



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

FARKLI FAZ DEĞİŞTİREN
MALZEMELERLE
KAPLANMIŞ GÜNEŞ PANELİNİN
SOĞUTULMASI
VE ENERJİ ÜRETİMİNDE VERİMLİLİK
FARKININ İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan
Zülal UĞUR

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ

Ağustos-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Zülal UĞUR tarafından hazırlanan ‘‘Farklı Malzemelerle Kaplanmış Güneş Panelinin Soğutulması Ve Enerji retiminde Verimlilik Farkının İncelenmesi’’ adlı tez çalışması 31/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü EĞitim Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri**İmza****Başkan**

Dr. ÖĞr. Üyesi Abdulkadir KOÇER

.....

Danışman

Dr. ÖĞretim yesi Adem YILMAZ

.....

ye

Dr. ÖĞr. Üyesi Ramazan şENER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü EĞitim Enstitüsü Müdürü

Bu tez alışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) tarafından BTBAP-2021-YL-06 nolu proje ile desteklenmiştir.

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 materials and results that are not original to this work.

İmza

Zülal UĞUR

Tarih:

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****FARKLI FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERLE KAPLANMIŞ GÜNEŞ PANELİNİN SOĞUTULMASI VE ENERJİ ÜRETİMİNDE VERİMLİLİK FARKININ İNCELENMESİ****Zülal UĞUR****BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ****2022, 86 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir KOÇER
Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER**

Bu tez çalışması; Batman ili iklim şartlarında birbirinden farklı faz değiştiren malzemeler kullanılarak 110 W Monokristal güneş paneli üzerindeki ısı ve verim hesaplamalarının deneysel karşılaştırılması yapılmıştır. Batman üniversitesi Batı Raman Kampüsünde kurulan deney düzeneği farklı gün ve saat aralıklarıyla sıcaklık miktarlarının ve FDM'lerin (faz değiştiren malzemelerin) güneş panelinden elde edilen enerji miktarına etki eden parametreler deneysel olarak incelenmiştir. Güneş radyasyonu, panel sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı ölçülmüştür. Elde edilen verilerin analizi sonucunda panel üzerindeki verim hareketliliği incelenmiştir. 3 panelin arka yüzeyine montajlanan cam muhafaza içerisine eklenmiş üç farklı FDM malzemesi ile FV sistem soğutulmuştur. Her üç fotovoltaiik panelin, arka yüzeyine ayrı ayrı FDM çeşitleri eklenmiştir. Parafin, Yağ Asidi ve Tuz Hidrat FDM'leri eklenerek soğutma yapılmıştır. Bir adet fotovoltaiik paneli de ortam koşullarında bulunan bir panelin durumunu gözlemlemek ve referans olarak almak için olarak boş bırakılmıştır. Panel yüzeyine yerleştirilen üç farklı yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığı ve giriş çıkış sıcaklıkları alınmış ve zamana bağlı olarak oluşan güç, akım ve volt değerleri kaydedilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan tüm panellerin maksimum güç oranları hesaplanmıştır. Deney analizleri sonucunda; Parafin kullanılan panelde %11,34, Tuz Hidrat kullanılan panelde %17,22, Yağ Asidi kullanılan panelde ise %30 güç üretimi fazlalığı bulunmuştur. Her üç panel de aynı özelliklere sahip olmasına rağmen oluşan farklılıklar deney sonucunda etkisini göstermiştir. Hesaplamalar sonucunda elektriksel verimin her panelde farklılık gösterdiği ölçülmüştür. FDM'ler eklenmeden önce elde edilen verilere göre; Parafin kullanılan panelin elektriksel verimi %9,2 iken parafin eklendikten sonra %9,7 olarak hesaplanmıştır. Tuz Hidrat kullanılan panelin elektriksel verimi %8,4 iken Tuz Hidrat eklendikten sonra elektriksel verimi %9,4 ve Yağ Asidi kullanılan panelin elektriksel verimi %6,6 iken Yağ Asidi eklendikten sonra elektriksel verimi %8,1 olarak bulunmuştur. Yapılan deneyde soğutma yapılan Parafin kaplı güneş panelinde 16°C, Tuz Hidrat kaplı panelde 11°C, Yağ Asidi ile kaplanmış panelde ise 13°C sıcaklık farkı ölçülmüştür. Deneylerin sonucunda güneş panellerinde meydana gelen ortalama sıcaklık farkı en yüksek Yağ Asidi FDM'si ile 4. güneş panelinde 13°C miktarda olmuştur. Farklı FDM'ler ile kaplı olan üç güneş panelinin de anlık ve günlük ortalama verim değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ortalama en yüksek verim değerlerine bakıldığında; %30 güç artışı ile Yağ Asidi FDM olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren Madde (FDM), FV Sistemler, Güneş enerjisi, Isıl verim, Parafin, Yağ Asitleri.

ABSTRACT**MS THESIS****COOLING A SOLAR PANEL COVERED WITH DIFFERENT PHASE-
CHANGEABLE MATERIALS AND INVESTIGATION OF THE DIFFERENCE
IN ENERGY PRODUCTION****ZÜLAL UĞUR****INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN
RENEWABLE ENERGY SYSTEMS****Advisor: Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ****2022, 86 Pages****Jury****Asst. Prof Dr. Abdulkadir KOÇER****Asst. Prof. Dr. Adem YILMAZ****Asst. Prof. Dr. Ramazan ŞENER**

This thesis work; An experimental comparison of the heat and efficiency calculations on the 110 W Monocrystalline solar panel was made by using different phase-changing materials in the climatic conditions of Batman province. The experimental setup established in Batman University West Raman Campus, the temperature amounts and the parameters affecting the energy amount obtained from the solar panel of FDMs (phase-change materials) were investigated experimentally at different day and hour intervals. Solar radiation, panel temperatures and ambient temperature were measured. The results of the analysis of the obtained findings were examined in terms of yield mobility on the panel. The PV system is cooled with three different PCM materials added to the glass enclosure mounted on the back surface of the 3 panels. Separate PCM variants have been added to the back surface of each of the three photovoltaic panels. Paraffin, Fatty Acid and Salt Hydrate PCMs were added and cooling was done. For a photovoltaic panel, it is left blank to observe the status of a panel in ambient conditions and to take a reference. Three different surface temperatures, ambient temperature and input and output temperatures placed on the panel surface were taken and the power, current and volt values that occurred depending on time were recorded. The maximum power ratios of all panels used in the experimental setup were calculated. As a result of the experimental analysis; A power production excess of 11.34% was found in the panel using paraffin, 17.22% in the panel using Salt Hydrate, and 30% in the panel using Fatty Acid. 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, it was measured that the electrical efficiency differs in each panel. According to the data obtained before adding FDMs; While the electrical efficiency of the panel using paraffin was 9.2%, it was calculated as 9.7% after adding paraffin. While the electrical efficiency of the panel using Salt Hydrate was 8.4%, the electrical efficiency of the panel using Salt Hydrate was 9.4% and the electrical efficiency of the panel using Fatty Acid was 6.6%, while the electrical efficiency was 8.1% after adding Fatty Acid. In the experiment, the temperature difference was measured at 16°C on the Paraffin coated solar panel, 11°C on the Salt Hydrate coated panel, and 13°C on the Fatty Acid coated panel. As a result of the experiments, the average temperature difference in the solar panels was 13°C in the 4th solar panel with the highest Fatty Acid PCM. It has been observed that the three solar panels covered with different PCMs increase the

instantaneous and daily average efficiency values. Considering the average highest yield values; Fatty Acid PCM was observed with 30% power increase.

Keywords: Fatty acids, Paraffin, Phase Change Material (PCM), PV Systems, Solar Systems, Thermal efficiency



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimi süresi boyunca, teori ve uygulamada daima tüm bilgi ve tecrübesini bizimle paylaşmış, bu tez çalışmasının öncesi, hazırlık ve deneylerin yapılması aşamalarına büyük katkısı olan, samimiyet ve insaniyeti ile sonraki tüm öğrencilerine de ilmini aktaracağına inandığım kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Adem YILMAZ'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca eğitim süresi boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, motivasyon kaynağım olan aileme ve dostlarıma çok teşekkür ederim. Bugünlere gelmemi sağlayan, bana her zaman doğruyu, dürüstlüğü ve çalışkanlığı aşılayan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem Neslinur UĞUR CEYLAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Zülal UĞUR
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	iii
TEZ KABUL VE ONAYI	II
TEZ BİLDİRİMİ	III
ÖZET	IV
İÇİNDEKİLER	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kaynak Araştırması	3
2.2.1. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli	9
2.2.2. Batman’da güneş enerjisi potansiyeli	13
2.3. Güneş Panellerinin Yapısı ve Verimini Etkileyen Faktörler	15
2.3.1. Maksimum güç noktası izleme ve gölgelenme etkisi	16
2.3.2. Sıcaklık etkisi.....	18
2.3.3. DC kablolama-kablo kayıpları.....	19
2.3.4. FV panel yerleşimi.....	19
2.3.5. Uyumsuzluk (mismatch) kayıpları.....	20
2.4. Faz Değiştiren Malzemeler ve FV Sistemlerde Kullanımı	21
2.4.1. Faz değiştiren malzemeler	21
2.4.2. Faz değiştiren malzemelerin sınıflandırılması	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1. Deney Seti ve Yöntem	28
3.2. Kullanılan Malzemeler	29
3.3. Deney Kurulumu.....	31
3.4. Deneylerin Yapılması	41
3.5. Panellerin Maksimum Güç Noktalarının Bulunması.....	41
3.6. Teorik Hesaplamalar ve Hata Analizi.....	45
3.6.1. Hata analizi	46
3.6.2. Enerji analizi	48
3.6.3. Ekserji analizi	50
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	52
4.1. FV Modüllerde Sıcaklık Değişimleri.....	52
4.2. Faz Değiştiren Malzemelerin İlavesi Sonrası Güç Değişimleri.....	60
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
5.1 Sonuçlar	63
5.2. Öneriler	65

7. KAYNAKÇA.....	66
ÖZGEÇMİŞ	72



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

K	:	Kelvin
F	:	Fahrenheit
W	:	Güç
K _w	:	Kilowatt
K _{wh}	:	Kilowatt Saat
m ²	:	Metrekare
V _{FV}	:	Güneş Panelinin Gerilimi
I _{FV}	:	Güneş Panelinin Akımı
I _L	:	Işık Akımı
I _S	:	Diyot Doyma Akımı
Q	:	Elektron Yüğü
K	:	Boltzman Sabiti
N	:	Diyot Faktörü
T	:	Sıcaklık
μ _p	:	Panel Gücünün Sıcaklığa Bağımlılık Katsayısı
P _{m,STC}	:	Standart Test Koşullarındaki (STC) Panel Gücü
T _c	:	FV panelin hücre sıcaklığı
T _a	:	İstenilen bir hava sıcaklığı
G	:	Işınım değeri
kJ	:	Kilo Joule
m ³	:	Metreküp
kg	:	Kilogram
mol	:	Moleküler Ağırlık
J	:	Joule
dk	:	Dakika
gr	:	Gram
s	:	Saniye
A	:	Amper
μA	:	MikroAmper
mA	:	MiliAmper

Kısaltmalar

GEPA	:	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
YEGM	:	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
P1	:	Herhangi bir malzemeyle kaplanmamış boş güneş paneli
P2	:	Parafin ile kaplanmış güneş paneli
P3	:	Kalsiyum Hekza Klorür ile kaplanmış güneş paneli
P4	:	Stearik Asit ile kaplanmış güneş paneli
NOCT	:	Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature)
MGN	:	Maksimum Güç Noktası
MMP	:	Maksimum Power Point
FDM	:	Faz Değiştiren Malzeme
PCM	:	Phase Change Material (Faz Değiştiren Madde)
PV	:	Photovoltaik Panel
EPK	:	Elektrik Piyasası Kanunu
DC	:	Direct Current (Doğru Akım)
AC	:	Alternative Current (Alternatif Akım)
V	:	Volt (Gerilim)
AAA	:	Alkalin Pil

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2. 1. Faz değıştiren malzemelerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri.....	23
Tablo 2. 2. FDM Çeşitlerinin Karşılaştırılması	23
Tablo 3. 1. Deney Setinde Kullanılan FV Panellerin İsim ve Numaralandırılmaları	29
Tablo 3. 2. SOLARENERJİ TS-M364-105 panel teknik özellikleri.....	31
Tablo 3. 3. UNI-T UT33D+ multimetre ürün özellikleri.....	32
Tablo 3. 4. UNI-T UT363S dijital anemometre teknik özellikleri	33
Tablo 3. 5. CEM DT-1307 güneş ışınım miktarı ölçer (solarimetre) teknik özellikleri .	34
Tablo 3. 6. Elimko 680 data logger cihazına ait teknik bilgiler.....	35
Tablo 3. 7. Sigma-Aldrich marka Kalsiyum Klorür Hekzahidrat malzemesinin teknik özellikleri	38
Tablo 3. 8. Termokupl Teknik Özellikleri.....	39
Tablo 3. 9. Testo 881-2 termal kamera teknik özellikleri.....	40
Tablo 3. 10. Belirsizlik Analizi Tablosu.....	48
Tablo 3. 11. FV enerji analiz sonuçları.....	50
Tablo 3. 12. Ekserji Analizi	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Güneşten Yeryüzüne Gelen Işınlrın Dağılımı (Anonim, 2022a)	9
Şekil 2. 2. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Radyasyonu Değeri (GEPA, 2020)	10
Şekil 2. 3. Türkiye'nin 1991-2020 Aylık Ortalama Güneşlenme Süreleri (GEPA, 2020)	10
Şekil 2. 4. Türkiye Güneşlenme Süresi Atlası (MGM, 2020)	11
Şekil 2.5. Batman ili güneş enerjisi potansiyeli (GEPA, 2020).....	13
Şekil 2. 6. Batman merkez global radyasyon değerleri	14
Şekil 2. 7. Batman ili güneşlenme (saat) (MGM, 2020).....	14
Şekil 2. 8. Batman ili PV tiplerine göre üretilebilecek enerji miktarları	15
Şekil 2. 9. PV garanti süreleri ve yıllara göre verimleri (Boztepe, 2017)	16
Şekil 2. 10. Maksimum güç izleme noktası güç-gerilim grafiği (Karatepe ve ark., 2007)	17
Şekil 2. 11. Kısmi gölgelenme etkisi (Karatepe ve ark., 2007)	18
Şekil 2. 12. Yıllık ışınlm miktarı ile eğim ilişkisi (Boztepe, 2017).....	20
Şekil 2. 13. FV sistemlerde kayıplar (Deniz, 2013).....	21
Şekil 2. 14. FDM'lerin sınıflandırılması (Kylili ve ark., 2016).....	22
Şekil 3. 1. Deney sistemi projelendirilmesi	29
Şekil 3. 2. 110W Monokristal panel	30
Şekil 3. 3. 110W Monokristal panel konstrüksiyonu.....	30
Şekil 3. 4. Cam çerçevenin silikonlanması ve sızdırmazlık testi aşamaları	32
Şekil 3. 5. Multimetre cihazı.....	32
Şekil 3. 6. Rüzgâr hızı ölçer (anemometre)	33
Şekil 3. 7. Güneş ışınlm miktarı ölçer (solarimetre).....	34
Şekil 3. 8. Dataloger (veri toplama cihazı)	35
Şekil 3. 9. Parafin.....	36
Şekil 3. 10. Yağ asidi grubu stearik asit	37
Şekil 3. 11. İnorganik FDM grubu kalsiyum klorür hekzahidrat.....	37
Şekil 3. 12. Güneş panellerinin kurulumu	38
Şekil 3. 13. Sıcaklık ölçümleri için k tipi termokupl	39
Şekil 3. 14. Termokupl bağlantıları	39
Şekil 3. 15. Testo 881-2 termal kamera	40
Şekil 3. 16. Deney verilerinin çizelgesi	41
Şekil 3. 17. 850-900 W/m ² K radyasyon aralığındaki MMP grafiği	42
Şekil 3. 18. 900-950 W/m ² K radyasyon aralığındaki MMP grafiği	42
Şekil 3. 19. 950-1000 W/m ² K radyasyon aralığındaki MMP grafiği	43
Şekil 3. 20. 1000-1050 W/m ² K radyasyon aralığındaki MMP grafiği	43
Şekil 3. 21. 1050-1100 W/m ² K radyasyon aralığındaki MMP grafiği	44
Şekil 3. 22. 1100-1150 W/m ² K radyasyon aralığındaki MMP grafiği	44
Şekil 3. 23. 1150-1200 W/m ² K radyasyon aralığındaki MMP grafiği	45
Şekil 4. 1. Panel 1'in boş haldeki sıcaklık grafiği	52
Şekil 4. 2. P1 Boş panel'in arka yüzeyi	53
Şekil 4. 3. Panel 2'in boş haldeki ve parafin eklendikten sonraki sıcaklık grafiği	53
Şekil 4. 4. P2 Parafin eklendikten sonra panelin arka yüzeyi	54
Şekil 4. 5. Panel 3'ün boş haldeki Ve CaCl ₂ 6H ₂ O eklendikten sonraki sıcaklık grafiği.....	55
Şekil 4. 6. P3 CaCl ₂ 6H ₂ O eklendikten sonraki arka yüzeyi	55
Şekil 4. 7. Panel 4'ün boş haldeki ve C ₁₈ H ₃₆ O ₂ eklendikten sonraki sıcaklık grafiği	56
Şekil 4. 8. P4'ün C ₁₈ H ₃₆ O ₂ eklendikten sonra arka yüzeyi	56

Şekil 4. 9. P1 boş panel ile P2 parafin eklenmiş panel sıcaklık grafiği karşılaştırılması	57
Şekil 4. 10. P1 boş panel ile P3 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ eklenmiş panel sıcaklık grafiği karşılaştırılması.....	57
Şekil 4. 11. P1 boş panel ile P4 $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ eklenmiş panel sıcaklık grafiği karşılaştırılması.....	58
Şekil 4. 12. FDM kullanılan FV panellerin sıcaklık karşılaştırılması	58
Şekil 4. 13. Termal kamera ile güneş paneli ölçümlerinin yapılması	59
Şekil 4. 14. Termal kamera ile güneş panelleri arka yüzeylerinin sıcaklık ölçümleri	59
Şekil 4. 15. Termal kamera ile güneş panelleri arka yüzeylerinin boş panel ile karşılaştırılmış sıcaklık ölçümleri	60
Şekil 4. 16. P1 FDM Eklenmemiş Panel Güç Grafiği	61
Şekil 4. 17. P2 parafin kaplı güneş paneli güç grafiği karşılaştırılması.....	61
Şekil 4. 18. P3 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kaplı güneş paneli güç grafiği karşılaştırılması	62
Şekil 4. 19. P4 $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ kaplı güneş paneli güç grafiği karşılaştırılması.....	62



1. GİRİŞ

Fosil yakıtların kullanılması sonucunda sera gazları ve giderek artan çevre kirliliği, fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri, alternatif enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Fosil yakıtların gelecekteki yıllarda azalacağı ön görüldüğü üzere temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları çok daha önemli hale gelmektedir. Yeryüzünde bulunan enerji kaynaklarının kullanımı konusunda ülkelerin tercihi de yıllar geçtikçe ve teknoloji ilerledikçe yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğada bol miktarda bulunması, atık madde salımının düşük olması, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynakları olmaları sebebiyle kullanımları her geçen yıl artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında büyük öneme sahip olan güneş enerjisi, geçmiş yıllardan beri sıcak su, kurutma, ısıtma uygulamaları ve havalandırma sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle son yüzyılda gelişen teknoloji ile beraber güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi de yaygınlaşmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretiminde yaygın kullanılan güneş enerjisi doğada bol miktarda bulunur. Ülkemizde güneş enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olması ve çevre dostu sürdürülebilir bir enerji çeşidi olması gibi etkenlerden dolayı en çok tercih edilen alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi günümüzde ısıtma, kurutma, sera ve elektrik enerjisi üretimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında potansiyeli en yüksek olan güneş enerjisi; kullanımı, kurulumu, ulaşımı gibi konularda birçok avantaja sahiptir. Avantajlarına verebilecek örnekler; çevre kirliliğine yol açmaması, yüksek, karmaşık ve zor bir teknolojiye ihtiyaç duyulmaması ile yerelde yaygın bir şekilde uygulanabilir olmasıdır (Karim ve Hawlader, 2004). Giderek artan ısıtma, soğutma ve elektrik enerjisi talepleri ve maliyetleri için güneş enerjisinden alternatif şekillerde faydalanılmaktadır. Güneş enerjisinden maksimum oranda verimli olarak faydalanılması için birbirinden farklı sistemler geliştirilmiştir. Gerek kurulum alanı gerek ışıyım şiddeti, güneşlenme süresi, güneşlenme radyasyon miktarı gibi parametreler bir alana FV kurulması için yeterli bilgiler değildir. Sistemden maksimum verim alabilmek için FV sistemlerde verimi etkileyen faktörlere dikkat edilmesi gerekir. Bu faktörlerin başında sıcaklık gelir.

Güneş enerjisi fotovoltaik (FV) hücrelere sahip teknolojisiyle elektrik enerjisi üretebilmektedir. FV hücrelerin verimi %15-20 civarındadır. Geri kalan enerji, ısı olarak atmosfere bırakılmaktadır. Aşırı sıcaklığın doğurduğu enerji kaybı sebebiyle güneş panelinin verimi %12 gibi değerlere düşmektedir. Güneş panellerinde verimi arttırmak ve sıcaklık faktöründen doğan bu enerji kaybını en aza indirmek için çeşitli çalışmalar mevcuttur. Hava soğutmalı, sıvı soğutmalı, faz değiştiren malzeme temelli ve ısı boru temelli soğutma sistemleri güneş panellerini soğutma alanlarından bazılarıdır. Bu sistemler sayesinde, FV hücrelerin yüzeyi zarar görmeden soğutulmaktadır. Son yıllarda faz değiştirici malzemelerin kullanım alanlarına FV sistemler de eklenmiştir. Güneş panellerinin soğutulması için kullanılmaya başlanması her sene giderek artmaktadır. Bilimsel çalışmalar sıcaklığı düşürmek için çeşitli faz değiştirici malzemeler kullanmıştır. Kalsiyum Hidrat en etkili olan faz değiştirici malzemelerden biri olup akademik çalışmaların çoğuna konu olan en yaygın faz değiştirici malzemedir. Parafin ve Yağ Asidi de hem ekonomik olarak hem de verime etkisinin yüksek olması gibi sebeplerden tercih edilmektedir.

Yapılan çalışmada; parafin, yağ asidi ve faz değiştirici malzeme (organik birleşik) kullanılan panel sıcaklığını azaltma, sıcaklık farkıyla gözlemlenebilen enerji üretimindeki verim değişikliği incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kaynak Araştırması

Fotovoltaik panel verimlerinin artırılması konusunda birçok bilimsel araştırma ve çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, araştırmacılar güneş paneli yüzeyinin soğutulması için akışkan maddeler veya kullanımı gittikçe yaygınlaşan FDM kullanmıştır. Fotovoltaik panel verimini etkileyen diğer parametreler olan güneş paneli sıcaklığı, yüzey kirliliği, malzeme kalitesi, gölgelenmenin etkisi, arazi konumu, kablolama vb. konular hakkında da birçok bilimsel çalışma mevcuttur. Faz değiştiren malzemelerin, güneş enerjisinden elektrik üretimi alanında yapılan bilimsel çalışmalarda kullanılması yakın tarihte yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu konuda yapılan çalışmaları incelediğimizde;

Boztepe (1995) güneş enerjisi potansiyelinin fazla olduğu yerlerde daha çok ihtiyaç duyulan soğutucuların peltier eleman kullanan bir uygulamasını incelemiştir. Yapılan çalışmada enerji kaynağı olarak güneş enerjisi (fotovoltaik-modüller aracılığıyla) kullanmıştır. Gereken miktarda peltier modül temin etmek mümkün olmadığı için mevcut peltier modül miktarının soğutabileceği bir hacim üzerinde çalışmıştır.

Keçel ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki sıcaklık farklarından dolayı oluşan kayıpların FV panelleri verimliliği üzerindeki etkileri incelemişler ve kullanılacak FV panellerdeki kayıpların en aza indirgenmesi için önerilerde bulunmuşlardır. Sarhaddi ve ark., (2010) yapmış oldukları çalışmalarında, FV kolektörünün yüzeyini soğutmak için panelin alt yüzeyinde hava kanalı oluşturmuşlar ve bu kanaldan hava geçirerek paneli soğutmaya çalışmışlardır.

Rodrigues ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, fotovoltaik panellerin çıkış gücü ve çıkış gerilimi (P-V) karakteristiğinin sıcaklık farklılığına bağlı değişimini göstermişlerdir.

Katkar ve ark. (2011) gerçekleştirdikleri çalışmada, FV panellerindeki sıcaklık artışının, güneş pili hücrelerinde üretilen akımı önemli oranda azalttığını belirtmişlerdir. Deniz (2013) yaptığı çalışmada Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar hususunda birçok

etkinin verimliliğe etkilerini araştırmış ve güneş panellerinin enerji üretim verimliliğini arttırmak için yapılacak tüm çalışmalara ışık tutmuştur.

Schwingshackl ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, FV hücre sıcaklığının tahmin edilmesinin FV kurulumunda önemli bir rol oynadığını ve rüzgârın FV hücre sıcaklığı üzerindeki soğutma etkisini incelemiştir. Bu araştırmacılar, standart hava tahminin yerine rüzgâr verilerinin kullanılmasını önerdi çünkü rüzgâr verilerinin tahmini standart hava tahmininden daha gerçekçi olduğu sonucuna varmışlardır.

Gürel ve ark. (2014) çalışmalarında, fotovoltaik panellerde soğutma işleminin nasıl etkiler oluşturabileceğini deneysel olarak incelemiştir. Spiral bir ısı değiştiriciyi güneş panelinin arka kısmına yerleştirerek soğutma işlemini gerçekleştirdiklerinde verim değerinin %13, gerçekleştirmediklerinde ise verim değerinin %10 olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca güneş ışınım şiddetinin arttıkça FV sistemin sıcaklık değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Duran ve ark. (2014) çalışmalarında Isparta ilinde su ile soğutma yöntemini kullanarak sistemin soğutulmasıyla elektrik üretiminde yaklaşık % 35'lik güç artışı elde etmişlerdir. Kiran ve Devadiga, (2014) çalışmalarında su ile soğutması yapılan bir FV/T sisteminin performans analizini incelemiştir. Sistemin elektriksel veriminin soğutma işleminden önce % 7.58 olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Soğutma işlemi yapıldıktan sonra ise soğutma işlemi yapılmayan duruma göre ısı verimin %50 oranında arttığı sonucuna varılmıştır. Utlu ve ark., (2014) güneş kolektörleri kullanarak ısıtma ve ısı enerjisinin depolaması konusunda yaptıkları çalışmada FDM'nin gizli ısını gözlemleme amacıyla tasarlanan gizli ısı depolarının verim miktarlarını incelemiştir. FDM olarak parafin maddesinin kullanıldığı gizli ısı deposu ile çalışan ısıtma sisteminin ısı performansları incelenmiştir.

Sudhakar ve Srivastava (2014) çalışmalarında, NIT Bhopal Enerji Merkezine kurulu 36W gücünde FV panelinin kapsamlı ve detaylı şekilde enerji ve ekserji analizlerini deneysel olarak incelenmiştir. Güneş paneli için enerji ve ekserji verimlilik miktarları sırasıyla yaklaşık olarak % 6 - % 10 ve % 8 - % 10 olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık miktarının, güneş paneli performansını olumsuz olarak

etkilediğini ve güneş paneli sıcaklığının azaltılması durumunda panelin ekserji verimliliğinin arttığı sonucuna varmışlardır.

Qui ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada Faz Değiştiren Malzemelerin sistem üzerindeki etkisi incelenmiştir. FDM'nin sistemin verim miktarına önemli ölçüde katkısı olduğu belirtilmiştir.

Fiorentini ve ark. (2015) hava ile soğutulan bir FV/T sisteminde faz değiştiren malzemenin sistem üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sistem, iç mekânı ısıtmak yahut soğutmak için kış ve yaz aylarında da çalışacağı düşünülerek tasarlanmıştır.

Sauer ve ark. (2015) tarafından hazırlanan "Modeling the Irradiance and Temperature Dependence of Photovoltaic Modules in FV syst" adlı çalışmada FV sistemlerin simülasyonunda, ışıınım miktarının ve hücre sıcaklığının güneş panellerinin performansındaki etkisi vurgulanmıştır. Çalışmada farklı ışıınım miktarı ve farklı sıcaklıklarda, PVsyst uygulaması kullanarak simülasyonlar elde edilmiştir. PVsyst uygulamasına göre optimize edilmiş modeller kullanılarak enerji tahminlerinde iyileştirmeler yapılabileceğinden bahsedilmiştir.

Esen ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada en iyi FV sistem verimliliğini sağlayan yükseklik miktarını deneysel olarak incelemiştir. Dört adet aynı özelliklere sahip FV modülünü farklı yüksekliklerde (0, 10, 20 ve 30 cm) eğimli bir alanda verimleri yönünden kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda yaptıkları hesaplamalara göre 20 cm yüksekliğindeki FV modülünün verimini en iyi olarak %19,66 oranı verisine ulaşmışlardır.

Stropnik ve ark. (2016) FDM'nin PV/T sistemi üzerine etkilerini araştırmışlardır. FDM'nin sistemi soğutma üzerindeki etkilerinin ve FDM'nin termal iletkenliğinin artırılmasıyla sistem veriminin arttığı sonucuna varılmıştır.

Kant ve ark. (2016) yapmış oldukları çalışmada faz değiştiren malzeme kullanılan FV panellerin yüksek gizli ısı depolama kapasitesine sahip olmalarından dolayı FV panelin yüzey sıcaklığının azalacağını öngörmüşlerdir. Kullandıkları akışkanlar dinamiği

programı ile ısı transferi modellemeleri neticesinde yüksek rüzgâr hızı ve eğim açısının FV panelin sıcaklığının azalmasında önemli bir yere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Kabeel ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada faz değiştiren maddelerden biri olan parafini kullanmışlardır. Deneysel şekilde düz ve V oluklu plaka biçimlerindeki hava ısıtıcılarını kullanarak incelemişlerdir. Faz değiştiren malzemeleri veya faz değiştiren malzeme bulunmayan güneş hava ısıtıcılarının ısıl performansını etkileyen parametreleri ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Faz Değiştiren Malzeme kullanılan bu V oluklu güneş ısıtıcısının günlük verimlilik miktarının, Faz Değiştiren Malzeme kullanılmayan güneş ısıtıcısına göre % 12 daha yüksek verime sahip olduğu ve düz plaka kullanıldığı takdirde günlük verimlilik değerinin % 15 daha yüksek verime sahip olduğu verilerine ulaşmışlardır.

Boztepe (2017) şebekeye bağlı olan bir (ongrid) FV sistemin performansını, bu sistemin ömrünü ve ürettiği enerji miktarlarını etkileyen önemli değişkenleri inceleyerek bu parametrelerin sistem üzerindeki etkilerini açıklamaya çalışmış ve üretilen bu enerjinin performansını en yüksekte tutmak için nasıl bir dizayn yapılması hakkında bazı önerilerde bulunmuştur.

Rajput (2018) Monokristal ve polikristal silikon güneş pilleri için sıcaklıktaki her bir derecelik artışın verimde yaklaşık %0,45 oranında azalmaya sebep olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Rezvanpour ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, faz değiştirici malzeme olarak tuz hidrat kullanarak, güneş panelinin sıcaklığında %38 değerinde azalma sağlayarak güneş panelinin verimi arttırmayı sağladılar.

Andre ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, FV sistemi su ile soğutarak ısı transferi üzerinde olumlu etkisinin olabileceğini öngörmüşlerdir. Yaptıkları çalışmada, su ile soğutulmuş olan fotovoltaik panellerin verimlilik değerlerinin yaklaşık %12 olarak arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Ertürk, (2018) çalışmasında, öncelikle polikristal bir fotovoltaik panelin üzerine farklı konumlarda ve bu konumlara yine farklı oranlarda gölgelenmeler uygulayarak gölgesi bulunmayan bir fotovoltaik panel ile enerji ve ekserji eğrileri, akım-gerilim (I-V) eğrileri ve güç-gerilim (P-V) eğrilerinin kıyaslamasını yapmıştır. Bir

sonraki aşamada fotovoltaik panelleri soğutmak amacıyla ve atık ısıyı depolamak için Faz Değiştiren Madde (FDM) kullanmıştır. FDM kullanılan güneş panelinde gölgelenme durumlarının fotovoltaik panelin performansına etkisini incelemiştir. % 50 dikey ve % 50 yatay gölgelenme durumlarını FDM kullanılan sistemler için test etmiştir.

Chen ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada havalandırma sistemlerinde termal enerji depolanmasında FDM kullanımını incelemiştir. Beijing bölgesinde bir ofis odasını çalışmanın yapılması ve araştırılması için seçmişlerdir. Odanın ısı transfer modeli ve termal modelinin performans eğrilerini çıkararak gece saatlerinde faz değiştiren madde kullanılmasıyla soğutma sağladıklarında elektrik enerjisinden elde ettikleri verim yaklaşık %16,9 ile %50,8 oranları arasında hesaplanmıştır.

Hossain ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, fotovoltaik termal sistemlerde FDM kullanımının enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. FDM olarak lorik asit malzemesini alüminyum folyodan hazırlanmış paketlerin içerisinde akış kanalına koyarak dakikada 0,5lt ile 4lt arasındaki farklı değerlerde çalıştırıp kolektörler için maksimum termal verim miktarını yaklaşık % 87,72 olarak hesaplamışlardır. Dakikada 2 lt debi kullanıldığında ise maksimum elektrik verim oranını % 9,88 ile % 11,08 arasında olduğu sonucuna ulaşmıştır. Maksimum ekserji verimi de yaklaşık % 7,09 ile % 12,19 arasında elde etmiştir.

Fudholi ve ark. (2019) tarafından hazırlanan bu makalede; Fotovoltaik termal (PVT) kolektörleri, güneş radyasyonunu direkt olarak elektrik ve termal enerjiye dönüştürür. Bir PVT toplayıcısı ile PV paneli ve düz plakalı güneş kolektörünün işlevlerini bir araya getirmiştir. Oldukça umut verici bir çalışma alanı açmıştır. Çift yüz PV parçalarında bulunan ön ve arka yüzeyleriyle güneş radyasyonunu her iki taraftan yakalayabilen iki aktif yüzey bulunması sağlanmıştır. Her iki yüzeyde de güneş ışığının daha fazla miktarda emilmesi ile geleneksel PV sistemlere kıyasla daha gelişmiş bir elektrik gücü üretimi meydana getirdi. Böylelikle çift yüz PVT dikkate alınarak enerji ve ekserji verimlilikleri de dahil olmak üzere çift yüz PVT için enerji ve ekserji verimlilikleri sırasıyla % 28 ile % 67 ve % 8,2 ile % 8,4 arasındaki verilere ulaşıldı.

Öksüz ve ark., (2019) tarafından yapılan çalışmada; güneş pillerinin % 30'dan daha düşük bir verimle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek ve dönüşüm

veriminin, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmakta olduğunu belirtmişlerdir. Fotovoltaik panellerinde, elektrik enerjisi verimi artırma çalışmalarının yanında termal enerjisi elde edilmek için bir hibrit PVT solar sistemi geliştirilmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, hazırlamış oldukları hibrit solar sistemlerinde PVT-su ile PVT-hava kullanarak güneş panellerinde hem elektrik hem de termal enerjisinin verimleri araştırmışlardır.

Yıldız ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada Batman ili iklim şartlarında farklı kanatçık yapılarında tasarladığı 4 adet hava ısıtmalı güneş kolektörlerini değişken hava hızlarında (1 m/s- 1,5 m/s- 2 m/s- 2,5 m/s- 3 m/s- 3,5 m/s ve 4 m/s) ısıtma performanslarının deneysel karşılaştırılması yapmıştır. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünde kurduğu deney düzeneğinde farklı günler ve hava hızlarında ısıtma performansına etki eden parametreleri sayısal olarak incelemiştir.

Er (2021) tarafından yapılan çalışmada içyapısı farklı şekilde tasarlanan üç farklı havalı güneş kolektörünün kıyaslanması amacıyla 3 m/s, 6,5 m/s hava hızında çalıştırılarak deneyler yapılmıştır.

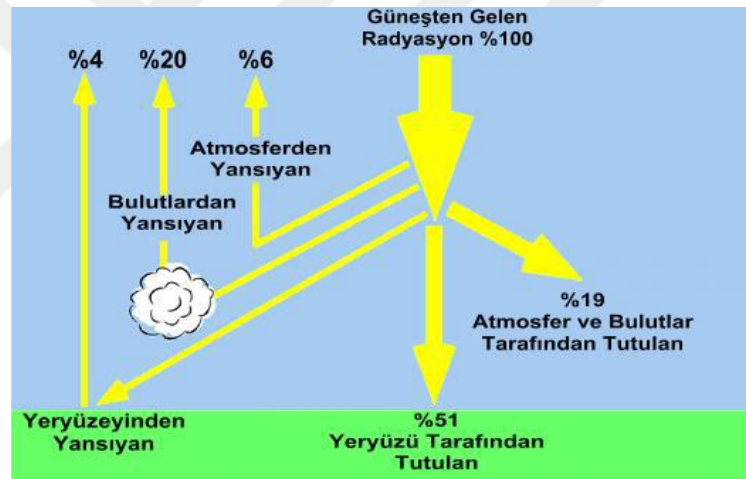
2.2.Güneş Enerjisi

Güneş, dünya gezegeninin enerji kaynağı olan hidrojen ve helyum gazlarından meydana gelmiştir. Merkezinde ölçülen sıcaklık yaklaşık $8-40 \times 10^6$ K değerindeyken yüzey sıcaklığı da yaklaşık 6000 K civarındadır. Güneş ile Dünya arasındaki uzaklık 150milyon km² olarak bilinmektedir. Güneş enerjisinin şiddeti dünya gezegeni atmosferinin dışında sabit olarak 1.370 W/m² değerindedir. Yeryüzüne ulaşan ışınımın miktarı ise yaklaşık olarak 0-1.000 W/m² değerleri arasında değişmektedir. Yeryüzüne ulaşan ışınım miktarı mevcut enerji tüketiminin 20.000 katıdır (Doğan ve ark., 2014).

Alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynakları arasında potansiyeli ve kaynağı en yüksek düzeyde olan ve dünyadaki tüm enerji kaynaklarının da dolaylı yoldan enerji kaynağı olan güneş enerjisidir. Ancak güneş enerjisi kullanılarak üretilen enerji sistemleri kurmak ve bu enerjileri depolamak için maliyetler oldukça yüksektir. Bu nedenle Güneş enerjisi ile enerji kurulumu tasarımlarında ve projelerin hayata geçirilmesinden önce muhakkak fizibilite çalışmaları yapılması gerekir. Bilim insanları ve

araştırmacılar geçmiş yıllardan günümüze kadar bu konu hakkında çalışmalar yapmış ve en doğru hesaplamaları yapabilmek için yerel olarak kendi bulundukları bölgede yahut dünyanın birçok bölgesi için birbirinden farklı değişkenlere bağlı modeller tasarlamışlardır (Yenisey ve ark., 2015).

Güneşten yeryüzüne gelen güneş radyasyonunun yaklaşık olarak % 51'i direkt şekilde yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne ulaşan bu güneş radyasyonu, yeryüzünün ve atmosferin ısınmasını sağlayarak buharlaşmaya neden olur. Bununla birlikte bitkiler tarafından fotosentez olayı da gerçekleşir. Geriye kalan güneş radyasyonu değerinin yaklaşık %49'unun %4'lük kısmı da yer yüzeyinden yansıma yapmaktadır. %26 oranında da atmosfer ve bulutlar aracılığıyla yansıma yapmaktadır. Kalan %19 kısım ise partiküller, atmosferde yer alan çeşitli gazlar ve bulutlar tarafından emilmektedir. Güneşten dünya gezegenine gelen ışınların dağılım oranları Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Anonim, 2022a).

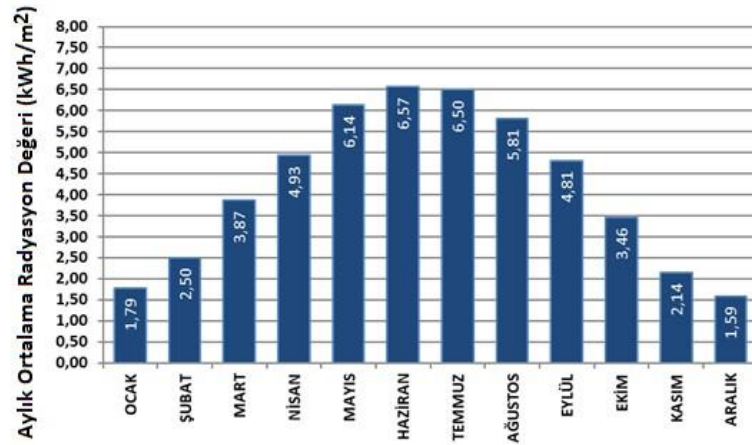


Şekil 2. 1. Güneşten Yeryüzüne Gelen Işınların Dağılımı (Anonim, 2022a)

2.2.1. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli

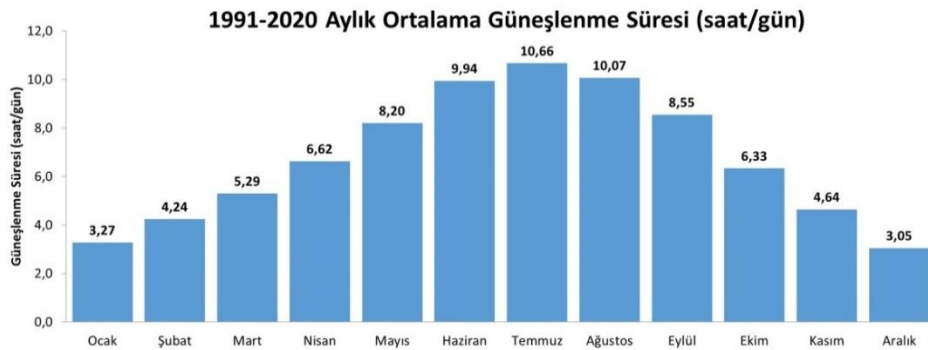
Güneş enerjisi kaynağına sonsuz ve tükenmeyen bir enerji kaynağı gözüyle bakılmaktadır. Yeryüzüne sadece bir yılda düşen güneş enerjisi miktarı şimdiye kadar bilinen fosil yakıt haznelerinin yaklaşık 160 katıdır. Fosil, nükleer ve hidroelektrik santrallerin ise bir yıllık üreteceği enerjinin yaklaşık olarak 15.000 katı kadardır. Ancak asıl sorun bunların kullanılabilir enerji formuna dönüştürülmesindedir (Şen ve ark., 2002; Ültanır, 1996).

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından dünyanın en yüksek verimli ülkelerinden biridir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre Türkiye, yılda 2.737 saat güneş ışığına ve 1.527 kWh/m^2 (Anonim 2022b) güneş ışınlamına sahiptir. Günlük ortalama $4,2 \text{ kWh/m}^2$ güneş enerjisi düşünüldüğünde bu ülkemiz için önemli bir enerji kaynağıdır (Kılıç, 2015) Şekil 2.2'de Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon değeri verilmiştir.



Şekil 2. 2. Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Radyasyonu Değeri (GEPA, 2020)

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi güneş radyasyonu aralık ayında en düşük, Temmuz ayında ise en yüksek değerine ulaşmaktadır. Metrekare başına düşen enerji miktarına göre değerlendirildiğinde en düşük elektrik üretimi aralık ayı, en yüksek elektrik üretimi Haziran ayıdır (YEGM, 2020).



Şekil 2. 3. Türkiye'nin 1991-2020 Aylık Ortalama Güneşlenme Süreleri (GEPA, 2020)

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), Türkiye'de güneş, hidroelektrik, biokütle, jeotermal ve diğer enerji kaynakları gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını bulma ve değerlendirme yetkisine sahiptir. YEGM, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde araştırma ve çalışmalarını sürdürmektedir. YEGM, özellikle güneş enerjisi ile ilgili yapmış olduğu çalışmaları kendi içerisinde çıkardığı 20.02.2001-4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (EPK) ile bu Kanun'a dayalı olarak hazırlanan Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'ne dayanarak güneş ve rüzgâr enerjisi alanlarında lisans almak amacıyla yapılan başvurularda Bakanlık tarafından hazırlanan yönetmelik doğrultusunda belirlenen kurallara uygun olarak görüşlerini ifade etmektedir (Kılıç ve ark., 2015).

YEGM'nin Türkiye için yayınladığı Şekil 2.4'de verilen haritaya göre; güneş enerjisi potansiyeline bakıldığında, güneş enerjisinden en çok yararlanan bölgeler açık ya da koyu kırmızı renk ile gösterilmiştir.



Şekil 2. 4. Türkiye Güneşlenme Süresi Atlası (MGM, 2020)

Bu bölgelere baktığımızda, güneş enerjisi kullanım olarak en yüksek potansiyele sahip olan ülkenin güney kesimleri iken kuzeye doğru bu oranların giderek azaldığı görülmektedir. Toplam güneş radyasyonu dikkate alındığında 1.450 ile 2.000 kWh/m²-yıl arasında değişmektedir (Anonim, 2022b). Bu bilgiler doğrultusunda Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından üretilen Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verileri incelendiğinde; Günlük ortalama toplam güneşlenme saati 7.50 saat/gün, yıllık ortalama toplam güneşlenme saati 2.741,07 saat/yıl, yıllık ortalama toplam ışınlam şiddeti

miktarı 1.527,46 kWh/m²-yıl ve günlük ortalama toplam ışıınım şiddeti miktarı ise 4.18 kWh/m²-gün şeklinde hesaplanmıştır (Anonim, 2022c).

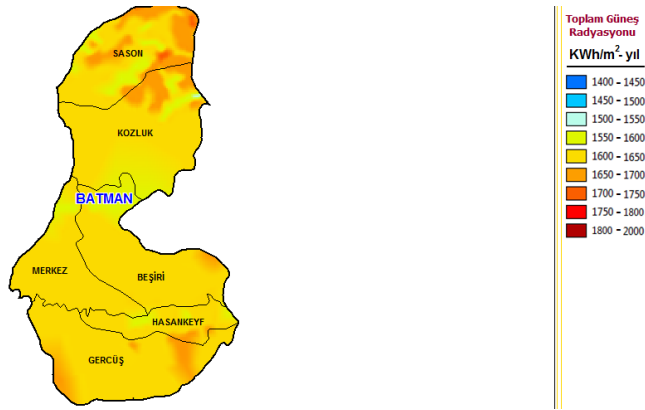
Uluslararası alanda kendini kanıtlamış bir model olan ESRI Solar Radyasyon Modeli kullanılarak elde edilen güneş enerjisi kaynak bilgileri, güneş enerjisi kaynak alanlarının kolayca taranmasını, ön fizibilite çalışmalarının yapılmasını ve enerji kaynak alanlarının keşfedilmesine yönelik Etütlerin zamanında ve ekonomik olarak yapılmasını sağlar. ESRI Güneş Radyasyon Modeli, Türkiye genelinde 500x500 metrelik çözünürlükte uygulanmış, toplam 3.120.000 adet şebeke oluşturularak her bir şebeke için güneş enerjisi kaynak veriler hesaplanmış ve ardından Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri ile elde edilen bu bilgiler haritalandırılmıştır. GEPA'nın hazırlanmasında noktasal bazda (500mx500m) ortalama olarak yaklaşık %±10 hata payı ile veriler elde edilerek bu bilgiler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DMİ) 148 adet ve Elektrik İşleri Etüt Dairesi'nin (EİE) 8 adet uzun dönemli güneş ölçüm verileri ile doğrulanmış ve kalibre edilmiştir. GEPA 2010 yılında basılarak satışa sunulmuştur (YEGM).

Türkiye'nin coğrafi konumu 36-42° kuzey paralelleri ile 26-45° doğu meridyenleri arasında bulunmaktadır (Anonim, 2022ç). Bulunduğu coğrafi konum sebebiyle güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilirken kuzey bölgelerde bulunan başka ülkelere göre avantajları ve birtakım üstünlükleri bulunmaktadır. Türkiye'de son yıllarda yapılmış olan güneş enerjisine yönelik yatırımların arttırılması ile birlikte güneş enerjisinin kullanım alanları ve değerlendirilmesi alanlarında önemli ve verimli çalışmaların sayısı giderek artmaktadır. Türkiye'nin, güneş enerjisi bakımından avantajının diğer dünya ülkelerine göre çok daha fazla olması bu enerji potansiyelinin verimli ve etkin bir şekilde kullanılması durumunu daha önemli bir hale getirmektedir. Güneş enerjisi kullanım alanları hakkındaki gelişmeler daha yakından takip edilerek hayatın ve teknolojinin birçok alanında güneş enerjisinden maksimum bir şekilde fayda sağlanmalıdır. Böylelikle ülke ekonomisindeki önemli bir gider payına sahip olan enerji harcamaları konusunda büyük bir gider payı azaltılarak elde edilecek tasarruf ile farklı ihtiyaçların giderilmesi sağlanarak ekonomide iyileşmeler gerçekleşecektir (Alan ve ark., 2013).

2.2.2. Batman'da güneş enerjisi potansiyeli

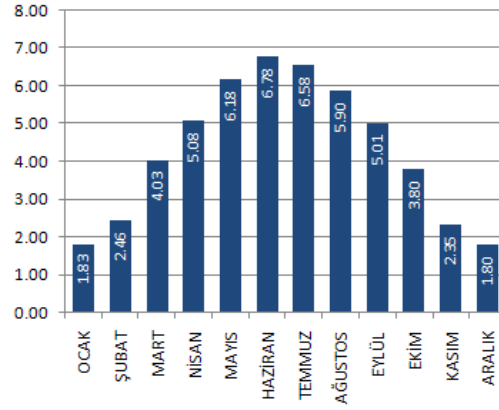
Ülkemizde bulunan her coğrafyanın kendine ait avantajları bulunmaktadır. Batman ili de özellikle enerji üretimine yönelik üç önemli avantaja sahiptir. Bunlar sonsuz ve yenilenebilir çevre dostu güneş enerjisi, petrol ve Batman çayının hidroelektrik enerji potansiyeli olarak sıralanabilir. Ancak bu önemli üç avantaj da yeteri kadar değerlendirilememektedir. Petrol bulunsa da hala ithal edilen pahalı yakıtlar kullanılmaktadır. Batman çayı üzerine kurulu hidroelektrik santrallerden biri olan “Batman Barajı” enerji ihtiyacını karşılayamamaktadır. Türkiye’nin en fazla güneşlenme potansiyeline sahip Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinden biri olup güneş enerjisinden rahatlıkla faydalanılabilecek sekiz aylık net potansiyele sahip olan Batman, bu alanda da yeteri kadar üretim yapmamaktadır.

GEPA verilerine göre oluşturulan Batman ili güneş radyasyon haritası Şekil 2.5’de verilmiştir.



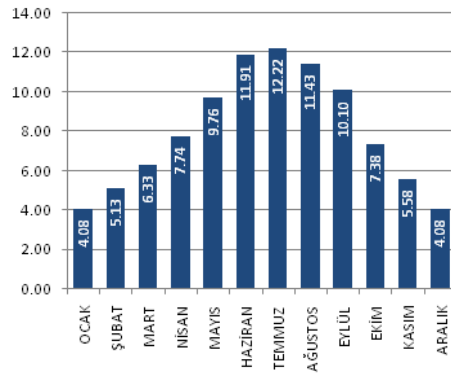
Şekil 2.5. Batman ili güneş enerjisi potansiyeli (GEPA, 2020)

GEPA verilerine göre oluşturulan Batman merkez global radyasyon grafiği Şekil 2.6’da verilmiştir.



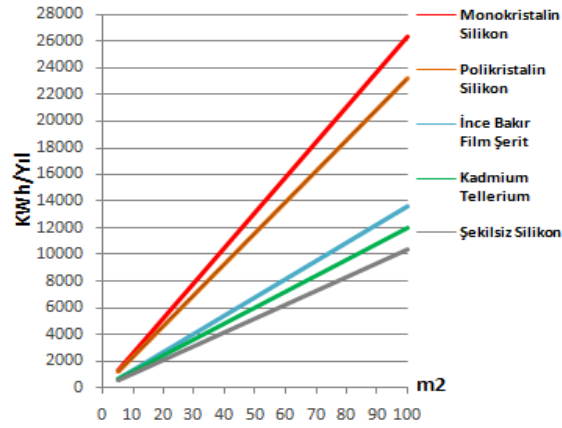
Şekil 2. 6. Batman merkez global radyasyon değerleri KWh/m² (GEPA, 2020) (MGM, 2020)

GEPA verilerine göre oluşturulan Batman ili güneşlenme süresi grafiği Şekil 2.7’de verilmiştir. Grafiğe göre en fazla güneşlenme sürelerine yaz aylarında ulaşıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2.7. Batman ili güneşlenme (saat) (MGM, 2020)

Batman ilinde kurulacak FV (Fotovoltaik) sistemlerde güneş paneli çeşitleri ve üretecekleri enerji potansiyeli grafiği Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Batman ili PV tiplerine göre üretilebilecek enerji miktarları (KWh-Yıl) (MGM, 2020)

Güneş panelleri teknolojisi 1839 yılından günümüze kadar hızla gelişmiş ve büyük oranda ilerleme gerçekleştirmiştir. Her geçen yıl artan enerji tüketim miktarı yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi teknolojilerine yönelimi artırmıştır. Teknolojinin günümüzdeki hali birçok FV sistem geliştirmiş ve bu sistemlerin verimlerini araştırarak maksimum verimli minimum maliyetli sistemler kurulmasını sağlamıştır. Solar sistemlerin yaygınlaşması verimlik ve maliyet parametrelerine bağlıdır. Verimlilik açısından kaydedilen ilerlemeler ile birlikte güneş panellerin maliyetlerinin azalması da enerji piyasasında Fotovoltaik Sistemler'in (FV) ve Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) yer edinmesinin artmasını sağlamıştır.

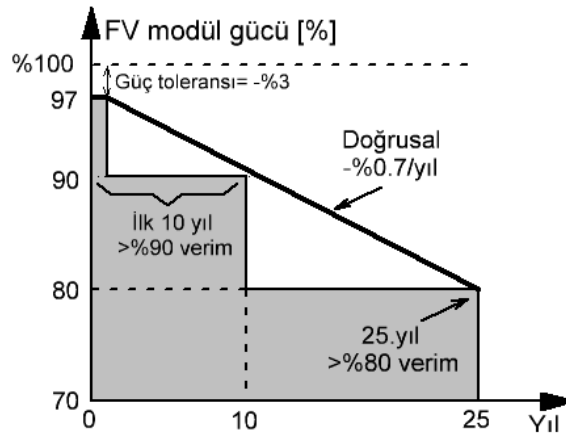
Batman ili Türkiye'nin güneyinde yer alarak en çok güneşlenme süresine sahip olan illerden biridir. Güneş Enerjisi Santrallerinin giderek artırılmasıyla enerji üretimi de artmış şehir kendi enerjisini üretebilen temiz şehirlerden biri olma yolunda ilerlemeye başlamıştır. Ancak yaz aylarındaki şiddetli sıcaklık ve kuraklığı kurulan ve kurulacak tüm PV sistemler için olumsuz bir parametredir. Aşırı sıcaklığın önlenmesi için güneş panellerinin soğutulması alanındaki bilimsel çalışmalar devam etmektedir. Fotovoltaik panellerden maksimum verimi alabilmek için panellerin enerji üretimini etkileyen parametreler iyi bir şekilde bilinmelidir.

2.3. Güneş Panellerinin Yapısı ve Verimini Etkileyen Faktörler

Güneş panelleri 36 ve üstündeki sayıda güneş hücresinin seri bağlanmasıyla meydana gelir ve laminasyon yöntemiyle hermetik şekilde paketlenerek dış ortamda bulunan bozucu etmenlerden uzak tutularak uzunca seneler (~25 sene) etkilenmemesi

sağlanır. Bir fotovoltaik güç sisteminin ömrünü yine FV panellerin ömrü belirleyeceği için sistem kurulurken FV panel seçimlerinde mümkün olduğunca uzun ömürlü olan güneş panelleri tercih edilmelidir. Genel olarak çoğu üretici firmanın 25.yılda yaklaşık %80 panel gücünü garanti ettiği bilinmektedir. Birçok firma güçteki azalmayı doğrusal olarak açıklarken bazıları ise 10.yılda % 90 ve 25.yılda %80 oranlarında güç garantisi şeklinde kademeli düşüş olarak belirtmektedir.

Şekil 2.9’da görüldüğü üzere, doğrusal düşüş eğrisi kademeli düşüş eğrisiyle kıyaslandığında daha geniş bir garanti kapsamını belirttiği için tercih edilmesi gerekir. FV panellerin güç toleransı $\pm\%2,5$ ile $\pm\%5$ arasında değişkenlik göstermektedir. Örneğin 200W’lık bir güneş panelinin güç toleransı %3 değerinde ise gerçek gücü 194W ile 206W arasında olabilir. Bu durum FV sistemlerde uyumsuzluk (mismatch) kayıplarının artmasına yol açan bir parametredir. Bu sebeple toleransı düşük olan güneş panellerin tercih edilmesi daha uygun olacaktır (Boztepe, 2017).



Şekil 2.9. PV garanti süreleri ve yıllara göre verimleri (Boztepe, 2017)

2.3.1. Maksimum güç noktası izleme ve gölgelenme etkisi

Panel verimini etkileyen ve verim hesaplamaları için önemli olan bir diğer parametre maksimum güç noktalarıdır. Seri ve paralel direnç ihmal edilirse bir güneş panelinin akım gerilim ilişkisi Eşitlik (2.1) ile hesaplanır.

$$I_{pv} = I_L - I_S \left(e - \frac{qV_{pv}}{nkT} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Burada;

V_{pv} : Güneş panelinin gerilimi

I_{pv} : Güneş panelinin akımı

I_L : ışık akımı

I_S : diyot doyma akımı

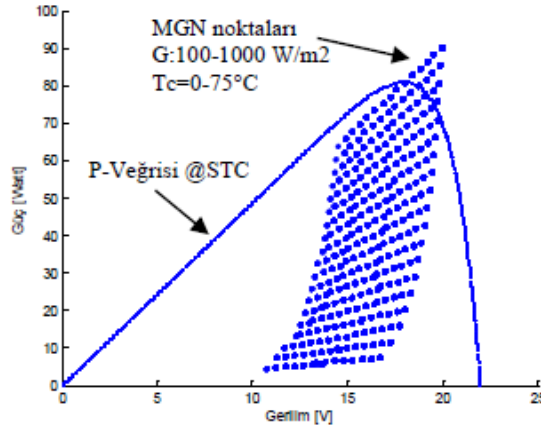
Q : elektron yükü

k : Boltzman sabiti

n :diyot faktörü

T :hücre sıcaklığıdır.

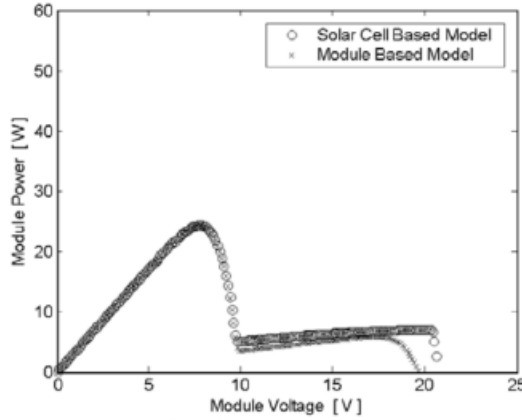
Işınım $G=100-1000\text{W/m}^2$ arasında ve hücre sıcaklığı $T_c=0-75^\circ\text{C}$ arasında değişirken 36 elemanlı tipik bir güneş panelin maksimum güç noktasının (MGN) değişimi Eşitlik (2.3) ile hesaplanarak Şekil 2.10 elde edilmiştir.



Şekil 2. 10. Maksimum güç izleme noktası güç-gerilim grafiği (Karatepe ve ark., 2007)

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere güneş panellerinin maksimum güç noktaları çok geniş bir aralıkta hareket edebilmektedir. Bu sebeple MGN noktasının takip edilmemesi durumunda panel çıkış gücü ve dolaylı olarak verimi ciddi oranlarda düşebilir. Kısmi gölgeleme durumu da panel verimini etkileyen bir diğer faktördür. P-V eğrisini önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin Şekil 2.11'de görüleceği gibi ışınlım 1000 W/m^2 seviyesinde iken yalnızca bir hücrenin gölgelenmesi bile (verilen örnekte gölgelenmiş hücre ışınlım miktarı 100 W/m^2 alınmıştır) iki tepe oluşmasına neden olmuş ve geleneksel

MGN izleyiciler en yüksek gerilim düzeyindeki tepeyi takip edeceğinden güneş panelinin gücü önemli miktarda düşmüştür (Karatepe ve ark., 2007).



Şekil 2. 11. Kısmi gölgelenme etkisi (Karatepe ve ark., 2007)

2.3.2. Sıcaklık etkisi

FV modüllerinin güç çıkışı ile güneş paneli modüllerinin sıcaklığı arasında ters bir orantı vardır. Güneş paneli modüllerinin sıcaklığı arttıkça fotovoltaiik modülde üretilen güç de azalır. Sıcaklığın yüksek olmasından kaynaklanan kayıplar hücre sıcaklığı ile doğru bir orantıya sahiptir. Ortam sıcaklığının yüksek seviyelere ulaşması durumunda hücre sıcaklığı da yükselir ve bu da üretilen enerji miktarının azalması sonucuna yol açar. Bir solar hücrenin, 20°C ortam sıcaklığı, 800W/m² ışınım ve 1m/s rüzgâr koşullarındaki sıcaklığın Hücre Nominal Çalışma Sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature - NOCT) olarak adlandırılır. Bu sıcaklık değerine FV modüller üreten firma kataloglarında da yer verilir. Herhangi bir ortam sıcaklığı ve 1000W/m² nominal ışınım değerlerinde olan bir fotovoltaiik modülün sıcaklığını bulmak için Eşitlik (2.2) kullanılmaktadır (Deniz, 2013);

$$T_c = T_a + \frac{NOCT-20}{0,8} GT \quad (\text{kW/m}^2) \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2) ile hesaplanan sıcaklık değeri, panel gücünün sıcaklığa bağımlılık katsayısı μ_p ile birlikte kullanılarak panelin çıkış gücü hesaplanabilmektedir.

$$P_m(T_c) = P_{m,STC} [1 - \mu_p (T_c-25)] \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.3)'de verilen $P_{m,STC}$ standart test koşullarındaki (STC) panel gücünü tanımlamaktadır. FV panellerde NOCT sıcaklığı yaklaşık olarak 42-52°C arasında değer almaktadır. Paneller arasındaki bu 10°C'lik sıcaklık farkı, sıcaklık bağımlılık katsayısı $\mu_p = 0,38-0,45\%/K$ arasında kabul edilmesi durumunda % 3,8-4,5 arasında güç farklılıkları ortaya çıkarır ki bu sonuç önemli bir miktara tekabül etmektedir. Bu sebeple güneş panelleri ile bir sistem kurulacağı zaman muhakkak NOCT sıcaklığı ile gücün sıcaklığa bağımlılık katsayısı birlikte değerlendirilmeli ve sıcaklıktan en az miktarda etkilenenler ile FV sistemler kurulmalıdır. Böylelikle sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda enerji üretim performans düşüşü de azaltılmış olacaktır (Boztepe, 2017).

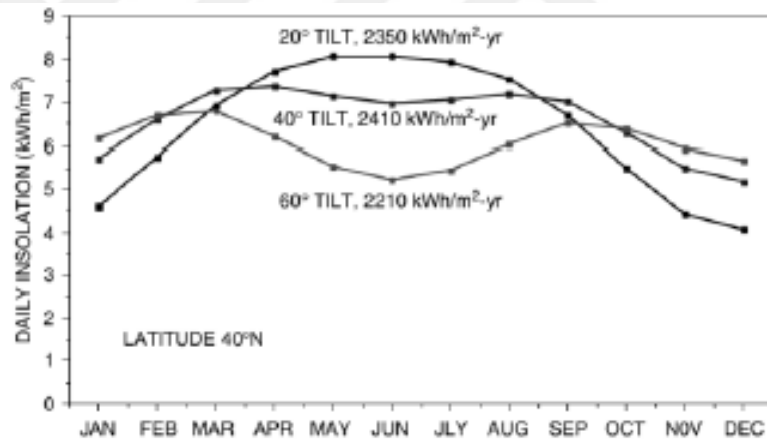
2.3.3. DC kablolama-kablo kayıpları

Bir elektrik tesisatı kurulurken kablo kesitleri; gerilim düşüm miktarına, çalışma voltajına, elektrik akımı taşıma kapasitesine ve kısa devre hesaplamalarına göre seçilir. FV sistemlerin elektrik tesisatı kurulurken de aynı parametreler geçerlidir fakat genellikle kablo üzerindeki güç kayıp miktarı %1 ile sınırlanır. Bu sebeple DC devrede gerilim düşümü yaklaşık $< \%1$ şeklinde olacak bir iletken tercihi yapılması yeterlidir. Sayı olarak fazla diziye sahip olan ve birbirinden farklı kesitlerde iletkenlerin olduğu durumlarda ise en bilinen yöntem olarak MGN (maksimum güç noktası) akımında bütün iletkenlerin üzerinde düşen I^2R kayıpları bulunarak toplam panel gücüne oranlanır. Ulaşılan değer %1 değerini geçmemelidir. 12-48V gibi düşük gerilimli sistemlerde ise %1 güç kaybını elde etmek için gereken iletken kesitleri çok daha büyük olabilir. Buna benzeyen durumlarda kayıp oranının %1 değerini biraz geçmesine izin verilebilir yahut paralel iletkenler kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken kısım kablo kayıpları arttıkça FV sistem enerji üretiminin de azalmasıdır (Boztepe, 2017).

2.3.4. FV panel yerleşimi

Güneş panelleri yüzeyine gelen güneş radyasyonu toplam miktarı ne kadar fazla olursa, elektrik enerjisi üretimi de o kadar fazla olacaktır. Birbiriyle doğru orantılı olan bu iki durum güneş panelleri ile bir sistem kurulacağı zaman dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesidir. Bu sebeple güneş panellerinin yerleşimi FV sistem için en önde gelen konulardan biridir.

Yapılan bilimsel çalışmaların analizlerinde genellikle panel doğrultusunun güney yönünü gösterdiği yani azimut açısının sıfır değerinde olduğu kabul edilmektedir çünkü yalnızca bu durumda gelen güneş radyasyonu maksimize edilebilmektedir. Şekil 2.12’de bir fotovoltaik panelin farklı eğim açılarında güneş paneli yüzeyine gelen güneş radyasyonunun yıllık değişimi gösterilmiştir. Verilen örnekte görüldüğü üzere eğim açısı arttıkça yaz aylarında gelen ışıınım miktarı azalırken kış aylarında ışıınım miktarı artmaktadır. Bir güneş enerjisi santrali sene boyunca sürekli aktif olacağı için sene boyunca bu toplamın en yüksek olduğu değer seçilmelidir. Açık gökyüzü ışıınım hesaplarına göre bu değer $E_{gim} = E_{nem}$ olarak ortaya çıkmaktadır ancak açık gökyüzü ışıınımında yağmur, bulutlanma, kar vb. gibi etmenler olmaması sebebiyle dengeli olmaktansa yaz aylarına daha ağırlık verilmesi ve $E_{nem} - 10 < E_{gim} < E_{nem}$ arasında bir hesap yapılması çok daha uygun olmaktadır (Boztepe, 2017).



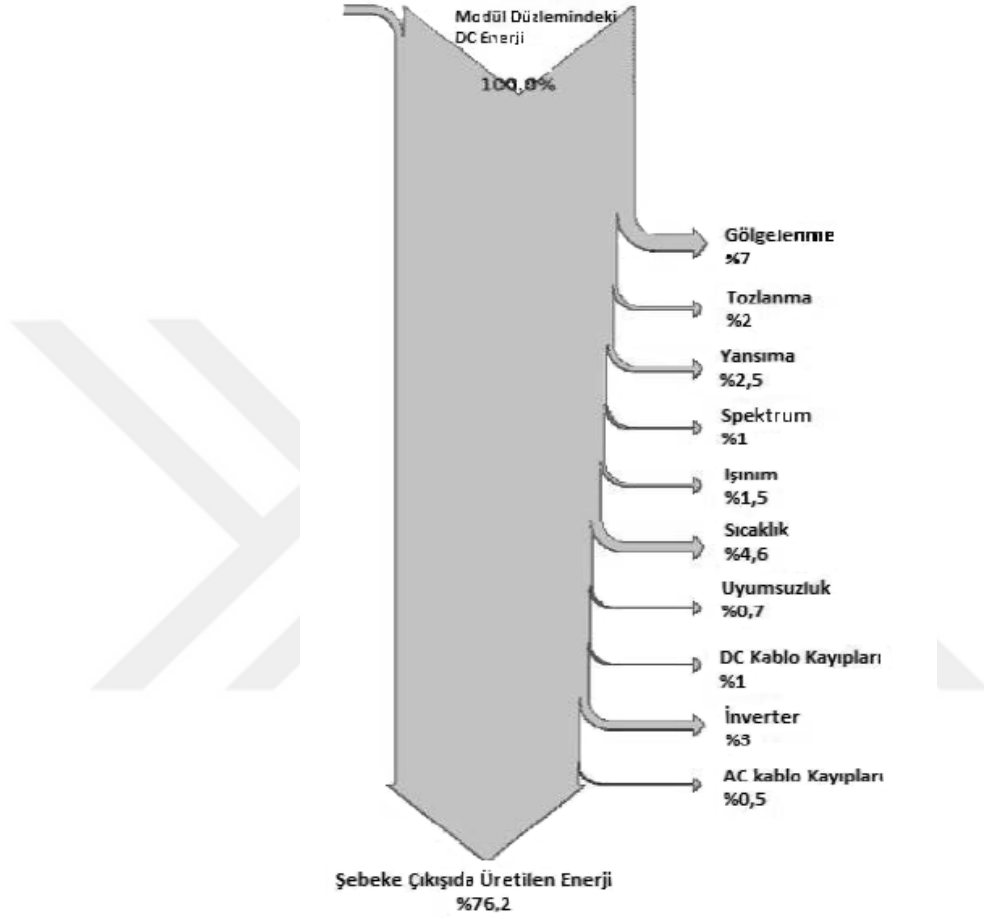
Şekil 2. 12. Yıllık ışıınım miktarı ile eğim ilişkisi (Boztepe, 2017)

2.3.5. Uyumsuzluk (mismatch) kayıpları

FV paneller birbirine seri bağı fotovoltaik hücrelerden meydana gelmektedir. Şebekeye bağı (Ongrid) bir FV sistemde eviriciye uygun bir gerilim miktarına ulaşabilmek için çok fazla sayıda FV panel birbirine seri bağılandığından, bu durum yüzlerce hücrenin birbirlerine seri bağı olarak aynı DC akımda çalışması anlamına gelmektedir. Burada uyumsuzluk (mismatch) kayıplarının olmasına engel olabilmek için bütün hücrelerin MGN (maksimum güç noktası) akımının aynı olması gerekmektedir.

Ancak uygulamada güneş panellerinin birbirinden farklı çalışma şartları altında bulunması ve üretim toleransları sebebiyle bu pek mümkün olmamakta ve mutlaka bir uyumsuzluk kaybı ortaya çıkmaktadır (Boztepe, 2017).

Şekil 2.13’de verilen değerlere göre uyumsuzluk kaybı miktarı % 0.7’dir.



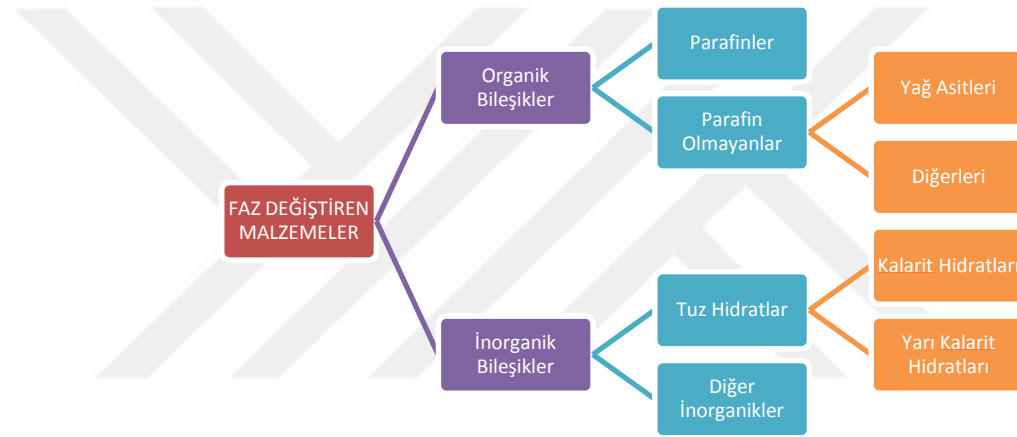
2.4. Faz Değiştiren Malzemeler ve FV Sistemlerde Kullanımı

2.4.1. Faz değiştiren malzemeler

Faz değiştiren maddeler (FDM) gizli ısı depolama sistemleri alanında kullanılmakta olan ve gelişen teknoloji ile yaygınlaşan depolama maddeleridir. Faz değiştiren malzemeler, enerjiyi sabit bir sıcaklıkta faz değiştirerek depolamaktadırlar. Faz değiştiren malzemeler (FDM, PCM) inorganik bileşikler ve organik bileşikler olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

İnorganik FDM'ler; iletkenlik değerleri iyi, ekonomik ve yanmazlık özellikleri ile avantajlı durumdadırlar. Olumsuz yönleri ise korozyon eğiliminde olmaları, faz değişimleri ve hidrat sayılarındaki azalmalardır.

Organik FDM'lere ise Şekil 2.14'de görüldüğü gibi parafinler ve yağ asitleri örnek verilebilmektedir. Organik FDM'lerin; bileşiklerin kararlı davranışları, soğumanın yavaş seyir etmesi zehirli atık bulundurmamaları, yüksek erime noktaları ve düşük buhar basınç değerleri avantajları olarak sayılabilmektedir. Dezavantajlı tarafları ise ısı iletkenliklerinin düşük, faz değişimleri esnasında hacim değerlerindeki büyük değişimleri ve yanıcı olmalarıdır (Kylili ve ark., 2016).



Şekil 2. 14. FDM'lerin sınıflandırılması (Kylili ve ark., 2016)

Son zamanlarda, birbirinden farklı ve çeşitli inceleme makalelerinde FDM'lerin sınıflandırılması yapılarak ısı transfer özellikleri ve uygulama alanları detaylı olarak incelenmiştir (Zalba ve ark., 2003; Sharma, 2009). FDM'lerin ısı aktarım ortamının etkin bir şekilde kullanılması, bu malzemelerin uygun kapsülleme araçlarının geliştirilmesi ile ilgilidir. Bu nedenle kapsülleme teknikleri temel olarak makro ve mikro kapsülleme olacak şekilde sınıflandırılmış (Zhao ve Zhang, 2011; Khudhair ve ark., 2004; Su ark, 2015) ve kapsülleme işleminde kullanılmış olan potansiyel kabuk malzemeleri (Jacob ve Bruno, 2015) birçok bilim insanı tarafından incelenmiş ve araştırılmıştır. FDM'ler makro boyuttaki tüpler; paneller, küreler, sabit şekilli kutularda veya torbalarda paketlenmektedir. Mikro kapsülleme teknikleri ise ısı transfer alanını genişletmek, FDM'lerin dış ortamla etkileşimini azaltmak ve faz değişimi sırasındaki hacim değişimini kontrol etmeyi sağlamaktadır (Zhao ve Zhang, 2011; Liu ve ark., 2016). Tablo 2.1'de FDM'lerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. 1. Faz değiştiren malzemelerin fiziksel, kimyasal ve ekonomik zellikleri (Kosny, 2015; Kancane ark, 2016; Macka ark, 2021)

Fiziksel zellikler	Kimyasal zellikler	Ekonomik zellikler
• Kararlı erime ve katılaşma döngüleri; • Erime-katılaştırma işlemleri için minimum sıcaklık aralığı; • Yeterli kristalleşme hızı • Yüksek gizli ısı geçişi • Isının kısa sürede depolanması ve serbest bırakılması için iyi ısı iletkenliği; • Faz değişiklikleri sırasında hacimde küçük değişiklikler • Faz değişim sıcaklığı; • Süper soğuma ve Hassas ısı emilimine ek olarak yüksek özgül ısı kapasitesi	• Yanmaya karşı dirençlilik • Diğer yapı malzemeleriyle iyi uyumluluk. • Yeterli mekanik stabilite • Birçok erime katılaşma döngüsünden sonra bozulmama;	• Yaşam döngüsü sonunda tekrar kullanıma uygunluk • Rekabetçi fiyat.

Faz değiştiren malzemeler çok sayıda ve eşittedir. Tablo 2.2’de FDM’lerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 2. 2. FDM eşitlerinin karşılaştırılması (Kosny, 2015; Farid ve ark, 2014; Cui ve ark, 2015)

ORGANİK FDM’LER	İNORGANİK FDM’LER
Parafinler	Tuz hidratlar
Mineral balmumu ve yağa verilen isimdir. En yaygın kullanıma sahip FDM eşitlidir.	Binalarda en yaygın kullanılan inorganik FDM türüdür. Yüksek faz değişim sıcaklığına sahip oldukları için binalarda kullanıma uygun değildir.
Yağ asitleri ve esterleri	
Parafine benzer ısı depolama yoğunluğuna sahiptir. Faz değişim sıcaklığı parafinler gibi yüksektir. Asidik yapıları nedeniyle	

çevre ile reaksiyona girebilirler.

Şeker Alkoller

Parafin ve yağ asitlerinden daha yüksek gizli ısıya ve yoğunluğa sahiptirler. 900°C-200°C arasındaki faz değişim sıcaklıkları sebebiyle bina uygulamaları için uygun değildir.

BioPCM'ler

Parafine alternatif olarak gıda endüstrisi atık ürünlerinin kullanımı ile geliştirilmiş yeni ve farklı bir FDM çeşididir. Maliyeti daha düşüktür. Parafin gibi yanıcı değildir. Çevreci bir FDM çeşididir. Hayvan yağlarından, soya, kakao ve palm yağı gibi bitkisel yağlardan üretilir. Bozulmaya uğramadan çok fazla kez faz değişimi geçirebilen, zehirli olmayan bir malzeme olarak sürdürülebilirlerdir.

Organik FDM Avantajları

Aşındırıcı değildir. Kimyasal dayanımları iyidir. Yapı malzemeleri ile kullanıma uygundur. Düşük buhar basıncı ve yüksek gizli ısıya sahiptirler.

İnorganik FDM Avantajları

Yüksek gizli ısıya sahiptirler. Yüksek ısı iletkenliğe sahiptirler Ekonomiktir. Yanıcı değildir.

Organik FDM'lerin Faz değişim sıcaklık aralığı

19-28°C

Organik FDM'lerin Faz değişim sıcaklık aralığı

25- 35°C

Füzyon ısısı

120 - 280 kJ/kg

Füzyon ısısı

120-280 kJ/kg

Yoğunluk aralığı

700-900 kg/m³

Yoğunluk aralığı

1300-1800 kg/m³

2.4.2. Faz değiştiren malzemelerin sınıflandırılması

2.4.2.1. Organik faz değiştiren malzemeler

Organik FDM'lerin sınıflandırılması parafin ve parafin olmayan FDM'ler olarak iki şekilde yapılmaktadır. Parafinlerin yapısı düz zincir şeklinde olduğu için erime sıcaklık değerleri ve faz değişim entalpileri karbon zincirinin uzunluğunun artmasıyla doğru orantılı artmaktadır. Molekül yapılarındaki karbon atomlarının sayısı 13 ile 28 arasında iken erime sıcaklıkları -5°C ile 60°C arasında olmaktadır (Mehling ve Cabeza, 2008). Parafin olmayan FDM'ler ise parafinler gibi birbirlerine yakın ve benzer özellikler göstermemektedirler. Her faz değiştiren malzemenin kendine özgü farklı özellikleri vardır (Sharma ark., 2009). Organik FDM'lerin birçok yönden avantajı ve üstünlüğü bulunmaktadır. Faz değiştiren maddeler, geniş sıcaklık aralığında kullanılabilirler (20°C-70°C) ve katı-sıvı faz geçişi gösterirler. Kimyasal olarak inert (kimyasal olarak aktif olmamaları) olmalarından dolayı yapı elemanlarıyla uyumlu özelliğe sahiptirler.

Faz değişimi esnasında küçük miktarda hacim değişimi göstermektedirler ve faz ayırımına uğramamaktadırlar. Uzun vadede değerlendirildiklerinde ısı olarak dayanıklı özelliktedirler ve yüksek gizli erime ısısına sahiptirler (120 J/g ile 210 J/g arasında). Zararlı veya tahriş edici özellikleri bulunmaz. Ayrıca tehlikesiz olmaları sebebiyle geri dönüştürülebilirler. Donma esnasında çok az aşırı soğuma gösterirler. Organik FDM'lerin bir diğer avantajı ise düşük maliyetli dolayısıyla ekonomik olmalarıdır. Dezavantajları ise kısmen de olsa alevlenebilmeleri ve plastik konteynırlarla her zaman uyumlu olmamaları, bunların yanı sıra düşük ısı iletkenlik özelliğine sahip olmaları (0,2 W/mK civarında) ve dolayısıyla daha büyük bir yüzey alanına ihtiyaç duymaları, organik FDM'lerin dezavantajlarına örnek verilebilir (Baetens ve ark., 2010).

Yapılan çalışmada Organik FDM grubundan Parafinler ve Yağ Asitleri de kullanıldığı için bu malzemelere ayrıntılı olarak değinilir ise;

2.4.2.1.1. Parafinler

Organik bir FDM çeşidi olan parafin, gizil ısı miktarının istenilen aralıklarda olması, kimyasal kararlılığı, diğer faz değiştiren malzemelere göre ekonomik olması ve

kolay erişebilirliği sebebiyle enerji depolamada kullanılan FDM çeşitlerinin başında gelmektedir (Zalba ve ark., 2013; Farid ve ark., 2004; Sari ve ark., 2008).

Parafin mumları genellikle düz zincirli alkanların $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$ karışımından oluşur. CH_3 zincirinin kristalleşmesi ile büyük miktardaki bir ısıyı salıverir. Parafinler güvenilirdir, daha ucuzdurlar ve korozyona uğramamaktadırlar. 500°C sıcaklık değerinin aşağısında kimyasal olarak inerttirler (kimyasal olarak aktif değildirler) ve kararlı yapıya sahiptirler.

Erime sırasında düşük miktardaki hacim değişimi ve düşük düzeyde buhar basıncı özelliği göstermektedirler. Parafinler genel olarak çok uzun erime ve katılaşma işlemleri için kullanışlıdır ve düzenli eriyebilme, iyi kristalleşebilme gibi özelliklere de sahiptirler. Ancak bazı istenmeyen özellikleri de mevcuttur. Bu özelliklere;

- Düşük ısı iletkenlik
- Plastik kaplar ile uyumsuz olma
- Orta derecede alevlenme gibi özellikler örnek gösterilebilir (Ahmet ark., 2012).

2.4.2.1.2. Yağ asitleri

Kimyasal olarak $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ şeklinde ifade edilen yağ asitleri organik faz değiştiren malzemeler sınıfındadır. Sıcaklığın yüksek olmadığı gizli ısı depolama tekniklerinden biri olarak kullanılmaktadır. Piyasada bulunan organik ve inorganik faz değiştiren malzemelere alternatif olarak kullanılabilirler (Suppes, 2003). Yağ asitleri parafinlerle karşılaştırılınca daha yüksek gizli ısı kapasitesine sahiptirler. Yağ asitleri aşırı soğuma eğilimi göstermeden sürdürülebilir erime-katılaşma davranışı gösterirler (Lane ve Glew, 1975; Herrick ve Golibersuch, 1978). Bu maddelerin piyasada bulunan en iyi faz değiştiren malzemeler oldukları söylenebilir. En büyük dezavantajları ise teknik sınıftaki parafinlerin fiyatına göre 2-2,5 kat daha pahalı olmalarıdır. Yağ asitleri orta derecede korozif özelliğe sahiptirler. Çeşitli yağ asitlerinin erime noktası ve gizli ısı değerlerine Tablo 2.3’de yer verilmiştir.

Tablo 2.3. Yağ asitlerinin erime noktası ve erime gizli ısıları (Lane ve Glew, 1975)

Madde	Formül	Erime noktası ($^\circ\text{C}$)	Gizli ısı (kJ/kg)	Grup no
Asetik asit	CH_3COOH	16.7	184	I
Polietilen glikol 600	$\text{H(OC}_2\text{H}_2\text{)}_n\text{.OH}$	20-25	146	I

Kaprik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8.\text{COOH}$	36	152	-
Elastik asit	$\text{C}_8\text{H}_7\text{C}_9\text{H}_{16}.\text{COOH}$	47	218	I
Laurik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}.\text{COOH}$	49	178	II
Pentadekanoik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{13}.\text{COOH}$	52.5	178	-
Tristearin	$(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})\text{C}_3\text{H}_5$	56	191	I
Miristik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}.\text{COOH}$	58	199	I
Palmitik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}.\text{COOH}$	55	163	I
Stearik asit	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}.\text{COOH}$	69.4	199	I
Asetamid	CH_3CONH_2	81	241	I
Metil fumarat	$(\text{CHCO}_2\text{NH}_3)_2$	102	242	I

Grup I: en ümit verici, grup II: ümit verici, - : yetersiz veri

2.4.2.2. İnorganik faz değiştiren malzemeler

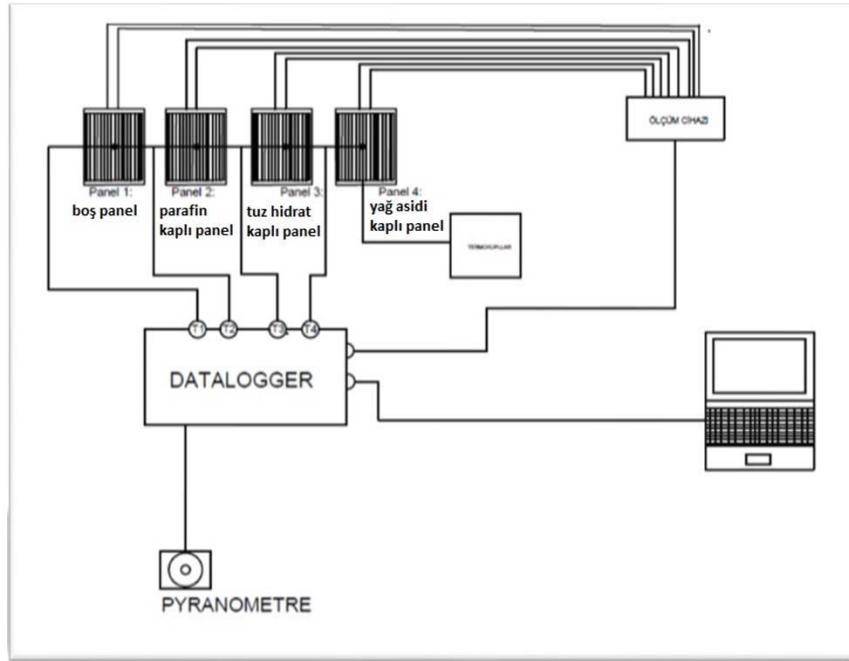
İnorganik FDM çeşitleri metaller ve alaşımlar, tuzlar, tuz hidratlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Sodyum sülfat dekahidrat $\text{Na}_2\text{SO}_4.10\text{H}_2\text{O}$ (Glauber tuzu), kalsiyum klorür hekzahidrat $\text{CaCl}_2.6\text{H}_2\text{O}$, sodyum tiyosülfat pentahidrat $\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_2. \text{H}_2\text{O}$, sodyum asetat trihidrat $\text{CH}_3\text{COONa}.3\text{H}_2\text{O}$ ve baryum hidroksit oktahidrat $\text{Ba}(\text{OH})_2 .8 \text{H}_2\text{O}$ gibi tuz hidratlar düşük maliyetleri sebebiyle araştırma alanlarında sıklıkla yer almışlardır (Verma ark, 2008). İnorganik maddeler organik maddelere kıyasla birim hacimde iki kat daha fazla depolama kapasitesine sahiptirler (Verma ve ark., 2008; Mohamed ark, 2017). Ayrıca inorganik FDM'ler yüksek sayılardaki erime/donma çevirimden sonra erime ısısını (350 MJ/m^3) koruyabilme özelliklerine rağmen uyumsuz erime özelliğine sahiptirler (Sharma ark, 2015). İnorganik FDM'lerin avantajları olarak; yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmaları, hacimsel olarak yüksek gizli erime ısılarının olması, ucuz ve kolay erişilebilir olmaları sıralanabilir. Ancak bu olumlu özelliklerinin yanı sıra, tuz ve tuz hidratların aşırı soğuma özelliği göstermeleri ve faz ayrımına uğramaları, çoğu metale karşı korozif (aşındırıcı) olmaları, tahriş edici yapıda olmaları ve yüksek hacim değişimi gösterme gibi özellikleri dezavantajları olarak sayılabilir (Mert ark., 2018)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Seti ve Yöntem

FV (Fotovoltaik) hücrelerin verimi yaklaşık %15-20 civarındadır. Aşırı sıcaklığın doğurduğu enerji kaybı sebebiyle güneş panelinin verimi %12 gibi bir değere düşmektedir. Güneş panellerinde verimi arttırmak ve sıcaklık faktöründen doğan bu enerji kaybını en aza indirmek için çeşitli çalışmalar mevcuttur. Hava soğutmalı, sıvı soğutmalı, faz değiştiren malzeme temelli ve ısı boru temelli soğutma sistemleri güneş panellerini soğutma alanlarından bazılarıdır. Bu sistemler sayesinde, FV hücrelerin yüzeyi zarar görmeden soğutulmaktadır. Yapılan çalışmada; faz değiştiren malzeme olarak parafin, yağ asidi ve kalsiyum klorür hekza hidrat kullanılarak panel sıcaklığının düşürülmesi böylece sıcaklık farkıyla gözlemlenebilen enerji üretimindeki verim değişikliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üç adet 110W gücünde güneş panelinin (P2, P3, P4) arka kısmına sabitlenmiş cam muhafaza ve camdan yapılan bu levhaların içine; yağ asidi, parafin ve kalsiyum klorür hekzahidrat FDM'leri ayrı ayrı olarak konulmuştur. 1 adet 110W monokristal panele (P1) ise herhangi bir uygulama yapılmamıştır.

Bu amaçla dört farklı sistem araştırılmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır: bir klasik FV modülü, bir yağ asidi ile teması sağlanan FV modülü, bir kalsiyum klorür hekzahidrat ile teması sağlanan FV modülü ve bir adet de parafin malzemesiyle kaplanan FV modülü. Deneyler Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü'nde temmuz ayında gerçekleştirilmiştir. Deney çalışmalarının sonucunda ölçülen değerler ve elde edilen veriler enerji esaslı analiz edilmiştir. Çalışmada hazırlanan dört farklı FV sistem yan yana monte edilerek aynı çevre şartlarında deneysel olarak test edilmiştir. Bu çalışma için kurulan deney seti ölçme elemanları ile birlikte Şekil 3.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Deney sistemi projelendirilmesi

Daha açıklayıcı olması adına kullanılan fotovoltaik panellerin numaralandırılmış isimleri aşağıdaki Tablo 3.1’de verilmiştir.

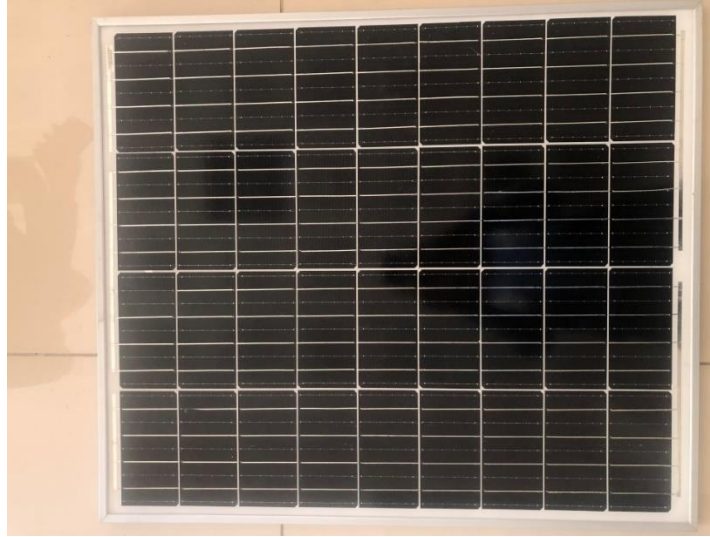
Tablo 3. 1. Deney setinde kullanılan FV panellerin isim ve numaralandırılmaları

P1	Herhangi bir FDM kullanılmamış Arka Yüzeyi Boş Panel
P2	Parafin FDM’si Eklenmiş Panel
P3	Kalsiyum Klorür Hekza Hidrat FDM’si Eklenmiş Panel
P4	Stearik Asit FDM’si Eklenmiş Panel

3.2. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan malzemeler Batman Üniversitesi BAP kapsamında temin edilmiştir. Deneyde kullanılan güneş panelleri (SOLARENERJİ TS-M364-105) modeldir. Bunlardan dört adet güneş paneli kullanılmıştır.

Kullanılan 4 adet monokristal panelin hepsi 110W gücündedir ve aynı teknik özelliklere sahiptirler. Deneyde kullanılan fotovoltaik paneller özdeş paneller olup her panel için ayrı deney düzeneği hazırlanmıştır. Şekil 3.2’de kullanılan 110W gücünde Monokristal panel verilmiştir.



Şekil 3. 2. 110W Monokristal Panel

Güneş panellerinin yerleştirilmesi ve sabit durmaları için panel ölçülerine uygun olarak üretilen L demir profillerden oluşan ayarlanabilir konstrüksiyon yaptırılmış ve paslanmaya karşı antipas ile boyanmıştır. Konstrüksiyon ayaklarının vidalı ve somunlu olarak monte edilmesi kolay özelliklerde ayarlanmıştır. Konstrüksiyon üzerine yerleştirilmiş güneş paneli Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3. 3. 110W Monokristal panel konstrüksiyonu

Deney düzeneğinde kullanılmış olan fotovoltaik panellerin teknik özellikleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3. 2. SOLARENERJİ TS-M364-105 panel teknik özellikleri

Ağırlık	5,87
Bağlantı Kutusu	IP65, 3 diyot
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-40°C ~ +85°C
Çıkış Gücü Toleransı	±%5
Çıkış Kablosu Kesiti	4mm ²
Hücre Sayısı	36
Konnektör	MC4 veya MC4 uyumlu
Maksimum Güç (Pmax)	110W
Ön Taraf (Cam)	3,2mm düşük demir oranlı, temperli anti-röfle cam
Hücre Tipi	Mono
Açık Devre Voltajı (Voc)	24,05
Maksimum Güç Voltajı (Vmp)	20,6V
Kısa Devre Akımı (Isc)	5,13A
Maksimum Güç Akımı (Imp)	4,86A
Ölçüler	4,86A

3.3. Deney Kurulumu

Güneş panellerini FDM ile soğutmak için panellerin arka yüzeyine sızdırmaz cam tabakası monte edilmiştir. Camlardan FDM sızmasını engellemek için Selsil marka suya dayanıklı silikon kullanılmıştır. Deneylere başlanılmadan önce sızma olasılığına karşı birçok kez Şekil 3.4’de görüldüğü gibi su ile test edilmiştir.



Şekil 3. 4. Cam çerçevenin silikonlanması ve sızdırmazlık testi aşamaları

FV modüllerdeki anlık akım ve gerilim değerlerini ölçen multimetre cihazı Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3. 5. Multimetre cihazı

Kullanılan multimetre UNI-T UT33D+ model olup teknik özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3. 3. UNI-T UT33D+ multimetre ürün özellikleri

DC Gerilimi	200mV / 2V / 20V / 200V / 600V $\pm(0,5\%+2)$
AC Gerilimi	200V / 600V $\pm(1,2\%+3)$
DC Akımı	2000 μ A / 20mA / 200mA / 10A $\pm(1\%+2)$
Direnç	200 Ω / 2k Ω / 20k Ω / 200k Ω / 20M Ω / 200M Ω $\pm(0,8\%+2)$
Ekran Sayısı	2000
Güç	1,5V pil (R03) x 2

Görüntüle	66mmx51mm
Net Ağırlık	206g (piller dahil)
Renk	Kırmızı ve gri
Ebat	134x77x47mm

Rüzgar hızı ölçer olarak UNI-T UT363S markalı dijital anemometre kullanılmış olup Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3. 6. Rüzgâr hızı ölçer (anemometre)

Rüzgar hızı ölçer olarak UNI-T UT363S markalı dijital anemometre kullanılmış olup teknik özellikleri Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3. 4. UNI-T UT363S dijital anemometre teknik özellikleri

Özellikler	Menzil	Çözüm	Doğruluk
Rüzgâr hızı	0,4 ~ 30m / s 1,4 ~ 108km / saat 78 ~ 5905ft / dakika 0,7 ~ 58knots 0,8 ~ 67mph	0~99:0.01 100~999:0.1 -1000:1	(±% 5 + 0,5m / s) (±% 5 + 1,5km / st) (±% 5 + 100 ft / dakika) (±% 5 + 1knots) (±% 5 + 1mph)
Sıcaklık	-10 ~ 50°C 14 ~ 122°F	0.1°C 0.2°F	2.0°C± 4.0 ± °F
Rüzgar ölçeği	0 ~ 12	1	± 1
Özellikler			
Örnekleme oranı		0.5s	
Birimler		m/s, km / sa, ft/dak, deniz mili, mph, °C / °F	
Aşırı yük göstergesi		√	
Otomatik aralığı		√	
Otomatik kapanma		√	

Düşük batarya göstergesi	✓
Veri tutma	✓
MAKS / MIN / AVG	✓
Arka Işık	✓
Çalışma sıcaklığı	0°C ~ 40°C
1m düşme testi	✓
Genel Karakteristik	
Güç	1,5V pil (R03) x 3
Görüntüle	35mm x 32mm
Ürün rengi	Kırmızı ve gri
Ürün net ağırlığı	365g
Ürün boyutu	120mm x 53mm x 43mm

Deney yapılırken belli periyotlarda güneş ışıının miktarını ölçmek için Şekil 3.7’de verilen CEM DT-1307 model solarimetre kullanılmıştır.



Şekil 3. 7. Güneş ışıının miktarı ölçer (solarimetre)

Deney yapılırken belli periyotlarda güneş ışıının miktarını ölçmek için CEM DT-1307 model solarimetre kullanılmış olup teknik özellikleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3. 5. CEM DT-1307 güneş ışıının miktarı ölçer (solarimetre) teknik özellikleri	
Ölçüm Aralığı	1999W/m ² veya 634BTU (ft ² *h)
Hassasiyeti	±10W/m ² (±3 BTU) veya ±5%
Çözünürlük	1W/m ² , 1BTU (ft ² *h)
Ölçüm Birimleri	W/m ² , BTU (ft ² *h)
Çalışma Sıcaklığı ve Nemi	5°C ... +40°C, %80 nem altı
Saklama Sıcaklığı ve Nemi	-10°C ... +60°C, %70 nem altı

Ekrani	LCD ekran
Ebat	162 x 63 x 28mm
Güç Kaynağı	3 Adet 1,5V AAA pil
Tepki Süresi	Yaklaşık 0,25saniye
Ağırlığı	176gram

Şekil 3.8’de verilen ELİMKO 680 marka Dataloger cihazı ile bilgisayar arasında USB bağlantısı sağlanarak cihaza ait özel bir yazılımla sıcaklık değerleri kaydedildi.



Şekil 3. 8. Dataloger (veri toplama cihazı)

Dataloger cihazına ait teknik özellikler Tablo 3.6’da gösterilmiştir

Tablo 3. 6. Elimko 680 data loger cihazına ait teknik bilgiler

Dataloger Bilgileri	Özellikleri
Doğruluk Değeri	0,5
Gösterge Değeri	9 Digit LED (14 mm)
A/S Çevirim Değeri	16 bit
S/A Çevirim Değeri	12 bit
Giriş Seçme Aralığı	0,2-9,9Saniye/Kanal
Gösterge Tarama Aralığı	1,99Saniye/Kanal
Gürültü Bastırma Değeri	120 dB 50 Hz’de
Çalışma Ortamı Sıcaklığı	-10-500°C
T/C Ortam Sıcaklık Kom.	0-500°C
Kontak Formları	Alt (LO) veya üst (HI)
Sabit Bant	0-9999 EU*
Çalışma Gerilimi	85-265V AC / 85-375V
DC	20-60V AC / 20-85V DC
Güç Sarfı	Max-7W
Kontak Kapasitesi	NA Kontak 250V AC 5A
Giriş İşareti	T/C, R/T, mA, mV, V
Ölçü Elemanı	Termokupl Rezistans termometre Standart ve özel çıkışlı transmitter ve çeviriciler
Bellek	EEPROM max. 105 yazma
Ağırlık	650gr.

Kullanılan teknik cihazlar bu şekilde sıralanırken aşağıda kullanılan FDM’ler verilmiştir.

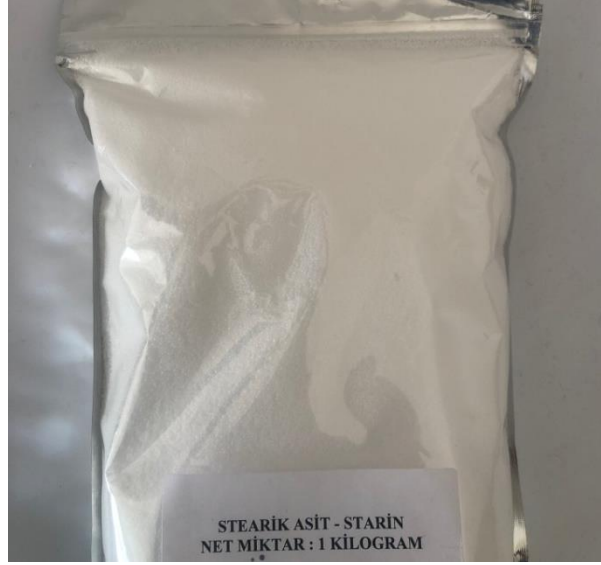
Parafin; petrol, neft ve katrandan çıkarılan, katı, beyaz ve yarı saydam bir bileşiktir. Mum yapımında, ambalaj endüstrisinde, yalıtma ve tuvalet malzemesi olarak, eczacılıkta, patlayıcı ve plastik maddelerin yapımında, dokuma endüstrisinde ve elektrik malzemelerinin yapımında kullanılmaktadır. Şekil 3.9'da kullanılan parafin malzemesi verilmiştir.



Şekil 3. 9. Parafin

Erime noktasının düşüklüğü ve ekonomik olması sebebiyle tercih edilen parafinin erime sıcaklığı, yaklaşık olarak 50-70°C sıcaklıklardadır. Bir adet güneş panelinin arka yüzeyi 5kg miktarında parafinle kaplanmıştır.

Şekil 3.10 kimyasal formülü $C_{18}H_{36}O_2$ olan doymuş bir yağ asididir. Fiziksel hali toz şeklindedir. Sabun ve mum yapımında, ilaç ve kozmetikten tekstil gibi birçok sektörde kullanım alanı mevcuttur. Erime sıcaklığı yaklaşık 56-69°C'dir. Bu çalışmada FDM olarak tercih edilmesinin sebebi daha önce yağ asitleri ile soğutma çalışmalarının yapılmamış olması ve bilimsel olarak bu alana katkı sağlama amacıdır.



Şekil 3. 10. Yağ asidi grubu stearik asit

Şekil 3.11’de verilen İnorganik FDM Grubu Tuz Hidratlar sınıfından olan Kalsiyum Klorür Hekzahidrat malzemesinin kimyasal formülü $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ’dur. Molekül ağırlığı 219,08 gr/mol olan bu malzeme kokusuz, beyaz renkte ve kristal formunda olan bir hammaddedir. Erime noktası yaklaşık 30°C civarında olduğu için soğutma deneylerinde tercih edilmektedir.



Şekil 3. 11. İnorganik FDM grubu kalsiyum klorür hekzahidrat

Sigma-Aldrich marka Kalsiyum Klorür Hekzahidrat malzemesinin teknik özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3. 7. Sigma-Aldrich marka Kalsiyum Klorür Hekzahidrat malzemesinin teknik özellikleri

Görünüm Fiziksel hali	Katı
Renk	Renksiz
Koku	Kokusuz
pH	5,0 - 7,0 nin 219,1 g/l nin 25°C
Erime noktası/Donma noktası Erime noktası/erime aralığı	30°C
Bağıl yoğunluk	1,71 g/mL nin 25°C
Saklama Sıcaklığı	2-8°C
Molekül ağırlığı	219,08g/mol

Şekil 3.12’de görüldüğü şekilde, Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü bina terasına kurulumu yapılan güneş panellerinin optimum eğim açılarının analizi Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan yatay (enlem) düzleme gelen ışınım değerinin eğim açısına göre yapılmıştır.



Şekil 3. 12. Güneş panellerinin kurulumu

Paneller aynı açıda yan yana olacak şekilde sabitlendi. Ardından sıcaklık verilerinin alınması için termokupl bağlantıları yapıldı. Her bir güneş panelinden alınacak sıcaklık değerlerini ölçmek amacıyla Şekil 3.13’deki K tipi termokupllar kullanıldı. Termokupl adlı malzeme farklı iki alaşımın uçlarının kaynaklanması şeklinde kullanılan temel bir sıcaklık ölçü malzemesidir. Bu termokupllar güneş panellerinin belirli noktalarına montelendi. Deneylerde kullanılan termokupla ait teknik özellikler Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

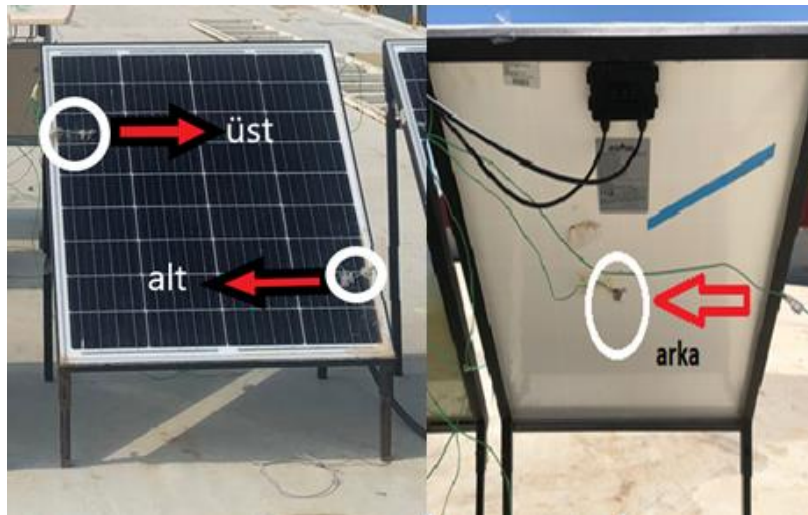


Şekil 3. 13. Sıcaklık ölçümleri için k tipi termokupl

Tablo 3. 8. Termokupl Teknik Özellikleri

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

Şekil 3.14’de görüldüğü gibi Termokupl bağlantıları her bir güneş paneli için alt, üst ve arka yüzey olmak üzere üç değer alınacak şekilde yapıldı.



Şekil 3. 14. Termokupl bağlantıları

Termokupllar güneş panellerine silikon yardımıyla sabitlenerek olabilecek bağlantı kopmalarına karşı önlem alındı. Dış ortam sıcaklığını ölçmek amacıyla ayrıca bir adet termokupl kullanıldı.

Deney verilerini desteklemek amaçlı olarak termal kamera kullanılmıştır. Deneyde kullanılan fotovoltaiik paneller arasındaki sıcaklık farkları görüntülenmiştir. Şekil 3.15’de sistemde kullanılan termal kamera görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. 15. Testo 881-2 termal kamera

Termal kameranın teknik özellikleri Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3. 9. Testo 881-2 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° /0,1m (standart lens)
Geometrik çözünürlük	3,3mrad (standart lens) 1,0mrad (telephoto lens)
Görüntü yenileme hızı	33Hz for UE, other wise 9Hz
Odak	Manuel
Spektra aralık	8 to 14 µm
Görsel	
Görüntü ekranı	3,5” lcd with 320x240piksel
Ölçüm	
Sıcaklık aralığı	-20°Cto +100°C
Keskinlik	0°Cto + 350°C değiştirilebilir.
Minimum çap ölçüm noktası	± 2°C ± 2 % of mv (-20°C to +350°C) 10mm at 1m (standart lens)
Çevre koşulları	
Çalışma sıcaklık aralığı	-15°Cto +40°C
Hava nemi	-30°Cto +60°C
Fiziksel özellikleri	
Ağırlık	900pr
Boyut	152x108x262mm

3.4. Deneylerin Yapılması

Tüm ölçüm cihazları ve bağlantıları yapıldıktan sonra Dataloger verileri bilgisayar üzerinden izlendi. Şekil 3.16'daki çizelge verileri doldurulurken Veri Toplama Cihazından gelen anlık verilerden faydalanılmıştır.

1					panel 1							panel 2					panel 3					panel 4											
2		rüzgar		ortam	(boş)							(parafin)					(kalsiyum hekza)					(stearik asit)											
3	dakika	saat	hızı	g. radyasyon	sıcaklığı	üst	alt	p1 ön	p1 arka	gerilim	akım	p1 güç	üst	alt	p2 ön	p2 arka	gerilim	akım	p2 güç	üst	alt	p3 ön	p3 arka	gerilim	akım	p3 güç	üst	alt	p4 ön	p4 arka	gerilim	akım	p4 güç
4	10'	09:00																														0,00	
5	20'	09:10																														0,00	
6	30'	09:20																														0,00	
7	40'	09:30																														0,00	
8	50'	09:40																														0,00	
9	60'	09:50																														0,00	

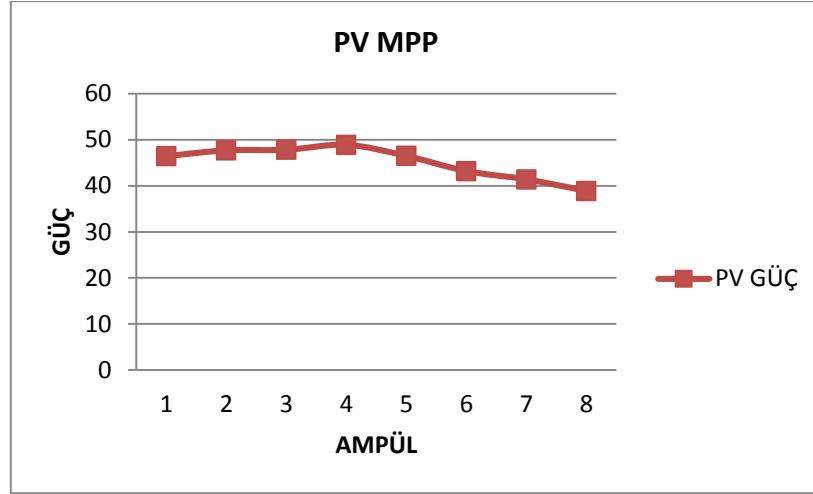
Şekil 3. 16. Deney verilerinin çizelgesi

Ardından sistemdeki her güneş panelinin verim, ortalama sıcaklık, sıcaklık farkı vb. bazı genel bilgilerin hesaplanarak analiz edilmesi için veriler elde edilmiştir. Deneylerin yapıldığı sırada hava koşullarında oluşan farklılıklar ve dalgalanmalar (gölgeleme vb.) not edilerek sıcaklık değerlerindeki artış veya azalışların sonuçları anlamlandırılması amaçlandı.

3.5. Panellerin Maksimum Güç Noktalarının Bulunması

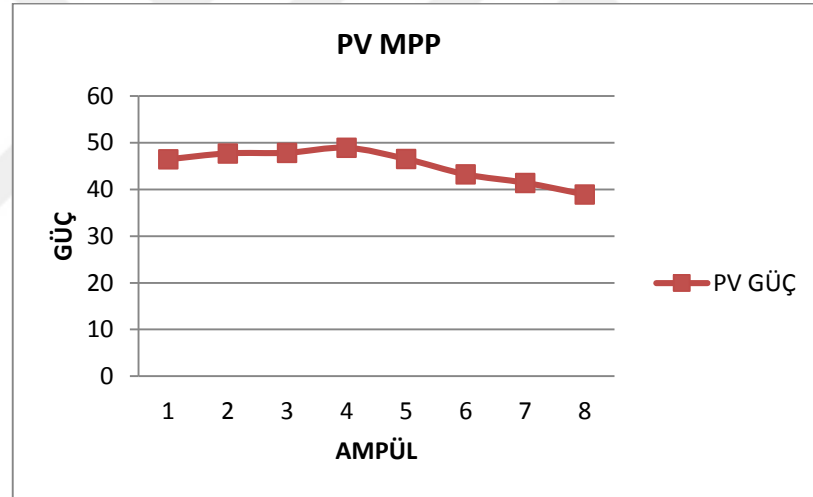
Fotovoltaik panellerin maksimum verimi sağladığı maksimum güç noktası, güneş ışınım miktarına, güneş ışınımı açısına ve panelin sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametreler dinamik olduğu için, yükün maksimum güçte çalışma noktası değişkenlik gösterebilmektedir (Badak ve ark., 2020).

Yaklaşık 7 farklı radyasyon aralığında her bir güneş paneli için MMP noktaları bulundu. Şekil 3.17'de 850-900 W/m²K radyasyonu aralığındaki maksimum güç noktası grafiği verilmiştir. En düşük MMP (Maksimum Güç Noktası) değerine bu radyasyon aralığında ulaşılmıştır. Güneş radyasyon değerinin düşük olması sebebiyle FV panellerin ürettiği güç de düşmüştür.



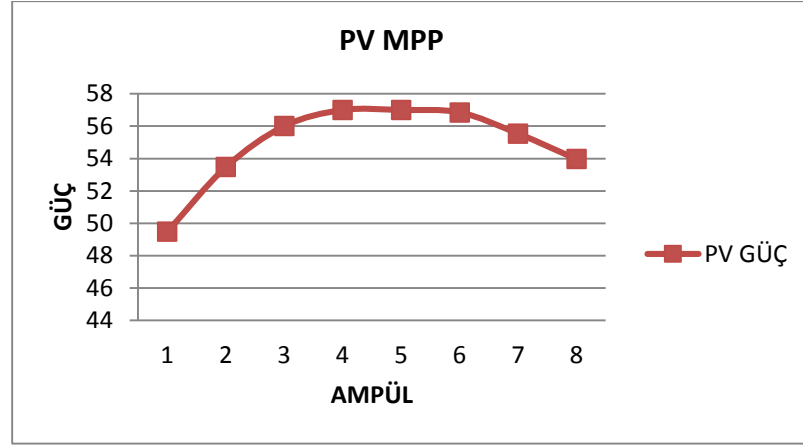
Şekil 3. 17. 850-900 W/m²K radyasyon aralığındaki MMP grafiği

Şekil 3.18’de 900-950 W/m²K güneş radyasyonu aralığındaki maksimum güç noktası grafiği verilmiştir.



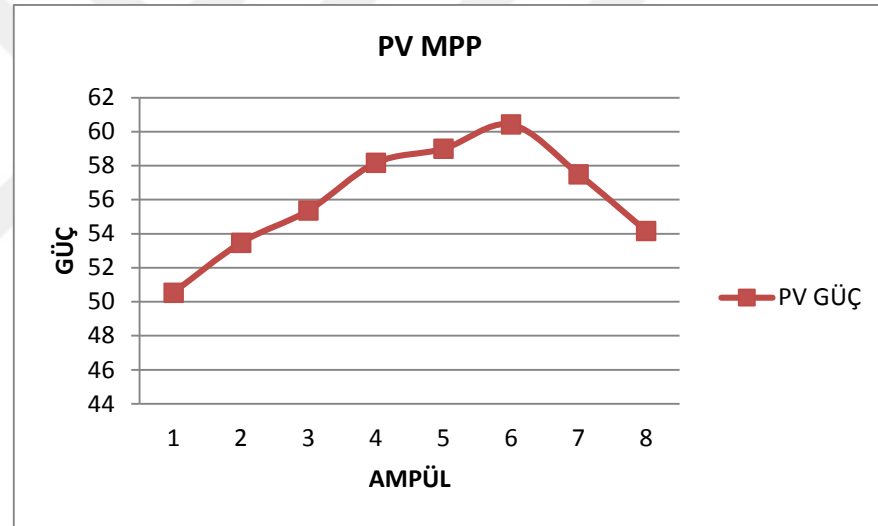
Şekil 3. 18. 900-950 W/m²K radyasyon aralığındaki MMP grafiği

Şekil 3.19’de 950-1000 W/m²K güneş radyasyonu aralığındaki maksimum güç noktası grafiği verilmiştir.



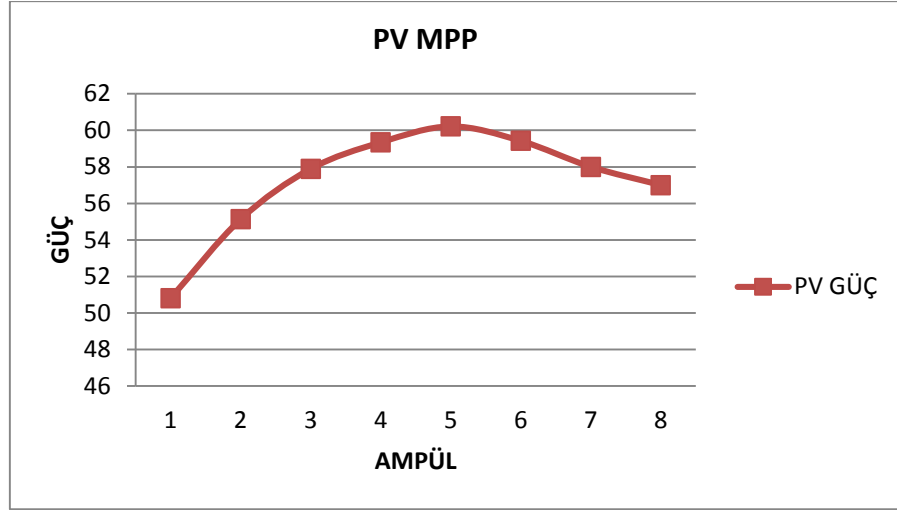
Şekil 3. 19. 950-1000 W/m²K radyasyon aralığındaki MMP grafiği

Şekil 3.20’de 1000-1050 W/m²K güneş radyasyonu aralığındaki maksimum güç noktası grafiği verilmiştir.



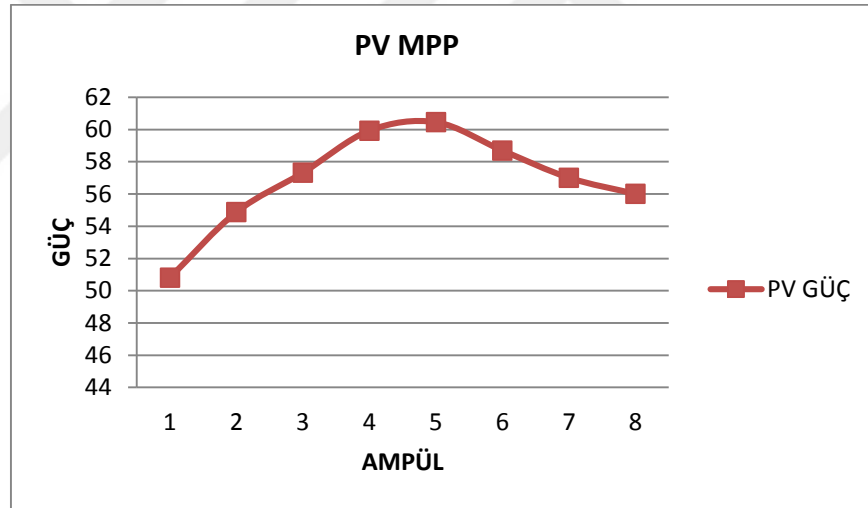
Şekil 3. 20. 1000-1050 W/m²K radyasyon aralığındaki MMP grafiği

Şekil 3.21’de 1050-1100 W/m²K güneş radyasyonu aralığındaki maksimum güç noktası grafiği verilmiştir.



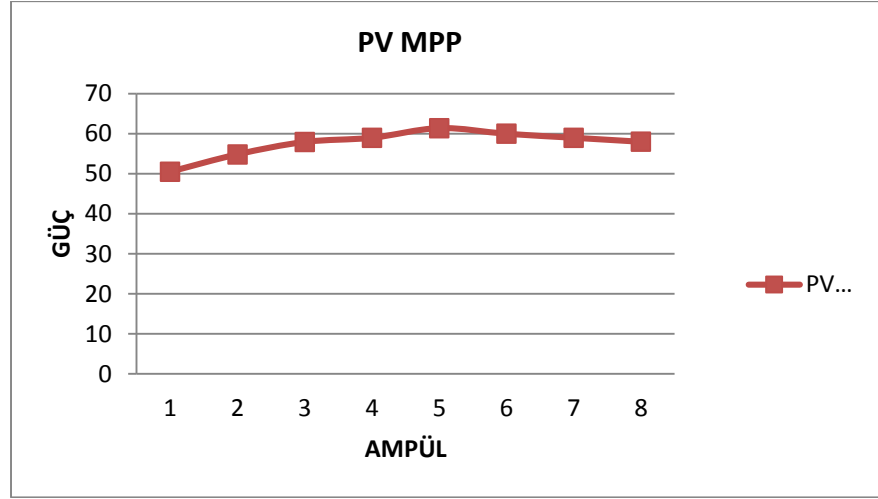
Şekil 3. 21. 1050-1100 W/m²K radyasyon aralığındaki MMP grafiği

Şekil 3.22’de 1100-1150 W/m²K güneş radyasyonu aralığındaki maksimum güç noktası grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 22. 1100-1150 W/m²K radyasyon aralığındaki MMP grafiği

Şekil 3.23’de 1150-1200 W/m²K güneş radyasyonu aralığındaki maksimum güç noktası grafiği verilmiştir. Güneş radyasyon değerinin en yüksek olduğu bu değerlerde MMP değeri de en yüksek güce ulaşmıştır.



Şekil 3. 23. 1150-1200 W/m²K radyasyon aralığındaki MMP grafiği

3.6. Teorik Hesaplamalar ve Hata Analizi

Güç hesabı panelde üretilen gerilimin akım ile çarpımıdır. Eşitlik (3.1) verilmiştir.

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

Sistem üzerinde elde edilen elektriksel verim değeri için FV üzerine gelen enerji miktarının toplamı ve elektriksel gücün çarpımına oranıdır. Eşitlik (3.2) ile hesaplanmıştır.

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

$$\eta_e = 0,09$$

Burada;

η_e : Elde edilen elektriksel verimdir (%).

Q_e : Elde edilen elektriksel gücü ifade etmektedir (W).

G : Güneş ışınımını ifade etmektedir (W/m²).

A : FV yüzey alanı (m²) 'dır.

3.6.1. Hata analizi

$$\eta_{PV} = \frac{V_{PV} \times I_{PV}}{I_t \times A_m} \quad (3.3)$$

Fotovoltaik modülün verim değeri için, panelden ölçülen akım değerleri (I_{FV}) ve voltaj (V_{FV}) çarpımının, toplam fotovoltaik alanı (A_m) ve güneş ışınımı (I_t) çarpımına oranıdır. Belirsizlik denklemi Eşitlik (3.4) ile hesaplanmıştır.

$$W_{\eta_{PV}} = \left[\left(\left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial V_{PV}} W_{V_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_{PV}} W_{I_{PV}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial I_t} W_{I_t} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{PV}}{\partial A_m} W_{A_m} \right)^2 \right) \right]^{1/2} \quad (3.4)$$

Belirsizlik yüzdesi miktarı ise Eşitlik (3.5) ile hesaplanmıştır.

$$\frac{W_{\eta_{PV}}}{\eta_{PV}} \times 100 \quad (3.5)$$

Kullanılan cihazların ve ölçüm aletlerinin doğruluk değerleri; alan için $\pm 0,01m^2$, voltaj için $\pm 0,01V$, akım için $\pm 0,1A$, ışınım için $\pm 0,04$ olarak baz alınmıştır.

Sistemdeki toplam belirsizlik analizi aşağıda belirtilen Eşitlik (3.6) ile hesaplanmıştır (Yıldız, 2021).

$$W_s = \left[\left(\left(\frac{\partial S}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_3} W_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right) \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

Burada;

- x_1, x_2, x_3 :Bağımsız değişken değerleridir.
- S :Ölçülmesi gereken büyüklüktür.
- W_1, W_2, W_3 :Bağımsız verilere ait hata oranları
- n :Bağımsız değişken sayısıdır.
- W_s :Toplam belirsizlik değeridir.

Deneyde kullanılan fotovoltaiik panellerin gücü, üretimlerinden kaynaklana bilinecek 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 Eşitlik (3.7) gibi olur.

$$Ws = \left[(W_{cihaz})^2 + (W_{okuma})^2 + (W_{bağlantı})^2 \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

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

$$Ws = \pm 5W$$

Deney sisteminde sıcaklık değerleri için belirsizlik denklemi aşağıda belirtilmiştir. Ölçüm cihazından kaynaklı belirsizlik değeri 0,5 iken bağlantı noktasından kaynaklı değeri 0,25 olarak alındığında toplamda oluşacak belirsizlik değeri Eşitlik (3.8) ile hesaplanır.

$$Ws = \left[(W_{dataloger})^2 + (W_{okuma})^2 + (W_{bağlantı})^2 \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

Radyasyon değerlerini ölçmek için kullanılan cihazın belirsizlik değeri 0,05 ve ışıyım şiddetinin okunması sırasındaki belirsizlik değeri 1 olarak alındığında toplam oluşacak belirsizlik değeri Eşitlik (3.9) ile hesaplanır.

$$Ws = \left[(W_{solarmetre})^2 + (W_{okuma})^2 \right]^{1/2} \quad (3.9)$$

Deney düzeneğinde kullanılan FV panellerin sıcaklık değerlerinin ölçümleri için kullanılan termokuplların hata miktarı hesaplaması ve belirsizlik hesabı aşağıdaki denklemde hesaplanmıştır. Kalibrasyon için %0,5 iken termokupl %1, termokuplların konumu %0,5 hata payı olarak alındığında oluşacak toplam belirsizlik Eşitlik (3.10) ile hesaplanmıştır.

$$Ws = \left[(W_{termokupl})^2 + (W_{okuma})^2 + (W_{bağlantı})^2 \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

Denklem üzerinde yapılan hesaplamalar doğrultusunda hesaplanan belirsizlik değerleri sonucunda kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmüştür. Toplam belirsizlik değeri Tablo 3.10’da gösterilmiştir.

Tablo 3. 10. Belirsizlik Analizi Tablosu

Cihazlar	Teknik özellikleri	Hassasiyet	Belirsizlik
Panel	Ölçüm aralıkları 0-105W	$\pm 5W$	$\pm 5W$
(Elimko-680)	Ölçüm aralığı	$\pm \%0,5^{\circ}C$	$\pm 0,75^{\circ}C$
(Dataloger)	$-60^{\circ}C / +280^{\circ}C$		
Solar metre	Ölçüm aralığı	$\pm 10W/m^2$	$\pm 1W/m^2$
CEM DT-1307	$-1999W/m^2$ veya $634BTU (ft^2 \cdot h)$		
Termokupl	Ölçüm aralığı $-60^{\circ}C / +280^{\circ}C$	$\pm \%0,5^{\circ}C$	$\pm 1,22^{\circ}C$

3.6.2. Enerji analizi

Fotovoltaik sistemin enerji dengesi Eşitlik (3.11)’daki gibidir.

$$E_{\eta_{PV}} = E_{\eta_{PV},elektrik} + E_{\eta_{PV},termal} \quad (3.11)$$

$E_{\eta_{PV},elektrik}$ Sisteminde elektrik üretimi $E_{\eta_{PV},termal}$ ile ise sistemin ısı kayıpları temsil edilmiştir. Eşitlik (3.12) ile hesaplanmıştır.

$$E_{\eta_{PV},elektrik} = V_{oc} I_{sc} \quad (3.12)$$

V_{oc} açık devre voltajını, I_{sc} kısa devre akımını göstermektedir. Eşitlik (3.13) ile hesaplanmıştır.

$$E_{\eta_{PV},termal} = h_{ca} A_c (T_c - T_a) \quad (3.13)$$

Fotovoltaik sisteminin çevreden kaynaklı oluşan ısı kayıpları Eşitlik 3.14’de verilmiştir. Kararlı halde hücre sıcaklığı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$4T_c^5 - 3T_aT_c^4 - T_aT_s^4 = 0 \quad (3.14)$$

Fotovoltaik hücreden çevreye olan ısı kaybı rüzgâr hızına bağlı olarak aşağıdaki bağlantı gibi verilmiştir. Eşitlik (3.15) ile hesaplanmıştır.

$$h_{ca} = 2,8 + (0,3xv) \text{ için } 0 \leq v \leq 7 \text{ ms}^{-1} \quad (3.15)$$

Bu problemdeki v, FV üzerinde ölçülen rüzgâr hızıdır. Fotovoltaik sistemin toplam enerji dengesi Eşitlik (3.16) ile hesaplanmıştır.

$$E_{\eta_{PV}} = V_{oc}I_{sc} + h_{ca}A_c(T_c - T_a) \quad (3.16)$$

Mühendislik alanında 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 Eşitlik (3.17) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{PV} = \frac{E_{\eta_{PV}}}{I_s x A_c} = \frac{V_{oc}I_{sc} + h_{ca}A_c(T_c - T_a)}{I_s x A_c} \quad (3.17)$$

Fotovoltaik panellerden yalnızca elektrik enerjisi üretimi açısından faydalandığında verimlilik hesabı için sadece elektrik enerjisine dönüşen kısım alınır. $E_{PV,E}$ sistem tarafından bir gün boyunca üretilen enerjinin Wh cinsinden değeridir. FV sistemin günlük elektrik verim hesabı Eşitlik (3.18) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{PV,D} = \frac{E_{PV,E}}{E_s} \quad (3.18)$$

Elde edilen değerler ve deney verileri sonucunda FV sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Tablo 3.11’de hesaplamalar sonucunda fotovoltaik sistemin enerji analiz değerleri verilmiştir.

Tablo 3. 11. FV enerji analiz sonuçları

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

3.6.3. Ekserji analizi

Fotovoltaik sistemde üretilen elektrik ekserjisi, mevcut olan enerjinin alabildiğince tamamını faydalı olacak şekilde kullanmayı hedefler. Ekserji dengesi Eşitlik (3.19)'daki gibidir.

$$Ex_{PV} = Ex_{PV,elektrik} + Ex_{PV,termal} + Ex_{PV,-d,elektrik} \quad (3.19)$$

Burada;

$Ex_{PV,elektrik}$ = PV : Sistemin elektrik ekserjisini,

$Ex_{PV,termal}$: dış ekserji kayıplarını

$Ex_{PV,-d,elektrik}$: iç ekserji kayıplarını temsil etmektedirler.

İç kayıplar elektrik enerjisinde kusursuz yalıtım olmamasından ötürü yıkımdan, dışsal kayıplar ise dış ortamdaki ısı kaybından meydana gelmektedir. FV sistemin elektrik ekserjisi, enerjiye benzer şekildedir. Sistemin elektrik ve termal ekserji kayıpları Eşitlik (3.20), (3.21) ve (3.22)'deki gibidir.

$$En_{pv,elektrik} = V_{oc}I_{sc} \quad (3.20)$$

$$Ex_{PV-d,elektrik} = V_{oc}I_{sc} - V_mI_m \quad (3.21)$$

$$Ex_{pv,terma} = \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_c}\right) x (h_{ca}A_c(T_c - T_a)) \quad (3.22)$$

$$\psi_{PV} = \frac{Ex_{PV}}{Ex_{güneş} x A_c} = \frac{V_m I_m - \left(1 - \frac{T_\infty}{T_c}\right) x (h_{ca} A_c (T_c - T_a))}{\left[\left(1 - \frac{T_\infty}{T_c}\right) x I_s\right] x A_c} \quad (3.23)$$

Düzeneğin ekserji analizleri hesaplanması için kullanılan formüller Tablo 3.12.'de verilmiştir.

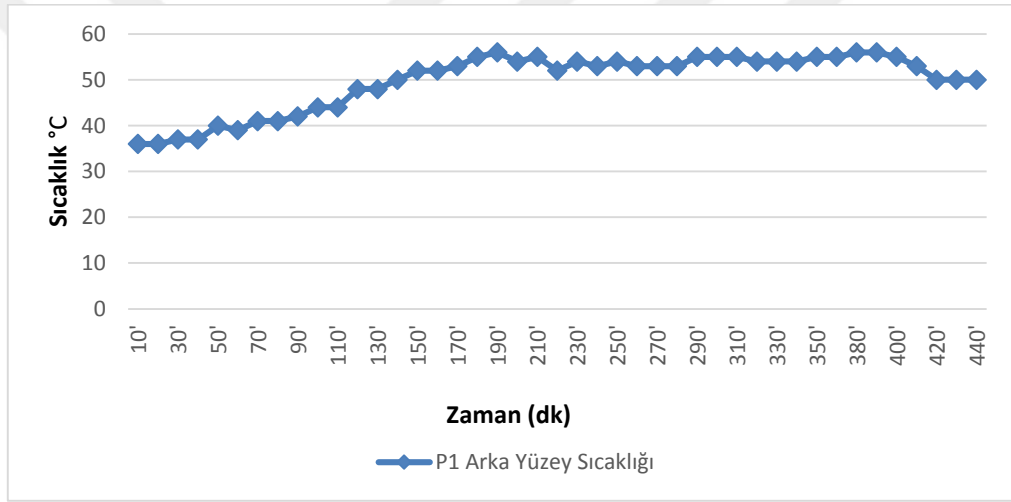
Tablo 3. 12. Ekserji Analizi

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

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. FV Modüllerde Sıcaklık Değişimleri

Sabah 09.00 ila akşam 16.00 arası 10 dakikada bir alınan veriler sonucunda güneş panellerinin boştaki sıcaklıkları, güçte çalıştırıldıkları durumdaki sıcaklıkları, faz değiştiren malzemelerin eklendikten sonraki sıcaklıkları gibi birçok parametreye sahip deneyler yapılmıştır. Bu deney verilerinin sonucunda ulaşılan grafikler aşağıda sıralanmıştır. Şekil 4.1’de Panel 1’in (P1) herhangi bir faz değiştiren malzeme ile soğutulmamış haliyle ölçülen sıcaklık değerleri verilmiştir.



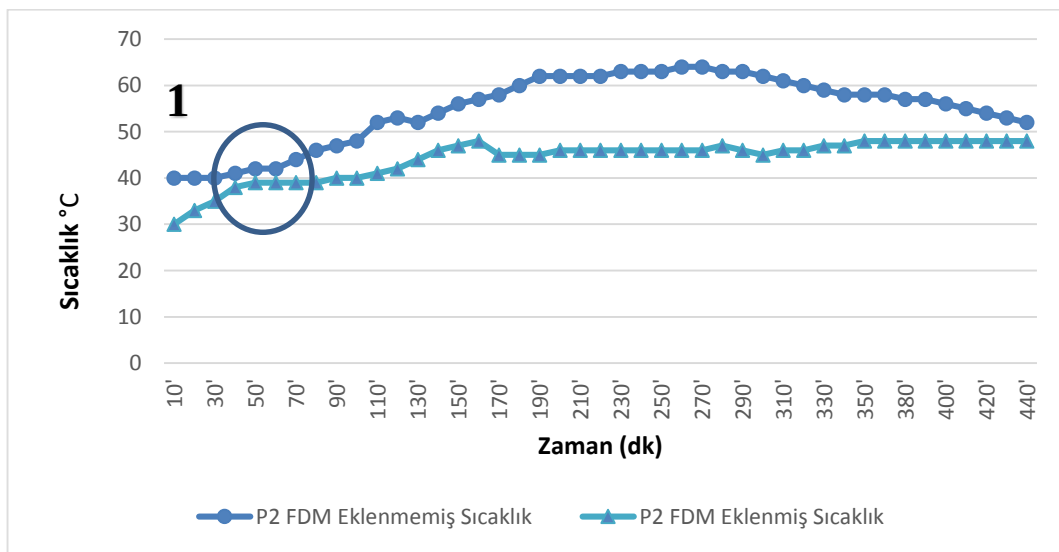
Şekil 4. 1. Panel 1’in boş haldeki sıcaklık grafiği

Şekil 4.2’de gösterilen P1’in arka yüzeyinde herhangi bir çerçeve olmayıp faz değiştiren malzeme kullanılmamıştır. Boş olan bu paneli FDM kullanılan diğer güneş panelleriyle karşılaştırma yapabilmek için kullanılmıştır.



Şekil 4. 2. P1 Boş panel'in arka yüzeyi

İkinci güneş panelinin (P2) arka yüzeyine cam muhafaza içerisine FDM olarak Parafin malzemesi kullanılmıştır. Erime sıcaklıkları 50-70°C civarında olduğu bilinen parafin malzemesi deney esnasında daha düşük sıcaklıkta hal değiştirmeye başlamıştır. Şekil 4.3'de işaretlenen 1 numaralı kısımda yaklaşık 39°C sıcaklıkta erimeye başlayan Parafin malzemesi hal değiştirirken arka yüzeyi soğutmaya başlamıştır. Böylelikle, Parafin kullanılmadan önceki sıcaklık değerleri ile Parafin kullanıldıktan sonraki sıcaklık değerleri arasındaki sıcaklık farkları net bir şekilde görülmüştür.



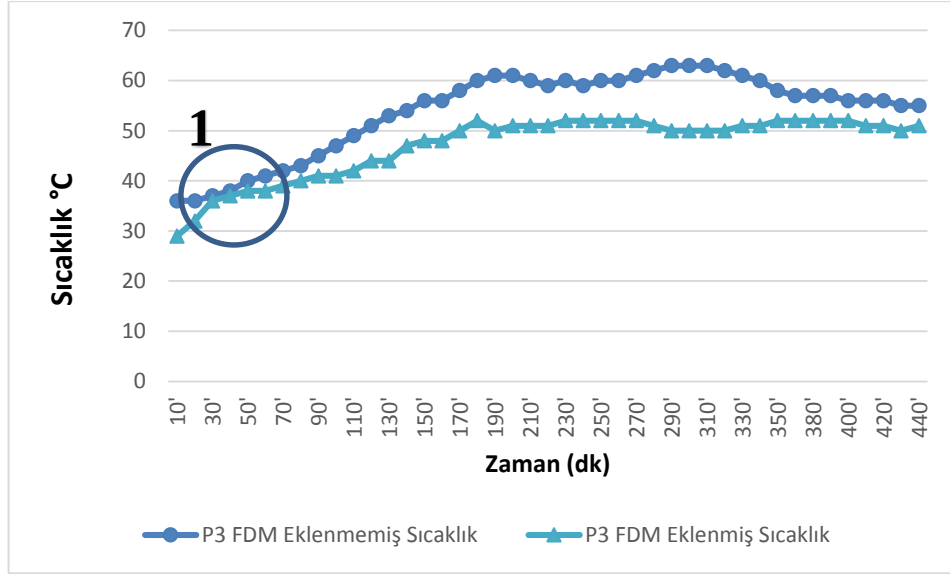
Şekil 4. 3. Panel 2'in boş haldeki ve parafin eklendikten sonraki sıcaklık grafiği

Şekil 4.4’de arka yüzeyine parafin malzemesi yerleştirilen P2 numaralı güneş paneli verilmiştir.



Şekil 4. 4. P2 Parafin eklendikten sonra panelin arka yüzeyi

Üçüncü güneş panelinin arka yüzeyine cam muhafaza içerisine FDM olarak Kalsiyum Klorür Hekza Hidrat malzemesi kullanılmıştır. Şekil 4.5’de 1 numaralı kısımda vurgulandığı üzere kullanılan FDM 41°C civarında hal değiştirmeye başlamıştır. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanılmadan önceki sıcaklık değerleri ile $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kullanıldıktan sonraki sıcaklık değerleri arasındaki sıcaklık farkları net bir şekilde görülmüştür.



Şekil 4. 5. Panel 3'ün boş haldeki Ve $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ eklendikten sonraki sıcaklık grafiği

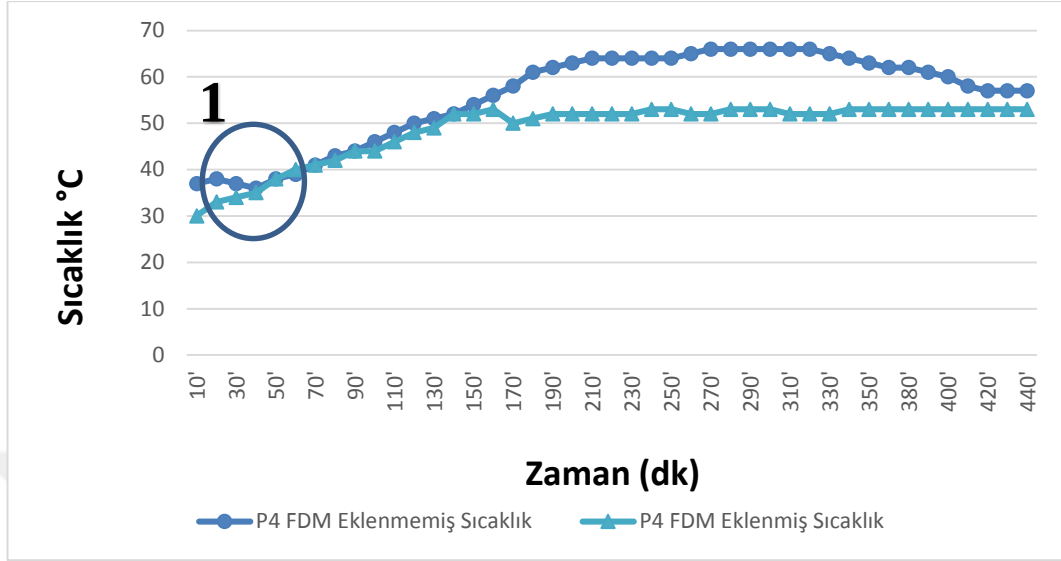
Şekil 4.6'da arka yüzeyine FDM olarak Kalsiyum Klorür Hekza Hidrat malzemesi yerleştirilen P2 numaralı güneş paneli verilmiştir.



Şekil 4. 6. P3 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ eklendikten sonraki arka yüzeyi

Dördüncü güneş panelinin arka yüzeyine cam muhafaza içerisine FDM olarak kimyasal formülü $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}$ olan ve bir yağ asidi çeşidi olan Stearik asit malzemesi kullanılmıştır. Şekil 4.7'de 1 numaralı kısımda görüldüğü üzere kullanılan FDM yaklaşık 53°C civarında hal değiştirmeye başlamış ve panelin sıcaklık derecesi düşüşe geçmiştir. $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$

kullanılmadan önceki sıcaklık değerleri ile $C_{18}H_{36}O_2$ kullanıldıktan sonraki sıcaklık değerleri arasındaki sıcaklık farkları net bir şekilde görülmüştür.



Şekil 4. 7. Panel 4'ün boş haldeki ve $C_{18}H_{36}O_2$ eklendikten sonraki sıcaklık grafiği

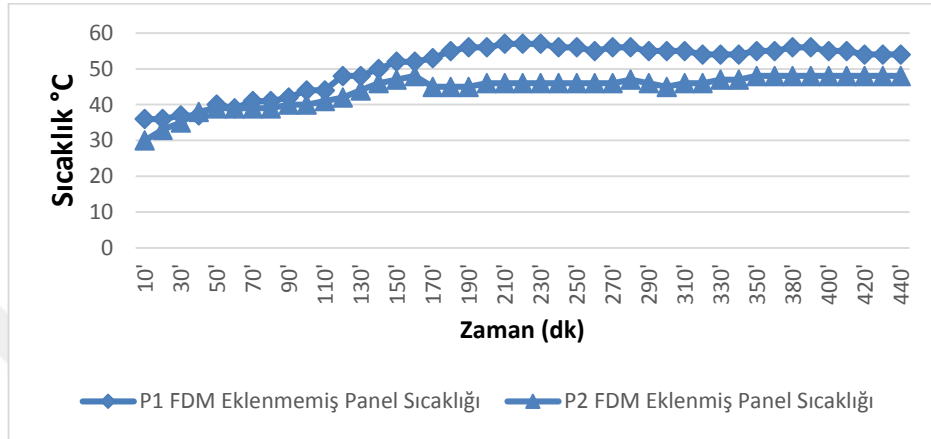
Şekil 4.8'de arka yüzeyine FDM olarak kimyasal formülü $C_{18}H_{36}O$ olan ve bir yağ asidi çeşidi olan Stearik asit malzemesi yerleştirilen P2 numaralı güneş paneli verilmiştir.



Şekil 4. 8. P4'ün $C_{18}H_{36}O_2$ eklendikten sonra arka yüzeyi

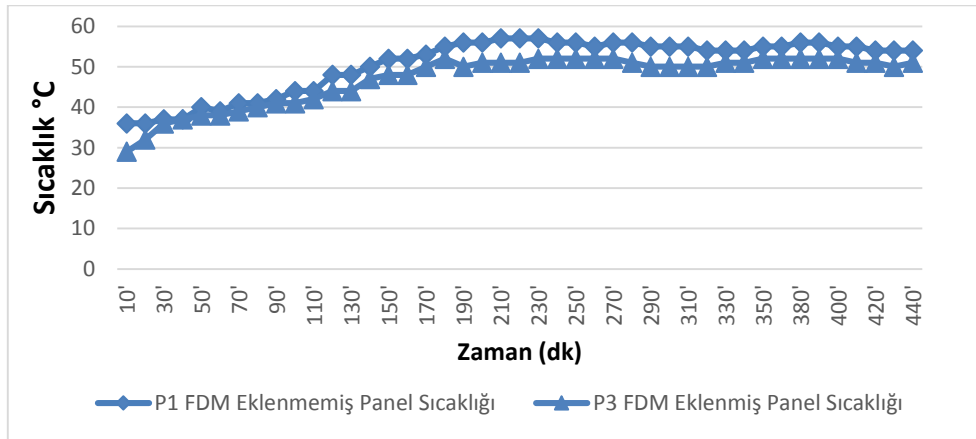
Herhangi bir FDM kullanılmayan P1 boş panel ile FDM kullanılan güneş panelleri arasındaki sıcaklık farklarına dair oluşturulan grafikler aşağıda sıralanmıştır.

Şekil 4.9’da verilen sıcaklık grafiği P1 boş panel ile P2 Parafin kullanılan güneş paneli arasındaki sıcaklık farkının gösterildiği grafikdir. Parafin eklenmemiş boş panelin sıcaklığı daha yüksek ölçülmüştür.



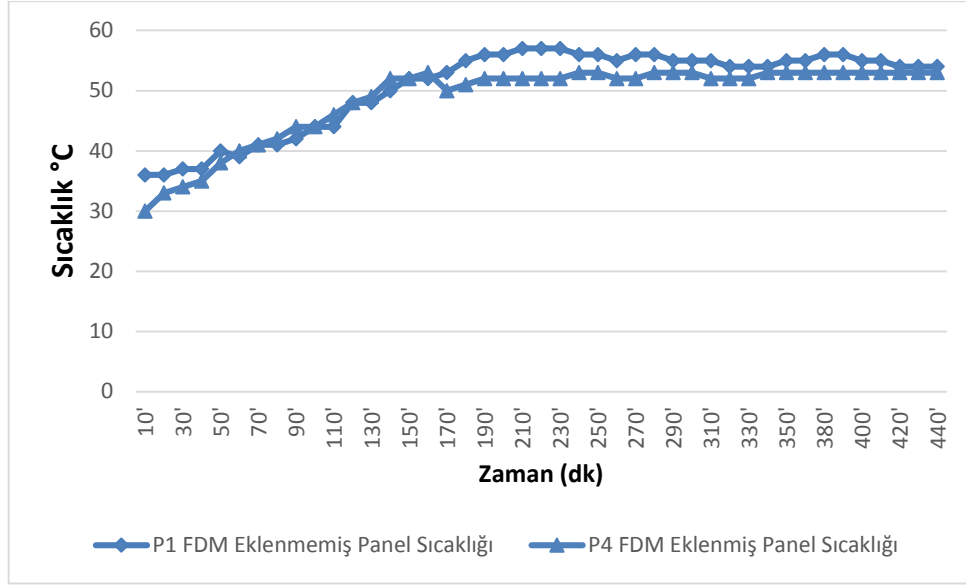
Şekil 4. 9. P1 boş panel ile P2 parafin eklenmiş panel sıcaklık grafiği karşılaştırılması

Şekil 4.10’da verilen sıcaklık grafiği P1 boş panel ile P3 Kalsiyum Klorür Hekza Hidrat kullanılan güneş paneli arasındaki sıcaklık farkının gösterildiği grafikdir. Kalsiyum Klorür Hekza Hidrat eklenmiş panelin sıcaklığı daha düşük ölçülmüştür.



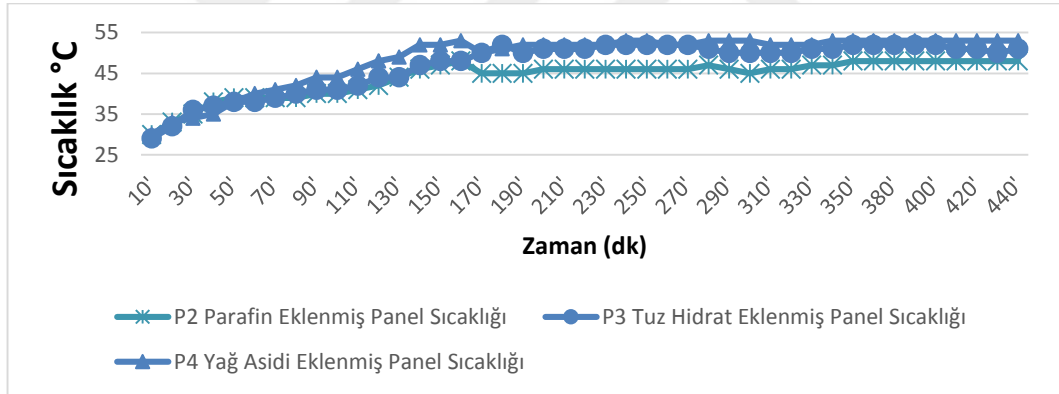
Şekil 4. 10. P1 boş panel ile P3 CaCl₂ 6H₂O eklenmiş panel sıcaklık grafiği karşılaştırılması

Şekil 4.11’de verilen sıcaklık grafiği P1 boş panel ile P4 Yağ Asidi kullanılan güneş paneli arasındaki sıcaklık farkının gösterildiği grafikdir. Yağ Asidi eklenmiş panelin sıcaklığı daha düşük ölçülmüştür.



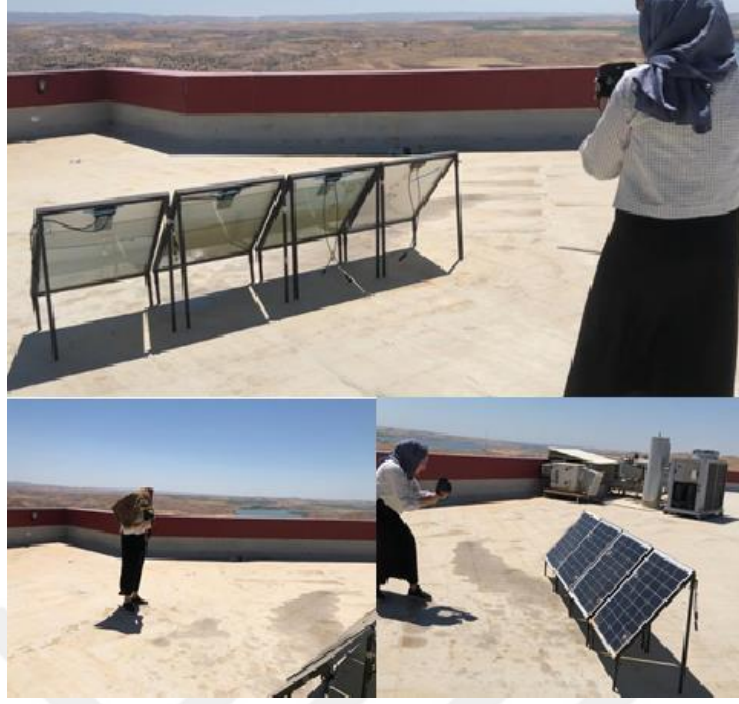
Şekil 4. 11. P1 boş panel ile P4 $C_{18}H_{36}O_2$ eklenmiş panel sıcaklık grafiği karşılaştırılması

Şekil 4.12’de görüleceği üzere en fazla sıcaklık farkı Parafin FDM’si kullanılan FV panelde meydana gelmiştir.



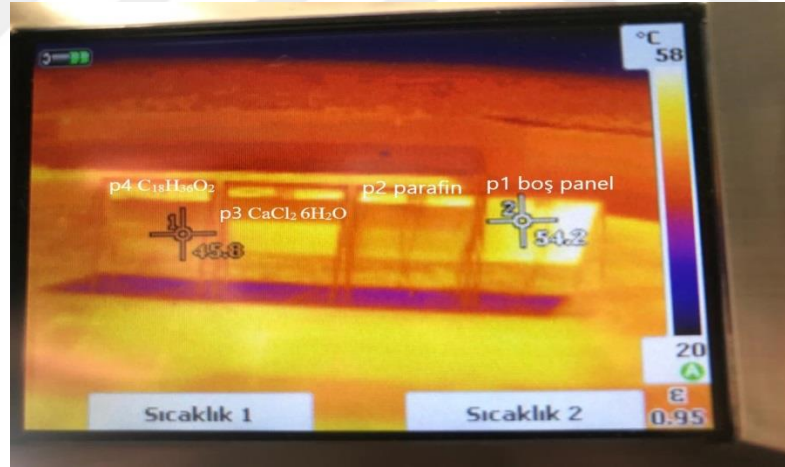
Şekil 4. 12. FDM kullanılan FV panellerin sıcaklık karşılaştırılması

Fotovoltaik Panellere FDM eklendikten sonra Şekil 4.13’de görüldüğü gibi termal kamera ile görüntüleri alınmıştır.



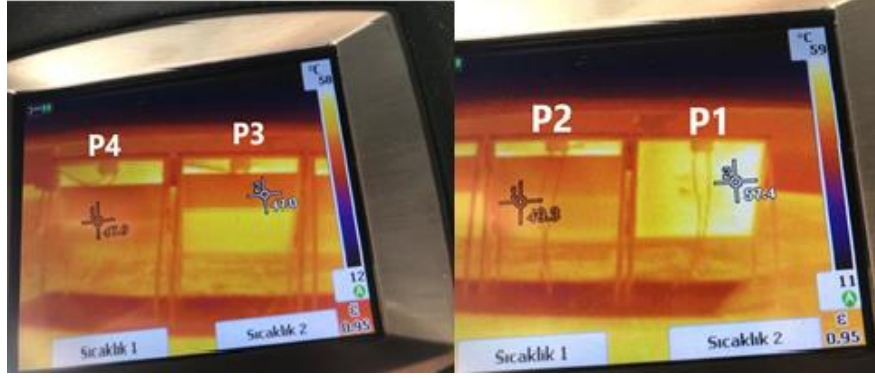
Şekil 4. 13. Termal kamera ile güneş paneli ölçümlerinin yapılması

Yapılan ölçümlerin sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'deki gibidir;



Şekil 4. 14. Termal kamera ile güneş panelleri arka yüzeylerinin sıcaklık ölçümleri

Şekil 4.15'de görüleceği üzere P1 panelinin rengi daha açıktır ve bu durum sıcaklığının daha yüksek olduğu sonucunu göstermektedir.



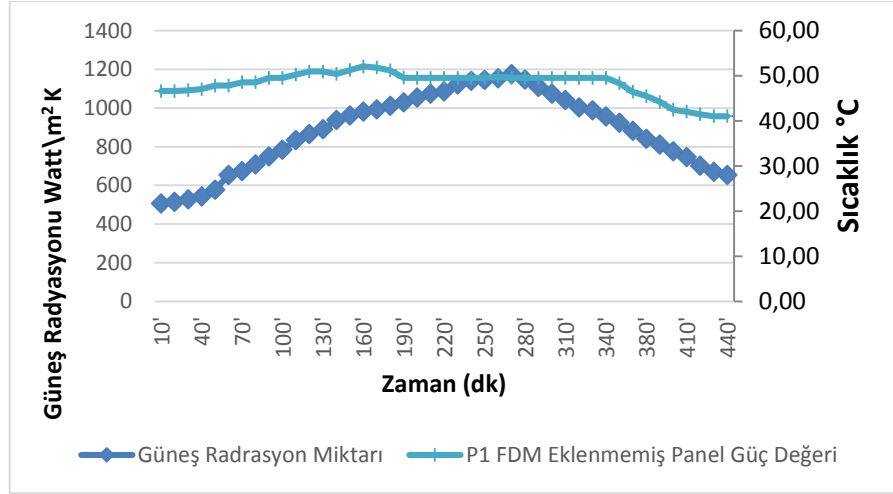
Şekil 4. 15. Termal kamera ile güneş panelleri arka yüzeylerinin boş panel ile karşılaştırılmış sıcaklık ölçümleri

4.2. Faz Değiştiren Malzemelerin İlavesi Sonrası Güç Değişimleri

FV modüllerin güç çıkışı ile güneş paneli modüllerinin sıcaklığı arasında ters bir orantı olduğunu ve güneş paneli modüllerinin sıcaklığı arttıkça fotovoltaik modüllerde üretilen gücün de azaldığını bilinmektedir. Sıcaklığın yüksek olmasından kaynaklanan kayıplar hücre sıcaklığı ile doğru bir orantıya sahiptir.

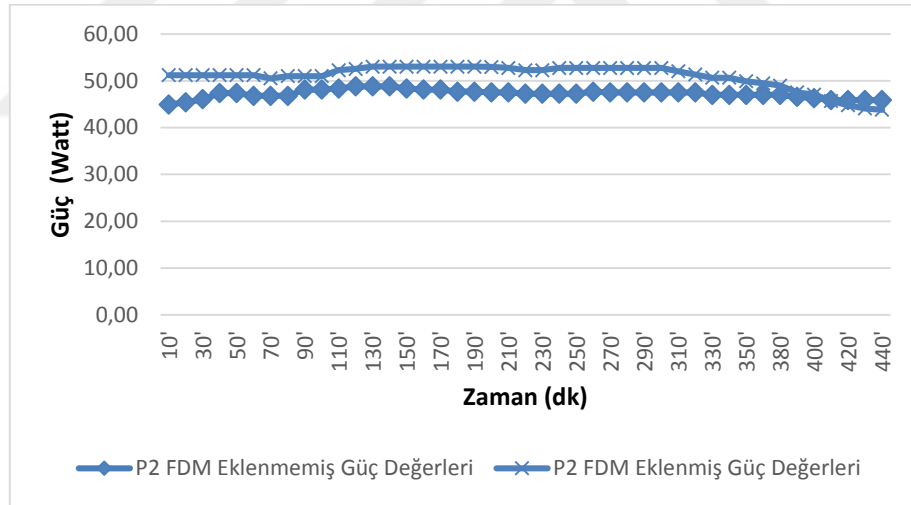
Aşağıda verilen grafiklerde deney esnasında alınan anlık verilerle kullanılan FV Panellerin FDM kullanılmadan önce ürettikleri güçleri ve FDM kullanılarak soğutma yapıldıktan sonra ürettikleri güç miktarı hesaplanarak kıyaslanmıştır. FDM kullanılarak soğutma yapılan tüm panellerde güç üretimi artmıştır.

Herhangi bir FDM kullanılmayan P1 numaralı FV panelin güneş radyasyon miktarı ile ürettiği güç miktarı Şekil 4.16'daki gibi gözlemlenmiştir.



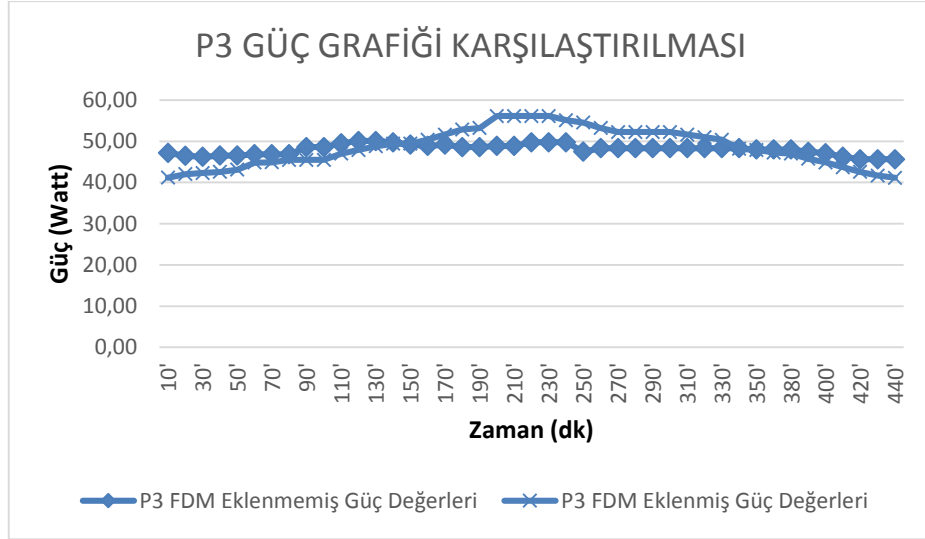
Şekil 4. 16. P1 FDM Eklenmemiş Panel Güç Grafiği

Parafin FDM'si ile soğutma işlemi yapılan P2 numaralı FV panelde, Parafin kullanılmadan önceki haline göre güç artışı gözlemlenmiş ve Şekil 4.17'deki grafik elde edilmiştir.



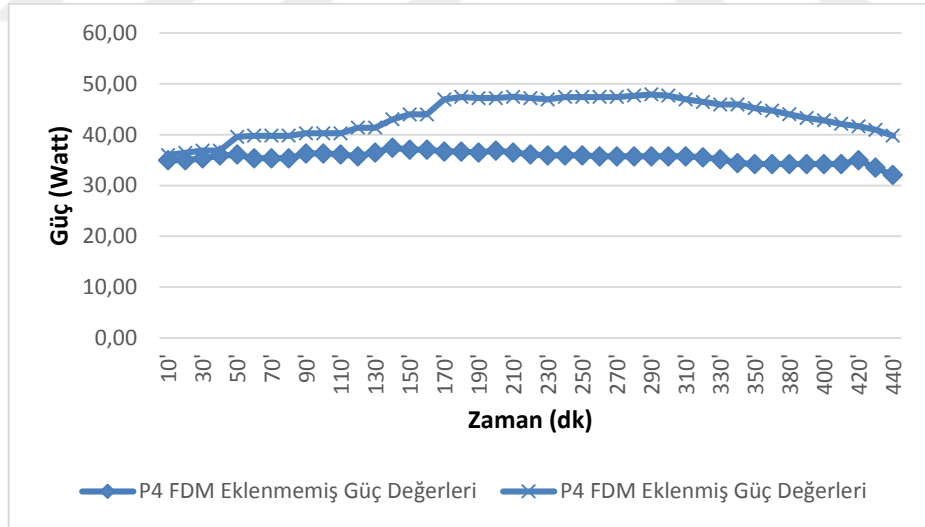
Şekil 4. 17. P2 parafin kaplı güneş paneli güç grafiği karşılaştırılması

Tuz Hidrat ile soğutması yapılan P3 numaralı FV paneli hal değiştirmeden önce soğutma yapılmamış haliyle neredeyse aynı değerlerde güç üretirken hal değiştirmeye başlayıp paneli soğuttuktan sonra güç üretimi artmıştır. Tuz Hidrat kullanılmadan önceki haline göre güç artışı gözlemlenmiş ve Şekil 4.18'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4. 18. P3 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kaplı güneş paneli güç grafiği karşılaştırılması

Yağ Asidi ile soğutması yapılan P4 numaralı FV panel hal değiştirmeye başladıktan sonra soğuma gerçekleşmiş ve bu panelde de güç artışı gözlemlenmiştir. Yağ Asidi kullanılmadan önceki haline göre güç artışı gözlemlenmiş ve Şekil 4.19'daki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4. 19. P4 $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ kaplı güneş paneli güç grafiği karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan tez çalışmasında ideal çalışma sıcaklığı 25°C civarında olan fotovoltaik panellerin yüksek sıcaklıklarda verimi düşen sistemlerin verim düşüklüğünü gidermek için farklı FDM'ler kullanılmıştır. Üç panelin arka yüzeyine montajlanan cam muhafaza içerisine eklenmiş üç farklı FDM malzemesi ile FV sistem soğutulmuştur. Her üç fotovoltaik panelin, arka yüzeyine ayrı ayrı FDM çeşitleri eklenmiştir. Parafin, Yağ Asidi ve Tuz Hidrat FDM'leri eklenerek soğutma yapılmıştır. Bir fotovoltaik paneline ise ortam koşullarında bulunan bir panelin durumunu gözlemlemek ve referans almak için boş bırakılmıştır. Soğutma sonunda panellerden elde edilen veriler kıyaslanmıştır. FDM eklenmeden önce yapılan sıcaklık ölçümleri ve FDM eklendikten sonra yapılan sıcaklık ölçümleri sonrasında sıcaklık değerlerinin düşmesi ile beraber güç değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Kurulan deney düzeneğinde ilk FV modülü karşılaştırma yapmak için boş bırakılmış, ikinci FV modül arka yüzeyine Parafin, üçüncü FV modülüne Tuz Hidrat ve dördüncü FV modülüne de Yağ Asidi eklenerek soğutma yapılmıştır. Aynı özelliğe sahip olan dört fotovoltaik panel deneyde kullanılmıştır. Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsü İktisat Fakültesinin çatı katında kurulan deney seti uygun ışınım açılarına göre yerleştirilmiştir. Deneyler 2022 yılının Temmuz ayında on beş farklı günde gerçekleştirilmiştir.

Deney verilerinin alınma saatleri sabah 09.00 ile akşam 16.00 arasında sıcaklık, akım, volt, radyasyon, gibi verileri toplanarak kayıt altına alınmıştır. Gün batımına doğru güneş radyasyon değerinin 600 W/m²'nin altına düşmesi durumu, elde edilen verilerin sağlıklı olmayacağı sonucunu doğuracağından deneye ertesi gün devam edilmiştir. Deneyin ilk günü tüm FV modüllerin boş olarak sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması ve ortalama sıcaklık değerlerinin alınması için ilk günden itibaren ikinci ve üçüncü gün de aynı şekilde veriler toplanmıştır. Güneş radyasyon değerleri, FV modüller yüzeylerindeki sıcaklık değişimleri ve ortam sıcaklıkları veri kayıt cihazı ile bilgisayarda gözlemlenmiştir. Önceden oluşturulan excel çizelgelerine veriler girilmiştir. Çizelgelerde belli periyodik aralıklarla toplanan değerler kaydedilmiştir. On dakikada bir alınan akım ve gerilim değerleri eklenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan tüm panellerin maksimum güç oranları hesaplanmıştır.

Elde edilen bulguların analiz sonuçları panel üzerindeki verim hareketliliği incelenmiştir. Panel yüzeyine yerleştirilen termokupllar ile farklı yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığı ve giriş çıkış sıcaklıkları alınmış ve zamana bağlı olarak oluşan güç, akım ve volt değerleri kaydedilmiştir. Deney analizleri sonucunda; Parafin kullanılan panelde % 11,34, Tuz Hidrat kullanılan panelde % 17,22, Yağ Asidi kullanılan panelde ise %30 güç üretimi fazlalığı bulunmuştur. Her üç panellinde aynı özelliklerine sahip olmasına rağmen oluşan farklılıklar deney sonucunda etkisini göstermiştir. Hesaplamalar sonucunda elektriksel verimin her panelde farklılık gösterdiğini ölçülmüştür. FDM'ler eklenmeden önce elde edilen verilere göre; Parafin kullanılan panelin elektriksel verimi % 9,2 iken parafin eklendikten sonra % 9,7 olarak hesaplanmıştır. Tuz Hidrat kullanılan panelin elektriksel verimi %8,4 iken Tuz Hidrat eklendikten sonra elektriksel verimi % 9,4 ve Yağ Asidi kullanılan panelin elektriksel verimi %6,6 iken Yağ Asidi eklendikten sonra elektriksel verimi % 8,1 olarak bulunmuştur. Yapılan deneyde soğutma yapılan Parafin kaplı güneş panelinde 16°C, Tuz Hidrat kaplı panelde 11 °C, Yağ Asidi ile kaplanmış panelde ise 13°C sıcaklık farkı ölçülmüştür. Deneylerin sonucunda güneş panellerinde meydana gelen ortalama sıcaklık farkı en yüksek Parafin FDM'si ile 3. güneş panelinde 16°C miktarda olmuştur. Farklı FDM'ler ile kaplı olan üç güneş panelinin de anlık ve günlük ortalama verim değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Ortalama en yüksek verim değerlerine bakıldığında; %30 güç artışı ile Yağ Asidi FDM olduğu görülmüştür.

Deney sonuçlarına analiz edildiğinde fotovoltaiik panellerin yüzey sıcaklıkları düşürüldüğünde verim kayıpları azalmaktadır. Yapmış olduğumuz çalışmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Soğutma yapılmayan ve yalnızca doğal taşınım ile ısıl dengeye ulaşan fotovoltaiik panellerde sıcaklığa bağlı olarak elektrik verimlerinin nominal değerlerin oldukça altında bir değer olduğu ve böylelikle sıcaklığın FV elektrik verimini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç, aynı karakteristikteki FV/T ile alınan sonuçların FV ile alınan sonuçlarla karşılaştırılması üzerine kanıtlanmıştır.
- Soğutma yapılmayan FV panellerde yüzey sıcaklığının, FDM eklenerek soğutma yapılan FV panellere göre daha fazla olduğu ve buna göre elektrik güç çıkışının ise FV/T panele göre daha az olması deneysel verilerle

kanıtlanmıştır. Sıcaklıktaki artışın bariz bir şekilde elektrik verimini düşürdüğü tespit edilmiştir.

- Paneller ideal çalışma sıcaklığına yakın soğutulmalıdır.
- Ortalama en yüksek verim değerlerine bakıldığında; %30 güç artışı ile Yağ Asidinin FDM olarak en yüksek soğutma değerine sahip görülmüştür.

5.2.Öneriler

- Veri toplama araçları, ölçüm cihazları ve kablo ekipmanları aynı olmalıdır.
- Maksimum verim için kaliteli ekipman ve malzemeler kullanılmalıdır.
- FDM'leri eklemek için cam muhafaza yerine daha az ısınacak alternatif malzeme kullanılabilir.
- Deney düzeneğinin bulunduğu ortam aşırı rüzgârdan etkilendiği için zaman zaman verilerde dalgalanmalara sebep olmuştur, bu sebeple deneylerin laboratuvar koşullarında yapılması daha sağlıklı olacaktır.
- Deney düzeneğinde kullanılan panellere eklenen FDM miktarlarının ulaşamadığı kısımların ilk aşamada kapatılması durumu, verimi yükseltebileceğini düşünülmektedir.
- Deney düzeneğinin laboratuvar ortamında yapılması bulunan verim yüksekliğinin daha fazla olacağı düşünülmektedir.
- CFD gibi bir analiz programı kullanılarak değerler boyutsuzlaştırılabilir ve deney sonuçlarıyla CFD analizlerinin karşılaştırılması yapılabilir.

7. KAYNAKÇA

- Alan C. Tuna F., 2013, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli üzerine bir inceleme: Freiburg\Almanya karşılaştırılması, *Türkiye Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi*, İstanbul, Türkiye.
- Andrea, F., Fernandes, JFP., Branco, PJC., 2018, Demonstration Project of a cooling system for existing FV power plants in Portugal, *Applied Energy*, 211:1297- 1307.
- Anonim 2022a, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü Erişim Tarihi: 22.01.2022 <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir>
- Anonim 2022b, YEGM, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Erişim Tarihi: 06.01.2022. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
- Anonim 2022c, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), Erişim Tarihi : 23.01.2022 <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Anonim 2022ç, Türkiye Coğrafi Konum bilgisi, Erişim Tarihi: 15.03.2022 https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_co%C4%9Frafyas%C4%B1
- Badak, U. & Yıldız, A., 2020, Fotovoltaik Güneş Paneli Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Verime Etkisi, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10 (4) , 2496-2507 DOI: 10.21597/jist.729926
- Baetens, R., Jelle, B.P., Gustavsén, A., 2010, Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review, *Energy and Buildings*, 42, 1361– 1368.
- Boztepe, M., 1995, Güneş Pilleri ile Çalışan Peltier Elemanlı bir Soğutucu Sistemin Geliştirilmesi, *Bilim Uzmanlık Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Boztepe, M., 2017, Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni*, 321:13-17.
- Ceylan, İ., Gürel, A.E., Demircan, H., Aksu, B., 2014, “Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector”, *Energy and Buildings*, 72: 96-101.
- Chen, X., Zhang, Q., Zhai, Z. J., Ma, X., 2019, Potential of ventilation systems with thermal energy storage using PCMs applied to air conditioned buildings. *Renewable Energy*, 138: 39-53.
- Cui, Y., Xie, J., Liu, J., Pan, S., 2015, Review of phase change materials integrated in building walls for energy saving, *Procedia Engineering*, 121, 763 – 770.
- Deniz E., 2013, Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar, *III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 21-24 Kasım 2013, İzmir.
- Doğan, H., 2014, Fotovoltaik güneş pilleri, *Yüksek Lisans Tezi*, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Duran, F., 2014, FV/T Hibrit sistemlerin termodinamik ve performans analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Er A., 2021, Farklı tasarımlara sahip hava akışkanlı güneş kolektörlerinin deneysel analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Ertürk G., 2018, Enerji depolamalı fotovoltaik güneş panellerinde gölgelendirmenin enerji ve ekserji verimliliği üzerine etkisinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Esen H., Kapıcıoğlu A., 2015, Farklı Yüksekliklere Yerleştirilen Güneş Pillerinin Verimlerinin İncelenmesi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, sayı 4, s198-204.
- Farid M.M., Khudhai, A.M., Ali, S., Razack, K., 2004, A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy Conversion and Management*, 45, 1597–1615.
- Farid M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K., Al-Hallaj., S., 2004, A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications, *Energy Conversion and Management*, vol. 45, no. 9–10, 1597–1615.
- Fiorentini M., Cooper P. and Ma Z., 2015, Development and optimization of an innovative HVAC system with integrated FVT and PCM thermal storage for a net-zero energy retrofitted house, *Energy and Building*, vol. 94, pp. 21-32.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdı , M., Ruslan, İ., Kazım, H., 2014, Performance analysis of photovoltaic thermal (FVt) water collectors, *Energy Conversion and Management*, 78, s641-651.
- Herrick S. A rolling cylinder latent heat storage device for solar heating/cooling. *ASHRAE Tans* 1979;85:512–5.
- Hossain, M. S., Pandey, A. K., Selvaraj, J., Rahim, N. A., Islam, M. M., Tyagi, V., 2019, Two side serpentine flow based photovoltaic-thermal-phase change materials (PVT-PCM) system: Energy, exergy and economic analysis. *Renewable Energy*, 136:, 1320–1336.
- Jacob, R., Bruno, F., 2015, Review on shell materials used in the encapsulation of phase change materials for high temperature thermal energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 79-87.
- Kabeel A.E., Khalil A., Shalaby S.M., Zayed M.E., 2016, Experimental Investigation of Thermal Performance of Flat and V-Corrugated Plate Solar Air Heaters with and without PCM as Thermal Energy Storage. *Energy Conversion and Management*, 113, 264-272
- Kancane, L., Vanaga, R., Blumberga, A., 2016, Modeling of building envelope's thermal properties by applying phase change materials, *Energy Procedia*, 95 ,175 – 180.

- Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Biwole, P.H., 2016, Heat transfer studies of photovoltaic panel coupled with phase change material, *Solar Energy*, 140: 151-161.
- Karatepe M., Boztepe M. ve Çolak M., 2007, Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells, *Solar Energy*, cilt 81, no. 8, pp. 977-992.
- Karim, M. A. ve Hawlader, M. N. A., 2004, Development of Solar Air Collectors for Drying Applications, *Energy Conversion and Management*, 45: 329-344.
- Katkar, A.A., Shinde, N.N., Patil, P.S., 2011, Performance & Evaluation of Industrial Solar Cell w.r.t. Temperature and Humidity, *IJRMET*, 1, 69–73.
- Keçel S., Güçlü Yavuzcan H., 2008. Türkiye'deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliklerine etkisi, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, 12-20.
- Khudhair AM, Farid MM, Zalba B., 2004, A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials, *Energy Convers Management*, 45:263– 75.
- Kılıç, F.Ç., 2015, Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, *Mühendis ve Makina*, 56 (671): 28-40.
- Kiran S., Devadiga U., 2014, "Performance analysis of hybrid PV/Thermal systems, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 80-86.
- Kosny, J., Shukla, N., 2015, Method for Dynamic Thermal Property Measurement of PCM-integrated Building Materials, *Curr Sustainable Renewable Energy Rep* 2, 41–46.
- Kylili, A., Fokaides, P. A., 2016, Life Cycle Assessment (LCA) of Phase Change Materials (PCMs) for building applications: A review, *Journal of Building Engineering*, 6, 133-143.
- Lane GA., Glew DN., 1975, Heat of fusion system for solar energy storage. In: *Proceedings of the workshop on solar energy storage subsystems for the heating and cooling of buildings*. Virginia: Charlottesville;. p. 43–55.
- Liu, L., Alva, G., Huang, X., Fang, G., 2016, Preparation, heat transfer and flow properties of microencapsulated phase change materials for thermal energy storage, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 399-414.
- Mehling H, Cabeza LF., 2008, Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications, New York: Springer.

- Mert, M. S., Sert, M., Mert, H. H., 2018, Isıl Enerji Depolama Sistemleri İçin Organik Faz Değiştiren Maddelerin Mevcut Durumu Üzerine Bir İnceleme, *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 161-174.
- Mohamed, S. A., Al-Sulaiman, F. A., Ibrahim, N. I., Zahir, M. H., Al-Ahmed, A., Saidur, R., Yılbaş, B.S., Sahin, A., 2017, A review on current status and challenges of inorganic phase change materials for thermal energy storage systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1072-1089.
- Öksüz M., Köse F., 2019, Hibrit Fotovoltaik Isıl PVT-su ve PVT-hava Güneş Kollektörlerinin İncelenmesi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, Sayı 2 ,s95-102.
- Pisello, A.L., Castaldo, V.L., Cotana, F., 2015, Dynamic thermal-energy performance analysis of a prototype building with integrated phase change materials, *Energy Procedia*, 81, 82 – 88.
- Qiu Z., Zhao X., Li P., Zhang X., Ali S., Tan J., 2015, Theoretical investigation of the energy performance of a novel MPCM (Microencapsulated Phase Change Material) slurry based PV/T module, *Energy*, vol. 87, pp. 686-698.
- 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.
- Rezvanpour M., Borooghani D., Torabi F., Pazoki M., 2020, Using $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ as a Phase Change Material for Thermo-regulation and Enhancing Photovoltaic Panels Conversion Efficiency: Experimental Study and TRNSYS Validation, *Renewable Energy*, 146, 1907-1921.
- Rodrigues, E.M.G., Melicio, R., Mendes, V.M.F., Catalao, J.P.S., 2011, Simulation of a solar cell considering single-diode equivalent circuit model. In: *International conference on renewable energies and power quality*, Spain.
- Sarhaddi F., Farahat S., Ajam H., Behzadmehr A., 2010, Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, *Energy and Buildings*, 42, 11, 2184-2199.
- Sarı A. Lafcı Ö., 2012, Yeni tip katı-katı faz değişim maddeleri olarak poli(stiren-ko-allilalkol)-graft-yağ asidi kopolimerlerinin sentezi, karakterizasyonu ve ısı enerjisi depolama özelliklerinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Sarı, A., Karaipekli, A., 2008, Preparation, Thermal Properties and Thermal Reliability of Capric Acid/expanded Perlite Composite for Thermal Energy Storage, *Mater. Chem. Phys.*, vol. 109, no. 2–3, 459–464.
- Sauer K. , Roessler T, Clifford W. Hansen C., 2015, Modeling the Irradiance and Temperature Dependence of Photovoltaic Modules in PVsyst, *IEEE Journal of Photovoltaics*, January.

- Saylam Canım, D., ve Macka Kalfa, S., 2021, Faz Değiştiren Malzemelerin Bina Kabuğunda Kullanımı, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 12, sayı. 2, ss. 355-371.
- Schwingshackla C., Petitt M., Wagner J.E., Belluardo G., Moser D., Castella, M., Zebisch M., Tetzlaff A., 2013, Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation, *Energy Procedia*, 40, s77-86.
- Sharma A, Tyagi VV, Chen CR, Buddhi D., 2009, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renew Sustain Energy*, Rev;13:318–45.
- Stropnik R., Stritih U., 2016, Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM, *Renewable Energy*, vol. 97, pp. 671-679.
- Su, W., Darkwa, J., Kokogiannakis, G., 2015, Review of solid–liquid phase change materials and their encapsulation technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 373-391.
- Sudhakar, K., Srivastava, T., 2014, Energy and exergy analysis of 36 W solar photovoltaic module, *International Journal of Ambient Energy*, 35, 51-57.
- Suppes G.J., Goff M.J., Lopes S., 2003, Latent Heat Characteristic of Fatty Acid Derivatives Pursuant Phase Change Material Applications. *Chemical Engineering Science*, 58, 1751-1763.
- Şen, Z., 2002, "Temiz Enerji ve Kaynakları", Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Utlı, Z., Aydın, D., ve Kıncay, O., 2013, Yeşil bina uygulamalarında gizli ısı depolama sistemlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı 144.
- Ültanır, M.Ö., 1996, 21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi, *Bilim ve Teknik Dergisi*, 340: 50-55.
- Verma, P., V., Singal, S. 2008, Review of mathematical modeling on latent heat thermal energy storage systems using phase-change material, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 999-1031.
- Yenisey, D., 2015, İç Anadolu bölgesi için güneye bakan eğimli yüzeye gelen günlük global, direkt ve difüz radyasyonun hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız ME., 2021, İç yüzey geometrisi farklı, kanatçık yapıda tasarlanmış hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin ısı performansının deneysel analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s57-58.
- Yıldız ME., Yılmaz A., 2022, Farklı geometrilere sahip hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin etkinliğinin deneysel yöntemle araştırılması. *Makine Mühendisleri*

Enstitüsü Bildirileri, Bölüm A: *Güç ve Enerji Dergisi*, Mayıs 2022.
doi:10.1177/09576509221101971

Zalba, B., Marin, J. M., Cabeza, L. F., Mehling, H., 2003, Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, 23(3), 251-283.

Zhao, C., Zhang, G., 2011, Review on microencapsulated phase change materials (MEPCMs): Fabrication, characterization and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3813-3832.

