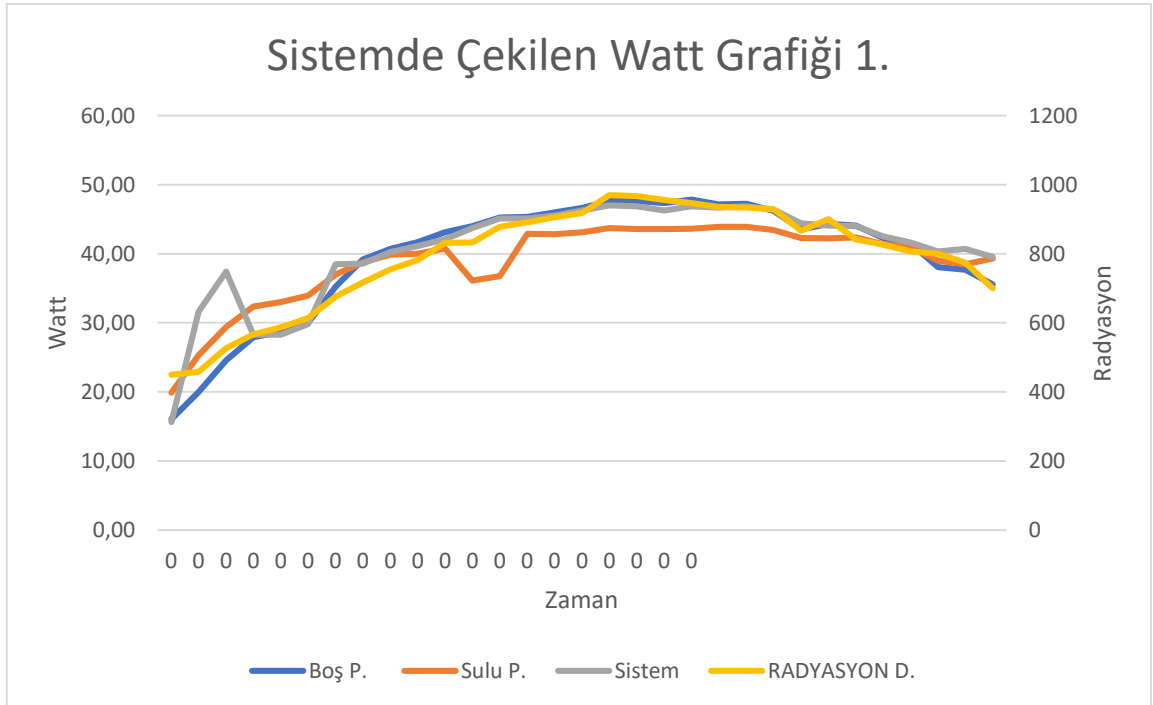
Şekil 10.3. Sisteme 3. gün su eklenerek yapılan deney

EK-2

2 Radyasyon değerine göre



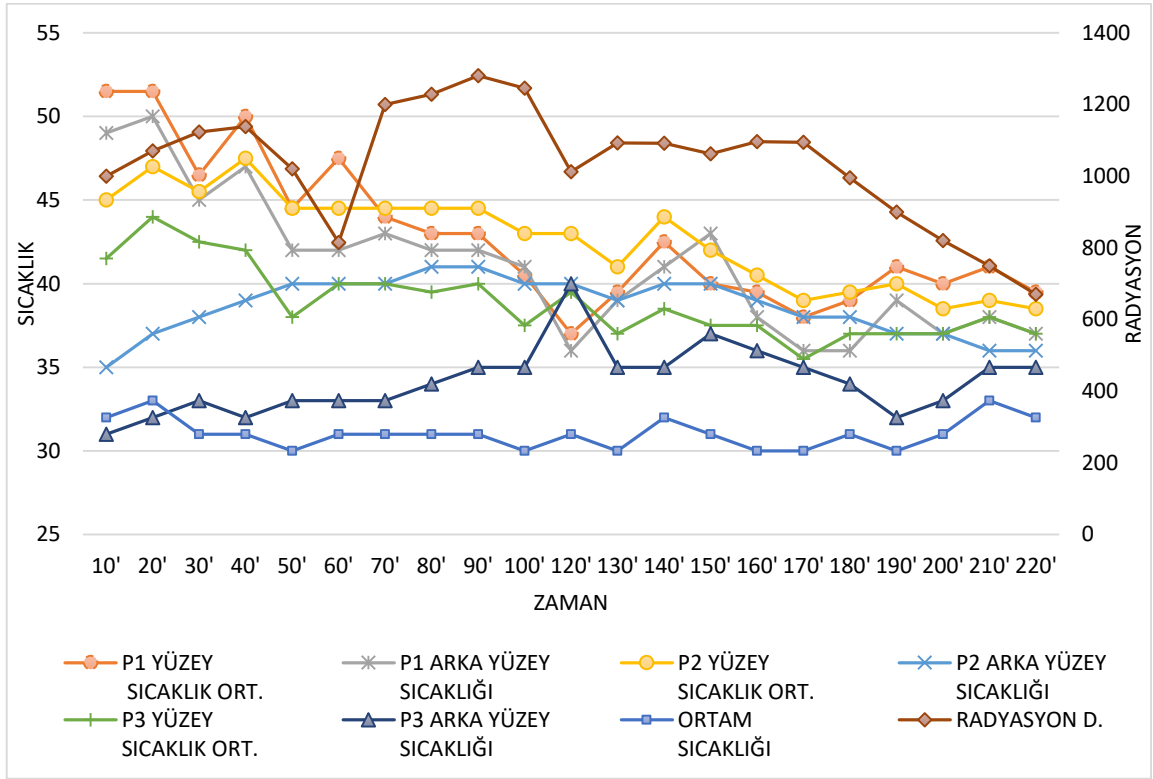
Şekil 10.4. Radyasyon değerine göre 2. veri grafiği



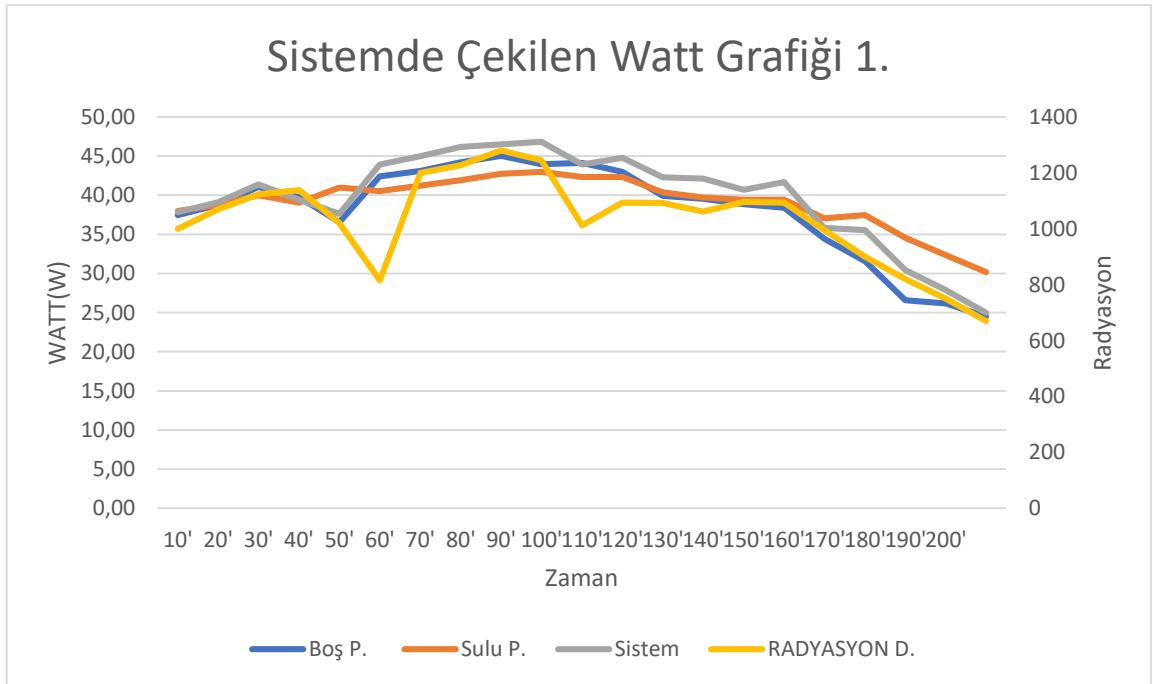
Şekil 10.5. Güç değerine göre 2. veri grafiği

EK-3

3 Sistem çalışması



Şekil 10.6. Soğutma sistemin çalışması



Şekil 10.7. Soğutma sistemin güç grafiği 2. gün

11. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sadık VURAN
Uyruğu : T.C.