

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK PANELLERİN(PV) VERİMLİLİĞİNİN SU SOĞUTMA İLE  
ARTTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Müh. Gökhan ALBAYRAK**

**EKİM 2019**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK PANELLERİN(PV) VERİMLİLİĞİNİN SU SOĞUTMA İLE  
ARTTIRILMASI**

**Gökhan ALBAYRAK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ”**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Üniversiteye Verildiği Tarih:20/09/2019**

**Tezin Savunma Tarihi :09/10/2019**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
Gökhan ALBAYRAK Tarafından Hazırlanan**

**FOTOVOLTAİK PANELLERİN (PV) VERİMLİLİĞİNİN SU SOĞUTMA İLE  
ARTTIRILMASI**

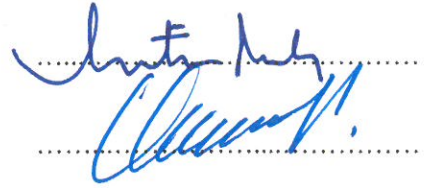
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 16/ 06/ 2015 gün ve 1607 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU**

**Üye : Doç. Dr. Lütfü NAMLI**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Günümüzde, fotovoltaik sistemlerin kullanımı yenilenebilir enerji alanında gittikçe artmaktadır. Fotovoltaik panellerin verimliliği oldukça önemli bir konudur. Verimliliği arttırmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Su ile soğutma tekniği yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Bu tez çalışmasında, su ile soğutma yöntemi kullanılarak fotovoltaik panelin verimi alınan ölçümlerle irdelenmiştir.

Tezin hazırlanma aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ' a sonsuz teşekkürler sunarım.

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: FHD-2017-5660

Gökhan Albayrak

Trabzon 2019

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum ‘‘Fotovoltaik Panellerin(PV) Verimliliğinin Su Soğutma İle Arttırılması’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Cevdet DEMİRTAŞ’ ın sorumluluğunda tamamladığımı verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarıda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdığimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09/10/2019

Gökhan ALBAYRAK

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

### ÖNSÖZ III

TEZ ETİK BEYANNAMESİ..... IV

İÇİNDEKİLER..... V

### ÖZET VI

ABSTRACT .....VII

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... VIII

TABLolar DİZİNİ..... IX

1. GİRİŞ ..... 1

1.1. Literatür Araştırması ..... 1

1.2. Güneş Enerjisi ..... 3

1.3. Türkiye’de Güneş enerjisi ve Fotovoltaik Piller ..... 4

2. MATERYAL VE METOT ..... 6

2.1. Fotovoltaik Paneller ..... 6

2.2. Fotovoltaik Etki ..... 7

2.3. Yapısına Göre Fotovoltaik Paneller ..... 8

2.4. Fotovoltaik Pillerin Verimliliğinin Sıcaklıkla ve Güneş Işınımı İle İlişkisi ..... 9

2.4.1. Verimliliğin Sıcaklıkla İlişkisi ..... 9

2.4.2. Verimliliğin Radyasyon İle İlişkisi ..... 11

2.5. Deney Düzeneği ..... 14

2.5.1. I-V Ve Güç Karakteristiğinin Elde Edilmesi ..... 16

2.5.2. Panel Verimliliğinin Sıcaklık ile Değişimi ..... 17

3. BULGULAR VE TARTIŞMA ..... 18

3.1. PV Panelinin I-V ve P-V Karakteristiğinin Elde Edilmesi ..... 18

3.2. PV Panelinin Verimliliğinin Sıcaklık ile Değişiminin İncelenmesi ..... 18

3.2.1. Yüksek Ortam Sıcaklığı ve Yüksek Radyasyon Düzeyi Koşullarında Soğutmalı ve Soğutmasız Çalışma..... 18

3.2.2. Düşük Ortam Sıcaklığı ve Düşük Radyasyon Düzeyi Koşullarında Soğutmasız ve Soğutmalı Çalışma..... 21

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 23

5. KAYNAKLAR ..... 24

6. EKLER..... 26

### ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FOTOVOLTAİK PANELLERİN(PV) VERİMLİLİĞİNİN SU SOĞUTMA İLE  
ARTTIRILMASI

Gökhan ALBAYRAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Demirtaş

2019, 33 Sayfa,

Günümüzde, fotovoltaik sistemlerin kullanımı yenilenebilir enerji alanında gittikçe artmaktadır. Fotovoltaik panellerin verimliliği oldukça önemli bir konudur. Verimliliği arttırmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Su ile soğutma tekniği yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Bu tez çalışmasında 260 Watt güce sahip PV panel bir metal konstrüksiyon kullanılarak deneysel sonuçlar ölçüldü. Panelin soğutulması için su kullanıldı. Akım, gerilim ve sıcaklık ölçümleri için datalogger kullanılarak bilgisayara aktarıldı. Direnç olarak ayarlı reosta kullanılmıştır. Yapılan bu ölçümlerde önce normal soğutmasız şekilde panelden akım, gerilim ve sıcaklık değer ölçümleri alındı. Daha sonra sisteme su verilerek soğutma yapıldıktan sonra akım, gerilim ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler datalogger ile bilgisayar ortamına alınarak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Dış ortam sıcaklığının yüksek ve güneş radyasyon düzeyinin maksimum olduğu öğle saatinde %24 oranında bir güç artışı sağlanmıştır. Dış ortam sıcaklığının ve güneş radyasyon düzeyinin daha düşük olduğu ortamda %13 oranında güç artışı elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji verimliliği, Fotovoltaik, Soğutma

Master Thesis

**ABSTRACT**

INCREASING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANELS BY WATER COOLING

Gökhan ALBAYRAK

The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Karadeniz Technical University

The Degree of Master of Science in Mechanical Engineering

Supervisor: Dr. Cevdet Demirtaş

2019, 33 Pages,

Photovoltaic systems application in renewable energy area has been increasing nowadays. Efficiency of photovoltaic cells is a quite important issue. A lot of techniques are used to increase the efficiency. Water cooling technique is a common method.

Experimental results were measured by using a metal construction on a PV panel with 260 watt. Water was used to cool the panel. The current, voltage and temperature measurements were transferred to a computer by using data logger. The calibrated rheostat was used as resistance. In these measurements, the current, voltage and temperature measurements on the panel were obtained without cooling it. After that the current, voltage and temperature were measured by giving water to the system, after cooling it. The obtained results were computerized by using data logger, and were compared. When the outside temperature was high and solar radiation level was maximum at noon, %24 power increase was supplied. When the outside temperature and solar radiation level were lower, %13 power increase was obtained.

**Keywords:** Energy efficiency, Photovoltaic, Cooling



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Türkiye ortalama sıcaklık değerleri (MGM) .....	5
Şekil 2. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelin aylara göre dağılımı (MGM).....	5
Şekil 3. Fotovoltaik panellerin çalışma prensibi (Erkul, 2010).....	6
Şekil 4. Elektron boşluk çiftlerinin hareketi (Özakın, 2016).....	7
Şekil 5. Fotovoltaik etki (Kalogirou, 2009 .....	7
Şekil 6. Fotovoltaik yapımında kullanılan malzemeler (Özbey, 2018).....	8
Şekil 7. PV Modülünün İdeal V-I ve Güç Karakteristiği .....	10
Şekil 8. Modül sıcaklığının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği .....	10
Şekil 9. Modül sıcaklık fonksiyonu olarak ideal V-I karakteristiği .....	10
Şekil 10. Güneş ışınım fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği .....	11
Şekil 11. Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal V-I karakteristiği .....	12
Şekil 12. Işığın geliş açısına bağlı olarak güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesine ilişkin kullanılan deney düzeneği (Karamanav, 2007).....	12
Şekil 13. Güneş pilinin açık devre voltajının açığa bağlı değişim grafiği (Karamanav, 2007).....	13
Şekil 14. Güneş pili akımının açığa bağlı değişim grafiği (Karamanav, 2007) .....	14
Şekil 15. Soğutma sistemi deney düzeneğinin sistematik diyagramı .....	15
Şekil 16. Güneş paneli soğutma cebi kesiti .....	16
Şekil 17. I-V ve güç karakteristik eğrisi için deney düzeneği .....	16

## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Bölgelere göre güneşlenme potansiyeli (MGM).....	4
Tablo 2. Güneş ışınının geliş açısının değişimine ilişkin ölçüm değerleri.....	13
Tablo 3. Deneyde kullanılan güneş panelinin P-V ve I-V karakteristiğine ilişkin ölçüm değerleri.....	18
Tablo 4. Soğutulmuş PV panelinin çıkışına ilişkin ölçümler .....	19
Tablo 5. Soğutmasız PV panelinin çıkışına ilişkin ölçümler.....	20
Tablo 6. Düşük radyasyon değerlerinde 5 dakikalık soğutmasız ve soğutmalı panelin ölçüm değerleri.....	22

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Literatür Araştırması

Bu bölümde, fotovoltaik panellerin veriminin geliştirilmesi bilim insanları tarafından yapılan çalışmalar ve sunulan öneriler değerlendirmesi için daha önce yapılan araştırmalar hakkında bilgiler verilmektedir. Uygulamada genellikle PV modüllerin uygun sıcaklıkta çalışmasını sağlamak için hava soğutma, su soğutma gibi teknikler kullanılmaktadır. Aynı zamanda son dönemde yaygın, verimli ve ekonomik hibrit (PV/T) sistemleri ile literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Aşırı ısınma güneş panellerinin verimini ciddi şekilde düşürmektedir (Akbarzadeh ve Wadowski,1996). Güneş panellerinden çıkan maksimum güç güneş hücrelerinin sıcaklığının artması ile düşmekte her 1 derece sıcaklık yükselişi verimin %0.5 düşmesine neden olmaktadır. Sıcaklığın sıfır dereceye kadar düşmesi verimin artmasını sağlamaktadır. Bu sonuçlar sıcaklığın panelin çıkış gücünü etkilediğini göstermektedir. Normal şartlarda güneş panellerinin işletme sıcaklığı 35 °C olarak öngörülmektedir. Su spray metodu ile soğutmada panel yüzey sıcaklığı 45 °C ulaştığı andaki soğutma işlemi en verimli sonucu vermiştir. 29 lt/dak su akışı ile 185 Wp'lık güneş panelinin yüzey sıcaklığı 4.7 dakikada 45 °C den 35 °C'ye düşürülmüştür. Bu bağlamda soğutma işleminin ne zaman başlatılması gerektiği kullanılan su ve su devir daimini sağlamak için gerekli elektrik enerjisinin verimli kullanılması açısından önemlidir. Panelin yüzeyine püskürtülen su ile panel yüzeyi temizlenmiş olup ışıyım miktarının artmasına katkıda bulunulmuştur (Moharram, vd., 2016). Panellerin yüzeyinde bulunan toz ışıyımı engelleyerek panelin verimini etkilemektedir (El-Shobokshy ve Hussein, 1993).

Farklı sıcaklıklarda, 20, 40, 60 ve 80 °C de yapılan deneyler ile sıcaklığın fotovoltaik hücre ve modüllerinin elektriksel karakteristiği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Fotovoltaik hücre sıcaklığındaki her 1 °C artışın yaklaşık olarak %0.65 civarında azaltıldığı gözlemlenmiştir (Radziemska, 2003).

Çalışma yüzeyinin soğutulması, güneş fotovoltaik sistemleri çalıştırılırken daha yüksek verim elde edilmek için önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir. Doğru soğutma, verimliliği arttırabilir ve zamanla hücre ömrünü uzatarak fotovoltaik modüllerin kullanım

ömrünü arttırır. Soğutma sistemi tarafından çıkarılan aşırı ısı evsel, ticari veya endüstriyel alanlarda kullanılabilir ( Siecker, vd., 2017).

Çalışma sıcaklığının PV elektrik çıkışını etkileyen önemli etken olduğu ve güneş panellerinin uygun ısını belirleyebilmek için bir yol izlemek gerektiğini belirtmiştir. Bu araştırmada PV yüzey sıcaklığının çıkış performansını araştırmayı amaçlamıştır. Deneysel çalışmalar, çıkış gerilimi, akım, çıkış gücü ve verimlilik çeşitliğini araştırmak için farklı radyasyon koşulları altında yürütülmüştür. Daha sonra soğutma testi, soğutma koşullarıyla ne kadar verim artışı sağlayabileceği araştırılmıştır. Deney sonuçları PV'nin verimi soğutulmuş koşullar sonucu %47 değerinde artan bir orana sahip olduğunu göstermiştir (Peng, vd., 2017).

Ticari uygulamalarda güneş panellerinin ışıınım enerjisini elektrik enerjisine çevirme verimi %6-15 tir (He, Chow ve Ji, 2006). Güneş panellerinden elektrik üretiminde ışıınım enerjisinin büyük miktarı ısıya dönüşür böylece panelin sıcaklığı artar ve hücrelerin verimi düşer (Weng ve Yang, 2008). Isıl borulu soğutma sistemleri gelecek vaat eden sistemlerdir(Anderson, vd., 2008). Su ve hava soğutma destekli Mikro ısı borusu sistemleri yüksek ısı transfer verimlilikleri sayesinde güneş panellerinin ısınma sorununu çözebilir. Bu sayede panelin sıcaklığı 8 °C düşürülerek enerji dönüşüm verimi %3 artırılmıştır. Panellerin çıkış değerlerini ölçmek için voltmetre ve ampermetre gerçek zamanlı ışıınım yoğunluğunu ölçmek için ise solarimetre kullanılmıştır. Güneş panelinin sıcaklığı ortam sıcaklığı platin dirençlerle ölçülerek görüntülenmiştir. Mikro ısı boruları panelin arkasına yapıştırılarak soğutma işlemi 0.2049m<sup>2</sup> panelde uygulanmıştır (Tang, vd., 2010).

Günümüzde özellikle Fransa, İspanya, ABD ve İsrail başta olmak üzere birçok ülkede güneş enerjisinden elektrik üretiminden daha fazla yararlanma yollarını araştırmak için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. 2050 yılında dünya elektrik üretiminin %15'inin güneşten karşılanacağı tahmin edilmektedir. Enerji temininin %60'undan fazlasının yurt dışından sağlandığı ülkemizde yerli kaynakların geliştirilmesi yaygınlaştırılması ve verimli kullanılması önemli bir konudur. Güneş enerjisinin elektrik enerjisi üretiminde kullanımının geliştirilmesi önde gelen dünya devletlerinin hedefi olduğu gibi ülkemizin de hedefi olmalıdır (Can, 2010).

Literatürdeki çalışmaların göstermiş olduğu üzere, güneş panellerinin su ile soğutulmasının daha verimli olduğu görülmektedir. Dolayısı ile su ile soğutma teknikleri önemini arttırmaktadır. Ayrıca su ile soğutma PV panellerin verimli kullanım ömrünü

arttırdığı yapılan uygulamalardan gözlenmiştir. Yaygın olarak kullanılan hibrit sistemler de soğutucu akışkanı kullanarak ortak verimin daha da arttırılabileceğini göstermiştir.

Bu tez çalışmasında, güneş panellerinin arkasına yaklaşık 5 mm uzaklıkta 2 mm kalınlığında panelin alanı büyüklüğünde bir metal levha montajı yapılarak soğutma suyu ceketini oluşturularak soğutulması ve verimlilik artışı amaçlanmıştır. Deneysel olarak kurulacak olan Güneş paneli sisteminde soğutmalı ve soğutmasız çalışma için uygun aralıklar ile ölçülecek olan veriler (güneş şiddeti, sıcaklık, akım, gerilim vs.) kullanılarak, verimliliğin sıcaklık ile ilişkisi ve elektrik üretimi verimliliği incelenmiştir.

## 1.2. Güneş Enerjisi

En önemli enerji kaynağımız güneştir. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi pek çok yöntem kullanılarak yararlanılmaktadır. Geleneksel yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel sorunların çoğunun güneş enerjisi üretiminde bulunmaması bu enerji kaynağını fosil yakıtlara alternatif yapmaktadır. Ayrıca güneş enerjisinin yeryüzündeki fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceği enerjiden binlerce kat daha fazla olmasının yanı sıra sürekli ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisinden düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere üç farklı biçimde faydalanılabilir. Düşük sıcaklık uygulamaları, düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması gibi uygulamalar için kullanılır. Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılmaktadır. Bu tip toplayıcılarda, genellikle güneş ışınımının maksimum düzeyde ve sürekli olabilmesi için güneşi izleme (sun tracking) sistemlerine verimlilik için ihtiyaç vardır. Güneş enerjisinden faydalanmanın yaygın ve önemli bir uygulama alanı ise fotovoltaik güneş pillerini kullanmaktır. Üzerine düşen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri arttırılabilir. Güneş pilleri, güneş ışınlarının ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmesinin yanı sıra, güneşin ısı enerjisinin sebep olduğu sıcaklık artışından olumsuz yönde etkilenirler.

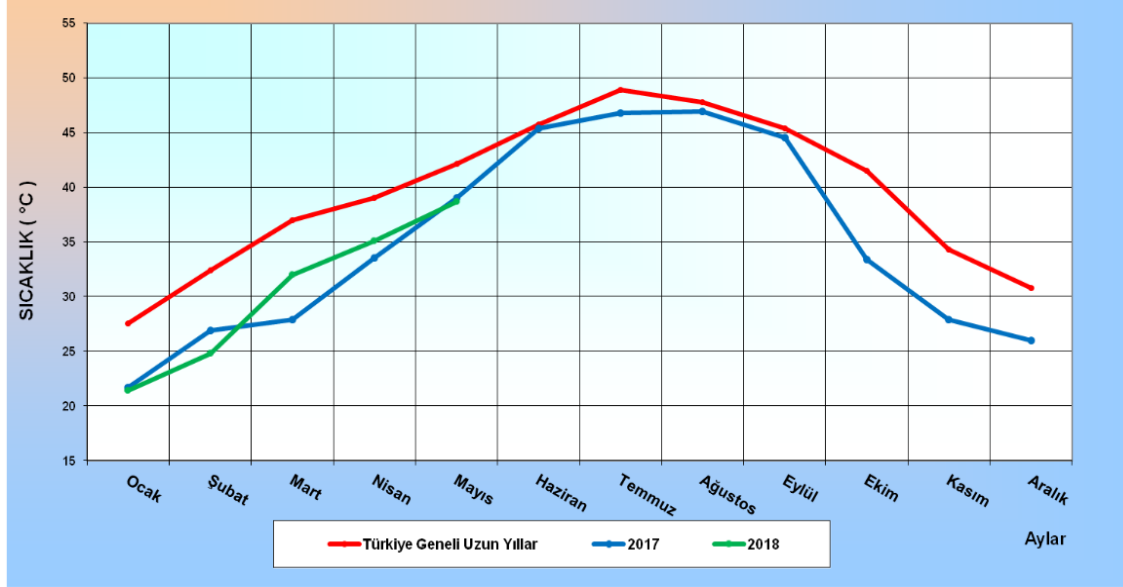
### 1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Piller

Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynakları birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Fotovoltaik (PV) piller en popüler yenilenebilir enerji ürünlerindedir. Fotovoltaik piller, güneş ışınımını (radyasyon) elektrik enerjisine dönüştürür. Tablo 1.’ de Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine göre ülkemizin güneş enerji potansiyeli verilmiştir. Görülen bu yüksek potansiyel güneş enerjisinden elektrik üretiminin önemini göstermektedir. Ülke olarak güneş enerjisi potansiyelini verimli bir şekilde kullanmak ekonomik anlamda bize avantaj sağlayacaktır.

Tablo 1. Bölgelere göre güneşlenme potansiyeli (MGM)

Bölgeler	Toplam Güneş Işınımı(kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Güneşlenme süresi(saat/yıl)
EGE	1.304	2.738
KARADENİZ	1.120	1.971
İÇ ANADOLU	1.314	2.628
DOĞU ANADOLU	1.365	2.664
MARMARA	1.168	2.956
AKDENİZ	1.390	2.956
GÜNEYDOĞU ANADOLU	1.460	2.993

Ne yazık ki, PV pillerin çalışması sırasında, güneş ışınımının yaklaşık %16 civarı elektrik enerjisine, geri kalanı ise ısı enerjisine dönüşmektedir. PV pillerinin oluşturduğu PV panellerin çalışma yüzeyine etki eden en önemli engel ise, yüksek çevre sıcaklığı ve aşırı güneş radyasyonunun sebep olduğu aşırı ısınmadır. Bu tez çalışması aşırı ısınmanın PV panellerinin ürettiği elektrik enerjisine olan olumsuz etkisinin incelemektedir.



Şekil 1. Türkiye ortalama sıcaklık değerleri (MGM)

Görüldüğü üzere ülkemizin ortalama sıcaklık değerleri yaz aylarında yüksektir ve bu yüksek sıcaklık PV verimliliğinde istenmeyen bir durumdur.

Ancak Şekil 2.'de güneşlenme sürelerinin yaz aylarında yüksek olduğu görülüyor. Yaz aylarında ki bu enerjinin olumsuz sıcaklık koşullarından dolayı elektrik üretimini olumsuz yönde etkilediği literatür de görülmektedir bu istenmeyen bir durumdur ve projemizin temel araştırma konusudur. Yaz aylarında soğutma sistemlerinin önemi ortaya çıkmaktadır.

Ay	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
<b>Toplam</b>	<b>112,74</b>	<b>1311,00</b>	<b>2640</b>
<b>Ortalama</b>	<b>308,0 cal/cm<sup>2</sup>-gün</b>	<b>3,6 kWh/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>7,2 saat/gün</b>

Şekil 2. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelin aylara göre dağılımı (MGM)

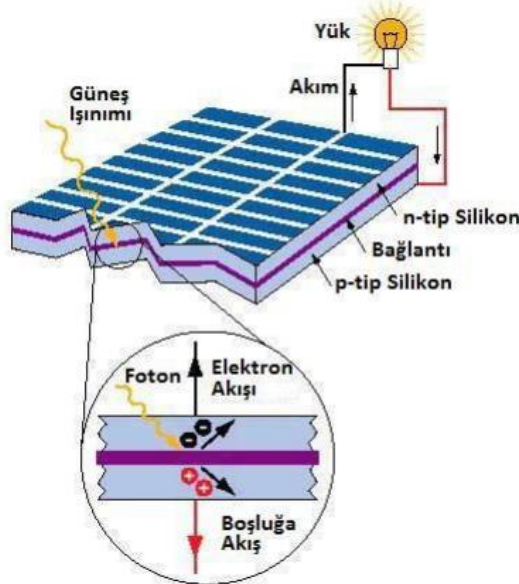
## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Fotovoltaik Paneller

Güneş panelleri, enerjinin korunumu yasasına göre, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olup enerjiyi depolayamazlar. Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve 'PV' ile gösterilir (Şenol,2005).

Güneş panelleri fotovoltaik ilkerine göre üzerine düşen enerjiyi elektriğe dönüştürürler. Yarıiletken malzemeler üzerine ışık düştüğünde uçlar arasında bir potansiyel fark oluşur. Malzeme uçları bir dış devreye bağlanarak elektrik üretimi sağlanır.

Güneş ışınımı bir yarıiletken tarafından soğurulduğunda Fotovoltaik etki oluşur. Fotonların enerjisi, yarıiletkenin valans bandındaki elektronlara aktarılır. Valans bandındaki elektronların iletim bandına yükseltilmesi sonucunda electron-hol çifti meydana gelir. Yarıiletkenin yasak bant enerji aralığını geçebilen enerjilere sahip fotonlar bu olayda etkili olabilirler. Yarıiletken aralığı küçükse, fotovoltaik sistemin uçları arasında oluşan potansiyel farkı küçük dış devre akımı büyük olur (Küpelı, 2005).

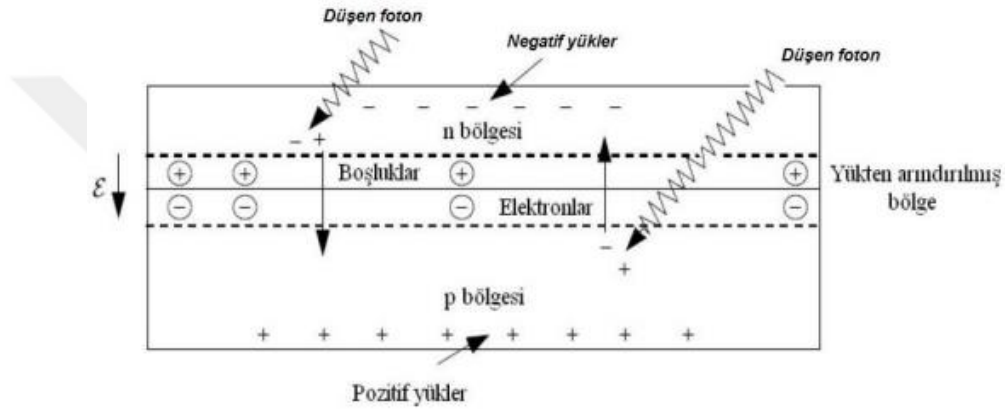


Şekil 3. Fotovoltaik panellerin çalışma prensibi (Erkul, 2010)



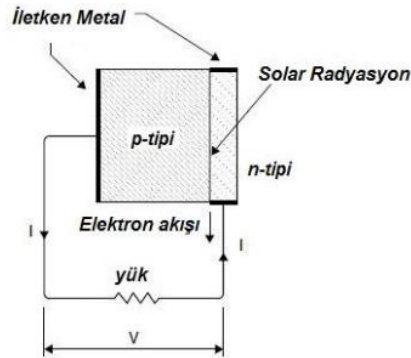
## 2.2. Fotovoltaik Etki

Bir foton, fotovoltaik bir material üzerine düştüğünde, yansır, absorbe edilir veya doğrudan dönüştürülür. Bu foton atomun valans elektronu tarafından absorbe edilir ise elektronun enerjisi fotonun enerjisi kadar artar. Eğer fotonun enerjisi yarıiletkenin bant enerjisinden fazlaysa eektron iletim bandına geçer. Bu olay elektron boşluk çiftlerinin oluşmasını sağlar. Bu elektron boşluk çiftlerinin oluşmasını sağlayan hareketli yük taşıyıcıları p-n eklem bölgesine yaklaşıncaya elektriksel alan sayesinde elektron hareketi n bölgesine, boşlukların hareketi ise p bölgesine doğru oluşur (Özakın, 2016).



Şekil 4. Elektron boşluk çiftlerinin hareketi (Özakın, 2016)

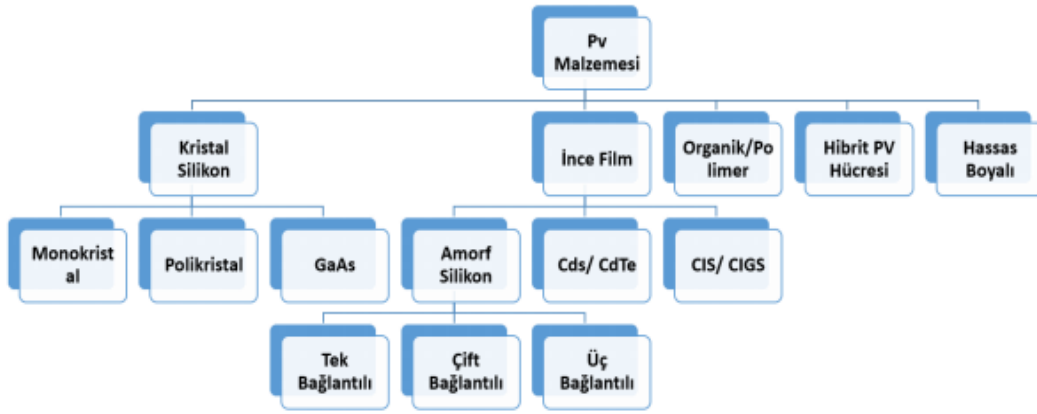
İki kutupta zıt yüklerin toplanması bir potansiyel fark oluşturacaktır. Bu iki kutup devre oluşturacak şekilde birleştirildiği zaman bir akım oluşur. Bu olay fotovoltaik olarak elektrik enerjisi üretiminin temelini oluşturur.



Şekil 5. . Fotovoltaik etki (Kalogirou, 2009)

### 2.3. Yapısına Göre Fotovoltaik Paneller

Son yıllarda yapılan çalışmalar ve malzemelerdeki yeniliklerle birlikte birçok güneş hücre çeşidi piyasaya çıkmış ve malzeme çeşidine göre ağırlıklı olarak silisyum, tek kristal, çok kristal, amorf silisyum kullanılmaktadır. Silisyumun yanısıra kadmiyum-tellür, bakır-indiyum-galyum-selenyum ve bakır-indiyum-galyum-sülfür olarak çeşitlenmektedir. (Han,2018)



Şekil 6. Fotovoltaik yapımında kullanılan malzemeler (Özbey, 2018).

- **Tek Kristalli Silisyum (sc-Si) Fotovoltaik Hücreler;** Fotovoltaik panel üretiminde yüksek verimli olduğu için tercih edilen malzemelerdendir. Elektrik, optik ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ile silisyum üretim teknolojilerinin gelişmesine bağlı olarak popülerlik kazanmıştır. Saf silisyum elde edilmesi zor ve maliyeti yüksektir. Çeşitli uygulamalar için n- tipi ve p- tipi olarak katkılanırlar. Katkı maddesi olarak Arsenik, Bor, Galyum, Fosfor ve Alüminyum kullanılır. Laboratuvar şartlarında %38, ticari uygulamalarda %15'in üzerinde verim elde edilmektedir (Radziemska, 2003).
- **Çok Kristalli Silisyum (mc-Si) Fotovoltaik Hücreler;** Çok kristalli malzemede damarların kristal yapılarının yönlenmeleri dışında elektrik, optik ve yapısal özellikleri özdeştir. Damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Elektriksel yük değişikliklerinin aktarılmasında damarlar (akım yolları) arasında süreksizlik önemli bir sorundur. Elektriksel özelliklerin küçülen damar büyüklüğü ile doğru orantılı olması tek kristalli malzemeler ile karşılaştırıldığında verimin daha düşük olmasına neden

olmaktadır. Bunun yanı sıra üretimi kolay ve maliyeti düşüktür (Radziemska, 2003). Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum güneş hücreleri daha ucuza üretilmekte ve verimleri daha düşük olmaktadır. Verim laboratuvar şartlarında %18, ticari uygulamalarda ise %14 civarındadır (Radziemska, 2013).

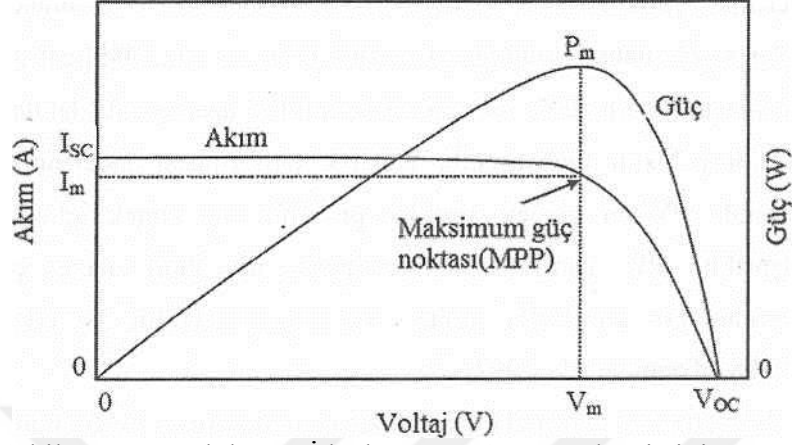
- **Galyum Arsenit ( $GaAs$ );** Bu malzeme ile laboratuvar şartlarında %25 ve %28 verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenle oluşturulan çok eklemeli GaAs hücrelerinde %30 verim elde edilmiştir. GaAs hücreleri uzay uygulamalarında ve optic yoğunlaştırıcılarında kullanılmaktadır (Radziemska, 2003).
- **Amorf Silisyum;** Kristal yapı özelliği göstermeyen bu silisyum hücrelerinden elde edilen verim %10 civarında, ticari uygulamalarda %5-7 dolayındadır. Günümüzde çoğunlukla küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş hücresinin bir başka uygulama alanı binaların yarı saydam cam yüzeyleri, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilceği tahmin edilmektedir (Erkul, 2010).
- **Kadmiyum Tellürid ( $CdTe$ );** Çok kristal yapıda olan CdTe güneş paneli maliyetini düşüreceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar şartlarında %16, ticari uygulamalarda %7 civarında verim elde edilmektedir (Erkul, 2010).
- **Bakır İndiyum Diselenid ( $CuInSe_2$ );** Çok kristal yapıdaki bu hücre laboratuvar şartlarında %17.7, enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan ilk örnek bir toplayıcı ise %10.3 verim elde edilmiştir (Erkul, 2010).

## 2.4. Fotovoltaik Pillerin Verimliliğinin Sıcaklıkla ve Güneş Işınımı ile İlişkisi

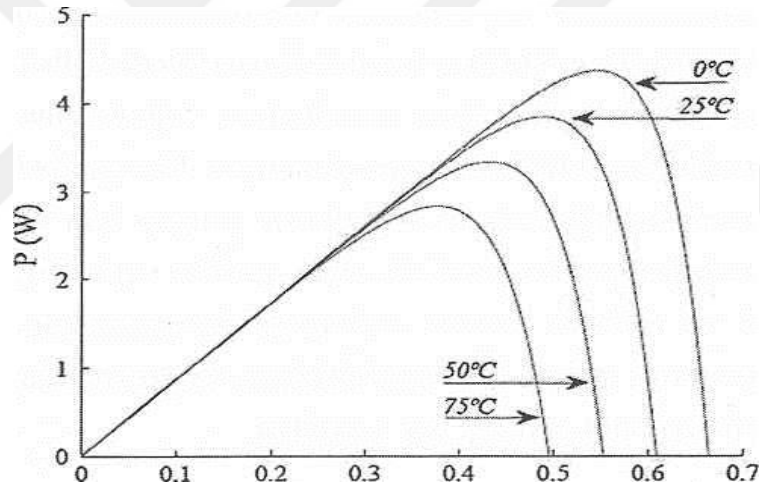
### 2.4.1. Verimliliğin Sıcaklıkla İlişkisi

Aşırı ısınma PV panellerin verimliliğini azalttığı görülmektedir.  $45\text{ }^\circ\text{C}$  'nin üstündeki sıcaklıklara varmadan soğutmanın başlatılması doğru zamandır (Moharrem vd.,2013). Şekil 7.' de PV modüle ilişkin ideal I-V ve güç karakteristiği gösterilmiştir. Söz konusu I-V ve güç karakteristiği güneş ışınımı (E) ve modül sıcaklığı (T) sabit iken PV'nin çıkış akımı ve elektriksel çıkış gücü (P) ile çıkış voltajı (V) arasındaki ilişkilidir. Eğer sabit tutulan bu iki parametreden (E ve T) biri değişirse P-I karakteristiği de değişmektedir. Bir

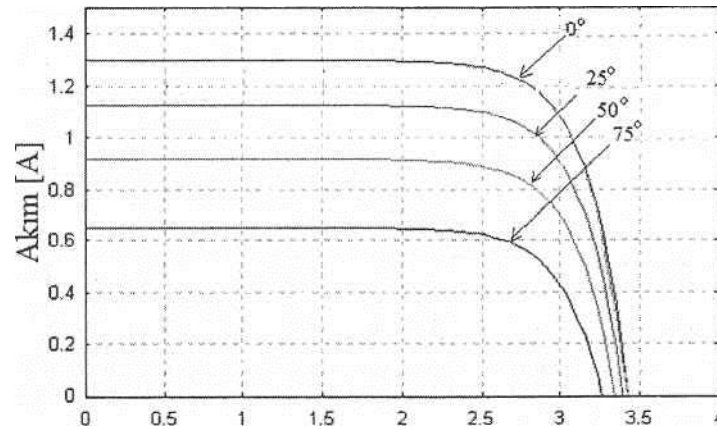
PV modülün 0- 75 °C aralığında değişik modül sıcaklığı için ideal P-V karakteristiği Şekil 8.' de, V-I karakteristiği ise Şekil 9.'da verilmiştir (Moharrem vd.,2013).



Şekil 7. PV Modülünün İdeal V-I ve Güç Karakteristiği



Şekil 8. Modül sıcaklığının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği

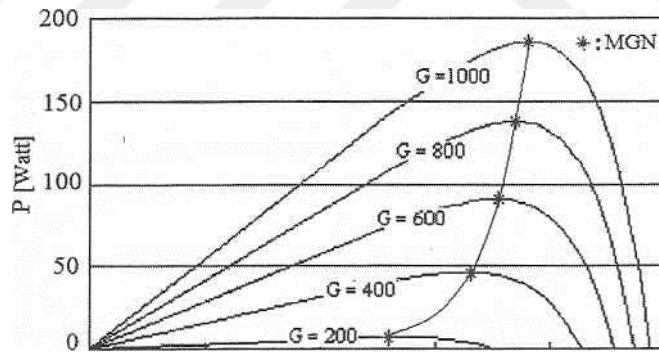


Şekil 9. Modül sıcaklık fonksiyonu olarak ideal V-I karakteristiği

Söz konusu P-V karakteristiği, güneş ışınımı (E) sabit iken, 0-75 °C aralığında parametre olarak seçilen modül sıcaklıkları için PV'nin elektriksel çıkış gücü (P) ile çıkış voltajı (V) arasındaki ilişkidir. Şekildeki P-V karakteristiğinden de görüldüğü gibi PV modülden elde edilen maksimum çıkış gücü modül sıcaklığı ile ters orantılıdır. Bu durum, panel sıcaklığının artması durumunda çıkış gücünün önemli ölçüde olumsuz etkileneceğini göstermektedir. Dolayısıyla özellikle yüksek ortam sıcaklığına sahip olan bölgelerde güneş panellerinden yüksek verim elde edebilmek için soğutma kaçınılmazdır

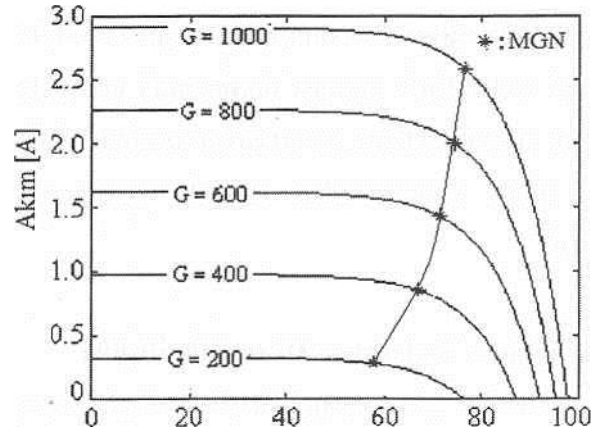
#### 2.4.2. Verimliliğin Radyasyon İle İşkisi

Güneş ışınlarının güneş paneli üzerine düşme açısına bağlı olarak panelin gücü değişmektedir. Şekil 10.'de değişik radyasyon düzeyleri (güneşlenme düzeyi) için ideal P-V karakteristiği verilmiştir (Prog. Photovolt: Res. Appl,2003), Şekilden de açıkça görüldüğü gibi panelden çekilen maksimum güç değeri (MGN) güneşlenme düzeyi ile doğru orantılı olarak değişmektedir.



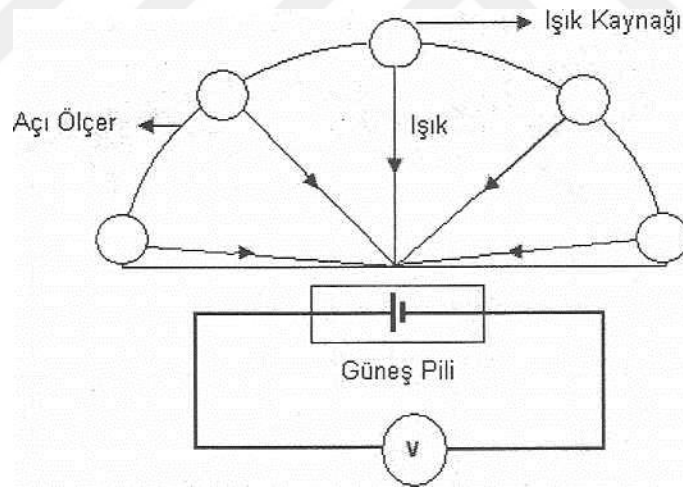
Şekil 10. Güneş ışınım fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği

Şekil 11.'de farklı güneşlenme düzeyleri için ideal V-I karakteristiği verilmektedir (Prog. Photovolt: Res. Appl,2003). Şekilden de net bir şekilde görüldüğü gibi panelden çekilen akım ve maksimum güç noktası (MGN) güneşlenme düzeyi ile doğru orantılı olarak değişmektedir.



Şekil 11. Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal V-I karakteristiği

Maksimum çıkış voltajı 3.6 V, maksimum çekilebilecek akım ise 60 mA olan Monokristal tipli güneş paneline ilişkin deneyin şematik gösterimi Şekil 12.'da verilmiştir (Karamanav, 2007). Deney düzeneğinde 150 W'lık lamba kullanılmaktadır. Deney 21°C sıcaklıkta yapılmıştır.



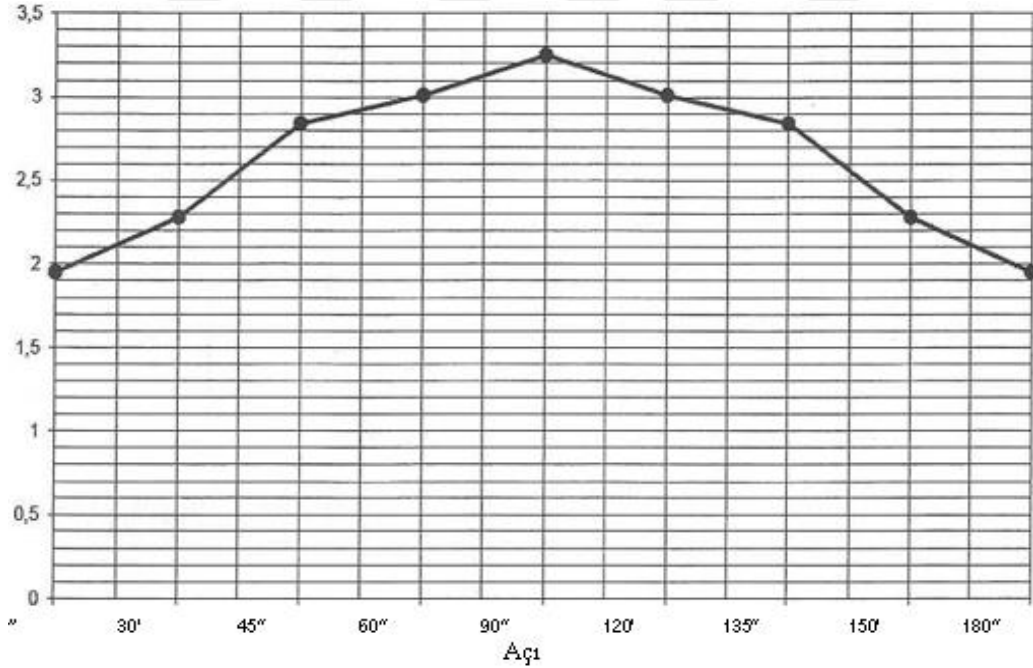
Şekil 12. Işığın geliş açısına bağlı olarak güneş pilinin verimliliğinin ölçülmesine ilişkin kullanılan deney düzeneği (Karamanav, 2007)

Tek güneş pili ile yapılan deneyde güneş ışınlarının panelin ön yüzeyine geliş açısı 0° ile 180° arasında değiştirilerek güneş pilinin akım ve gerilim değerlerindeki değişimler ölçülmüştür. Bu ölçümler Tablo 2.'de verilmiştir (Karamanav 2007).

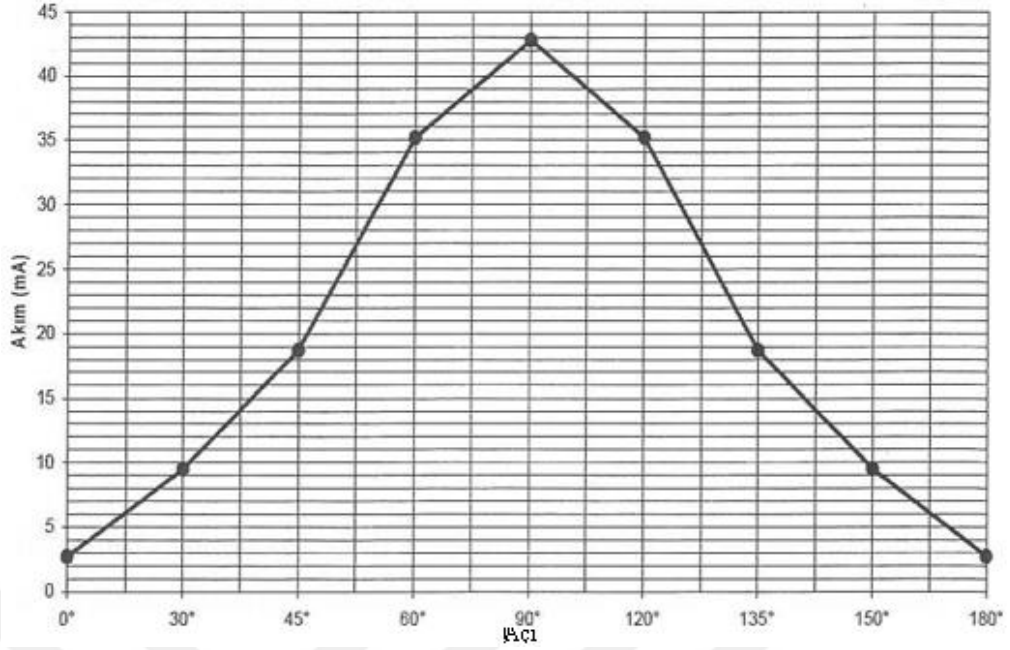
Tablo 2. Güneş ışınının geliş açısının değişimine ilişkin ölçüm değerleri

AÇI	AKIM(mA)	GERİLİM(V)
0°	2.7	1.95
45	18.7	2.84
60°	35.2	3.01
120°	35.2	3.01
135°	18.7	2.84
150°	9.5	2.28
180°	2.7	1.95

Tablo 2. deki ölçüm değerlerine bağlı olarak; güneş panelinin akım-gerilim değişim grafiği Şekil 13.ve 14.'de verilmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi güneş ışınları panel yüzeyine 90 derecelik açı ile düştüğünde panel gerilimi ve akımı dolayısıyla panel gücü maksimum değere ulaşmaktadır. Açı 90 dereceden uzaklaştıkça panel gücü önemli ölçüde azalmıştır.



Şekil 13. Güneş pilinin açık devre voltajının açıya bağlı değişim grafiği  
(Karamanav, 2007)



Şekil 14. Güneş pili akımının açığa bağlı değişim grafiği (Karamanav, 2007)

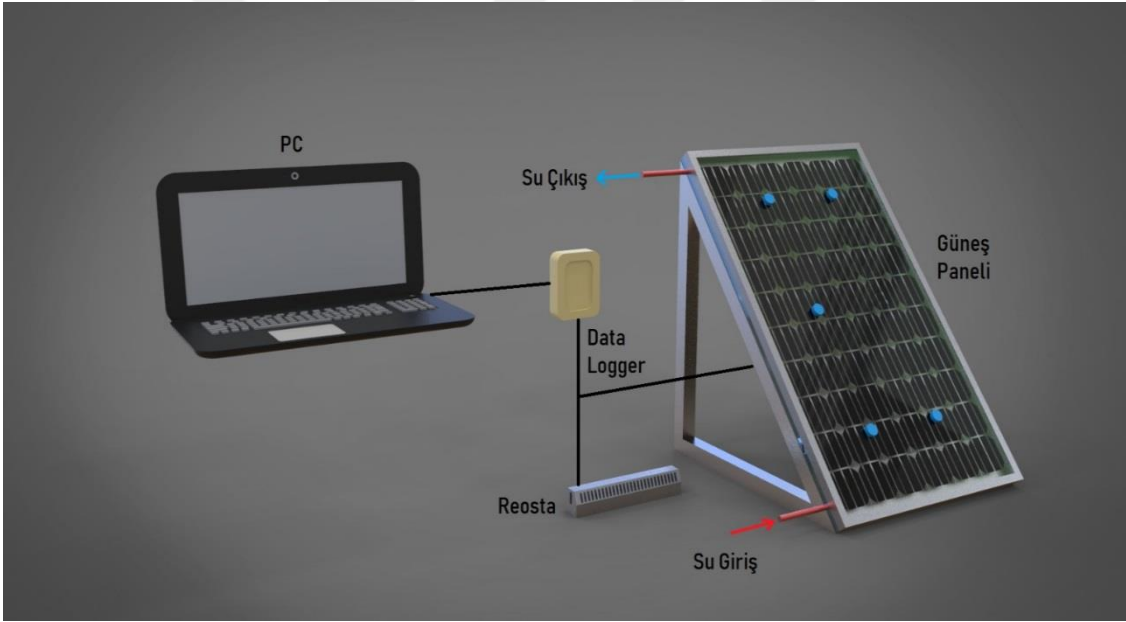
## 2.5. Deney Düzenegi

Soğutma sıvısı olarak suyun kullanıldığı deneyde, 260 W güç değerine sahip çok kristalli silisyum (*mc-Si*) fotovoltaik hücre yapısına sahip güneş paneli kullanılmıştır. Soğutma sistemine ilişkin deney düzeneginin sistematik diyagramı Şekil 15.'de verilmiştir. Soğutma sistemi düzenegi aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- 1 adet 260 W'lık polikristal Güneş Paneli
- 1 adet sürgülü Reosta KW:1.5 OHM: 0-500
- 8 Kanallı veri toplayıcı (Data Logger)
- Günel panelinin yerleştirileceği mekanik düzenek
- Taş ve karbon dirençler
- 2 mm kalınlığında metal levha (Soğutucu cep malzemesi)
- 6 adet sıcaklık ölçüm aygıtı (Thermocouple)
- 3 adet soğutucu akışkan vanası
- 4 adet mekanik düzenek hareketi için tekerlek
- 1 adet Avometre



Prensip şeması Şekil 15.'de verilmiş olan deney düzeneğinde; uygun bir alüminyum mekanik düzenek üzerine monte edilmiş olan güneş panelinin ortalama ön yüzey sıcaklığının 20 bitlik bir veri toplayıcı (Datalogger) cihaz ile gerçek zamanda eşzamanlı olarak ölçülüp kaydedilebilmesi için panelin ön yüzeyinin belirli noktalarına 5 adet T tipi termo elemanlar yerleştirilmiştir. Panel soğutması için gerekli olan su, akış hızının sabit olduğu varsayılan şebeke suyundan temin edilmiştir. Deney düzeneğinin kurulduğu üniversite kampüsündeki şebeke suyunun sıcaklığı yaklaşık olarak 25 °C civarında ölçülmüştür. Soğutmanın 25 °C'lere kadar yapılmasının sebebi de budur. Deneyde kullanılan veri toplayıcı, okuduğu verileri gerçek zamanlı olarak bilgisayara kaydedebilen özel bir yazılıma sahiptir. Bu yazılım ile panel ön sıcaklık değerleri, ortam sıcaklığı, panel akımı ve panel gerilimi gerçek zamanda eşzamanlı olarak ölçülerek bilgisayara kaydedilebilmektedir.



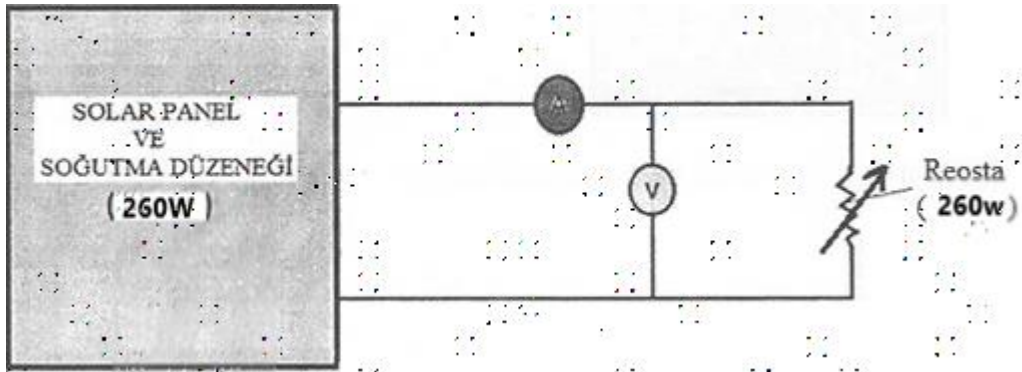
Şekil 15. Soğutma sistemi deney düzeneğinin sistematik diyagramı



Şekil 16. Güneş paneli soğutma cebi kesiti

### 2.5.1. I-V ve Güç Karakteristiğinin Elde Edilmesi

Sabit güneş radyasyon düzeyi ( $E$ ) ve sabit ortam sıcaklığı için, 260 W'lık reosta direnci sıfır değerinden başlayarak maksimum değerine kadar kademeli şekilde artırılarak, her bir artış değeri için panelden çekilen akım ve panel çıkış gerilimleri ölçülerek kaydedilecektir. Ölçülecek olan her bir akım ve panel çıkış gerilim değerleri için panelden çekilen ani güç değerleri hesaplanacaktır.



Şekil 17. I-V ve güç karakteristik eğrisi için deney düzeneği

### 2.5.2 Panel Verimliliğinin Sıcaklık ile Değişimi

Kurulan deney düzeneği ile farklı günlerde paneli su ile soğutarak panel ön yüzeyinin sıcaklık değerleri, yük direncinin ( $R_y$ ) panelden çektiği akım ile üzerine düşen gerilim veri toplama cihazı ile eşzamanlı olarak ölçülüp kaydedilecektir. Kaydedilen ortalama çalışma sıcaklığı, akım ve gerilim değerleri kullanılarak güneş paneline ilişkin sıcaklık-gerilim, sıcaklık-akım ve sıcaklık-maksimum çıkış gücü eğrileri ayrı ayrı çizilecektir. Sıcaklık değişimine karşı elde edilen eğriler kullanılarak, enerji verimliliğinin sıcaklık ile değişimi irdelenecektir.



### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. PV Panelinin I-V ve P-V Karakteristiğinin Elde Edilmesi

Deney düzeneğinde, yük direnci sıfırdan başlamak üzere maksimum değerine kadar kademe kademe değiştirilerek elde edilen gerilim, akım ölçümleri ve hesaplanan güç değerleri Tablo 3.'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, yaklaşık  $R_y=4.3$  Ohm için PV panelden çekilen güç maksimumdur.

Tablo 3. Deneyde kullanılan güneş panelinin P-V ve I-V karakteristiğine ilişkin ölçüm değerleri

Yük gerilimi (V)	Yük akımı (A)	Güç (W)
0	4.61	0
18.30	4.60	84.00
19.50	4.60	89.70
20.00	4.58	91.60
21.30	4.56	97.12
22.64	4.50	101.88
<b>24.10</b>	<b>4.30</b>	<b>103.63</b>
26.60	3.80	101.08
27.61	2.37	65.43
28.17	1.88	52.96
28.39	1.72	48.83
28.58	1.44	41.15
28.73	1.26	36.20
28.79	1.18	33.97
28.90	1.02	29.47

#### 3.2. PV Panelinin Verimliliğinin Sıcaklık ile Değişiminin İncelenmesi

##### 3.2.1. Yüksek Ortam Sıcaklığı ve Yüksek Radyasyon Düzeyi Koşullarında Soğutmalı ve Soğutmasız Çalışma

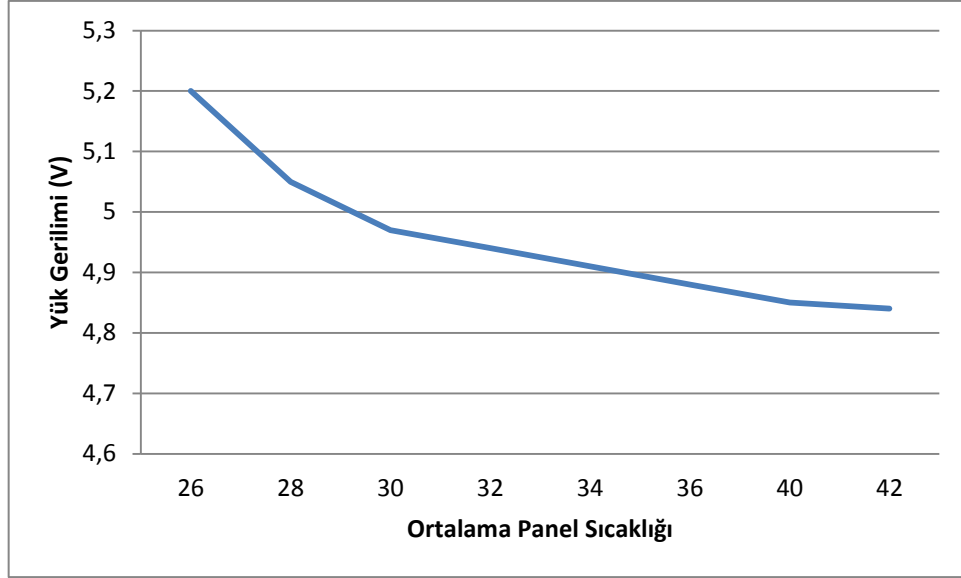
2019 Temmuz ayının güneşli bir günde güneş şiddetinin en yüksek olduğu öğlen vakti deney düzeneği için yük direnci  $R_y=4.8$  Ohm seçilerek, ortam sıcaklığı  $33^\circ\text{C}$ ,

radasyon düzeyinin yaklaşık olarak  $E=1000 \text{ W/m}^2$ , soğutma suyunun akış hızı ise 20 Litre/dakika değerleri için güneş paneli 13 dakika süre ile soğutuldu. Soğutma işlemi öncesi ortalama panel ön yüzey sıcaklığı  $51 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçüldü. 13 dakika süre ile panel yüzeyi soğutulmuş ortalama panel ön yüzey sıcaklığı  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar soğutuldu. Söz konusu soğutma süresi boyunca birer dakikalık aralıklarla elde edilen ölçüm değerleri Tablo 4. 'de verilmiştir.  $R_y=4.3 \text{ Ohm}$  yük direncinin PV panelden çektiği güç soğutma işlemine başlamadan önce  $145.5 \text{ W}$  iken, soğutma işlemi sonunda  $178.3 \text{ W}$  olduğu görülmektedir. Dolayısıyla  $32.8 \text{ W}$ 'lık yani %22.5'lik bir güç artış oranına sahip verim artışı sağlanmıştır.

Tablo 4. Soğutulmuş PV panelinin çıkışına ilişkin ölçümler

Gerçek zaman (saat)	Süre (dak.)	Panel yüzey sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ )	Gerilim (V)	Akım (A)	Üretilen Güç (W)
13:27	0	51	30.08	4.837	145.5
13:28	1	50	30.32	4.877	147.9
13:29	2	48	30.95	4.855	150.3
13:30	3	47	31.26	4.852	151.7
13:31	4	46	31.9	4.865	155.2
13:32	5	44	32.3	4.872	157.5
13:33	6	43	32.69	4.927	161.1
13:34	7	40	32.92	4.966	163.5
13:35	9	37	33.11	5.01	165.9
13:36	8	34	33.14	5.05	167.4
13:37	10	30	33.31	5.1	169.9
13:38	11	29	33.56	5.14	172.5
13:39	12	27	33.73	5.2	175.4
13:40	13	26	33.9	5.26	178.3

Yük gerilim (V) ve panel yüzeyi eğrisi Şekil 18.'de verilmiş olup sıcaklığa bağlı iyileştirme yapılmıştır. Görüldüğü üzere yük gerilimi sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Su soğutma ile  $4.83 \text{ V}$  değerinden  $5.26 \text{ V}$  değerine artış sağlanmıştır.

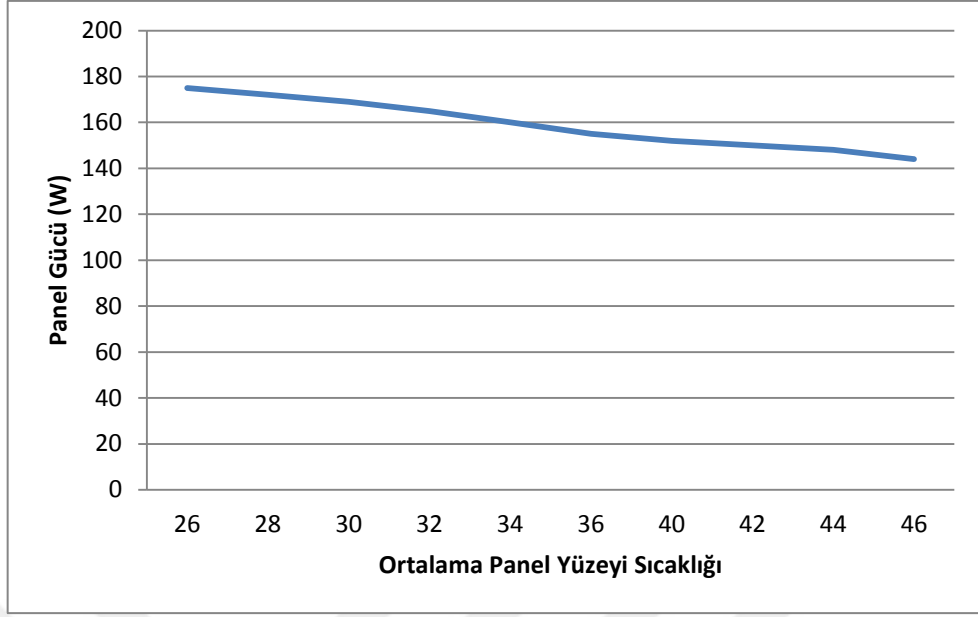


Şekil 18. Yük gerilimin sıcaklıkla değişimi

- **Soğutmasız Çalışma:** Soğutmalı çalışmada panel ön yüzeyi 25 °C' ye kadar soğutulduktan sonra soğutma suyu devre dışı bırakılarak panelin ön yüzey sıcaklığının güneş ışınımı ile 25 °C 'den 52 °C'ye yükseldiği 10 dakikalık süre boyunca veri toplama sistemi ile gerçek zaman ölçümleri yapılarak PC'ye kaydedildi. Görüldüğü gibi sıcaklık artışı akım ve gerilimi olumsuz etkilemiştir. Üretilen güç sıcaklıkla ters orantılı şekilde Şekil 19.' da ki eğride gözlemlenmiştir. 180.2 W'lık panelin başlangıç gücü 144.1 W' a düşerek yaklaşık %24'lük oranda panel çıkış gücü azalmıştır.

Tablo 5. Soğutmasız PV panelinin çıkışına ilişkin ölçümler

Gerçek zaman (saat)	Süre (dak.)	Panel yüzey sıcaklığı (°C)	Gerilim (V)	Akım (A)	Üretilen Güç (W)
13:30	1	26	34	5.30	180.2
13:31	2	30	33.6	5.265	176.9
13:32	3	32	33.4	5.15	172.2
13:33	4	35	33.1	5.07	168.1
13:34	5	38	33.0	4.97	164.0
13:35	6	40	32.8	4.84	159.0
13:36	7	43	32.6	4.76	155.4
13:37	8	46	32.2	4.62	149.0
13:38	9	49	32.1	4.55	146.5
13:39	10	52	31.9	4.51	144.1



Şekil 19. Panel gücünün sıcaklıkla değişimi

### 3.2.2. Düşük Ortam Sıcaklığı ve Düşük Radyasyon Düzeyi Koşullarında Soğutmasız ve Soğutmalı Çalışma

2019 Mayıs ayının güneşli ve serin bir gününde saat sabah 10:00 sularında yük direnci  $R_y=4.5$  Ohm seçilerek, ortam sıcaklığı  $24^{\circ}\text{C}$  değerleri için karma şekilde ölçüm yapılmıştır. İlk olarak panel 5 dakika boyunca soğutmasız olarak ölçülere verileri pc ye kaydedildi arkasından sisteme 5 dakika su ile soğutma yapılarak sonuçları alınan değerler karşılaştırılarak verim artışı değerlendirildi. Panel yüzey sıcaklığı  $38^{\circ}\text{C}$  iken üretilen güç  $127.3$  W olarak ölçülerek deneye başlanmıştır. 5 dakikanın sonunda  $46^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkan panel yüzey sıcaklığı sonucu üretilen güç  $110.3$ W olarak ölçülmüştür.  $17$  W'lık güç kaybı olurken %13.3 lük oranda verim azalması gözlemlenmiştir.

10:05'de soğutma suyu devreye alınarak panelin soğutma cebi su ile doldurularak deneye devam edilmiştir. Dış ortam sıcaklığı ve soğutma suyu sıcaklığı nedeni ile hızlı bir soğutma yapılırken panel yüzey sıcaklığı 5 dakikada  $30^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşürülmüştür.  $110.3$  W'lık başlangıç gücü  $141.3$  W'a kadar arttırılmıştır.

Tablo 6. Düşük radyasyon değerlerinde 5 dakikalık soğutmasız ve soğutmalı panelin ölçüm değerleri

Gerçek zaman (saat)	Süre (dak.)	Panel yüzey sıcaklığı (°C)	Gerilim (V)	Akım (A)	Üretilen Güç (W)
10:00	0	38	29.6	4.3	127.3
10:01	1	39	29.2	4.26	124.4
10:02	2	41	28.7	4.22	121.1
10:03	3	43	28.1	4.20	118.0
10:04	4	44	27.3	4.15	113.3
<b>10:05</b>	<b>5</b>	<b>46</b>	<b>26.9</b>	<b>4.10</b>	<b>110.3</b>
10:06	6	43	28.4	4.2	119.3
10:07	7	40	29.5	4.23	124.8
10:08	8	37	30.3	4.32	130.9
10:09	9	34	31	4.4	136.4
10:10	10	30	31.9	4.43	141.3

Görüldüğü üzere sabah saatlerinde ve düşük ortam sıcaklığında da olsa panel yüzeyi sıcaklığı 46 °C'ye kadar çıkarak 17 W'lık güç kaybı oluşmuştur. Soğutma suyu verilerek 41.3 W'lık güç artışı yani % 28.1' lik oranda verim artışı sağlanmıştır. Aynı zamanda düşük ortam sıcaklığında ısınma 38°C'den 44°C'ye daha yavaş gerçekleşmiş olup, soğuma ise 5 dakikalık zaman diliminde 46°C'den 30°C'ye daha hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir.



#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şekil 15.'de sistematik diyagramı verilen 260 W güce sahip olan polikristal yapıda ki sistem için kurulan deney düzeneğinin kesiti Şekil 16.'de verilmiştir. Deney düzeneği ile öncelikle deney düzeneğinde kullanılmış olan güneş panelinin I-V ve P-V karakteristiği çıkarıldı. Daha sonra güneş şiddetinin ve ortam sıcaklığının yüksek olduğu temmuz ayında deney düzeneğimizdeki paneli soğutarak panelden çekilen gücün değişimi ölçüldü. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

1. Güneş panellerinin soğutulmasıyla büyük ölçüde enerji verimliliği sağlanmıştır. %22.5 oranında güç artışı sağlanmıştır.
2. Sıcak ve serin günlerde gerçekleştirilen deneysel çalışmaların karşılaştırılması sonucunda ortam sıcaklığı ve güneş şiddeti azaldıkça, soğutma ile panelden elde edilen enerji veriminin azaldığı görülmektedir. Az da olsa %13 oranında bir verim artışı sağlanmıştır.
3. Serin ve bulutlu günlerde gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda panelin su ile soğutma hızının, güneş ışınları ile ısıtma hızından daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında Trabzon yöresi için güneş panellerinde sadece sıcaklık değişiminin verimliliğe etkisi 260 W'lık bir güneş paneli kullanılarak araştırılmıştır. Aynı soğutma sistemi daha güçlü sistemlere uygulanarak verimlilik artışı incelenmelidir. Soğutma cebi geometrik olarak geliştirilerek daha hızlı soğutma üzerine inceleme yapılabilir. Ölçümler güneş enerjisi düzeyi sabit ve güneş ışınlarının panele dik geldiği durum için yapılmıştır. Trabzon yöresi için güneş ışınlarının panelin ön yüzeyine gelme açısına bağlı olarak enerji verimliliğinin değişimi araştırılmalıdır. Ayrıca değişik soğutma sistemleri için panellerin enerji verimliliği farklı yöntemlerle araştırılmalıdır.

## 5. KAYNAKLAR

- Akbarzadeh, A. ve Wadowski, T. 1996. *Heat-pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation*. Appl Therm Eng;16,1,7–81.
- Altınışik, U. 2016. *Su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt.
- Anderson, W. G., Dussinger, P. M., Sarraf, D. B. and Tamanna, S. 2008., “*Heat Pipe Cooling of Concentrating Photovoltaic Cells*,” 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, 1-6.
- Can, T. M., 2010. *Rüzgar ve güneş enerjisi ile bir pompanın ihtiyacı olan elektrik enerjisinin karşılanması*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Cox, III CH., Raghuraman, P., 1985. *Design consideration for flat-plate photovoltaic/thermal collectors*. Solar Energy;35,1,41-227.
- Dubey, S., Sandhu, G.S. ve Tiwari, G.N. 2009. *Analytical expression for electrical efficiency of PV/T hybrid air collector*. Appl Energy; 86,697-705.
- El-Shobokshy, M.S. ve Hussein, F.M. (1993) *Effect of the dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells*. Solar Energy;51,6,11–505.
- Erkul, A. 2010. *Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Han, E. 2018. *Fotovoltaik hücre performansı üzerine çalışma koşullarının etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- He, W., Chow T. T., Ji J., et al. 2006., “*Hybrid Photovoltaic and Thermal Solar-Collector Designed for Natural Circulation of Water*,” Applied Energy, Vol. 83, No. 3, 199-220
- Kalogirou, S. 2009. *Solar energy engineering processes and systems*, Elsevier Inc.
- Karamanav, M., 2007. *Güneş enerjisi ve güneş pilleri* Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Küveli, A.Ö., 2005. *Güneş pilleri ve verimleri*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

- Moharram, K.A., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A. ve El-Sherif, H. 2013. *Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling*. *Ain Shams Engineering Journal*; 4, 869–877
- Öksüz, H.İ., 2019. *Yüzey soğutmalı fotovoltaiik panelin(PV) performansının araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özakın, A.N., 2016. *Hava soğutmalı fotovoltaiik termal (PVT) sisteminin termodinamik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Özbey, U., 2018. *Yoğunlaştırıcı fotovoltaiik (CVP) sistemlerde fotovoltaiik (PV) yüzey sıcaklığının sistem performansına etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Petukhov, B.S., In: Irvine T.F., Hartnett J.P., 1983. editors. *Advances in heat transfer, vol. 6*. New York: Academic Press.
- Progress in Photovoltaics: Rsearch and Aplications. *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 2003.; 11:47-62
- Selçuk, K. ve Hüseyin G. Y., 2008. *Türkiye'deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliğine etkisi*, Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, Sayı: 22, s. 12-20
- Siecker,J., Kusukana, K. ve Numbi, B.P., 2017. A review of solar photovoltaic systems coolig technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79: 192-203.
- Şenol, R., 2005. *Güneş izlemeli fotovoltaiik pillerin mobil ölçüm istasyonlarına uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Url-1 <[http://www.mmo.org.tr/resimler/dosva\\_ekler/9514e888b8f2aca\\_ek.pdf](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosva_ekler/9514e888b8f2aca_ek.pdf) >, [Ziyaret Tarihi: 10 Şubat 2018].
- Weng, Z. J. and Yang, H. H., 2008., “Primary Analysis on Cooling Technology of Solar Cells under Concentrated Illumination,” *Energy Technology*, Vol. 29, No. 1, 16-18.
- Xiao, T., Zhenhua Q. ve Yaohua Z., 2010., *Experimental Investigation of Solar Panel Cooling by a Novel Micro Heat Pipe Array*. *Energy and Power Engineering*, 2, 171-174

## 6. EKLER

### EK-1: PV Panel Özellikleri:

Panel Tipi :Polikristal

Maksimum Güç : 260 W

Maksimum Güç Voltajı : 39 V

Kısa Devre Akımı : 9 A

Maksimum Güç Voltajı :30.45

Maksimum Güç Akımı :8.5 A

Maksimum Sistem Gerilimi :1000 VDC



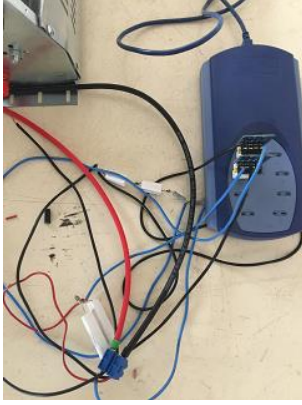
### SÜRGÜLÜ REOSTA

1.5 KW

0-500 OHM



## TC-08 DATA LOGGER



## USB TC-08 Özellikleri

USB TC-08 Termokupl Data Logger genel özellikler	
Kanal sayısı (tek ünite)	8
Maksimum kanal sayısı (20 TC-08'e kadar)	160
Dönüşüm süresi	Termokupl kanalı 100 ms yeri kompanzasyonu için + 100 ms (tüm kanallar gerilim girişine göre kullanıldığında CJC devre dışı bırakılabilir)
Sıcaklık doğruluğu	Okumanın $\pm\% 0.2$ 'si ve $\pm 0.5$ ° C'nin toplamı
Voltaj doğruluğu	Okumanın $\pm\% 0.2$ 'si ve $\pm 10$ $\mu$ V toplamı
Aşırı gerilim koruması	$\pm 30$ V
Maksimum ortak mod voltajı	$\pm 7.5$ V
Giriş empedansı	2 M $\Omega$
Giriş aralığı (voltaj)	$\pm 70$ mV
çözüm	20 bit
Gürültüsüz çözünürlük	16,25 bit
Desteklenen termokupl tipleri	B, E, J, K, N, R, S, T
Giriş konnektörleri	Minyatür termokupl

## DATALOGGER dan alınan veriler

PicoLog 6 - Files - gölgeden güneşe - Table

	Channel 1 1 (°C) Ave.	Channel 2 2 (°C) Ave.	Channel 3 3 (mV) Ave.	Channel 4 4 (mV) Ave.	Channel 5 5 (°C) Ave.	Channel 6 6 (°C) Ave.	Channel 7 7 (°C) Ave.	Channel 8 8 (°C) Ave.
00:08:00	36.935	39.828	0.005	40.236	38.989	34.990	39.159	33.886
00:09:00	39.648	42.353	0.005	39.886	41.664	37.399	41.845	37.649
00:10:00	42.318	44.674	0.005	39.599	44.231	39.843	44.613	39.148
00:11:00	44.893	46.925	0.006	39.269	46.527	42.192	47.292	40.545
00:12:00	47.381	48.931	0.005	39.113	48.647	44.625	49.917	41.396
00:13:00	49.658	50.887	-0.007	38.889	50.816	46.985	52.379	40.753
00:14:00	51.802	52.685	0.006	38.671	52.931	49.142	54.525	38.359
00:15:00	53.989	54.415	0.005	38.416	54.961	51.259	56.386	35.319
00:16:00	55.966	56.069	0.005	38.068	56.823	53.286	57.798	32.808
00:17:00	57.801	57.488	0.005	37.816	58.457	55.024	58.988	31.281
00:18:00	59.458	58.795	0.006	37.799	59.914	56.579	60.802	30.855
00:19:00	61.191	59.902	0.005	37.702	61.370	58.111	61.802	29.235
00:20:00	62.759	60.956	0.005	37.552	62.688	59.482	61.883	28.666
00:21:00	64.332	62.844	0.005	37.399	64.062	60.666	62.620	28.306
00:22:00	65.794	62.994	0.006	37.213	65.233	61.787	63.345	28.007
00:23:00	67.844	63.750	0.005	37.183	66.261	62.760	63.742	27.769
00:24:00	68.116	64.277	0.005	37.050	67.119	63.622	64.208	27.669
00:25:00	69.307	64.917	0.005	36.947	67.906	64.492	64.658	27.545
00:26:00	70.443	65.677	0.004	36.809	68.899	65.261	65.045	27.340
00:27:00	71.321	66.421	0.005	36.757	69.626	65.955	65.425	27.225
00:28:00	72.174	66.966	-0.016	36.621	70.296	66.675	65.598	27.162
00:29:00	72.943	67.339	-0.061	36.603	71.003	67.318	65.427	28.942
00:30:00	73.705	67.675	-0.154	36.425	71.542	67.874	65.537	34.768
00:31:00	74.278	67.943	-0.412	35.816	72.039	68.152	65.114	36.937
00:32:00	73.805	67.673	-0.146	34.540	72.080	67.562	64.877	37.993
00:33:00	72.879	67.584	-0.363	34.991	71.952	66.597	64.642	40.683
00:34:00	71.858	67.598	-0.741	35.939	71.748	65.650	64.545	41.958
00:35:00	71.850	67.973	-0.742	35.938	71.875	65.586	64.874	42.237
00:36:00	71.436	67.887	-0.745	35.922	71.660	65.139	64.874	42.494

Channels & Axes

- Channel 1  
A0031/273 | 1 | Type K
- Channel 2  
A0031/273 | 2 | Type K
- Channel 3  
A0031/273 | 3 | ±70 mV
- Channel 4  
A0031/273 | 4 | ±70 mV
- Channel 5  
A0031/273 | 5 | Type K
- Channel 6  
A0031/273 | 6 | Type K
- Channel 7  
A0031/273 | 7 | Type K
- Channel 8  
A0031/273 | 8 | Type K

## Data Logger dan alınan yüzey soğutmasız deney sonuçları.

PicoLog 6 - Files - May 28, 2019 2:40:08 PM sulu - Table

	Channel 1 1 (°C) Ave.	Channel 2 2 (°C) Ave.	Channel 3 3 (mV) Ave.	Channel 4 4 (mV) Ave.	Channel 5 5 (°C) Ave.	Channel 6 6 (°C) Ave.	Channel 7 7 (°C) Ave.	Channel 8 8 (°C) Ave.
00:00:00	81.821	78.080	-0.543	35.868	82.129	75.338	72.734	28.862
00:01:00	82.692	78.973	-0.245	36.115	82.753	76.396	74.372	27.610
00:02:00	83.202	79.250	-0.513	35.839	83.299	76.699	74.431	27.369
00:03:00	83.979	79.840	-0.497	35.915	83.990	76.926	65.912	27.019
00:04:00	91.863	62.816	-0.676	31.528	90.855	77.935	60.490	35.569
00:05:00	96.894	59.498	-0.185	29.591	96.266	81.010	59.598	41.388
00:06:00	96.925	54.840	-0.183	29.658	95.624	79.785	61.237	41.349
00:07:00	129.048	84.161	0.526	31.366	126.205	112.486	105.976	73.355
00:08:00	113.306	78.675	0.148	32.145	110.705	93.548	121.896	72.046
00:09:00	141.056	127.180	1.678	30.907	132.236	134.401	137.240	114.743
00:10:00	395.633	351.268	7.240	29.123	336.288	332.739	365.635	309.687
00:11:00	88.123	52.126	4.123	43.229	90.762	43.187	57.751	74.281
00:12:00	45.162	35.333	0.389	42.138	40.038	33.315	39.299	27.328
00:13:00	45.857	38.285	0.094	41.393	41.031	35.715	39.124	28.285
00:14:00	47.880	40.896	0.088	40.994	42.607	38.340	41.899	27.106
00:15:00	48.631	43.329	0.044	40.584	44.427	40.835	45.899	25.263
00:16:00	50.430	45.536	0.027	40.212	46.630	43.195	48.796	23.926
00:17:00	52.619	47.618	0.025	39.892	48.601	45.160	53.319	23.554
00:18:00	54.932	49.619	0.023	39.573	50.562	47.260	57.785	23.626
00:19:00	57.130	51.609	0.051	38.869	52.379	49.188	62.782	23.685
00:20:00	60.348	54.874	0.139	33.831	55.293	52.192	113.517	24.831

Channels & Axes

- Channel 1  
A0031/273 | 1 | Type K
- Channel 2  
A0031/273 | 2 | Type K
- Channel 3  
A0031/273 | 3 | ±70 mV
- Channel 4  
A0031/273 | 4 | ±70 mV
- Channel 5  
A0031/273 | 5 | Type K
- Channel 6  
A0031/273 | 6 | Type K
- Channel 7  
A0031/273 | 7 | Type K
- Channel 8  
A0031/273 | 8 | Type K

## Data Logger dan alınan yüzey soğutmalı deney sonuçları.

## BELİRSİZLİK ANALİZİ

1.)  $P=V \times I$  için belirsizlik analizi.

$W_V=1$  V,  $W_I=0.1$  A olarak alındı.

$$V=34 \text{ V} \pm 1 \text{ V} \quad P=V \cdot I \quad P=f(V,I)$$

$$I=5.25 \text{ A} \pm 0.1 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} W_P &= \left[ \left( \frac{\partial P}{\partial V} \times W_V \right)^2 + \left( \frac{\partial P}{\partial I} \times W_I \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[ (I \times W_V)^2 + (V \times W_I)^2 \right]^{1/2} \\ &= \left[ (5.25 \times 1)^2 + (34 \times 0.1)^2 \right]^{1/2} = 6.25 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\text{Bağıl Hata} \Rightarrow \frac{W_P}{P} = \frac{6.25}{34 \times 5.25} \times 100 = \pm \%3.5$$

2.)  $P=V^2/R$  için belirsizlik analizi.

$W_V=1$  V,  $W_R=0.1$   $\Omega$  olarak alındı.

$$V=34 \text{ V} \quad P=V^2/R \quad P=f(V,R)$$

$$R=4.3 \text{ } \Omega$$

$$W_P = \left[ \left( \frac{\partial P}{\partial V} W_V \right)^2 + \left( \frac{\partial P}{\partial R} W_R \right)^2 \right]^{1/2} \quad \frac{\partial P}{\partial V} = \frac{2V}{R} \quad \frac{\partial P}{\partial R} = -\frac{V^2}{R^2}$$

$$W_P = \left[ \left( \frac{2V}{R} \right)^2 \times W_V^2 + \left( -\frac{V^2}{R^2} \right)^2 \times W_R^2 \right]^{1/2} \quad \text{Bütün terimleri } P=V^2/R \text{ 'ye bölünürse;}$$

$$\frac{W_P}{P} = \left[ 4 \times \left( \frac{W_V}{V} \right)^2 + \left( \frac{W_R}{R} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[ 4 \times \left( \frac{1}{34} \right)^2 + \left( \frac{0.1}{4.3} \right)^2 \right]^{1/2} = 0.0632$$

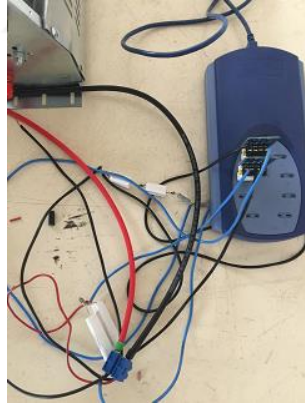
$$\frac{W_P}{P} = \pm \%6.32$$

**EK-2: Deney düzeneği ile ilgili tanıtıcı resimler**

Ek Şekil 1. Yüzey sıcaklık sensörlerinin yerleştirilmesi



Ek Şekil 2. Reosta



Ek Şekil 3. Datalogger

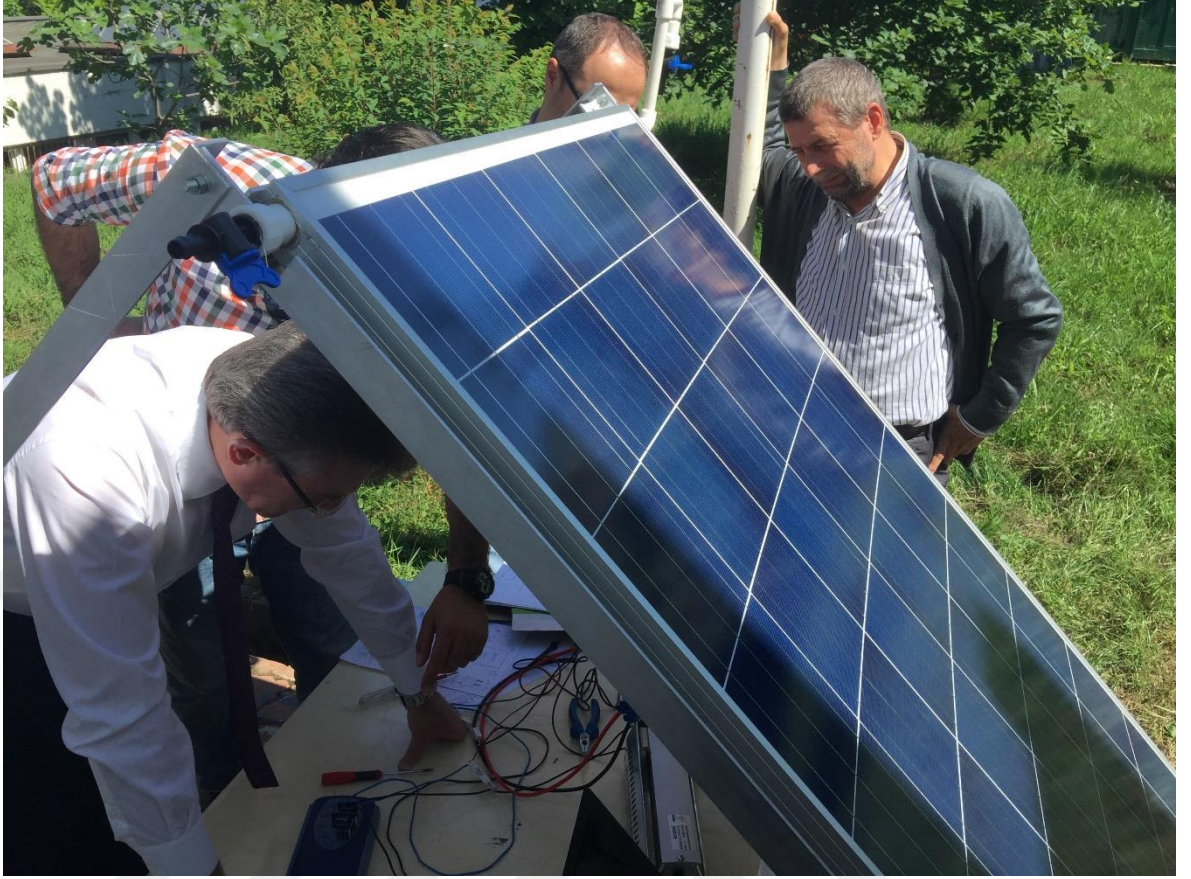


Ek Şekil 4. Termokupl

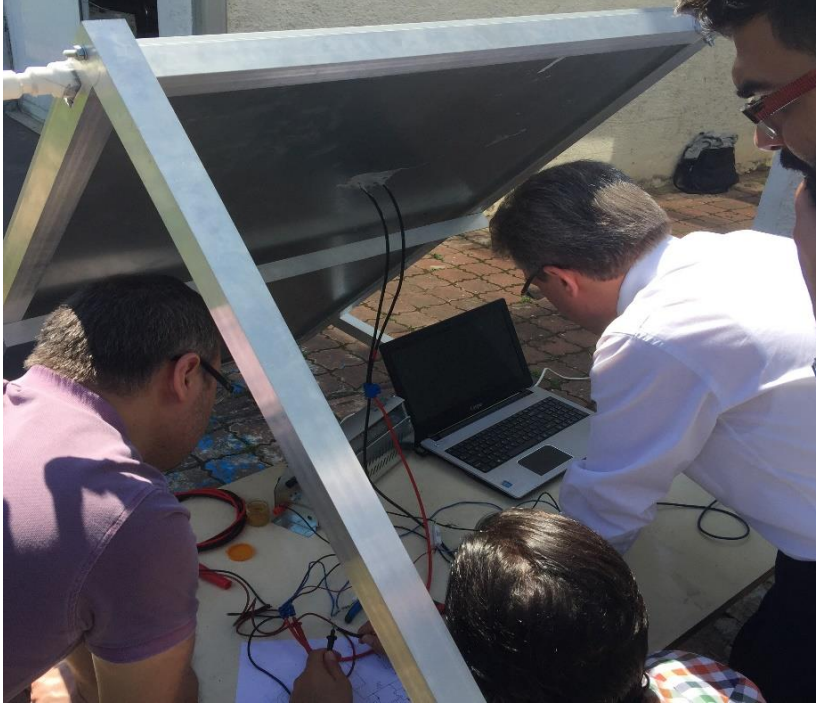




Ek Şekil 5. Sistemin kablo bağlantılarının yapılması



Ek Şekil 6. Panelin direnç montajı



Ek Şekil 7. Datalogger kayıtlarının bilgisayar ortamında okunması

## ÖZGEÇMİŞ

Gökhan Albayrak 1990 yılında Hatay’da doğdu. İlkokulu ve orta okulu Atatürk ilk öğretim okulunda 2004’te tamamladı. Lise öğrenimini Dörtyol Lise’sinde 2007’de tamamladı. 2008-2014 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği bölümünde eğitimini aldı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi’nde yüksek lisans eğitimine başladı ve halen devam etmektedir. Yabancı dili iyi derecede İngilizce’dir.

