



**GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNE BAĞLI PVT
KOLLEKTÖR ENERJİ PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Berkay SELAMOĞLU

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

**GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNE BAĞLI PVT KOLLEKTÖR ENERJİ
PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

Berkay SELAMOĞLU

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

AĞUSTOS 2023

Berkay SELAMOĞLU tarafından hazırlanan “GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNE BAĞLI
PVT KOLLEKTÖR ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ”
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 Anabilim Dalınız Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/08/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ (SNÜ)

.....

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



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

Berkay SELAMOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİNE BAĞLI PVT KOLLEKTÖR ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Berkay SELAMOĞLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ

Ağustos 2023, 50 sayfa

Fosil yakıtların zamanla tükenmesi ve çevreye vermiş olduğu zararlar sebebiyle enerji ihtiyacımızı karşılamak adına kullandığımız fotovoltaik enerji sistemleri gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji sınıfında yer alan fotovoltaik sistemlerin en önemli dezavantajları yüksek sistem maliyet ve düşük enerji dönüşüm performanslarıdır. PV sistemlerinin verimlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu deneysel çalışmada PV panellerin ısıdan kaynaklı verim düşüşünü minimize etmek ve PV modül üzerine düşecek güneş ışınım miktarını maksimum seviyeye çıkarmak için çalışılmıştır. Deney çalışmamız Temmuz 2023'te Türkiye'nin Karabük ilinde aynı gün aynı saat özdeş güneş panelleri ile yapılmıştır. Özdeş üç adet PV modül bir tanesi sabit (PV1), ikincisi güneş izleme sistemli (PV2) ve üçüncüsü ise güneş takip sistemine ek alüminyum kanatçıklı hava soğutmalı olarak tasarlanmıştır (PVT). Deney sonuçlarına göre PV1 ile PV2

arasındaki modül sıcaklığı farkı %3,18 , PV1 ile PVT arasındaki sıcaklık farkı %13,72, PV2 ile PVT arasındaki sıcaklık farkı ise %16,47 olduğu gözlenmiştir. Elektriksel güç çıkışlarında ise PV1 modül ile PV2 modül arasında %24,57, PV1 modül ile PVT kolektör arasında %31,63, PV2 modül ile PVT kolektör arasında %9,36 artış görülmüştür. PV1, PV2 modüllerin ve PVT kolektörün birinci ve ikinci yasa verimleri sırasıyla %6,32, %7,61, %35,85 ve %4,09, %5,26 ve %9,07'dir.

Anahtar Sözcükler : Güneş izleme, enerji ve ekserji verimi, fotovoltaik modül, hava soğutma, ısı transferi, kanatçık yapı.

Bilim Kodu : 92802

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SUN TRACKING SYSTEM ATTACHED PVT COLLECTOR ENERGY PERFORMANCE

Berkay SELAMOĞLU

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Selçuk SELİMLİ

August 2023, 50 pages

Photovoltaic energy systems that we use to meet our energy needs are gaining importance day by day due to the depletion of fossil fuels over time and the damage they cause to the environment. The most important disadvantages of photovoltaic systems in the renewable energy class are high system costs and low energy conversion performances. Studies to increase the efficiency of PV systems continue to increase day by day. In this experimental study, an effort was made to minimize the efficiency decrease of PV panels due to heat and to maximize the amount of solar radiation falling on the PV module. Our experimental study was conducted with identical solar panels on the same day, at the same time, in Karabük, Turkey, in July 2023. Three identical PV modules are designed, one of which is fixed (PV1), the second with a solar tracking system (PV2) and the third with air cooling with aluminum fins in addition to the solar tracking system (PVT). According to the experimental results, it was observed that the module temperature difference between PV1 and PV2 was 3.18%, the temperature

difference between PV1 and PVT was 13.72%, and the temperature difference between PV2 and PVT was 16.47%. In electrical power outputs, there was an increase of 24.57% between PV1 module and PV2 module, 31.63% between PV1 module and PVT collector, and 9.36% between PV2 module and PVT collector. The first and second law efficiencies of PV1, PV2 modules and PVT collector are 6.32%, 7.61%, 35.85% and 4.09%, 5.26% and 9.07%, respectively.

Key Word : Solar tracking, energy and exergy efficiency, photovoltaic module, air cooling, heat transfer, fin structure.

Science Code : 92802

TEŞEKKÜR

Gerçekleştirmiş olduğum projede, tez çalışmasında, deneylerde beni yönlendiren, destek olan, engin bilgi ve tecrübelerini aktaran, gece gündüz demeden bana vakit ayıran ve tezimin tamamlanmasında yoğun destek veren değerli hocam Doç. Dr. Selçuk SELİMLİ' ye en yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Bilgisayar yazılımı ve mekanik kısımlarında yardımını esirgemeyen hocam Ertuğrul ERDOĞDU' ya ve araştırmalarımda desteğini esirgemeyen arkadaşım Fatıma AKPINARLI' ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemediğim yanımda olan sevgili annem babam ve kardeşime tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	9
HESAPLAMA YÖNTEMİ.....	9
BÖLÜM 4	12
GÜNEŞ ENERJİSİ	12
4.1. TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	12
4.2. GÜNEŞ IŞINIMI.....	14
4.3. GÜNEŞ IŞINIM ÖLÇÜM CİHAZLARI	14
4.3.1. Piranometre	14
4.3.2. Pirheliometre	15
4.3.3. Pirradiyometre	15
4.3.4. Solarmetre	15

	<u>Sayfa</u>
4.4.GÜNEŞ GEOMETRİSİ	16
4.4.1. Denklinasyon Açısı	16
4.4.2. Saat Açısı(W).....	17
4.4.3. Zenit Açısı (Ψ)	17
4.4.4. Güneş Yükseklik Açısı (α).....	17
4.4.5. Güneş Azimut Açısı (γ_s)	18
4.4.6. Yüzey Azimut Açısı (γ)	18
4.4.7. Geliş Açısı (θ).....	18
4.5.GÜNEŞ PİLLERİ VE ÇEŞİTLERİ	18
4.5.1. Güneş Pili Çeşitleri.....	19
4.5.1.1. Monokristal (tekli kristal) güneş paneli	19
4.5.1.2. Polikristal silisyum güneş paneli	19
4.5.1.3. İnce film güneş panelleri	20
4.5.1.4. Amorf silisyum güneş panelleri.....	20
4.6 SICAKLIĞIN FOTOVOLTAİK PANEL VERİMİNE ETKİSİ.....	20
4.7.ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ	21
4.8. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ	21
 BÖLÜM 5	 23
MATERYAL YÖNTEM	23
5.1. DENEY SİSTEMİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	23
5.2. KULLANILAN MALZEMELER.....	25
5.2.1. Güneş Paneli	25
5.2.2. Sıcaklık Ölçüm Cihazı.....	26
5.2.3. Güneş Işınım Ölçer	26
5.2.4. Elektriksel Güç Ölçme Devresi	27
5.2.5. Step Motor ve Sürücü	28
5.2.6. Arduino	29
5.2.7. Soğutucu Fan	29
5.2.8. Ldr.....	30
5.3. DENEYSEL YÖNTEM	30

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 6	35
DENEY SONUÇLARI ANALİZ VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	35
BÖLÜM 7	42
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	50



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4. 1.Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlas.	13
Şekil 4. 2 .Türkiye aylık ortalama radyasyon değerleri	13
Şekil 4. 3.Düfuz, direkt ve yansıtılmış güneş ışınımları.	14
Şekil 4. 4. Pirradyometere.....	15
Şekil 4.5.Solarmetre.	15
Şekil 4. 6. Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin izlenmesi.	22
Şekil 5. 1. Deney düzeneği ısı ölçüm noktaları ve tasarımı.	24
Şekil 5. 2. Sabit panel.....	25
Şekil 5. 3. Güneş takipli hareketli panel.	25
Şekil 5. 4. Elimko E-680 dataloger.	26
Şekil 5. 5. Işınım ölçer cihazı.....	27
Şekil 5. 6. Arduino kontrollü elektriksel güç ölçer.	27
Şekil 5. 7.Nema23 step motor.	28
Şekil 5. 8.TB6600 step motor sürücü.....	28
Şekil 5. 9. Arduino Mega ve devresi.....	29
Şekil 5. 10. Soğutucu DC fan.....	29
Şekil 5. 11.Taşıyıcı sistem imalatı.	30
Şekil 5. 12. Alüminyum kanatçıkların görseli.	31
Şekil 5. 13.Termokupl yerleşimi.....	31
Şekil 5. 14. Termokupl bağlantı yerleri.	32
Şekil 5. 15.PV/T panel fan montajı.....	32
Şekil 5. 16. Ldr ve montaj yerleri.	33
Şekil 5. 17.Deney düzeneği.....	34
Şekil 6. 1.Zamana bağlı ortam sıcaklığı ve güneş ışıınım grafiği.	35
Şekil 6. 2. Zamana bağlı PV ve PVT panel sıcaklık grafiği.	36
Şekil 6. 3(a, b, c). PV1, PV2 modülleri ve PVT kolektör akım gerilim değerleri	37
Şekil 6. 4. Zamana bağlı elektriksel güç grafiği	37
Şekil 6. 5.Birinci yasa verimi.	38
Şekil 6. 6.PVT kolektör termal güç değişim grafiği.	39

Sayfa

Şekil 6. 7. Solar ekserjinin zamana bağlı değişim grafiği.....	39
Şekil 6. 8. PV panel ve PVT kolektör zamana bağlı elektriksel ekserji grafiği.	40
Şekil 6. 9. PV modüllerin ve PVT kolektör ikinci yasa verimleri grafiği.....	40



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5. 1.Kullanılan PV panel özellikleri.....	26
Çizelge 5. 2. Arduino kontrollü devre genel özellikleri.....	28



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Panel yüzey alanı
A	: Güneş Yükseklik Açısı
c	: Özgül ısı
E_e	: Elektiriksel güç
E_e	: Panelin elektiriksel gücü
E_g	: Güneş gücü
E_g	: Güneş gücü
Exe	: Elektriksel ekserji
Ek	: Yüzeyden ısı kaybı
G	: Güneş ışıınımı
I	: Akım
k	: Isı transferi
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
Y_s	: Güneş Azimut Açısı

KISALTMALAR

EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
PV	: Fotovoltaik
PV1	: Sabit Panel
PV2	: Soğutmasız güneş takipli modül
PV/T	: Hava soğutmalı alüminyum kanatcıklı güneş takipli kolektör
PV3	: Soğutma Fanı Besleme Modülü
TS	: Türk Standardı
GEPA	: Türkiye Güneş Enerjisi Atlası



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, günümüz de yoğun olarak sanayi, konut, tarım ve ulaştırma gibi alanlarda kullanılan insanlığın gelişimi ve ihtiyaçlarının karşılanması her zaman ihtiyaç duyduğu, ülkelerin ekonomik olarak kalkınmasını sağlayan önemli kaynaklardan biridir. Sanayi devrimi ile başlayıp günümüze kadar uzanan zaman diliminde insanların nüfus ve buna bağlı olarak enerji taleplerinin artması, ayrıca hakimiyet ve yönetme arzuları doğayı kendi menfaatleri doğrultusunda kullanıp bilinçsizce tahrip etmesi enerji ile ilişkili çevre problemlerini doğurmuştur. Fosil yakıtlar, mineral yakıtlar olarak da isimlendirilir. Hidrokarbon ve yüksek oranlarda karbon içeren kömür, petrol ve doğal gaz gibi doğal enerji kaynaklarıdır. Ölen canlı organizmaların oksijensiz ortamda milyonlarca yıl boyunca, çözülmesi ile oluşur. Geleneksel enerji kaynaklarının kullanımının gün geçtikçe yerel ve küresel düzeyde çevre kirliliğine neden olması ve bu kirliliğin küresel ısınmaya etkisi açıkça görülmekte olup , neredeyse sıfır emisyonu sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmakta ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel açıdan önemini gözler önüne sermektedir .Özellikle üretimlerde kullanılan enerjinin fosil tabanlı yakıtlara dayalı olması açığa çıkan sera gazlarının çevreye vermiş olduğu zarar ulusların ekonomik kalkınma devamlılığını ve gelecekte ki nesillerin yaşam standartlarını tehlikeye atmaktadır. Günümüz çevre sorunlarının temel sebebi büyüme içerisinde olan ülkelerin enerji ve hammadde ihtiyaçlarıdır. Büyüme içerisinde olan bu ülkeler genel olarak enerji ihtiyaçlarını fosil tabanlı yakıtlardan karşılamaktadırlar. Fosil kaynaklarla enerji kullanımının ülkemiz ve dünya üzerinde yarattığı çevresel etkilerin küresel ısınmaya yol açtığını açık bir şekilde görülmesinin ve neredeyse sıfır emisyon düzeylerine sahip yenilebilir enerji kaynaklarının çevre açısından ne derece önemli bir konumda bulunduğunu bizlere göstermektedir. Bu sebeplerden dolayı ülkelerin sürdürülebilir ekonomik kalkınmalarının temelinde enerji kaynaklarını koruma ve süreklilik esası içerisinde çevreye olan etkilerin en aza indirilmesi fikri vardır.

Geleneksel enerji kaynaklarının birçoğunun yakın gelecekte tükenecek olması, çevremiz için geri dönüşü mümkün olmayan zararlara yol açması ve gelişmekte olan teknoloji için yetersiz kalması sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği artmakta, ekonomik süreklilik açısından değer kazanmakta ve bunlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı doğanın kendi içerisinde bulunan ve bir sonraki günde aynen mevcut olacak olan bir enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Başlıca yenilenebilir enerji çeşitleri ısınma ve elektrik üretiminde kullanılan güneş, elektrik üretimin de kullanılan rüzgar, barajlar vasıtası ile elektrik üretiminde kullanılan hidroelektrik, elektrik üretiminde kullanılan dalga ve elektrik üretiminde kullanılan hidrojen enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş panelleri kullanılarak ısı ve elektriğe doğaya zarar vermeden dönüştürülür .Rüzgar enerjisi dünya üzerine düşen güneş ışınlarının oluşturduğu basınç farkı ile oluşan rüzgardan ,rüzgar türbinleri vasıtası ile elektrik elde etmektir. Hidroelektrik enerji ,suyun hız kazandırılarak akış ve düşüşünden faydalanarak türbinler vasıtası ile elektrik elde edilmesidir. Jeotermal enerji ,yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde oluşmuş olan ısınin oluşturduğu zengin mineraller barındıran suyun direk veya farklı yöntemlerle kullanılması elektrik elde etmektir .Hidrojen enerjisi doğada bileşenler halinde bulunmakta olan hidrojen gazının işlenmesi ile elektrik üretilmesidir .Dalga enerjisi denizlerde oluşan dalgalanmaların yarattığı basınç farkından elde edilen elektriktir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edileni güneş enerjisidir. İlk uygulama güneş kolektörleri vasıtası ile genellikle konutlarda sıcak su ihtiyacı için kullanılır. İkinci bir uygulama türü ise fotovoltaiik uygulamalardır. Güneş pilleri aracılığı ile güneşten gelen ışınlımların üzerine düşmesi ile direkt olarak elektrik enerjisi üretilir. Fotovoltaiik panellerinde türleri mevcuttur. Bunlar amorphus silicon , polikristal ,monokristaldır. Aralarında aynı koşullarda yapılan performans deneyinde performans oranları amorphus silicon, polikristal ve monokristal PV paneller için sırasıyla %73, %81 ve %91 olarak bulunmuştur. Panel verimi aynı sırayla %4,79, %11,36 ve %13,26 olarak hesaplanmıştır [1].Günümüzde kullanılan teknoloji ile panel verimliliği %17 ile %24 arasındadır [2]. Çalışmamda fotovoltaiik panel veriminin artırılması adına solar takip sistemi ve kanatçık yapılı hava soğutma sistemi kullanılmıştır. Deneyim Karabük ili Karabük Üniversitesi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Üç adet özdeş 18 w değerinde güneş paneli kullanılmış ,sabit panel ,solar takipli ve solar takibe ek hava soğutmalı panellerin verimleri incelenmiştir. Çalışmamın içeriğinde, Karabük ilinin iklim

şartlarına göre değişen ışınım değerleri ve buna bağlı olarak fotovoltatik panellerin sıcaklık değişimleri ve elektriksel verimleri deneysel incelenmesi sonrası teorik analizleri yer alacaktır.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Son yıllarda fotovoltaik panellerin verimlerinin artırılmasına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Literatür taramasında solar takip sistemlerinin ve fotovoltaik panel soğutmanın verime etkisini benzer çalışmalarda elde edilen bulgular bu bölümde verilmiştir.

Nuhoglu yan yana yerleştirdiği PV panelleri sabit ve solar takip sistemli olarak incelediği çalışmasında takip sisteminin sabit sisteme oranla Nisan ayı boyunca %23 daha fazla verime sahip olduğunu belirtmiştir [3].

Bükün sabit ve solar takip sistemli güneş panellerinin verimlerini incelemiş ve takip sistemli güneş panelinin sabit sisteme göre %30-%35 daha verimli olduğunu belirtmiştir [4].

Orhun üç farklı tür monokristal, polikristal ve ince film teknolojiyle üretilmiş güneş panellerini ilk olarak sabit olarak verimlerini ölçmüş. Daha sonra bu üç farklı tür güneş panelini solar takip sistem kullanarak ölçtüğünde takip sistemli monokristal panelin %34,2 , polikristal panelin %41,5, ince film teknolojili panelin ise %55,3 sabit sisteme göre artış belirtmiştir [5].

Uzunok yapmış olduğu çalışmada güneş takip isteminin sabit sisteme oranla %17,7 daha verimli olduğunu belirtmiştir [6].

Güneş yapmış olduğu çalışmasında kullandığı takipli sistem ile sabit sisteme kıyasla %38 verim artışı gözlemlemiştir [7].

Alıcı PV panelleri takip sistemli ve sabit olarak yan yana kıyaslamış ve güneş takip sistemli olan PV panel sabit panele göre %34,2 verim artışı gözlemlemiştir [8].

Ceylan vd. PV paneli soğutmak için spiral borular eklemiştir.Yaptıkları işlem ile paneli soğutarak veriminin %10 dan %13 e çıktığını belirtmişlerdir [9].

Cüce vd. PV panelin soğutulması için PV panele alüminyum kanatçıklar ekleyip performansını incelemiştir.PV panel performansı %21 oranında bir artış göstermiştir [10].

Bahaidarah vd. hibrit su soğutmalı PV sistemdeki elektriksel ve termal verimi incelemiştirler.Uygulanan su soğutma işlemi ile PV modül sıcaklığında %20 azalma görüldü.Bu azalma PV panel verimliliğinde %9 artış sağladığını gözlemlediler [11].

Younas vd. PV panele soğutma kanalı uygulayarak referans olarak aldığı PV panele kıyasla 27,5°C bir sıcaklık azalması gözlemlemiştir.PV panel için ortalama %1,61'lik verim artışı ve buna bağlı olarak %12,86 performans artışı belirtilmiştir [12].

Bijjargi vd. PV panele bir fan ve ısı eşanjörü ekleyip PV panel sıcaklığını düşürüp sistemin performansını %12-14 oranlarında artırdıklarını belirtmişlerdir [13].

Soliman ve Hassan PV panellerin performansını test etmek için ısı alıcı ve kanallar kullandılar.Bu deneyde verimde ve panel gücünde sırayla %8 ve %13 lük bir artış belirttiler [14].

Micheli vd. PV modülü micro plakalar ile soğumasını incelediler.İncelemeleri sonucunda PV panellerde micro kanat uygulaması ile termal performans artması ve üretilen ücte %50 artış tespit ettiler [15].

Dorobantu ve Popescu PV panellerin soğutulmasında su kullandılar.PV panellerin sıcaklığını düşürerek performansında yaklaşık %9,5 artış elde ettiler [16].

Li vd.PV panel soğutması için parafin mumu kullandılar.Sisteme entegre referans paneli ile karşılaştırdıklarında parafin mumu kapladıkları panelin sıcaklığının 23°C'ye kadar düştüğünü ve bu sıcaklık düşüşü karşılığında %5,18 oranında performans artışı gözlemlemişlerdir [17].

Ömeroğlu vd.bakır ve alüminyum malzemeden yapılmış kanatçık eklediği PV paneli kanatçık olmayan referans PV panel ile test etmiştir.PV panelin sıcaklığındaki düşüş kanat bulunmayan panel 52°C ,alüminyum kanatçık bulunan panel 70°C , bakır kanatçık bulunan panel 77°C olarak belirlemiştir [18].

Andre vd.PV panellerde su soğutma kullanmış ve 30°C ile 60°C arasında PV panel sıcaklığında bir düşüş sağlamışlardır.Ayrıca PV panel elektrik veriminde %12 ile %17 arasında verim sağlamışlardır [19].

Bayrak vd. PV panellere farklı soğutma sistemleri eklemiş (Fin,PCM,TEM).Referans paneline göre tüm soğutma sistemlerinin en iyi performansı aynı ortam koşullarında test edilmiş ve en yüksek güç çıkışları kanatlı sistem için 47,88 W (B3), termoelektrik modül (E3) için 45,87 W, hibrit ve kanatlı malzeme sistemi (D) için 44,36 W, hibrit sistem çıkış gücü ise 44,26 W olarak ölçülmüştür [20].

Gomaa vd. birisi referans paneli olmak üzere üç özdeş panel kullanmış , su ve kanatçık soğutmalı olarak test etmiştir.Referans paneline kıyasla ortalama 25°C ' lik bir sıcaklık düşüşü gözlemlediler.Buda PV panel veriminde %5,18 ile %8,17 arasında verim sağladığını belirtmişlerdir [21].

Krauter vd.PV panellere entegre ettikleri su dolaşımının PV panel performansına etkisini incelemişler.PV panel verimliliğini yaklaşık %10 artırdığını belirtmişlerdir [22].

Su vd. faz değiştiren madde ile hava soğutma metodu kullandılar.ve ortamın sıcaklığının 28-38°C olduğu yerde PV panel veriminde %10,7'lik bir artış gözlemlediler [23].

Alzaabi vd. PVpanel ve PV/T su toplayıcıyı karşılaştırarak elektriksel verimde yaklaşık olarak %15-20 arasında bir artış elde etmiş ve termal verimde %60 'lık bir artış belirtmişlerdir [24].

Haidar vd. PV panellerde buharlaşma yoluyla soğutulmasını inceledi. PV panel sıcaklığını 20°C ' den daha fazla düşürdükten sonra PV panel veriminde %14 artış elde etti [25].

Teo vd. soğutma kullanılmayan PV modülde sıcaklığın 68°C ' ye kadar çıktığını ,PV modülü soğutmak için hava kullanılarak sıcaklığın 38°C' ye kadar düştüğünü ve buna bağlı olarak elektriksel verimin %12,5 olduğunu belirtmişlerdir [26].

Patil vd. PV paneli alttan soğutmuş ve panel sıcaklığında 9°C'lik bir azalma gözlemlemiştir. Maksimum çıkış gücü soğutmasız panelde 57,2W ,soğutmalı panelde 80,27W olduğu gözlemlenmiştir [27].

Dubey vd. iki PV modülü kanatlı ve kanatsız olarak incelemiştir. Kanatlı ve kanatsız PV modüllerin arasındaki elektriksel verim farkı %0,66 olduğunu gözlemlemişler [28].

Panda vd. PV panelleri ön yüzeyden ve arka yüzeyden soğutmanın verime etkisini araştırmışlardır. Ön yüzeyden soğutulan panel 118,03W üretirken , arka yüzeyden soğutulan panel 104,00W üretim sağladığını gözlemlemişlerdir [29].

Zhang vd. PV panele 3 bar su püskürtmüşlerdir. PV panel sıcaklığını 16,90°C düşürür ve u püskürtmesi olmayan PV panele kıyasla elektriksel verimi %1,52 artmıştır [30].

Al-Amri vd. PV panellerin arka yüzeyine yeni bir raf sistemi yapmıştır. Bu raf sistemi ile pasif soğutma yaparak PV panel sıcaklığında 6,3°C' lik bir azalma elektriksel verimde ise %2,7'lik bir artış gözlemlemiştir [31].

Grubisic-Cabo vd. PV panele farklı geometrili alüminyum kanatçıklar eklemiştir. PV panel elektriksel veriminde %2'lik bir artış gözlemlemişler [32].

Mittelman vd. PV panellere pasif soğutmalı açık kanal sistemi uygulamıştır. PV panel sıcaklığını 10-20°C arasında düşürerek buna bağlı elektriksel verimde %1-2 artış gözlemlemişlerdir [33].

Zhao vd. PV modüle kanatçıklar ekleyip sıcaklığı düşürmüş ve elektriksel verimi %8,77 artırmıştır [34].

Bevilacqua vd. PV panele arka yüzeyden spreysel su soğutmalı teknik uygulamışlardır. Referans paneline göre soğutma uygulanan PV panelde 4,8°C'lik bir sıcaklık düşüşü ve elektriksel verimde 2,8 kW/h'lik bir artış belirtmişlerdir [35].

Wang vd. PV panel soğutmada mikro ısı borusu ve hava fanı kullanmışlardır. Fan açıldıktan sonra modül sıcaklığı 22,8°C azalmıştır ve bunun sonucunda elektriksel verim %30,9 oranında artmıştır [36].

Kianifard vd. su soğutmalı serpantin PV/T panel incelemişlerdir. Su kanalı olarak yarım boru geometrisi kullanılmıştır. Termal verimlilik % yaklaşık %10-13 arasındadır. Buna bağlı olarak elektriksel verim geleneksel modellere kıyasla %0,4-0,6 oranında artmıştır [37].

BÖLÜM 3

HESAPLAMA YÖNTEMİ

PV modül ve PVT kollektör enerji ve ekserji performansı termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları ile incelenebilir. Termodinamiğin birinci yasasına göre enerji denkliği eşitlik (3.1) ile belirlenebilir.

$$E_G = E_E + E_{TE} + E_K \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1)'de E_G , E_E , E_{TE} ve E_K güneş enerjisini, modül elektrik enerjisi çıktısı, termal enerji ve kayıp enerjiyi temsil etmektedir. Eşitlik (3.2)'de güneş enerjisi formüle edilmiştir.

$$E_G = FA \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.2)'de I ve A güneş ışıınımı ve güneş ışıınımının uygulandığı fotovoltaiik modül yüzey alanını temsil etmektedir.

$$E_E = VI - E_M \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.3)'te I , V ve E_M sırayla modül sırasıyla modül akım, gerilim çıktıılarını ve güneş takip sistemini hareket ettiren motorların enerji girdilerini ifade etmektedir.

Eşitlik (3.4) termal enerjiyi hesaplamak üzere oluşturulan denkliği ifade etmektedir.

$$E_{TE} = mc_{p,hava}(T_{ç,hava} - T_{g,hava}) \quad (3.4)$$

Modüllerden taşıınım (E_t) ve ışıınım (E_r) yolu ile gerçekleşen enerji kaybı eşitlik (3.5), (3.6) ve (3.7)'de gösterilen formüllerle hesaplanabilir.

$$E_K = E_t + E_r \quad (3.5)$$

$$E_t = hA_K(T_M - T_Ç) \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6)'da verilen h , A_K , T_M ve $T_Ç$ sırasıyla taşınım katsayısı, modül yalıtımsız yüzey alanını, modül sıcaklığını ve çevre sıcaklığını ifade etmektedir.

$$E_r = \varepsilon\sigma A_K(T_M^4 - T_Ç^4) \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.7)'de verilen ε ve σ ışıyım yayınlırlığı katsayısı ve Stefan-Boltzmann sabitini belirtmektedir. Termodinamiğin birinci kanununa göre PV modüllerin ve PVT kolektörün verim ifadesi eşitlik (3.8)'de verilmiştir.

$$\eta_I = \eta_E + \eta_{TE} \quad (3.8)$$

Eşitlik (3.8)'de η_E ve η_{TE} sembolleri elektriksel ve termal verimleri temsil etmektedir, Eşitlik (3.9) ve Eşitlik (3.10)'da verilen eşitliklerle hesaplanabilir.

$$\eta_E = \frac{E_E}{E_G} \quad (3.9)$$

$$\eta_{TE} = \frac{E_{TE}}{E_G} \quad (3.10)$$

PV modül ve PVT kolektör için ekserji dengesi Eşitlik (3.11)'deki gibi kurulabilir [38].

$$Ex_G = Ex_E + Ex_{TE} + Ex_Y \quad (3.11)$$

Eşitlik (3.11)'de Ex_G , Ex_E , Ex_{TE} ve Ex_Y güneş ekserjisini, elektrik ekserjisini, termal ekserjiyi ve ekserji yıkımını ifade etmektedir. Eşitlik (3.12)'de güneş ekserjisini ifade eden denklem verilmiştir [39].

$$Ex_G = E_G \left(1 - \frac{4T_Ç}{3T_G} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_Ç}{T_G} \right)^4 \right) \quad (3.12)$$

Eşitlik (3.12)'de verilen T_G sembolü güneş sıcaklığını belirtmektedir ve değeri literatürde 5777 K olarak belirtilmektedir. Eşitlik (3.13)'te elektrik ekserjisi formüle edilmiştir.

$$Ex_E = E_E \quad (3.13)$$

PV modül ve PVT kolektör için termal ekserji Eşitlik (3.14) ve Eşitlik (3.15) ile hesaplanabilir [40].

$$Ex_{TE,PV} = E_K \left(1 - \frac{T_\zeta}{T_M} \right) \quad (3.14)$$

$$Ex_{TE,PVT} = m \left(c_{p,hava} \left[(T_{\zeta,hava} - T_{g,hava}) \right] - \left(T_\zeta \left(\ln \left(\frac{T_{\zeta,hava}}{T_{g,hava}} \right) - R \ln \left(\frac{P_{\zeta,hava}}{P_{g,hava}} \right) \right) \right) \right) \quad (3.15)$$

Eşitlik (3.15)'te ρ , $P_{g,hava}$ ve $P_{\zeta,hava}$ kolektörde soğutma sağlayan havanın yoğunluğu, giriş ve çıkış basıncını göstermektedir. PV modül ve PVT kolektör ikinci yasa verimleri Eşitlik (3.16) ve Eşitlik (3.17) ile hesaplanabilir [41,42].

$$\eta_{II,PV} = \frac{Ex_E - Ex_{TE,PV}}{Ex_G} \quad (3.16)$$

$$\eta_{II,PV} = \frac{Ex_E + Ex_{TE,PV}}{Ex_G} \quad (3.17)$$

BÖLÜM 4

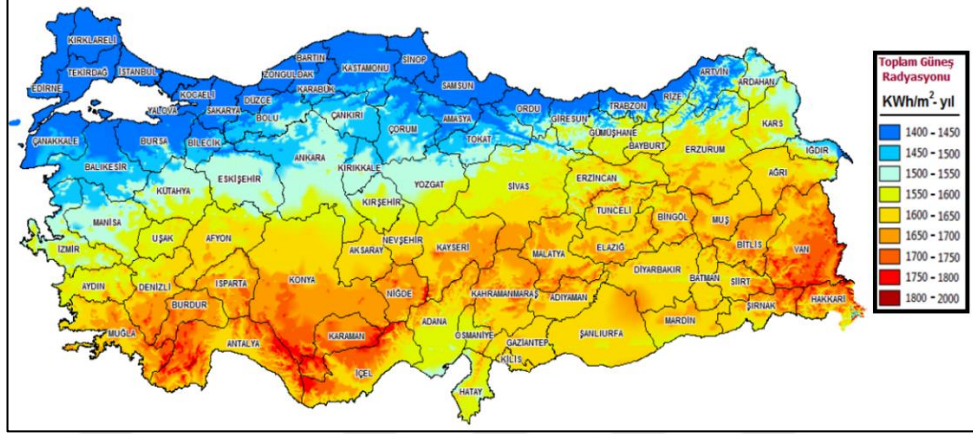
GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğinin içerisinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu enerji insan yaşamı için çok önemli bir enerji kaynağıdır. Bu enerjinin dünyaya yansımaları olan güneş ışığından sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji üretilebilir. Güneş enerjisi sera gazı emisyonuna sebep olmaz, bu yüzden temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş çok yüksek miktarda enerji yaymaktadır. Dünyamıza bu enerjinin çok az kısmı gelmektedir. Dünya atmosferinin dış yüzeyine ortalama olarak metrekaresine başına 1367 W güç gelmektedir. Atmosferimize ulaşan ışınların çok az kısmı emilip geri kalan kısmı yansımaktadır. Dünyaya ulaşan güneş ışınlarının enerjileri ihtiyacımız olan toplam enerjiden çok daha fazladır. Bu sebeple günümüzde alternatif enerji kaynağı olarak güneş enerjisi üzerine çok fazla yatırım ve çalışma yapılmaktadır. Fosil yakıtların zararını farkederek birçok ülke alternatif enerji kaynaklarına çalışmalarını artırmıştır. Alternatif enerji kaynaklarına olan ilginin artmasıyla güneş enerjisinden elektrik ve ısı üretiminde giderek ilgi odağı olmuştur. Güneş enerjisinden çeşitli şekillerde elektrik üretimi mevcuttur günümüzde en popüler olan fotovoltaik paneller ile üretimdir. Günümüzde güneş enerji sistemleri üzerine yapılan çalışmalar ile maliyetleri ve verimliliği artırmıştır. Temiz enerji olması ve işletme giderlerinin düşük olması güneş enerjisine olan ilgiyi ve yönelimi artırmaktadır.

4.1. TÜRKİYE’DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

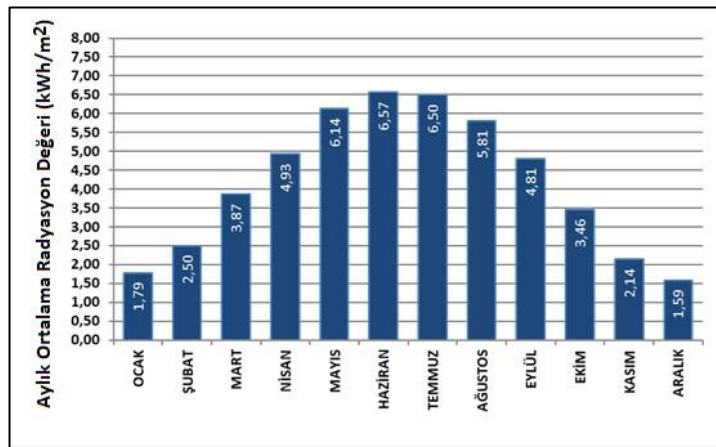
Ülkemizin coğrafi konumu itibarı ile güneş enerjisinden yüksek oranda faydalanmaktadır. Avrupa ülkelerinden İspanya haricinde diğer ülkelere göre güneş enerjisinden daha fazla faydalanma olanağı bulunmaktadır. Türkiye’nin güneş enerjisinden yararlanma kapasitesi ortalama olarak 1400-1800 kWh/m² yıl

değerindedir. Şekil 4.1’de Türkiye’nin güneş enerjisinden faydalanma kapasitesi en yüksek bölgesi Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgesidir.



Şekil 4. 1.Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli atlas [43].

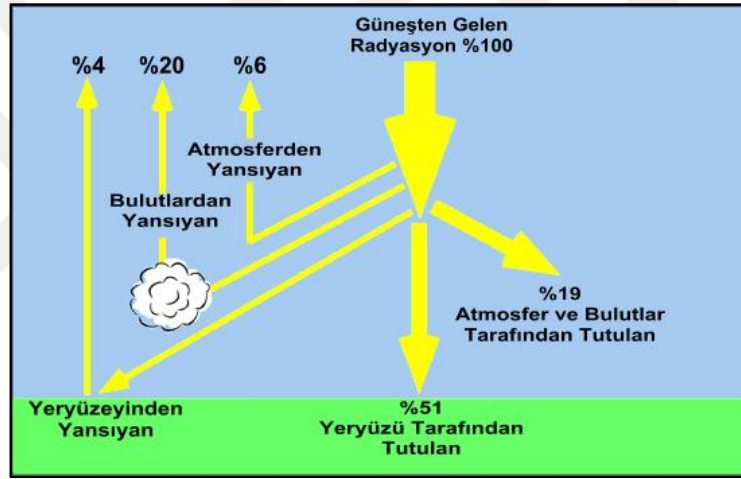
Ülkemizdeki güneş enerji potansiyeli elektrik işleri idaresine göre güneş enerji kapasitesi çok yüksektir. Türkiye Güneş Enerjisi Atlası’na göre güneş enerji potansiyelinin fosil yakıtlar kullanıldığında elde edilecek 56000 MW güç değerinde olduğu ve buna karşılık güneş enerjisi potansiyelinde yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380000 GWh’lık güç elde edilebileceği belirtilmiştir. Fakat güneş enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyeti yüksek olduğundan ülkemizde yaygınlaşmasının önüne geçmektedir. Potansiyelin bu derece yüksek olmasına rağmen yeterince faydalanılmamaktadır [44].



Şekil 4. 2 .Türkiye aylık ortalama radyasyon değerleri [43].

4.2. GÜNEŞ IŞINIMI

Işınım parçacık şeklinde ve elektromanyetik dalga biçiminde enerji yayılımı olarak ifade edilir. Güneş ışınimleri dünya ile güneş arasındaki mesafe değişimine bağlı olarak her yerde aynı değildir. Bu sebeple dünya ile güneş arasındaki mesafenin ortalaması kullanılarak ışınım değerleri hesaplanır. Bu alınan ortalamaya güneş sabiti denmektedir. Atmosferde bulunan gazlar ve parçacıklar sayesinde güneşten gelen bütün ışınım geçemez. Atmosferden yansımada geçen ışınım difüz ışınım denir. Yeryüzündeki bütün ışınım da direkt ve yansıyan ışınımın toplamıdır ve Şekil 4.3'te görsellenmiştir [45].



Şekil 4. 3.Düfuz, direkt ve yansıtılmış güneş ışınimleri [46].

4.3. GÜNEŞ IŞINIM ÖLÇÜM CİHAZLARI

Güneş ışınım değeri ölçüm cihazları kendi aralarında ışınım ölçme çeşitlerine göre piranometre ,pirheliometre, pirradyometre ve solarmetre olarak ayrılmaktadır.

4.3.1. Piranometre

Direkt ve yayılı ışınımın toplamını ölçebilen cihazlardır.(Şekil 4.4).Cihaz üzerine metal bant çekilerek direkt güneş ışınımını alması engellenerek yayılı güneş ışınımı da ölçülebilmektedir.

4.3.2. Pirheliometre

Yansıma ve dağılma olmadan yeryüzüne kadar dik gelen güneş radyasyonudur. Pirheliometre ile ölçülür. Dalga boyu 300–3000 nm. Pirheliometrenin güneşi sürekli takip açısı 5° doğrulukla olmalıdır ve W/m^2 olarak direkt güneş radyasyonu ölçülmektedir. Direkt güneş radyasyonun $120 W/m^2$ 'den fazla olduğu dakikalar güneşlenme süresi olarak kaydedilir.

4.3.3. Pirradyometre

Bütün güneş ışınlamalarını ölçebilen cihazdır. Görseli Şekil 4.4' verilmiştir.



Şekil 4. 4. Pirradyometere [47].

4.3.4. Solarmetre

Direkt güneş ışınlamını ölçen cihazlardır ve Şekil 4.5'te örneklenmiştir.



Şekil 4.5.Solarmetre [47].

4.4.GÜNEŞ GEOMETRİSİ

Güneş ışınları ile yeryüzündeki birbirinden farklı düzlemlerin yaptığı açılar güneş geometrisini oluşturmaktadır. Mevcut açılar bilindiğinde güneş enerjisinden daha fazla yararlanılır. Bunlar; deklinasyon, saat, zenit, azimut, güneş yükseklik ve geliş açılarını içerir.

4.4.1. Denklinasyon Açısı

Aylar ve mevsimler dikkate alındığında güneş ışınlarının dünyaya geliş açısına deklinasyon açısı denmektedir ve Şekil 4.8’de ifade edilmiştir.. Bu açı; 21 Haziran’da 23,45° en fazla değeri ve 21 Aralık’ta -23,45° en düşük değeri alır. Deklinasyon açısı; dünyanın kendi çevresinde ve güneşin çevresinde dönüşü sırasında oluşan açıdır. Güneş ışınlarının öğle zamanı dik olarak geldiği bir bölge ile ekvator arasındaki enlem derecesi farkı da deklinasyon açısının bir başka tanımıdır. Deklinasyon açısı (δ) , Cooper eşitliği olarak bilinen Eşitlik (4.1) ile hesaplanabilir [47].

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (4.1)$$

Deklinasyon açısı negatif (-) değerde iken güney yarımkürede yaz mevsimi yaşanır ve bu durum 23 Eylül-21 Mart tarihleri arasında gerçekleşmektedir. Deklinasyon açısı pozitif(+) değerde iken kuzey yarımkürede yaz mevsimi yaşanır ve bu durum 21 Mart-23 Eylül tarihleri arasında gerçekleşmektedir. Günün uzunluğu ve güneşin doğup batma zamanları deklinasyon açısına bağlı olarak hesaplanabilir. Kuzey yarımkürede kış mevsimi olduğunda deklinasyon açısı negatif (-) değer alır.Bu sebeple güneş, kuzey yarımkürede kış olduğunda ufuk çizgisine daha yakın bir yol izlemektedir. Bu açı, dikkate alınan bir gün için sabit kabul edilmektedir. En fazla değeri 23,45° olup 21 Haziran’da gerçekleşir; en düşük değeri -23,45° olup 21 Aralık’ta gerçekleşir [47].

4.4.2. Saat Açısı(W)

Saat açısı, dünya üzerinde belirlenen bir konumun boylamı ile dünyanın merkezine doğru olan ışınların arasındaki açı olarak tanımlanabilir. Dünya kendi eksenini etrafında öğleden önce negatif , öğleden sonra pozitif olmak üzere saatte 15° dönmesi ile oluşur.

Saat açısı Eşitlik (4.2) ile belirlenir [47].

$$w=15x(GS-12) \quad (4.2)$$

4.4.3. Zenit Açısı (Ψ)

Zenit açısı ,direkt güneş ışınlarının (güneşin doğrultusunun), yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Yani güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır. Yatay düzleme güneş ışınları dik geldiğinde (güneş zenit noktasında iken) $z = 0^\circ$ 'dir; güneşin doğuşunda ve batışında $z = 90^\circ$ olur [48].

Zenit açısı Eşitlik 4.3 ile ifade edilebilir

$$\Psi=90-\alpha \quad (4.3)$$

Enlem açısına bağlı olan zenit açısının hesaplanmasında Eşitlik (4.4) kullanılır[47].

$$\Psi=Cos^{-1}[Sin(\varphi)Sin(\delta)+Cos(\varphi)Cos(\delta)Cos(w)] \quad (4.4)$$

4.4.4. Güneş Yükseklik Açısı (α)

Güneş yükseklik açısının yatay düzlem ile direkt güneş ışınımının yaptığı açıdır. Zenit açısını 90° ye tamamlar; bu nedenle $\sin y = \cos z$ 'dir [48]. Güneş yükseklik açısı Eşitlik (4.5) ile hesaplanır[47].

$$\alpha=90-\Psi \quad (4.5)$$

Güneş yükseklik açısı, enlem açısına göre Eşitlik (4.6) ile belirlenebilir[47].

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(w)] \quad (4.6)$$

4.4.5. Güneş Azimut Açısı (γ_s)

Güneşi güney noktasına birleştiren vektörün yatay düzlemdeki izdüşümü ile x ekseninde kalan açıdır. Güneyden doğuya (-), batıya (+) olarak kabul edilir [48].

Azimut açısı; Eşitlik (4.7) ile belirlenir.

$$\gamma_s = \sin^{-1}[\cos(\delta)\sin(w)\cos(\alpha)] \quad (4.7)$$

4.4.6. Yüzey Azimut Açısı (γ)

Yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır . -180° ile +180° arasında değişebilmektedir. Güneye bakan yüzeyler için 0°; batıya bakan yüzey için (-) ve doğuya bakan yüzey için (+) değer almaktadır.

4.4.7. Geliş Açısı (θ)

Geliş açısı, direkt güneş ışınlamı ile yüzeyin normali arasındaki açı, güneş geliş açısı olarak adlandırılmaktadır [47].

Güneye bakan eğik yüzeyler için geliş açısı; Eşitlik (4.8) ile hesaplanabilir [47].

$$\theta = \cos^{-1}[\cos(\delta)\cos(\varphi - \beta)\cos(w) + \sin(\delta)\sin(\varphi - \beta)] \quad (4.8)$$

4.5. GÜNEŞ PİLLERİ VE ÇEŞİTLERİ

Güneş pilleri, güneş pili, fotovoltaik panel, güneş paneli veya solar panel gibi bir çok şekilde adlandırılır. Güneş pillerinin, güneş kolektörlerin den farklı çalışma prensibi vardır. Güneş kolektörleri, güneşten gelen ışınlamı toplayıp pasif veya aktif yollar ile

ısı enerjisine çevirir. Güneş pilleri ise fotovoltaiik etkiye göre çalışır ve enerji üretirler. Güneş pilleri ise yüzeyine gelen güneş ışınındığrudan elektriğe dönüştüren yarı iletken maddelerden oluşurlar. Yarı iletken silisyum, güneş pillerinin üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Silisyum hammadde olarak sınırsız bir kaynaktır. Güneş pillerinin üretiminde kullanılan saf silisyum yeterince üretilmemektedir. Dünyada sadece birkaç şirket saf silisyum üretebilmektedir. Güneş pilleri genelde kare, dikdörtgen ve daire şeklinde üretilirler. Güneş pillerinin verimi içinde bulunan hücreleri oluşturan malzemelere ve panel yapısına göre ortalama %5 ile %20 arasında değişmektedir. Güneş pilleri seri veya paralel bağlanarak çıkış güçleri değiştirilebilir.

4.5.1. Güneş Pili Çeşitleri

Güneş pilleri birçok yöntem ve farklı madde kullanılarak üretilir. Panel verimini artırmak için yapılan çalışmalar devam etmekte olup , kullanılan panellerin tercihi maliyete ve panel ömrüne dayalıdır.

4.5.1.1. Monokristal (tekli kristal) güneş paneli

İlk ticari güneş pillerinde, kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapıli silisyum kullanılmıştır. İlerleyen zamanlarda yapılan deneyler neticesinde monokristal güneş panellerin veriminin %27 civarında olduğunu göstermiştir. Üretim esnasında boş harcanan malzemelerde ekstra olarak dezavantajdır. Kullanım alanlarına bakıldığında büyük yatırımlar için uygun olduğu söylenebilir. Uzun ömürlü oldukları için uzun vadeli yatırımlar için en iyi seçenektir [49].

4.5.1.2. Polikristal silisyum güneş paneli

Polikristal güneş panellerinin verimleri laboratuvar ortamında yaklaşık %20 civarındadır. Ortalama verimleri monokristal panellere kıyasla düşüktür. Panel verimleri ortalama %15 civarındadır. Kurulu uygulamalarda verimleri %12 ye kadar düşebilmektedir. Düşük maliyetli oldukları için monokristal panellere göre üretimleri daha fazladır.

4.5.1.3. İnce film güneş panelleri

İnce film güneş panellerinin yapımında uygun bir yüzey üzerinde oluşturulan çok ince Silisyum Hidrojen karışımından oluşturulmuş ince film tabakasıdır. Malzeme ve enerji gereksinimi az olduğu için üretim maliyetleri düşüktür. Sağlam, dayanıklı, esnek ve hafif olmasından dolayı özel uygulamalar için avantajlıdır [47].

4.5.1.4. Amorf silisyum güneş panelleri

Teorik verimleri yaklaşık olarak %10'dur. Uygulama sırasında bu verimleri ise %7 civarına düşer. Kristal yapılı değildir; ancak ince ve aynı tür silikon atomlarından oluşurlar. İnce ve esnek olmalarından dolayı depolama ve kurulumu kolaydır. Darbelere karşı dayanıklı ve hafiflerdir [49].

4.6 SICAKLIĞIN FOTOVOLTAİK PANEL VERİMİNE ETKİSİ

Güneş panellerindeki verim kaybı en çok sıcaklığın etkisiyle olmaktadır. Güneş panelleri üretilirken içerisinde bulunan hücreler modül içerisine kapsüllenmektedirler. Bu işlem neticesinde modül içerisine giren ısı çıkan ısıdan fazla olacağı için ,panel sıcaklığı yükselecek ve çıkış voltajında kayıplara yol açacaktır. Ayrıca sıcaklık artışları panel ömrünü önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir [50].

Yükselen sıcaklıktan kaynaklanan verim kayıpları , Eşitlik (4.10) ile hesaplanır [47].

$$\eta_h = \eta_{stk} [1 - \beta (T_h - 25)] \quad (4.10)$$

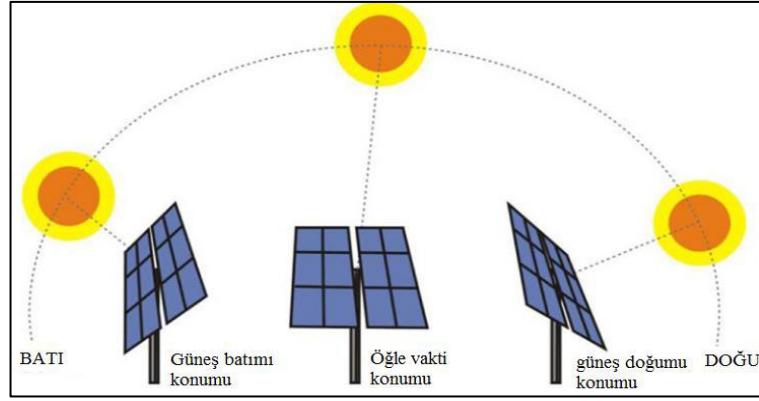
Güneş panellerinde yüzey renginin koyu ıyıyı çeken renk olması panel sıcaklığını önemli derecede artırmaktadır. Panel sıcaklığının 1°C artması ortalama %0,04 ile %0,065 arasında çıkış veriminde azalma göstermektedir [51].

4.7.ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Enerjiye hayatın her anında ihtiyacımız vardır. Bu sebeple enerjinin depolanması gereklidir. Günümüzde enerji ihtiyacımızın büyük kısmını fosil yakıtlardan karşılarız. Bunda en önemli faktör her zaman kullanıma hazır olmalarıdır. Günümüzde fosil yakıtla çalışan enerji santrallerine destek olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerjinin ikincil konumda olmasının sebebi üretilen enerjinin depolanmasındaki zorluklar ve devamlılığıdır. Santrallerde üretilen enerjinin kullanılmayan kısmının depolanması ile enerji ihtiyacı karşılanabilir [52]. Enerji depolanmanın farklı türleri vardır. Mekanik, elektriksel ,ısı ve kimyasal enerji olarak sıralayabiliriz [53].

4.8. GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

Güneş panellerinin tek eksen ve çift eksen olmak üzere güneşin hareketini izlemeye dayalı sistemlerdir. Güneş takip sisteminin ana amacı panelin güneş ışınlarını dik bir şekilde almasını sağlayarak PV modülden alınan verimin artırılması amaçlanmaktadır(Şekil 4.10). Çalışma prensipleri ile ayçiçeklerine benzetilebilirler. İlk güneş takip mekanizması 1927 yılında C. Finster tarafından tanıtılmıştır. Bu sistem gerçek zamanlı takip yapabilen, fakat güneşin konumunu tespit etmek için zayıf bir sistem idi. Daha sonra güneşin konumunu otomatik olarak tespit eden bir sistem 1963 yılında A. Saavendra tarafından yapılmıştır. 1975 yılına gelindiğinde Raymond H. Mcfee tarafından güneşin konumu 0.5° ile 1° hata farkıyla, ayna kullanılarak tespit edilmiştir. İlk ticari amaçlı tasarlanan güneş takip sistemi 1980 yılında Mark E. Dorian ve David H. Nelson tarafından tanıtılmıştır. Tanıtılan sistem, kollektörler ile gelen güneş ışınımının aynı yerde toplanması esas alınarak tasarlanmıştır [4]. Güneş ışınımının gün boyu izlenmesi Şekil 4.6 ile görsellenmiştir.



Şekil 4. 6. Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin izlenmesi [4].

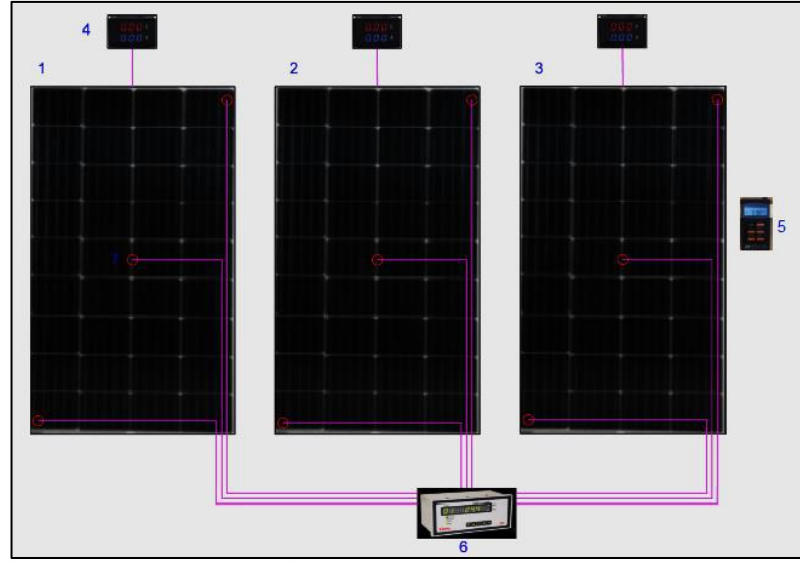
BÖLÜM 5

MATERYAL YÖNTEM

Deneylerimiz Karabük ilinde (Türkiye, 32:37 E, 41:12 N) Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Laboratuvarında yapılmış olup deneyler Temmuz ayında fakültenin bahçesinde yapılmıştır. Deneyler havanın güneşli ve açık olduğu bir günde 10:00 ile 17:00 arasında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında bulunan hareketli, hareketsiz PV modüller ve PVT kolektör, ölçüm ve kayıt cihazlarının montajı bir masaya yapılmış olup güneş panellerine özdeş alüminyum dirençlerden oluşan Arduino kontrollü yük ve ölçüm devresi bağlanarak testler yapılmıştır.

5.1. DENEY SİSTEMİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

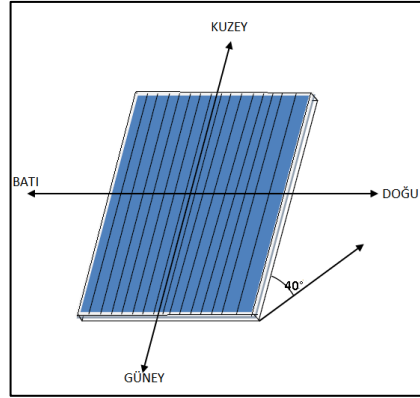
Deney çalışmamızda üç adet PV panel Şekil 5.1’de gösterilen ve 18 W polikristal PV panel kullanılmıştır. Hava soğutma yapılacak panel için 12 V iki adet özdeş fan kullanılmıştır. Deney verilerinin elde edilmesi için Arduino kontrollü dijital ekran (volt, amper ve güç gösterimli), 14 adet K tipi termokupl, Tes-1333R solarmetre ve sıcaklık ölçümü için Elimko-E680 dataloger kullanılmıştır. Güç ölçümü yapmak için Arduino kontrollü devrede üç adet 10 Ω ve altı adet 4.7 Ω alüminyum direnç kullanılmıştır. Isı transferi sağlamak için alüminyum kanatlar kullanılmıştır.



Şekil 5. 1. Deney düzeneği ısı ölçüm noktaları ve tasarımı.

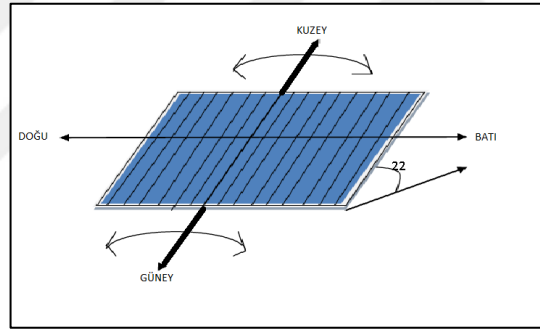
1. 40° açılı sabit modül(PV1).
2. Soğutmasız güneş takipli modül (PV2).
3. Hava soğutmalı alüminyum kanatçıklı güneş takipli kolektör (PV/T3).
4. Arduino kontrollü yük ve ölçüm devresi.
5. Solarmetre.
6. Elimko sıcaklık ölçüm cihazı.
7. Termokupl.

Deneyimizde özdeş 18 W polikristal üç adet panel kullanılmıştır. Panellerimizden bir tanesi (PV1) 40° açılı sabit şekilde Güneye bakacak konumda, PV2 panel güneş takip sistemli , PV3 panel güneş takip sistemli ve alüminyum kanatçıklı hava soğutmalıdır. Alüminyum kanatçıkların üzerinde özdeş iki adet fan bulunmaktadır. Bu çalışmada sabit panel için (PV1), sadece güneş takip sistemli panel için (PV2), güneş takip sistemli ve hava soğutmalı panel için (PV/T) ve PV/T kollektörün hava soğutmasında kullanılan fanlara enerji sağlayacak panele (PV3) ifadeleri kullanılacaktır. Deney setimizde PV1 modülü Şekil 5.2’de verildiği gibi 40° geliş açılı sabit Kuzey – Güney doğrultusunda konumlandırılmıştır.



Şekil 5. 2. Sabit panel.

Deney setimizdeki güney yönünde 22° eğim açısı ile konumlandırılan güneş takipli sistemli PV2 ve PVT modülleri Şekil 5.3'te görsellenen şekilde Doğu – Batı yönünde izleme yapmaktadır.



Şekil 5. 3. Güneş takipli hareketli panel.

5.2. KULLANILAN MALZEMELER

5.2.1. Güneş Paneli

Deneyimizde kullanılan güneş panellerinin özellikleri Çizelge 5.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 1.Kullanılan PV panel özellikleri

Maksimum güç	18W
Maksimum güç noktası gerilimi	19V
Maksimum güç noktası	1.8A
Açık devre gerilimi	21.0 V
Kısa devre akımı	2.2 A
Hücre tipi	Polikristal
Ağırlık	2.3 Kg
Boyut	315x385x22

5.2.2. Sıcaklık Ölçüm Cihazı

Termokupllar vasıtası ile sıcaklık ölçümü yapılabilmesi ve kayıt altına almak için Elimko 680 dataloger ve K tipi termokupl kullanılmıştır Şekil 5.4. Elimko 680 cihazın toplamda 16 giriş kayıt etme özelliği bulunmakta olup dış ortamdan etkilenmez ve kalibrasyonu bozulmaz. Giriş noktaları teker teker programlanabilir ve okuma hassasiyeti oldukça yüksektir. Bilgisayara bağlanıp istenilen aralıklarda kayıt yapılabilmektedir. Ayrıca standart akım çıkışı verebilmektedir.



Şekil 5. 4. Elimko E-680 dataloger.

5.2.3. Güneş Işınım Ölçer

Deney düzeneğimizde güneşten gelen ışıınımların W/m² cinsinden ölçebilmek için Tes-1333R ışıınıım ölçme cihazı kullanılmıştır Şekil 5.5.



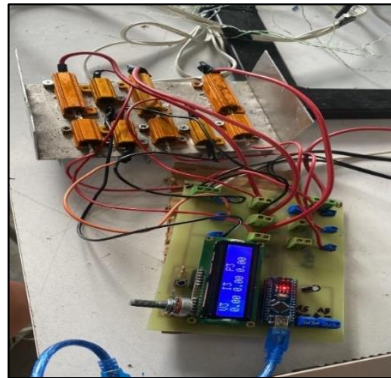
Şekil 5. 5. Işınım ölçer cihazı.

Işınımı ölçmek için kullandığımız cihazın ismi pyronometredir. Başlıca özellikleri aşağıdaki gibidir;

1. Tutuş açısına göre ışınım değerini gösterir.
2. Tarama açısı geniştir.
3. 160 gr. Ağırlığa sahiptir.
4. 110x64x34mm boyutundadır.
5. Çalışma sıcaklık aralığı 0°C ile 50°C arasındadır.
6. 99 dizi menüsü ve veri kaydetme özelliğine sahiptir.

5.2.4. Elektriksel Güç Ölçme Devresi

Deney setimizde ölçtüğümüz elektriksel güç akım(A) ve gerilim (V) değerlerini kullanarak hesaplar yapılmıştır.Şekil 5.6'da gösterilen Arduino kontrollü devre kullanılmıştır.



Şekil 5. 6. Arduino kontrollü elektriksel güç ölçer.

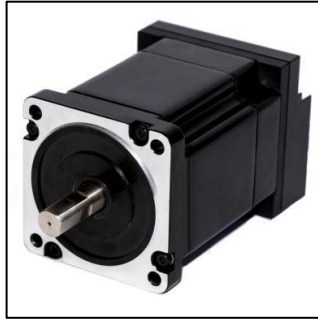
Deney düzeneğinde kullandığımız Arduino kontrollü devrenin genel özellikleri çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5. 2. Arduino kontrollü devre genel özellikleri

Ağırlık	42gr
Ekran	2 satır dijital
Ekran rengi	Mavi ve Beyaz
Yenilenme süresi	Yaklaşık 100ms
Ölçüm aralığı	DC 0 – 50 Volt – DC 0 – 20 Amper
Boyut	200x170x3mm
Çalışma sıcaklığı	5°C – 65°C

5.2.5. Step Motor ve Sürücü

Deney düzeneğimizin güneş takipli olan PV2 ve PV/T panellerinin hareketini sağlamak için Nema-23 step motor kullanılmıştır ve motor görseli Şekil 5.7’de verilmiştir. Step motor sürücü olarak Şekil 5.8’de görsellenen iki adet TB6600 4A sürücü kullanılmıştır.



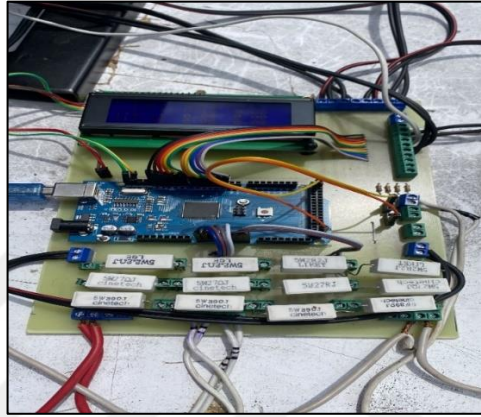
Şekil 5. 7.Nema23 step motor.



Şekil 5. 8.TB6600 step motor sürücü.

5.2.6. Arduino

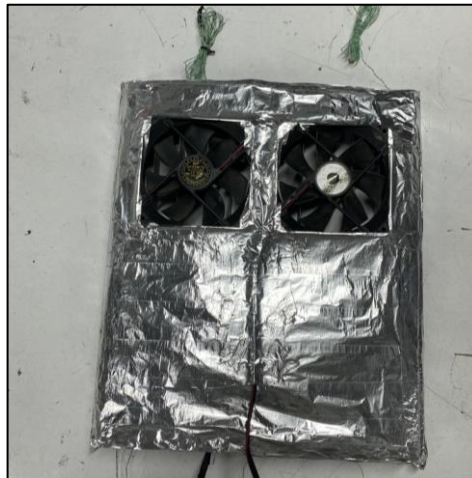
Deney setimizin güneş takip sistemini çalıştıran Arduino'dur Deney setimiz de Arduino Mega kullanılmıştır. Arduino çevresiyle etkileşime girebilen sistemler tasarlanabilir açık kaynaklı bir geliştirme platformudur. Dolayısıyla kullanıcı istediği şekilde düzenlemeler yapabilir. Arduino kütüphaneleri sayesinde programlanabilir. Deney düzeneğinde kullanılan Arduino ve devresi Şekil 5.9' gösterilmiştir.



Şekil 5. 9. Arduino Mega ve devresi.

5.2.7. Soğutucu Fan

Deney setimizde iki adet özdeş (12V 0.3A) fan Şekil 5.10'da görüldüğü gibi PVT modülü soğutmak üzere kullanılmıştır.



Şekil 5. 10. Soğutucu DC fan.

5.2.8. Ldr

Deney setimizde güneşin ışınlam şiddetine Arduino'nun sistemi hareket ettirmesi için dört adet Ldr (ışığa duyarlı direnç) kullanılmıştır.

5.3. DENEYSEL YÖNTEM

Deney setimizdeki hareketli taşıyıcı sistem imalatı Şekil 5.11' deki gibi yapılmıştır. Taşıyıcı sistem 360° açı ile hareket edebilecek şekilde imal edilmiştir. Malzeme olarak çelik profil kullanılmıştır.



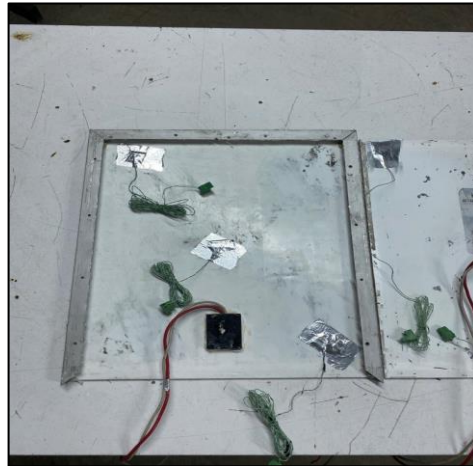
Şekil 5. 11.Taşıyıcı sistem imalatı.

Deney setimizde soğutma yapılacak (PVT) panelinin ısı transferi için alüminyum kanatçıklar kullanılmıştır. Kanatçık yapımında 1 mm kalınlıkta alüminyum plaka kullanılmıştır. Soğutma yapılacak modül için 11 kanatçık Şekil 5.12'de görüldüğü gibi kullanılmıştır. Kanatçıklar modül alt yüzeyine ısı transferini artırmak için termal macun sürülerek sabitlenmiştir.



Şekil 5. 12. Alüminyum kanatçıkların görseli.

Modüllerde sıcaklıkların ölçülebilmesi için her modülün arka yüzlerine 3 adet K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Modül ile termokupl arasında boşluk kalmaması ve ısı ısı transferini artırarak daha hassas veri alabilmek için termal macun kullanılmıştır ve üzerine özel sızdırmazlık bantı yapıştırılmıştır. Kablolar hareket etmemesi için tesisat bantı ile sabitlenmiştir. Termokupl ve sıcaklık ölçüm yerleri Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 13. Termokupl yerleşimi.



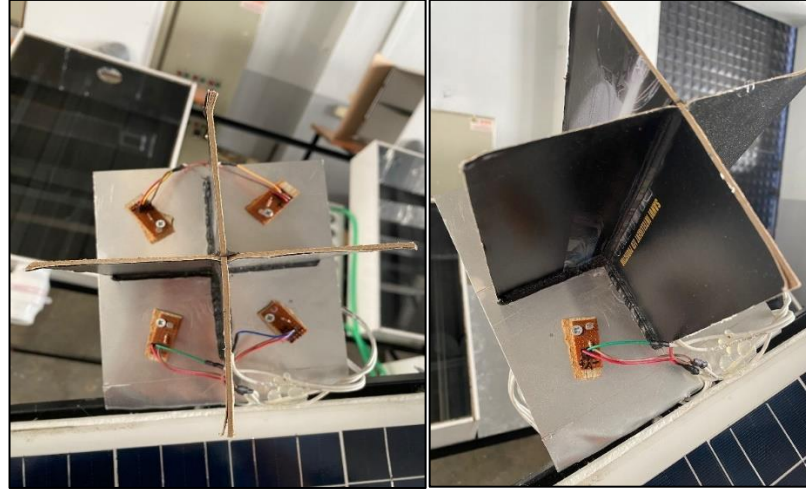
Şekil 5. 14. Termokupl bağlantı yerleri.

Deney setimizde kullandığımız panellerin yük altında nasıl performans sergilediklerini değerlendirmek için her bir panele bir adet $10\ \Omega$ ve iki adet $4.7\ \Omega$ alüminyum dirençler kullanılmıştır. Hazırlanan Arduino kontrollü devre Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Soğutma yapılacak PVT modüle soğutucu fanların yerleştirilmesi ve ısı yalıtımı yapılması Şekil 5.15.



Şekil 5. 15.PV/T panel fan montajı.

Deney setimizde 27° eğim açısı ile güneş takip sistemi için güneşten gelen ışınımaları Arduino'ya ileten LDR' ler ve konumlandırıldıkları bölge Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5. 16. Ldr ve montaj yerleri.

İmalatı yapılan deney düzeneği montajlanması ve deney yapılması Şekil 5.17’de gösterilmiştir.Montaj aşaması bittikten sonra üç panelde eş zamanlı olarak test edilmiştir.Yapılan deneyde ortam sıcaklığı ,üç özdeş panelin sıcaklığı ,güneş ışınımı ve bu panellerin ürettikleri elektriksel güç ölçümü yapıp karşılaştırılmıştır.PV/T panelin soğutulmasında kullanılan fanlar PV3 tarafından sağlanmıştır.

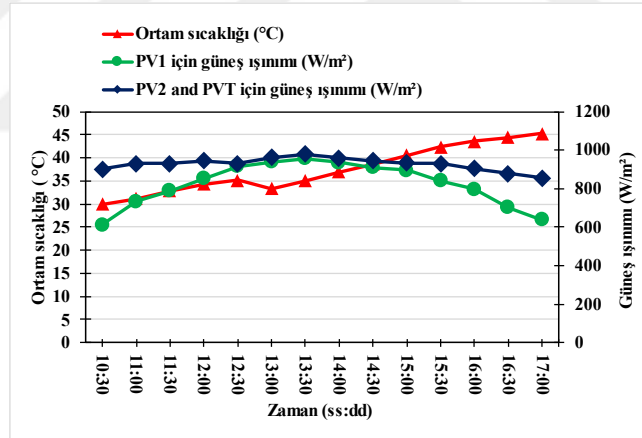


Şekil 5. 17.Deney düzeneği.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI ANALİZ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

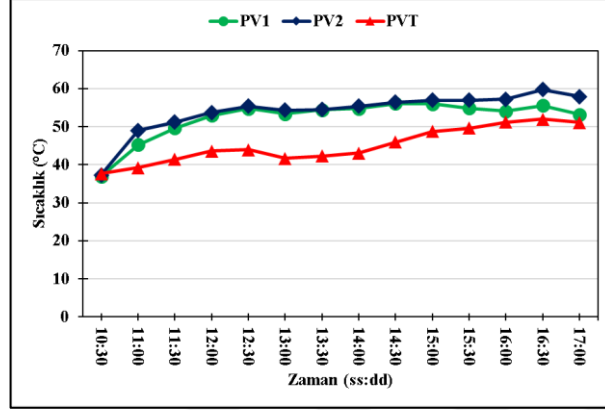
Deney düzeneğimiz yedi saatlik zaman dilimi içerisinde, eşit koşullar altında ve aynı zaman içerisinde teste başlanmış PV1, PV2 ve PVT panellerin akım, gerilim ve sıcaklık değerleri ölçülmüş, bu değerlere kullanılarak verim, ekserji ve güç değerleri hesaplanmıştır. Deney sonuçlarına ve yapmış olduğumuz formüle dayalı hesaplamalara göre PV1, PV2 ve PVT panel kıyaslamaları grafikler halinde detaylandırılmıştır. Şekil 6.1’ de ortam sıcaklığının ve güneş ışıınının PV paneller ve PVT panel için zamana bağlı değişimi görsellenmiştir.



Şekil 6. 1. Zamana bağlı ortam sıcaklığı ve güneş ışıınının PV paneller ve PVT panel için zamana bağlı değişimi görsellenmiştir.

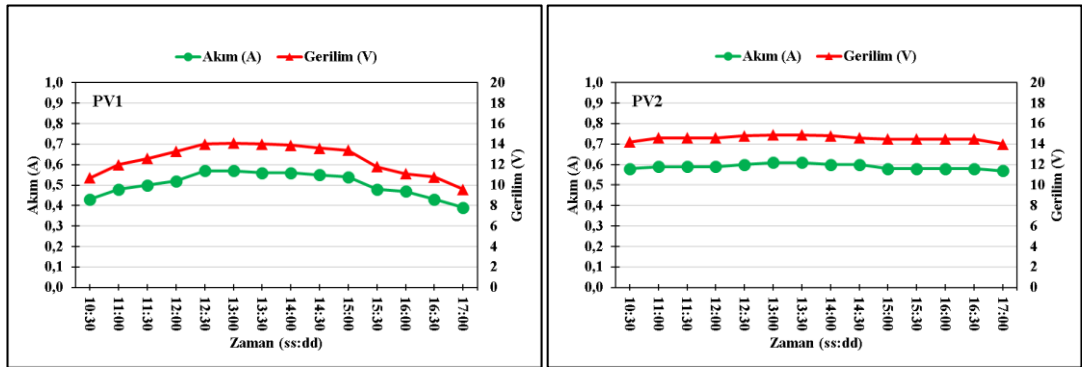
Deney süresince alınan güneş ışıınının ve ortam sıcaklığı değerleri Şekil 6.1’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde ortam sıcaklığının deney başlangıcı saat 10:30’da 30°C olan ortam sıcaklığı saat 13:30’da 35°C’ye ulaştığında güneş ışıınının PV1 için 955,80 W/m², güneş takip sistemli PV2 ve PVT panel için 979,40 W/m² olarak en yüksek değerine ulaşmıştır. Deney başlangıcından sonuna kadar ortam sıcaklığı 30°C ile 45,25°C arasında değişkenlik göstermiştir. Güneş ışıınının değeri ise deney başlangıcında PV1 panel için 612 W/m² olup deney sonunda 856,10 W/m², PV2 ve PVT paneller için başlangıçta 901 W/m² deney sonunda 856,10 W/m² olduğu

görülmüştür. PV ve PVT panel sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi Şekil 6.2’de verilmiştir.



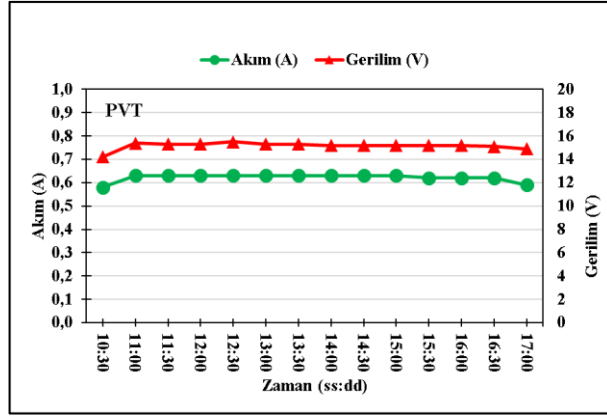
Şekil 6. 2. Zamana bağlı PV ve PVT panel sıcaklık grafiği.

Şekil 6.2’ de görüldüğü gibi deneye başlangıç saati 10:30’da PV modül ve PVT kolektör sıcaklıkları laboratuvar ortamından çıkarılıp deneye başlandığı anda neredeyse aynıdır. PV1 modülün maksimum sıcaklık değeri saat 14:30’da 56,12 °C ve 17:00’de 53,24°C’dir. PV2 modülün maksimum sıcaklık değeri saat 16:30’da 59,77°C ve saat 17:00’da 57,89°C’dir. PVT kolektörün maksimum sıcaklık değeri saat 16:30’da 52,02°C ve saat 17:00’da 51,12°C’dir. PV1,PV2 ve PVT ortama sıcaklıkları sırasıyla 52,30°C, 54,02°C ve 45,12°C’dir. PV modüllerin ve PVT kolektörün akım, gerilim verileri Şekil 6.3’de gösterilmiştir.



(a)

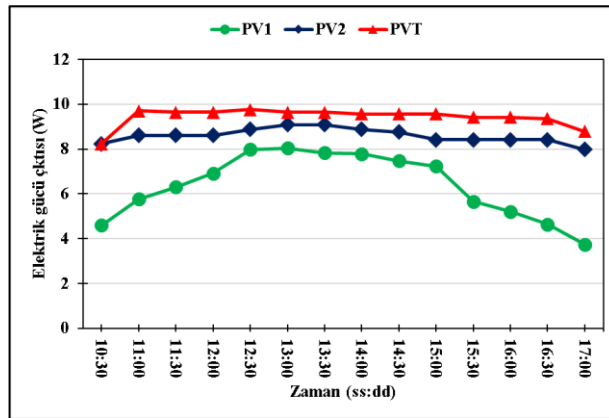
(b)



(c)

Şekil 6. 3(a, b, c). PV1, PV2 modülleri ve PVT kolektör akım gerilim değerleri grafikleri.

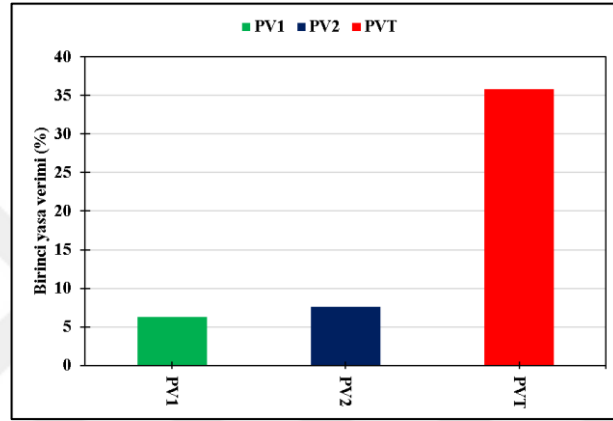
Şekil 6.3(a) incelendiğinde PV1 modülün akım ve gerilim değerleri saat 10:30'da 10,7 V, 0,43 A, maksimum değerini saat 13:00'te, 10V 0,57A , saat 17:00'de 9,60V 0,39A olduğu gözlemlendi. Şekil 6.3(b)'de verilen grafik eğrisine göre PV2 modülünün akım ve gerilim değerleri saat 10:30'da 14,20V, 0,58 A ,maksimum değerini saat 13:00 ile 13:30'da 14,90V, 0,61A , saat 17:00'de 14,00V 0,57A olduğu gözlemlendi. PVT kolektörün akım ve gerilim değerleri ise saat 10:30'dan 17:00'a kadar ortalama 15,26V ve 0,63A güç değerleri olduğu gözlemlenmiştir (c). PV modüllerin ve PVT kolektörün zamana bağlı elektriksel güçleri Şekil 6.4'de gösterilmiştir.



Şekil 6. 4. Zamana bağlı elektriksel güç grafiği

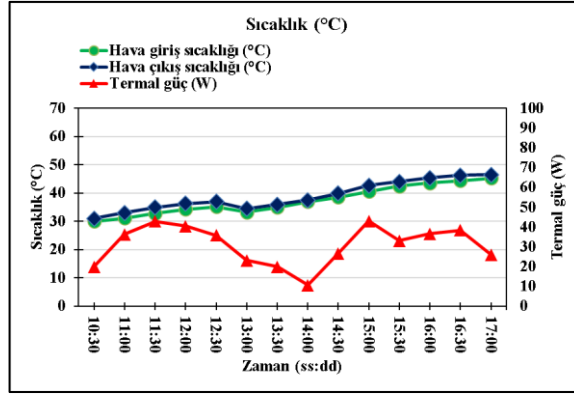
Şekil 6.4 incelendiğinde akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak değişen PV1, PV2 modülleri ve PVT kolektör için altı buçuk saatlik ortalama elektriksel güç değerleri

sırasıyla 6,5 W, 8,62 W ve 9,52 W olduğu görülmektedir. PV1 modülüne kıyas ile PV2 modülü ve PVT kolektör güç çıkışlarında %24,57 ve %31,63 artış sağlanabilmiştir. PV2 modülüne kıyasla PVT kolektörü güç çıkışı %9,36 artmıştır. PV2 modülünde sağlanan artış güneş ışıınının izlenmesi ile elde edilmişken PVT kolektöründe ise hem güneş ışıınının izlenmesi hem de PV hücrelerinde sağlanan soğutma ile elde edilebilmiştir. Şekil 6.5'te PV modüllerin ve PVT kolektörün birinci yasa verimleri görselleştirilmiştir.



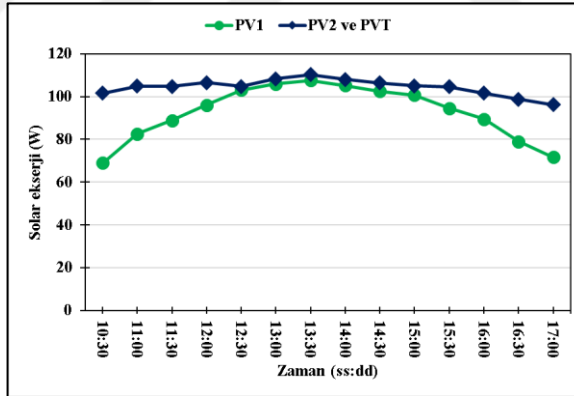
Şekil 6. 5. Birinci yasa verimi.

PV1, PV2 modüllerin ve PVT kolektörün birinci yasa verimleri sırasıyla %6,32, %7,61 ve %35,85'dur. Bu değerlere göre PV1 modülü ile PV2 modülü arasındaki birinci yasa verim farkı %1,29, PV1 modülü ile PVT kolektör arasında %28,87, PV2 modül ile PVT kolektör arasında %28,18'dir. Bu verim farkları güneş izleme sisteminin sabit sisteme oranla, hem güneş izleme hem de modül soğutmalı sistemin sadece güneş izlemeli sisteme oranla daha verimli olduğunu göstermektedir. Şekil 6.6'da PVT kolektör için zaman ve sıcaklığa bağlı termal güç değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 6. 6.PVT kolektör termal güç değişim grafiği.

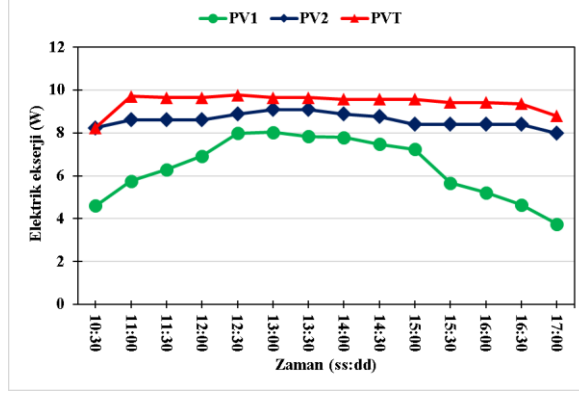
PVT kolektörde sağlanan soğutma ile havaya aktarılan ısı yük mahal ısıtması ve ürün kurutması gibi bir amaç ile kontrollü şekilde kullanılabilir. Kolektörde elde edilen havaya yüklenmiş termal gücün zamana bağlı değişimi eğrisine göre saat 14:00'da minimum, saat 15:00' de maksimum olduğu görülmüştür. Ortalama termal güç 30W olarak gözlenmiştir. Şekil 6.7'de PV1, PV2 modüllerin ve PVT kolektörün zamana bağlı solar ekserji değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6. 7. Solar ekserjinin zamana bağlı değişim grafiği.

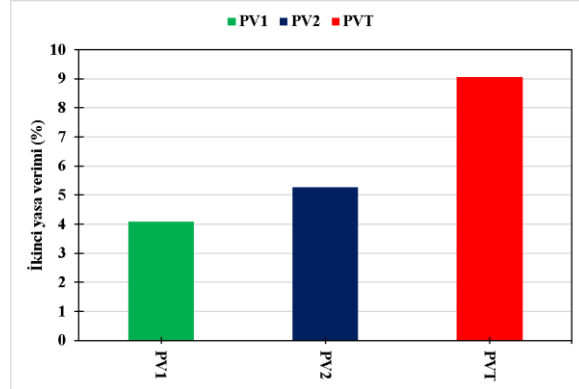
Solar ekserji deneye süresi boyunca ; PV1 modül için 69,03W ile 71,74W arasında, PV2 modül ve PVT kolektör için 101,63W ile 96,20W arasında olduğu görülmüştür. PVT kolektör ve PV2 modülün güneş izleme sistemli olması solar ekserjinin daha stabil ve yüksek olmasını sağlamaktadır. Özellikle sabah ve öğleden sonraki saatlerde güneş izleme sisteminin solar ekserjiye ve dolayısıyla elektriksel verimdeki artışa dolaylı yoldan etkisini görmekteyiz.

PV1, PV2 modülleri ve PVT kolektör elektriksel ekserji verimleri Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6. 8. PV panel ve PVT kolektör zamana bağlı elektriksel ekserji grafiği.

Panellerin ortalama elektriksel ekserji değerlerine bakılırsa PV1 modülü için 6,37 W, PV2 modülü için 8,60 W ve PVT kolektör için 9,43W’dır. Bu değerlere göre PV1 ile PV2 modülleri arasındaki oransal artış %25,93, PV2 modül ile PVT kolektör arasındaki oransal artış %8,8 olduğu görülmektedir. Şekil 6.9’da PV modüllerin ve PVT kolektörün ikinci yasa verimleri gösterilmiştir.



Şekil 6. 9. PV modüllerin ve PVT kolektör ikinci yasa verimleri grafiği.

PV1, PV2 modüllerin ve PVT kolektörün ikinci yasa verimleri sırasıyla %4,09, %5,26 ve %9,07’dir. Bu değerlere göre PV1 modülü ile PV2 modülü arasındaki ikinci yasa verim farkı %1,17, PV1 modülü ile PVT kolektör arasında %5,02, PV2 modül ile PVT kolektör arasında %3,81’dir. Bu değerler neticesinde görüldüğü üzere güneş ışınlamalarının maksimum seviyede güneş paneline nüfuz etmesi güneş izleme

sisteminin sabit sisteme göre daha verimli olduğunu ,ayrıca PV modüllerin ısınmadan kaynaklı verimlerindeki azalmanın önüne geçmek için güneş izleme sistemine ek olarak PV panellerde soğutma yapılmasının PV panel veriminde maksimum verim artışı sağlayacağı görülmektedir.



BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deney çalışmamızda kurulan PV ve PVT sistemlerin ürettiği güç değerleri ve modül sıcaklıkları izlenerek sabit açılı sistem, hareketli güneş izlemeli sistem ve hareketli güneş izleme sisteme ek hava soğutmalı sistem arasındaki farklar ve panel verim değerleri ortaya konmuş ve bu iki sistem karşılaştırılmıştır.

Fotovoltaik panellerin verimini etkileyen başlıca faktörler sıcaklık, gölgelenme, kirlilik v.b birçok çevresel faktörden kaynaklı verim kayıplarını en aza indirmek adına bu deney çalışmasını gerçekleştirdik. Verim değerleri düşük olan fotovoltaik panellerden maksimum verim almak için birçok çalışma yapılabilir. Bunlardan bazıları güneş izleme sistemi ve PV panel soğutma işlemidir. Fotovoltaik panellerin dezavantajı olan düşük verimleri maruz kaldıkları ısı nedeni ile dahada azalmaktadır. Bu sebepten dolayı özellikle büyük çaptaki güneş enerji santrallerinde kullanılan PV panellerin sıcaklıklarının düşürülmesi ciddi oranda verim artışına neden olacaktır. Ayrıca güneş izleme sistemi sayesinde güneş ışınimleri PV panele ne kadar çok nüfuz ederse güneş ışınimlarından o kadar çok yararlanılıp verimde artış sağlanacaktır. Deney çalışmamızda materyal yöntem kısmında bahsedilen soğutma sisteminde alüminyum kanatçıklar ve hava fanı kullanılmıştır ve PV panel soğutmaya ek güneş izleme sistemi kullanılmıştır ve PV panellerin ısınmadan kaynaklı verim düşüşünü en minimum seviyeye indirme ve PV modül üzerine düşecek güneş ışınımını maksimum seviyeye çıkarmak için çalışılmıştır. Deney sonuçlarına göre PV1 ile PV2 arasındaki modül sıcaklığı farkı %3,18, PV1 ile PVT arasındaki sıcaklık farkı %13,72, PV2 ile PVT arasındaki sıcaklık farkı ise %16,47 olduğu gözlenmiştir. Elektriksel güç çıkışlarında ise PV1 modül ile PV2 modül arasında %10,93, PV1 modül ile PVT kolektör arasında %49,76, PV2 modül ile PVT kolektör arasında %35 artış görülmüştür. PV1, PV2 modüllerin ve PVT kolektörün birinci ve ikinci yasa verimleri sırasıyla %6,32, %7,61, %35,19 ve %4,09, %5,26 ve %9,07'dir. Bu verilere göre

alüminyum kanatçık destekli hava soğutmalı ve güneş izleme sistemi kullanımının sıcaklıktan ve güneş ışıınımı geliş açısından kaynaklı verim kayıplarını düşürdüğü, PV panel güç çıkışında ve verim artışında olumlu yönde katkı sağladığı görölmüşür.



KAYNAKLAR

1. Elibol, E., Özmen, Ö. T., Tutkun, N., and Köysal, O., "Outdoor performance analysis of different PV panel types", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 67: 651–661 (2017).
2. Zaihidee, F. M., Mekhilef, S., Seyedmahmoudian, M., and Horan, B., "Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 65: 1267–1278 (2016).
3. Nuhoglu, S., "Tek eksen güneş takipli fotovoltaiik sistem tasarimi ve Konya için örnek bir uygulama", *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-69 (2017).
4. Vinet, L. and Zhedanov, A., "A “missing” family of classical orthogonal polynomials", *Journal Of Physics A: Mathematical And Theoretical*, 44 (8): 1–8 (2011).
5. Orhun, M., "Farklı güneş panellerinin adaptif bir güneş takip sistemi üzerinde yıllık performanslarının karşılaştırılması ve güç tahmini", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 1-105 (2013).
6. Selçuk UZUNOK, "Fotovoltaiik modüllerin elektrik enerjisi üretiminde güneş takip sisteminin etkisinin incelenmesi", *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya, 1-111 (2007).
7. Menak, R., "Tek motorlu çift eksenli güneş takip sistemi tasarimi", *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt, 1-98 (2018).
8. Hakan ALICI, "Designing and implementation of novel solar tracker system for Çukurova region", *Adana Alparslan Türkeş Science And Technology University Graduate School Of Applied Sciences*, Adana, 1-68 (2021).
9. 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).
10. 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 (4): 299–308 (2011).

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. Younas, M. F., Abubaker, M., Ali, H. M., Nawaz, M. A., Hassan, M., Awan, M. J., Hassan, R. S., Rasool, A., and Sultan, K. A., "Effect of active water cooling on the performance of PV module using steel channels", **VW Applied Sciences**, 1 (1): 52–58 (2020).
13. 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).
14. 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 (March): 1–18 (2018).
15. Micheli, L., Reddy, K. S., and Mallick, T. K., "Experimental comparison of micro-scaled plate-fins and pin-fins under natural convection", **International Communications In Heat And Mass Transfer**, 75: 59–66 (2016).
16. 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).
17. Li, N., Zhang, X., Zhao, M., Zhang, Y., Yuan, Y., Lu, X., Zhang, H., and Sun, J., "Integrating solar photovoltaic capacitor into algal-bacterial photo-bioelectrochemical system towards all-weather synchronous enhanced antibiotic and nitrogen removal from wastewater", **Journal Of Cleaner Production**, 272: 122661 (2020).
18. Oner, İ. V. and Ömeroğlu, G., "Fotovoltaik termal (PVT) sistemlerinde farklı tip kanatçıklar kullanılarak optimum çalışma sıcaklığının tayini", **Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi**, 9 (1): 177–183 (2018).
19. 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).

20. Bayrak, F., Oztop, H. F., and Selimefendigil, F., "Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels", ***Energy Conversion And Management***, 212 (March): 112789 (2020).
21. Gomaa, M. R., Hammad, W., Al-Dhaifallah, M., and Rezk, H., "Performance enhancement of grid-tied PV system through proposed design cooling techniques: An experimental study and comparative analysis", ***Solar Energy***, 211 (October): 1110–1127 (2020).
22. Krauter, S., "Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels", ***Solar Energy Materials And Solar Cells***, 82 (1–2): 131–137 (2004).
23. 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).
24. 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 (4): 385–389 (2014).
25. 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).
26. Teo, H. G., Lee, P. S., and Hawlader, M. N. A., "An active cooling system for photovoltaic modules", ***Applied Energy***, 90 (1): 309–315 (2012).
27. Patil, M., Sidramappa, A., Shetty, S. K., and Hebbale, A. M., "Experimental study of solar PV/T panel to increase the energy conversion efficiency by air cooling", ***Materials Today: Proceedings***, (In press): (2023).
28. Dubey, S., Sandhu, G. S., and Tiwari, G. N., "Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector", ***Applied Energy***, 86 (5): 697–705 (2009).
29. Panda, S., Panda, B., Jena, C., Nanda, L., and Pradhan, A., "Investigating the similarities and differences between front and back surface cooling for PV panels", ***Materials Today: Proceedings***, 74: 358–363 (2023).
30. Zhang, Q., He, S., Song, T., Wang, M., Liu, Z., Zhao, J., Gao, Q., Huang, X.,

- Han, K., Qi, J., Gao, M., and Shi, Y., "Modeling of a PV system by a back-mounted spray cooling section for performance improvement", *Applied Energy*, 332: 120532 (2023).
31. Al-Amri, F., Saeed, F., and Mujeebu, M. A., "Novel dual-function racking structure for passive cooling of solar PV panels –thermal performance analysis", *Renewable Energy*, 198 (April): 100–113 (2022).
 32. Grubišić-Čabo, F., Nižetić, S., Čoko, D., Marinić Kragić, I., and Papadopoulos, A., "Experimental investigation of the passive cooled free-standing photovoltaic panel with fixed aluminum fins on the backside surface", *Journal Of Cleaner Production*, 176: 119–129 (2018).
 33. Mittelman, G., Alshare, A., and Davidson, J. H., "A model and heat transfer correlation for rooftop integrated photovoltaics with a passive air cooling channel", *Solar Energy*, 83 (8): 1150–1160 (2009).
 34. Zhao, Z., Zhu, L., Wang, Y., Huang, Q., and Sun, Y., "Experimental investigation of the performance of an air type photovoltaic thermal collector system with fixed cooling fins", *Energy Reports*, 9: 93–100 (2023).
 35. Bevilacqua, P., Bruno, R., Rollo, A., and Ferraro, V., "A novel thermal model for PV panels with back surface spray cooling", *Energy*, 255: 124401 (2022).
 36. Wang, G., Yang, Y., Yu, W., Wang, T., and Zhu, T., "Performance of an air-cooled photovoltaic/thermal system using micro heat pipe array", *Applied Thermal Engineering*, 217 (May): 119184 (2022).
 37. Kianifard, S., Zamen, M., and Nejad, A. A., "Modeling, designing and fabrication of a novel PV/T cooling system using half pipe", *Journal Of Cleaner Production*, 253: 119972 (2020).
 38. Al Hariri, A., Selimli, S., and Dumrul, H., "Effectiveness of heat sink fin position on photovoltaic thermal collector cooling supported by paraffin and steel foam: An experimental study", *Applied Thermal Engineering*, 213 (June): 118784 (2022).
 39. Xu, H., Wang, N., Zhang, C., Qu, Z., and Karimi, F., "Energy conversion performance of a PV/T-PCM system under different thermal regulation strategies", *Energy Conversion And Management*, 229 (December 2020): 113660 (2021).
 40. 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).
41. Yousef, M. S., Sharaf, M., and Huzayyin, A. S., "Energy, exergy, economic, and enviroeconomic assessment of a photovoltaic module incorporated with a paraffin-metal foam composite: An experimental study", **Energy**, 238: 121807 (2022).
42. Joshi, A. S., Dincer, I., and Reddy, B. V., "Thermodynamic assessment of photovoltaic systems", **Solar Energy**, 83 (8): 1139–1149 (2009).
43. Çanka Kılıç, F., "Solar Energy, Its Recent Status in Turkey and Production Technologies", **Mühendis Ve Makina**, 56: 28–40 (2015).
44. Kaya, K., "Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu", **Mehendis Ve Makina**, 56 (668): 36–47 (2015).
45. Santamouris, M., Mihalakakou, G., Psiloglou, B., Eftaxias, G., 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 (10): 3105–3116 (1999).
46. Internet: T.C. Çevre Şehircilik VE İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Güneşten Gelen Işınlara Atmosferin Etkisi", <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7> (2023).
47. İnanç, Ö., "Fotovoltaik (PV) panelde ısı taşınımının analizi / Heat convection analysis in photovoltaic (PV) panel", **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük, 1-144 (2020).
48. GÖRCELİOĞLU, E., "Güneş açıları ve bunların feyzaj düzenlemelerindeki önemi", **Orman Fakültesi Dergisi**, 36 (3): 40–42 (1987).
49. Kıyançiçek, E., "Fotovoltaik sistemlerin boyutlandırılması için PVS paket programının gerçekleştirilmesi", **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 1-66 (2013).
50. ISLER, Y. S., "Güneş Enerjisi Santrallerinde Sehpa Seçiminin Performansa Etkisinin Analiz Edilmesi Ve Sıcaklık Etkisi", **El-Cezeri Fen Ve Mühendislik Dergisi**, 2019 (1): 97–107 (2019).
51. Klugmann-Radziemska, E. and Wcisło-Kucharek, P., "Photovoltaic module temperature stabilization with the use of phase change materials", **Solar**

- Energy***, 150: 538–545 (2017).
52. Muhsin Mazman, D. and Hakan Yılmaz, C., "Enerji depolama çözümleri ve genel eğilimler", ***Elektrik Mühendisliği***, 466: 32–40 (2019).
53. MERT, M. S., SERT, M., and MERT, H. H., "Isıl enerji depolama sistemleri için organik faz değıştiren maddelerin mevcut durumu üzerine bir inceleme", ***Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi***, 6 (1): 161–174 (2018).



ÖZGEÇMİŞ

Berkay SELAMOĞLU lise eğitimini Ankara Yenimahalle Endüstri Meslek lisesi Elektrik-Elektronik bölümünde tamamladıktan sonra 2014 yılında Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümüne başlayıp 2019 yılında mezun oldu.2020 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

