

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİ BİR PV-T GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ TASARIMI VE PV SİSTEMİ İLE
DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GUDRAT ALLABERDİYEV

EKİM 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ BİR PV-T GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ TASARIMI VE PV SİSTEMİ İLE
DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gudrat ALLABERDİYEV

DANIŞMAN

: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EYRİBOYUN

ZONGULDAK

Ekim 2019

KABUL:

Gudrat ALLABERDİYEV tarafından hazırlanan “Yeni Bir PV-T Güneş Enerjisi Sistemi Tasarımı ve PV Sistemi ile Deneysel Olarak Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 25/10/2019

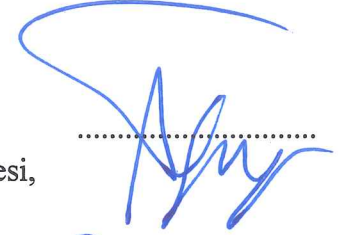
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EYRİBOYUN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Adnan TOPUZ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof. Dr. Emrah DENİZ

Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü



ONAY:

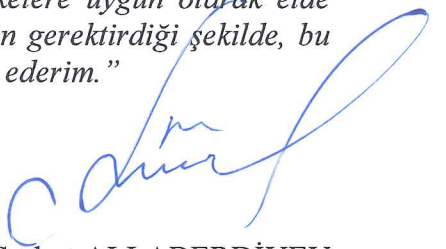
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../20....



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri 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.”


Gudrat ALLABERDİYEV

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ BİR PV-T GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ TASARIMI VE PV SİSTEMİ İLE DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Gudrat ALLABERDİYEV

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EYRİBOYUN
Ekim 2019, 91 sayfa**

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte; dünyanın fosil yakıt deposunun tükenmesi ve dünyanın kirlenmesi gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunlar ise beraberinde iklim değişikliği gibi çeşitli problemleri ortaya çıkarmıştır. Fosil yakıtlardan meydana gelen sera gazlarını azaltmak ve dünyayı daha yaşanabilir bir hale getirmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme olmuştur. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı yaygınlaşanı olmuştur. Bu tez çalışmasında yeni bir PV-T sistemi tasarlanmıştır ve PV sistemi ile deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik panel, ön yüzeyinde oluşturulmuş kanallar içinde akan su yardımıyla soğutulmuştur. Bu işlemin sistem veriminde sağlayacağı artışın belirlenebilmesi ve her iki sistemin karşılaştırılabilmesi için aynı özelliklerde soğutma yapılmayan PV panel ile eş zamanlı deneyler yapılmıştır. Çalışmada elde edilen veriler kullanılarak PV paneli ve fotovoltaik-termal (PV-T) sistemin enerji analizleri yapılmış ve verimlilikleri incelenmiştir. Ön yüzeyinden su ile soğutulan panelin ortalama yüzey sıcaklığının, soğutulmayan panele göre 12 K kadar daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak PV-T sisteminden elde edilen elektrik enerjisinin, aynı koşullarda PV sisteminden yüksek olduğu gösterilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Fotovoltaik panel, Fotovoltaik-termal sistem.

Bilim Kodu: 625.05.04.



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN OF A NEW PV-T SOLAR SYSTEM AND EXPERIMENTAL COMPARISON WITH PV SYSTEM

Gudrat ALLABERDIYEV

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Dr. Mustafa EYRIBOYUN

October 2019, 91 pages

With the development of technology, the world has been encountered with the problems such as depletion of the world's fossil fuel tank and global pollution. These problems have brought various problems such as climate change. There has been a shift to renewable energy resources to reduce the amount of greenhouse gas in atmosphere from fossil fuels and make the world more liveable. Solar energy is the fastest spread energy resource among renewable energy sources. In this thesis, a new PV-T system was designed and compared experimentally with PV system. The photovoltaic panel was cooled with the help of water flow in the channels formed on its front surface. In order to determine the increase in system efficiency of this process and to compare the two systems, simultaneous experiments were performed with PV panel with the same properties without cooling. Using the data obtained from the experiments, energy analysis of PV panel and photovoltaic-thermal (PV-T) system was performed and their efficiency was investigated. It was observed that the average surface temperature of the panel cooled by water from its front surface was 12 K lower than the non-cooled panel. As a result, it has been shown that the electrical energy obtained from the PV-T system is higher than the PV system under the same conditions.

ABSTRACT (continued)

Keywords: Solar energy, Photovoltaic panel, Photovoltaic-thermal system.

Science Code: 625.05.04.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın yapılmasında ve tezin hazırlanmasında engin bilgi ve tecrübelerini paylaşan, her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen, fikir ve eleştirileri ile beni yönlendiren saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Mustafa EYRİBOYUN'a sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu çalışmaya, hem zamanlarını ayırarak hem cihazlarını kullanarak kendi çalışmaları gibi katkıda bulunan Prof. Dr. Emrah DENİZ ve Arş. Gör. Gürşah GÜRÜF'e en içten duygularıyla teşekkür ediyorum.

Çalışma için verdiği emek ve döktüğü ter için İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencisi Deyanet ALİYEV'e çok teşekkür ederim. Öğrencilik ve sonrası hayatında azmini kaybetmeden hep başarılar elde etmesini canı gönülden dilerim.

Değınmeden geçemeyeceğim sevdiğim ve saygı duyduğum arkadaşlarım; Eren GÖKMEN ve Emel GÖKMEN kardeşler, Emre KARGİDAN ve Osman SAPARMAMEDOV'a verdikleri her türlü destekleri için çok teşekkür ederim.

Proje çalışması için zaman konusunda bana sorun yaşatmayan, değerli bilgi ve destekleri için başta patronum Mak. Müh. Songül MALKOÇ'a, çalışma arkadaşlarım ve ustalarım çok teşekkür ederim. Ayrıca her türlü bilgi ve malzeme desteğı yapan, tesisat sektöründe yirmi yılı aşkın süredir usta olan çok sevdiğim ağabeyimiz Ahmet AKTAŞ'a ve ekibine şükranlarımı sunar çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden mesafe olarak ne kadar uzak olsalar da verdikleri maddi manevi her türlü destek ile hep yanımda hissettiğim canım aileme çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	iix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE TARİHÇE ÖZETİ.....	1
1.1 GÜNEŞ ENERJİSİ.....	1
1.1.1 Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi.....	1
1.1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi	2
1.1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	3
1.1.4 Zonguldak İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli	7
1.1.5. Dünya’da Yenilenebilir Enerjinin Durumu	9
1.1.6 Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	11
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER	13
2.1 GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ	13
2.1.1 Güneş Pili Teknolojisi	13
2.1.2 Isıl Güneş Teknolojileri	14
2.1.2.1 Düzlemsel Güneş Kolektörleri.....	14
2.1.3 Güneş Pili –Termal (PV-T) Sistem Teknolojisi	15
2.1.3.1 Sıvılı PV-T Kolektörler.....	16
2.1.3.2 Havalı PV-T Kolektörler.....	18

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.1.3.3 PV-T Yoğunlaştırıcı Hibrit Sistemler	19
2.2 FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN TEORİK HESAPLAR.....	19
BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM	23
3.1 SİSTEMİN TASARIMI VE YAPIM AŞAMALARI	23
3.1.1 Montaj Sonrasında Karşılaşılan Sorunlar	27
3.1.1.1 İlk Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar.....	27
3.1.1.2 İkinci Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar.....	28
3.1.1.3 Üçüncü Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar.....	29
3.1.1.4 Dördüncü Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar	30
3.1.1.5 Beşinci Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar	32
3.1.2 PV-T Sistemin Son Halinin Tasarımı ve Montajı.....	32
3.1.3 Deneylede Yapılan Ölçümler ve Kullanılan Cihazlar	36
BÖLÜM 4 DEĞERLERİN ÖLÇÜMÜ VE HESAPLAMALARI.....	39
4.1 DEVRE ŞEMALARI	39
4.2 23 HAZİRAN 2019 PAZAR GÜNÜ ALINAN DEĞERLER	40
4.3 24 HAZİRAN 2019 PAZARTESİ GÜNÜ ALINAN DEĞERLER.....	46
4.4 26 HAZİRAN 2019 ÇARŞAMBA GÜNÜ ALINAN DEĞERLER.....	54
4.5 13 EKİM 2019 PAZAR GÜNÜ ALINAN DEĞERLER	61
4.6 SİSTEM ÖLÇÜLERİ	61
4.7 DENEY SONUÇLARIYLA YAPILAN HESAPLAMALAR	71

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5 SONUÇ.....	81
5.1 DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	81
5.3 ÖERİLER	83
KAYNAKLAR.....	85
EK AÇIKLAMALAR	89
EK-A Piranometre özellikleri	89
EK-B Analog sinyal kayıt arabirimi	90
ÖZGEÇMİŞ	91



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Türkiye güneşlenme süreleri (saat)	4
Şekil 1.2 Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün)	4
Şekil 1.3 Türkiye güneş haritası	5
Şekil 1.4 Zonguldak ili güneşlenme süreleri (saat)	7
Şekil 1.5 Zonguldak ili global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün)	7
Şekil 1.6 Zonguldak ili PV ile alan başına üretilebilecek enerji (kWh/Yıl)	8
Şekil 1.7 2009 yılı dünyada yenilenebilir enerji araştırmaları için yapılan harcamalar	10
Şekil 2.1 Düzlemsel güneş kolektörü	15
Şekil 2.2 Sıvılı PV-T kolektör	16
Şekil 2.3 Sıvılı PV-T uygulaması	16
Şekil 2.4 Havalı PV-T hibrit sistem	18
Şekil 2.5 a, b Güneş yoğunlaştırıcı sistemler	19
Şekil 2.6 Literatürde yapılan deneysel çalışmalar için genel bir kontrol hacmi	20
Şekil 3.1 Kanal tasarımı	23
Şekil 3.2 4mm çapında saydam boru	24
Şekil 3.3 Kanal oluşturacak boruların montajı	24
Şekil 3.4 Kolektörlerin tasarımı	25
Şekil 3.5 Montaj edilmiş kolektörler	25
Şekil 3.6 Depo (a) Yalıtımsız, (b) Yalıtımlı	26
Şekil 3.7 Montajı tamamlanmış sistem	26
Şekil 3.8 (a) Dayson mastik içinde oluşan hava boşlukları, (b) Sızdırmazlık için mastik ve silikon uygulaması	27
Şekil 3.9 Klepsler	28
Şekil 3.10 Kauçuk malzemeden yapılmış kolektörler ile sistem denemesi ve cam ile PV panel arasında akan suyun camların şişmesinin görülmesi	28
Şekil 3.11 Metal plakaların sisteme eklenmesi	29
Şekil 3.12 Cam kırılması	29
Şekil 3.13 Cam çatlaması	30
Şekil 3.14 PV-T sisteminin arka yüzeyinin şişmesi	31
Şekil 3.15 PV-T sisteminin arka yüzeyinin kafes sistemi	31
Şekil 3.16 Cam kırılması	32
Şekil 3.17 Silikon ile kanalların oluşturulması	32
Şekil 3.18 12 lt hacimli depo	33
Şekil 3.19 Kolektör giriş bağlantısı ve sistem vanası	33
Şekil 3.20 Kolektör çıkış bağlantısı	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.21 PV-T sisteminin son hali.....	35
Şekil 3.22 PV-T sisteminin üzerinde oluşan kabarcıklar	36
Şekil 3.23 Dijital termometre ve K tipi ısı çifti	37
Şekil 3.24 Bağıl nem ölçer	37
Şekil 3.25 Anemometre	37
Şekil 3.26 Multimetre	37
Şekil 3.27 Işınım şiddeti ölçer (Prionometre)	38
Şekil 3.28 Analog Sinyal Kayıt Arabirimi	38
Şekil 3.29 PV Test kartı.	38
Şekil 3.30 Saç kurutma makineleri	38
Şekil 4.1 PV devre şeması.....	39
Şekil 4.2 PV-T devre şeması.....	39
Şekil 4.3 Devrenin kurulması ve verilerin alınması.....	40
Şekil 4.4 PV ve PV-T sistemlerin elektriksel güçlerinin zamanla değişimi (23 Haz 2019). ...	44
Şekil 4.5 PV ve PV-T sistemlerinin ön yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (23 Haz 2019).....	44
Şekil 4.6 PV ve PV-T sistemlerinin panel arka yüzeyinin sıcaklıklarının zamanla değişimi (23 Haz 2019).....	45
Şekil 4.7 Sisteme giren ve çıkan su sıcaklıklarının zamanla değişimi (23 Haz. 2019)	45
Şekil 4.8 PV ve PV-T sistemlerin elektriksel güçlerinin zamanla değişimi (24 Haz. 2019)	50
Şekil 4.9 PV ve PV-T sistemlerinin ön yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (24 Haziran 2019).....	50
Şekil 4.10 PV ve PV-T sistemlerinin panel arka yüzeyinin sıcaklıklarının zamanla değişimi (24 Haziran 2019)	51
Şekil 4.11 Sisteme giren ve çıkan su sıcaklıklarının zamanla değişimi (24 Haziran 2019) ...	51
Şekil 4.12 PV-T sistemin ön yüzeyinin alt, orta ve üst noktalarındaki sıcaklık değişimleri (24 Haziran 2019).....	53
Şekil 4.13 PV-T sistemin arka yüzeyinin alt, orta ve üst noktalarındaki sıcaklık değişimleri (24 Haziran 2019).....	53
Şekil 4.14 PV ve PV-T sistemlerinin gerilim değerlerinin zamanla değişimi (26 Haziran 2019).....	58
Şekil 4.15 PV ve PV-T sistemlerinin akım değerlerinin zamanla değişimi (26 Haziran 2019).	58
Şekil 4.16 PV-T sistemine dolaşan soğutma suyunun panele giriş ve çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması (26 Haziran 2019).	59
Şekil 4.17 Saat 13:00 ila 16:00 aralığındaki PV-T sistemine dolaşan soğutma suyunun panele giriş ve çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması (26 Haziran 2019).....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.18 PV ve PV-T sistemlerinin elektriksel güçlerinin karşılaştırılması (26 Haziran 2019).....	60
Şekil 4.19 PV ve PV-T sistemlerinin yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması (26 Haziran 2019).	60
Şekil 4.20 Üç farklı saat için PV Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim ilişkisi.	62
Şekil 4.21 Üç farklı saat için PV-T Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim ilişkisi.	63
Şekil 4.22 PV ve PV-T'nin max. elektriksel güç değerlerinin zamanla değişimi (13 Ekim 2019).....	65
Şekil 4.23 PV-T sisteminde dolaşan soğutma suyunun panele giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi (13 Ekim 2019)..	66
Şekil 4.24 PV-T ve PV'de üretilen elektriksel gücün deney süresi içinde zamanla değişimi (13 Ekim 2019).....	66
Şekil 4.25 Piranometre ile ölçülen gelen ışınım şiddeti değerleri	67
Şekil 4.26 PV-T ve PV panellerin arka yüzeyinde; alt, orta ve üst kısım sıcaklıkları (a) PV-T, (b) PV	67
Şekil 4.27 Termal kamera ile panel yüzey sıcaklıklarının tespiti. (a) Alt, (b) Orta, (c) Üst....	68
Şekil 4.28 Sistemin yandan görünüşü (Ölçüler mm).	69
Şekil 4.29 Sistemin önden görünüşü.	69
Şekil 4.30 (a) Panelin arkasına, bombeleşmeyi önlemek amacıyla yerleştirilen metal profil ölçüleri, (b) PV-T sistem yüzey sıcaklıklarının okunduğu noktalar (Ölçüler mm).	70
Şekil 4.31 Panel üzerine, camın bombeleşmesini önlemek amacıyla yerleştirilen metal profil ölçüleri.....	72



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ...	5
Çizelge 1.2 2010 Yılı İtibariyle Türkiye'nin Yerli Kaynak Potansiyeli	6
Çizelge 1.3 Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisi üretimi	6
Çizelge 1.4 Bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları (ktoe)	9
Çizelge 1.5 Fosil yakıtların tükenme ömürleri (Yıl)	9
Çizelge 3.1 Çalışma için kullanılacak PV panel parametreleri	23
Çizelge 4.1 PV panelde alınan veriler (23 Haziran 2019).....	41
Çizelge 4.2 PV-T Panelde alınan veriler (23 Haziran 2019).....	42
Çizelge 4.3 Rüzgâr ve bağıl nem değerleri (23 Haziran 2019).....	43
Çizelge 4.4 PV panelde alınan veriler (24 Haziran 2019).....	47
Çizelge 4.5 PV-T panelde alınan veriler (24 Haziran 2019).....	48
Çizelge 4.6 Rüzgâr ve bağıl nem değerleri (24 Haziran 2019).....	49
Çizelge 4.7 PV-T panelin ön ve arka yüzünün alt, orta ve üst noktalarından alınan sıcaklık değerleri (24 Haziran 2019).. ..	52
Çizelge 4.8 PV panelden alınan veriler (26 Haziran 2019).....	54
Çizelge 4.9 PV-T panelden alınan veriler (26 Haziran 2019).....	55
Çizelge 4.10 Rüzgâr ve bağıl nem değerleri (26 Haziran 2019).....	56
Çizelge 4.11 PV-T panelin ön ve arka yüzünün alt ve üst noktalarından alınan veriler (26 Haziran 2019).....	57
Çizelge 4.12 PV ve PV-T panelden alınan veriler (13 Ekim 2019).....	64
Çizelge 4.13 PV ve PV-T üzerinden multimetreler ve dijital termometrelerle yapılan ölçümler ve hesaplanan güç değerleri (13 Ekim 2019).....	65



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- eV : Elektron Volt (1.6×10^{-19} J)
 \dot{m} : Kütleli Debi (kg/s)
 \dot{m}_g : Giren Kütleli Debi (kg/s)
 $\dot{m}_ç$: Çıkan Kütleli Debi (kg/s)
 $\Delta\dot{m}_{kh}$: Kontrol Hacmindeki Kütleli Debi Farkı (kg/s)
 $\Sigma\dot{m}_g$: Toplam Giren Kütleli Debi (kg/s)
 $\Sigma\dot{m}_ç$: Toplam Çıkan Kütleli Debi (kg/s)
 Q : Isı (J)
 h : Isı Taşınım Katsayısı ($W/m^2 \cdot K$)
 C_p : Özgül Isı ($J/kg \cdot K$)
 $T_ç$: Kolektörden Çıkan Suyun Sıcaklığı (K)
 T_g : Kolektöre Giren Suyun Sıcaklığı (K)
 W : Güç (watt)
 I : Akım (amper)
 V : Gerilim (volt)
 η_{Pe} : Sistemin Elektriksel Verimi
 A_{pv} : PV Panel Alanı (m^2)
 $I_{ış}$: Işınım (W/m^2)
 $\eta_{pv/t}$: PV-T Sistem Toplam Enerji Verimi
 A_{kol} : Kolektör Alanı (m^2)
 ΔT : Kolektör Giriş ve Çıkış Sıcaklık Farkı (K)
 $T_{kolç}$: Kolektör Çıkış Sıcaklığı (K)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

T_{kolg}	: Kollektör Giriş Sıcaklığı (K)
T_{pv}	: Panel Yüzey Sıcaklığı (K)
T_{∞}	: Çevre Sıcaklığı (K)
v_r	: Rüzgâr Hızı (m/s)
Nu	: Nusselt Sayısı
L	: Karakteristik Boy (m)
k	: Isı İletim Katsayısı (W/m·K)
g	: Yer Çekimi (m/s ²)
β	: Genleşme Katsayısı
Ra_L	: Rayleigh Sayısı
α	: Isı Yayılma Katsayısı (m ² /s)
ν	: Kinematik Viskozite (m ² /s)
T_S	: Yüzey Sıcaklığı (K)
P	: Çevre (m)
η	: Verim
V_{mp}	: Güneş Pili Maksimum Güç Noktasındaki Gerilimi (V)
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi (V)
I_{mp}	: Güneş Pili Maksimum Güç Noktasındaki Akımı (A)
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı (A)
P_{top}	: Toplam Güç (W)
$P_{e(PV)}$: PV Panel Elektriksel Gücü (W)
A	: Alan (m ²)
A_S	: Güneş Gören Yüzey Alanı (m ²)

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ArGe	: Araştırma ve Geliştirme
a-Si	: Amorf silikon
BP	: British Petroluem
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

FF	: Doldurma faktörü
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
ktoe	: Bin ton yağ eşdeğeri (1 ktoe = 11,630,000 kWh)
kJ	: kilojoule
kWh	: kilowatt saat
MAM	: Marmara Araştırma Merkezi
MJ	: megajoule
mono-Si	: Mono kristalin silikon
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	: megawatt
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OECD	: İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı
pc-Si	: Polikristalin silikon
PV	: Fotovoltaik
PVC	: Polivinil Klorür
PV-T	: Fotovoltaik-Termal
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
YEGM	: Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü
ZBEÜ	: Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi



BÖLÜM 1

GİRİŞ VE TARİHÇE ÖZETİ

1.1 GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneş ışınımından enerji elde edilmesine dayanan bir teknolojidir. Güneşin korunda hidrojen çekirdekleri füzyon yaparak helyum çekirdeklerini oluşturmakta ve bu tepkimeler sonucu büyük bir enerji ortaya çıkmaktadır. Güneşin toplam ışınması 3.8×10^{26} J/sn olduğu için, güneşte bir saniyede yaklaşık 600 milyon ton proton, yani hidrojen tüketilmektedir. Bu sayı ilk bakışta ürkütücü gibi gelse de, güneşin kütlesi ve bu kütleinin %90'ına yakın kısmının protonlar olduğu düşünüldüğünde, güneşteki hidrojen yakıtının tükenmesi için gereken süre yaklaşık 5 milyar yıl olduğu ortaya çıkar. Bu yönüyle güneş, insanlık için tükenmez bir enerji kaynağıdır [1].

Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti, yaklaşık 1370 W/m^2 değerindedir; ancak yeryüzünde 0 ila 1100 W/m^2 değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü bile, insanlığın mevcut enerji tüketiminden daha fazladır. Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren büyük bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr, güneş ışınlarının sıcaklık farkı oluşturmasından meydana gelir. Kömür ve bitki artıklarından petrol meydana gelmesi de güneş enerjisi sayesinde. Bu yüzden insanlık için önemli bir enerji kaynağı olan güneşten maksimum faydalanmak için pek çok ülkede güneş enerjisi sistemleri ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir [2].

1.1.1 Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

Güneş ışınları, asırlardan beri yeryüzüne gelmektedir, ancak güneş enerjisinden yararlanmaya başlama oldukça yenidir. Archimedes (Arşimed)'in (M.Ö. 267) içbükey aynalarla güneş enerjisini odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yaktığı iddia edilmekte. Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1600 yılında Galile'nin merceği bulmasıyla artmıştır. İlk defa Fransa'da, Belidor (1725) güneş enerjisi ile çalışan bir pompa yapmıştır. Mouchot, 1860

yılında parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınlarını odaklayarak, boyutu küçük bir buhar makinesi yapmıştır. İlk defa güneş enerjisi ile çalışan, hava çevrimli makineyi, 1868 yılında Ericsson geliştirmiştir. Bu yıllarda güneş enerjisi konusunda çalışmalar yoğunlaşmış, tatlı su elde edilmesi ve güneş ocakları ile ilgili çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Adams, Hindistan'da yedi askerin yemeğini en soğuk ay sayılan ocak ayında, konik yansıtıcı güneş ocağıyla iki saatte pişirmiştir. Shuman ve Boys, 1913 yılında parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üreticisi yapmışlar ve bundan faydalanarak Nil Nehrinden su çeken sulama pompasını çalıştırmışlardır. H. Buchberg ve J.R. Roulet adlı bilim adamları güneş kolektörü ve depo ile komple bir sistem yaparak, maliyetleri azaltmak için çalışmalar yapıp, kurdukları sistemin fiziki olarak yeterliliklerini incelemişlerdir. Jalurai ve Gupta adlı bilim adamları güneş enerjisi depolama teknikleri üzerinde çalışmalar yapmışlar. Normal çevre şartları altında depoda sirkülasyon halinde olan suyun depo içerisinde sıcaklık farkına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden deponun alt tabakasında daha soğuk, üst tabakasında ise daha sıcak su bulunmaktadır [3].

Birinci Dünya Savaşı ve sonrasında petrolün önem kazanmasıyla güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar araştırma seviyesinde kalmıştır. Güneş enerjisinin önem kazanması daha çok 1973 yılındaki dünya enerji kriziyle başlamıştır. Petrol fiyatının gittikçe artması, yeni kaynaklar üzerindeki çalışmaları artırmış, özellikle güneş enerjisi, üzerinde en çok çalışılan konu olmuştur.

1.1.2 Türkiye'de Güneş Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

1970'lerin ortalarında, dünyadaki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ülkemizde de özellikle güneş enerjisinin ısıl uygulamaları konusu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmış ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir [4].

Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir'de gerçekleştirilmiştir. Yine ilk pasif güneş enerjisi uygulaması Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) bünyesinde 1975 yılında tesis edilmiştir [5].

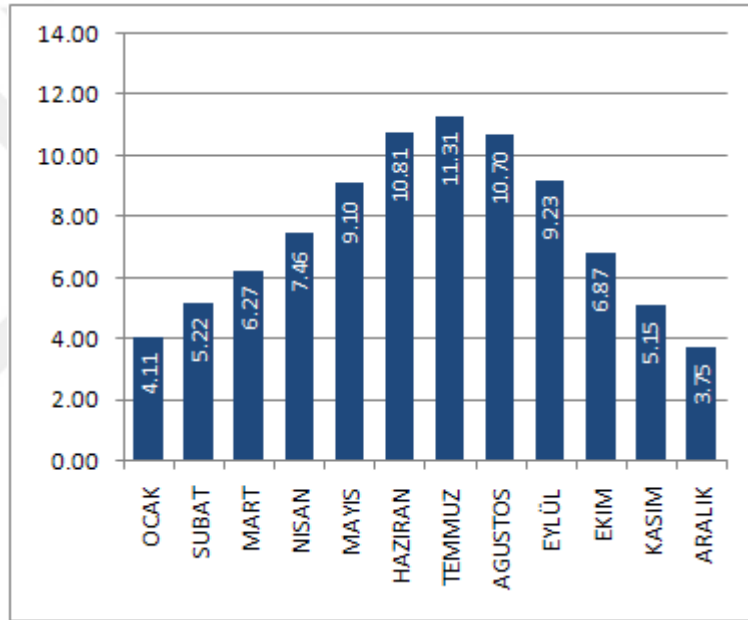
Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar ağırlıklı olarak ODTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Yıldız ve Ege Üniversiteleri tarafından yaygın olarak yürütülmektedir. Türkiye'deki

tek Güneş Enerjisi Enstitüsü Ege Üniversitesi bünyesinde 1978 yılında kurulmuştur. 1980'lerin sonunda bu konudaki çalışmaları devlet destekli TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM) yürütmektedir. TÜBİTAK MAM, güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısı enerjisi ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977-1985 yılları arasında ağırlıklı olarak desteklemiştir. Yine 1986 yılında kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü güneş pillerinin tasarımı ve üretimi konusundaki çalışmaları desteklemiştir. Devlet Meteoroloji Enstitüsü geçen yüzyılın başından itibaren gittikçe artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmaktadır. Diğer taraftan Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü (YEGM)'nde güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, yoğunlaştırıcı toplayıcılar ve güneş pilleri konusundaki çalışmalara imkân sağlamaktadır. Bu kuruluş 1982 yılından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının ve özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin geliştirilmesinden sorumludur. Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha çok araştırma ve geliştirme ve projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber, son yıllarda kaynakların tespiti ve potansiyel tayini ağırlık kazanmıştır. Makine ve Kimya Enstitüsü Kurumu ise düzlemsel ve silindirik parabolik toplayıcıların üretimi, testleri ve pazarlanmasına yönelik çalışmaları kısa sürelerle gerçekleştirmiştir. Türkiye'deki güneş enerjisi araştırmalarını güneş enerjisi potansiyelinin tespiti ve tayini hakkındaki çalışmalar ile güneş enerjisi teknolojisiyle ilgili çalışmalar olarak toplamak mümkündür.

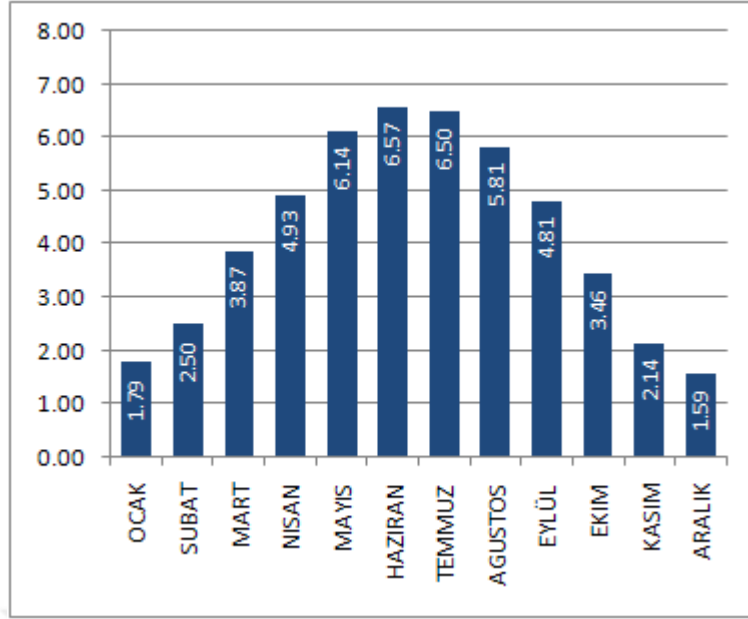
1.1.3 Türkiye' de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye, 36° - 42° kuzey enlemleri ve 26° - 45° doğu meridyenleri arasındaki güneş bandında bulunmaktadır. Türkiye'nin 9.8 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP)'u ısı uygulamaları olmak üzere yıllık 36.2 MTEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın on ayı boyunca bu potansiyelin teknik ve ekonomik olarak toplam ülke yüzölçümünün %63'ünden ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanılabilir [6]. Bilinen fosil yakıt rezervlerinin toplamı 2454 MTEP kadardır. Ülkemizde kullanılabilir veya ekonomik boyutları ile 25 MTEP/yıl güneş, 50 TWh/yıl rüzgâr ve 32 MTEP/yıl biyogaz enerji potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle Türkiye, yenilenebilir enerjiler üzerinde atılım yapmak için tüm doğal olanaklara sahip bir ülkedir ve güneş enerjisi Türkiye'nin en fazla faydalanabileceği doğal kaynağıdır [7].

Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından çoğu ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde 1966-1982 yıllarında ölçülen ışınım şiddeti ve güneşlenme süresi verilerinden yararlanarak YEGM tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin ortalama toplam ışınım şiddetinin 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²), ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin ise 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de verilmiştir. Bu grafiğe göre güneşlenme süresi en fazla temmuz ayında gerçekleşmektedir. Aralık ayında ise güneşlenme süresi minimumdur. Global ışınım değeri en az aralık ayında, en fazla ise haziran ayında gerçekleşmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye güneşlenme süreleri (saat) [8].

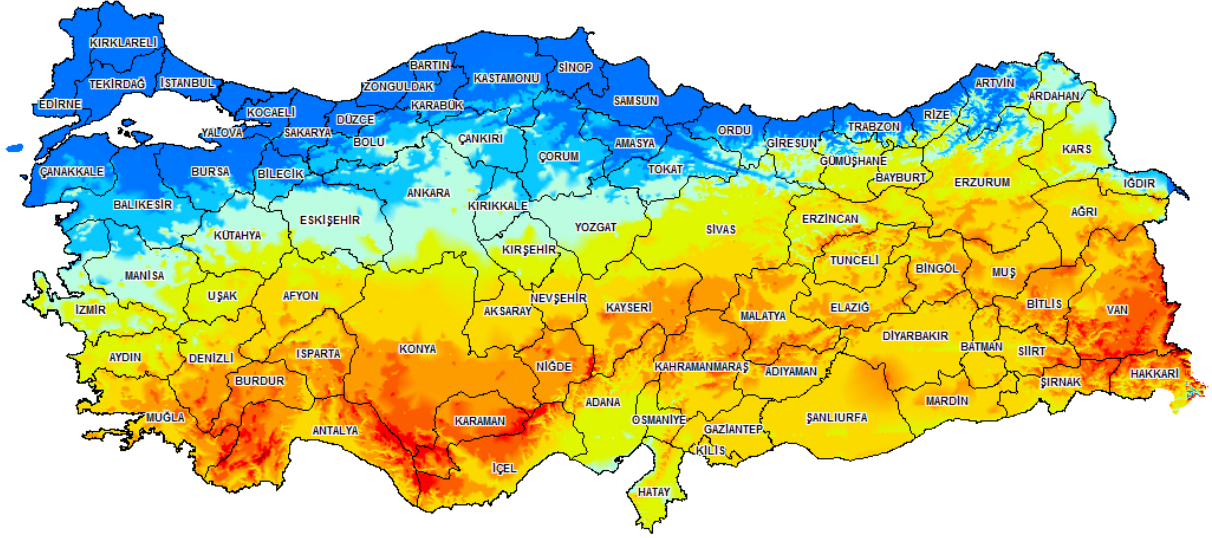


Şekil 1.2 Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [8].

Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz bölgesi gelmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi, ülkemizin enerji bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1460 kW/m² ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bunun yanında Karadeniz bölgesi Türkiye'nin en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir. Bu veriler ışığında Türkiye'de toplam olarak yıllık alınan enerji 1015 kWh kadardır. Çizelge 1.1'de Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı görülmektedir. Şekil 1.3'de Türkiye güneş haritası görülmektedir.

Çizelge 1.1 Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [9].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971



Şekil 1.3 Türkiye güneş haritası [8].

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası çalışması sonucunda, Türkiye'de 56 MW termik santral kapasitesine eşdeğer güneş enerji kapasitesi bulunduğu ve bu potansiyelden yararlanılması durumunda yıllık ortalama 380 milyar kWh elektrik enerjisi üretim imkânının olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda 2010 yılı sonu itibariyle tespit edilmiş bulunan yerli enerji kaynakları potansiyelimiz Çizelge 1.2'de verilmektedir.

Çizelge 1.2 2010 Yılı İtibariyle Türkiye'nin Yerli Kaynak Potansiyeli [10].

Kaynak	Potansiyel
Linyit	11.4 milyar ton
Taş Kömürü	1.3 milyar ton
Asfalt	77.5 milyon ton
Ham Petrol	44.3 milyon ton
Bitümler	1.6 milyar ton
Hidrolik	129.4 kWh/yıl
Doğalgaz	6.2 milyar m ³
Rüzgâr	48000 MW
Jeotermal	32100 MW/yıl
Biyokütle	8.6 MTEP
Güneş Enerjisi	32.6 MTEP
Doğal Uranyum	9129 ton

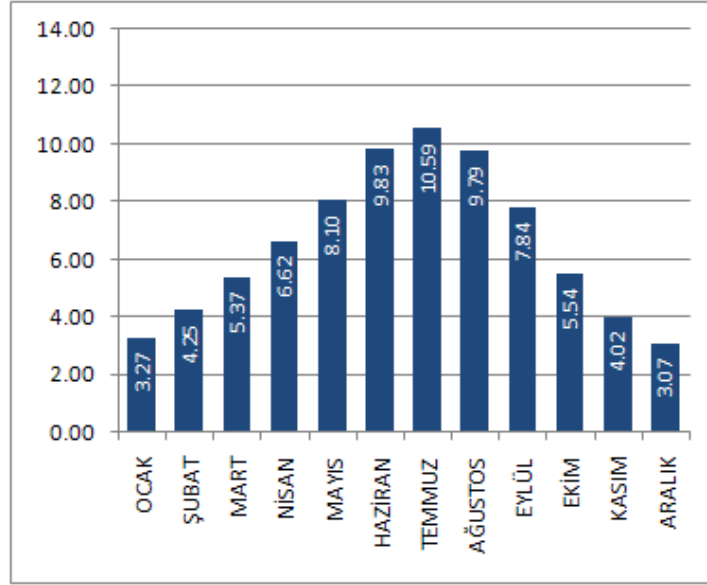
Türkiye'nin yıllara göre güneş enerjisi üretimi ise Çizelge 1.3'de verilmiştir. Türkiye'de 1998 yılında güneş enerjisi üretimi 210 bin ton eşdeğer petrol (TEP) iken, 2012 yılında 558 bin TEP artış göstererek 768 bin TEP'e ulaşmıştır.

Çizelge 1.3 Türkiye'de yıllara göre güneş enerjisi üretimi [10].

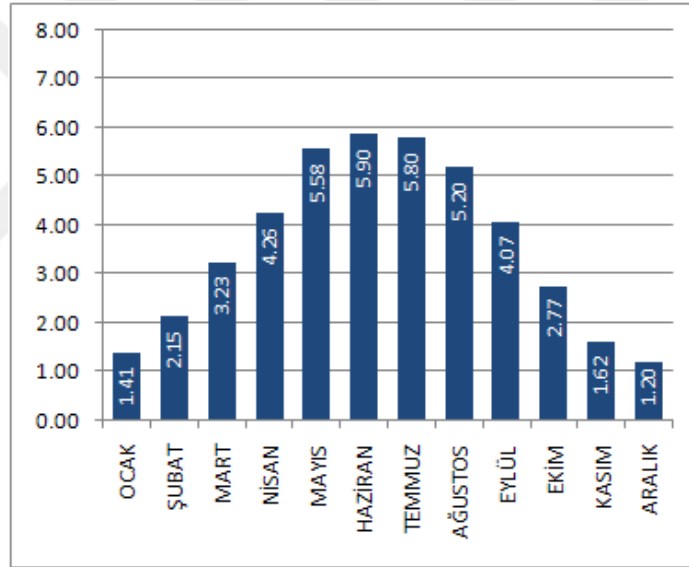
Yıllar	Güneş Enerjisi Üretimi (Bin Tep)
1998	210
1999	236
2000	262
2001	290
2006	403
2007/2008	420
2009	429
2010	432
2011	630
2012	768

1.1.4 Zonguldak İlinin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'nin Karadeniz bölgesinde bulunan Zonguldak ilinin güneş radyasyon değerleri 1400-1450 kWh/m² yıl dır. En uzun güneşlenme süreleri Haziran-Ağustos ayları arasında ve gün içerisinde ortalama 9-10 saat civarındadır. Şekil 1.4'de Zonguldak ili güneşlenme saatleri ve Şekil 1.5' te Zonguldak ili global radyasyon değerleri görülmektedir.

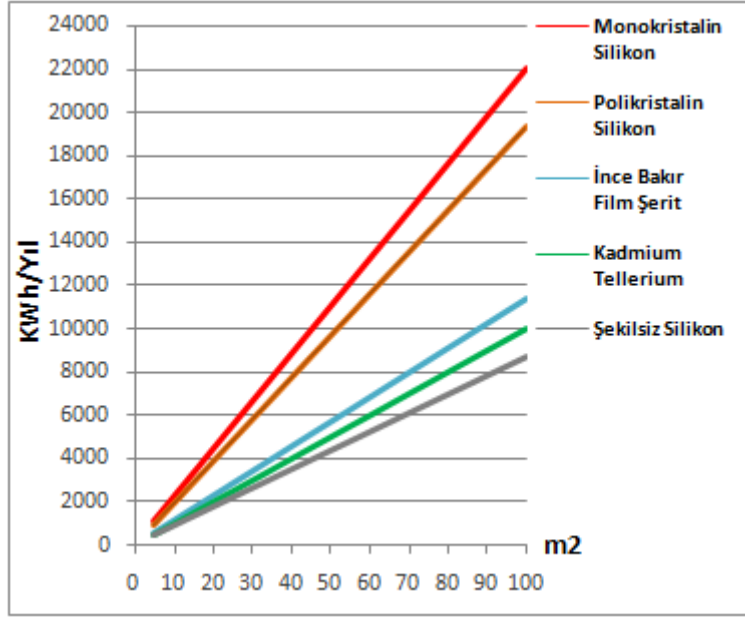


Şekil 1.4 Zonguldak ili güneşlenme süreleri (saat) [8].



Şekil 1.5 Zonguldak ili global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [8].

Şekil 1.6'da Zonguldak ili için fotovoltaik paneller ile alan başına üretilebilecek enerjinin kullanılan malzemeye göre değişkenlik gösterdiği görülmektedir.



Şekil 1.6 Zonguldak ili PV ile alan başına üretilebilecek enerji (kWh/Yıl) [8].

1.1.5. Dünya’da Yenilenebilir Enerjinin Durumu

Fosil yakıtların giderek azalması ve çevreye zararlı gazlar vermesi nedeniyle, ülkeler tükenmeyen ve çevreye zarar vermeyen enerji üretiminin ve kullanımının yeni yollarını aramaya başlamışlardır. Fosil yakıt kaynaklarının çoğunluğu sanayileşmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Bu ülkelerin sahip oldukları kaynaklar ve nüfuslarının az olmasına karşın, kullandıkları kaynak miktarı çok fazladır. Çizelge 1.4’de bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları verilmiştir. Tabloya bakıldığında fosil kaynaklı yakıtların kullanımının, artan dünya nüfusu ve enerji ihtiyacı ile aynı oranda arttığı görülmektedir.

Uluslararası projeksiyonlara göre, bilinen rezervlerle dünyadaki petrole 46-50 yıl arasında ömür biçilirken, görünür doğalgaz rezervlerinin tükenme ömrünün de 63 ile 119 yıl arasında olacağı öngörülmüştür. Kömürün ise 119 ile 176 yılda tükeneceği hesaplanmıştır. British Petroleum (BP)’ in raporuna göre, fosil yakıtların tükenme ömürleri Çizelge 1.5’te verilmiştir.

Uluslararası enerji ajansının 2000 ile 2008 yılları arasında yaptığı araştırmada İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) ülkelerinin ürettiği enerji hakkında bilgi verilmektedir. Bu rapora göre, OECD ülkeleri ve diğer ülkeler arasında kömür ve doğalgazın elektrik üretimi payında büyük bir rol oynadığı görülmüştür. Buna bağlı olarak petrol rezervlerinin

azalmasından dolayı dünya genelinde ve özellikle OECD ülkelerinde petrol kaynaklı elektrik üretimi giderek azalmıştır.

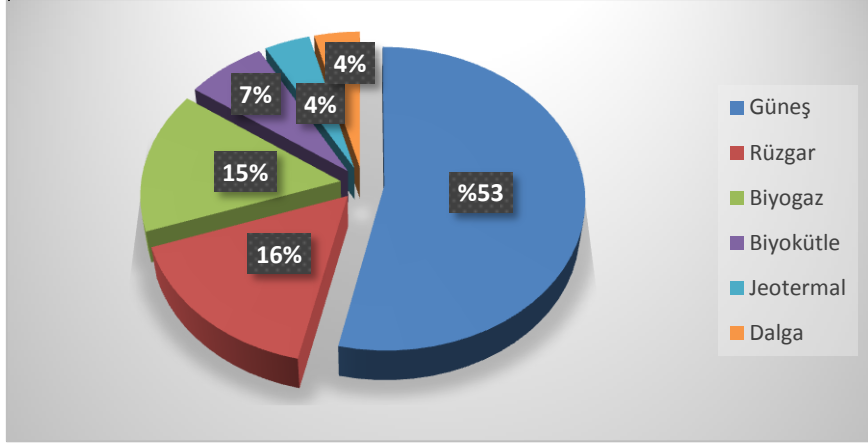
Çizelge 1.4 Bazı önemli enerji kaynaklarının dünyadaki kullanım miktarları(ktoe) [11].

YIL	KÖMÜR	HAM PETROL	PETROL ÜRÜNLERİ	DOĞAL GAZ	JEO TERMAL, GÜNEŞ VB.	BİYO YAKIT VE ATIK	ELEKTRİK	ISI
1990	752276	11273	2594051	944576	3414	795245	833866	336289
1995	661156	11771	2791946	1006197	5195	845709	934427	286651
2000	541767	14134	3108002	1117713	8676	907504	1089460	248236
2005	825091	13236	3431415	1192245	12189	943344	1300967	259593
2010	1045905	22508	3570474	1343845	21672	1014124	1539148	274473
2015	1081179	18844	3827636	1406636	41605	1043349	1737588	270938
2016	1035501	14683	3893250	1440262	43628	1050877	1793937	283185

Çizelge 1.5 Fosil yakıtların tükenme ömürleri (Yıl) [12].

BÖLGE	PETROL	DOĞALGAZ	KÖMÜR
Kuzey Amerika	15.00	11.30	235.00
Orta ve Güney Amerika	80.60	53.20	181.00
Avrupa - Asya	21.20	64.80	236.00
Orta Doğu	84.80	-	
Afrika	36.00	72.40	131.00
Asya - Pasifik	14.40	37.00	59.00
TOPLAM DÜNYA	45.70	62.80	119.00
Avrupa	8.20	14.10	55.00
OECD	13.50	14.40	174.00
Eski Sovyet Ülkeleri	25.50	84.20	474.00

OECD ülkelerinde birincil enerji kaynağı olarak hala kömür kullanılsa da ikincil kaynak olarak yenilenebilir enerji kullanılmaktadır. Aynı raporda yayınlanan, ülkelerin yenilenebilir enerji teknolojilerinin araştırma ve geliştirme çalışmalarına yapılan harcamalar Şekil 1.7’de yüzdelik dilimleri görülmektedir [13].



Şekil 1.7 2009 yılı dünyada yenilenebilir enerji araştırmaları için yapılan harcamalar.

Şekil 1.7’de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji araştırmaları içinde güneş enerjisinin geliştirilmesine %53’lük bir pay ayrılmaktadır (Toplam 5.6 milyar dolar). Uluslararası Enerji Ajansı’nın tahminlerine göre 2001-2030 yılları arasındaki dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarına 10 trilyon dolarlık yatırım gerçekleştirilecektir. OECD ülkeleri arasında da yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payının %25’e ulaşması hedeflenmektedir.

1.1.6 Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Güneş bol ve tükenmeyen enerji kaynaklarından biridir. Çevreyi kirletici duman, gaz, kükürt, karbon monoksit ve radyasyon gibi atıkları olmadığından temiz enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi yerel uygulamalara elverişli olduğundan, enerjiye ihtiyaç duyulan her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Güneş enerjisi karmaşık teknolojiye gerek duymadığından işletme masrafları azdır. Sessiz çalışmaları için gürültü kirliliğine neden olmaz. Güneş pili hücrelerin kurulum gerçekleştirildikten sonraki maliyeti neredeyse yoktur ve bu hücreler güneşten yararlandığı için dışa bağımlı değildir ve böylelikle ekonomik bunalımlardan bağımsızdır.

Dezavantaj olarak da, birim yüzeye gelen güneş ışınımının az olmasından dolayı büyük yüzeylere ihtiyaç duyulması, güneş ışınımının sürekliliği olmadığından dolayı güneş ışınımını depolamak gerekmektedir. Depolama imkânlarının kısıtlı olması, güneş ışınımı enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında az ve geceleri de hiç olmaması, güneş enerjisi sisteminin güneş ışığından sürekli yararlanabilmesi için gölgelenmelerin olmaması gerekmesi, güneş

ışınımından yararlanan birçok tesisatın ilk yatırım maliyeti fazla ve bazılarının ekonomik olmaması dezavantajlarındandır.



BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ

2.1.1 Güneş Pili Teknolojisi

Fotovoltaik etki 1839 yılında Edmond Becquerel tarafından keşfedilmiş, daha sonra Einstein tarafından tam olarak açıklanmıştır. Fotovoltaik etki, birbirinden farklı iki malzemenin ortak temas bölgesinin foton radyasyonu ile aydınlatılması ile bu iki malzeme arasında oluşan elektriksel potansiyeldir. Güneş pili hücreler yarı iletken malzemelerden meydana gelir ve güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler. Bu güneş hücreleri, üzerine düşen güneş ışınımını Güneş pili etki prensibi gereğince enerjiye çevirirler. Hücreye çarpan güneş ışınları metal yüzeyden elektron koparırlar ve kopan elektronlar yerini pozitif yüke bırakarak bir sonraki atoma geçerler. Güneş pili üç katmanlı sistemden oluşur. Ortadaki tabaka elektron sayısı ve pozitif boşluk sayısı eş olan tabakadır. Bunun yanına (n tipi) elektron sayısı fazla olan tabaka yerleştirilir. Diğer yanında ise (p tipi) elektron sayısı az olan tabaka bulunur. Güneşten gelen fotonlar orta bölgede bulunan elektronlara çarparak bu elektronları serbest bırakır. Bunun sonucunda serbest kalan elektronların kendi bölgesinde boşluk oluşur. Serbest kalan elektronlar n tipi bölgedeki elektronları harekete geçirir ve diğer elektronun bıraktığı boşluğa yerleşir. N tipi bölgedeki serbest kalan elektron devreyi dolaşarak p bölgesine gelir ve boşluğa yerleşir. Böylece elektron hareketinin devamlılığı sağlanır ve elektrik akımı oluşur. Güneş pili yapımında en çok silisyum (1.1 eV), galyum arsenit (1.43 eV) ve kadmiyum tellür gibi anorganik yarı iletken malzemeler kullanılır. Güneş pili; silikon kristalli hücreler, ince film hücreler, silikonsuz karma ince film hücreler ve nano kristalli hücreler gibi çeşitli tipleri mevcuttur [14].

2.1.2 Isıl Güneş Teknolojileri

Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirdiği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Elde edilen ısı; düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilir. 100 °C'nin altındaki sıcaklıklar düşük sıcaklık uygulamalarıdır ve evlerde sıcak su temini amacıyla kullanılır. 150-200 °C aralığı orta sıcaklık uygulamalarıdır. Orta sıcaklık uygulamaları; soğutma, ısıtma, havalandırma gibi uygulamalardır. 200 ile 5,000 °C aralığı yüksek sıcaklık uygulamalarıdır. Yüksek sıcaklık uygulamalarından olan güneş fırınları ve kuleleri madenlerin eritilmesinde ve elektrik üretiminde kullanılır [15, 16].

2.1.2.1 Düzlemsel Güneş Kolektörleri

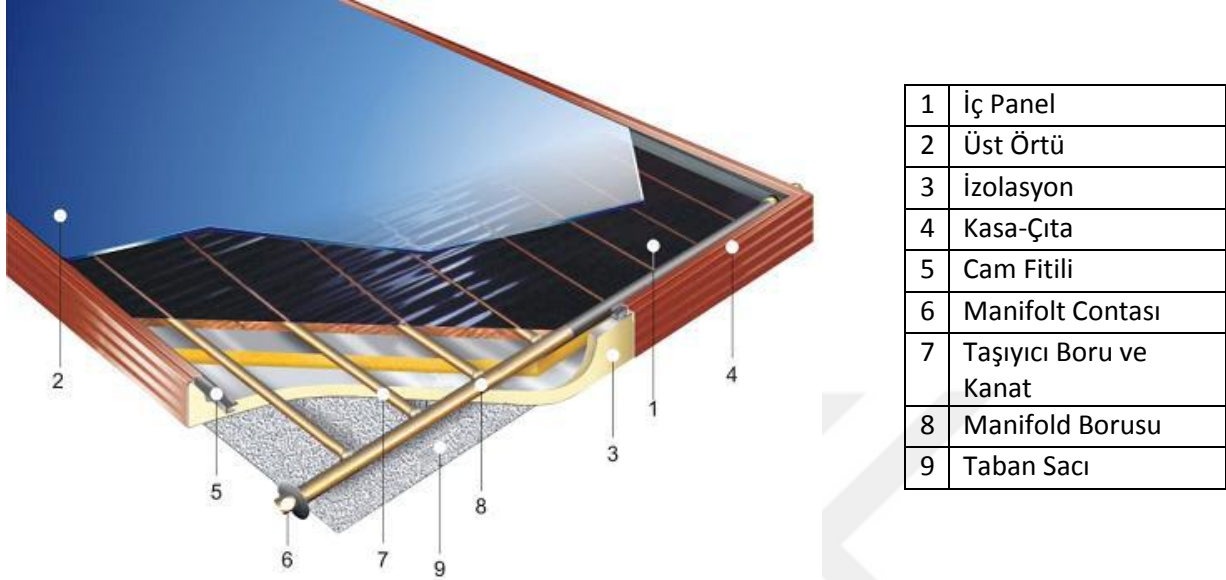
Güneş enerjisini toplayan ve bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki aygıtlara güneş kolektörü denir. Evlerde sıcak su temini amacıyla kullanılan güneş kolektörlerinin ulaştıkları sıcaklık 70 °C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, üstten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, cam ile absorban plaka arasında yeterince boşluk, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Absorban plakanın yüzeyi genellikle koyu renktedir ve bazı durumlarda seçiciliği artıran bir madde ile kaplanır.

Kolektörler, kullanılacak yerin enlemine bağlı olarak güneşi en fazla alacak şekilde ve güneş ışınlarını dik alacak şekilde sabit bir açıyla yerleştirilirler. Güneş kolektörü sistemler tabii dolaşım ve pompalı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemler evlerle birlikte, yüzme havuzları ve sanayi tesisleri için de sıcak su sağlanmasında kullanılır. Bu konudaki ArGe çalışmaları sürmektedir ve bu sistemler tamamen ticari ortama girmiş durumdadırlar.

Dünya genelinde kurulu bulunan güneş kolektörü alanı 30 milyon m² üzerindedir. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler arasında ABD, Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan yer almaktadır. Türkiye, 12.5 milyon m² kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri konumundadır.

Şekil 2.1'de düzlemsel güneş kolektörünün temel bölümleri görülmektedir. Saydam örtü, kolektörü dış etkilerden korur. Yutucu yüzey, güneş ışınımının yutulduğu bölümdür. Bu

nedenle güneş ışınlarını daha fazla çekebilmek için koyu renkli seçici yüzey kullanılmalıdır. Kolektördeki ısı yalıtımını sağlamak için yalıtım malzemesi kullanılır. Kolektör kasası ise kolektörü nem, toz gibi çevresel etkilerden koruyan bölümdür.



Şekil 2.1 Düzlemsel güneş kolektörü.

2.1.3 Güneş Pili –Termal (PV-T) Sistem Teknolojisi

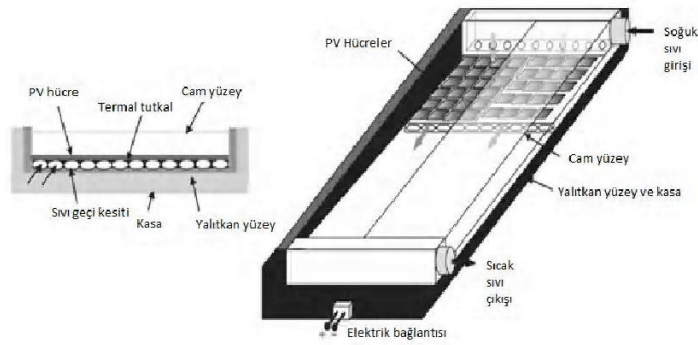
Güneş pillerinin elektrik üretimi esnasındaki verim düşüşüne neden olan etkenler ve düzlemsel kolektörlerin ısı enerjisi üretimindeki avantajları düşünülerek güneş pili–termal (PV-T) sistemler geliştirilmiştir. Halen pek çok bilim adamı tarafından bu sistemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucunda; yeni bir enerji teknolojisi ortaya çıkarması, yeni endüstriler ve pazarlar oluşturması ile yenilenebilir enerji teknolojilerinde yeni uygulamalar ve kaynaklar sağlamıştır [17, 18].

PV-T sistemler elektrik üretimi için kullanılan bir PV modül ve ısı üretimi için kullanılan termal sistemin bileşkesidir. PV modüller güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürürken enerjinin bir kısmı atık ısıya dönüşür. Oluşan ısının bir akışkan yardımı ile alınması sistemine dayanan PV-T kolektörler hem atık ısının kazanılması hem de ısı nedeniyle yaşanan elektrik verim düşüşünün önlenmesini sağlamıştır [17, 18, 19, 20].

Yapılan araştırmalarla pek çok farklı uygulamalı PV-T kolektör tipleri üretilmiştir. Bunlar; sıvı, hava, hem hava hem sıvı ile soğutma esasına dayanan sistemlerdir. PV hücre tipine göre çeşitli kristal yapıdaki hücrelerin kullanımını esas alan sistemleri de vardır [19, 21].

2.1.3.1 Sıvılı PV-T Kolektörler

Bu sistemler su ısıtma sistemi olan düz plakalı termal kolektör sistemine benzemektedir. Yüzeyde bulunan PV hücreleri ile elektrik üretilirken arka yüzeyde meydana gelen ısı PV arka yüzeyine yerleştirilen bakır borular içerisinden soğutucu sıvı geçirilerek alınır. Böylece kolektör arka yüzeyi soğutularak kolektörün elektrik veriminde oluşacak düşüş engellenmiş olur. Bu sistemler çeşitli evsel ve endüstriyel uygulamalar için kullanılabilir [17, 18]. şekil 2.2’de sıvılı PV-T kolektör yapısı, şekil 2.3’de sıvılı PV-T uygulaması görölmektedir.



şekil 2.2 Sıvılı PV-T kolektör [16].



şekil 2.3 Sıvılı PV-T uygulaması [16].

Dubey ve Tiwari [17], PV kolektör arka yüzeyine bakır borular yerleştirilerek boru içerisinden su geçirilmesi ile sıvılı PV-T kolektör örneği hazırlamış ve bu sistemi deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda anlık verimin %33'ten %64'e kadar çıktığı gözlenmiştir. Anlık verimdeki bu artış elektrik ya da sadece ısı olmayıp hem ısı hem elektrik verimi sağlanması ile oluşmuştur. Erdil ve ark. [22], bakır tüpler kullanarak oluşturdukları PV-T sistemini Kıbrıs şartları için incelemişlerdir. İncelemede bir evin günlük tüketimi 7 kWh olarak düşünülmüş bu enerji için 10 m² alana sahip olması istenen kolektör yerine 0.6 m²'lik iki adet hücre kullanılarak 2.8 kWh'lik enerji elde edilebildiği görülmüştür. Deney esnasındaki kayıp enerji miktarı yalnızca %1 olmuştur. Ayrıca bu yapılan çalışma ile bu kolektörlerin iki yıl içerisinde kuruluş maliyetini ödediği anlaşılmıştır. Bu özellikleri nedeniyle bu sistemlerin verimli ve ekonomik sistemler olduğu görülmüştür. Ayrıca Fraisse ve ark. [23], yapmış oldukları çalışma sonucunda böyle bir sistem kullanarak PV hücre verimini %6.8 iken %9.4'e kadar yükseltmeyi başarmışlardır. Chow [24], yaptığı çalışmada ise %8.56'lık bir elektrik verimi elde etmiş ve bu sistemlerin ön ısıtma işlemleri için çok uygun olduğu sonucuna varmıştır.

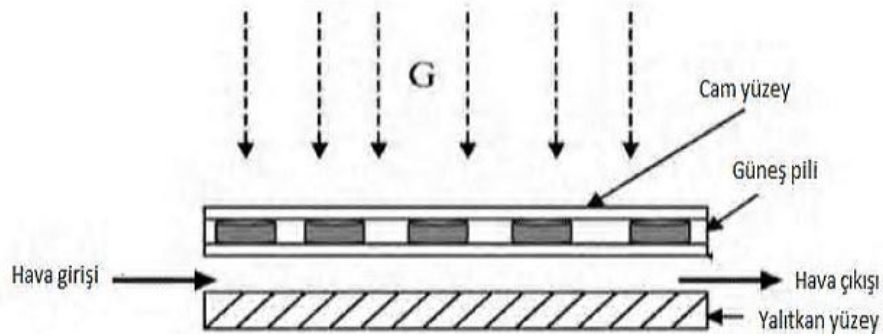
Almeida ve ark. [25], yapmış oldukları çalışma ile PV-T hibrit sistemin ısı, elektrik ve toplam verimi modelleme yaparak incelemiş mono silisyum (mono-Si) ve amorf silisyum (a-Si) kristalli PV hücreden oluşan sıvılı PV-T hibrit sistemin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada a-Si kristal yapıdaki PV-T hibrit sisteminin mono-Si yapıdaki PV-T hibrit sisteme göre daha verimli olduğu görülmüştür. Toplam verime bakıldığında mono-Si PV-T hibrit sistemde toplam verim %70 iken a-Si PV-T hibrit sistemde toplam verim %80 olduğu görülmüş, termal verime bakıldığında ise %66 iken %68 olduğu görülmüştür. Bu çalışma Portekiz' in dört farklı şehrinde güneşlenme süreleri göz önüne alınarak hem konut hem de otel şartları için yapılmıştır. İlk kurulum ve geri ödeme süresi hesaplamaları yapıldığında binalarda geri ödeme süresi 4-6 yıl, otellerde ise 5-12 yıl olduğu anlaşılmıştır. PV-T Hibrit sistemin ön ısıtma için kullanılabileceği bu şekilde kullanılmasının enerji verimliliği açısından ve karbon salınımının düşük olması nedeniyle tercih sebebi olması gerektiğine varılmıştır.

Kalogirou ve Tripanagnostopoulos [26], yaptıkları çalışmada poli kristal silisyum (PcSi) ve a Si sıvılı PV-T hibrit kolektörün ısı emme özellikleri modellenmiştir. Pc-Si sıvılı PV-T hibrit sistem veriminin daha yüksek olduğu ve PV-T hibrit sisteminin kullanımı için teşviklerin olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kullandığımız sıvılı PV-T kolektör ile literatür çalışmalarda da olduğu gibi PV ön yüzeyi soğutulmuş hem ısı hem elektrik gücü elde edilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak PV-T sisteminin ön yüzeyinden su devir daimi sağlanmıştır. Billindiği üzere su ışınımı en çok emen maddelerden biridir. Buna rağmen elektriksel verimde düşüş olmamıştır aksine PV panel elektriksel verimine kıyasen daha yüksek değerler vermiştir. PV paneli ön yüzeyden soğutulmuş PV-T sisteminin tasarlanması bu tez çalışmasını diğer literatür çalışmalarından farklı yapmaktadır.

2.1.3.2 Havalı PV-T Kolektörler

Hava ve su en iyi ısı transfer akışkanları olarak bilinmektedir. PV-T sıvılı sistemlerin ısıtma verimleri havalı sistemlere göre daha yüksektir ama pratik uygulamalar için havalı kolektör kullanımı daha avantaj sağlamaktadır. Özellikle de binalarda kullanılacak malzeme azlığı nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 2.4’de havalı PV-T hibrit sistemin yapısı görülmektedir.



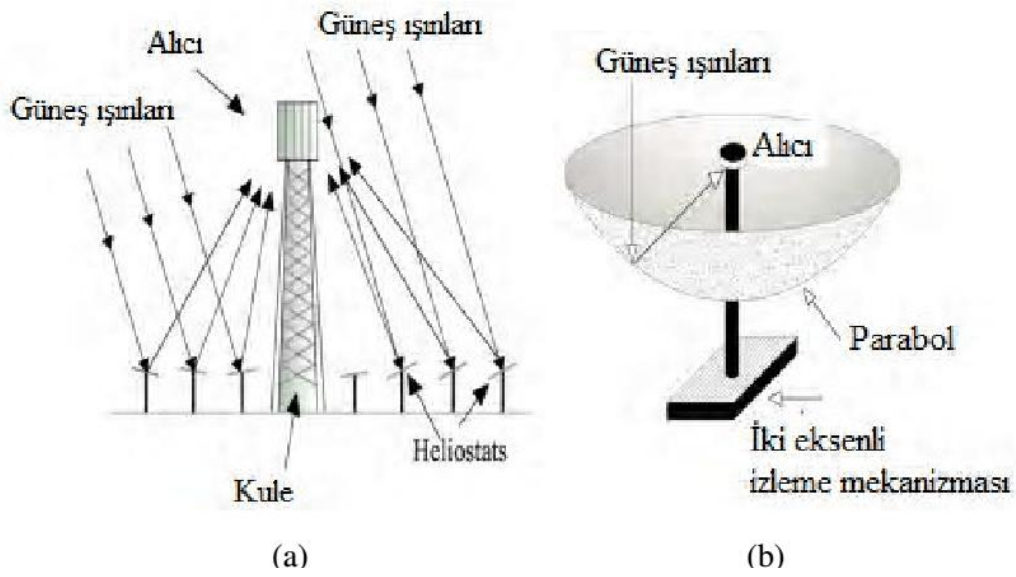
Şekil 2.4 Havalı PV-T hibrit sistem [26].

Sarhaddi ve ark. [27], PV-T hibrit sistemi kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada havalı PV-T hibrit sistemlerin ısı ve elektrik verimlerini incelemişlerdir. Çalışmada sıcaklık, arka yüzey sıcaklığı, çıkış hava sıcaklığı, açık devre gerilimi ve kısa devre akımı, maksimum güç noktası akımı ve gerilimi, ısı kayıp katsayısı değerleri simülasyon kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve termal verimin %17.18, elektriksel verimin %10.01, toplam verimin %45 olduğu saptanmıştır. Zondag ve arkadaşları [28], PV-T hibrit sistemin farklı türleri için çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda görülmüştür ki kanal ve bakır tüp kullanılan sistemlerde elektriksel verim daha yüksektir. Burada soğutma işleminin iyi yapılmış olmasının etkisi vardır. İki tabakalı havalı sistemlerde ısı veriminin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Burada hem PV hücre yüzeyinden hem de PV hücre arka yüzeyinden hava taşınmasının etkisi yüksektir.

2.1.3.3 PV-T Yoğunlaştırıcı Hibrit Sistemler

Yoğunlaştırıcı kolektörler, düz kolektörlere göre daha fazla enerji elde edildiği için tercih edilmektedir. Bu sistemler halen geliştirilmektedir. Bu sistemlerde daha çok elektrik enerjisi elde edileceğinden daha yüksek ısı enerjisi de elde edilebilmektedir. Şekil 2.5’de bazı güneş yoğunlaştırıcı sistemler görülmektedir [29, 30].



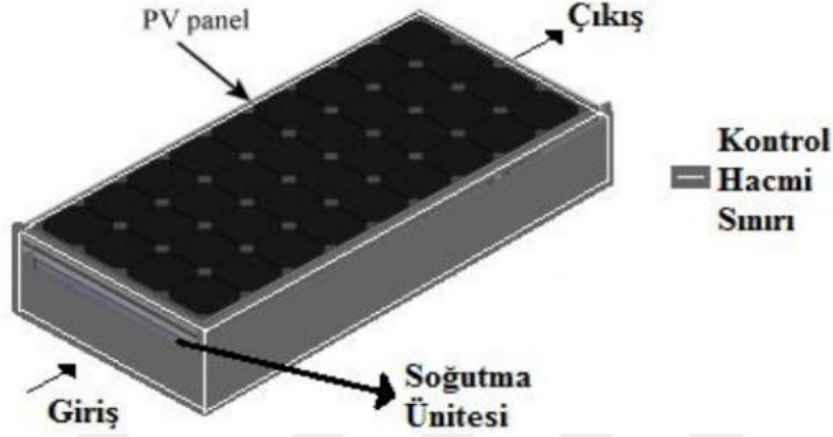
Şekil 2.5 Güneş yoğunlaştırıcı sistemler a, b [30].

2.2 FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN TEORİK HESAPLAR

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde fotovoltaik sistemlerin termal analizi üzerine oldukça fazla deneysel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, fotovoltaik sistemlerin verimlerinde düşüşe neden olan radyasyon kaynaklı sıcaklık artışının uygun soğutma sistemleri ile giderilmesi sonucu gerek elektriksel bir kazanç gerekse de termal bir enerji kaynağı elde etme üzerine yoğunlaşmıştır.

Termal performans analizi amacıyla literatür çalışmalarında birçok karmaşık ve detaylı matematiksel modeller bulunmaktadır. Ancak bu sistemlerin performans analizinin basit ve kolay bir şekilde hesaplanabilmesi ve benzer sistemler ile karşılaştırılabilmesi için

Termodinamiğin 1.yasası kaynaklı performans analizi yapılması genellikle yeterli olmaktadır. Şekil 2.6’da literatürde çalışılan deneysel sistemler için belirlenen genel bir kontrol hacmi görülmektedir [31].



Şekil 2.6 Literatürde yapılan deneysel çalışmalar için genel bir kontrol hacmi.

Herhangi bir sistemden kontrol hacmine veya kontrol hacminden sisteme Δt zaman aralığında olan kütle geçişi aynı zaman aralığında kontrol hacmindeki kütledeki değişime eşittir.

$$\dot{m}_g - \dot{m}_\ç = \Delta \dot{m}_{kh} \quad (2.1)$$

Sistem sürekli akışlı (daimî) bir kontrol hacmi olması sebebiyle kontrol hacmindeki değişim sifıra eşit olur. Dolayısıyla;

$$\Sigma \dot{m}_g = \Sigma \dot{m}_\ç \quad (2.2)$$

yazılabilir. Sürekli akışlı sistem için gerekli sadeleştirmeler yapılmış enerji denklemi ise;

$$\dot{Q}_{\text{termal}} = \dot{m}(h_\ç - h_g) \quad (2.3)$$

$$\dot{Q}_{\text{termal}} = \dot{m} \cdot C_p(T_\ç - T_g) \quad (2.4)$$

PV-T sistemin güç analizinde öncelikle PV-T panelin gerilim ve akım değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için panelin pozitif (+) ve negatif (-) çıkışlarından gerilim ve akım değerini ölçmek için iki adet multimetre kullanılır. Multimetrelerden biri, gerilim değerini ölçmek için devreye paralel bağlanırken diğeri akım değerini ölçmek için devreye seri bağlanır. Bu şekilde gerilim ve akım değerlerinin ölçüm işlemi tamamlandıktan sonra aşağıdaki formül kullanılarak sistemin güç analizi yapılabilir.

$$W = V \cdot I \quad (2.5)$$

Elektriksel verim hesabında, PV-T panel üzerine düşen ışıma değeri, panel yüzey alanı, gerilim ve akım değerlerinin bilinmesi gerekir. Pyronometre cihazı ile ölçülen ışıma şiddeti ve gerilim – akım değerleriyle aşağıdaki formül kullanılarak sistemin elektriksel verim analizi yapılabilir.

$$\eta_{Pe} = \frac{V \cdot I}{A_{PV} \cdot I_{ış}} \quad (2.6)$$

Panelin ısı verim analizi, panel yüzeyini soğutmak amacıyla gönderilen suyun debisi ve suyun panele giriş – çıkış sıcaklıkları kullanılarak aşağıdaki formülle yapılır.

$$\eta_{PV-T} = \frac{(\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T)}{A_{kol} \cdot I_{ış}} \quad (2.7)$$

Burada ΔT paneli soğutmak için kullanılan suyun panelin giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkıdır.

$$\Delta T = T_{kolç} - T_{kolg} \quad (2.8)$$

PV sistemden taşınım ile çevreye olan ısı transferi.

$$q_{taşınım} = h A_{PV} (T_s - T_{\infty}) \quad (2.9)$$

PV hücreden çevreye olan ısı kayıp katsayısı, rüzgâr hızına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikte verilmektedir [32].

$$h = 2.8 + (3.0 v_r) \quad 0 \leq v_r \leq 7 \text{ ms}^{-1} \quad (2.10)$$

Eğik yüzeylerde doğal taşınım ile ısı geçişi için gerekli formüller aşağıdaki gibidir [33].

$$Ra_L = g \cos \theta \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) L^3 / \nu \alpha \quad (2.11)$$

$$Nu_L = 0.825 + \left(\frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right)^2 \quad (2.12)$$

Yatay yüzeylerde doğal taşınım ile ısı geçişi için gerekli formüller aşağıdaki gibidir [32].

$$Nu_L = h \cdot L_c / k \quad (2.13)$$

$$Ra_L = g \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty}) L_c^3 / \nu \alpha \quad (2.14)$$

$$L_c = \frac{A_s}{P} \quad (2.15)$$

$$Nu_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \quad (2.16)$$

$$Nu_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \quad (2.17)$$

$$Nu_L = 0.52 Ra_L^{1/5} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^9) \quad (2.18)$$

PV-T kolektörden elde edilen toplam kolektör verimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir [33].

$$\eta_{Toplam} = \eta_{elektrik} + \eta_{termal} \quad (2.19)$$

$$\eta_{Toplam} = \frac{(\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T) + (V \cdot I)}{A_{kol} \cdot I_{ış}} \quad (2.20)$$

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM

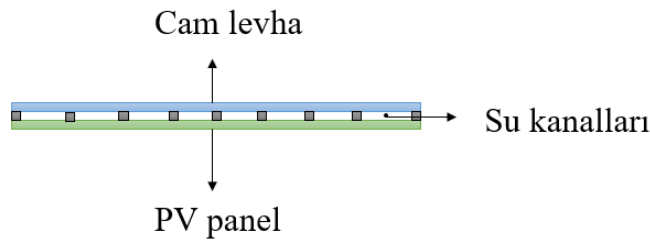
3.1 SİSTEMİN TASARIMI VE YAPIM AŞAMALARI

Çalışmaya başlamadan önce kullanılacak panel boyutları seçildi. Seçilmiş olan panelin parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışma için kullanılacak PV panel parametreleri.

LEXRON® Designed in Germany	
Model Type	LXR-125P
Brand Name	LEXRON
Electrical Characteristics	
Rated Maximum Power (Pmax)	125 Wp
Power Tolerance Range	+5%
Open Circuit Voltage (Voc) (Typical value)	22.10 V
Max Power Voltage (Vmp) (Typical value)	18.00 V
Short Circuit Current (Isc) (Typical value)	7.30A
Max Power Current (Imp) (Typical value)	6.94A
Max System Voltage	1000V
Max Series Fuse Rating	10.0A
Weight (Typical value)	9.5kg
Module Application	Class A
Dimension	
All data at standard test condition: Am=1.5 E=1000W/m ² Tc=25°C	
Warning / Electrical Hazards	
This module produces electricity when exposed to light. Follow all applicable electrical safety precautions. Only qualified personnel should install or perform maintenance work on product. Be aware of high DC voltage when connecting modules. Do not handle or install modules when they are wet. Follow the battery manufacturer's recommendations if batteries are used.	
Q.C. PASSED	
CE	

Sistem gerek bilgisayar ortamında gerek el çizimleri ile tasarlanarak hesaplamalar yapıldı. Halihazır PV panelin cam örtüsünün üstüne Şekil 3.1’de görüldüğü gibi kanallar oluşturulmasına karar verildi.



Şekil 3.1 Kanal tasarımı.

Oluşturulan kanallar Şekil 3.2’de gösterilen 4mm çapında saydam borular kullanarak hazırlanmasına karar verildi.



Şekil 3.2 4mm çapında saydam boru.

Borular cam yüzeye akvaryum silikonu kullanılarak monte edildi. Montaj sırasında boruların sabit kalması için zen gösterilmesi gerekiyor. Şekil 3.3’de montaj sırasındaki görsel mevcuttur. U kısımlara ağırlıklar koyarak boruların montelendiği yerden oynamaması sağlandı.



Şekil 3.3 Kanal oluşturacak boruların montajı.

Kanallar oluşturulmasından sonra aynı şekilde boruların üstüne titizlikle çekilmiş silikonların üstüne cam monte edilir. Monteleme işlemi tamamlanınca Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de gösterildiği gibi kolektörlerin çapları hesaplanıp monte edilir. Kolektör malzemesi olarak 38 mm iç çapında Şeffaf flex hortum kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Kolektörlerin tasarımı.



Şekil 3.5 Montaj edilmiş kolektörler.

Sistem için depo ve bağlantı hortumları da hesaplamalar yapılarak montaj edilmiştir. Depo, ev tipi 19 lt su hacimli damacanadan tasarlanmıştır (Şekil 3.6 a). Depo, Şekil 3.6 b’de görüldüğü gibi yalıtım malzemesi ile kaplandı. PV-T panele soğutma suyu 2 giriş ve 2 çıkış şeklinde tasarlandı. Bağlantı hortumları, kolektör için de kullandığımız şeffaf flex hortumlardan seçildi. Bağlantı hortumlarının iç çapı 25 mm seçildi.



(a)



(b)

Şekil 3.6 Depo Yalıtımsız (a), Yalıtımlı (b).



Şekil 3.7 Montajı tamamlanmış sistem.

Sistemin montajı daha önceden tasarlanmış PV ve PV-T panellerini bir arada tutacak ve aynı açıda ve yönde veri okumamızı sağlayacak olan metal dörtgen plakalardan tasarlanmış plaka tutucusuna yapılmıştır (Şekil 3.7). Sisteme su doldurulup sızdırmazlık denemeleri yapıldığında birkaç sorun ile karşılaşıldı. Sorunlar aşağıda sıralanmıştır.

3.1.1 Montaj Sonrasında Karşılaşılan Sorunlar

3.1.1.1 İlk Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar

PV panelin alüminyum dış çerçevesi ile üste montelenmiş cam arasında yapıştırmak için kullanılan Dayson mastik, alüminyum levha ile camı sağlam tuttu. Ancak Şekil 3.8 a'da görüldüğü gibi iç kısımda hava boşlukları oluşturarak sızıntıya neden oldu.

PV panelin fabrika montaj hali su sızdırmaz olarak üretilmediği için su sızıntıları oldu. Önlem olarak Şekil 3.8 b'de görüldüğü gibi PV panelin hem iç hem dış kısmına silikon ve dayson mastik sıkılarak sızdırmazlık sağlandı.

PV-T panel kollektörü malzemesi, sistemin su basıncına dayanamayıp şişme yaptı ve kılcal yarıklar verdi.



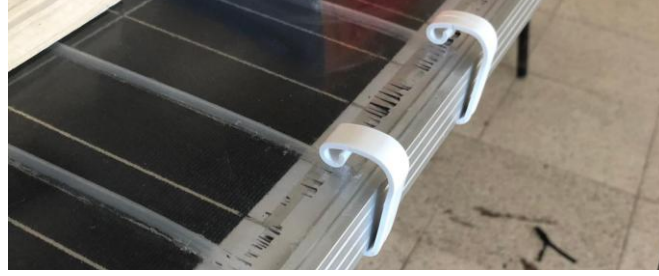
(a)



(b)

Şekil 3.8 Dayson mastik içinde oluşan hava boşlukları (a), Sızdırmazlık için mastik ve silikon uygulaması (b).

Önlem olarak cam ile PV paneli tutması için plastik klepsler yerleştirildi (Şekil 3.9) ve kollektör için aynı boyutlarda daha sağlam olan kauçuk malzemeden yapılmış hortum kullanıldı (Şekil 3.10).



Şekil 3.9 Klepsler.

3.1.1.2 İkinci Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar

Üstte sıralanan sorunlar çözüldükten sonra camların şiştiği farkedildi. Sistemin içine dolan su panelin orta ve alt kısımlarında şişme meydana getirdi. Kanalları oluşturması öngörülen boruları silikonlar tutmadı (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Kauçuk malzemeden yapılmış kollektörler ile sistem denemesi ve cam ile PV panel arasında akan suyun camların şişmesinin görülmesi.

Camdaki şişmeyi engellemek için üst yüzey, iki adet metal plaka ile gövdeye sabitlendi (Şekil 3.11). Aynı zamanda üst cam levha ile kanal borularına da akvaryum silikonu yanı sıra 3 şerit dayson mastik ile montaj gerçekleştirildi.



Şekil 3.11 Metal plakaların sisteme eklenmesi.

3.1.1.3 Üçüncü Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar

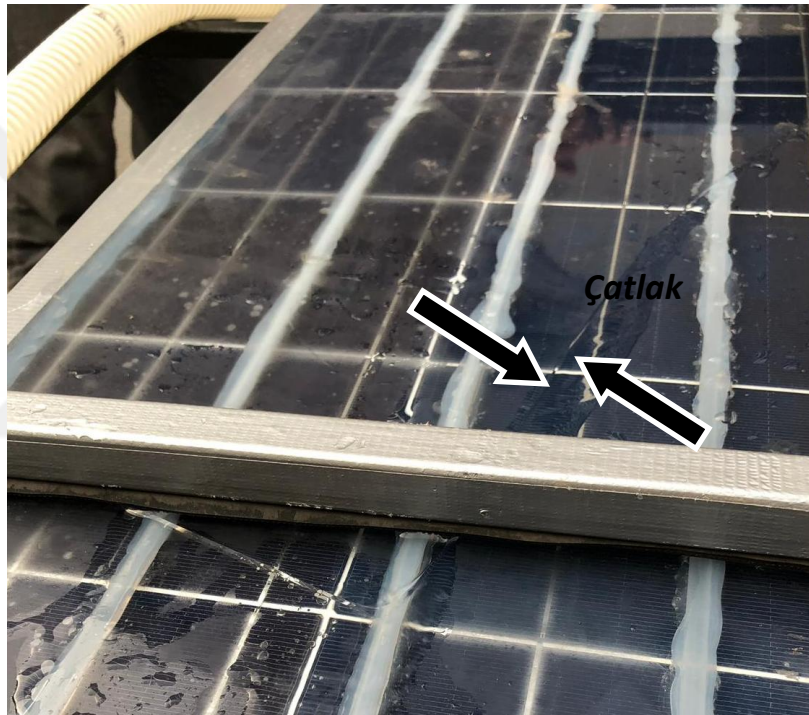
Metal plakalarının montajını yaparken dikkatli davranılması gerek. Çünkü PV ve PV-T sistemlerinde kullanılan camlar temperli camlardır. Temperli camlar da çok dayanıklı ve güneş geçirgenliği en yüksek olan cam çeşididir. Ancak köşelerinden darbe aldıklarında parçalanıyorlar. Metal plakaları montajı yapılırken gereğinden fazla sıkıldığı için Şekil 3.12’de görüldüğü gibi cam kırılmıştır.



Şekil 3.12 Cam kırılması.

3.1.1.4 Dördüncü Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar

Yeni normal cam kestirilip, yeniden montaj yapıldı. Bu kez de daha farklı sorunlar ile karşılaşıldı. Kolektör için kullanılan kauçuk hortumlar esneme yapıyordu, ancak kullanılan camın esneklik payı olmadığı için kolektörlerin bombeleşmesi sırasında camın patlama riskini yok etmek için kolektör malzemesini değiştirilmesine karar verildi. Yeni kolektör malzemesi olarak PVC boru kullanıldı. Kullanılan PVC borunun dış çapı 50mm ve et kalınlığı 3mm'dir. Önlem alındı ancak yine karşılaşılan sorun önden camın şişmesini engelleyecek olan metal plakaların montajı esnasında yeni takılan cam da çatlamıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Cam çatlaması.

Cam çatlak olmasına rağmen yine de sisteme su verilip deneme yapıldı. Deneme yapılırken yeni sorunlar ile karşılaşıldı. Ön camı tutması için montajı yapılmış olan metal plakaların yetersiz olup silikonları sökülüp, camın bu kez önden değil arka yüzeyinden şiştiği görüldü (Şekil 3.14).

Bu sorunu çözmek için PV-T sistemin arka yüzeyine de metal plakalardan bir kafes yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Aynı zamanda ön camı tutan metal plakalara da ortadan birleştirme yapılmıştır. Böylelikle tam orta kısımda oluşan basıncı daha iyi tutacaktır. Kafes sistemi tasarlanıp sisteme Şekil 3.15’de görüldüğü gibi montaj edilmiştir.



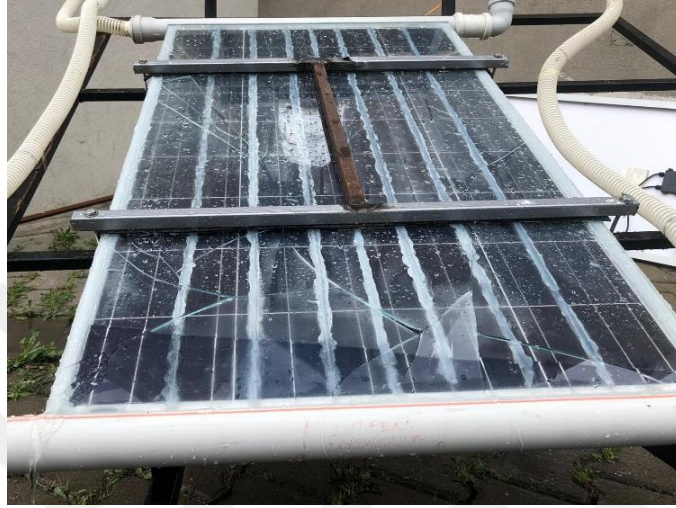
Şekil 3.14 PV-T sisteminin arka yüzeyinin şişmesi.



Şekil 3.15 PV-T sisteminin arka yüzeyinin kafes sistemi.

3.1.1.5 Beşinci Montajdan Sonra Karşılaşılan Sorunlar

PV-T sistemi için yeniden cam kestirilerek montajı gerçekleştirildi. Sisteme su basıldı ve 40 litreyi aşkın su basılınca panelin alt orta kısmında cam patladı (Şekil 3.16). Cam suyun ağırlığını taşıyamadı ve esneklik payı olmadığı için kırıldı.



Şekil 3.16 Cam kırılması.

3.1.2 PV-T Sistemin Son Halinin Tasarımı ve Montajı

Bölüm 3.1.1.1 ile 3.1.1.5 arasında bahsedilen sorunlardan sonra sistemde köklü değişiklikler yapılmasına karar verildi.

Yeni tasarımda temperli cam kullanıldı, depo hacmi küçültüldü, kollektör ve depo arasındaki borularının çapları küçültüldü, kanalları oluşturulan borular kaldırılacak ve sadece universal silikon çekilecek kanallar oluşturuldu (Şekil 3.17). Bağlantı borularına vana eklenerek ve depo daha alçak kota indirilerek cama gelen basınç azaltılmaya çalışıldı. İhtiyaç duyulan boyutlarda temperli camın temin edilmesi uzun sürdü.



Şekil 3.17 Silikon ile kanalların oluşturulması.

10 litrelik bir bidondan depo yapıldı ve 15'lik tesisat borusunu sızıntısız bir şekilde bağlanması için ara elemanlar kullanıldı (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 12 lt hacimli depo.

Depo bağlantı boruları olarak, dış çapı 21.3 mm ve et kalınlığı 2.65 mm olan 15'lik tesisat boruları kullanılmıştır. Bağlantı boruları klepsler yardımı ile gövdeye sabitlendi. Boruların kollektöre giriş ve çıkış bağlantıları silikon ve tutkal yardımı ile sızdırmaz şekilde gerçekleştirildi.



Şekil 3.19 Kollektör giriş bağlantısı ve sistem vanası.

Bağlantı noktaları giriş ve çıkış sırasıyla Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de verilmiştir. Giriş bağlantısı ile beraber sistemin vanası da görünmektedir.



Şekil 3.20 Kollektör çıkış bağlantısı.

PV-T sistemi son halini aldı (Şekil 3.21). Tüm sistemde su hacmi 16 lt oldu. Su sızdırmazlığı sağlandı.



Şekil 3.21 PV-T sisteminin son hali.

Bu son tasarımın ardından sistem, cam kırılmadan çalışmıştır. Sistem çalışır hale geldikten sonra yapılan inceleme ve deneylerde panel ile cam arasında akan su içinde kabarcıklar olduğu gözlemlendi (Şekil 3.22). Kabarcıkların, sağ ve sol kenarlara yakın bölgelerde, orta bölgeye göre daha fazla olduğu görüldü. Bu nedeni doğal taşınım ile gerçekleşen akışta, su hızının kenar bölgelerde daha düşük olmasıdır. Kabarcıklar sistemdeki suyun ısınmasından sonra ortaya çıkmaktalar. Yani su sıcaklığı yükseldikçe bu aynı zamanda kolektöre giren ve çıkan su sıcaklığı arasındaki farkın da azalması demektir, kabarcıklar çoğalmıştır.



Şekil 3.22 PV-T sisteminin üzerinde oluşan kabarcıklar.

3.1.3 Deneylerde Yapılan Ölçümler ve Kullanılan Cihazlar

Deney seti bir adet PV ve bir adet PV-T sisteminden oluşmaktadır. Her iki panelin ön ve arka yüzeyinden sıcaklıklar ve ayrıca akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Ek olarak PV-T'den depo giriş ve çıkışında su sıcaklığı ölçülmüştür. Isınan panel yüzeylerinden taşınım ile ısı geçişinin doğal mı yoksa zorlanmış mı olduğuna karar vermek için rüzgar hızının ölçülmesi gerekmiştir. Makine Mühendisliği Bölümü bünyesinde güneş ışınım değerini ölçmek için gerekli olan piranometre bulunmadığından ilk yapılan deneyler sırasında ışınım değerleri ölçülemediği görülmüştür. Daha sonra Karabük Üniversitesi'nden piranometre temin edilerek ölçümler yapılmıştır. Panellerde üretilen elektriksel güç, ohmik direnci 40Ω ve gücü 1800 W olan iki ayrı saç kurutma makinesinde harcanmıştır. Yukarıda bahsedilen cihazların görüntüleri, Şekil 3.23'den 3.29'a kadar verilmiştir.



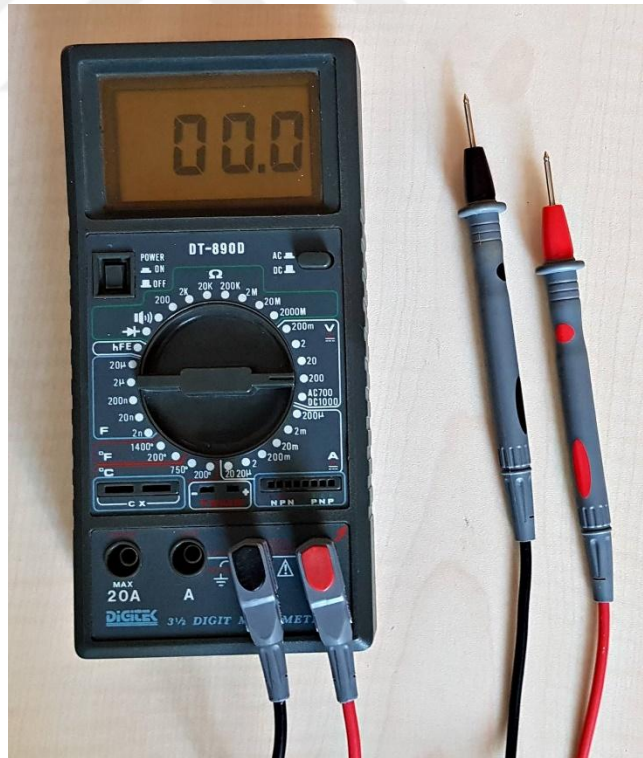
Şekil 3.23 Dijital termometre ve K tipi ısıl çifti.



Şekil 3.24 Bağlı nem ölçer.



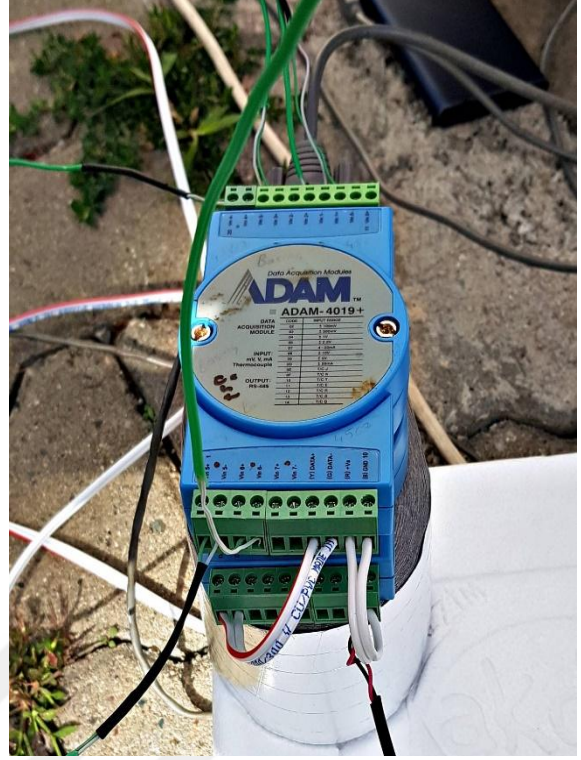
Şekil 3.25 Anemometre.



Şekil 3.26 Multimetre.



Şekil 3.27 Işınım şiddeti ölçer (Prionometre).



Şekil 3.28 Analog Sinyal Kayıt Arabirimi.



Şekil 3.29 PV Test kartı.



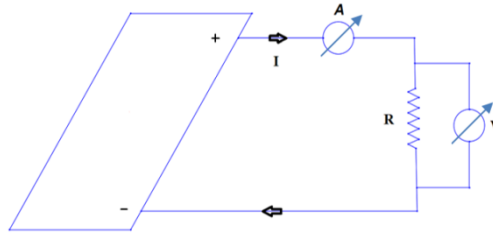
Şekil 3.30 Saç kurutma makineleri.

BÖLÜM 4

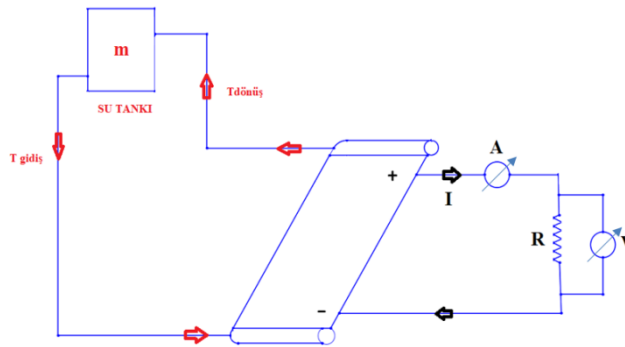
DENEYLERİN YAPILMASI VE HESAPLAMALAR

4.1 DEVRE ŞEMALARI

41.4° Kuzey enleminde yer alan Zonguldak ilinde; PV panelden yaz mevsimi en yüksek elektrik verimi alınabilecek açı 24.1° ve termal kolektör ideal kullanım açısı 39.1° olarak verilmektedir. Ortalama bir değer olarak PV ve PV-T sistemleri 30° açı ile Güney yönüne bakacak şekilde özel sehpalarına yerleştirilmişlerdir. PV ve PV-T için devre şemaları sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 PV devre şeması.



Şekil 4.2 PV-T devre şeması.

PV-T sistemine ölçerek su dolduruldu. Depo, borular ve kolektörlerin su hacmi toplamının 16 litre olduğu görüldü. Bu işlemlerin ardından devre şemasına göre dirençler bağlandı ve belirli aralıklarla ölçümler yapıldı (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Devrenin kurulması ve verilerin alınması.

4.2 23 HAZİRAN 2019 PAZAR GÜNÜ ALINAN DEĞERLER

Bu tarihte yapılan deneylerde PV ve PV-T sisteminin güneşten aldığı enerjileri karşılaştırmak amacıyla saat sabah 08:20'den öğle 12:10'ye kadar 10 dak aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Bu saatten sonra havanın bulutlanıp yağmaya başlaması nedeniyle ölçümlere son verilmiştir.

PV sisteminde direnç üzerindeki gerilim düşümü ve içinden geçen elektrik akımı şiddeti ile panelin ön ve arka yüzünde sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu deneyler sırasında pıranometre mevcut bulunmadığından gelen ışınım değeri ölçülememiştir. PV üzerinde ölçülen değerler Çizelge 4.1'de topluca gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 PV panelde alınan veriler (23 Haziran 2019).

PV panelde alınan veriler (23 Haziran 2019).					
Saat	V (volt)	I (amper)	T _{ön} (°C)	T _{arka} (°C)	Güç (W)
08:20	18.9	0.52	31.5	31.7	9.828
08:30	20.3	0.58	32.7	31.8	11.774
08:40	20.4	0.58	34.8	32.3	11.832
08:50	20.4	0.59	40	38	12.036
09:00	20.3	0.59	41.7	39.8	11.977
09:10	20.2	0.6	44.5	42.5	12.12
09:20	20.2	0.58	46.5	44	11.716
09:30	20.3	0.59	46.7	44	11.977
09:40	20.2	0.58	48.6	45.4	11.716
09:50	20.2	0.59	49.7	47.7	11.918
10:00	20.3	0.59	50.9	48.4	11.977
10:10	20.2	0.59	51.8	49.1	11.918
10:20	20.2	0.59	53	50.4	11.918
10:30	20.2	0.59	54.2	53.1	11.918
10:40	20.2	0.58	56.1	54	11.716
10:50	20	0.58	52.9	50.1	11.6
11:00	20.5	0.6	42	40.3	12.3
11:10	20.4	0.58	45	43.2	11.832
11:20	20	0.61	42.8	39.3	12.2
11:30	19.7	0.56	42.8	40.4	11.032
11:40	19.6	0.55	38.6	37.8	10.78
11:50	18.6	0.43	29	27.9	7.998
12:00	17.4	0.29	26.5	26	5.046
12:10	17.8	0.29	26.6	26.3	5.162

PV-T sisteminde, PV sisteminde ölçülen değerlere ilave olarak; panel üzerinde doğal dolaşım ile devri daim yapan suyun tanka girişi (T_{gsu}) ve tanktan çıkışı ($T_{çsu}$) sıcaklıkları da ölçülmüştür. PV-T üzerinde ölçülen değerler Çizelge 4.2’de topluca gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 PV-T panelde alınan veriler (23 Haziran 2019).

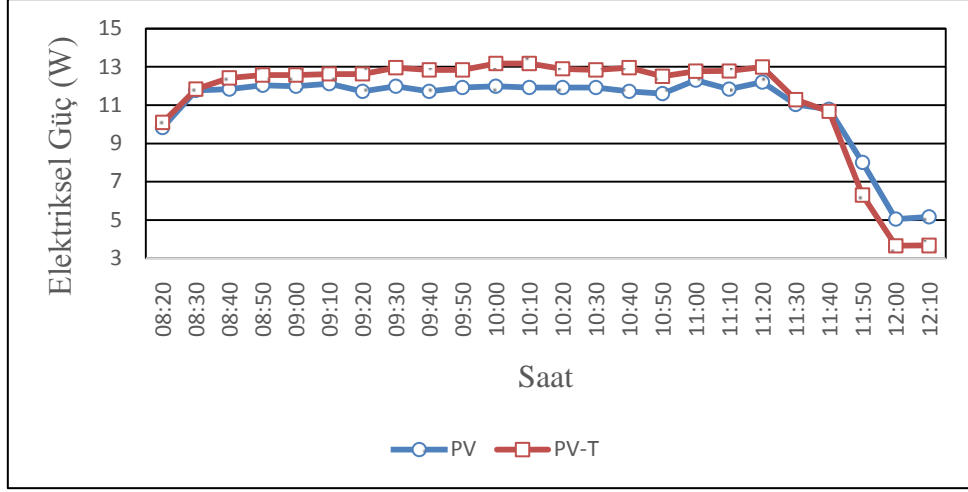
PV-T panelde alınan veriler (23 Haziran 2019)								
Saat	V (volt)	I (amper)	$T_{ön}$ (°C)	T_{arka} (°C)	$T_{çsu}$ (°C)	T_{gsu} (°C)	Güç (W)	Isıl Enerji (kJ)
08:20	18.7	0.54	26	27.9	26.5	20	10.098	217.36
08:30	20.4	0.58	26.6	28.5	27.2	21	11.832	207.328
08:40	20.7	0.6	27.3	29.6	28.3	22.2	12.42	203.984
08:50	20.6	0.61	30.4	32.9	29.4	23.1	12.566	210.672
09:00	20.6	0.61	29.2	33	31.8	21.8	12.566	334.4
09:10	20.7	0.61	31.4	32.9	34.4	23	12.627	381.216
09:20	20.7	0.61	34.6	37.9	35.9	23.4	12.627	418
09:30	20.9	0.62	35.8	34.4	36.5	22.8	12.958	458.128
09:40	20.7	0.62	36.5	39	33.9	26.5	12.834	247.456
09:50	20.7	0.62	37.6	39.3	34.7	26.5	12.834	274.208
10:00	20.9	0.63	37.4	39.8	35.5	27	13.167	284.24
10:10	20.9	0.63	40.3	42.9	35.7	27.9	13.167	260.832
10:20	20.8	0.62	42	42.1	36.8	28.7	12.896	270.864
10:30	20.7	0.62	43.5	41.4	37.7	29.2	12.834	284.24
10:40	20.9	0.62	44.5	43.4	38.2	29.5	12.958	290.928
10:50	20.5	0.61	44.1	41.4	38.1	29.3	12.505	294.272
11:00	20.6	0.62	40.9	38.3	38.1	29.2	12.772	297.616
11:10	21.3	0.6	38.8	41.6	37.7	29.2	12.78	284.24
11:20	20.3	0.64	38.3	37.2	37.6	29.6	12.992	267.52
11:30	19.8	0.57	37.8	38.6	37.8	30.2	11.286	254.144
11:40	19.4	0.55	37.9	37.3	37.5	30.3	10.67	240.768
11:50	18	0.35	32.8	32	36.8	30	6.3	227.392
12:00	16.6	0.22	30.2	28.6	35.5	28.5	3.652	234.08
12:10	16.7	0.22	29.1	28.4	35.4	27.8	3.674	254.144

Paneller üzerinden doğal taşınım ile ısı kaybı hesabına esas olmak üzere sistemin kurulu olduğu yerde rüzgâr hızı ve ortam sıcaklığı değerleri, bağıl nem değerleriyle beraber ölçülerek kaydedilmiştir (Çizelge 4.3).

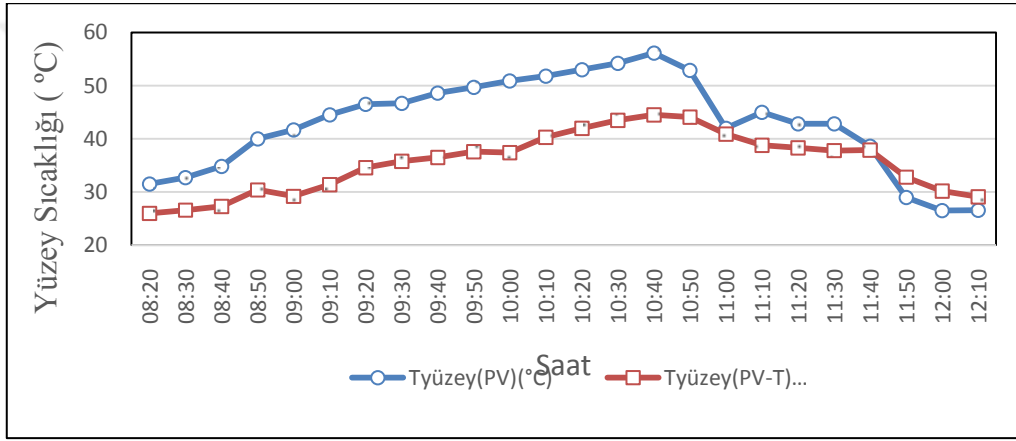
Çizelge 4.3 Rüzgâr hızı, bağıl nem ve ortam sıcaklığı değerleri (23 Haziran 2019).

Saat	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)	Ortam Sıcaklığı, T_{∞} (°C)
08:20	1.5	93	25
08:30	2.5	97	25.5
08:40	1.5	98	27
08:50	4	102	25
09:00	1	102	27
09:10	0.9	99	26
09:20	0.9	90	27
09:30	0.4	74	29
09:40	1	77	26
09:50	2	84	27
10:00	0.3	86	27
10:10	0.5	86	27
10:20	0.8	84	27
10:30	2	86	28
10:40	0.1	87	27
10:50	1.5	86	27
11:00	1.2	90	27
11:10	1.5	89	29
11:20	1.5	89	27
11:30	0.3	90	28
11:40	0.8	90	28
11:50	0.9	93	27
12:00	1.5	103	24
12:10	1.2	103	24

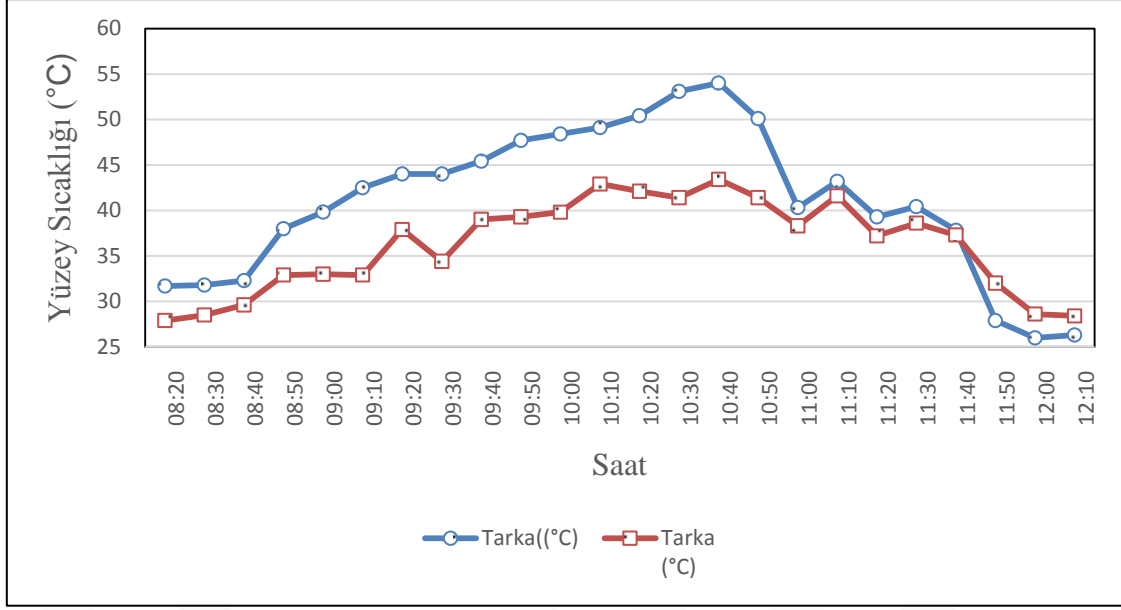
Kaydedilen ölçümlerle hesaplanan elektriksel güç değerlerinin güneş saatine göre değişimi Şekil 4.4’te, ön yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi Şekil 4.5’te, arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ise Şekil 4.6’da grafik olarak verilmiştir. PV-T sisteminde dolaşan suyun depoya giriş ve çıkış sıcaklıkları ise Şekil 4.7’de grafik olarak verilmiştir.



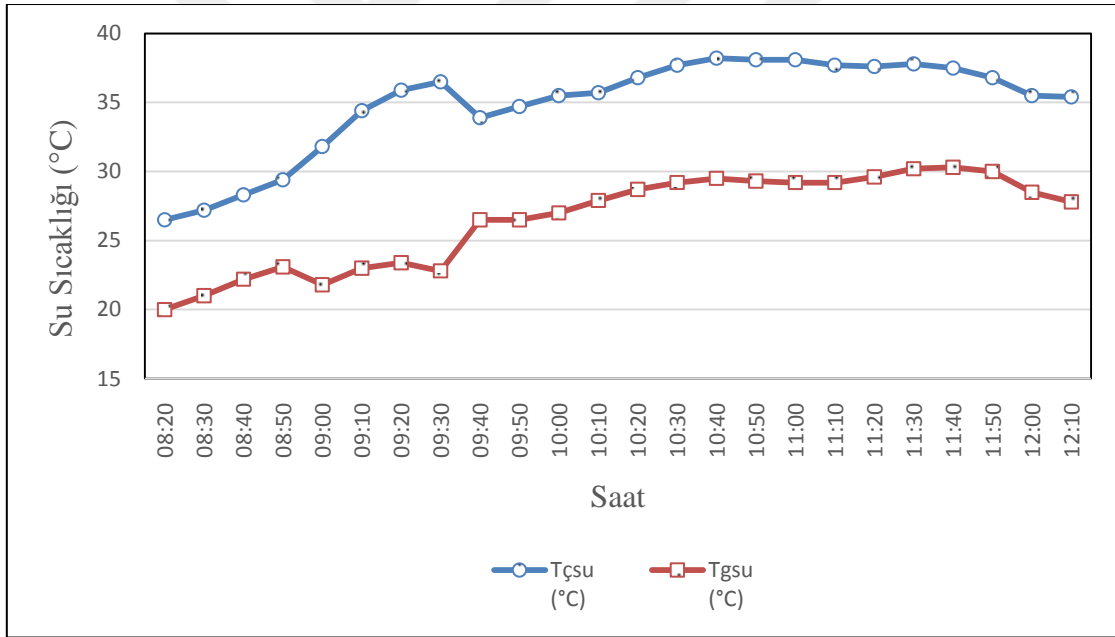
Şekil 4.4 PV ve PV-T sistemlerin elektriksel güçlerinin zamanla değişimi (23 Haziran 2019).



Şekil 4.5 PV ve PV-T sistemlerinin ön yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (23 Haziran 2019).



Şekil 4.6 PV ve PV-T sistemlerinin panel arka yüzeyinin sıcaklıklarının zamanla değişimi (23 Haziran 2019).



Şekil 4.7 Sisteme giren ve çıkan su sıcaklıklarının zamanla değişimi (23 Haziran 2019).

4.3 24 HAZİRAN 2019 PAZARTESİ GÜNÜ ALINAN DEĞERLER

24 Haziran 2019 tarihinde havanın açık ve güneşli olması sayesinde sabah 10:10'dan akşam 18:30'a kadar deneyler yapılmış ve tıpkı 23 Haziran deneylerinde olduğu gibi ölçümler sonuçları tablolar ve grafikler halinde aşağıda sunulmuştur (Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6 ile Şekil 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13). Her biri için bir önceki bölümde açıklamalar yazıldığı için burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır.

Daha önce panellerin yaklaşık orta yerinden sıcaklık okumaları yapılırken, bu sefer arkalı önlü olmak üzere panelin alt, orta ve üst tarafından sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. PV-T panel için okunan sıcaklık değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu çizelgede görülen, PV-T panel ön yüzey sıcaklıkları Şekil 4.12'de, arka yüzey sıcaklıkları ise Şekil 4.13'de grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 4.4 PV panelde alınan veriler (24 Haziran 2019).

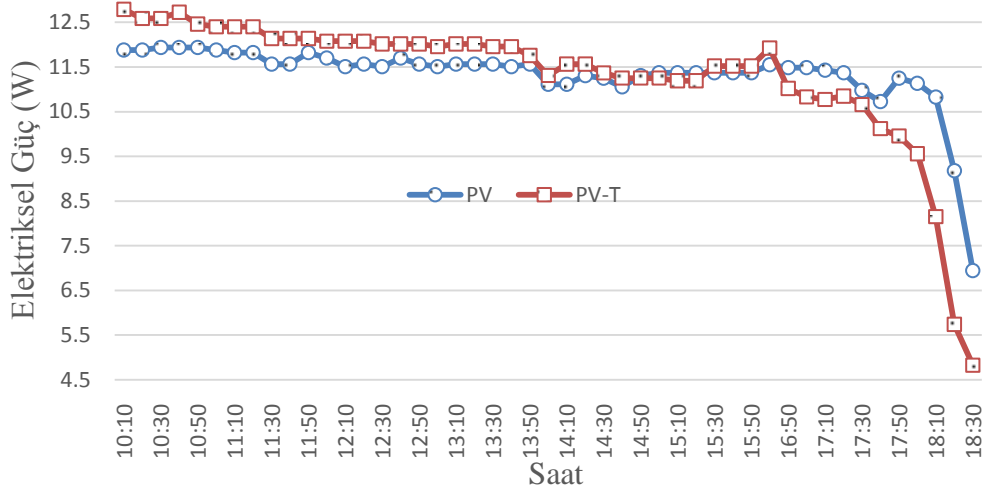
PV panelde alınan veriler (24 Haziran 2019)					
Saat	V (volt)	I (amper)	T _{ön} (°C)	T _{arka} (°C)	Güç (W)
10:10	19.8	0.6	58.8	55.5	11.88
10:20	19.8	0.6	58.3	56.5	11.88
10:30	19.9	0.6	55.2	53	11.94
10:40	19.9	0.6	56.4	54.3	11.94
10:50	19.9	0.6	58.5	55.3	11.94
11:00	19.8	0.6	60.8	58.1	11.88
11:10	19.7	0.6	62.9	61.5	11.82
11:20	19.7	0.6	62.4	59.6	11.82
11:30	19.6	0.59	66.3	61.2	11.564
11:40	19.6	0.59	66.7	63.8	11.564
11:50	19.7	0.6	64.5	60.4	11.82
12:00	19.5	0.6	67.1	63	11.7
12:10	19.5	0.59	67.2	63	11.505
12:20	19.6	0.59	68.5	64.3	11.564
12:30	19.5	0.59	69.5	66.1	11.505
12:40	19.5	0.6	68.5	64.6	11.7
12:50	19.6	0.59	68.6	66	11.564
13:00	19.5	0.59	69.4	65.5	11.505
13:10	19.6	0.59	68.2	65	11.564
13:20	19.6	0.59	69.2	66.6	11.564
13:30	19.6	0.59	68.2	65.8	11.564
13:40	19.5	0.59	65.5	65.1	11.505
13:50	19.6	0.59	67.5	65.4	11.564
14:00	19.5	0.57	67.6	64	11.115
14:10	19.5	0.57	67.5	64	11.115
14:20	19.5	0.58	65.7	62.2	11.31
14:30	19.4	0.58	65.8	63.3	11.252
14:40	19.4	0.57	65.9	64.4	11.058
14:50	19.5	0.58	65.9	64.7	11.31
15:00	19.6	0.58	64.6	62.2	11.368
15:10	19.6	0.58	63.7	61.7	11.368
15:20	19.6	0.58	63	61.2	11.368
15:30	19.6	0.58	62.1	60.8	11.368
15:40	19.6	0.58	61.5	59.9	11.368
15:50	19.6	0.58	60.6	59.2	11.368
16:50	19.8	0.58	49.6	47.4	11.484
17:00	19.8	0.58	48.8	46.2	11.484
17:10	19.7	0.58	47.5	45.4	11.426
17:20	19.6	0.58	47.2	44.5	11.368
17:30	19.6	0.56	45.5	43.3	10.976
17:40	19.5	0.55	42.5	40.9	10.725
17:50	19.4	0.58	39.6	39	11.252
18:00	19.2	0.58	37.2	36	11.136
18:10	19	0.57	36.9	35.5	10.83
18:20	17	0.54	34.2	34.2	9.18
18:30	15.1	0.46	32.9	32.7	6.946

Çizelge 4.5 PV-T panelde alınan veriler (24 Haziran 2019).

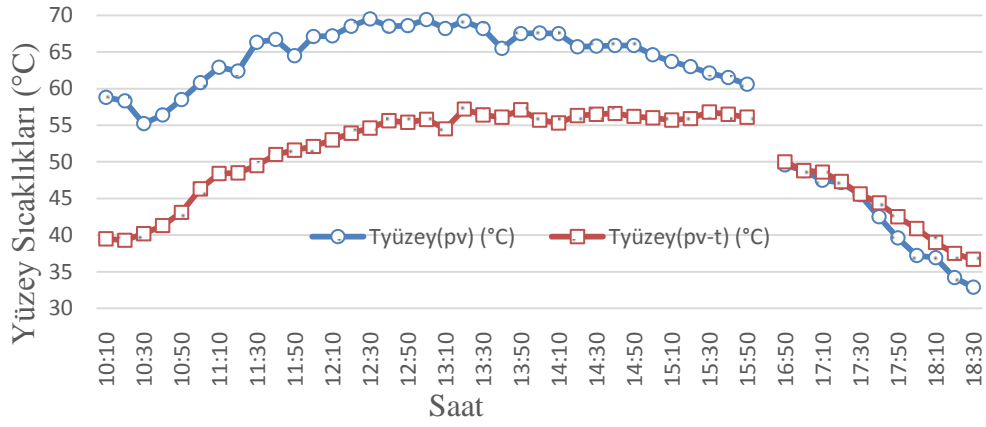
PV-T panelde alınan veriler (24 Haziran 2019)							
Saat	V (volt)	I (amper)	T _{çsu} (°C)	T _{gsu} (°C)	T _{ön} (°C)	T _{arka} (°C)	Güç (W)
10:10	20.3	0.63	28.6	38.9	39.5	40.7	12.789
10:20	20.3	0.62	28.9	38.8	39.3	43.3	12.586
10:30	20.3	0.62	31.4	38.7	40.2	41	12.586
10:40	20.2	0.63	36.3	39	41.3	42.3	12.726
10:50	20.1	0.62	37.9	41	43.1	43.3	12.462
11:00	20	0.62	38.8	42.3	46.3	46.3	12.4
11:10	20	0.62	39.1	43.3	48.4	48.7	12.4
11:20	20	0.62	39.2	44	48.5	47.7	12.4
11:30	19.9	0.61	39.5	45.4	49.5	50.2	12.139
11:40	19.9	0.61	40.2	46.1	51	50.3	12.139
11:50	19.9	0.61	41.7	46.6	51.6	50.4	12.139
12:00	19.8	0.61	42.5	46.9	52.1	53.1	12.078
12:10	19.8	0.61	43.3	47.3	53	52.4	12.078
12:20	19.8	0.61	44.1	47.8	53.9	55	12.078
12:30	19.7	0.61	44.9	48.8	54.6	55.6	12.017
12:40	19.7	0.61	45.6	48.9	55.6	54	12.017
12:50	19.7	0.61	45.9	49.7	55.4	55.2	12.017
13:00	19.6	0.61	47.3	52.3	55.8	55.6	11.956
13:10	19.7	0.61	49.6	53.4	54.5	56.3	12.017
13:20	19.7	0.61	50.2	52.7	57.2	56.4	12.017
13:30	19.6	0.61	50.1	52	56.4	58.2	11.956
13:40	19.6	0.61	49.1	51.1	56.1	57.4	11.956
13:50	19.6	0.6	49.3	50.4	57.1	58.6	11.76
14:00	19.5	0.58	48.7	50.4	55.7	55.4	11.31
14:10	19.6	0.59	49.3	51.5	55.3	54.9	11.564
14:20	19.6	0.59	48.9	50.9	56.3	55.6	11.564
14:30	19.6	0.58	48.7	50.6	56.5	56.6	11.368
14:40	19.4	0.58	48	50.5	56.6	58	11.252
14:50	19.4	0.58	48.6	52.3	56.2	57.2	11.252
15:00	19.4	0.58	48.3	51.5	56	56.4	11.252
15:10	19.3	0.58	47.9	51.2	55.7	53	11.194
15:20	19.3	0.58	48	51	55.9	51.2	11.194
15:30	19.2	0.6	47.8	50.9	56.8	53.3	11.52
15:40	19.2	0.6	47.6	50.2	56.5	52.8	11.52
15:50	19.2	0.6	47.5	49.9	56.1	52.5	11.52
16:50	19	0.58	44.5	46.4	50	50.5	11.02
17:00	19	0.57	44.5	46.4	48.8	49.4	10.83
17:10	18.9	0.57	44.3	46.3	48.6	48.5	10.773
17:20	18.7	0.58	43.7	46.4	47.3	47.9	10.846
17:30	18.7	0.57	42.9	46	45.6	46.3	10.659
17:40	18.4	0.55	41.1	45	44.4	44.4	10.12
17:50	18.1	0.55	40.9	45.2	42.5	42.6	9.955
18:00	17.7	0.54	40.1	44.8	40.9	41	9.558
18:10	16.3	0.5	39.3	44.5	39	38.6	8.15
18:20	14	0.41	38.3	44.4	37.5	37.7	5.74
18:30	12.7	0.38	37.8	44	36.7	36.8	4.826

Çizelge 4.6 Rüzgâr hızı, bağıl nem ve ortam sıcaklığı değerleri (24 Haziran 2019).

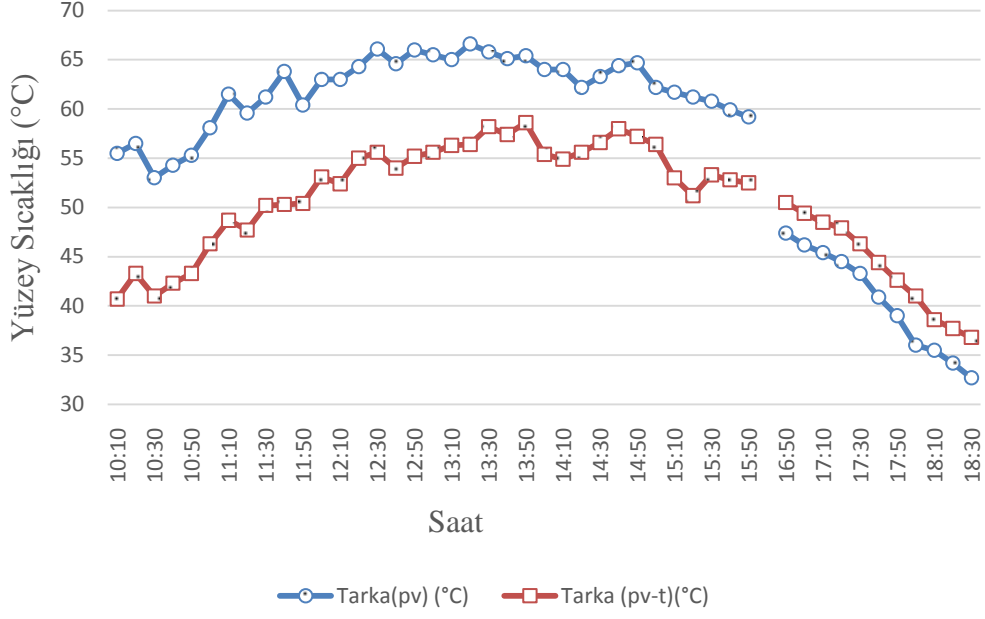
Saat	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)	T _∞ (°C)	Saat	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)	T _∞ (°C)
10:10	0.9	74	29.8	14:10	2.4	58	34
10:20	1	72	29	14:20	1.5	61	33
10:30	2	68	30	14:30	3	62	33
10:40	2	71	30	14:40	3.4	58	35
10:50	3	70	29	14:50	1.5	54	34
11:00	2.2	68	31	15:00	1.2	61	34
11:10	1.5	68	30	15:10	1.5	59	34
11:20	1.3	67	31	15:20	1.2	58	34.5
11:30	2	69	31	15:30	1.8	61	34
11:40	1.3	70	31	15:40	2	62	34
11:50	2	68	31	15:50	1.2	63	35
12:00	3	67	32.5	-	-	-	-
12:10	3	67	31.5	16:50	1	61	35
12:20	1.1	68	32.5	17:00	2	61	33
12:30	2.1	69	32.5	17:10	2	67	31
12:40	2.8	70	32	17:20	1	68	31
12:50	2.2	65	32	17:30	1.5	67	30
13:00	2.6	66	32	17:40	1.5	67	30
13:10	1.1	67	32	17:50	3	71	30
13:20	2.2	66	32.5	18:00	1	72	30
13:30	1.8	63	33	18:10	1.2	71	29
13:40	1.5	61	33.7	18:20	2	70	27
13:50	1.8	65	35	18:30	2.6	74	27
14:00	3	57	32				



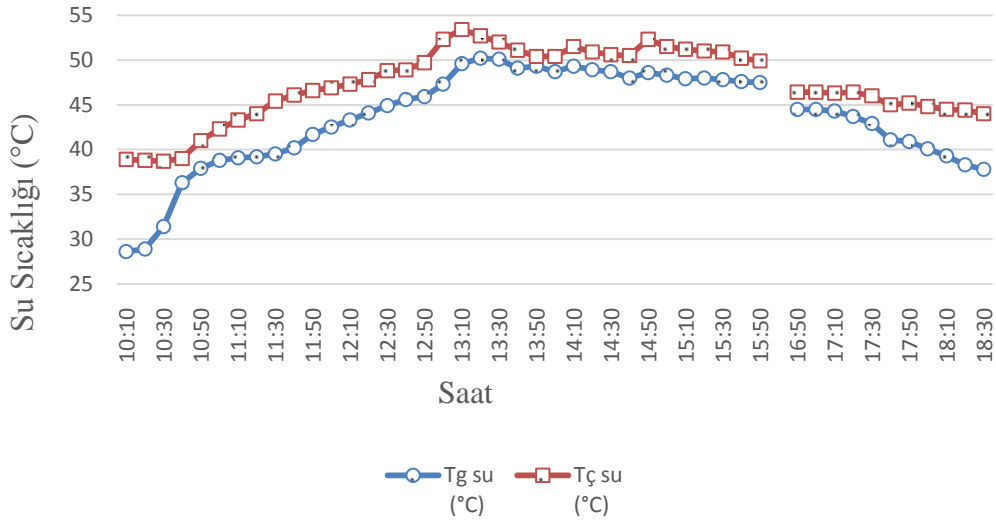
Şekil 4.8 PV ve PV-T sistemlerin elektriksel güçlerinin zamanla değişimi (24 Haziran 2019).



Şekil 4.9 PV ve PV-T sistemlerinin ön yüzey sıcaklıklarının zamanla değişimi (24 Haziran 2019).



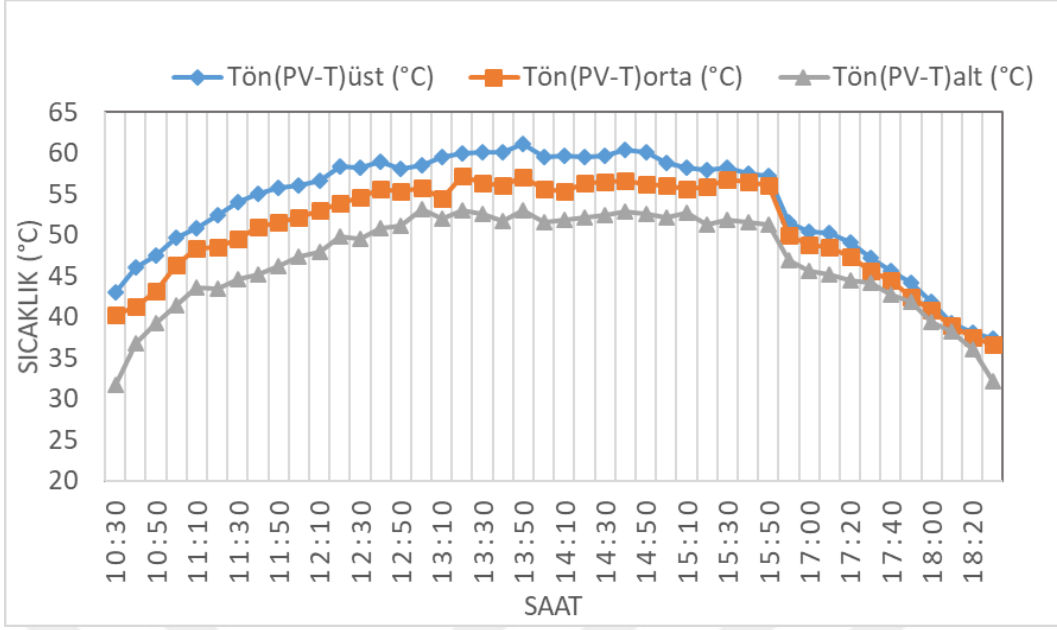
Şekil 4.10 PV ve PV-T sistemlerinin panel arka yüzeyinin sıcaklıklarının zamanla değişimi (24 Haziran 2019).



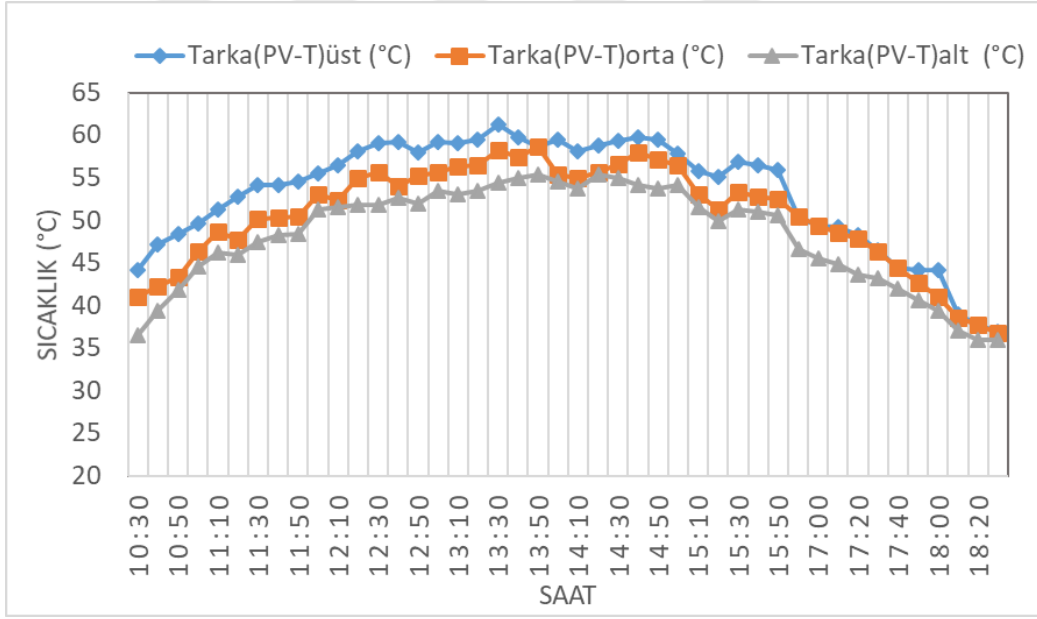
Şekil 4.11 Sisteme giren ve çıkan su sıcaklıklarının zamanla değişimi (24 Haziran 2019).

Çizelge 4.7 PV-T panelin ön ve arka yüzünün alt, orta ve üst noktalarından alınan sıcaklık değerleri (24 Haziran 2019).

Saat	T _{ön(PV-T)üst} (°C)	T _{ön(PV-T)orta} (°C)	T _{ön(PV-T)alt} (°C)	T _{arka(PV-T)üst} (°C)	T _{arka(PV-T)orta} (°C)	T _{arka(PV-T)alt} (°C)
10:30	43	40.2	31.7	44.2	41	36.5
10:40	46	41.3	36.8	47.1	42.3	39.4
10:50	47.5	43.1	39.3	48.4	43.3	41.8
11:00	49.7	46.3	41.5	49.6	46.3	44.5
11:10	50.8	48.4	43.6	51.2	48.7	46.2
11:20	52.4	48.5	43.4	52.8	47.7	45.9
11:30	54	49.5	44.6	54.2	50.2	47.5
11:40	55.1	51	45.2	54.1	50.3	48.3
11:50	55.8	51.6	46.2	54.6	50.4	48.4
12:00	56.1	52.1	47.4	55.5	53.1	51.2
12:10	56.6	53	47.9	56.4	52.4	51.6
12:20	58.4	53.9	49.8	58.1	55	51.8
12:30	58.3	54.6	49.5	59	55.6	51.8
12:40	58.9	55.6	50.9	59.2	54	52.6
12:50	58.1	55.4	51.1	58	55.2	51.9
13:00	58.6	55.8	53.1	59.2	55.6	53.5
13:10	59.5	54.5	52	59	56.3	53
13:20	60	57.2	53	59.4	56.4	53.4
13:30	60.2	56.4	52.6	61.3	58.2	54.4
13:40	60.2	56.1	51.7	59.7	57.4	55
13:50	61.1	57.1	53	58.7	58.6	55.4
14:00	59.6	55.7	51.6	59.4	55.4	54.5
14:10	59.7	55.3	51.8	58.1	54.9	53.7
14:20	59.6	56.3	52.1	58.8	55.6	55.3
14:30	59.7	56.5	52.4	59.3	56.6	54.9
14:40	60.4	56.6	52.9	59.8	58	54.1
14:50	60.2	56.2	52.6	59.5	57.2	53.7
15:00	58.8	56	52.2	57.8	56.4	54.2
15:10	58.3	55.7	52.8	55.8	53	51.6
15:20	57.9	55.9	51.3	55.1	51.2	49.9
15:30	58.2	56.8	51.8	56.8	53.3	51.2
15:40	57.5	56.5	51.6	56.4	52.8	51
15:50	57.2	56.1	51.3	55.9	52.5	50.6
16:50	51.6	50	46.9	50.3	50.5	46.6
17:00	50.4	48.8	45.6	49.4	49.4	45.5
17:10	50.2	48.6	45.2	49.2	48.5	44.8
17:20	49.1	47.3	44.4	48.3	47.9	43.6
17:30	47.2	45.6	44.2	46.5	46.3	43.2
17:40	45.6	44.4	42.8	44.4	44.4	42
17:50	44.2	42.5	41.8	44.1	42.6	40.6
18:00	41.8	40.9	39.4	44.1	41	39.4
18:10	39.3	39	38.2	39	38.6	37.1
18:20	38.1	37.5	36	37.7	37.7	36
18:30	37.3	36.7	32.2	36.9	36.8	36



Şekil 4.12 PV-T sistemin ön yüzeyinin alt, orta ve üst noktalarındaki sıcaklık değişimleri (24 Haziran 2019).



Şekil 4.13 PV-T sistemin arka yüzeyinin alt, orta ve üst noktalarındaki sıcaklık değişimleri (24 Haziran 2019).

4.4 26 HAZİRAN 2019 ÇARŞAMBA GÜNÜ ALINAN DEĞERLER

Çizelge 4.8 PV panelden alınan veriler (26 Haziran 2019).

PV panelde alınan veriler (26 Haziran 2019)					
Saat	V (volt)	I (amper)	T _{ön} (°C)	T _{arka} (°C)	Güç (W)
10:45	19.6	0.6	48	45.6	11.76
11:00	19.6	0.6	48.8	47.5	11.76
11:15	19.5	0.6	57.7	54.5	11.7
11:30	19.5	0.6	58.8	56	11.7
11:45	19.5	0.6	62.7	60.6	11.7
12:00	19.3	0.59	66	62.8	11.387
12:15	19.5	0.59	64.2	60.3	11.505
12:30	19.3	0.59	66.1	62.5	11.387
12:45	19.2	0.59	67.8	65	11.328
13:00	19.2	0.59	66.8	62.8	11.328
13:15	19.2	0.58	69.7	62.9	11.136
13:30	19.3	0.57	67.7	62.9	11.001
13:45	19.3	0.58	66.2	62.3	11.194
14:00	19.3	0.58	65.9	61.8	11.194
14:15	19.3	0.57	65.8	61.8	11.001
14:30	19.4	0.58	62.6	58	11.252
14:45	19.4	0.57	63	60.3	11.058
15:00	19.4	0.58	64.6	61.2	11.252
15:15	19.4	0.58	62.9	60.9	11.252
15:30	19.4	0.57	59.5	57	11.058
15:45	19.6	0.58	57.2	54.7	11.368
16:00	19.4	0.57	50.6	51.7	11.058
16:15	19.5	0.58	52.7	50.9	11.31
16:30	19.5	0.58	52	50.1	11.31
16:45	19.4	0.58	52.5	51.1	11.252
17:00	19.4	0.57	50	48.4	11.058
17:15	19	0.5	39.4	37.7	9.5
17:30	19.8	0.6	39	38.2	11.88
17:45	19.4	0.5	41.8	40.6	9.7
18:00	19.6	0.6	35.6	35.1	11.76
18:15	19	0.58	36.1	35.1	11.02
18:30	16.5	0.5	31.4	31	8.25
18:45	14.7	0.45	29.5	29.4	6.615
19:00	13.9	0.42	29.1	28.8	5.838

Çizelge 4.9 PV-T panelden alınan veriler (26 Haziran 2019).

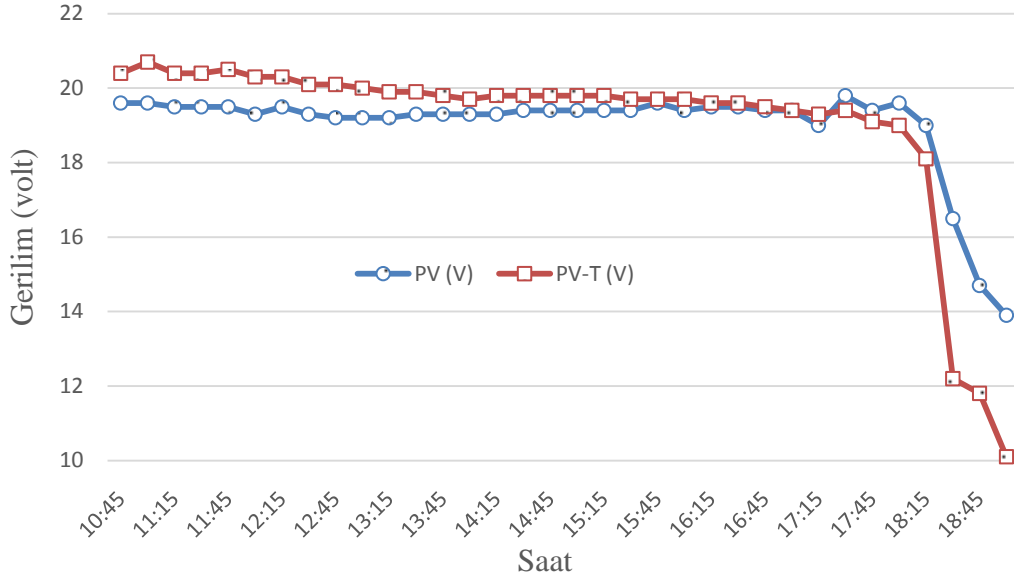
PV-T panelden alınan veriler (26 Haziran 2019)							
Saat	V (volt)	I (amper)	T _{giren su} (°C)	T _{çıkan su} (°C)	T _{ön(PV-T)orta} (°C)	T _{arka(PV-T)orta} (°C)	PV-T Güç (W)
10:45	20.4	0.63	20	39	31.9	34	12.852
11:00	20.7	0.63	28.8	38.8	33.8	37.1	13.041
11:15	20.4	0.62	37.1	44.7	42.5	44.4	12.648
11:30	20.4	0.62	39	45.9	44.1	46.7	12.648
11:45	20.5	0.61	40.8	46.8	46.9	49	12.505
12:00	20.3	0.61	43.3	47.8	50	52	12.383
12:15	20.3	0.61	45	48.4	51.3	53	12.383
12:30	20.1	0.6	46.5	50.5	51.5	53.6	12.06
12:45	20.1	0.6	47.3	50.9	53.3	55	12.06
13:00	20	0.6	48.1	52.4	53.6	55.6	12
13:15	19.9	0.6	49.8	52.5	54	56.8	11.94
13:30	19.9	0.58	50.7	51.7	55.7	57.5	11.542
13:45	19.8	0.58	51.3	52	56	56.1	11.484
14:00	19.7	0.58	51.7	52.3	56	56.1	11.426
14:15	19.8	0.58	51.5	51.8	57	58.4	11.484
14:30	19.8	0.59	51.2	52.2	55	56.4	11.682
14:45	19.8	0.58	51.6	52.5	56.3	57.3	11.484
15:00	19.8	0.58	51.7	52	56.6	57.5	11.484
15:15	19.8	0.59	51.9	52	55	53.8	11.682
15:30	19.7	0.59	50.8	51.7	54.1	55	11.623
15:45	19.7	0.59	50.9	51.6	52.2	52.6	11.623
16:00	19.7	0.59	51.1	52.8	51.3	51.4	11.623
16:15	19.6	0.59	6	51	50.8	51.2	11.564
16:30	19.6	0.59	49	50.3	51	50.9	11.564
16:45	19.5	0.58	48.3	49.8	50.1	50.4	11.31
17:00	19.4	0.58	47.9	49.4	48.6	48.8	11.252
17:15	19.3	0.53	47.1	48.9	44.1	43.5	10.229
17:30	19.4	0.54	46	48.2	41	41.6	10.476
17:45	19.1	0.57	44.9	47.5	41.3	41.7	10.887
18:00	19	0.57	44.3	47.6	37.7	38.5	10.83
18:15	18.1	0.54	43.3	46.8	36.8	37	9.774
18:30	12.2	0.35	42.4	46.8	34.3	34.3	4.27
18:45	11.8	0.37	41.3	46.3	32	32.3	4.366
19:00	10.1	0.31	40.1	45.7	30.5	30.8	3.131

Çizelge 4.10 Rüzgâr ve bağıl nem değerleri (26 Haziran 2019).

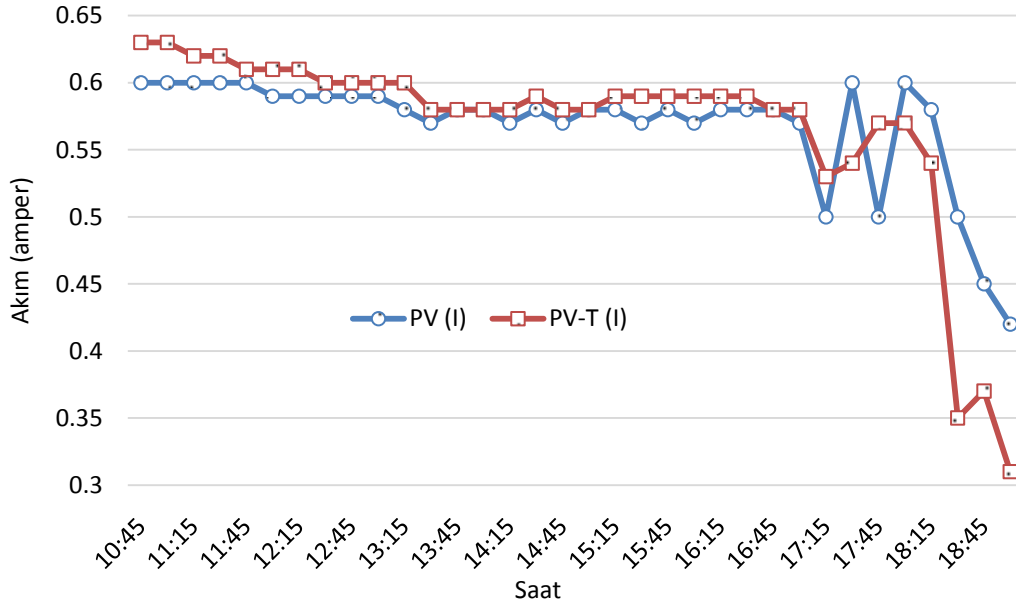
Saat	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)	T _∞ (°C)	Saat	Rüzgâr hızı (m/s)	Bağıl Nem (%)	T _∞ (°C)
10:45	3.2	78	28	15:00	1.3	57	33
11:00	4	79	28	15:15	2.8	56	37
11:15	1.5	78	29	15:30	2.2	57	36
11:30	2	77	28	15:45	4.6	57	35
11:45	2.4	74	28	16:00	2.4	57	36
12:00	3	74	29	16:15	5	57	37
12:15	2	68	30	16:30	4.5	49	36
12:30	1.4	75	31	16:45	1.2	55	36
12:45	1.5	75	34	17:00	3.2	55	37
13:00	2.8	76	36	17:15	1.5	61	34.5
13:15	3	68	34.5	17:30	5.5	64	34
13:30	2.2	63	36	17:45	3.4	62	34
13:45	2	61	34	18:00	2	67	32
14:00	1.7	60	34	18:15	3	67	32.5
14:15	3.6	59	34	18:30	1.8	72	29
14:30	1.5	58	32	18:45	3.5	80	29
14:45	2	55	34	19:00	1.9	84	28

Çizelge 4.11 PV-T panelin ön ve arka yüzünün alt ve üst noktalarından alınan veriler (26 Haziran 2019).

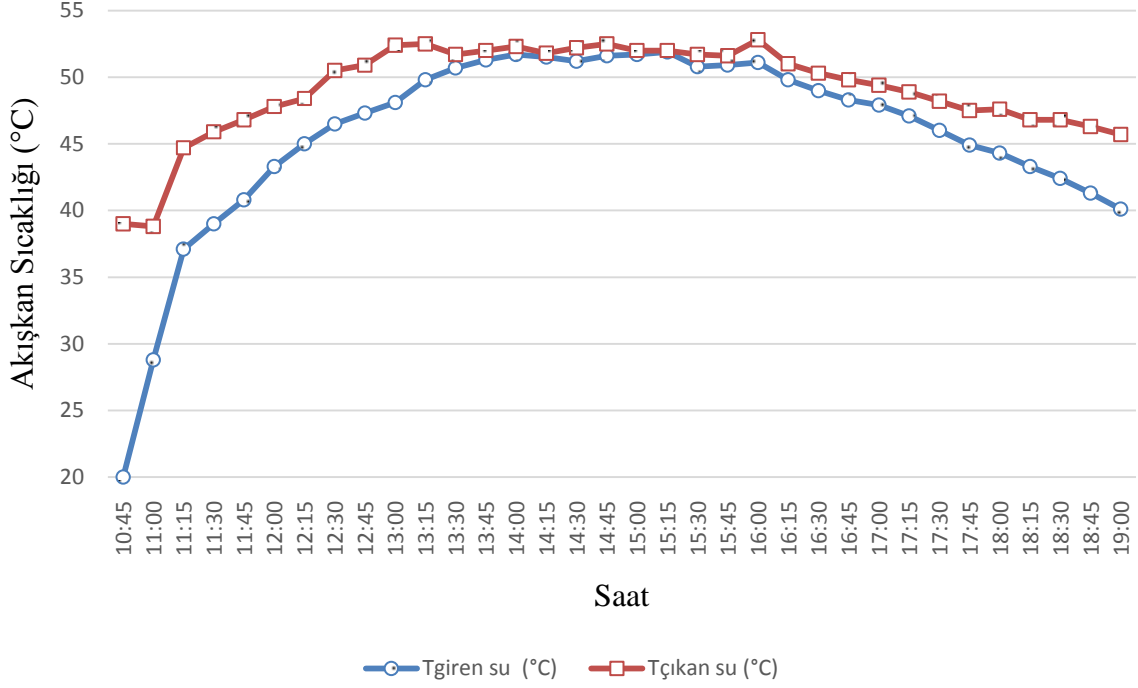
Saat	T _{ön,üst} (PV-T) (°C)	T _{ön,orta} (PV-T) (°C)	T _{ön,alt} (PV-T) (°C)	T _{arka,üst} (PV-T) (°C)	T _{arka,orta} (PV-T) (°C)	T _{arka,alt} (PV-T) (°C)
10:45	35.3	31.9	27.4	36	34	30.4
11:00	39.8	33.8	30.7	42	37.1	34.3
11:15	45.2	42.5	36.7	47.6	44.4	41.4
11:30	47.8	44.1	39.5	49	46.7	42
11:45	50.6	46.9	42.1	52	49	45.7
12:00	52.7	50	44.5	54	52	48
12:15	54	51.3	45.4	53.2	53	49.1
12:30	54.4	51.5	46.8	55.1	53.6	49.3
12:45	56.5	53.3	48.7	58	55	52.2
13:00	57.1	53.6	49.8	57.5	55.6	52.3
13:15	58.1	54	50.2	58	56.8	52.9
13:30	59	55.7	51	59.3	57.5	54.3
13:45	58.3	56	51.4	58.5	56.1	53.8
14:00	58.1	56	51.3	57.9	56.1	53.3
14:15	59	57	52.9	58.9	58.4	54.3
14:30	58.6	55	52.7	59.3	56.4	54.7
14:45	59.4	56.3	52.7	57.9	57.3	54.5
15:00	59	56.6	52.6	58.7	57.5	54.5
15:15	56.9	55	50.8	55.9	53.8	51.3
15:30	56.2	54.1	50.9	55.4	55	52.3
15:45	54.7	52.2	49.1	54.3	52.6	50.8
16:00	53.1	51.3	48	51.6	51.4	48.7
16:15	52.2	50.8	47.9	50.7	51.2	48.4
16:30	52	51	46.3	49	50.9	47
16:45	50.8	50.1	46.5	50	50.4	46.6
17:00	49.1	48.6	44.5	48.4	48.8	45.6
17:15	45	44.1	42	44.4	43.5	42.7
17:30	42.3	41	40.6	41.8	41.6	41.5
17:45	41.5	41.3	40	42	41.7	39.9
18:00	38.7	37.7	37.1	38.5	38.5	37.7
18:15	36.9	36.8	35.5	36.7	37	36.1
18:30	34.1	34.3	33.1	32.4	34.3	32.7
18:45	32.1	32	31.7	32.1	32.3	32.1
19:00	30.6	30.5	30.7	30.9	30.8	31.1



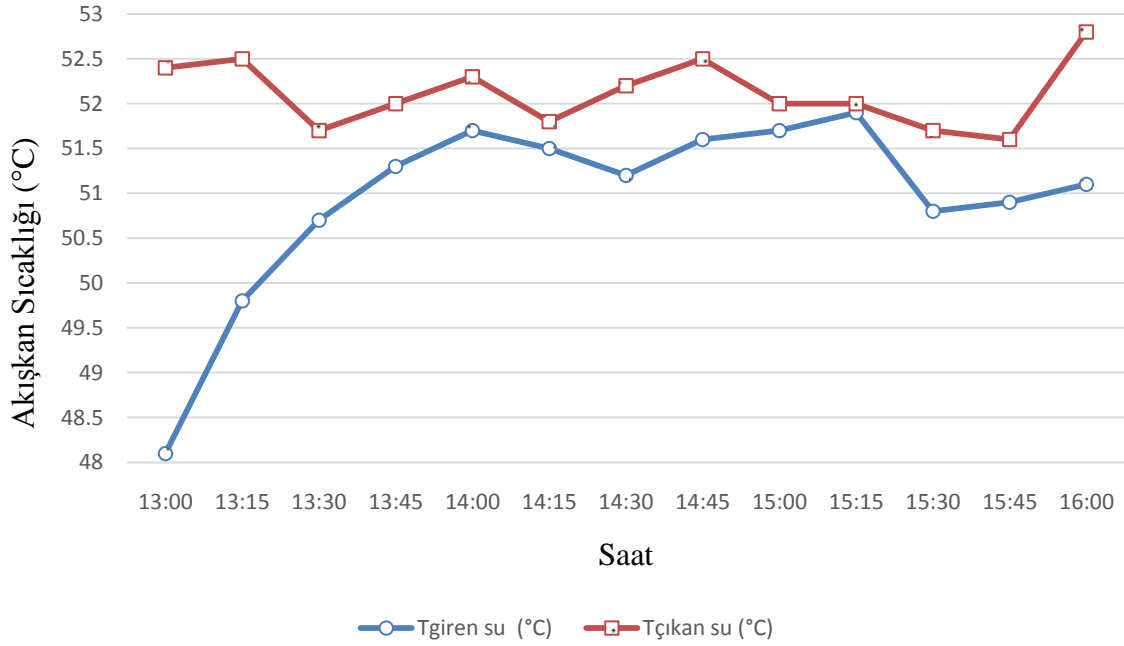
Şekil 4.14 PV ve PV-T sistemlerinin gerilim değerlerinin zamanla değişimi (26 Haziran 2019).



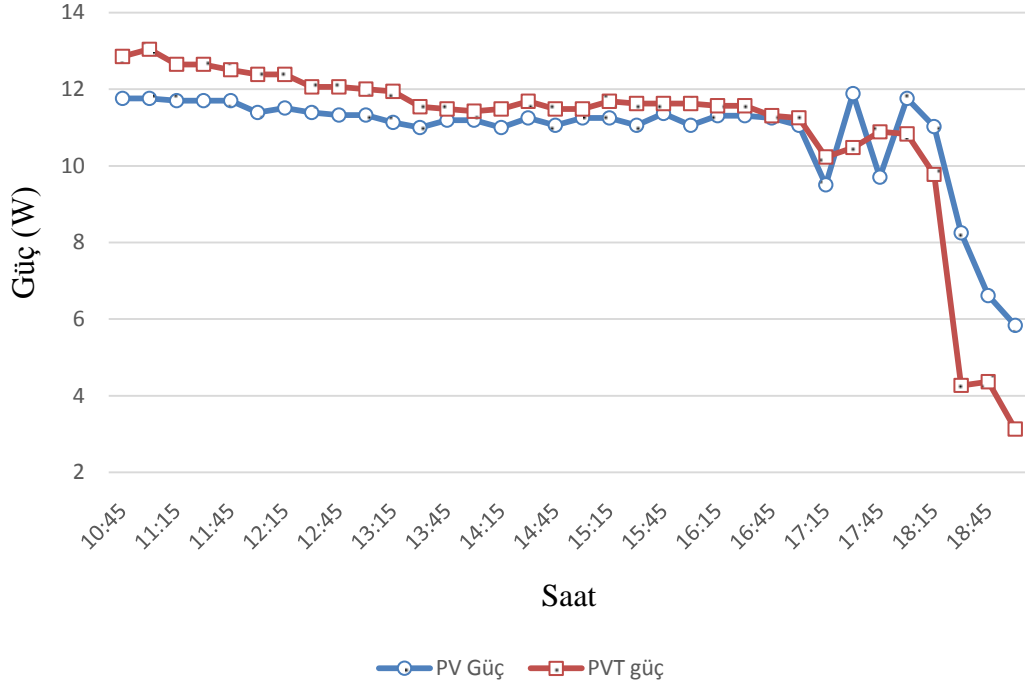
Şekil 4.15 PV ve PV-T sistemlerinin akım değerlerinin zamanla değişimi (26 Haziran 2019).



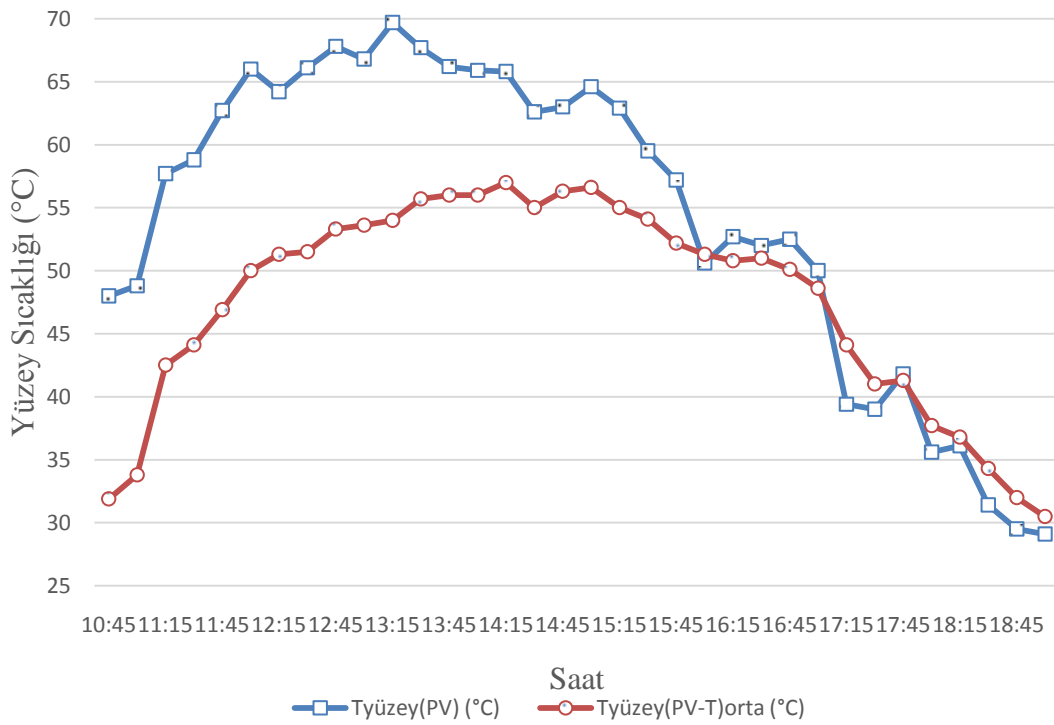
Şekil 4.16 PV-T sistemine dolaşan soğutma suyunun panele giriş ve çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması (26 Haziran 2019).



Şekil 4.17 Saat 13:00 ile 16:00 arasında PV-T sistemine dolaşan soğutma suyunun panele giriş ve çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması (26 Haziran 2019).



Şekil 4.18 PV ve PV-T sistemlerinin elektriksel güçlerinin karşılaştırılması (26 Haziran 2019).



Şekil 4.19 PV ve PV-T sistemlerinin yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması (26 Haziran 2019).

4.5 13 EKİM 2019 PAZAR GÜNÜ ALINAN DEĞERLER

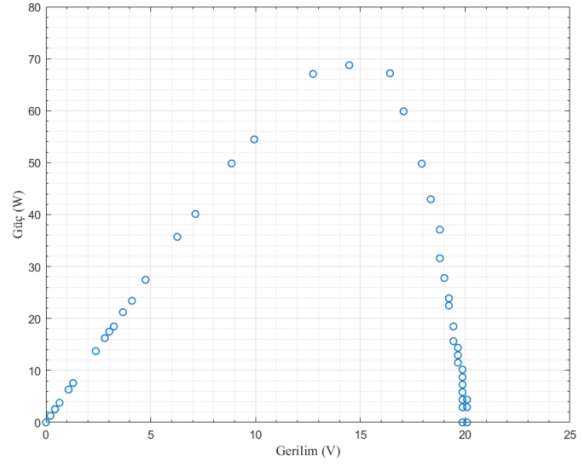
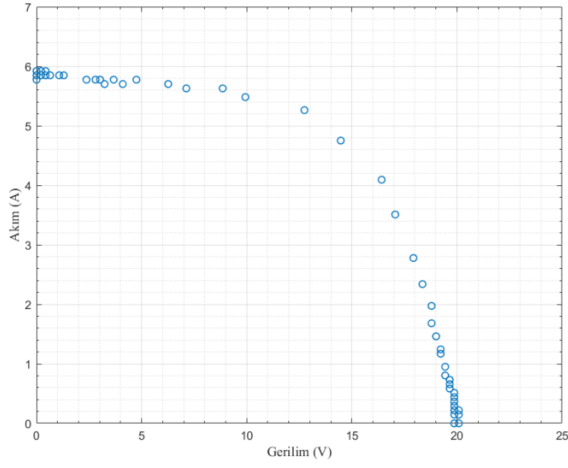
Bu tarihte yapılan deneylerde, önceki deneylerde bulunmayan cihazlar kullanılmıştır. Bunlar; güneşten gelen ışınım şiddetini ölçmeye yarayan piranometre (Şekil 3.27), analog sinyal kayıt arabirimi (Şekil 3.28), PV Test kartı (Şekil 3.29) ve gelen verileri kaydetmek üzere bilgisayar.

Piranometre düzlemsel bir güneş hücresi ve üzerinde yarıküresel koruyucu camdan oluşmaktadır. Kullanılan cihaz $0.25 \mu\text{m}$ (mikrometreden) $1.15 \mu\text{m}$ 'ye kadar bir spektrum aralığında güneşten ve gökyüzünden gelen ışınımı ölçebilmektedir. Güneş hücresi gelen ışınım ile orantılı bir şekilde gerilim üretmektedir. Kullanılan piranometre için bu değer bir metrekareye düşen her watt başına $68.18 \mu\text{V}$ 'dur ($68.18 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$). Doğruluğu, gün boyu ölçümde $\pm\%3$, anlık ölçümlerde ise $\pm\%5$ 'dir. Cihazın özellikleri EK-1'de verilmiştir.

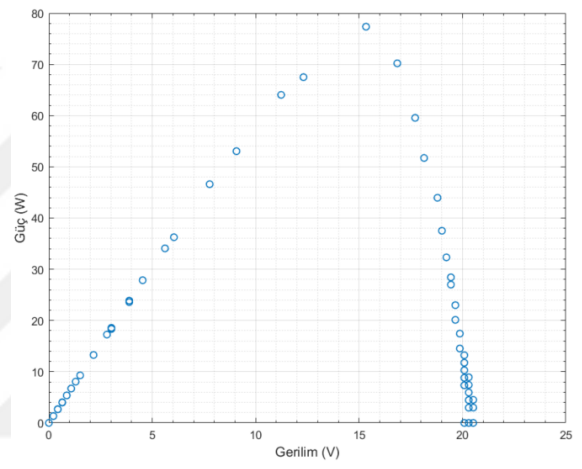
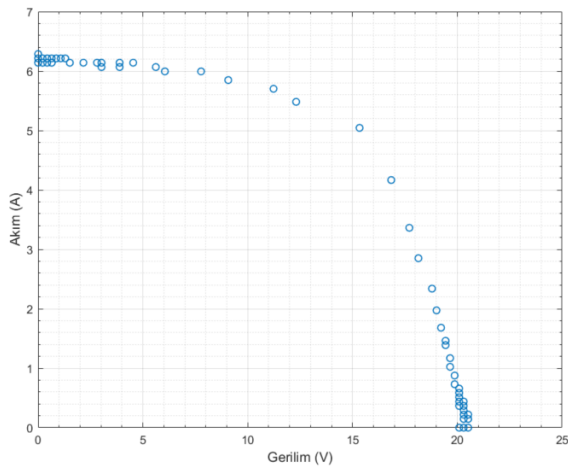
Analog sinyal kayıt arabirimi, birbirinden bağımsız olarak 8 farklı analog fiziksel büyüklüğü aynı anda kabul eden ve bunları dijital veriye dönüştüren bir cihazdır. Cihaz özellikleri EK-2'de görülebilir. Bu çalışmada panellerin arka yüzeyinde üçer farklı noktadan olmak üzere toplam altı noktadan ısı çiftleri yardımıyla sıcaklık değerleri okunmuş ve bu cihaz üzerinden bilgisayara aktarılmıştır. Ayrıca piranometrenin ürettiği gerilim de bu cihaz üzerinden bilgisayara aktarılarak kaydedilmiştir.

PV Test kartı, bu amaç için özel olarak tasarlanıp imal edilmiş bir kart olup, PV'nin Akım-Gerilim ilişkilerini kaydedip analiz etmektedir. Böylece güneşin durumuna göre en yüksek gücün hangi akım-gerilim değerleri için elde edilebileceğini göstermektedir.

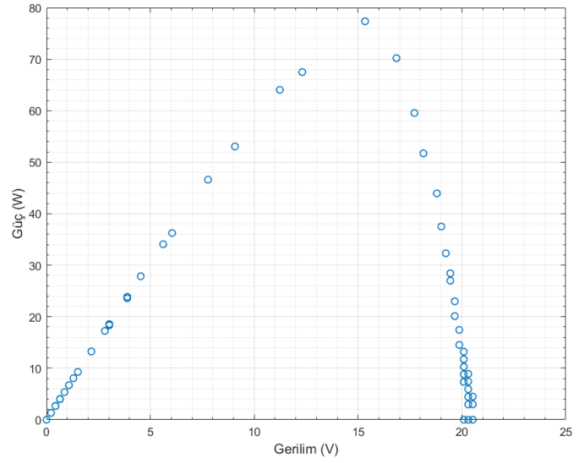
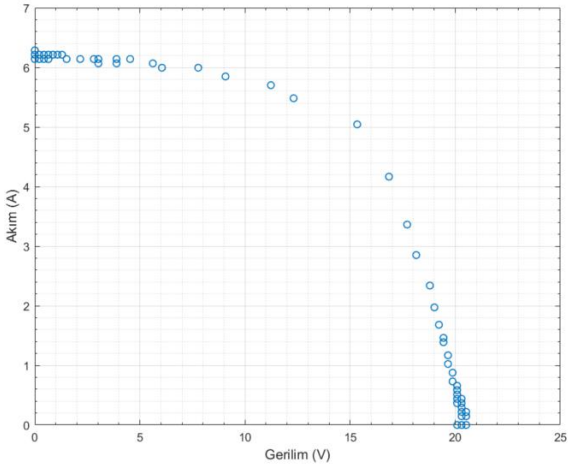
13 Ekim 2019 Pazar günü, sisteme piranometre bağlanarak deneyler yapılmıştır. Daha önce elle yapılan akım, gerilim ve sıcaklık ölçüm okumaları veri toplama aygıtı ile yapıp doğrudan bilgisayara kaydedilmiştir. Bu verilerle PV ve PV-T'nin karakteristik eğrileri elde edilmiştir. PV ve PV-T sistemleri için akım şiddeti, gerilim farkı ve maksimum güç değerleri kaydedilmiştir. Burada örnek olarak PV için saat 11:30, 12:30 ve 13:30 için Akım-Gerilim, Güç-Gerilim grafikleri verilmiştir (Şekil 4.20). Aynı şekilde PV-T için de saat 11:00, 12:40 ve 13:00 için aynı grafikler verilmiştir (Şekil 4.21).



Saat 11:30

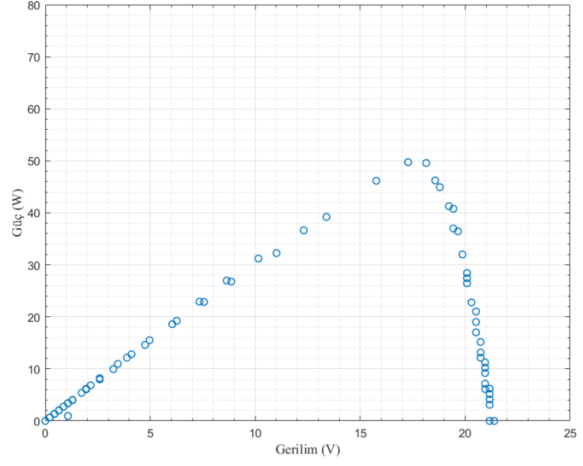
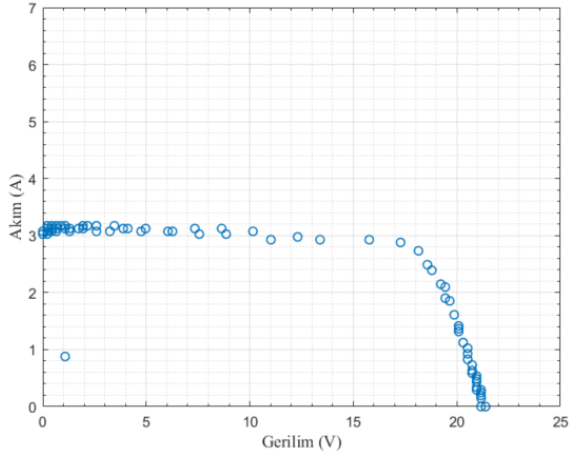


Saat 12:30

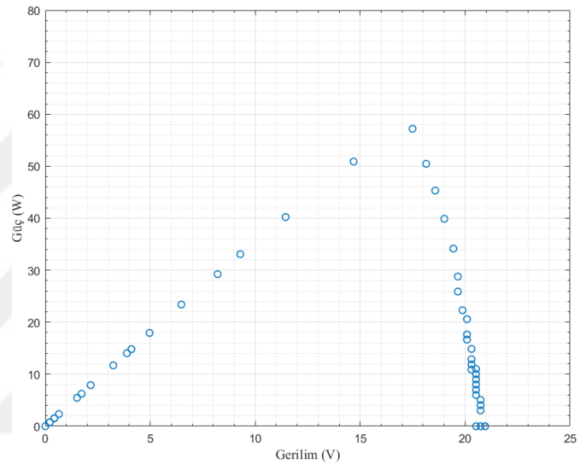
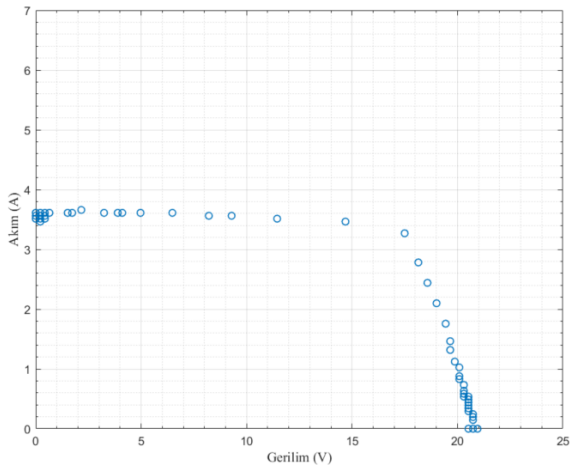


Saat 13:30

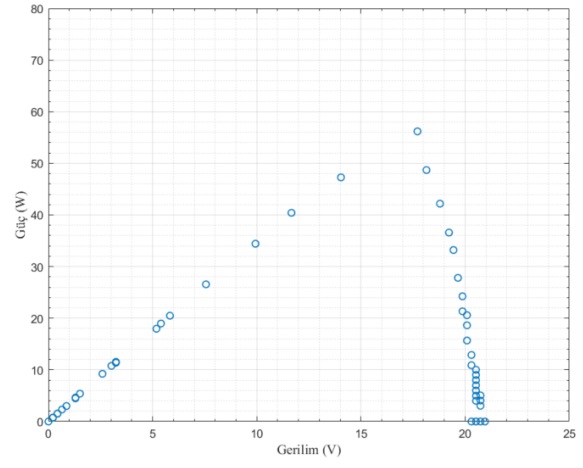
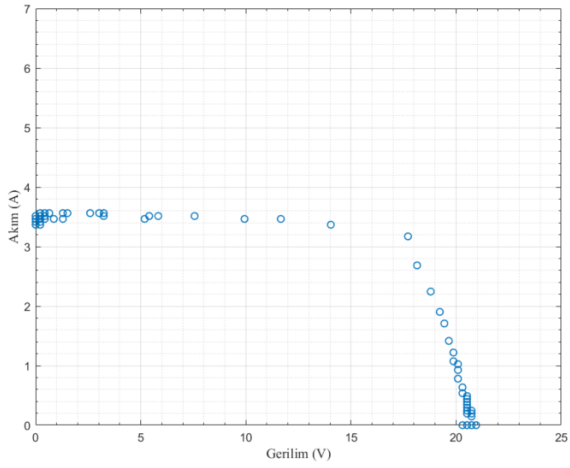
Şekil 4.20 Üç farklı saat için PV Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim ilişkisi.



Saat 11:00



Saat 12:40



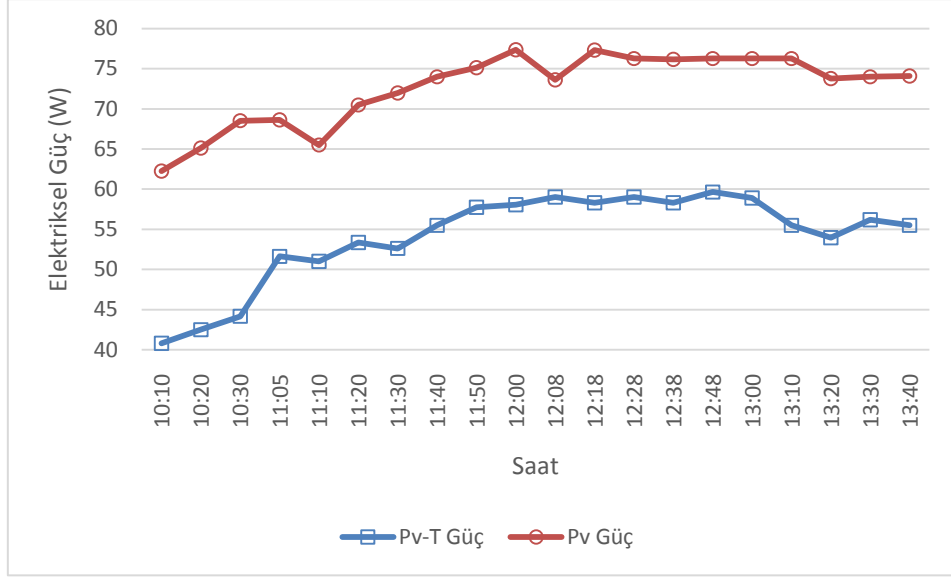
Saat 13:00

Şekil 4.21 Üç farklı saat için PV-T Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim ilişkisi.

PV Test kartları ekranından okunarak kaydedilen PV ve PV-T sistemlerinin max. elektriksel güçler ile akım şiddeti değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Buradaki max. güç değerlerinin deney süresi içindeki değişimi Şekil 4.22’de görülmektedir.

Çizelge 4.12 PV ve PV-T panelden alınan veriler (13 Ekim 2019).

Saat	PV-T		PV	
	Max. Güç (W)	Akım (A)	Max. Güç (W)	Akım (A)
10:10	40.79	2.19	62.24	3.94
10:20	42.5	2.34	65.13	4.02
10:30	44.17	2.43	68.52	4.31
11:05	51.6288	3.0256	68.6374	4.6053
11:10	50.9964	2.8792	65.4953	4.4591
11:20	53.3681	2.9768	70.4848	4.5322
11:30	52.6197	3.1232	71.9674	4.8935
11:40	55.4973	3.172	73.9901	4.8246
11:50	57.7425	3.2208	75.1111	5.1901
12:00	58.0587	3.3184	77.3532	5.0439
12:08	59.0284	3.415999	73.6111	4.6053
12:18	58.2906	3.416	77.3059	4.9708
12:28	59.0285	3.416	76.2638	5.117
12:38	58.2906	3.416	76.169	5.2632
12:48	59.6398	3.3672	76.2638	5.0439
13:00	58.9125	3.3672	76.2638	5.0439
13:10	55.4973	3.172	76.2638	5.117
13:20	53.9689	3.1232	73.769	4.6784
13:30	56.1825	3.172	73.99	4.8246
13:40	55.4973	3.172	74.0848	4.9708

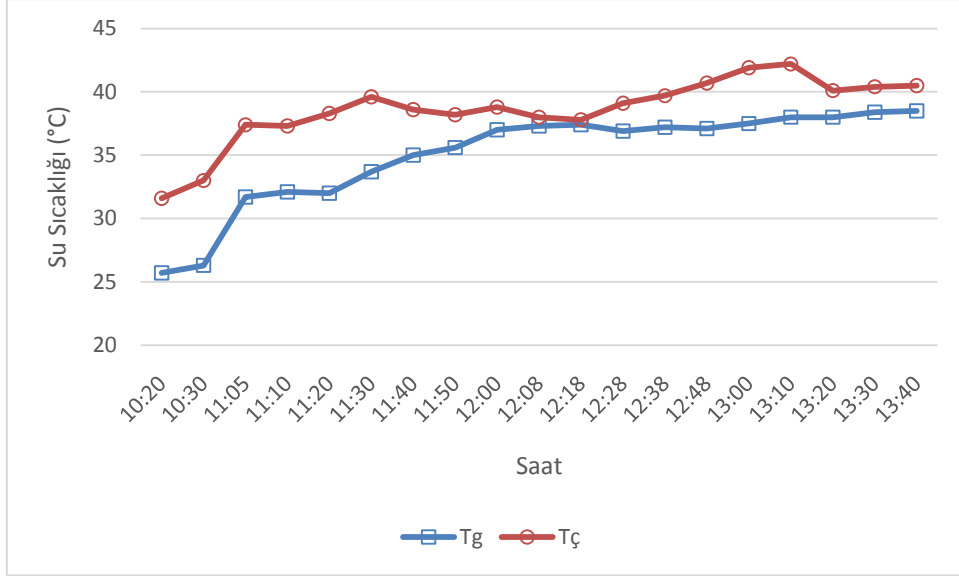


Şekil 4.22 PV ve PV-T'nin max. elektriksel güç değerlerinin zamanla değişimi (13 Ekim 2019).

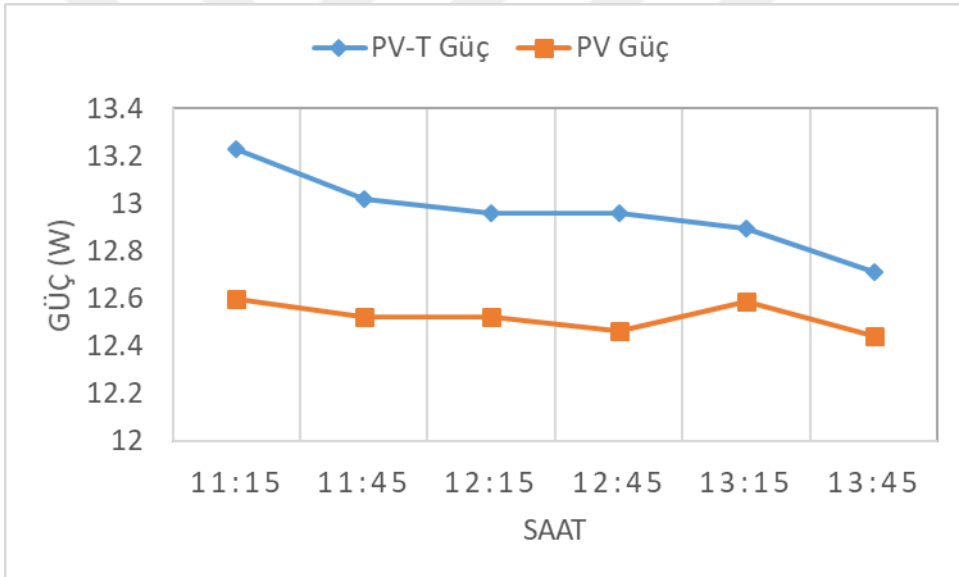
PV Test kartına paralel olarak, PV ve PV-T üzerinden multimetreler ve dijital termometrelerle yapılan ölçümler ve hesaplanan güç değerleri Çizelge 4.13'te verilmiştir. Bu çizelgedeki su sıcaklığının değişimi Şekil 4.23'de, yük üzerinde ölçülen akım ve gerilim değerleri ile hesaplanan güç değerleri Şekil 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.13 PV ve PV-T üzerinden multimetreler ve dijital termometrelerle yapılan ölçümler ve hesaplanan güç değerleri (13 Ekim 2019).

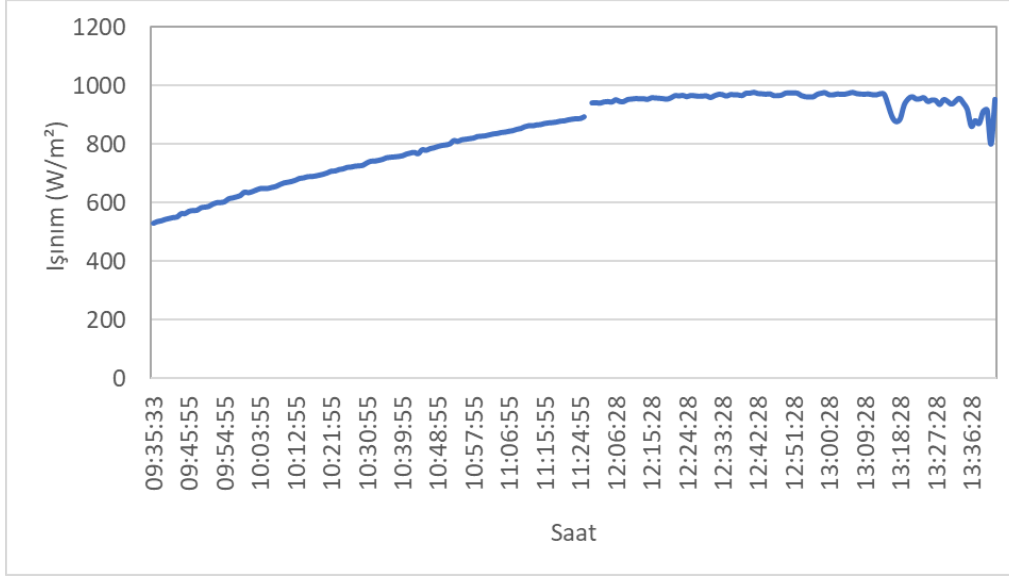
Saat	T_g (°C)	T_c (°C)	PV-T			PV		
			Gerilim (volt)	Akım (amper)	Güç (watt)	Gerilim (volt)	Akım (amper)	Güç (watt)
11:15	32.6	37.3	21	0.63	13.23	20	0.63	12.6
11:45	35.5	38.6	21	0.62	13.02	20.2	0.62	12.524
12:15	37.4	37.8	20.9	0.62	12.958	20.2	0.62	12.524
12:45	36.8	40.2	20.9	0.62	12.958	20.1	0.62	12.462
13:15	38	40.5	20.8	0.62	12.896	20.3	0.62	12.586
13:45	38.8	40	20.5	0.62	12.71	20.4	0.61	12.444



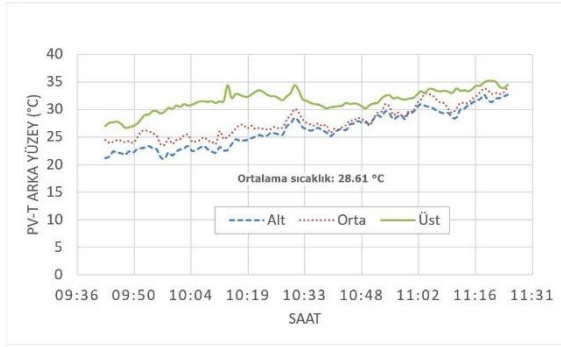
Şekil 4.23 PV-T sisteminde dolaşan soğutma suyunun panele giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimi (13 Ekim 2019).



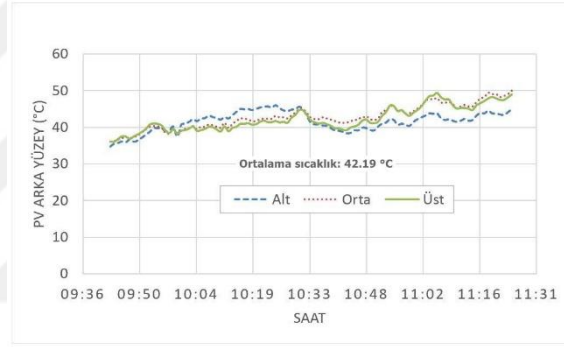
Şekil 4.24 PV-T ve PV’de üretilen elektriksel gücün deney süresi içinde zamanla değişimi (13 Ekim 2019).



Şekil 4.25 Piranometre ile ölçülen gelen ışınım şiddeti değerleri.

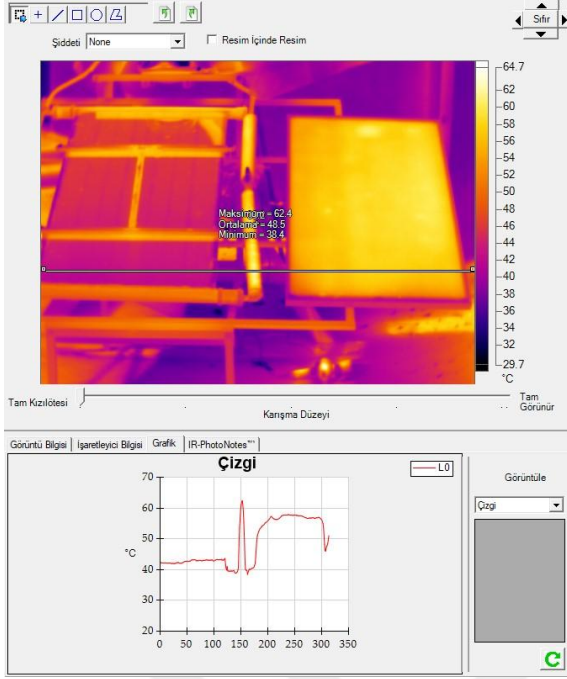


(a)

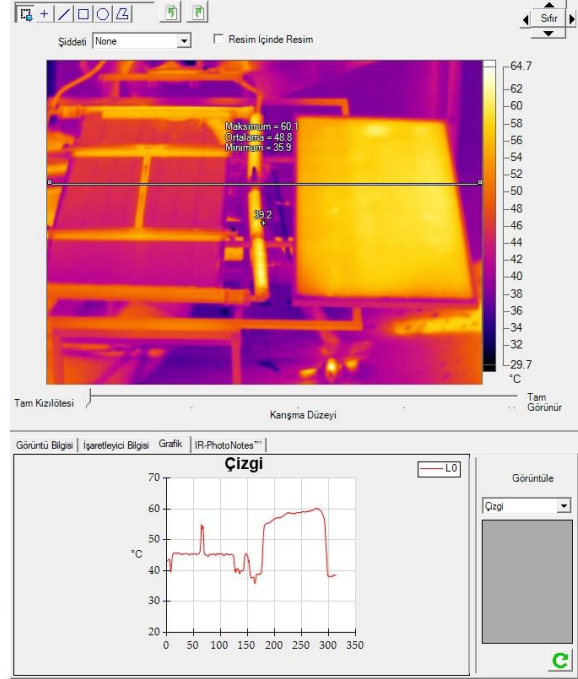


(b)

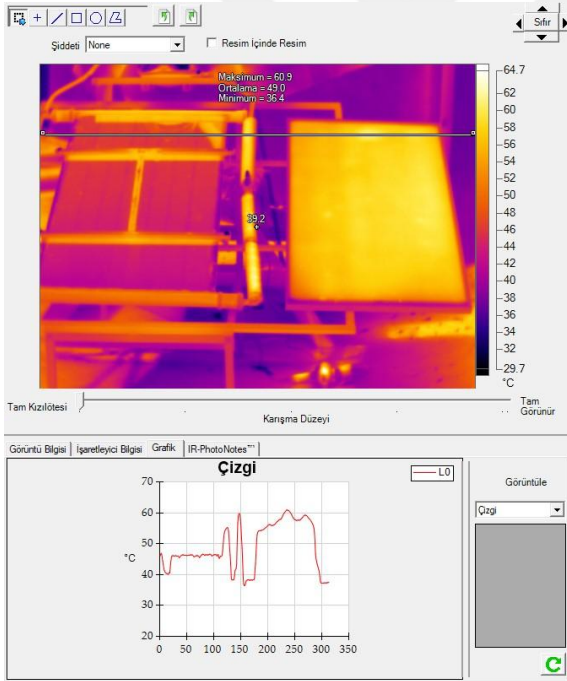
Şekil 4.26 PV-T ve PV panellerin arka yüzeyinde; alt, orta ve üst kısım sıcaklıkları, PV-T (a), PV (b).



(a) Alt



(b) Orta



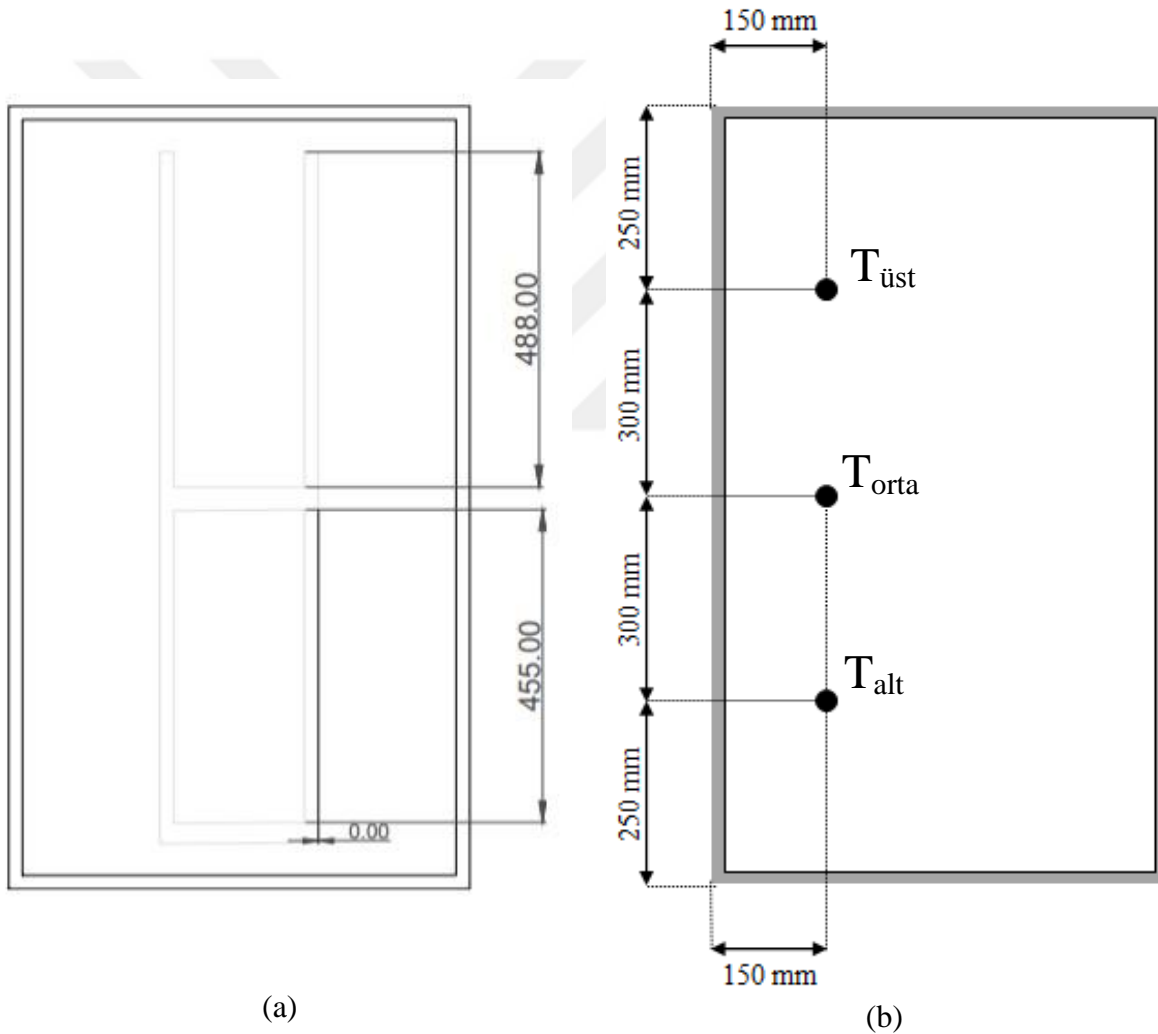
(c) Üst

Konum	Yaklaşık Sıcaklıklar		ΔT (K)
	PV-T (°C)	PV (°C)	
Alt	43	56	13
Orta	45	58	13
Üst	47	59	12
Ortalama sıcaklık farkı:			12.67

Şekil 4.27 Termal kamera ile panel yüzey sıcaklıklarının tespiti. Alt (a), Orta (b), Üst (c).

Şekil 4.29’de sistemin önden görünüşü üzerinde PV-T’de dolaşan suyun depoya giriş ve çıkış sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü noktalar gösterilmiştir.

PV-T sisteminin arka yüzeyine yerleştirilen kafes sistemi de ölçüleri ile birlikte Şekil 4.30 (a)’da gösterilmiştir. Kafes sistemini oluşturan profillerin genişlikleri dikeyde 20 mm ve yatayda 30 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. PV-T sistemi panelinin sol alt kenarından 15 cm sağa ve 25 cm yukarı ve aynı şekilde sol üst köşesinden 15 cm sağa ve 25 cm aşağıdaki noktalardan panelin arka ve ön yüzeylerinin sıcaklıkları okundu ve panel içi sıcaklık değişimleri not alındı (Şekil 4.30 (b)).



Şekil 4.30 Panelin arkasına, bombeleşmeyi önlemek amacıyla yerleştirilen metal profil ölçüleri (a), PV-T sistem yüzey sıcaklıklarının okunduğu noktalar (b) (Ölçüler mm).

4.7 DENEY SONUÇLARIYLA YAPILAN HESAPLAMALAR

26 Haziran 2019 Çarşamba günü 7 saat boyunca alınan değerler (11:00 ila 18:00 saatleri arası) ile yapılan hesapta PV sistemden üretilen elektriksel güç ortalaması Excel tablosundan 11.22 W olarak hesaplanmıştır. PV-T sistemden üretilen elektriksel güç ise 11.687 W'dır.

Bu değerler, $W = V \cdot I$ formülünden hesaplanmıştır.

Aynı zamanda 7 saat boyunca PV-T sistemdeki suyun aldığı ısı enerjisi,

$$Q_{\text{termal}} = m \cdot C_p (T_{\text{son}} - T_{\text{ilk}})$$

Formülünden,

$$Q_{\text{termal}} = 16(\text{kg}) \times 4.18\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)(45.95 - 28.8)(\text{°C}) = 1146.992 \text{ kJ} = 1146992 \text{ Jolarak bulunur.}$$

(Not: $m = 16 \text{ kg}$, $C_p = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, $T_{\text{ilk}} = 28.8 \text{ °C}$, deneye başlandığı anda tankta bulunan suyun ilk sıcaklığı (saat 11:00), $T_{\text{son}} = 45.95 \text{ °C}$, 7 saatin sonunda $T_g = 44.3 \text{ °C}$ ve $T_ç = 47.6 \text{ °C}$ sıcaklıklarının ortalaması olarak alınmıştır (saat 18:00).

7 saat = $7 \times 60 \times 60 = 25,200$ saniye o halde PV-T sistem için ;

$$\dot{Q}_{\text{termal}} = 1146.92 \text{ kJ} / 25,200 \text{ s} = 0.04552 \text{ kW} = 45.52 \text{ W}$$

$W_{e(\text{PV-T})} = 11.687 \text{ W}$ idi. O halde toplam güç,

$$P_{\text{top}} = W_{e(\text{PV-T})} + \dot{Q}_{\text{termal}} = 11.687 \text{ W} + 45.52 \text{ W} = 57.21 \text{ W}$$

olarak bulunur.

PV sistemi için, $P_{e(\text{PV})} = 11.22 \text{ W}$ idi. Bunun 7 saat boyunca vereceği enerjinin ısı eşdeğeri,

$$11.22 \text{ W} \times 25200 \text{ s} = 282744 \text{ J'dur.}$$

PV-T sistemi elektrik gücü 11.687 W idi. Sistemin 7 saatte vereceği ısı enerjisi;

$$11.687 \text{ W} \times 25200 \text{ s} = 294512.4 \text{ J'dür.}$$

Bu değer yukarıda verilen ısı enerji değeriyle toplandığında,

$294512.4 \text{ J} + 1146920 \text{ J} = 1441432.4 \text{ J}$ olarak 7 saat boyunca elde edilen toplam enerji bulunmuş olur.

Verimlerin hesaplanması için ışıınım değeri bilinmelidir. Zonguldak ili için bir günde 5900 Wh/m^2 -gün ışıınım vardır. Güneşlenme süresi de 9.83 saat olduğu için bir saatte ne kadar ışıınım olduğu hesaplanmıştır.

$$I_{\text{ışıınım}} = 5900 / 9.83 = 600.2 \text{ W/m}^2$$

PV panelde 7 saat boyunca anlık akım değerlerinin ortalaması $I = 0.58 \text{ A}$ ve anlık gerilim değerlerinin ortalaması $V = 19.4 \text{ V}$

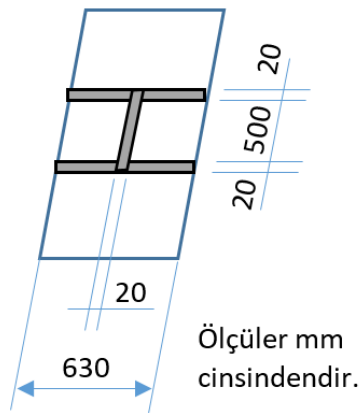
Panel boyutları $1.074 \text{ m} \times 0.631 \text{ m}$ 'dir.

$$A_{\text{PV}} = 1.074 \text{ m} \times 0.631 \text{ m} = 0.6777 \text{ m}^2$$

PVT panelin güneş ışıınımına maruz kalan net alanı; panel üzerine camın bombeleşmesini önlemek amacıyla yerleştirilen ve ölçüleri Şekil 4.31'de verilen metal profillerin alanı çıkarılarak,

$$A = 1.074 \times 0.631 - (1.76 \times 0.02) = 0.6425 \text{ m}^2$$

Olarak bulunur.



Şekil 4.31 Panel üzerine, camın bombeleşmesini önlemek amacıyla yerleştirilen metal profil ölçüleri.

PV paneli için verim hesabı:

$$\eta_{PV} = \frac{V \cdot I}{A_{PV} \cdot I_{ış}}$$

$$\eta_{PV} = \frac{19.4 \times 0.58}{0.6777 \times 600.2} = 0.0277 = \%2.77$$

PV-T sistem için de verim hesabı:

PV-T sistemde 7 saat boyunca anlık akım değerlerinin ortalaması $I = 0.59$ A ve anlık gerilim değerlerinin ortalaması $V = 19.83$ V'dur

$$\eta_{PV-T} = \frac{\dot{m}C_p\Delta T + VI}{A_{PV-T} \times I_{ış}}$$

$$\eta_{PV-T} = \frac{45.52 + 19.83 \times 0.59}{0.6425 \times 600.2}$$

$$\eta_{PV-T} = 0.1484 = \%14.84$$

13.10.2019 tarihinde piranometre ile ışınlım değerleri ölçülmüş olup, bu tarih için farklı verim hesapları yapılmıştır.

Saat 12:15 için piranometreden okunan anlık ışınlım değeri $I_{ışınlım} = 958.458$ W/m²'dir.

Saat 12:15 için sisteme bağlı direnç üzerinden okunan akım ve gerilim değerleri ile anlık verim hesabı:

PV paneli için anlık verim, Çizelge 4.13'ten güç değerleri alınarak,

$$\eta_{PV} = \frac{V \cdot I}{A_{PV} \cdot I_{ış}}$$

$$\eta_{PV} = \frac{12.524}{0.6777 \times 958.458} = 0.0193 = \%1.93$$

PV-T paneli için anlık verim,

$$\eta_{PV-T} = \frac{V \cdot I}{A_{PV-T} \cdot I_{ış}}$$

$$\eta_{PV-T} = \frac{12.958}{0.6425 \times 958.458} = 0.0210 = \%2.1$$

Saat 12:15 için sistemin maksimum anlık verimi;

PV paneli için anlık verim, $(V \cdot I)_{max}$ değerleri PV test kartı ile kaydedilen değerler esas alınarak,

$$\eta_{PVe,max} = \frac{(V \cdot I)_{max}}{A_{pv} \cdot I_{ış}}$$

$$\eta_{PVe,max} = \frac{77.3059}{0.6777 \cdot 958.458} = 0.119 = \%11.9$$

PV-T paneli için anlık verim,

$$\eta_{PV-Te,max} = \frac{(V \cdot I)_{max}}{A_{PV-T} \cdot I_{ış}}$$

$$\eta_{PV-Te,max} = \frac{58.2906}{0.6425 \times 958.458} = 0.0947 = \%9.47$$

Burada PV veriminin PV-T'den yüksek çıkmasının nedeni, PV-T üzerindeki destek çubuklarının gölgeleme yapması olarak düşünülmektedir. Paneller üzerinde küçük bir gölgeleme alanı dahi max. güçte alan ile orantılı olmayan ciddi büyüklükte verim kaybına yol açtığı görülmüştür.

Saat 11:15 ila 12:15 arasında sisteme direnç bağlı iken toplam verim hesabı;

Saat 11:15 ila 12:15 arasında piranometre ile ölçülmüş ışınım değerlerinin ortalaması $I_{ışınım} = 920 \text{ W/m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

PV-T sistem verimi:

$$\eta_{PV-T} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T + V \cdot I}{A_{kol} \cdot I_{ış}}$$

$$\eta_{PV-T} = \frac{16 \text{ kg} \times 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (37.8 - 32.6)^\circ\text{C} + 13.07 \text{ W}}{0.6425 \text{ (m}^2) \times 920 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)}$$

$$\eta_{PV-T} = 0.6105 = \%61.05$$

26 Haziran 2019 Çarşamba günü, 7 saat boyunca alınan değerler (11:00 ila 18:00 saatleri arası) ile ön ve arka yüzeylerden taşınım hesabı:

Panelin ön ve arka yüzeyinden taşınım ile olan ısı transferini hesaplamak için (2.10), (2.11), (2.12), (2.13), (2.14), (2.15), (2.16), (2.17) ve (2.18) nolu formüller kullanılacaktır.

Panelin güneşe bakan ön yüzeyinden ve gölgede kalan arka yüzeyinden atmosfer havasına taşınım ile geçen ısı hesabı yapılacaktır.

Panelin ön yüzeyi yukarıya bakan sıcak yüzey, arka ise aşağıya bakan sıcak yüzeydir. Bu durumlar için doğal taşınım ile ısı transferi bağıntıları [32]'den, alınmıştır.

Dış sıcaklık ortalaması $T_{\infty} = 306.6 \text{ K}$ ve PV-T ön yüzey sıcaklık ortalaması $T_{s,\text{ön}} = 323.2 \text{ K}$ olarak ölçülmüştür.

$T_{\infty} = 306.6 \text{ K}$ sıcaklığı için havanın termofiziksel özellikleri [33]:

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \quad \beta = \frac{1}{T_{\infty}} \quad \nu = 16.55 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \quad \alpha = 23.48 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \quad k = 26.78 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}},$$

$Pr = 0.706$

Eğik yüzeylerde doğal taşınım ile ısı geçişi;

(2.11) numaralı formülden

$$Ra_L = \frac{9.81 \times \cos(30) \left(\frac{1}{306.6} \right) (323.2 - 306.6) \times 1.074^3}{16.55 \times 10^{-6} \times 23.48 \times 10^{-6}} = 846626116$$

Deney yapılan günde rüzgâr hızı düşük olduğu için doğal taşınım olduğu kabul edilmiştir.

Ön yüzeyden transfer olan ısı:

$$Nu_L = 0.825 + \left(\frac{0.387 \times (846626116)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.706} \right)^{16} \right]^{1/4}} \right)^2$$

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = 100.3$$

Taşınım katsayısı $h = \frac{26.78 \times 10^{-3}}{1.074} 100.3 = 2.5012 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ olarak bulunur.

(2.9) numaralı denklemde taşınım katsayısını yerine koyarak taşınım ile ön yüzeyden havaya transfer olan ısı miktarı,

$$q_{\text{taşınım}} = h \cdot A_{\text{PV}} (T_{\text{s,ön}} - T_{\infty})$$

$$q_{\text{taşınım}} = 2.5012 \times 0.6777 (323.2 - 306.6)$$

$$q_{\text{taşınım}} = 28.14 \text{ W}$$

Olarak bulunur.

Arka yüzeyden transfer olan ısı;

Dış sıcaklık ortalaması $T_{\infty} = 306.6 \text{ K}$ ve PV-T arka yüzey sıcaklık ortalaması $T_{\text{s,arka}} = 324.25 \text{ K}$ olarak ölçülmüştür.

$$Ra_L = \frac{9.81 \times \cos(30) \left(\frac{1}{306.6} \right) (324.25 - 306.6) \times 1.074^3}{16.55 \times 10^{-6} \times 23.48 \times 10^{-6}} = 900177768$$

$$Nu_L = 0.825 + \left(\frac{0.387 \cdot (900177768)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.706} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = 102.36$$

$$\text{Taşınım katsayısı } h = \frac{26.78 \times 10^{-3}}{1.074} 102.36 = 2.5524 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \text{ olarak bulunur.}$$

(2.9) numaralı denklemde taşınım katsayısını yerine koyarak taşınım ile arka yüzeyden havaya transfer olan ısı geçişi bulunur.

$$q_{\text{taşınım}} = h \cdot A_{\text{PV}} (T_{\text{s,arka}} - T_{\infty})$$

$$q_{\text{taşınım}} = 2.5524 \times 0.6777 (324.25 - 306.6)$$

$$q_{\text{taşınım}} = 30.53 \text{ W}$$

(Taşınım hesabında, panel ön ve arka yüzeyindeki kafes sistemlerin olmadığı kabul edilerek hesaplama yapılmıştır.)

Panellerin yatay olduğu kabulü ile doğal taşınım ile ısı geçişi;

(2.14) numaralı formülden ön yüzey için,

Karakteristik boy olarak (Eşitlik 2.15)'den

$$L_c = \frac{A_S}{P} = \frac{1.074 \times 0.631}{2(1.074 + 0.631)} = 0.19874 \text{ m olarak bulunur. Bu değer ile,}$$

$$Ra_L = \frac{9.81 \left(\frac{1}{306.6} \right) (323.2 - 306.6) \times 0.19874^3}{16.55 \times 10^{-6} \times 23.48 \times 10^{-6}} = 10729135$$

olarak bulunur.

$T_\infty = 306.6 \text{ K}$ sıcaklığı için hava özellikleri [26]

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, \beta = \frac{1}{T_\infty} \nu = 16.55 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \alpha = 23.48 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, k = 26.78 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

Hesaplanan Ra_L sayısı değeri $10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$ aralığında kaldığından panelin ön yüzeyinden doğal taşınım için

$$Nu_L = 0.15 Ra_L^{1/3}$$

Bağıntısı kullanılır [32].

Deney yapılan günde rüzgar hızı düşük olduğu için doğal taşınım olduğu kabul edilmiştir.

Ön yüzeyden transfer olan ısı:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = 0.15 \times 10729135^{1/3} = 3.083$$

$$\text{Taşınım katsayısı } h = \frac{26.78 \times 10^{-3}}{0.19874} \times 3.083 = 4.458 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \text{ olarak bulunur.}$$

(9) numaralı denklemde taşınım katsayısını yerine koyarak taşınım ile ön yüzeyden havaya geçen ısı miktarı bulunur

$$q_{\text{taşınım}} = h A_{PV} (T_{s,\text{ön}} - T_\infty)$$

$$q_{\text{taşınım}} = 4.458 \times 0.6777(323.2 - 306.6)$$

$$q_{\text{taşınım}} = 50.15 \text{ W}$$

(2.14) numaralı formülden arka yüzey için,

$$Ra_L = \frac{9.81 \left(\frac{1}{306.6} \right) (324.25 - 306.6) \times 0.19874^3}{16.55 \times 10^{-6} \times 23.48 \times 10^{-6}} = 11407785$$

Hesaplanan Ra_L sayısı değeri $10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$ aralığında kaldığından panelin arka yüzeyinden doğal taşınım için

$$Nu_L = 0.15 Ra_L^{1/3}$$

Bağıntısı kullanılır [32].

Dış sıcaklık ortalaması $T_\infty = 306.6 \text{ K}$ ve yüzey sıcaklık ortalaması $T_s = 324.25 \text{ K}$ olarak ölçülmüştür.

$$Nu_L = 0.15 \times Ra_L^{1/3} = 0.15 \times 11407785^{1/3} = 33.77$$

$$\text{Taşınım katsayısı } h = \frac{26.78 \cdot 10^{-3}}{0.19874} \times 33.77 = 4.55 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \text{ olarak bulunur.}$$

$$q_{\text{taşınım}} = h A_{PV} (T_{s,\text{arka}} - T_\infty)$$

$$q_{\text{taşınım}} = 4.55 \times 0.6777 \times (324.25 - 306.6)$$

Arka yüzeyden havaya geçen ısı,

$$q_{\text{taşınım}} = 54.43 \text{ W}$$

PV hücreden çevreye olan ısı kaybı 1.5 m/s rüzgâr hızına bağlı olarak ayrıca hesaplanmıştır.

Formül (2.10)'dan $v_r = 1.5 \text{ ms}^{-1}$ için PV-T ön ve arka yüzey için doğal taşınım ile ısı geçişi hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

$$\text{Taşınım katsayısı } h = 2.8 + (3.0 \times 1.5) = 7.3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \text{ olarak bulunur.}$$

Ön yüzeyden havaya geçen ısı transferi;

$$q_{\text{taşınım}} = h A_{PV} (T_{s,\text{ön}} - T_{\infty})$$

$$q_{\text{taşınım}} = 7.3 \times 0.6777 \times (323.2 - 306.6)$$

$q_{\text{taşınım}} = 82.12 \text{ W}$ olarak bulunur.

Arka yüzeyden havaya geçen ısı transferi;

$$q_{\text{taşınım}} = h A_{PV} (T_{s,\text{arka}} - T_{\infty})$$

$$q_{\text{taşınım}} = 7.3 \times 0.6777 \times (324.25 - 306.6)$$

$q_{\text{taşınım}} = 87.32 \text{ W}$ olarak bulunur.

Panellerin 30° eğimli ve yatay olması durumları için doğal taşınım, ve 1.5 m/s hızla rüzgar esmesi durumunda zorlanmış taşınım ile ısı kayıpları hesaplandığında, değerin 28 W'tan 87 W'a kadar değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Detaylı enerji analizinde hangi durumun gerçekçi olduğu hususuna dikkat edilmelidir. Bu analiz işlemi çalışmaya dahil edilmemiştir.



BÖLÜM 5

SONUÇ

5.1 DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

PV ve PV-T kolektörlerin performanslarını belirleyebilmek, detaylı enerji analizlerini ve karşılaştırmaları yapabilmek amacıyla Zonguldak'ta, 2019 yılının 23,24 ve 26 Haziran ile 13 Ekim tarihlerinde deneyler yapılmış, veriler kayıt edilmiş ve bu verilerle hesaplamalar yapılmıştır.

23 Haziran 2019 Pazar günü saat 08:20 – 12:10 arasında 10 dakika aralıklar ile ölçümler yapılmıştır. Bu saatler arasında yapılmış çalışmada PV ve PV-T sistemin elektriksel güç grafikleri çıkarılmıştır. PV sistemde en çok elektriksel güç saat 11:00'da 12.3 W olarak bulunmuştur. PV- T sistem de en çok elektriksel güç ise 13.17 W olarak bulunmuştur. PV-T sistem PV sisteme göre güneş ışınımının etkili olduğu saatlerde daha fazla elektriksel güç üretirken saat 11:40'dan sonra PV-T sistemin elektriksel gücü PV sisteme göre azalmaya başlamıştır. Saat 12:00-12:10 arasında sistem en düşük güçlerini üretmiş. (PV-T = 3.65 W, PV = 5.05 W). Güneş ışınımının artmaya başlayacağı saatlerde güç üretiminin azalmaya başlamasının nedeni saat 12:10'dan sonra yağmurun başlamasıdır. PV yüzey sıcaklığının saat 10:40 da 56.1°C' ye kadar yükseldiğini ve o saatlerde PV-T yüzey sıcaklığının 44.5 °C olduğu görülmektedir. PV'lerde panel sıcaklığı artışının, elde edilen elektrik enerjisini azaltmasını önlemek üzere panel yüzeyinden akışkan geçirerek soğutma işleminin olumlu sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Saat 11:40'dan sonra PV-T yüzey sıcaklığı PV yüzey sıcaklığına göre yüksek çıkmıştır. Bu saatten sonra güneş ışınımı azalmış, PV yüzey sıcaklığı düşmüş fakat PV-T sistemin içinde ısınmış su olduğundan PV-T yüzeyini PV sisteme göre sıcak tutmuştur. Sisteme giren su ve sistemden dönen suyun sıcaklıkları incelendiğinde ise 20 °C ile giren su yine güneş ışınımının azaldığı 11:40 saatlerinde 30.3 °C'ye kadar yükselmiş ve saat 11:40'dan sonra su sıcaklığı azalmaya başlamıştır. Sistemden çıkan su ise 26 °C'den 38.2 °C'ye kadar yükselmiştir. Su sıcaklıkları 10 °C – 12 °C arasında yükselmiştir. Panellerin arka

yüzey sıcaklığı ön yüzey sıcaklıklarıyla orantılı olarak değişiklik göstermiş ve güneş ışınımının azaldığı saatlerde PV-T sistemin arka yüzey sıcaklığı PV sisteme göre su sıcaklığının sistemde etkili olmasından dolayı daha yüksek olmuştur.

24 Haziran 2019 Pazartesi günü 10 dakika aralıklar ile 10:10 – 18:30 saatleri arasında yapılan deneye göre ise PV-T sistemde en fazla güç 10:10 saatinde 12.79 W olarak hesaplanmıştır. PV sistemde ise saat 10:30–10:50 saatleri arasında 11.94 W olarak hesaplanmıştır. Güneş ışınımının azaldığı 16:50 saatinden sonra PV sistemde güç üretimi PV-T sisteme göre daha etkili olmuştur. Bunun nedeni panel yüzey sıcaklıklarıyla doğru orantılıdır. Saat 16:50'den sonra PV-T sistemin yüzey sıcaklığı PV sisteme göre daha fazladır. Bunun nedeni güneş ışınımının azalması ve havanın hafif esmeye başlamasıyla PV sistemin yüzey sıcaklığının azalması fakat buna karşılık PV-T sistemindeki suyun birden soğumayıp sıcak kalmasıdır. PV yüzey sıcaklığı sabah saat 10:10'da 58.8 °C iken tam öğle saatlerinde 12:30'da 69.5 °C'ye kadar yükselmiştir. Bu saatlerde PV-T yüzey sıcaklığı saat 10:10'da 39.5 °C ve saat 12:30'da 54.6 °C olarak ölçülmüştür. PV-T sistemin yüzey sıcaklığı bu saatlerde PV sisteme göre 14.9 °C kadar daha düşüktür.

Sisteme giren su saat 10:10'da 28.6 °C iken 13:20'de 50.2 °C'ye kadar yükselmiştir. Sistemden çıkan su ise saat 10:10'da 38.9 °C'den saat 13:10' 53.4 °C'ye yükselmiştir. Panel arka yüzey sıcaklıklarına bakıldığında panel ön yüzey sıcaklığı ile yine doğru orantılı olarak değiştiği ve yine saat 16:50'de, güneş ışınımının azalması ile PV-T sistemin arka yüzey sıcaklığının PV sistemindekinden yüksek olduğu görülmüştür.

PV ve PV-T panellerin hem ön, hem arka yüzeylerinin, üst, orta ve alt kısımları arasında sıcaklık farkının olduğu görülmüştür. Çizelge 4.7, 4.9, 4.11'de ve Şekil 4.27'de verilen termal kamera görüntülerinde verildiği gibi yüzey sıcaklıkları dipten yukarıya doğru artış göstermektedir. Bu farkın sebebi PV yüzeyi boyunca ısınan havanın dipten yukarıya doğru çıkarken yüzeyden olan taşınım ile ısı transferini azaltacak yönde etki etmesidir. PV-T panellerde ise arka yüzeyde ısınan havanın, ön yüzeyde ise hem havanın, hem ısınan suyun yüzeyden ısı transferini azaltmasıdır.

26 Haziran 2019'da 7 saat boyunca yapılan deneylerde sonunda PV sistemde 282744 J enerji elde edilirken, PV-T sistem bu değer 1441432 J olmuştur. Bu sonuçlara göre PV-T sistemden

daha fazla enerji üretildiği görülmektedir. PV yerine önerilen PV-T sisteminin kullanılması halinde $1441432/282744=5.098$ kat daha fazla enerji elde edilmiştir.

Tasarlanan PV-T sistemindeki maksat, PV'nin soğutularak alınan elektriksel gücün artırılması ve aynı zamanda sıcak su üretilmesidir. Yapılan deneyler bu amaca ulaşıldığını göstermektedir. Şekil 4.24'de PV-T ve PV'de üretilen elektriksel gücün deney süresi boyunca değişimi incelendiğinde PV-T'de üretilen gücün PV'de üretilene göre az da yüksek olduğu görülmektedir.

Benzer olarak Şekil 4.26'da PV-T ve PV panellerin arka yüzeyinde; alt, orta ve üst kısım sıcaklıklar ve Şekil 4.27 Termal kamera ile tespit edilen panel ön yüzey sıcaklıkları değerlerine bakıldığında tasarlanan PV-T'nin PV'ye göre yaklaşık 12 K sıcaklık farkı olacak şekilde soğuttuğu görülmektedir.

13 Ekim 2019 günü piranometre ile yapılan güneş ışınım değerleri ölçümü ve sistem üzerinden ölçülen değerlerle, elektriksel güçler esas alınarak yapılan hesaplara göre PV için anlık verim % 1.93 olurken, PV-T için %2.1 olmuştur. PV-T'nin daha yüksek olması gerektiği düşünülmektedir. Ancak PV-T üzerine, camın patlamaması için yerleştirilen destek parçalarının gölgelemesi elektriksel verimini düşürmüştür.

5.2 ÖNERİLER

Bu çalışmada, yeni bir PV-T sistemi önerilmiş ve bunun PV sistemi ile karşılaştırması yapılmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda panel arkasından borular içinde su geçirilen mevcut PV-T sistemleri ile bu çalışmada önerilen, ön yüzeyden su ile soğutulan PV-T sisteminin karşılaştırılması yapılması önerilmektedir. Panel üzerine, camın patlamaması için konulan destek parçalarının şeffaf malzemedan yapılması veya daha küçük ebatlara sahip panellerle gölgeleme yapmaya gerek kalmadan deneylerin yapılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Güneş'in özellikleri ve enerji kaynağı olarak güneş.** (27.06.2019) *Özgür Bilgi Kanalı*. Adres:<https://ozgurlukicin.com/genel/gunesin-ozellikleri-ve-enerji-kaynagi-olarak-gunes/>.
- [2] **Deniz E** (2003) Çift Fazlı Korunmuş Bölgesi Güneşli Su Isıtıcı ile Endirekt Isıtımlı Güneşli Su Isıtıcı Verimlerinin Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 109 s.
- [3] **Güneş enerjisi kullanımının tarihsel gelişimi ve Türkiye'deki yeri.** (27.06.2019) *Güneş Sistemleri*. Adres: <http://www.gunessistemleri.com/tarihsel.php>.
- [4] **Selçuk M.K** (1975) Solar Stills for Agricultural Purposes. *Solar Energy*, 17(2): 103-109.
- [5] **Eryıldız D.E ve Demirbilek F.N** (2000) Anatolia Solar Architecture. *Proceedings of the Third National Clean Energy Symposium*, 1: 245-254.
- [6] **Türkyılmaz O** (Ed.) (2014) *Türkiye'nin Enerji Görünümü*. 3. Baskı, ISBN: 978-605-01-0626-8, Ankamat Matbaacılık San. Ltd. Şti., Ankara, 260 s.
- [7] **Mutlu Danacı H, Gültekin R E** (2009) Yapılaşmada Güneş Enerjisi Kullanımı ve Estetik Çözüm Örnekleri. V. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 5: 243-248
- [8] **Güneş enerjisi potansiyeli atlası.** (01.07.2019) *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü*. Adres: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
- [9] **Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Resmi internet sayfası.** (29.06.2019) Adres: <http://www.yegm.gov.tr/anasayfa.aspx>.
- [10] **Diñer F** (2011) Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *KSU Mühendislik Dergisi*, 14(1): 8-17.
- [11] **Global energy data at your fingertips.** (03.07.2019) *International Energy Agency*. Adres:<https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20consumption&indicator=TFCbySource&mode=chart&dataTable=BALANCE> S.
- [12] **Dünya bülteni.** (03.07.2019) Adres: <https://www.dunyabulteni.net/enerji-petrol/petrol-50-yil-sonra-bitiyor-h160703.html>.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [13] **International energy agency.** (2010) *World Energy Outlook 2010*, International Energy Agency Pub., e-kitap, 650 pp.
- [14] **Güneş enerjisi.** (03.07.2019) *EMO*. Adres: http://www.emo.org.tr/ekler/310c83941df97d6_ek.pdf.
- [15] **Gürbüz K** (2013) Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörleri ile Buhar Üretiminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, 72 s.
- [16] **Duffie J A, Beckman W** (2013) Solar Thermal Power Systems. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley (Ed.), 4th edition, ISBN: 978-0-470-87366-3, John Wiley and Sons, New Jersey, 621-634.
- [17] **Tiwari G N, Dubey S** (2010) Energy and Exergy Analysis, *Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications*, Hunt J. (Ed.), 2nd edition, ISBN: 978-1-84973-020-4, RSC Publishing, Cambridge, 257-298.
- [18] **Zondag H A** (2008) Flate-Plate PV-Thermal collectors and systems. *A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 891-959.
- [19] **Öztürk M, Özek N, Batur H, Koç M** (2011) Fotovoltaik (PV) Sistemlerin ve Fotovoltaik-Termal (PV-T) Kollektörlerin Termodinamik Değerlendirmesi, *Mühendis ve Makina*, 52(619): 50-62.
- [20] **Çolak L, Çökelek E E, Işık K** (2017) Fotovoltaik Termal (PV/T) Güneş Kolektörlerinin Kullanım Alanları ve Performans Artırma Yöntemleri. *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, 22-23 Eylül, ISBN: 978-605-01-1053, Poyraz Ofset Matbaa, Mersin, 27-40.
- [21] **Charalambous P G, Maidment G G, Kalogirou S A, Yiakoumetti K, Tiwari G N** (2007) Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, *Applied Thermal Engineering*, 27: 275-286.
- [22] **Erdil E, Ilkan M, Egelioglu F** (2008) An experimental study on energy generation with a photovoltaic (PV) – solar thermal hybrid system, *Energy*, 33: 1241-1245.
- [23] **Fraisse G, Menezo C, Johannes K** (2007) Energy performance of water hybrid PV/T Collectors applied to combisystems of Direct Solar Floor Type, *Solar Energy*, 81: 1426-1438.
- [24] **Chow T T** (2010) A Review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, *Applied Energy*, 87: 365-379.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [25] Almeida L, Oliveira A C (2008) Study of a hybrid PV-Thermal solar system to provide electricity and heat in Portugal, *International Journal of Ambient Energy*, 29(3): 153-161.
- [26] Kalogirou S A, Tripanagnostopoulos Y (2006) Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production, *Energy Conversion And Management*, 47: 3368-3382.
- [27] Sarhaddi F, Farahat S, Ajam H, Behzadmehr A, Mahdavi Adeli M (2010) An improved thermal and electrical model for a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, *Applied Energy*, 87: 2328–2339.
- [28] Zondag H A, De Vries D W, Van Helden W G J, Van Zolungen R J C, Van Steenhoven A A (2002) The Thermal And Electrical Yield Of A Pv-Thermal Collector, *Solar Energy*, 72(2): 113–128.
- [29] Charalambous P G, Kalogirou S A, Maidment G G, Yiakoumetti K (2011) Optimization of the photovoltaic thermal (PV/T) collector absorber, *Solar Energy*, 85: 871–880.
- [30] Tyagia V V, Kaushika S C, Tyagib S K (2012) Advancement in solar photovoltaic / thermal (PV/T) hybrid collector technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 1383-1398.
- [31] Subaşı F (2014) Hibrit Fotovoltaik-Termal Kollektör Dizaynı. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 110 s.
- [32] Kırtepe E, Güngör A (2019) İzmir Koşullarında Açık Gökyüzü Işınımı İçin Fotovoltaik-Termal (PV-T) Kollektörün Teorik Modellenmesi, *14.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı*, ISBN: 978-605-01-1270-2, e-kitap, İzmir, 1876-1891.
- [33] Incropera F P, DeWitt D P (2006) İç Akış. *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Özkal S (Ed.), Dördüncü Basımdan Çeviri, ISBN: 978-975-8431-11-3, Çevik Matbaacılık, İstanbul, 451-496.



EK AÇIKLAMALAR

EK-A Piranometre özellikleri

Specifications

Transducer.....	Silicon photovoltaic cell
Spectral Response	0.25-1.15 microns
Range	0-1500 W/m ²
Sensitivity	~70 µV/W/m ² (50 mV/ly/min)
Calibration	See enclosed data sheet
Impedance	1 ohm
Time Constant	<1 millisecond
Levelling	Threaded legs and level provided
Temperature Compensation	40-140° F (4-60° C)
Size	5" dia. x 4" H (125 mm x 100 mm)
Weight/Shipping	1 lb/1.5 lbs (0.5 kg/0.7 kg)

EK-B Analog sinyal kayıt arabirimi



ADAM-4019+

FCC CE

RoHS
COMPLIANT
2002/95/EC

UL
LISTED
E190881
I.T.E.

Specifications

General

- **Power Consumption** 1.0 W @ 24 V_{DC}
- **Watchdog Timer** System (1.6 second) & Communication
- **Supported Protocols** ASCII command and Modbus/RTU

Analog Input

- **Channels** 8 differential channels for individual input type
- **Channel Independent Configuration** Yes
- **Input Impedance** Voltage: 20 M Ω
Current: 120 Ω
- **Input Type** T/C, mV, V, mA
- **Input Range** ± 1 V, ± 2.5 V, ± 5 V,
 ± 10 V, ± 100 mV,
 ± 500 mV, ± 20 mA,
4 ~ 20 mA

T/C Types and Temperature Ranges

J	0 ~ 760°C	R	500 ~ 1,750°C
K	0 ~ 1,370°C	S	500 ~ 1,750°C
T	-100 ~ 400°C	B	500 ~ 1,800°C
E	0 ~ 1,000°C		

- **Burnout Detection** 4 ~ 20 mA & all T/C

ÖZGEÇMİŞ

Gudrat Allaberdiyev – 1992 yılında Aşkabat'ta doğdu. Aşkabat Türk İlköğretim Okulunu (2006), Aşkabat Türk Anadolu Lisesini (2010), Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü (2015) bitirdi. 2015 yılından bu yana Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine devam etmekte.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

E-posta: gudratallaberdiyev@outlook.com