



**KANATÇIK YAPI DESTEKLİ FAZ DEĞİŞTİREN
MADDE İLE FOTOVOLTAİK PANEL PASİF
SOĞUTMASI**

Aydın EKİZ

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ**

**KANATÇIK YAPI DESTEKLİ FAZ DEĞİŞTİREN MADDE İLE
FOTOVOLTAİK PANEL PASİF SOĞUTMASI**

Aydın EKİZ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ**

KARABÜK

HAZİRAN 2022

Aydın EKİZ tarafından hazırlanan “KANATÇIK YAPI DESTEKLİ FAZ DEĞİŞTİREN MADDE İLE FOTOVOLTAİK PANEL PASİF SOĞUTMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07/06/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kurtuluş BORAN (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ (KBÜ)

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Aydın EKİZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KANATÇIK YAPI DESTEKLİ FAZ DEĞİŞTİREN MADDE İLE FOTOVOLTAİK PANEL PASİF SOĞUTMASI

Aydın EKİZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

Haziran 2022, 45 sayfa

Fosil yakıtların tükenmekte olması ve çevreye verdiği tahribat nedeniyle enerji ihtiyacımızı karşılamak için kullandığımız fotovoltaik sistemlerin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Çevreye zarar vermeyen PV sistemlerin dezavantajı ise panel verimlerinin istenilen seviyelerde olmamasıdır. Günümüzde PV sistemlerin veriminin artırılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu çalışmada, PV panellerin alüminyum kanatçık ve faz değıştiren madde destekli soğutulması deneysel olarak çalışılmıştır. Deneyler, Ekim 2021’de Türkiye’nin Karabük şehrinde yapılmıştır. Özdeş üç adet PV panelden bir tanesi referans panel (PV1) olarak kullanılmış, diğer iki panelin ise arka yüzeyleri parafin ve alüminyum talaşı ile kaplanmış ve biri (PV2) düz yüzeyli alüminyum kanatçık diğeri ise (PV3) çetalı (kabartmalı) yüzeyli kanatçık yapı ile donatılmıştır. Deney sonuçlarına göre PV2 ve PV3 panellerinde sıcaklık referans panele göre sırasıyla %11,8 ve %16,5 daha

düşüktür. Elektiriksel güç çıkışında ise PV2 ve PV3 referans panele göre %10.9 ve %17,25 artış göstermiştir. PV2 ve PV3 termedinamiğin birinci ve ikinci yasa verim değerlerine bakıldığında sırasıyla %1,21, %1.95 ve %3,15, %4,52 oranında artış göstermiştir.

Anahtar Sözcükler : Fotovoltaik panel, faz değıştiren madde, ısı transferi, kanat yapı, enerji ve ekserji verimi.

Bilim Kodu : 91441

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PHOTOVOLTAIC PANEL PASSIVE COOLING WITH FIN STRUCTURE SUPPORTED PHASE CHANGE MATERIAL

Aydın EKİZ

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

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr.Selçuk SELİMLİ

June 2022, 45 pages

The importance of photovoltaic systems that we use to meet our energy needs is increasing day by day due to the depletion of fossil fuels and the damage that they cause to the environment. The disadvantage of PV systems that do not harm the environment is that the panel efficiency is not at the desired level. Today, studies to increase the efficiency of PV systems are increasingly continuing. In this study, aluminum fin supported by phase change material for cooling of PV panels has been experimentally studied. The experiments were carried out in October 2021 in Karabük, Turkey. In the experiment three similar PV panels were used, one of them used as the reference panel (PV1) for comparison, the back surfaces of the other two panels were filled with paraffin and the whole back space was closed with aluminum, while maintaining contact between the panel and the paraffin, the fins and the paraffin. one panel (PV2) was supplied with a flat aluminum fins and the other panel (PV3) was supplied with a ribbed (embossed) surface fins. According to the test results, the temperature in the PV2 and PV3 panels was lower by about 11.8% and 16.5% , respectively, compared to the reference panel. The electrical power output had increased by about 10.9% and 17.25% compared to the reference panel. Applying the

the first law of thermodynamics, efficiency values of PV2 and PV3 increased by 1.21%, 1.95%. Considering the second law of thermodynamics, efficiencies for PV2 and PV3 were higher by about 3.15% and 4.52%, respectively.

Key Word : Photovoltaic panel, phase change material, heat transfer, fin structure, energy and exergy efficiency.

Science Code : 91441

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından sonuna kadar her anımda yanımda olan, engin bilgi ve tecrübelerini en güzel şekilde aktaran, atölye çalışmalarımda gece gündüz demeden bana vakit ayıran, eğitim için bütün zorlukların üstesinden gelme güçleri olan çok değerli hocalarım Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ ve Arş. Gör. Hakan DUMRUL'a en kalbi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mehmet Özkaymak'a bizlere sağladığı imkanlar ve yönlendirmelerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

KBÜBAP-21-YL-006 numaralı "Kanatçık Yapı Destekli Faz Değiştiren Madde ile Fotovoltaik Panel Soğutulması" isimli proje, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederim

Hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemedi yanımda olan sevgili aileme, eşime ve tez zamanımda hayatıma dahil olarak enerjimi yükselten canım kızım Almıla'ya tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI.....	3
BÖLÜM 3	9
GÜNEŞ ENERJİSİ	9
3.1. TÜRKİYE’ DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	10
3.2. GÜNEŞ İŞİNİMİ.....	11
3.3. GÜNEŞ İŞİNİMİ ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	11
3.3.1. Piranometre.....	12
3.3.2. Pirheliometre.....	12
3.3.3. Piradyometre	12
3.3.4. Solarmetre.....	13
3.4. GÜNEŞ GEOMETRİSİ	13
3.4.1. Deklinasyon Açısı (δ).....	13
3.4.2. Saat Açısı (w)	14
3.4.3. Zenit Açısı (Ψ).....	14

	<u>Sayfa</u>
3.4.4. Güneş Yükseklik Açısı (α).....	15
3.4.5. Güneş Azimut Açısı (γ_s).....	15
3.4.6. Yüzey Azimut Açısı (γ)	16
3.4.7. Geliş Açısı (θ).....	16
3.5. FOTOVOLTAİK PANELLER	16
3.5.1. Fotovoltaik Panel Tipleri	17
3.5.1.1. Monokristal (tekli kristal) güneş panelleri.....	17
3.5.1.2. Polikristal silisyum güneş panelleri	17
3.5.1.3. İnce film güneş panelleri.....	17
3.5.1.4. Amorf silisyum güneş pilleri	18
3.6. SICAKLIĞIN FOTOVOLTAİK PANEL PERFORMANSINA ETKİSİ.....	18
3.7. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ	18
3.7.1. Isıl Enerji Depolama	19
3.8. FAZ DEĞİŞTİREN MADDELER.....	20
3.8.1. Parafinler.....	20
3.8.2. Yağ Asitleri.....	20
3.8.3. Tuz Hidratları.....	21
3.8.4. Ötektik Karışımlar	21
3.8.5 Faz Değiştiren Maddelerin Seçimindeki Kriterler.....	21
3.8.6 Faz Değiştiren Maddelerin Kullanım Alanları	22
BÖLÜM 4	23
METERYAL VE YÖNTEM.....	23
4.1. DENEY SİSTEMİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	23
4.2. KULLANILAN EKİPMANLAR.....	25
4.2.1. Güneş Paneli	25
4.2.2. Sıcaklık Ölçüm Cihazı.....	25
4.2.3. Güneş Işınım Ölçüm Cihazı	26
4.2.4. Elektriksel Güç Ölçüm Cihazı.....	26
4.3. DENEYSEL YÖNTEM	28
4.4. HESAPLAMA YÖNTEMİ	31

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	33
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	33
BÖLÜM 6	38
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası.	10
Şekil 3.2. Direkt, difüz ve yansıtılmış güneş ışınımları.	11
Şekil 3.3. Piranometre.	12
Şekil 3.4. Piradyometre.	13
Şekil 3.5. Deklinasyon açısının bir yıl içerisindeki değişimi.	14
Şekil 3.6. Enerji Depolama Teknolojileri.	19
Şekil 4.1. Deneyin tasarımı ve ölçüm noktaları.	24
Şekil 4.2. Elimko E-680 Ünlversal Girişli Gelişmiş Tarayıcı.	25
Şekil 4.3. Işınım Ölçer.	26
Şekil 4.4. Elektiriksel Güç Ölçer.	27
Şekil 4.5. PV Panel güç ölçümü bağlantı şeması.	27
Şekil 4.6. Taşıyıcı Sistem İmalatı.	28
Şekil 4.7. Kanatçık çizimi.	28
Şekil 4.8. Kanatçık görseli.	29
Şekil 4.9. Termokupl bağlantı yerleri.	29
Şekil 4.10. PV Panel güç ölçüm cihazlarının montajı.	30
Şekil 4.11. PV1 ve PV3 panellerinin hazırlanışı.	31
Şekil 4.12. Deney düzeneği.	31
Şekil 5.1. Zamana bağlı güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı grafiği.	33
Şekil 5.2. Zamana bağlı PV panel sıcaklık grafiği.	34
Şekil 5.3. Zamana bağlı elektiriksel güç grafiği.	34
Şekil 5.4. Zamana bağlı PV panellerin elektiriksel verim grafiği.	35
Şekil 5.5. Zamana bağlı PV panellerin elektiriksel ekserji grafiği.	36
Şekil 5.6. Zamana güneş ekserjisi ve ekserji verim grafiği.	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Kullanılan güneş panelinin özellikleri	25
Çizelge 4.2. Elektriksel Güç Ölçüm Cihazı özellikleri.....	27
Çizelge 4.3. Parafin ısı özellikleri.....	30

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Panel yüzey alanı
α	: Güneş Yükseklik Açısı
c	: Özgül ısı
E_e	: Elektiriksel güç
E_e	: Panelin elektiriksel gücü
E_g	: Güneş gücü
E_g	: Güneş gücü
Ex_e	: Elektriksel ekserji
Ek	: Yüzeyden ısı kaybı
G	: Güneş ışıınımı
I	: Akım
I	: Panel akımı
k	: Isı transferi
L	: Gizli ısı
η_e	: Panelin elektiriksel verimi
η_e	: Elektiriksel verim
η_u	: Ekserji verimi
Q_e	: Panelin elektiriksel gücü
θ	: Geliş Açısı
ρ	: Yoğunluk
δ	: Deklinasyon Açısı
Te	: Erime noktası
V	: Panel voltajı
V	: Voltaj
W	: Saat Açısı
Ys	: Güneş Azimut Açısı

γ : Yüzey Azimut Açısı

Ψ : Zenit Açısı

KISALTMALAR

EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü

FDM : Faz Değişim Malzemesi

GEPA : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

MTEP : Milyon Ton Eşdeğer Petrol

PV : Fotovoltaik

PV1 : Referans Panel

PV2 : Düz Kanatçıklı Panel

PV3 : Çetali(kabartmalı) Kanatçıklı Panel

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, günümüzün vazgeçilmez tüketim maddelerindedir. Enerji kullanım miktarı, ülkelerin teknoloji ve ekonomi olarak gelişmişlik seviyesini gösteren unsurlardandır. Enerji o kadar önemlidir ki, fiyatı, iletim ve dağıtımdan kaynaklı sorunlar insanların çoğunluğu tarafından takip edilmektedir. Günümüzde artan enerji ihtiyacının çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı ve enerji talebindeki artış, refah düzeyini arttığı gibi birçok sorunuda beraberinde getirmektedir. Sorunların başlıcaları, çevre kirliliği, ekolojik dengenin bozulması ve insan sağlığına olumsuz etkileridir. Tüm olumsuzluklar değerlendirilecek olursa alternatif enerji kaynaklarına yönelim her geçen gün artacaktır.

1800'lü yıllardan günümüze kadar fosil kaynaklar, enerjiye dönüştürülmelerinin kolay olması ve ekonomik olmalarından dolayı yaygın olarak kullanılmıştır. Bundan dolayı alternatif enerji kaynaklarına oranla daha fazla kullanılmıştır. Fosil yakıt bakımından zengin olan ülkelerin egemen olduğu bir çağda 1971 yılında ortaya çıkan petrol krizi alternatif enerji kaynaklarına yönelimi başlatmıştır [1].

Yenilenebilir enerji, doğal olarak sürdürülebilir var olan enerji akışından meydana gelen enerjidir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarını, ısı ve elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullandığımız güneş enerjisi, elektrik enerjisi üretmek amacıyla rüzgar enerjisi, yer altı kaynaklarından çıkarılan, elektrik ve ısı enerjisinden faydalandığımız jeotermal enerji, odun, mısır sebze ve yağlardan elde edilen biyokütle, barajlarda kurulan hidrolik türbinlerden elde edilen elektrik enerjisi olarak sayabiliriz.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneşin kullanım olarak payı çok fazladır. Güneşten elektrik üretmek için ısı ve fotovoltaik yöntemler kullanılır. Isıl enerjiden elektrik elde etmek için güneşten gelen ışınım alıcı tarafından toplanır ve bu ısı buhar eldesi için kullanılır. Toplanan buhar mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürülmesi için kullanılır. Fotovoltaik hücrelerde kullanılan yarı iletkenlerde güneşten gelen ışınım ile birlikte elektron hareketi meydana gelir. Meydana gelen elektron hareketinden elektrik enerjisi elde ederiz. Şuanki teknolojiyle bile fotovoltaik panel verimleri %17 ile %24 seviyelerindedir [2]. Fotovoltaik teknolojilerin geliştirilmesi, üretim maliyetlerinin minimize edilmesi ve sistem verimliliğinin optimizasyonu konusunda çalışmalar literatürde her geçen gün yerini almaktadır.

Çalışmada; fotovoltaik panel verimini arttırmak adına kanatçık yapıyla desteklenmiş faz değıştiren madde kullanımının panel soğutulması sürecine ve sistem verimine etkisinin deneysel yöntemlerle incelenmiştir. Tasarlanan fotovoltaik güneş paneli sisteminde 3 adet 50 W monokristal güneş paneli, faz değıştiren madde olarak parafin ve kanatçıklı yapılar için alüminyum plakalar kullanılmıştır. Panellerden bir tanesi referans panel olarak kullanılmıştır. Diğer panellerde parafin ve alüminyum kanat eklenmiştir. Alüminyum kanatların bir tanesinde gözyaşı damla sacı kullanılmıştır.

Çalışmanın kapsamında; Karabük ili iklim şartlarında, değışen ışınım değerlerine bağlı fotovoltaik panellerin sıcaklık değışimleri ve panel elektiriksel verimleri deneysel olarak incelenmesi ve teorik analizleri yer alacaktır. Tasarlanan fotovoltaik sistemler ile güneş paneli verimi ve ömrü arttırılacaktır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Gerçekleştirilen literatür araştırmasında, çalışılması hedeflenen fotovoltaik panel soğutma süreciyle ilgili birçok farklı uygulama ve nümerik çalışmaya ulaşılmıştır. Literatürde benzer çalışmalarda elde edilen bulgular bu bölümde örneklenmiştir.

Firoozzadeh vd. PV panel sıcaklığında parafin ve PEG-600 kullanımının etkisi ve kanatçıkların rolünü incelemiştir. PEG 600 kanatsız faz değıştiren maddde (FDM) ile kıyaslandığında FDM ekli panelin 26,2°C daha soğuk olduğu, PEG 600 kanat eklendiğinde farkın 19,2°C olduğu görölmüşür. Geleneksel panel ile parafin ve kanat eklenmiş panel arasındaki maksimum ekserji verimliliği farkı %4,2 olarak bulunmuştur [3].

Ceylan vd. özel işlem ile, PV modül üzerinde çalışmalar yapmıştır. PV panelde soğutmanın yapılması için spiral boru eklenmiştir. Tasarladıkları sistemde panelin aktif soğutulması ile panel veriminin %10' dan %13'e ulaştığını ifade etmişlerdir [4].

Fayaz vd. PV, PV/T ve PVT-FDM panellerin performansını nümerik ve deneysel yöntemlerle incelemiş ve karşılaştırmışlardır. PV/T ve PVT-FDM sistemlerinin elektriksel verim artışları nümerik ve deneysel olarak %6,2, %4,8, ve %7,6 ve %7,2 oranlarında belirlenmiştir [5].

Andre vd. protatip PV santralde açma kapama optimize edilmiş su akışı ile 30°C ile 60°C arasında panel sıcaklığı düşüşü sağlanmıştır. %12 ile %17 arası elektriksel verim sağlanmıştır [6].

Hossain vd. faz değıştiren mazleme kullanarak fotovoltaik termal kollektörün soğutulması ile enerji ve ekserji verimindeki iyileştirmeyi analiz etmiştir. PV panel

maksimum verimi %9,88, PV/T-FDM panel verimi ise %11,08 verimi olarak gözlemlenmiştir [7].

Cüce vd. PV paneli soğutmak için PV panele alüminyum kanatçık ekleyip deneysel olarak incelemiştir. Panel performansında %20 oranında bir artış gözlemlenmiştir [8].

Al-Waeli vd. PV paneli soğutmak için nano malzeme karışımı olan FDM ile doldurulmuş tank kullanmışlardır. Çalışmada çıkış gücü 12,7 W, elektriksel verim %13,7, ısı verimi ise %72 olarak bulunmuştur. Sistemin geri ödeme süresinin 5-6 yıl olduğu belirtilmiştir [9].

Siahkamari vd. PV paneli soğutmak için parafin mumu ve koyun yağı+CuO nanoparçacıklarını kullanmıştır. FDM soğutma kapasitesini arttırmak için su dolaşan borular ilave edilmiştir. Koyun yağı+CuO nanoparçacıklarının geleneksel panellere göre maksimum güç değerinde %24,6 ile %26,2, parafin mumuna kıyasla %5,3 ile %12 arasında artış sağlamıştır [10].

Bahaidarah vd. hibrit bir PV su soğutmalı sistemin elektiriksel ve termal verime etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Aktif su soğutma ile modül sıcaklığı yaklaşık %20 düştü ve bu da PV panel verimliliğinde %9'luk artış gözlemlenmiştir [11].

Schmidt vd. küçük çapta plastik tüplerden oluşan içi boş fiber soğutma sistemi basit bir çözüm olarak test etmişlerdir. Deneyler, modül sıcaklığını 90°C'den yaklaşık 50°C'ye düşürdüğünü ve elektiriksel verimide yaklaşık %50 arttırdığını göstermiştir [12].

Mehrotra vd. güneş panelinin suya daldırma yöntemi ile panelin elektriksel verimliliğinde maksimum %17,8 artış sağlamıştır. Panel ve elektiriksel verim belirli bir derinliğe kadar artmış daha sonra azalmaya başlamıştır [13].

Ömeroğlu vd. alüminyum ve bakır malzemelerden yapılmış kanatçık ekli PV panel ve kanatçiksız referans panel performanslarını incelemiştir. PV panel sıcaklığındaki

düşüşler, kanatçiksız 52°C, alüminyum kanatçık eklenmesiyle yaklaşık 70°C ve bakır kanatçıklar eklenmiş durumda yaklaşık 77°C olarak gözlemlenmiştir [14].

Abdulmunem fotovoltaik panellerden ısı çekmek için alüminyum köpük ile parafin mumu matrisi kullanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına bakıldığında, sadece FDM kullanılarak 61,39°C'den 46,°C'ye FDM ve alüminyum köpük kullanıldığında ise 39,58°C'ye düşmüştür. PV panelinin elektrik verimliliği, sadece FDM kullanılarak %10,19'dan %12,37'ye, FDM ve alüminyum köpük kullanıldığında ise %13'e yükselmiştir [15].

Park vd. PV panel verimine FDM' nin kalınlığı ve erime sıcaklığının etkisini incelemişler. Optimum FDM koşulları uygulandığında üretilen elektrik güç çıkışı geleneksel PV modülüne kıyasla %1,0–1,5 arttı [16].

Luo vd. PV/FDM özel bir tapla kullanarak panel sıcaklığına etkisini incelemişlerdir.. Deney sonuçları geleneksel PV panelinin sıcaklığı 61.7°C ve PV-FDM panelinin maksimum sıcaklığı 57°C'dir PV-FDM panelinin çıkış gücü, ortalama %7,28 artış göstermiştir [17].

Ceylan vd.'nin elektriksel performansı artırırken atık ısıdanda faydalanmak amacıyla PV/T sistem üzerinde çalışmışlardır. 200 W/m² ışınım ile panel sıcaklığındaki en yüksek sıcaklığı 37°C olarak bulmuşlardır. Güneş panelinin veriminide %11 olarak bulmuşlardır [18].

Hamdan vd. yalın panel ve arka tarafına faz değıştiren malzeme entegre edilmiş panellerin performansını karşılaştırmıştır. FDM kullanılarak soğutulan PV panelden standart panele göre %2,6 daha iyi performans elde edilmiştir [19].

Hasan vd'nin PV panellerin performans artışı sağlamak için PV panele kanatçıklar eklemiştirler. Kanatçık kullanımının ortalama güneş paneli sıcaklığında yaklaşık 5,7°C düşürdüğünü ve ortalama modül çıkış gücünün yaklaşık %15,3 arttırdığını ifade etmektedirler [20].

Rajvikram ve Sivasankar vd'nin FDM'nin termal iletkenliğini arttırmak için kanatlı yapı ekleyerek yaptığı çalışmada panellerin soğutulmasını incelediler. Bir soğutucu tarafından desteklenen FDM'nin, PV panellerin ısını düşürmek ve fotovoltaik panelin verimliliğini artırmak için etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir [21].

Rajput ve Yang, PV panelleri soğutmak için silindirik kanatlı ısı alıcıları ve geleneksel tek kanallı bir PV/T toplayıcıya karşı test ettiler. Sıcaklıklar, soğutucu ile 58,4°C'ye ve kolektör kullanılarak 47,9°C'ye düştü. Durgun rüzgar koşullarında paneli soğutmak için silindirik pim kanatlı ısı alıcıların kullanılmasının araştırılmasını şiddetle tavsiye ediyorlar [22].

Krauter vd. PV panellerin entegre edildiği yüzeyde dolaşan suyun panel performansına etkisini incelemişlerdir. Yüzeyle sirkülasyon suyunun uygulanmasının PV verimliliğini yaklaşık %10 artırdığını göstermiştir [23].

Gotmare vd. kanatçıklar ile doğal konveksiyon kullanarak pasif soğutma çalıştı., Kanatçıklar kullanımı ile PV panel ölçülen sıcaklığı azaldı ve kazanılan güç %5,5 arttı [24].

Mays vd. alüminyum kanatlı bir plaka kullanarak PV modüllerinin performansını deneysel olarak analiz etti. Sonuçlar, kanatlı alüminyum levha kullanımının elektrik verimliliğini %1,75 ve üretilen gücü 1,86 W artırdığını ortaya çıkardı [25].

Thongtha vd. FDM'li ve FDM'siz ısı transferinin bir simülasyonunu inceledikten sonra, elektriksel verimin FDM ile ve FDM olmadan sırasıyla %12,1 ve %11,9 olduğunu gördü [26].

Su vd. FDM ile bir hava soğutma tekniği kullandı ve ortam sıcaklığı 28-37°C olduğunda modül verimliliğinde %10,7'lik bir iyileşme elde etti [27].

Soliman vd. güneş pillerinin davranışı üzerinde bir ısı emici kullanmanın etkisini doğrulamak için bir deney düzeneği tasarladı. Çalışma, farklı güneş radyasyonu değerleri ile içeride yapılmıştır. Soğutma soğutucusu, cebri ve doğal hava kullanılarak

yapılır. Sonuçlar, güneş pillerinin sıcaklığının, soğutucuyu soğutmak için doğal hava ve cebri hava kullanılarak sırasıyla %5,4 ve %11 oranında düşürüldüğünü göstermiştir. Güç yaklaşık %16 artmıştır [28].

Micheli vd. PV modülünün davranışını soğutma sistemlerinde plaka mikro kanatçıklarla hesaplamalı olarak incelediler. Sonuçlar, güneş pillerine mikro kanat sistemi uygulandığında termal performansın arttığını ve üretilen gücün %50 arttığını göstermiştir [29].

Soliman ve Hassan, güneş pillerinin performansını test etmek için ısı alıcıları ve mikro kanalları kullandı. Bu sistemi kullanarak, hücre verimliliğinde ve gücünde sırasıyla %8 ve %13'lük bir artış bulmuşlardır [30].

Alzaabi vd. verimlilikteki iyileşmeyi araştırmak için PV panel ve PV/T su toplayıcıyı karşılaştırarak elektriksel verimde yaklaşık %15-20'lik bir artış elde etmiş ve termal verimde %60'a yakın değerler elde etmiştir [31].

Li vd. PV modülünü soğutmak için parafin mumu kullandı. Referans panel ile karşılaştırdığında parafinin panel sıcaklığını 23°C'ye kadar düşürdüğünü ve %5,18 panel çıkış gücünde artış göstermiştir [32].

Hasan vd. 38°C ile 43°C arasında erime sıcaklığına sahip parafini, PV panelinin arka tarafına yerleştirdiler ve etkisi aşırı sıcak bir ortamda izlendi. PV-FDM'nin yıllık elektrik verimi %5,9 arttı [33].

Dorobantu ve Popescu, güneş panellerini soğutmak için su kullandılar. Panel sıcaklığını düşürerek elektrik veriminde %9,5 artış elde ederler [34].

Sarafraz vd. PV panellerin ısını düşürmeye ve PV/T kollektör sistemi için hem elektrik hem de termal enerji üretimini iyileştirmek için çalıştı ve FDM parafin ile doldurulmuş bir soğutma kapağı ile kaplandı. Karbon nanotüplü bir FDM kullandı. Bu soğutma sistemi kullanıldığında elektrik çıkışında ve termal üretimde ayrı ayrı %20 ve %130 artış olduğu görüldü [35].

Bijjargi vd. PV panele ısı eşanjörü ile bir fan ekleyip panel sıcaklığını düşürerek sistemin kazancını %12-14 oranında arttırmışlardır [36].

Baloch vd. yakınsak kanal adı verilen bir soğutma teknolojisinin deneysel uygulamasını gerçekleştirdi. Soğutulmamış panel sıcaklığı 71,2°C iken yakınsak kanlı panel soğutma yapıldığında sıcaklık 45.1°C'ye düşürüldü ve enerji çıktısında soğutulmamış panele göre %35,5 artmıştır [37].

Younas vd. PV panelde basit soğutma kanalları uygulamışlardır. Referans bir PV panele kıyasla 27,5°C'lik bir sıcaklık düşüşü gözlemlediler. Aynı zamanda fotovoltaik hücre için tahminen %1,61 verimlilik artışı ve %12,85 performans artışı ile sonuçlanmıştır [38].

Khanna vd. güneş panellerinin ısını düşürmek için bir FDM kullandı. Farklı çalışma koşullarında FDM kullanarak sağlanan gücü ve elektriksel etkinliği artırmayı başardılar [39].

Haidar vd. fotovoltaik panellerin buharlaştırma yoluyla soğutulmasını teorik ve deneysel olarak inceledi. Panel sıcaklığını 20°C'den fazla düşürdükten sonra güneş paneli verimliliğinde %14'lük bir artış elde ettiler [40].

Jasim vd. PV panelin elektrik kazancını arttırmak için iki farklı akış düzenlenmiş sıvı akışı sirküle döngüsü göz önünde bulundurularak PV/T kolektörlerinin soğutulması deneysel olarak incelenmiştir. İki farklı akış düzenlemesinde farklı oranlarda elektrik performansında artış elde etmişlerdir [41].

BÖLÜM 3

GÜNEŞ ENERJİSİ

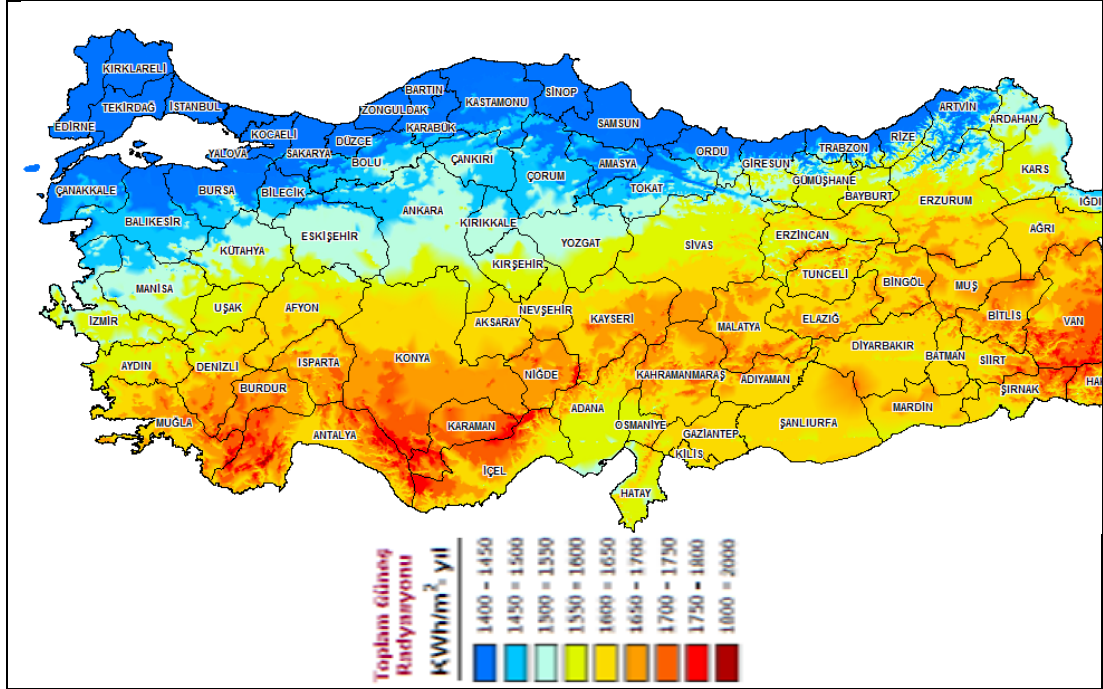
Güneş, yaşamımız için çok önemli enerji kaynağıdır. Güneşten enerji üretimi yıllar boyunca insanoğlunun ilgilendiği ve üzerinde çalıştığı konu olmuştur.

Güneş enerjisi, güneşte meydana gelen füzyon ile ortaya çıkan radyasyon enerjidir. Güneş ışınımı ile ortaya çıkan yaklaşık $3,9 \times 10^{26}$ W güç ile içinde yaşadığımız evrendeki enerji gereksiniminin tümünü karşılayacak güce sahiptir. Güneş çok yüksek miktarda enerji yaymaktadır. Dünyamıza bu enerjinin çok azı gelmektedir. Atmosfer dış yüzeyinde ortalama olarak metrekaraya 1367 W güç ulaşmaktadır. Atmosfere yüzeyine ulaşan ışınların birazı emilip birazı ise yansımaktadır.

Dünyaya ulaşan güneş ışığının enerjisi gereksinim duyduğumuz toplam enerjiden kat ve kat fazladır. Bundan dolayı günümüzde alternatif enerji kaynağı olarak güneş enerjisi üstünde çokca çalışılmaktadır. Enerji üretimi için dünya üzerindeki birçok ülke fosil yakıtların zararlarını farketmiş ve alternatif enerji kaynakları ile ilgili çalışmalarını artırmıştır. Alternatif enerjiye olan ilginin artmasıyla güneş enerjisinden ısı ve elektrik üretimi geliştirilerek devam etmektedir. Güneş enerjisinden birden farklı elektrik üretimi şekli mevcuttur. Ancak çalışmalar direk elektrik üretimi olan fotovoltaik paneller üzerinde daha fazladır. Son zamanlarda güneş enerji sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar maliyetleri düşürmüş ve teknolojik olarak olumlu etkiler göstermiştir. Temiz enerji ve işletme çok düşük maliyetinin olması güneş enerjisine önemini arttırmaktadır [42].

3.1. TÜRKİYE’ DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Ülkemiz içerisinde bulunduğu coğrafi konumu itibari ile güneş enerjisinden faydalanma konusunda büyük bir avantaja sahiptir. Ülkemizin avrupada İspanya haricindeki ülkelerden güneş enerjisinden daha fazla faydalanma olanağı bulunmaktadır. Ülkemizin güneşten faydalanma kapasitesi ortalama olarak 1400-1800 kWh/m²-yıl değerindedir (Şekil 3.1). Ülkemizde güneş enerjisinden faydalanma kapasitesi en yüksek olan bölgelerimiz Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleridir [43].



Şekil 3.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası [42].

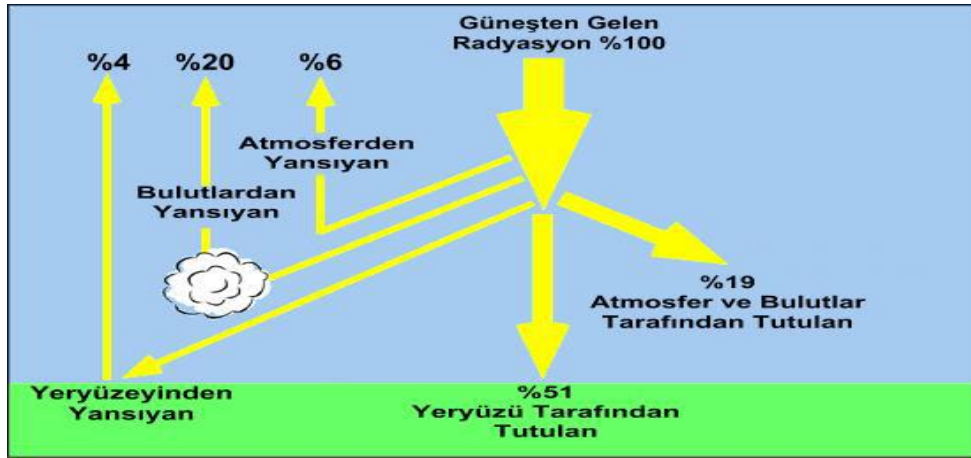
Elektrik İşleri İdaresi (EİE) ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyelinin gösterildiği Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına (GEPA) göre, ülkemizde güneş enerji kapasitesinin çok yüksek olduğu belirlenmiştir. Atlas incelendiğinde güneş enerji potansiyelinin fosil yakıtlar yakılarak elde edilebilen yaklaşık 56000 MW güc değerlerinde olduğu ve güneş enerjisi potansiyelinden yararlanılması durumunda yıllık olarak ortalama 380000 GWh'lık güc elde edilebileceği belirtilmiştir. Ülkemizde potansiyel bu kadar yüksek olmasına rağmen güneş enerjisinden yeterli düzeyde

faýdalanılamamaktadır. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasında güneş enerjisinin ticaretinin önüne geçmektedir [44].

3.2. GÜNEŞ IŞINIMI

Sıcaklığı mutlak sıfırdan yüksek olan cisimlerde ısı ışınım gerçekleşmektedir. Işınım; elektromanyetik dalga veya parçacıklar biçiminde enerji yayılımıdır [43].

Güneş ışınimleri dünya ile güneş mesafesinin sabit olmamasından dolayı her yerde aynı değildir. Bu yüzden dünya ile güneşin uzaklığının ortalaması kullanılarak ışınım değerlerinin daha kolay hesaplanması sağlanır. Alınan bu ortalama güneş sabiti denir. Atmosferdeki mevcut parçacıklar güneş ışınımının hepsini geçirmezler. Atmosferden yansımada geçebilen ışınımın direkt yansıma ile geçebilen ışınımın da difüz ışınım denilmektedir. Yeryüzündeki toplam ışınımın direkt ve yansıtılan ışınımın toplamıdır (Şekil 3.2) [45].



Şekil 3.2. Direkt, difüz ve yansıtılmış güneş ışınimleri [46].

3.3. GÜNEŞ IŞINIMI ÖLÇÜM CİHAZLARI

Güneş ışınımı ölçüm cihazları ışınım çeşitlerini ölçmelerine göre piranometre, pirheliometre, pirradiyometre ve solarmetre olarak çeşitleri mevcuttur.

3.3.1. Piranometre

Direkt ve yayılı ışınımın toplamını ölçen cihazlardır (Şekil 3.3). Piranometrelerin üzerine metal bant çekilerek direkt güneş ışınımı alması engellenip yayılı güneş ışınımı da ölçülebilir.



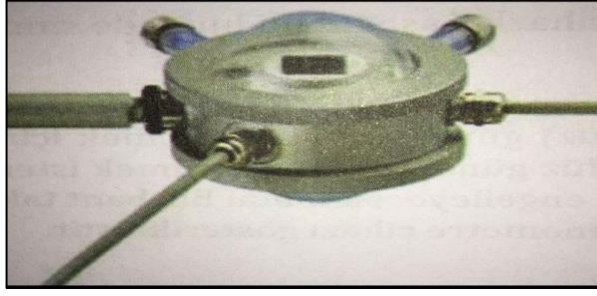
Şekil 3.3. Piranometre [47].

3.3.2. Pirheliometre

Direkt güneş ışınımı ölçümünün yapıldığı cihazlardır. Bu ölçüm cihazı, ışınımı dik alacak şekilde yerleştirilir. Bu ölçüm cihazlarında sensör, güneş ışınlarının yönünde yerleştirilmiş uzun bir borunun altında yer alır. Böylece, yayılı ışınım engellenmiş olur [43].

3.3.3. Pirradyometre

Bütün güneş ışınımını ölçen cihazlardır. Şekil 3.4'te pirradyometre örnek görseli verilmiştir.



Şekil 3.4. Pirradiyometre [43].

3.3.4. Solarmetre

Direkt güneş ışınımını ölçen cihazlardır.

3.4. GÜNEŞ GEOMETRİSİ

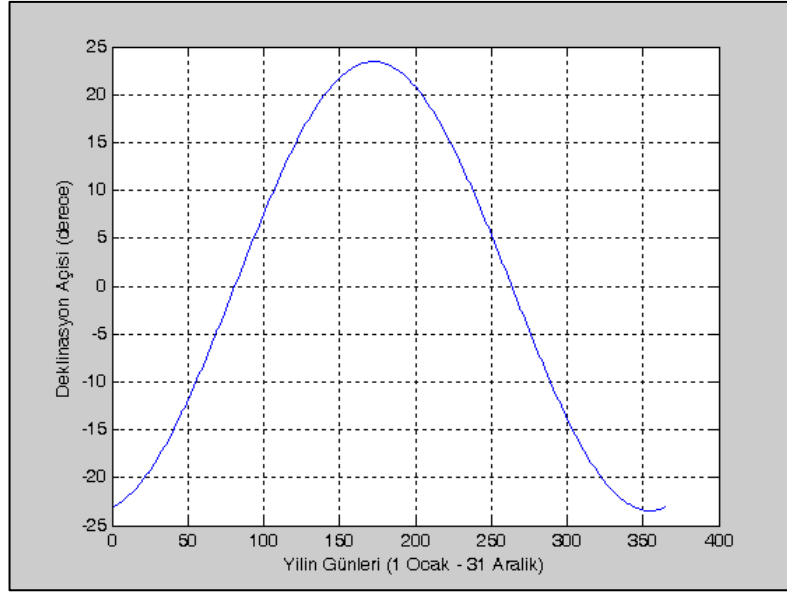
Güneş ışınlarını dünyada bulunan düzlemler arasında açılar mevcuttur. Mevcut açılar bilindiğinde güneş enerjisinden daha fazla faydalanılabilir. ile dünya üzerindeki düzlemler arasında belirli açılar vardır. Bu açıların bilinmesi ile güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilir.

3.4.1. Deklinasyon Açısı (δ)

Güneş ışınlarının belirli zaman dilimlerindeke dünyaya geliş açısına deklinasyon açısı denir (Şekil 3.5). Denklikasyon açısı en yüksek değerini 21 Haziran'da $23,45^\circ$ olarak en düşük değerlerini ise 21 Haziran'da $23,45^\circ$ ve 21 Aralık'ta $-23,45^\circ$ olarak almaktadır [43].

Deklinasyon açısı Eşitlik (3.1) ile hesaplanabilir [43].

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (3.1)$$



Şekil 3.5. Deklınasyon açısının bir yıl içerisindeki değişimi [48].

Güney yarım kürede yaz mevsiminin yaşandığı 23 Eylül-21 Mart tarihleri arasında deklınasyon açısı negatif değerler almaktadır.

3.4.2. Saat Açısı (w)

Saat açısı, seçilen bir konumun boylamı ile dünya merkezine doğru olan ışınların arasında kalan açıdır. Bu açı güneşin en yüksekte olduğunda sıfır olarak kabul edilir. Buna göre saat açısı öğleden önce negatif, öğleden sonar ise pozitif değerler alır [49].

Saat açısı Eşitlik (3.2) ile belirlenir [43].

$$w = 15(GS - 12) \quad (3.2)$$

3.4.3. Zenit Açısı (Ψ)

Zenit açısı güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısı olarak tanımlanır. Güneş ışınlarının yatay düzleme dik şekilde gelmesiyle zenith açısı sıfır değerini almaktadır. Güneşin doğuşu ve batışı sırasında ise $z = 90^\circ$ olur [49].

Zenit açısı Eşitlik (3.3) ile belirlenir [43].

$$\Psi = 90 - \alpha \quad (3.3)$$

Enlem açısına bağlı zenit açısı Eşitlik (3.4) ile hesaplanır [43].

$$\Psi = \cos^{-1}[\sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(w)] \quad (3.4)$$

3.4.4. Güneş Yükseklik Açısı (α)

Güneş yükseklik açısı yatay düzlem ile direkt güneş ışınlarının yaptığı açığa denir. Zenit açısını 90° 'ye tamamlamasından dolayı $\sin y = \cos z$ dir [49].

Güneş yükseklik açısı (3.5) Eşitliği ile hesaplanabilmektedir [43].

$$\alpha = 90 - \Psi \quad (3.5)$$

Güneş yükseklik açısı enlem açısına göre (3.6) eşitliğine göre belirlenir [43].

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(w)] \quad (3.6)$$

3.4.5. Güneş Azimut Açısı (γ_s)

Yerel boylama göre güneşin dünya üzerindeki izdüşümüyle güney doğrultusu arasındaki açığa güneş azimut açısı denilmektedir. Güneyden doğuya doğru (-), batıya doğru ise (+) kabul edilir [43].

Azimut açısı Eşitlik (3.7) ile belirlenir [43].

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left[\frac{\cos(\delta)\sin(w)}{\cos(\alpha)} \right] \quad (3.7)$$

3.4.6. Yüzey Azimut Açısı (γ)

Yüzeyin dikinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır. -180° ile $+180^\circ$ arasında değişmektedir. Güneye bakanlar yüzeyler için 0° , batıya yönelen kısım için negatif ve doğuya yönelen yüzey için pozitif değer alır.

3.4.7. Geliş Açısı (θ)

Güneş geliş açısı, direkt güneş ışınımının yüzeyin normali ile arasında oluşan açıya denir [43].

Güneye bakan eğik yüzeyler için geliş açısı Eşitlik (3.8) ile hesaplanabilir [43].

$$\theta = \cos^{-1}[\cos(\delta) \cos(\varphi - \beta) \cos(w) + \sin(\delta) \sin(\varphi - \beta)] \quad (3.8)$$

3.5. FOTOVOLTAİK PANELLER

İçerisinde bulunan yarı iletken malzemeler sayesinde güneş ışınımından direk elektrik üreten yapılara güneş panelleri veya daha yaygın ismiyle fotovoltaik (Photovoltaic, PV) paneller denilmektedir. “PV” photovoltaic kelimesinin kısaltmasıdır. Photovoltaic kelimesinin anlamına bakıldığında; ”Photo” ışık ve “Voltaic” elektrik anlamına gelen kelimelerin birleşimidir.

Güneş pili olarak kullanılan panellerde elektron vermeye ve almaya yatkın yarı iletkenler malzemeler kullanılır. Güneş pillerinde çok kristalli silisyum kullanılmaktadır. P ve N tipi yarı iletken maddeler öncelikle elektriksel olarak nötrdür. PN eklem oluştuğunda, N tabakasındaki elektronlar negatif kutup tarafından itilir ve pozitif kutup tarafından çekilmesiyle eklem arasındaki direnç bölgesi azalır ve elektronlar pozitif kabul ettiğimiz oyuklara atlamaya başlar. Ve elektrik hareketi başlar [50].

Güneş panellerinin üretiminde kullanılan silisyum elementi dünyada rezerv olarak sınırsızdır. Ancak güneş panelleri için kullanılan saf silisyum üretimi yeterli seviyede

değildir. Güneş hücreleri genellikle yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde üretilmektedir. Güneş hücrelerinin verimim hücreleri oluşturan malzemeler ve panel yapısına göre %5 ile %20 arasında bir verimle çalışırlar. Paneller seri ya da paralel bağlantı yapılarak çıkış güçleri W'tan MW'lara kadar çıkarılabilmektedir.

3.5.1. Fotovoltaik Panel Tipleri

Fotovoltaik paneller birçok farklı madde kullanılarak üretilir. Panellerin Verimlerini arttırmak için AR-GE çalışmaları sürmekte olup, kullanılan panellerin tercihleri ise sistemin maliyeti, panelin kullanım ömrü, verim, v.b. kriterlerin değerlendirilmesi sonucu yapılmaktadır.

3.5.1.1. Monokristal (tekli kristal) güneş panelleri

Ticari olarak üretilen ilk güneş panellerinde, kristal çekme tekniğinden faydalanılarak boyutu büyütülen tek kristal yapıları silisyum kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda monokristal güneş panellerinin veriminin %27 civarında bir değere sahip olduğunu göstermiştir. Üretimi gerçekleştirilirken boşa giden malzeme miktarının fazla olması bu panellerin dezavantajıdır. Kullanım ömürleri göz önüne alındığında büyük yatırımlar için uygun olduğu söylenebilir [51].

3.5.1.2. Polikristal silisyum güneş panelleri

Polikristal silisyum güneş panellerinin ortalama verim değerleri monokristal panele oranla düşüktür. Panel verimleri yaklaşık %15'tir. Uygulamada ise kayıplardan dolayı %12'ye kadar düşmektedir. Kalite ve verimlilik olarak monokristal güneş pillerinin gerisinde olmalarına rağmen düşük maliyetli olmaları üretimleri diğer panellere göre fazladır [43].

3.5.1.3. İnce film güneş panelleri

Bu güneş panellerinin yapımında uygun bir yüzey üzerinde oluşturulan yaklaşık çok ince bir Silisyum Hidrojen karışımından meydana gelen ince bir film tabakasıdır. İnce film

güneş panellerinde malzeme gereksinimi ve enerji gideri azd olduğundan dolayı üretim maliyeti düşüktür. Bundan dolayı diğer panellere göre üretimin artırılması uygundur [52].

3.5.1.4. Amorf silisyum güneş pilleri

Teorik verimlerinin yaklaşık %10 olduğu bilinmektedir. Uygulamada ise bu verim değerinin yaklaşık olarak %7'lere kadar düşmektedir. Kristal yapıda olmayıp kalınlık olarak ince ve aynı tür silikon atomlarından oluşur. İnce ve esnek olmasından dolayı depolanmasında kolaydır. Ağırlıklarının az olması çatı ve binaların yüzey kısımlarında kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Darbelere karşı dayanımı fazla olmasından dolayı özel işlerde uygulanabilir [43].

3.6. SICAKLIĞIN FOTOVOLTAİK PANEL PERFORMANSINA ETKİSİ

Güneş hücreleri bir panel modülü içerisine kabsüllenmektedir. Kabsülleme neticesinde panel modülüne giren ısı çıkan ısıdan daha fazla olmaktadır. Buna bağlı olarak panel sıcaklığı yükselmekte ve sıcaklık artışı voltaj kayıplarına neden olmaktadır. Ortaya çıkan voltaj kaybıda panel güç çıkışında azalmaya yol açmaktadır. Sıcaklık artışları termal genişmeyi artırıp buna bağlı gerilimleri arttırdığı için sıcaklık artışı panel ömrünüde önemli ölçüde kısalttığı gözlemlenmiştir [53].

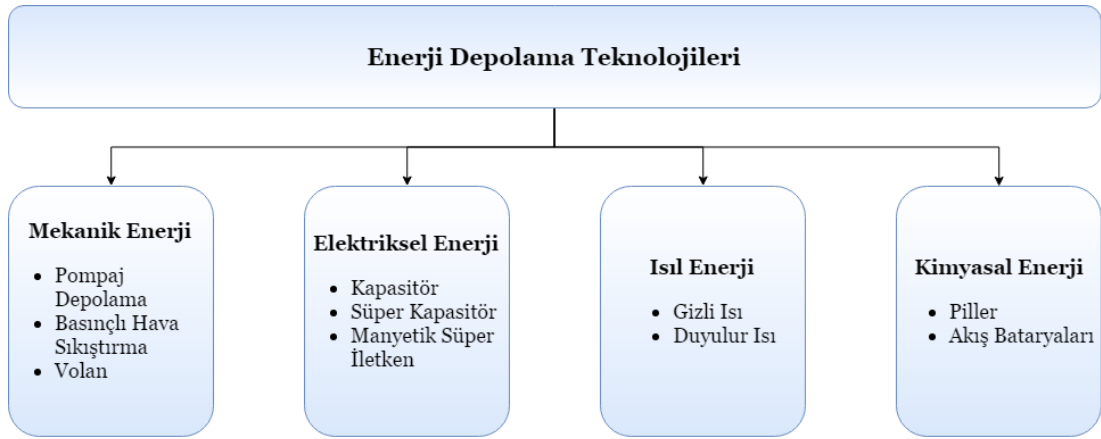
Güneş hücrelerinin yüzeylerinin sıcaklığı çeken renlerde olması yüzey sıcaklıklarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu sıcaklık artışları panel verimliliğini azaltmaktadır. Panel ısısının bir derece yükselmesi sonucunda yaklaşık %0,04 ile %0,065 arasında verim değerlerini düşürmektedir [54].

3.7. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Enerjiyi istediğimiz zaman ve istediğimiz yerde kullanabilmesi istenir. Enerjinin istenilen zaman ve istenilen yerde kullanabilmek için onu saklamaya depolama denir. Günümüzde enerji ihtiyaçlarını fosil yakıt tüketen santraller karşılamaktadır. Bunun asıl nedeni ise her an kullanıma hazır olmalarıdır. Enerji üretimi konusunda

yenilenebilir kaynaklar fosil yakıtların yanında ikincil konumdadırlar. Yenilenebilir kaynaklar fosil yakıt kullanan enerji santrallerine destek olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise enerjinin depolanmasındaki zorluklar ve devamlılığı konusundaki sıkıntılardır. Enerji santrallerinde üretimi gerçekleştiren enerjinin kullanılmayan kısmının depolanması ile sürekli enerji ihtiyacı karşılanabilir [55].

Enerjinin depolanması, mekanik, elektriksel, ısı ve kimyasal enerji olarak gruplandırılabilir (Şekil 3.6). Isıl enerji depolama duyulur ve gizli ısı depolama olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır [56].



Şekil 3.6. Enerji Depolama Teknolojileri [56].

3.7.1. Isıl Enerji Depolama

Isı enerjisi bir maddeyi oluşturan molekül ve atomun kinetik ve potansiyel enerjisinin toplamıdır ve sıcaklık farkının olduğu sıcak maddeden soğuk maddeye doğru gerçekleşen ısı transferiyle ortaya çıkmaktadır [57].

Isı enerjisi depolanması, maddenin iç enerjinde meydana gelen değişim, meydana gelen duyulur ısı, gizli ısı, tepkime ısıları veya bunların hepsinin birlikte gerçekleşmesiyle meydana gelir. Duyulur ısının depolanmasında maddedeki sıcaklık değişiminden faydalanılır. Gizli ısının depolanabilmesi için ise maddenin faz değiştirmesi gerekmektedir. Amaca yönelik olarak belirli sıcaklıklarda faz değiştiren maddenin ergime buharlaşma sıcaklıkları dikkate alınmalıdır [57].

Isıl enerjinin depolanabilmesi için bir ısı kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi gün içerisinde değişmekte ve sürekliliği olmayan bir kaynaktır. Buundan dolayı güneş enerjisi ile çalışan sistemlerin yük faktörü düşüktür. Güneş enerjisinin ısıısının depolanması yük faktörünü arttırmakta vesistemler daha ekonomik olmaktadır [57].

3.8. FAZ DEĞİŞTİREN MADDELER

Gizli ısı depolanma ile ilgili çalışmalar günümüzde artmıştır. Gizli depolama yönteminin kullanılmasıyla enerjide verimlilik artmaktadır. Gizli ısı depolamanın gerçekleşebilmesi için maddenin faz değiştirmesi gerekmektedir. FDM'ler sabit sıcaklık altında enerjiyi depolayabilme özelliğine sahip maddelerdir. Aynı zamanda gerekli durumlarda depoladığı enerjiyi ortama aktarabilmektedirler. FDM'ler yüksek suları depolayabilirler. Bu özelliği sayesinde boşa giden ısıyı depolamave enerjinin sürekliliğini sağlayabilirler. Alternatif enerji sistemlerinde fazla üretilen enerjiyi depolayıp kayıpların önüne geçerler [56].

3.8.1. Parafinler

Organik FDM sınıfına ait olan parafinler, çok sayıda alkandan oluşan doymuş hidrokarbon karışımlardır. Petrol esaslı maddelerdir. Kokuları ve tatlıları yoktur. Faz değiştirmeye başladıklarında ortama fazlaca önemli ölçüde ısı yayarlar. Isı depolama kapasitelerin fazla olması dolayı faz değiştiren maddeler arasında kullanım oranı yüksektir. Genellikle ısı depolamasındaki tercih edilme nedenleri, depolama sıcaklık aralığı yüksek olması, ucuz ve kimyasal olarak kararlı olmalarıdır [58].

3.8.2. Yağ Asitleri

Yağ asitleri faz değiştiren maddelere alternatif olarak kullanılabilir. Gizli ısıları neredeyse parafin kadar vardır. Düşük sıcaklıklarda gizli ısıının depolanmasına elverişlidir [58].

Yağ asitleri, sürdürülebilir bir ergime sağlaması ve donma sağlamaktadır. Donması için çok düşük sıcaklıklar gerekmemektedir. Bu özelliklerinden dolayı faz değiştiren mazlame olarak kullanılmaya elverişlidirler. Dezavantajları ise maliyetlerinin yüksek olmasıdır [59].

3.8.3. Tuz Hidratları

Isı enerjisini depolama kapasiteleri yüksek olan tuz hidratları faz değiştiren madde olarak kullanılabilir. Isı enerjisi depolama kapasiteleri ve ısıl iletkenlikleri yüksektir. Bunun yanında erime-donma sürecinde aşırı soğuma ve faz ayrışması meydana gelebilme ihtimali vardır [58].

3.8.4. Ötektik Karışımlar

Organik ve inorganik bileşiklerin ötektikleri, belirli ergime/donma noktasına sahiptirler. Bundan dolayı gizli ısı depolama maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Bu karışımların maliyetleri araştırılmalıdır. Ergime sıcaklığı 45-60°C aralığında bulunan materyaller ortam ısıtma uygulamaları için uygundur [59].

3.8.5 Faz Değiştiren Maddelerin Seçimindeki Kriterler

FDM seçiminde etkili kriterler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Termodinamik özellikler;

1. Erime noktası, yapılan çalışma sıcaklığı sınırları uyumlu olmalıdır.
2. Fazla alan kaplamamalıdır.
3. Duyulur ısı depolama oranı yüksek olması için özgül ısısı yüksek olmalıdır.
4. Yüksek ısıl iletkenliğe sahip olmalıdır.
5. Genleşme katsayısı düşük olmalıdır.
6. Faz değişim sırasında hacimsel değişim az olmalıdır [60].

Kimyasal özellikler;

1. Kimyasal özellikleri değişmemelidir.
2. Uzun süreli kullanım için kimyasal ayrışma gerçekleşmemelidir.
3. Aşındırıcı etkisinin olmaması gerekmektedir.
4. Yanıcı, zehirli ve patlayıcı olmamalıdır [60].

Ekonomik özellikler;

1. Temin etmenin kolay olması için bol miktarda olmalıdır.
2. Fiyatı uygun olmalıdır [60].

3.8.6 Faz Değiştiren Maddelerin Kullanım Alanları

Günümüzde ısı enerjisinin depolanabilmesi için yeni maddeler araştırılmaktadır. Aynı zamanda mevcut FDM lerinde ısı enerji depolama özelliklerinin farklı alanlarda kullanımını için çalışmalar yürütülmektedir. FDM'lerin kullanım alanları ve sıcaklık kontrol performansının bu maddeler kullanılarak artacağı yerler genel olarak aşağıda sıralanmıştır.

1. Soğutma: Kurulu gücün azaltılması.
2. Gıdaların bozulmadan soğuk tutulmasında.
3. Motorların soğutulmasında.
4. Kullanım suyu ve ısınma ihtiyaçlarında.
5. Tıbbi uygulamalar: Kan, ilaç, vb. Taşınması.
6. Binalarda pasif ısı depolama.
7. Yaşam ortamlarında sıcakların sabit tutulması.
8. Kimyasal reaksiyonlarda ekzotermik piklerin etkisinin azaltılması.
9. Güneş enerjisinin termal depolanması.
10. Araçlarda termal konforun sağlanmasında.
11. Elektrikli aletlerin termal korunması.
12. Sıcak ve soğuk iklim kıyafetlerin yapımında [61].

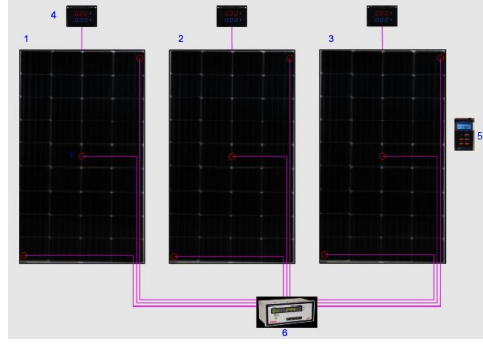
BÖLÜM 4

METERYAL VE YÖNTEM

Deney seti Karabük ilinde (Türkiye, 32:37 E, 41:12 N) Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarında yapılmış ve deneyler ekim ayında fakülte bahçesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler havanın güneşli olduğu bir günde 10:30 ile 16:30 arasında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında bulunan PV paneller, ölçüm ve kayıt cihazlarının montajı bir masaya yapılmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler bölüm içinde detaylandırılmıştır. PV panellere 14,6 Ω dirençlerden oluşan direnç yük devresi bağlanarak çalışma yük altında gerçekleştirilmiştir.

4.1. DENEY SİSTEMİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Deneyisel çalışmada üç adet çizelge 4.1'de gösterilen özelliklere sahip 50 W monokristal PV panel kullanılmıştır. Faz değiştiren malzeme olarak parafin kullanılmıştır. Deney verilerinin eldesi için üç adet dijital ampermetre voltmetre, dokuz adet K tipi termokupl, Tes-1333R solarmetre ve sıcaklık ölçümü için Elimko-E680 dataloger kullanılmıştır. Güç ölçümü için elektrik devresinde üç adet 4,6 Ω üç adet 10 Ω taş direnç kullanılmıştır. Isı aktarımını sağlamak için alüminyum kanatçıklar ve alüminyum talaşı kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deneyin tasarımı ve ölçüm noktaları.

1. Çeta kanatçıklı panel(PV2).
2. Referans panel (PV1).
3. Düz kanatçıklı panel (PV3).
4. Dijital ampermetre voltmetre.
5. Solarmetre.
6. Sıcaklık ölçüm cihazı.
7. Termokupl.

Deney düzeneğinde aynı özelliklerde 50 W monokristal panelin bir tanesi (PV1) referans olarak yalnız bir şekilde kullanılmıştır. Diğer iki panelin bir tanesi düz yüzeyli (kabartmasız) alüminyum kanatçıklı (PV2) ve diğeri alüminyum çetalı (kabartmalı) kanatçıklı (PV3)'dür. Kanatçıklı yapılar ile panel arka yüzeyi arasına parafin ve alüminyum talaşı karışımı doldurulmuştur. Bundan sonra metin içerisinde yalnız panel için (PV1), düz kanatçıklı panel içinde (PV2) ve çetalı kanatçıklı panel için (PV3) kısaltılmış ifadeleri kullanılacaktır.

4.2. KULLANILAN EKİPMANLAR

4.2.1. Güneş Paneli

Deney düzeneğimizde kullandığımız güneş panellerinin özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilen özelliklere sahip paneller kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Kullanılan güneş panelinin özellikleri.

Maksimum güç	50W
Maksimum güç noktası gerilimi	20,6V
Maksimum güç noktası akımı	2,43A
Açık devre gerilimi	22,68V
Kısa devre akımı	2,37A
Hücre tipi	Monokristal
Ağırlık	4,3 Kg
Boyut	424X674X25mm

4.2.2. Sıcaklık Ölçüm Cihazı

Sıcaklık ölçümlerinin yapılması için Elimko 680 dataloger ve K tipi termokupllar kullanılmıştır (Şekil 4.2). E-680 sıcaklık ölçüm cihazları, 16 giriş noktasından aldığı bilgileri bilgisayar ortamına kaydetme kabiliyetine sahiptir. Bu kayıt cihazı, 96x192 mm boyutundadır. Dış ortamlarda bozulmayan kalibrasyona sahiptir. Okuma hassasiyetleri yüksektir. Her giriş noktası ayrı ayrı programlanabilmektedir. Tarama ve gösterme aralıkları sınırlandırılabilirler. Birden fazla cihazı aynı iletişim hatlarından bilgisayara bağlanabilmektedir. Standart akım çıkışı sağlayabilmektedir [62].



Şekil 4.2. Elimko E-680 üniversal girişli gelişmiş tarayıcı [62].

Deney düzeneğindeki sıcaklık ölçüm yerleri Şekil 4.1’de görülmektedir.

4.2.3. Güneş Işınım Ölçüm Cihazı

Deney setinde güneş ışınımının W/m^2 olarak ölçülerinin yapmak için Şekil 4.3’te görülen Tes-1333R ışınım ölçer kullanılmıştır .



Şekil 4.3. Işınım ölçer.

Işınım değerini için kullandığımız pyronometrenin genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

1. Işınım değerinin en yüksek olduğu yeri bulur.
2. Geniş menzile sahiptir.
3. Pili yaklaşık 4 gün gitmektedir.
4. Yaklaşık 158 gramdır.
5. 110 mm x 64 mm x 34mm boyutundadır.
6. Çalışmaya elverişli ortam sıcaklığı $0^{\circ}C - 50^{\circ}C$ ’dir.
7. 99 dizi menu ve veri belleğine sahiptir [63].

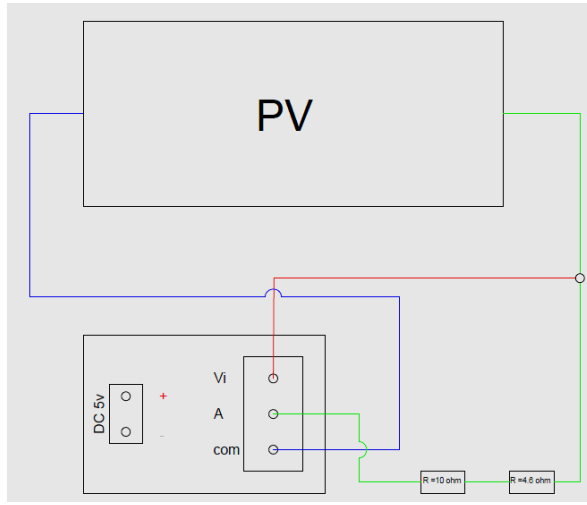
4.2.4. Elektriksel Güç Ölçüm Cihazı

Deney setinde elektriksel güç ölçülen akım (A) ve gerilim (V) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 4.4’te gösterilen dijital voltmetre- ampermetre kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Elektiriksel güç ölçer [64].

Ölçüm cihazının deney düzeneğimize olan bağlantısı Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. PV Panel güç ölçümü bağlantı şeması.

Deney düzeneğimizde kullandığımız dijital voltmetre ve ampermetre genel özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Elektiriksel Güç Ölçüm Cihazı özellikleri

Ağırlık	20g
Ekran	Dijital
Ekran renkleri	Kırmızı ve Mavi
Yenileme süresi	Yaklaşık 500 ms.
Ölçüm aralığı	DC 4,5-30 Volt-DC 0-10 Amper
Boyut	48x29x26mm
Çalışma sıcaklığı	10°-65° arası

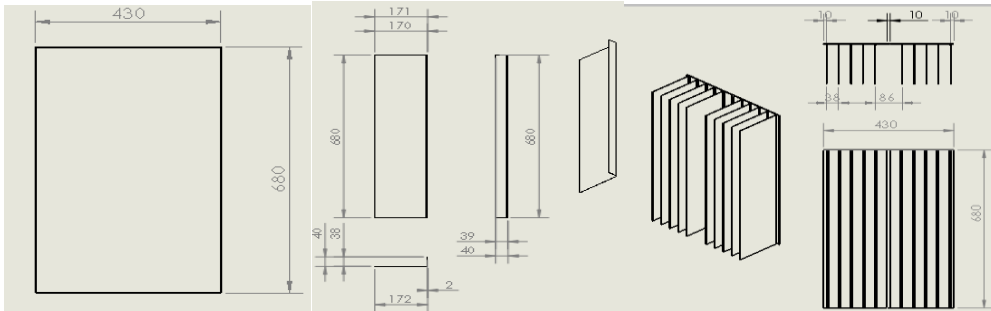
4.3. DENEYSSEL YÖNTEM

Öncelikle deney setimiz için Şekil 4.6'deki gibi taşıyıcı sistem imalatı yapılmıştır. Taşıyıcı sistem güneş panellerinin 40° açıda güneş ışınımı alacak şekilde imal edilmiştir. Malzeme olarak çelik kullanılmış olup beyaz renge boyanmıştır.

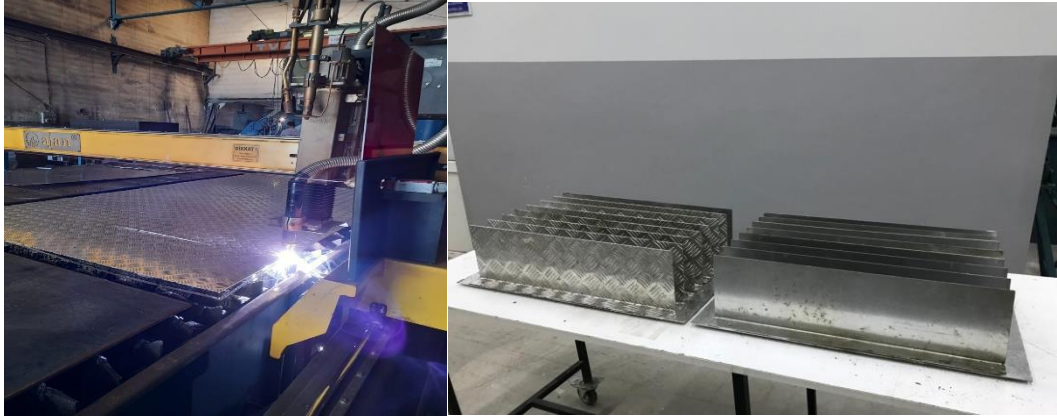


Şekil 4.6. Taşıyıcı sistem imalatı.

Deney düzeneğimizde ısı aktarımı için alüminyum kanatçıklar kullanılmıştır. Kanatçıkların yapımında PV1 için 2 mm kalınlığında düz alüminyum plaka ve PV3 için 2/3 mm çetalı (kabartmalı) alüminyum plaka kullanılmıştır. Tasarımı yapılan kanatçıkların imalatı için sac kesimleri yapıldı. Daha sonra kesimi yapılan sacların büküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Her panel için 10 adet kanatçık kullanılmıştır. Kanatçıklar alüminyum levhadan olan tablaya sabitlenmiştir. Kanatçık çizimleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Kanatçık resimleride Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Kanatçık çizimi.



Şekil 4.8. Kanatçık görseli.

Deney düzeneğimizde kullandığımız panellerin elektrik bağlantılarında oluşabilecek kayıplardan dolayı kablolar lehim yapılarak panele bağlanmıştır.

Panel sıcaklıklarının ölçülebilmesi için her panel için 3 adet K tipi termokupl kullanılmıştır. Panel ve termokupl arasında temasızlık olmaması için termal macun kullanılmıştır. Kabloların hareket etmemesi için ise tesisat bandı kullanılmıştır. Sıcaklık ölçüm yerleri Şekil 4.2 ve 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9. Termokupl bağlantı yerleri.

Deneylerde kullandığımız panellerin yük altında çalışma şartlarını değerlendirmek amacıyla her bir panel için bir adet 10Ω ve $4,6\Omega$ taş dirençler kullanılarak yük devresi hazırlanmış ve paneller bağlantıları yapılmıştır. Hazırlanan devre Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Deney setimizde elektriksel güç ölçüm cihazlarının montaj görseli Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

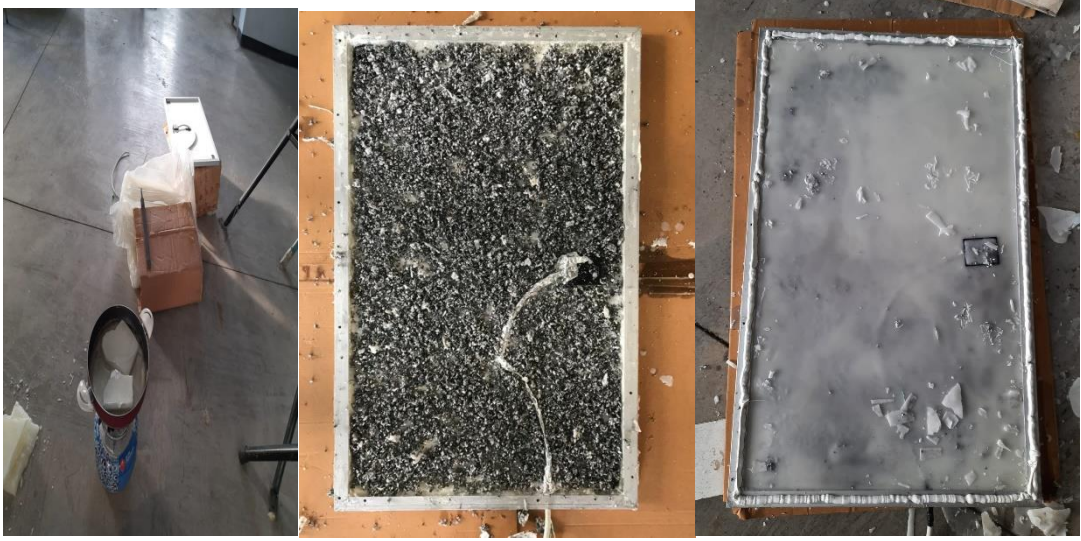


Şekil 4.10. PV Panel güç ölçüm cihazlarının montajı.

Deney düzeneğimizde faz değiştiren malzeme olarak PV1 ve PV3 panellerinde eşit miktarda parafin ve alüminyum talaşı karışımı kullanılmıştır. Öncelikle katı fazda bulunan parafinin homejen bir şekilde ve boşluksuz olarak panel arkasına eklenmesi için ısı vererek sıvı faza geçmesi sağlanmıştır. Panellerin arkası parafin ve alüminyum talaşı karışımı ile kaplanmıştır. Kullandığımız parafin termal özellikleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Parafin içerisine ısı iletkenliği arttırması için alüminyum talaşı eklenmiştir (Şekil 4.11). Her iki panelede eşit olmak koşuluyla alüminyum talaşı eklenmiştir. Panel kenarlarına silikon sızılıp oluşturulan kanatçıklar ile birbirlerine vidalanarak birleştirilmiştir.

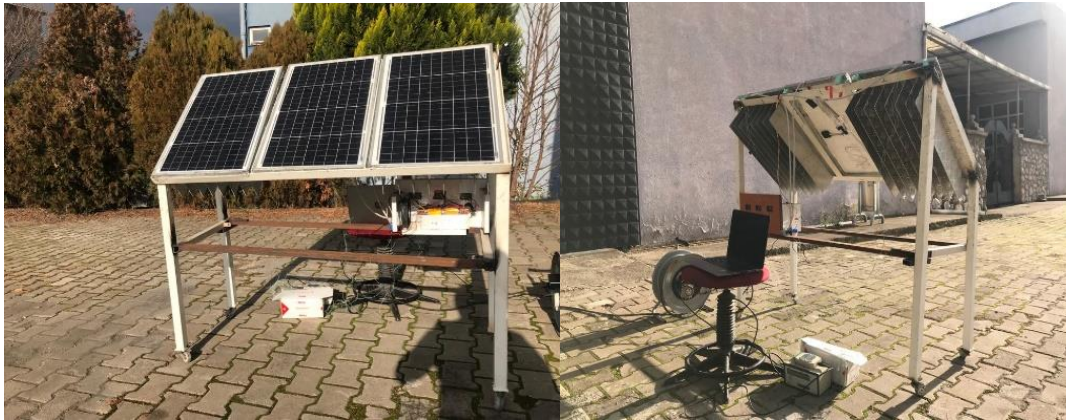
Çizelge 4.3. Parafin ısı özellikleri.

Özellikler	Değerler
Erime noktası (T_e), (°C)	43
Yoğunluk (ρ), (kg/m ³)	910 (Katı), 765 (Sıvı)
Gizli Isı (L), (kJ/kg)	189
Isı transferi (k), (W/m K)	0.23 (Katı), 0.21(Sıvı)
Özgül ısı (c), (kJ/kgK)	2.84 (Katı), 2.54 (Sıvı)



Şekil 4.11. PV1 ve PV3 panellerinin hazırlanışı.

Tasarımı ve imalatı yapılan deney düzeneği Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Deney düzeneği imal edildikten sonra üç panelde eş zamanlı test edilmiştir. Yapılan deneylerde deney yapılan yerdeki hava sıcaklığı, PV panellerin sıcaklıkları, güneş ışınımı, PV panellerin ürettiği elektriksel güç ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.12. Deney düzeneği.

4.4. HESAPLAMA YÖNTEMİ

DeneySEL çalışma verilerinin değerlendirilmesi sürecinde başvuruLAN enerji ve ekserji teorik ilişkileri bu bölümde özetlenmiştir. PV panellerin elektriksel çıkış gücü Eşitlik (4.1) ile hesaplanır.

$$E_e = VxI \quad (4.1)$$

Güneş gücü Eşitlik (4.2) ile hesaplanabilir.

$$E_g = GxA \quad (4.2)$$

PV panelin elektiriksel verimliliği Eşitlik (4.3) ile hesaplanır.

$$\eta_e = \frac{Q_e}{GxA} \quad (4.3)$$

Güneş ekserjisi Eşitlik (4.4) teki gibi hesaplanır[65].

$$Ex_g = AG \left(1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_g} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_g} \right)^4 \right) \quad (4.4)$$

Elektiriksel ekserji Eşitlik (4.5) ile hesaplanabilir.

$$Ex_e = E_e = VxI \quad (4.5)$$

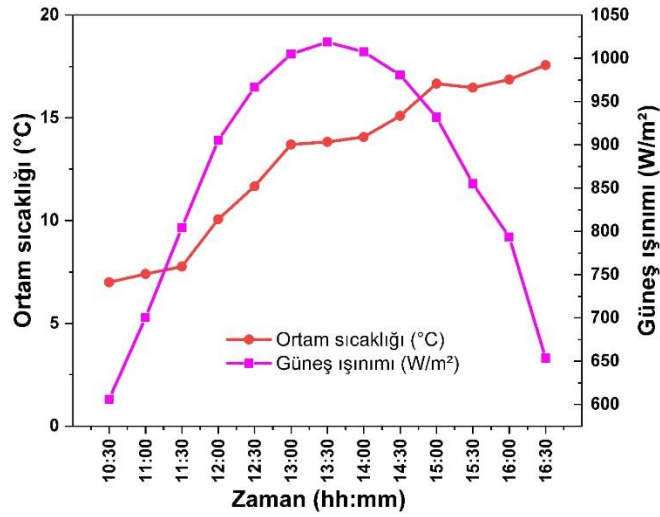
Ekserji verimi Eşitlik (4.6) ile hesaplanabilir [66].

$$\eta_u = \frac{E_e - E_k}{Ex_g} \quad (4.6)$$

BÖLÜM 5

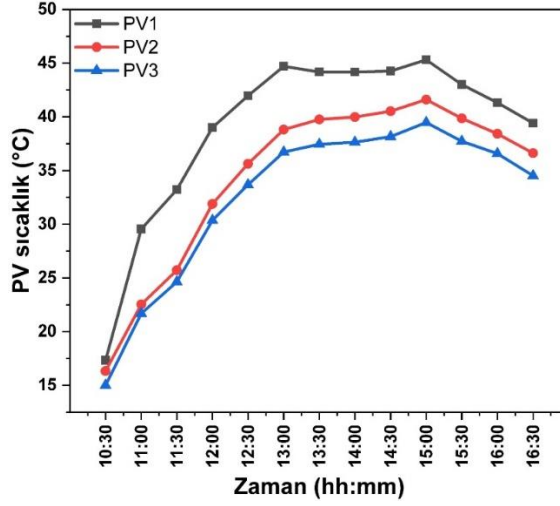
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan deneyler 2021 yılında ekim ayında gerçekleştirilmiştir. Eşit koşullar altında ve aynı zamanda kıyaslanan PV1, PV2 ve PV3 panellerinin sıcaklık, akım, ve gerilim değerleri ölçülmüş ve bu değerler kullanılarak güç, verim ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Deney sonuçları ve yapmış olduğumuz hesaplamalara göre kıyaslamalar grafikler halinde detaylandırılmıştır.



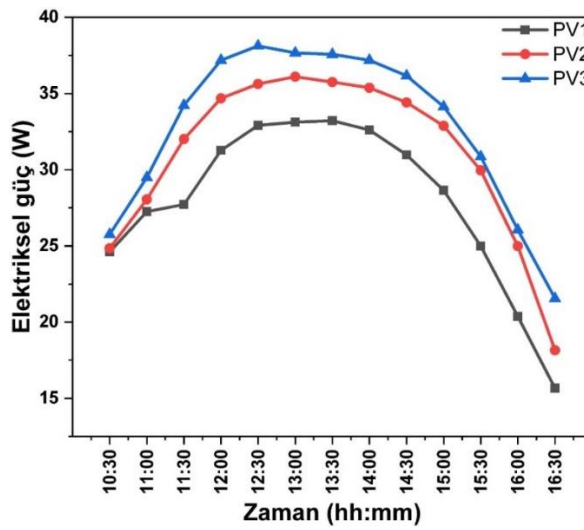
Şekil 5.1. Zamana bağlı güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı grafiği.

Güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı Şekil 5.1' de gösterilmiştir. Grafiği incelediğimizde ortam sıcaklığının başlangıç olarak saat 10:30'da 7°C den 13:30'da 14,57°C'ye ulaşırken güneş ışınımı en yüksek seviyeye ulaştı. Deneylerin sonuna kadar ortam sıcaklığı 7°C ile 18°C arasında değişkenlik göstermiştir. Güneş ışınımı ise başlangıç saatinde 606 W/m², deney sırasındaki maksimum değer 1019 W/m² ve öğleden sonra saat 16:30'da 654 W/m²'ye kadar azalmaya başladı.



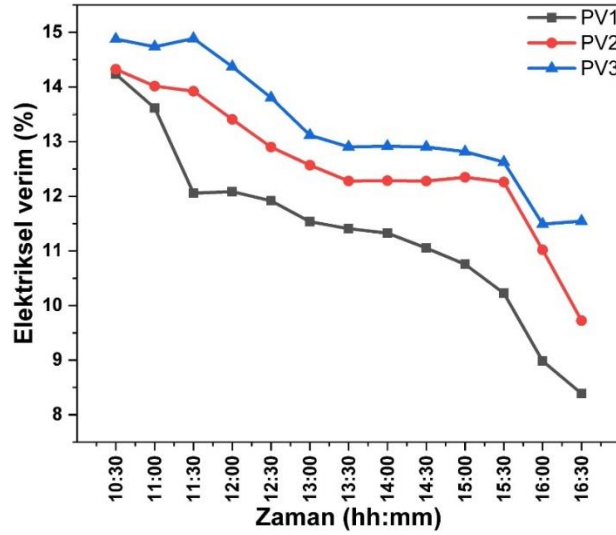
Şekil 5.2. Zamana bağlı PV panel sıcaklık grafiği.

PV panellerin sıcaklıkları Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekil 5.2’ de görüldüğü gibi referans panelin sabah sıcaklığı 17,3 °C, maksimum sıcaklık değeri 15:00’da 45,31°C ve 16:30’da 39,41°C’dir. Gün içerisinde ortalama sıcaklık değeri ise 39,03°C’dir. PV2 panelin başlangıçtaki sıcaklığı 16,33 °C, maksimum sıcaklık değeri 15:00’da 40,61°C ve 16:30’da 36,62°C’dir. Ortalama sıcaklık değeri ise 34,44°C’dir. PV3 panelin başlangıçtaki sıcaklığı 15°C, maksimum sıcaklık değeri 15:00’da 39,48°C ve 16:30’da 34,52°C’dir. Ortalama sıcaklık değeri ise 32,59°C’dir. Referans panelin ortalama sıcaklığına bakıldığında, PV2 panelinin %11,8 daha düşük PV3 panelin ise %16,5 düşük olduğu görülmektedir.



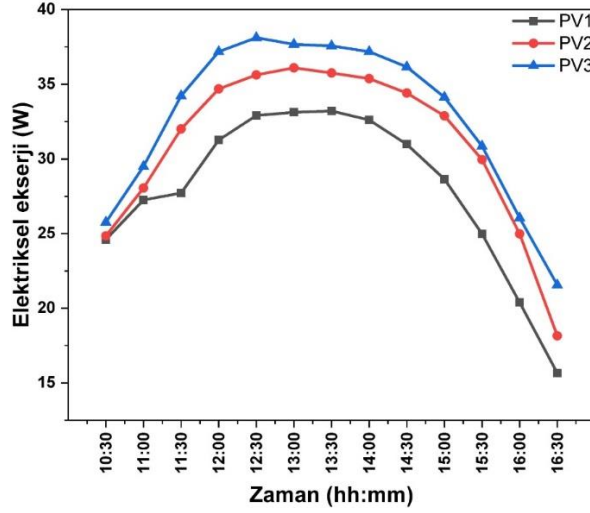
Şekil 5.3. Zamana bağlı elektrikselle güç grafiği.

PV panellerin elektiriksel güçleri Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Şekil 5.3 incelendiğinde akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak değişen PV1, PV2 ve PV3 panellerinin gün içindeki ortalama elektiriksel güç değerleri sırasıyla 27,95 W, 30,99 W ve 32,77 W olarak görülmektedir. Soğutma yapılan PV2 ve PV3 panllerinin elektiriksel güçlerinin referans panele göre sırasıyla %10,9 ve %17,25 artış göstermiştir.



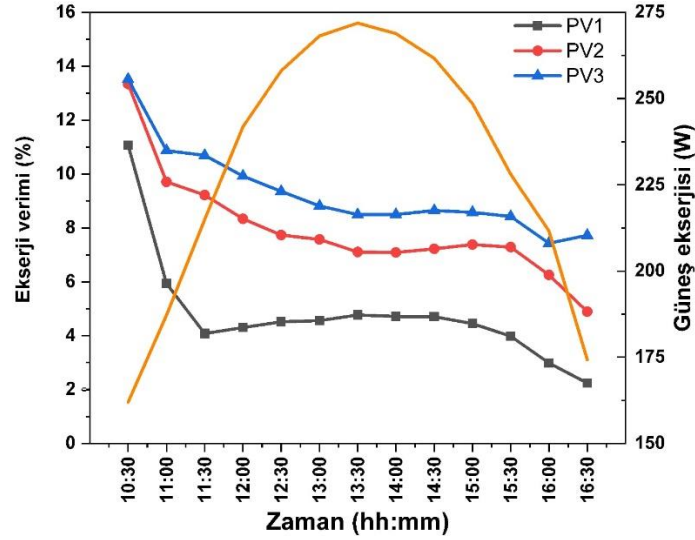
Şekil 5.4. Zamana bağlı PV panellerin elektiriksel verim grafiği.

PV panellerin elektiriksel verimleri Şekil 5.4’de gösterilmiştir. PV panellerin elektrik verimliliği, termodinamiğin birinci yasası ile hesaplanır. PV panellerin elektriksel verimlilik değerlerinde sıcaklık farkının etkisi, Şekil 5.4 ve Şekil 5.2 incelendiğinde açıkça görülmektedir. Elektriksel verim sıcaklığın en düşük olduğu deney başlangıç saatinde referans panel için %14,23, PV2 için %14,33 ve PV3 için %14,89 olarak değerlendirilmiştir. PV paneller birbiriyle kıyaslandığında PV3 paneli en yüksek elektriksel verim değerine sahiptir. Ortalama elektrik verim değerlerine göre PV2 panelinin elektriksel verimi referans panele göre %1,21 daha yüksek olarak belirlenmiştir. PV3 panelinin elektrik verimliliği, referans panel verimliliğinden %1,95 daha yüksektir.



Şekil 5.5. Zamana bağlı PV panellerin elektrikselsel ekserji grafiği.

Deney sırasındaki güneş ekserjisi Şekil 5.6'da görüldüğü gibi ortalama 230,15 W olup, elektrikselsel ekserji değerleri Şekil 5.5'de görüldüğü gibidir. Panellerin ortalama elektrikselsel ekserji değerlerine bakıldığında PV1 için yaklaşık 27,95 W. PV2 panel elektrik ekserjisi 30,98'dir. PV3 panelin elektrik ekserji değeri 32,77 W'dir. PV2 ve PV3 panellerin elektrikselsel ekserjileri referans panele göre sırasıyla % 10,84, % 17,24 daha büyüktür.



Şekil 5.6. Zamana güneş ekserjisi ve ekserji verim grafiği.

Güneş ekserjisi ve ekserji verimleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Güneş ekserjisi deney süresi boyunca 162 W ile 272 W arasında değerler almaktadır. Güneş ekserjisi

ortalama 230,61 W değerindedir. PV1 paneli iin ekserji verimi Şekil 5.6'da 10:30'den 16:30'a kadar %2,24 ile %11,06 arasında deęiŐmiŐtir. Deney suresi boyunca ortalama %4.79 değerindedir. PV2 panel iin ekserji verimliliği %4,89 ve %13,34 arasında değişmektedir. Gn iindeki ortalama değer %7,94 oldu. Deney suresi boyunca PV3 panel ekserji verimi %7,43 ile %1,52 arasında değişmekte ve ortalama %9,31'dir. Ortalama değerlere bakıldığında PV3 panel ekserji verimi PV1 panelinden %4,52 PV2 panelinden ise %1,37 daha fazladır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde, verim değerleri düşük olan PV modüllerden maksimum verim elde etmek için birçok çalışmalar yapılabilir. PV modülden maksimum güç alabilmek için güneş ışınımı gölgelenme faktörü, sıcaklık vb. çevresel faktörlerden kaynaklı verim kayıplarının minimize edilmesi için çalışmalar yürütülebilir. Büyük ölçekli güneş elektrik santrallerinde, panel sıcaklığının düşürülmesi ile ciddi kazançlar elde edilmesi mümkün olabilir. Bundan dolayı panel sıcaklığının düşürülmesi yönünde araştırmalar artırılabilir. Bu çalışmada meteryal metot kısmında bahsettiğimiz gibi soğutma sisteminde faz değiştiren malzeme olarak parafin kullanılmıştır. Parafinin ısı iletkenliğini artırması için alüminyum talaşı ve kanatçık kullanılmıştır. Deney sonuçları PV2 ve PV3 panellerinde sıcaklık referans panele göre sırasıyla %11,8 ve %16,5 daha düşüktür. Elektriksel güç çıkışında ise PV2 ve PV3 referans panele göre %10,9 ve %17,25 artış göstermiştir. PV2 ve PV3 termodinamiğin birinci ve ikinci yasa verim değerlerine bakıldığında sırasıyla %1,21, %1,95 ve %3,15, %4,52 oranında artış göstermiştir. Deney sonuçlarına göre kanatçık destekli faz değiştiren malzeme kullanımının sıcaklıktan kaynaklı verim kayıplarını düşürüp, panel güç çıkışı ve verim artışında olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Çukurçayır, M. A. and Sağır, H., "Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilgiler Dergisi*, 20: 257–278 (2008).
2. K. Başaran, K., Çetin, N. S., Çelik, H., "Rüzgar-güneş hibrit güç sistemi tasarımı ve uygulaması", *6. International Advanced Technologies Symposium*, IATS (11): 114–119 (2011).
3. Firoozzadeh, M., Shiravi, A. H., and Shafiee, M., "Thermodynamics assessment on cooling photovoltaic modules by phase change materials (PCMs) in critical operating temperature", *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, 144 (4): 1239–1251 (2021).
4. Ceylan, I., Gürel, A. E., Demircan, H., and Aksu, B., "Cooling of a photovoltaic module with temperature controlled solar collector", *Energy And Buildings*, 72: 96–101 (2014).
5. Fayaz, H., Rahim, N. A., Hasanuzzaman, M., Rivai, A., and Nasrin, R., "Numerical and outdoor real time experimental investigation of performance of PCM based PVT system", *Solar Energy*, 179: 135–150 (2019).
6. Castanheira, A. F. A., Fernandes, J. F. P., and Branco, P. J. C., "Demonstration project of a cooling system for existing PV power plants in Portugal", *Applied Energy*, 211: 1297–1307 (2018).
7. Hossain, M. S., Pandey, A. K., Selvaraj, J., Rahim, N. A., Islam, M. M., and Tyagi, V. V., "Two side serpentine flow based photovoltaic-thermal-phase change materials (PVT-PCM) system: Energy, exergy and economic analysis", *Renewable Energy*, 136: 1320–1336 (2019).
8. Cuce, E., Bali, T., and Sekucoglu, S. A., "Effects of passive cooling on performance of silicon photovoltaic cells", *International Journal Of Low-Carbon Technologies*, 6: 299–308 (2011).
9. Al-Waeli, A. H. A., Kazem, H. A., Chaichan, M. T., and Sopian, K., "Experimental investigation of using nano-PCM/nanofluid on a photovoltaic thermal system (PVT): Technical and economic study", *Thermal Science And Engineering Progress*, 11: 213–230 (2019).
10. Siahkamari, L., Rahimi, M., Azimi, N., and Banibayat, M., "Experimental investigation on using a novel phase change material (PCM) in micro structure photovoltaic cooling system", *International Communications In Heat And Mass Transfer*, 100: 60–66 (2019).

11. Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P., and Rehman, S., "Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions", *Energy*, 59: 445–453 (2013).
12. Schmidt, M., Astrouski, I., Reppich, M., and Raudensky, M., "Solar panel cooling system with hollow fibres", *Applied Solar Energy*, 52: 86–92 (2016).
13. Mehrotra, S., Rawat, P., Debbarma, M., Sudhakar, K., Centre, E., and Pradesh, M., "Performance of a solar panel.pdf", 3 (3): 1161–1172 (2014).
14. Ömeroğlu, G., "Fotovoltaik termal (PVT) sistemlerinde farklı tip kanatçıklar kullanılarak optimum çalışma sıcaklığının tayini", *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9: 177–183 (2018).
15. Abdulmunem, A. R., "Passive cooling by utilizing the combined PCM / Aluminum foam matrix to improve solar panels performance: Indoor investigation", *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*, 17 (4): 2017–2022 (2017).
16. Park, J., Kim, T., and Leigh, S. B., "Application of a phase-change material to improve the electrical performance of vertical-building-added photovoltaics considering the annual weather conditions", *Solar Energy*, 105: 561–574 (2014).
17. Luo, Z., Huang, Z., Xie, N., Gao, X., Xu, T., Fang, Y., and Zhang, Z., "Numerical and experimental study on temperature control of solar panels with form-stable paraffin/expanded graphite composite PCM", *Energy Conversion And Management*, 149: 416–423 (2017).
18. Ceylan, I., Gürel, A. E., Ergün, A., and Tabak, A., "Performance analysis of a concentrated photovoltaic and thermal system", *Solar Energy*, 129: 217–223 (2016).
19. Hamdan, M., Shehadeh, M., Aboushi, A. Al, Hamdan, A., and Abdelhafez, E., "Photovoltaic cooling using phase change material", *Jordan Journal Of Mechanical And Industrial Engineering*, 12: 1–5 (2018).
20. Hasan, I. A., "Enhancement the Performance of PV Panel by Using Fins as Heat Sink", *Engineering And Technology Journal*, 36: 798–800 (2018).
21. Rajvikram, M. and Sivasankar, G., "Experimental study conducted for the identification of best heat absorption and dissipation methodology in solar photovoltaic panel", *Solar Energy*, 193: 283–292 (2019).
22. Rajput, U. J. and Yang, J., "Comparison of heat sink and water type PV/T collector for polycrystalline photovoltaic panel cooling", *Renewable Energy*, 116: 479–491 (2018).
23. Krauter, S., "Increased electrical yield via water flow over the front of

- photovoltaic panels", *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 82: 131–137 (2004).
24. Gotmare, J. A., Borkar, D. S., and Hatwar, P. R., "Experimental investigation of PV panel with fin cooling under natural convection", *International Journal Of Advanced Technology In Engineering And Science*, 3 (2): 447–454 (2015).
 25. El Mays, A., Ammar, R., Hawa, M., Akroush, M. A., Hachem, F., Khaled, M., and Ramadan, M., "Improving photovoltaic panel using finned plate of aluminum", *Energy Procedia*, 119: 812–817 (2017).
 26. Thongtha, A., Chan, H. Y., and Luangjok, P., "Influence of phase change material application on photovoltaic panel performance", *Key Engineering Materials*, 730: 563–568 (2017).
 27. Su, D., Jia, Y., Alva, G., Liu, L., and Fang, G., "Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors integrated with phase change materials", *Energy Conversion And Management*, 131: 79–89 (2017).
 28. Soliman, A. M. A., Hassan, H., and Ookawara, S., "An experimental study of the performance of the solar cell with heat sink cooling system", *Energy Procedia*, 162: 127–135 (2019).
 29. Micheli, L., Reddy, K. S., and Mallick, T. K., "Plate micro-fins in natural convection: An opportunity for passive concentrating photovoltaic cooling", *Energy Procedia*, 82: 301–308 (2015).
 30. Soliman, A. M. A. and Hassan, H., "3D study on the performance of cooling technique composed of heat spreader and microchannels for cooling the solar cells", *Energy Conversion And Management*, 170: 1–18 (2018).
 31. Alzaabi, A. A., Badawiyeh, N. K., Hantoush, H. O., and Hamid, A. K., "Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE", *International Journal Of Smart Grid And Clean Energy*, 3: 385–389 (2014).
 32. Li, Z., Ma, T., Zhao, J., Song, A., and Cheng, Y., "Experimental study and performance analysis on solar photovoltaic panel integrated with phase change material", *Energy*, 178: 471–486 (2019).
 33. Hasan, A., Sarwar, J., Alnoman, H., and Abdelbaqi, S., "Yearly energy performance of a photovoltaic-phase change material (PV-PCM) system in hot climate", *Solar Energy*, 146: 417–429 (2017).
 34. Dorobantu, L. and Popescu, M. O., "Increasing the efficiency of photovoltaic panels through cooling water film", *UPB Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering*, 75 (4): 223–232 (2013).
 35. Sarafraz, M., Safaei, M., Leon, A., Tlili, I., Alkanhal, T., Tian, Z., Goodarzi,

- M., and Arjomandi, M., "Experimental investigation on thermal performance of a PV/T-PCM (Photovoltaic/Thermal) system cooling with a PCM and nanofluid", *Energies*, 12 (13): 2572 (2019).
36. Bijjargi, Y. S., Kale, S. S., and Shaikh, K. A., "Cooling techniques for photovoltaic module for improving its conversion efficiency: A review", *International Journal Of Mechanical Engineering And Technology*, 7 (4): 22–28 (2016).
 37. Baloch, A. A. B., Bahaidarah, H. M. S., Gandhidasan, P., and Al-Sulaiman, F. A., "Experimental and numerical performance analysis of a converging channel heat exchanger for PV cooling", *Energy Conversion And Management*, 103: 14–27 (2015).
 38. Younas, M., Abubaker, M., Ali, H., Nawaz, M., Hassan, M., Awan, M., Hassan, R., Rasool, A., and Sultan, K., "Effect of active water cooling on the performance of PV module using steel channels", *Advanced Research In Fluid Mechanics And Thermal Sciences*, 1 (1): 133–146 (2019).
 39. Khanna, S., Newar, S., Sharma, V., Reddy, K. S., Mallick, T. K., Radulovic, J., Khusainov, R., Hutchinson, D., and Becerra, V., "Electrical enhancement period of solar photovoltaic using phase change material", *Journal Of Cleaner Production*, 221: 878–884 (2019).
 40. Haidar, Z. A., Orfi, J., and Kaneesamkandi, Z., "Experimental investigation of evaporative cooling for enhancing photovoltaic panels efficiency", *Results In Physics*, 11: 690–697 (2018).
 41. Jasim, O. M. J., Selimli, S., Dumrul, H., and Yilmaz, S., "Closed-loop aluminium oxide nanofluid cooled photovoltaic thermal collector energy and exergy analysis, an experimental study", *Journal Of Energy Storage*, 50: 104654 (2022).
 42. Internet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "Yenilenebilir Enerji", <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, (2022) .
 43. Ceylan, İ. ve Gürel, A. E., "“Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı 2. Baskı", *Dora Yayıncılık*, Bursa, 23–31 (2018).
 44. Kaya, K. and Koç, E., "Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu", *Mühendis Ve Makina*, 56 (668): 36–47 (2015).
 45. Santamouris, M., Mihalakakou, G., Psiloglou, B., Eftaxias, G. and and Asimakopoulos, D. N., "Modeling the global solar radiation on the earth's surface using atmospheric deterministic and intelligent data-driven techniques", *Journal Of Climate*, 12: 3105–3116 (1999).
 46. Internet: e-Kütüphane, "Meteoroloji Genel Müdürlüğü", <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7>, (2022) .

47. Internet: Testone Teknoloji Çözümleri Anonim Şirketi, "Solarmetre", <https://www.testone.com.tr/urunler/04-gunes-olcumu-test-cihazlari/piranometreler/eko-ms802-secondary-class-piranometre/>, (2022)
48. Duffie, J.A., B. W. A., "Solar Engineering of Thermal Processes 2nd Edition", *John Wiley & Sons*, Canada, 888 (1991).
49. Görcelioğlu, E., "Güneş açıları ve bunların feyzaj düzenlemelerindeki önemi", *Orman Fakültesi Dergisi*, 36 (3): 40–42 (1987).
50. Kılıç, F. Ç., "Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri", *Mühendis Ve Makina Dergisi*, 56 (671): 28–40 (2015).
51. Kıyançıçek E., "Fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması için PVS2 paket programının gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Konya, 8 (2013).
52. Selçuk, A., "Geleceğin enerji kaynağı ince film fotovoltaik güneş pilleri", *Elektrik Mühendisliği*, 31 (330–331):66–68 (1986).
53. İşler, Y. S. and Salihmuhsin, M., "Güneş enerjisi santrallerinde sehpa seçiminin performans etkisinin analiz edilmesi ve sıcaklık etkisi", *El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1): 99–101 (2019).
54. Klugmann-Radziemska, E. and Wcisło-Kucharek, P., "Photovoltaic module temperature stabilization with the use of phase change materials", *Solar Energy*, 150: 538–545 (2017).
55. Mazman, M. and Yilmaz, C. H., "Enerji depolama çözümleri ve genel eğilimler", *Elektrik Mühendisliği*, 466: 32–40 (2019).
56. Mert, M. S., Sert, M., and Mert, H. H., "Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değiştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme", *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 6 (1): 161–174 (2018).
57. M.Kozak, Ş. K., "Enerji depolama yöntemleri", *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4 (2): 17–29 (2012).
58. Yilmazer, M. and Altay, F., "Gıda ambalajlarında nanoteknolojik uygulamalar ve faz değişim materyalleri", *Gıda*, 39 (6): 371–378 (2014).
59. Hüseyin Öztürk, "Güneş enerjisinin gizli ısı tekniği ile depolanması", *Tesisat Mühendisliği*, 100: 16–31 (2007).
60. Abhat, A., "Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials", *Solar Energy*, 30 (4): 313–332 (1983).
61. Zalba, B., M, J., Cabeza, L. F., and Mehling, H., "Finite-sample-size effects on

- convection in mushy layers", *Journal Of Fluid Mechanics*, 704: 89–108 (2012).
62. Internet: Elimko, "E-680 Serisi Üniversal Girişli Gelişmiş Tarayıcı / Alarm Cihazı", [https://elimko.com.tr/tr/urunlerimiz/elektronik-cihazlar/tarayicilar/e-680-serisi-universal-girisli-gelismis-tarayici-alarm-cihazı](https://elimko.com.tr/tr/urunlerimiz/elektronik-cihazlar/tarayicilar/e-680-serisi-universal-girisli-gelismis-tarayici-alarm- cihazi), (2022) .
63. Internet: Pico Technology, "Genel Ürün Sitesi", <https://www.picotech.com/>, (2022) .
64. Internet: Robotistan, "Genel Ürün Sitesi", <https://www.robotistan.com/dijital-voltmetre-ve-ampermetre-30v-5a-dual-led-display-meter-30v-5a>, (2022) .
65. Poredoš, P., Tomc, U., Petelin, N., Vidrih, B., Flisar, U., and Kitanovski, A., "Numerical and experimental investigation of the energy and exergy performance of solar thermal, photovoltaic and photovoltaic-thermal modules based on roll-bond heat exchangers", *Energy Conversion And Management*, 210: 112674 (2020).
66. Abdallah, A., Opoku, R., Sekyere, C. K. K., Boahen, S., Amoabeng, K. O., Uba, F., Obeng, G. Y., and Forson, F. K., "Experimental investigation of thermal management techniques for improving the efficiencies and leveled cost of energy of solar PV modules", *Case Studies In Thermal Engineering*, In press: 102133 (2022).

ÖZGEÇMİŞ

Aydın EKİZ, ilköğretimini Çubuk Bekir Yılmaz İlköğretim okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Çubuk Sultan Mehmet Mesleki Ve Teknik Meslek Anadolu Lisesinde 2013 yılında tamaladıktan sonra aynı yıl içerisinde Karabük Üniversitesi'nde bir yıl bilimsel hazırlık eğitimi aldıktan sonra Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ne başlayıp 2018 yılında mezun oldu. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı.