

**T.C.  
SİİRT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARKADAN SU SOĞUTMA İLE FOTOVOLTAİK PANELLERİN  
VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ömer KIZILKAN  
(143103007)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Saadettin AKSOY**

**Kasım-2017  
SİİRT**

## TEZ KABUL ve ONAYI

Ömer KIZILKAN tarafından hazırlanan “Arkadan Su Soğutma ile Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Arttırılması” adlı tez çalışması 16/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Prof.Dr. Sadettin AKSOY



#### Danışman

Prof.Dr. Sadettin AKSOY



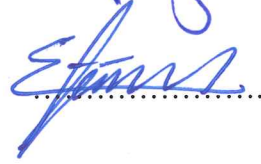
#### Üye

Doç. Dr.Fevzi HANSU



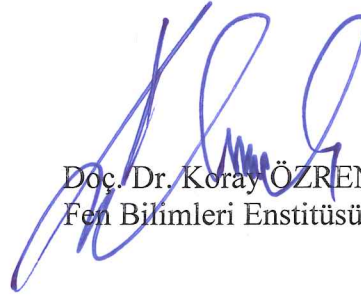
#### Üye

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Koray ÖZRENK  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Bu tez çalışması Siirt Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2017-SİÜFEB-36 no’lu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Ömer KIZILKAN



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖN SÖZ

Güneş enerjisi, ucuz işletme maliyeti ve çevreci olma özelliği ile cezbedici elektrik üretme yöntemlerinden biri haline gelmiştir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yıllık güneşlenme süresi ortalamasının dünya standartlarına göre oldukça iyi düzeyde olması, bu bölgedeki değişik güçlerdeki güneş enerji sistemlerinin kullanımını isteklerini arttırmaktadır. Gün geçtikçe bölgede elektrik enerjisi üretimi için alınan lisansların sayısı hızla artmaktadır. Örneğin tez çalışmasının uygulandığı Siirt yöresinde yirmi civarında güneş enerjisi santrali lisansı alınmıştır. Ayrıca bölgede oldukça önem arz eden sulama işlemi için güneş enerjisinin kullanımı çalışmaları sürdürülmektedir. Yukarıda arz edilen uygulamalarda kullanılacak olan güneş panellerinin su ile soğutulması sonucu verimliliğin %10 ile %15 civarında arttırılabileceği, literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır. Söz konusu proje çalışması sonucu bölgemize has bir soğutma sistemi modeli geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Yüksek Lisans hayatımda hayallerimi gerçekleştirmede başta değerli hocam Prof. Dr. Sadettin AKSOY hocamın Siirt gibi sahada zorlukları fazla olan ilimizde her türlü problemi bir fincan kahve içme rahatlığıyla çözülebilen bir fikir deryasının varlığı benim her zaman motivasyon kaynağımın olduğunu belirterek değerli hocama hayatında dua, sağlık ve nice başarılar diliyorum. Ve inanıyorum ki, akademik hayatımda hocamın özverili fikirleri her zaman en büyük destekçim olacağı düşüncelerimle değerli hocama ve ailesine saygılar sunuyorum. Ayrıca tez sürecimde her türlü zorluklara rağmen bana manevi değerini esirgemeyen biricik eşim, değerli annem, babam ve sevgili kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

Ömer KIZILKAN  
SİİRT-2017

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖN SÖZ</b> .....	<b>iv</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Güneş Enerjisi .....	1
1.1.2. Güneş enerjisi potansiyeli .....	4
1.1.3. Dünya’da güneş enerjisi potansiyeli .....	4
1.1.4. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli .....	5
1.2. Güneş Pilleri .....	9
1.2.1. Güneş pillerinin tarihsel gelişimi .....	10
1.2.2. Güneş pillerinin yapısı .....	12
1.2.3. Güneş pillerinin uygulama alanları .....	13
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ve TEZİN KAPSAMI</b> .....	<b>15</b>
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>17</b>
3.1. Piranometre .....	17
3.2. Veri Toplama Cihazı.....	18
3.3. Fotovoltaik Paneller .....	21
3.3.1. Panelin konumu .....	22
3.4. Fotovoltaik Pillerin Verimliliğinin Sıcaklıkla ve Güneş Işınımı ile İlişkisi .....	23
3.4.1. Verimliliğin sıcaklıkla ilişkisi .....	23
3.4.2. Verimliliğin radyasyon düzeyi ile ilişkisi .....	25
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	<b>27</b>
4.1. PV Panelin I-V ve P-V Karakteristiğinin Elde Edilmesi .....	29
4.2. PV Panelin Verimliliğinin Sıcaklık ile Değişiminin İncelenmesi .....	31
4.2.1. Yüksek ortam sıcaklığı koşullarında 1. gün çalışması .....	32
4.2.2. Yüksek ortam sıcaklığı koşullarında 2. gün çalışması .....	40
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	<b>49</b>
5.1. Sonuçlar .....	49
5.2. Öneriler .....	49
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>51</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>53</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>58</b>

## TABLULAR LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Tablo 1.1.</b> Güneş radyasyon miktarı.....	4
<b>Tablo 1.2.</b> Güneş ışınım miktarını etkileyen bileşenler ve etkileri.....	5
<b>Tablo 1.3.</b> Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi dağılımı .....	6
<b>Tablo 1.4.</b> Siirt ili yıllık (2008-2010) sıcaklık değerleri ve güneşlenme süreleri .....	7
<b>Tablo 4.1.</b> Çalışmada kullanılan güneş panelinin yük direncine göre değişen akım, gerilim ve güç değerleri.....	30
<b>Tablo 4.2.</b> Soğutulmuş pv panel için sabah saatlerinde alınan ölçüm sonuçları.....	33
<b>Tablo 4.3.</b> Soğutulmuş pv panel için öğlen saatlerinde alınan ölçüm sonuçları .....	37
<b>Tablo 4.4.</b> Soğutulmuş pv panel için sabah saatlerinde alınan ölçüm sonuçları.....	41
<b>Tablo 4.5.</b> Soğutulmuş pv panel için öğlen saatlerinde alınan ölçüm sonuçları .....	45
<b>Tablo E2.1.</b> Kullanılan piranometrenin teknik özellikleri .....	54
<b>Tablo E3.1.</b> Picolog Tc-08 veri toplama cihazının teknik özellikleri .....	55

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1.	Güneş ve dünya'nın görüntüsü.....	2
Şekil 1.2.	Bölgelerin sıcaklık ve ışınım değerlerine göre panel verimliliklerin karşılaştırılması.....	8
Şekil 1.3.	Güneydoğu Anadolu Bölgesine ilişkin sıcaklık ile panel verimlilikleri arasındaki ilişki.....	9
Şekil 1.4.	Fotovoltaik modül.....	10
Şekil 1.5.	Tipik bir silisyum güneş pilinin ön yüzü.....	12
Şekil 3.1.	Termo-çift.....	17
Şekil 3.2.	Çalışmada kullanılan piranometre.....	18
Şekil 3.3.	Veri toplama cihazının prensip şeması.....	19
Şekil 3.4.	Veri toplama cihazı muhafazası.....	20
Şekil 3.5.	Picotech Tc-08 veri toplama cihazı.....	20
Şekil 3.6.	Fotovoltaik Sistemin görünümü.....	21
Şekil 3.7.	Fotovoltaik panel görünümü.....	22
Şekil 3.8.	Güney yönüne bakan pv sistemli cephe örneği.....	23
Şekil 3.9.	Pv modülün ideal I-V ve güç karakteristiği.....	24
Şekil 3.10.	Verimin ortam sıcaklığıyla değişimi.....	24
Şekil 3.11.	Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği.....	28
Şekil 4.1.	Soğutma sistemi çalışma düzeneğinin sistematik diyagramı.....	28
Şekil 4.2.	I-V ve güç karakteristik eğrisi için çalışma düzeneği.....	29
Şekil 4.3.	Panele ilişkin I-V ve P-V karakteristik eğrileri.....	31
Şekil 4.4.	Panel gücünün yük direncine göre değişim eğrisi.....	31
Şekil 4.5.	Soğutulmuş olan pv panele ilişkin akım ,gerilim,sıcaklık ve güç değişim eğrileri (1. gün sabah saatleri).....	36
Şekil 4.6.	Soğutulmuş olan pv panele ilişkin akım ,gerilim,sıcaklık ve güç değişim eğrileri (1. gün öğleden sabah saatleri).....	40
Şekil 4.7.	Soğutulmuş olan pv panele ilişkin akım ,gerilim,sıcaklık ve güç değişim eğrileri (2. gün sabah saatleri).....	44
Şekil 4.8.	Soğutulmuş olan pv panele ilişkin akım ,gerilim,sıcaklık ve güç değişim eğrileri (2.gün öğleden saatleri).....	48
Şekil E4.1.	Çalışma düzeneğinin önden görünümü.....	56
Şekil E4.2.	Çalışma düzeneğinin arkadan görünümü.....	57
Şekil E4.3.	Panel gücünün yük direncine göre değişimi.....	57

## KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

<b><u>Kısaltma</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<b>AC</b>	: Alternating Current
<b>CPU</b>	: Merkezi işlem birimi
<b>DC</b>	: Direct Current
<b>DMİ</b>	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
<b>E</b>	: Güneş ışınımı
<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>G</b>	: Güneşlenme düzeyi
<b>MGN</b>	:Maksimum Güç Noktası
<b>kWh</b>	: Kilowatt saat
<b>I</b>	: Çıkış akımı
<b>P</b>	: Elektriksel çıkış gücü
<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>PV/T</b>	: Hibrit
<b>V</b>	: Çıkış voltajı
<b>W</b>	: Watt

<b><u>Simge</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<b>R<sub>y</sub></b>	: Yük direnci
<b>Ω</b>	: Ohm
<b>°C</b>	: Santigrad derece



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### ARKADAN SU SOĞUTMA İLE FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

ÖMER KIZILKAN

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sadettin AKSOY

2017, 57 Sayfa

Günümüzde kullanımı hızla yaygınlaşan güneş panelleri, yenilenebilir enerji alanında oldukça önemli bir konuma sahiptirler. Ülkemizin özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinin güneş potansiyeli, PV (photovoltaik) sistemlerin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu tez çalışmasında, güneş panellerine gelen ışınların emilmesi ile ortaya çıkan sıcaklık artışının panelin verimliliğine olan etkisi araştırılmıştır. Siirt bölgesindeki sıcaklık farklarından oluşan kayıpların güneş panellerinin verimliliği üzerindeki etkileri 250 Watt gücünde bir güneş paneli, arkadan su ile soğutma yöntemi sayesinde panel yüzeyi soğutularak incelenmiştir. Belli aralıklarla soğutulan güneş panelinin üzerindeki algılayıcılar ve veri toplama kartı üzerinden güneş şiddeti, ortalama panel yüzey sıcaklığı, yük akımı ve yük gerilimi gerçek zamanlı olarak ölçülüp kaydedilmiştir. Elde edilen ölçüm verileri kullanılarak, soğutulmuş sistemin elektrik üretimi verimliliğinin sıcaklık düzeyi ile ilişkisi irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Verimliliği, Güneş panelleri, Sıcaklık Değişimleri, Yenilenebilir Enerji

## **ABSTRACT**

**MSc. THESIS**

### **INCREASING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PANELS BY USING REAR WATER COOLING METHOD**

**Ömer KIZILKAN**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University  
The Degree of Master of Science in Electrical-Electronics Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Saadettin AKSOY**

**2017, 57 Pages**

Today, solar panels that are becoming increasingly popular have a very important role in the area of renewable energy. Especially in our country, the potential of the solar beam in the Southeastern Anatolia Region shows the importance of solar panel system. In this thesis, the effect of the temperature on the surface of the solar panels has been analyzed. The effects of the temperature differences in Siirt province to the efficiency of solar panel was examined by using 250 watt solar panel that were cooled with equal time interval from behind of the solar panel with a cooling water system. The solar intensity, the average temperature on the surface of the panel, load current and load voltage of the solar panel which was cooling with equal time interval were measured and recorded in real time via data logger. By using the obtained measurement datas, the efficiency of the cooling system has been analyzed in the context of the surface temperature and panel's output power.

**Keywords:** Energy efficiency, Solar panels, Variation of temperatures, Renewable Energy

## 1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı nüfus artışı, hızlı teknolojik gelişmeler, ekonomik büyüme ve küreselleşme gibi etmenlere bağlı olarak artmaktadır. Nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte küreselleşme sonucunda ticaret ve üretim miktarlarına bağlı olarak, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Artan enerji ihtiyacına cevap verebilmek amacıyla insanoğlu mevcut enerji kaynaklarının yanı sıra alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır (Anonim, 2004; Keçel, 2007).

Güneş enerjisi, enerji tüketimine cevap verebilmek amacıyla kullanılan alternatif enerji kaynaklarından birisidir. Güneş enerjisi güvenilir bir kaynak olup yaygın kullanımı ile karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Güneş enerjisi donanımlarının imalatı ve enerji üretim aşamalarında önemli bir çevre kirliliği de yaratmamaktadır. Elektrik üretimi için kullanılan teknolojilerin başında gelen güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Güneş Pillerine dayalı fotovoltaik güç sistemleri, akım ve voltaj gereksinimlerine bağlı olarak düzenlenmiş pv modüller, sistemde depolamaya gereksinim varsa aküler ile DC/AC dönüşümünü sağlayan çeviricilerden oluşmaktadır (Quaschnig, 2005).

Fotovoltaik panellere ilişkin çalışmalar yüksek sıcaklıklarda elektriksel verimin maksimuma ulaşması yönünde daha fazla malzeme özelliklerine üzerinde yoğunlaşmasına rağmen, daha az dikkat edilen fotovoltaiklerin sıcaklık ve çıkış verimleri üzerinde modül geometrileri üzerine çalışmalarda artış yaşanmaktadır (Nordmann ve Clavadetscher, 2005).

Fotovoltaik panellerin maksimum güç çıkışı ve elektriksel verim sağlayabilmesi tamamen panel üzerindeki silikon modüllerin sıcaklığına bağlıdır (Michael ve Manosh, 2011; Skoplaki ve ark., 2008).

### 1.1. Güneş Enerjisi

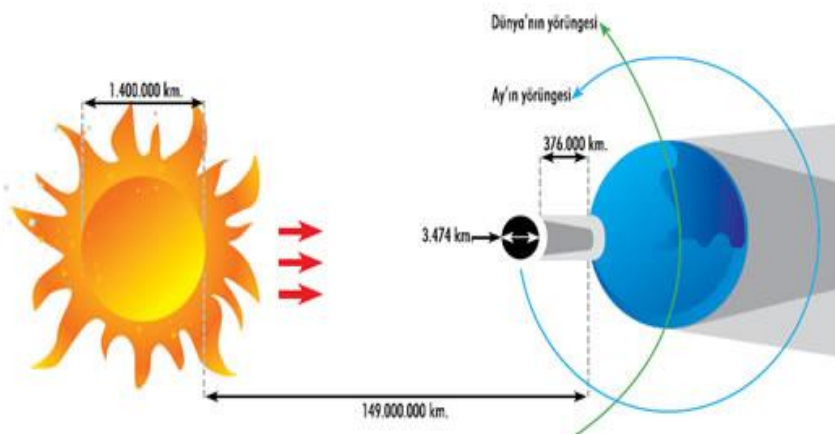
Enerji fiyatlarındaki artış ve küresel iklim değişikliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ve temiz enerji teknolojilerinin geliştirilmesine verilen önemin ve önceliğin hızla artmasına neden olmuştur. Bilinen enerji kaynakları arasında en temiz ve en tükenmez olan güneş enerjisi bu gelişmeler sonucu ilgi çekmeye

başlamıştır. Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışınım enerjisidir. Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında (62 MW/m<sup>2</sup>) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir.

Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışınım değeri yaklaşık 1370 W/m<sup>2</sup>'dir. Güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı dünyanın şekli nedeniyle büyük farklılıklar göstermekte olup, dünyaya gelen ortalama güneş enerjisi 0–1100 W/m<sup>2</sup> mertebesindedir. Güneş radyasyonunun enerji olarak % 46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, % 45'i görünür ışık bölgesinde geri kalan yüzdesi de mor ötesinde bulunur.

Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, % 30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır, % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımının % 20'si ise atmosfer ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Dünya'ya gelen bütün güneş ışınımı, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir (Anonim, 2009).

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri, teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevresel bakımdan temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir (Wec-Tnc, 2009).



Şekil 1.1. Güneş ve dünya'nın görüntüsü

Şekil 1.1’de Güneşten, dünya’ya 150 milyon km kat ederek gelen enerji, dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır. Güneş, enerjisini ışıyarak yayar. Dünyanın yörünge yarıçapı yaklaşık 150 milyon kilometredir. Bir başka deyişle güneşten dünyamıza gelen enerji bu uzun yolu 8 dakika içinde alarak gelir. Güneşe her baktığımızda onun 8 dakika önceki durumunu görürüz. Bu kadar uzun bir yol olmasına rağmen, yerküre 40 dakika içerisinde, dünya üzerinde bir senede tüketilen toplam enerjiye eşit miktardaki enerjiyi güneş ışınlarından soğurur.

Güneş’in çeşitli yöntemler ile ölçülen sıcaklığı 5.800 °C’dir. Böylesine sıcak bir cismin gücü, yani bir saniyede yaydığı ışımaya enerjisi, yaklaşık 4 x 10<sup>23</sup> kW’tır. Bu 100 W’lık 400 trilyon çarpı bir trilyon ampul gücüne denktir. Güneşi bir küre olarak düşünürsek, (yaklaşık küre şeklindedir) enerjisini tüm yönlerde homojen olarak yayar. Atmosferde soğurulduktan sonra yeryüzünün her metre karesine düşen güç ortalama yaklaşık 1000 W/m<sup>2</sup>’dir (WEC-TNC, 2009).

Güneş enerjisi, daha çok binalarda ısıtma, soğutma ve sıcak su elde etmek için kullanılmaktadır. Sıcak su elde etmek amacıyla kullanım, en yaygın olan kullanım biçimidir. Isıtma amacıyla kullanım, ısıyı depolama tekniklerinin gelişimiyle daha verimli kullanılır hale gelmektedir. Soğutma ise yıllık güneşlenme zamanının uzun olduğu bölgelerde verimli olmaktadır.

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan ısı uygulamaları, düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak üçe ayrılır. Düşük sıcaklık uygulamaları, daha çok düzlem toplayıcılarla su ısıtılması, konut ve sera ısıtılması için kullanılmaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı, odaklı toplayıcılarla toplanarak, sanayi için gerekli sıcak su veya buhar elde etmek için kullanılır. Genellikle bu tip toplayıcılarda, güneş ışınımının sürekli olabilmesi için güneşi izleyen mekanizmalara gerek vardır. 300 °C sıcaklık değerinin üzerine çıkabilen, geniş bir alana gelen güneş ışınımı bir noktaya odaklanarak, metal ergitme fırınları çalıştırılabilir.

İkinci bir uygulama türü ise güneş pilleri kullanarak yapılan fotovoltaik uygulamalardır. Üzerine düşen güneş ışınımını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren güneş pilleri doğru akım üretirler. Bu piller, seri veya paralel bağlanarak, ürettikleri akım ve gerilim değerleri yükseltilebilir. Üretilen akımı depolayabilmek için bir akümülatöre gerek vardır (Karamanav, 2007).

### 1.1.2. Güneş enerjisi potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önem kazanmasının başlıca nedeni, dünya nüfusunun artmasıyla birlikte enerji isteminin artması, buna paralel olarak fosil kaynaklı yakıtların oluşturduğu çevre kirliliğidir. Bilim adamları, gelecekte büyük problemlere neden olacak ve halen etkilerini atmosferik koşulların değişmesini gözlemleyerek de görebildiğimiz bu sorunun giderilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yüzlerce proje üzerinde çalışmaktadırlar. Ülkemizde de bilimsel çalışmaları izlemek, teknolojiye bilgi birikimine önder olmak, kullanıcıya en ucuz ve optimum şekilde sistem tasarımı sunmak amacıyla 1982 yılında, EİE İdaresi Genel Müdürlüğünde çalışmalara başlanarak üniversitelere ve sektöre önder olacak çalışmalar yapılmıştır.

Termonükleer bir reaktör olan güneşten çeşitli dalga boylarında ( $62 \text{ MW/m}^2$ ) enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir.

Güneş enerjisinin atmosfer dışındaki ışınım değeri  $1375 \text{ W/m}^2$ 'dir. Güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı dünyanın şekli nedeniyle büyük farklılıklar göstermekte olup, dünyaya gelen ortalama güneş enerjisi 0 ile  $1100 \text{ W/m}^2$  arasında değişir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır.

### 1.1.3. Dünya'da güneş enerjisi potansiyeli

Dünya yüzeyinden yaklaşık 160 km uzaklıkta atmosferin üst sınırında güneş ışınlarının gelişine dik bir yüzeye gelen ortalama güneş enerjisi yoğunluğu yani güneş sabiti yaklaşık  $137 \text{ kW/m}^2$ 'dir. Güneş enerjisinden en iyi yararlanan bölge ekvatorun  $35^\circ$  kuzey ve güney enlemleri arasında yer alan kısmıdır. Bu bölge 'Dünya Güneş Kuşağı' olarak adlandırılır. Bir yılda 2000-3500 saat güneş alır ve güneş potansiyeli  $3,5-4 \text{ kWh/m}^2$  arasında değişir. Dünya üzerindeki ortalama yıllık güneş radyasyonu miktarı kurak bölgelerde  $2000-2500 \text{ kWh/m}^2$  ve daha üst enlemlerde ise  $1000-1500 \text{ kWh/m}^2$  arasında değişir. Dünyanın değişik bölgelerindeki güneş radyasyon miktarları Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.1** Güneş radyasyon miktarı

Bölge	kWh/m <sup>2</sup>
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator	2200

Güneş ışınımı ölçümlerinin farklılık gösterdiği durumlar şunlardır:

- Dakika, saat gibi daha kısa süreli zaman değişimi
- Gökyüzünün durumu
- Ay, mevsim, yıl gibi daha uzun süreli zaman değişimi
- Bulunulan noktaya göre değişim
- Bulutlanmaya bağlı olarak güneşlenme süresi ve en uygun verimlilik sıcaklığı (Kurban ve ark., 2015).

Güneş ışınım miktarını etkileyen bileşenlerin etkileri de Tablo 1.2.'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.2.** Güneş ışınım miktarını etkileyen bileşenler ve etkileri

Bileşen	Etkileri
Güneş Çıktısı	11 yıllık güneş periyodu
Dünya-Güneş mesafesi	Yıllık % 3.5 değişim
Bulutlar	Baskın faktör görevi
Su Buharı	Seçici yutucu
Hava kirliliği	Direkt ışınımın %50 azaltılması
Orman yangınları	Bölgesel etki
Volkanik küller	Küresel yıllık etki
Konum	Güneşin konumu
Gün içindeki zaman ve mevsim	Güneşin konumu

#### 1.1.4. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo 1.3.'te verilmiştir (Url-1, 2017).

**Tablo 1.3.** Türkiye'nin yıllık toplam güneş Enerjisi dağılımı (Url-1, 2017)

<b>BÖLGE</b>	<b>TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat /yıl)</b>
Güney Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Tablo 1.3'ten görüldüğü gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesi başta olmak üzere ülkemizde güneşlenme sürelerinin oldukça yüksek olduğunu söyleyebiliriz (Url-1, 2017).

Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir.

Tablo 1.4'de Siirt merkez ili civarında 2008-2010 yılları arasında aylara göre ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir. Tablodan bakacak olursak Siirt ili yöresinde yaz aylarında güneşlenme sürelerinin yüksek düzeyde var olduğu görülmektedir. Söz konusu güneşlenme süreleri boyunca fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklık değerlerinde dikkate değer artışlar meydana gelecektir. Bu sıcaklık artışları fotovoltaik panellerin elektrik üretiminde verim kaybı oluşturacağından Siirt yöresinde kurulacak olan güneş santrallerinde panellerin soğutmalı sistem ile kurulumu önem arz etmektedir.

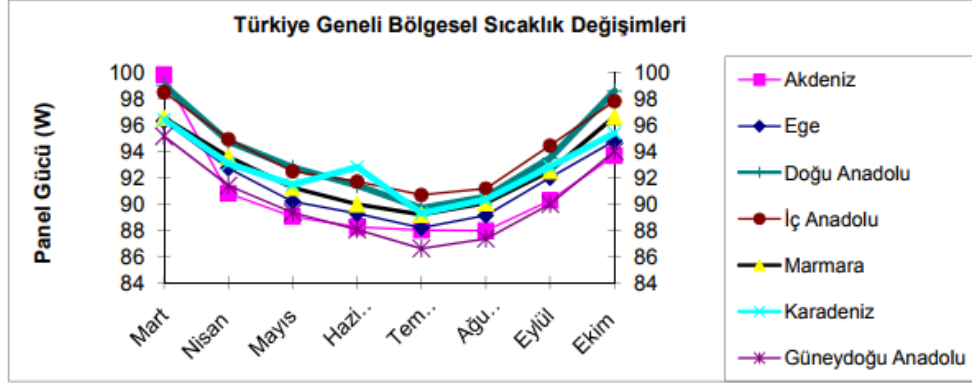


**Tablo 1.4.** Siirt ili yıllık (2008-2010) sıcaklık değerleri ve güneşlenme süreleri (Anonim, 2014)

Yıl	Ay	Aylık Ort.Sıcak °C.	Aylık ort.mak.sıcak. °C	Aylık ort.min.sıcak. °C	Aylık toplam güneş.süresi (saat)
2008	1	2,3	6,6	-3,6	76,4
2008	2	4,4	9,8	-2,3	123,4
2008	3	13,8	21,5	6,1	199,2
2008	4	18,2	28,7	9,3	208,3
2008	5	19,5	27,7	12,5	283,3
2008	6	27,5	32,9	20,1	358,7
2008	7	32,2	38,1	27,7	356,8
2008	8	32,6	40,4	29,3	298,7
2008	9	25,9	32,6	15,4	270,5
2008	10	19,1	25	14,3	223,4
2008	11	12,2	17,1	7,5	168,9
2008	12	4,1	8,5	-1,5	125,5
2009	1	3,5	9,2	-7,3	107,9
2009	2	7,7	11,9	3,8	91,8
2009	3	9,8	17,7	2,9	135,6
2009	4	15,1	20,8	7,6	202,7
2009	5	22,8	30	16,7	297,2
2009	6	29,1	33,3	23,4	246,1
2009	7	33,1	35,9	29,4	355,1
2009	8	32,3	36,1	29,4	327,2
2009	9	26,2	32	17,5	274,9
2009	10	22,6	26,1	12,8	235,3
2009	11	12,1	16,9	8,4	123,2
2009	12	8,1	11	5,7	64,6
2010	1	7,2	14,3	0	59,6
2010	2	8,7	14,4	2	81,1
2010	3	13,6	20,1	7,2	135,4
2010	4	17,1	22	11,5	143,8
2010	5	23	29,2	11,7	208,5
2010	6	30,3	35,8	21,6	318,6
2010	7	35	38,1	30,4	375,1
2010	8	35,2	36,6	31,3	327,2
2010	9	30,4	34,8	25,2	280,2
2010	10	21,4	26	13,6	209,4
2010	11	15,8	18	12	229,7
2010	12	8,7	15,6	4,1	157

Uygulamada genellikle fotovoltaik modüllerin uygun düşük sıcaklıkta çalışmasını sağlamak için hava soğutma, su soğutma gibi teknikler kullanılır. Verimli ve ekonomik hibrit (PV/T) sistemlere ilişkin literatürde birçok çalışma yapılmıştır.

Bazen PV modüllerden elde edilen termal enerji su soğutma gibi düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılabilir. Birçok çalışmada PV panellerinin konfigürasyonunun değiştirilmesine odaklanmıştır (Kurban ve ark.,2015; Skoplaki ve ark, 2008).



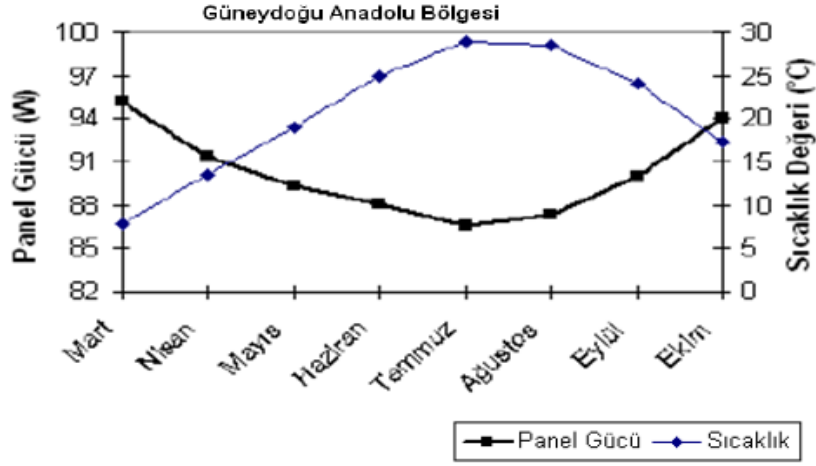
Şekil 1.2. Bölgelerin sıcaklık ve ışınım değerlerine göre panel verimliliklerinin karşılaştırılması (Keçel ve Yavuzcan, 2008)

Türkiye’de güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini etkileyen faktörler içinde yer alan sıcaklık değişimleri mevsimlik olarak incelenmiştir. Bölgelerin sıcaklık ve ışınım değerlerine göre panel verimliliklerinin bölgesel olarak 100W’lık panel için Şekil 1.2’de verilmiştir. Buna göre panel kayıplarında, iklim şartlarına bağlı olarak mevsimsel sıcaklık değerlerinin almış olduğu değerlere göre en iyi verimliliğin Doğu Anadolu Bölgesinde olduğu en düşük verimliliğin ise Güneydoğu Anadolu Bölgesinde olduğu görülmektedir. Nitekim Güneydoğu Anadolu Bölgesi ortam sıcaklığının 40 derece civarında olması durumunda güneş panelinin verimliliğinin yaklaşık %13 oranında azaldığı görülmüştür (Keçel ve Yavuzcan, 2008).

Akdeniz Bölgesi için sıcaklık kayıpları ve iklim özellikleri göz önüne alındığında panel kurulması için en uygun ayın Mart ayı olacağı görülmektedir. Bunun yanı sıra Temmuz ve Ağustos aylarında çevre sıcaklık ortalamalarının 28 °C civarında olduğu ve bu sıcaklıklarda panel enerji üretim miktarı 100 W seviyesinden 88,06 W civarına düştüğü görülmektedir.

Anadolu bölgelerinde ortalama sıcaklık ve ışınım değerlerine bakılarak, bölgelerin ortak iklim özellikleri taşıdıkları ve verimlilik kayıpların yine yaz aylarında düştüğü görülmektedir. Bununla birlikte bölgelerin kış ayı sıcaklık ortalamaları güneş panellerinin çalışma sıcaklıkları aralığında olmadığından grafiğe yansıtılmamıştır. İç Anadolu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri içinde çevre sıcaklığı ve ışınım

değerleri arasındaki ilişkiye bakılarak en verimli bölgenin İç Anadolu Bölgesi olduğu ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 1.3.** Güneydoğu Anadolu Bölgesine ilişkin sıcaklık ile panel verimlilikleri arasındaki ilişki (Keçel ve Yavuzcan, 2008)

Türkiye’de İkbahar-Yaz ve Sonbahar mevsimleri içinde kurulması planlanan güneş panelli sistemler için sıcaklıktan dolayı oluşabilecek panel kayıpları incelenmiş ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi için aylık kayıp miktarları Şekil 1.3’teki gibi belirtilmiştir. Buna göre Panel Gücü-Sıcaklık eğrileri arasında ters bir ilişki olduğu saptanmıştır. Çevre sıcaklıklarının artmasına ve bununla birlikte ışınım miktarlarının değişmesine bağlı olarak hazırlanan eğrilerde sıcaklıkların en fazla görüldüğü Haziran-Temmuz dönemlerinde panel verimliliklerinde %11’e yakın kayıplar olduğu görülmektedir. Güneş Panelleri ile ilgili olarak tasarım yapılması sırasında ortalama alınacak verim kayıplarının %3 alınması, hatalı sistem tasarımına sebep olmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde temmuz ayında yaklaşık olarak %13’lük bir kayıp yaşanmaktadır (Keçel ve Yavuzcan, 2008).

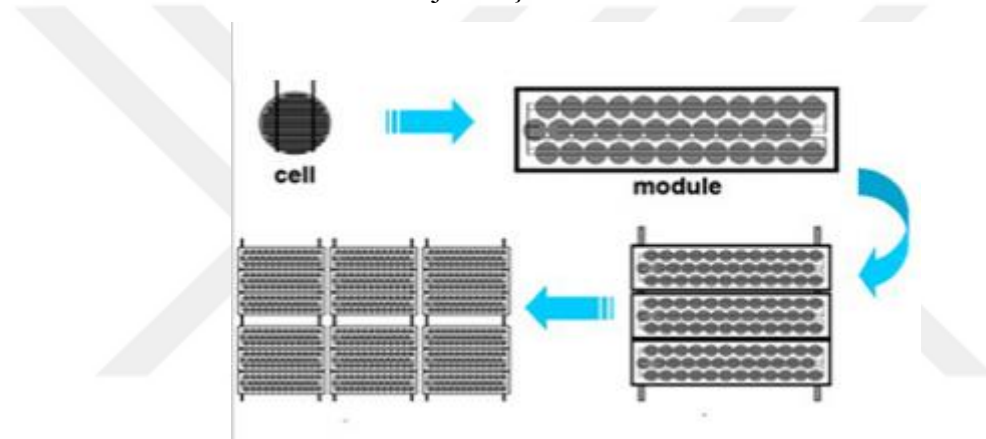
## 1.2. Güneş Pilleri

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Panel yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş

pilinde mekanik olarak elektrik üreten cihazların aksine hareketli parçalar olmadığından teorik ömürleri sonsuzdur (Skoplaki ve ark., 2008).

Güneş pilleri, hali hazırda elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir. Bu nedenle istenen güçte kurulabilmeleri genellikle sinyalizasyon, kırsal kesimin elektrik ihtiyacının karşılanması vb. uygulamalarında kullanılmaktadır.

Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir gündeki 8 ışınım şiddeti maksimum 1000 W/m<sup>2</sup> civarındadır. Yöreyle ilgili olarak 1 m<sup>2</sup> 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800-2600 kWh arasında değişir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 - %70 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.



Şekil 1.4. Fotovoltaik modül (Url-1, 2017)

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Şekil 1.4'de görüldüğü gibi bu yapıya güneş pili modülü yada fotovoltaik modül adı verilir. Gerekirse bu modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, fotovoltaik bir dizi oluşturabilir (Çetinkaya, 2001).

### 1.2.1. Güneş pillerinin tarihsel gelişimi

Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olduğu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından

gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaiik diyotların verimliliği %1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaiik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaiik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir.

1970'li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. petrol bunalımını izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış 7 silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan fotovoltaiik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuvarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaiik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışılmış olan elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaiik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek

“sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir (Url-2, 2017).

### 1.2.2. Güneş pillerinin yapısı

Tek kristalli silisyum güneş pilinin rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gramdan azdır. Pilin üst yüzeyinde, pil tarafından üretilen akımı toplayacak ve malzemesi genellikle bakır olan ön kontaklar vardır. Bunlar negatif kontaklardır. Kontakların altında 150 nm kalınlığında, yansımaya özelliği olmayan bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa, silisyum, üzerine düşen ısınımın üçte birine yakın kısmını yansıtacaktır. Bu kaplama tabakası, pil yüzeyinden olan yansımayı önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, piramitler ve konikler şeklinde dizayn edilmiştir. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı, iki farklı katman halindedir. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. İki katman arasında, P-N kavşağı denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır (Url-3, 2017).

Üretilen piller, standart test koşullarında test edildikten sonra, tüketiciye sunulmaktadır. Ortam sıcaklığı 25 °C ortalama ışınım şiddeti 1000 W/m<sup>2</sup> ve Hava-Kütle oranı 1,5 olarak test koşulları belirlenmiştir. Hava-kütle oranı, güneş ışınımının geçirilme oranını gösteren atmosfer kalınlığıdır. Güneşin tam tepede olduğu durumda, bu oran, 1 olarak alınır. Atmosfer tarafından emilen ışınımın oranına bağlı olarak, pilin üreteceği elektrik miktarı da değişeceğinden, bu oran önemli bir parametredir.



Şekil 1.5. Tipik bir silisyum güneş pilinin ön yüzü  
(Url-4, 2017)

Şekil 1.5'deki tipik bir silisyum güneş pili, 0.5 volt kadar elektrik üretebilir. Pilleri birbirine seri bağlayarak üretilen gerilim değerini arttırmak olasıdır. Genellikle, 30-36 adet güneş pili, 15-17 voltluk bir çıkış gücü vermek için birlikte bağlanabilir ve bu voltaj değeri de 12 voltluk bir aküyü şarj etmek için yeterlidir. Farklı çıkış güçleri verecek şekilde imal edilmiş, farklı büyüklüklerde güneş pilleri bulmak olasıdır. Silisyum pillerin seri bağlanması ile modüller, modüllerin birbirine bağlanması ile örgüler oluşur (Karamanav, 2007).

### **1.2.3. Güneş pillerin uygulama alanları**

Fotovoltaik piller, modüller halinde olduğundan ihtiyaca göre boyutlandırılabilir. Yenisistemlerin tasarımı, kuruluşu ve çalıştırılması veya var olan sistemlere ek yapılmasındageçen süre diğer konvansiyonel güç üretim tekniklerinde gereken sürenin küçük bir kısmıdır. Ayrıca bu sistemlerin basitliği düşük çalışma ve bakım maliyeti sağlar. Fotovoltaik piller ile jeneratörleri çalıştırma işleminde, hiç bir hareketli parça olmaması dolayısıyla bakım, tamir ve yedek parça maliyetleri daha düşüktür. Çalışma maliyeti sıfır olup yakıt masrafının olmaması birim kWh başına enerji maliyetini düşürmektedir. Tipik bir sistemin kullanım süresi yaklaşık 20 yıldır. Güneş pili sistemlerinin maliyeti, temel olarak iki kısımda incelenebilir. İlki güneş pili modüllerinin maliyeti, ikincisi invertörler, elektronik denetim aygıtları, depolama, kablolama, arazi, altyapı hazırlama gibi sistem destek elemanlarının maliyetidir. Genelde güneş pillerinin maliyeti toplam sistem maliyetinin yarısını oluşturmaktadır. Ancak maliyet hesabında çevre etkileri dikkate alınmamaktadır.

Fotovoltaik pillerin uygulama alanları, kırsal bölgelerin elektrifikasyonu, zirai uygulamalar (süt, gıda korunması), haberleşme cihazları, uyarı ve sinyalizasyon sistemleri,meteoroloji aletleri, park ve otoyolların aydınlatması, su pompalanması ve küçük tip el aletleri olmak üzere sıralanabilir. Fotovoltaik pillerin diğer uygulama alanı ise güneş santralleridir.

En fazla fotovoltaik üretim kapasitesi Almanya, İtalya, İsviçre ve İspanya'dadır. Fotovoltaik teknolojisi temiz teknoloji olduğundan, karbondioksit vergisi ve emisyon yönünden gelecek yıllarda fosil yakıtlara göre daha cazip duruma gelecektir.

Fotovoltaik pillerin diğ er hızla geliş en bir kullanım alanı da çatı ve dış yüzey uygulamalarıdır. İngiltere’de Ford Firması fabrikanın çatısına yerleş tirdiğ i 100 kW gücündeki güneş pilleri ile yılda 110.000 kW saat enerji üretmektedir. Piller fabrika çatısının % 8’ini kaplamaktadır. Pillerin kullanımı ile 30 yıllık pil ömrü içinde, fabrikanın iş letilmesindeki karbon dioksit salınımı 3.000 ton azalacaktır.

Avrupa’daki bu tür fabrika yapıları içinde en büyük uygulamalardan biri olan bu uygulama projesinin maliyeti 1,5 milyon İngiliz Sterlini’dir. Proje, BP-Solar firmasınınca yürütölmüş ve güneş panelleri, bu firmanın Madrid’deki tesislerinde üretilmiştir. Dünyanın en geniş alanlı güneş pili çatısı, yılda 1.000.000 kWh’lik bir elektrik enerjisini üreten sistem, Almanya da kurulmuştur. Toplam 7.916 m<sup>2</sup>’lik alanı kaplayan 7.812 güneş modölnün ve sistemin maliyeti 14 milyon Deutsche Mark’tır (Anonim, 2009).

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığ ı tipik uygulama alanları aşığ ıda sıralanmıştır:

- Haberleş me istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler
- Hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dış ı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleş im yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aş ı soğutma (Beyoğ lu, 2011).



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ve TEZİN KAPSAMI

Uygulamada genellikle fotovoltaik modüllerin uygun düşük sıcaklıkta çalışmasını sağlamak için hava soğutma, su soğutma gibi teknikler kullanılır. Verimli ve ekonomik hibrit (PV/T) sistemlere ilişkin literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Bazen pv modüllerden elde edilen termal enerji su ve hava soğutma gibi düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılabilir. Birçok çalışmada pv panellerinin konfigürasyonunun değiştirilmesine odaklanmıştır. Panellerin konfigürasyonunu değiştirerek, sistemin performans değişimi incelenebilir. Bu çalışmaların bazılarını tarihsel sıraya göre özetlenecek olursa;

Han ve Park (1988), çalışmasında fotovoltaik modülden transfer edilen ısıyı arttırmasıyla çalışma sıcaklığını azaltarak fotovoltaik panelin verimini iyileştirebilmek için kanal duvarı ve absorbe edici plakaların pürüzlülüğünü suni olarak arttırmışlardır. Böylece, duvarların arttırılmış pürüzlülüğü ve absorbe olayı bir basınç düşümü oluşturulacaktır. Ancak bunun için yüksek pompa gücü gereklidir (Han ve Park, 1988).

Garg ve Datta (1989), çalışmasında hava kanalındaki ısı transferini arttırmak için birkaç pratik düzeltme önermiştir (Garg ve Datta, 1989).

Prasad ve Saini (1991), çalışmasında , en yüksek verimin iki cam arasındaki pv'nin hava kanalı ile soğutulması ile sağlandığı gösterilmiştir. Bu tür soğutma ile yıllık ortalama verimliliğin %10,41 ile %9,75 arasında değiştiği sonucuna varılmıştır (Prasad ve saini, 1991).

Dubey ve ark. (2009), çalışmasında su ile soğutmanın amaçlandığı minimum su miktarı ve soğutma enerjisi kullanılarak güneş pilleri üzerindeki aşırı ısınma sorununu çözmek için su tabanlı bir soğutma sistemi gerçekleştirilmiştir. fotovoltaik panelin soğutulması için gerekli enerji ve su miktarının minimuma indirebilmek için ısıtma ve soğutma oranı modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller deney düzeneğinde kullanılarak hedeflenen enerji verimliliği gözlenmiştir ve değişik konfigürasyonda PV/T hava kollektörlü sistemin verimliliği incelenmiştir (Dubey ve ark., 2009).

Garg ve ark., (1991), çalışmasında bir hava hibrit PV/T sistem çalışması sunmuştur. Yüzey arttırıcı ve fotovoltaik modüle monte edilmiş düz örgülü kollektör içeren sistem ile pv modülün absorbe verimliliğini arttırmışlardır (Garg ve ark., 1991).

Sopian ve ark. (1996), çalışmalarında tek ve çift geçiş kombineli PV/T hava kollektör sistemine ilişkin bir sürekli durum benzetimi sunmuşlardır. Benzetim sonuçları çift geçişli PV/T kollektörünün çalışma boyunca süper performansa sahip olduğunu göstermiştir (Sopian ve ark., 1996).

Pottler ve ark., (1999), çalışmasında güneş hava ısıtma kollektörlerinin absorbe edici geometrisi için bir optimizasyon çalışması yapmıştır (Pottler ve ark., 1999).

Naphon (2005), çalışmasında boylamasına kanatlar ile çift geçirgenlikli güneş hava ısıtıcının entropi üretimi ve performans çalışmasını gerçekleştirdi Bu çalışma, ısı transfer katsayısı Reynold sayısının artmasıyla artarken, akış oranının artışı ile PV modülünün termal verimliliğinin arttığını göstermiştir. (Naphon, 2005).

Tonui ve ve Tripanagnostopoulos (2007), çalışmasında PV/T hava sistemlerinin kanallarının ekonomik olarak değiştirilmesi ile başarabildiği bir ısı atımı iyileştirmesi çalışmasını rapor etmişlerdir (Tonui ve ve Tripanagnostopoulos, 2007).

Joshi ve ark. (2009), çalışmalarında bir hibrit PV/T sistemin değerli olduğunu başarmışlardır. Bu çalışmada PV modülün 2 tipi cam-Tedler ve cam-cam Yeni Dechi'nin meteorolojik koşulları altında performansını incelemek için kullanıldı. Sonuçlar termal kollektörlü PV modülün performansının cam-Tedler'a göre daha iyi olduğu gösterildi (Joshi ve ark., 2009).

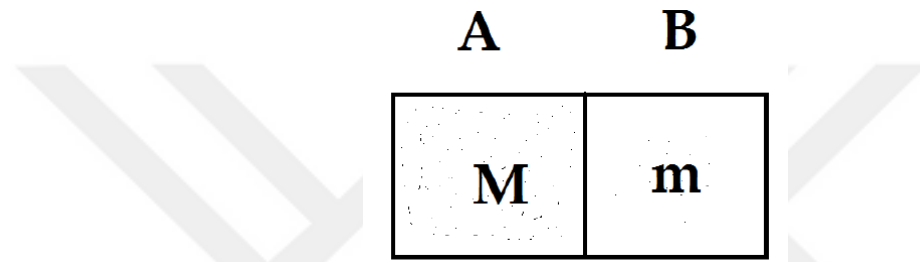
Altınışık (2016), tez çalışmasında 100 W'lık bir fotovoltaik panelin verimliliğinin sıcaklıkla değişimi incelemiştir. Elde edilen çalışma sonucunda güneş panellerinin elektriksel üretimi, önden su ile soğutarak daha da verimli hale getirilebileceğini göstermiştir (Altınışık, 2016).

Literatür incelemesinde, güneş panellerinin su ile soğutulmasının daha verimli ve kullanışlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle su ile soğutma teknikleri önem kazanmaktadır. Yapılan uygulamalardan, su ile soğutma tekniği enerji verimliliği artışının yanısıra fotovoltaik panellerin kullanım ömrünü arttırdığı gözlenmiştir. Güneş panellerinin ön yüzeylerinin soğutulduğu soğutma tekniğinde, yüzeydeki su filmi sayesinde güneş ışınlarının panel yüzeyine erişiminin kısmen engellenmesinin yanı sıra görüntü kirliliği de oluşturmaktadır. Panellerin arkadan su ile soğutulması söz konusu sakıncaların ortadan kaldırılma düşüncesi, bu çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Piranometre

Piranometreler; üzerindeki yarı küreye doğrudan ya da yayılı olarak gelen anlık güneş ışınım şiddetlerini ölçmek için tasarlanmış ana çalışma prensibi termopile dayanan araçlardır. Termopil tipi piranometrelerin çalışma prensibi, bir yüzeyin üstüne düşen ışınım ile ısınması sonucu üretilen elektriksel potansiyel farkın ölçülmesine dayanır. Thermo-elektrik çiftin elektromotor kuvveti farklı metallerdeki elektron yoğunluğunun aynı olmamasından ileri gelir ve sıcaklığa bağlıdır.



Şekil 3.1. Thermo-çift (Derse, 2014)

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi A ve B iletkenlerin  $\text{cm}^3$  başına ihtiva ettikleri serbest elektron sayısı M ve m olsun. M’nin m’den büyük olduğunu kabul edersek, A ve B iletkenlerinin teması halinde A’dan B’ye, B’den A’ya geçecek olduğundan daha çok elektron geçecektir. Bu durumda B negatif olarak yüklenecek olup, B’deki negatif yük fazlalığından dolayı diğer tarafa geçmek isteyen elektronlara etkiyen kuvvet elektronların hızlarını gittikçe azaltacaktır. Denge halinde A elektron kaybettiğinden pozitif ve B elektron kazandığından negatif olacaktır. Böylece A ve B iletkenleri arasında bir potansiyel fark meydana gelecektir. Bu potansiyel fark aynı zamanda soğrulan güneş ışınımının bir ölçüsüdür (Masalcı, 2000).

Veri toplama cihazında kaydedilen veriler usb kablosu ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Tüm ölçümler Siirt Üniversitesi merkez kampüsünde gerçekleştirilmiş olup, ölçüm verileri 1 -2 Ağustos 2017 tarihlerini kapsamaktadır.



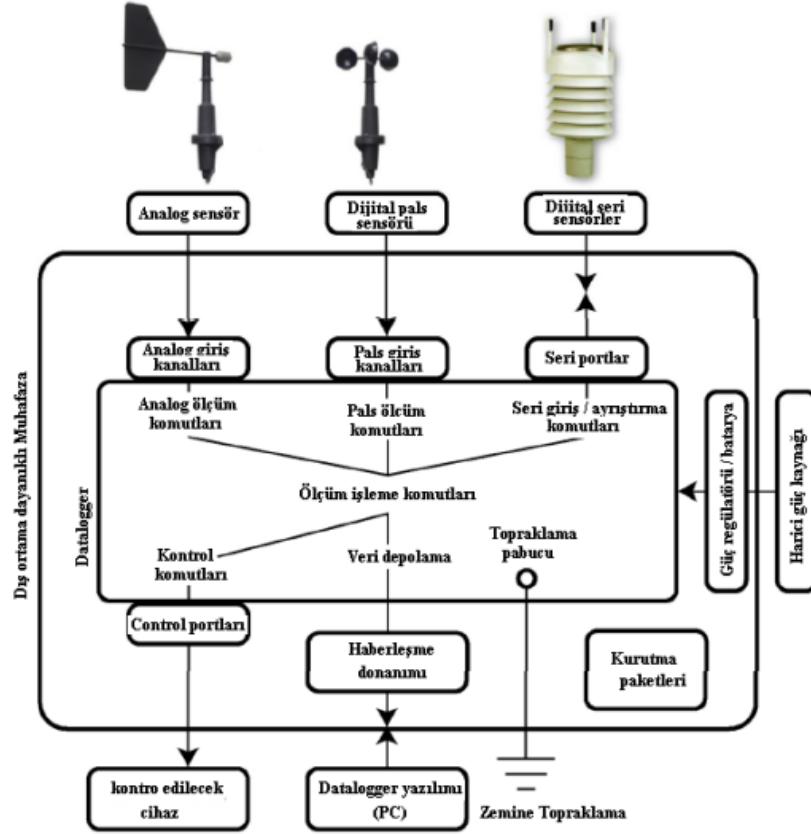
Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan piranometre (Url-5, 2017)

Siirt ilinin güneş ışınım şiddetini tespit etmek için anlık güneş ışınımın şiddetini Şekil 3.2'deki Cem firmasına ait Dt-185 piranometre modeli kullanılmıştır. Bu model güneş ışığının metre kareye ne kadar düştüğünü kayıt altına alan bir ölçüm cihazdır.

Bu cihazın özellikleri incelendiğinde 32000 kayıt hafızasına sahip olduğu görülmüştür. Cihaz üzerinde kırmızı, sarı ve yeşil olmak üzere çalışma durumunu gösteren led ışık vardır. Bu ayarlardan en önemlisi; cihazda 2 saniyeden 24 saate kadar belirlenmiş kayıt aralıklardan birini seçebilmesidir.

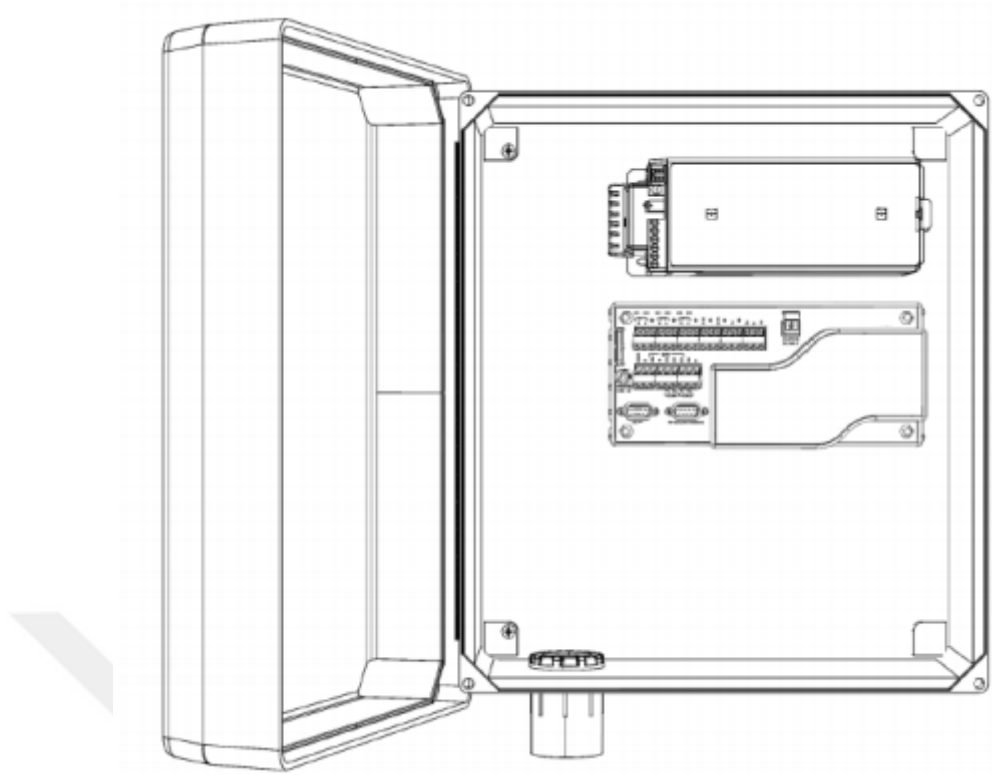
### 3.2. Veri Toplama Cihazı

Veri toplama üniteleri düşük güçlü önemli ölçüm uygulamaları için tasarlanan hassas yapıdaki cihazlardır. Merkezi işlem birimi (CPU), analog ve dijital giriş, analog ve dijital çıkış ve hafıza birimi içerisindeki kullanıcı tanımlı bir işletim sistemi programı ile birlikte kontrol edilmektedir. Program sayesinde veri kontrolü, veri alma, düzenleme ve gerçek zamanlı izleme imkânı sunmaktadır. Güvenilir veri toplama için üniteye uygun sensörler ve haberleşme cihazları bağlanması gerekmektedir. Sensörlerin yaptığı ölçümler uygun elektriksel büyüklüklere dönüştürülerek ünite içerisinde işlenir.



Şekil 3.3. Veri toplama cihazının prensip şeması (Anonim, 2013)

Şekil 3.3’de veri toplama cihazının prensip şeması görülmektedir. Bu cihazlara ulaştırılacak elektriksel sinyaller hassas ve düşük güçlü olduğu için kablolama işleminin itina ile yapılması çok önemlidir. Kablo bağlantıları için üniteye her tip sensör için ayrı giriş klemensi mevcuttur. Kelemens bağlantıları ünitenin muhafaza içerisinde yer almaktadır. Kabloların uçları kablo pabucu takılarak ilgili klemense bağlantısı hassasiyetle gerçekleştirilir. Daha önce sensörlerin veri toplama ünitesine gelen kablo uçlarına takılan etiketlere dikkat edilerek bağlantılar gerçekleştirilir (Anonim, 2013).



Şekil 3.4 Veri toplama cihazı muhafazası (Anonim, 2013)

Veri toplama cihazı (datalogger), koruma üniteleri, Şekil 3.4’te verildiği gibi iletişim cihazları ile enerji besleme üniteleri IP66 koruma sınıfına sahip bir kutu içerisine konulur. Kutu çevresel etkilerden etkilenmeyecek şekilde uygun yüksekliğe kurulmalıdır (Anonim, 2013).



Şekil 3.5. Picotech TC-08 veri toplama cihazı (Url-6, 2017)

Bu tez çalışmasında fotovoltaik panelin arkadan su ile soğutulmuş elde edilen panelin akım, gerilim, güç ve sıcaklık değişimleri Şekil 3.5’teki veri toplama cihazı Picotech TC-08 modeli kullanılarak PC’ye kaydedilmiştir. Bu cihaz ile ayrıca soğutmalı ve soğutmasız sistemdeki kaydedilmiş ölçüm verileri karşılaştırmalı olarak tablo, grafik

gibi yöntemlerle sunulmuş ve bu yöntemlerle daha iyi bir anlayış sağlamaya olanak sağlanmıştır.

### 3.3. Fotovoltaik Paneller

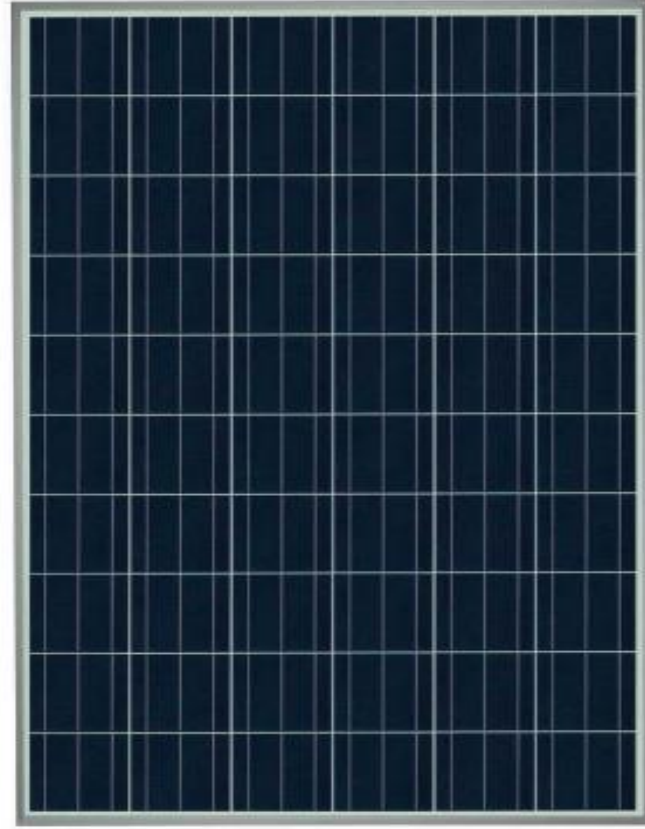
Fotovoltaik paneller, güneş panelleri ya da fotovoltaik hücreler olarak da adlandırılabilir. Fotovoltaik paneller; taşınabilir, ergonomik, çok az bakım gerektiren, kullanımı kolay, estetik görünümüne sahip yarı iletken teknolojisi ile çalışan cihazlardır.

Güneş enerjisinden pasif ve aktif sistemler olmak üzere temelde iki farklı şekilde yararlanılabilmektedir. Pasif sistemler ile sıcak su üretimi sağlanırken aktif sistemler ile de elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim kısmı ele alınmıştır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi fotovoltaik paneller yardımıyla sağlanmaktadır.



Şekil 3.6. Fotovoltaik sistemin görünümü (Url-3, 2017)

Güneş panelleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Şekil 3.6'da verilen fotovoltaik sistemde akümülatör, inverter, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş paneli sistemi oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim bölgelerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımamanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanıldığı zaman ekonomik olmaktadır. (Dinçadam, 2008; Rüstemli ve ark., 2009).



**Şekil 3.7** Fotovoltaik panel görünümü (Url-7, 2017)

Yapılmış olan bu çalışmada, 250 Watt polikristal 60 hücreliden oluşan Şekil 3.7’de gösterilen Alfa Solar marka fotovoltaik panel kullanılmıştır. Polikristal solar hücrelerin yüzeyi mavi renktedir. Polikristal hücrelerin imalatı daha kolay ve üretimi daha ucuzdur. Fotovoltaik sektöründe en çok kullanılan teknolojidir. Solar modüller aşırı sıcaklara oranla daha soğuk iklim koşullarında daha iyi çalışır.

### **3.3.1. Panelin konumu**

Dünyanın geoit şeklinde olmasından dolayı güneş ışınlarının yeryüzüne düşme açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle kabuğunda fotovoltaik panel tasarımı yapılacak olan bir binanın bulunduğu bölgenin yıllık güneşlenme değerleri, panelden elde edilecek enerjiyi doğrudan etkilemektedir (Thomas ve Fordham, 2001).

Ayrıca, güneye konumlanma, geniş açıklıklı arazilere yönelme, gölgelenmeyi önleyecek şekilde boş arazilere yönelme ve açının doğru ayarlanması çok önemlidir (Roberts ve Guarento, 2009).



Fotovoltaik sistemler, uzun süre güneş ışınımı alacak yüzeylere uygulanmalıdır. İlerde güneş ışınlarının bina yüzeylerine ulaşacağı öngörülen arazilere uygulanması uygun değildir. Etraftaki yapılara ve ağaçlara dikkat edilmelidir.



**Şekil 3.8** Güney yönüne bakan pv sistemli cephe örneği,  
(Roberts ve Guarento, 2009)

Şekil 3.8’de gölgelenmeden korunmuş ve güneye bakan bir cephe örneği gösterilmiştir. Sistemin en iyi performansı, binaya güneş ışınlarının homojen olarak ulaşması durumunda gerçekleşir, çünkü birbirine seri bağlı olan hücreler elektrik üretimini üstlerine gelen en düşük ışınma seviyesinde yaparlar. Işınma eşit gelirse verim yükselmiş olur (Roberts ve Guarento, 2009).

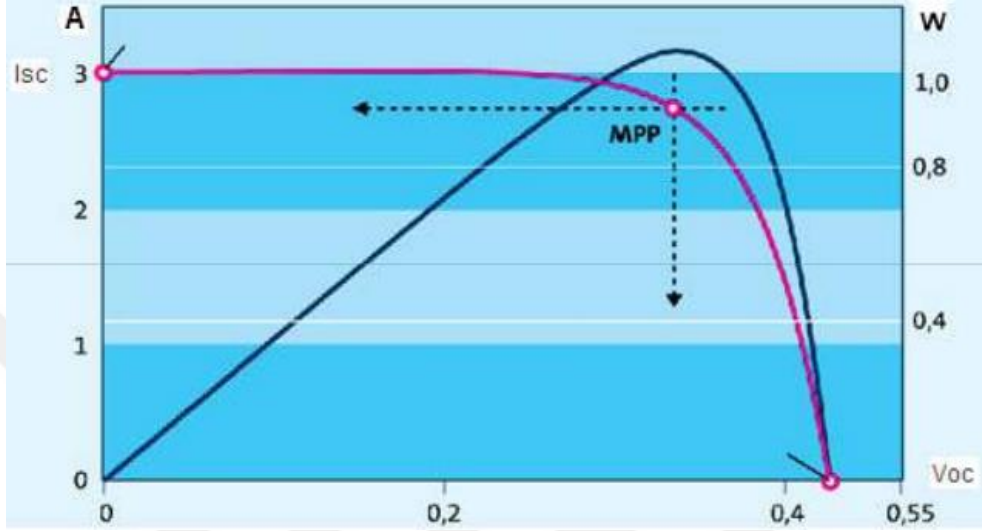
### **3.4. Fotovoltaik Pillerin Verimliliğinin Sıcaklıkla ve Güneş Işınımı ile İlişkisi**

#### **3.4.1. Verimliliğinin sıcaklıkla ilişkisi**

Fotovoltaik panelin sıcaklığı arttıkça, etkinliği azalır Normal durumda, güneş ışınlarının %10–15 kadarı pv modüller tarafından elektrik enerjisine çevrilir. Geri kalan güneş ışınları ısıya çevrilerek modülleri olumsuz yönde etkiler. Isıdan olumsuz etkilenme yüzdesi, hücre tiplerine göre değişim gösterir (Roberts ve Guarento, 2009).

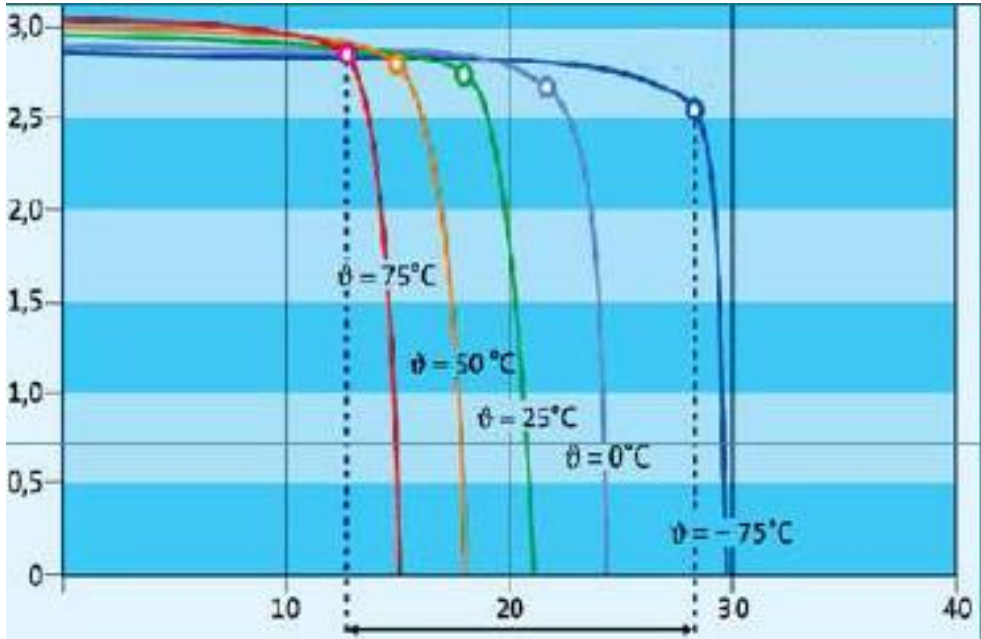
Kristal silisyum hücreler, sıcaklık artışından amorf silisyum hücrelere oranla daha fazla etkilenirler. Bu nedenle daha fazla performans düşüklüğü gösterirler. Fotovoltaik paneller ile ortam sıcaklığı arasındaki fark güneş ışınlarına bağlıdır ve 40°C’ye kadar çıkabilir. Yazın, yüksek hava sıcaklıklarında pv panel sıcaklığı 75°C’ye kadar ulaşabilir (Thomas ve Fordham, 2001).

Bir güneş paneli yeterli ışınım alıyor fakat bir yük ile bağlantılı değilse çıkış uçlarında maksimum ( $V_{OC}$ ) görülür. Eğer çıkış uçlarını kısa devre edecek olursak gerilim sıfıra düşerken akım ( $I_{SC}$ ) maksimum olur. Her iki durumda da  $P=IV$  eşitliği nedeniyle güç sıfır olur. Uygulanan güç,  $P=I^2R$  bağıntısından dolayı yükün direnci tarafından belirlenir.



Şekil 3.9. Pv modülün ideal I-V ve güç karakteristiği (Url-1, 2017)

Enerji aktarımının en yüksek olabilmesi için şekil 3.9'daki I-V eğrileri kırılma noktalarının izlenmesi ve yükün maksimum güç sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir.



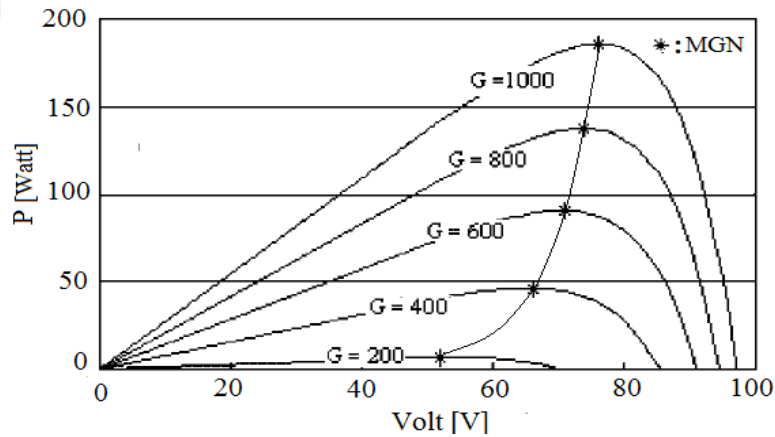
Şekil 3.10. Verimin ortam sıcaklığıyla değişimi (Url-1, 2017)

Sıcaklık hem pil verimini hem de pil ömrünü belirleyen önemli bir etkidir. Sıcaklığın I-V eğrileri üzerindeki etkisi Şekil 3.10’da görülmektedir. Her 1 derece sıcaklık artışı, Fotovoltaik modül gücünü %0.5 oranında azaltmaktadır. Dolayısıyla özellikle yüksek ortam sıcaklığına sahip olan bölgelerde güneş panellerinden yüksek verim elde edebilmek için soğutma kaçınılmazdır.

Güneşin yeryüzüne kadar ulaştırdığı  $1100 \text{ W/m}^2$ ’lik ışınımın ne kadarının elektriksel güce dönüştürülebildiğini verimlilik kavramıyla açıklanır. Bir güneş pilinin ürettiği enerji hava koşullarına ve güneşle olan açısına göre değişir. Aşırı ısınma fotovoltaik pillerin verimliliğini azaltmaktadır (Moharram ve ark., 2013).

### 3.4.2. Verimliliğinin radyasyon düzeyi ile ilişkisi

Güneş ışınlarının güneş paneli üzerine düşme açısına bağlı olarak panelin gücü değişmektedir. Şekil 3.12’de değişik radyasyon düzeyleri (güneşlenme düzeyi) için ideal P-V karakteristiği verilmiştir.



Şekil 3.11. Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği (Maksimum Güç noktası (MGN) G: Güneşlenme düzeyi ( $\text{W/m}^2$ ))

Şekilden de açıkça görüldüğü gibi panelden çekilen maksimum güç değeri (MGN) güneşlenme düzeyi ile doğru orantılı olarak değişmektedir (Anonymous, 2003).

Güneş ışınları yüzeye dik geldiğinde ve ışınların atmosferde daha kısa yol almaları sebebiyle UV radyasyon da bu durumda en yüksek değerine ulaşmaktadır. Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı, dünyanın güneş etrafındaki yıllık hareketine ve enlemlere göre değişmektedir. Yılda iki kez güneşi dik açıyla alan ekvator bölgeleri, yüksek enlemler kutup bölgelerine oranla daha fazla güneş radyasyonuna maruz

kalmaktadır. Ayrıca sıcak enlemlerde, uzun dönemli gün ışığının ve yerel öğleye yakın zamanlarda yüksek güneş irtifasının sonucu olarak yaz mevsiminde en fazladır (Cockell ve Blaustein, 2001).

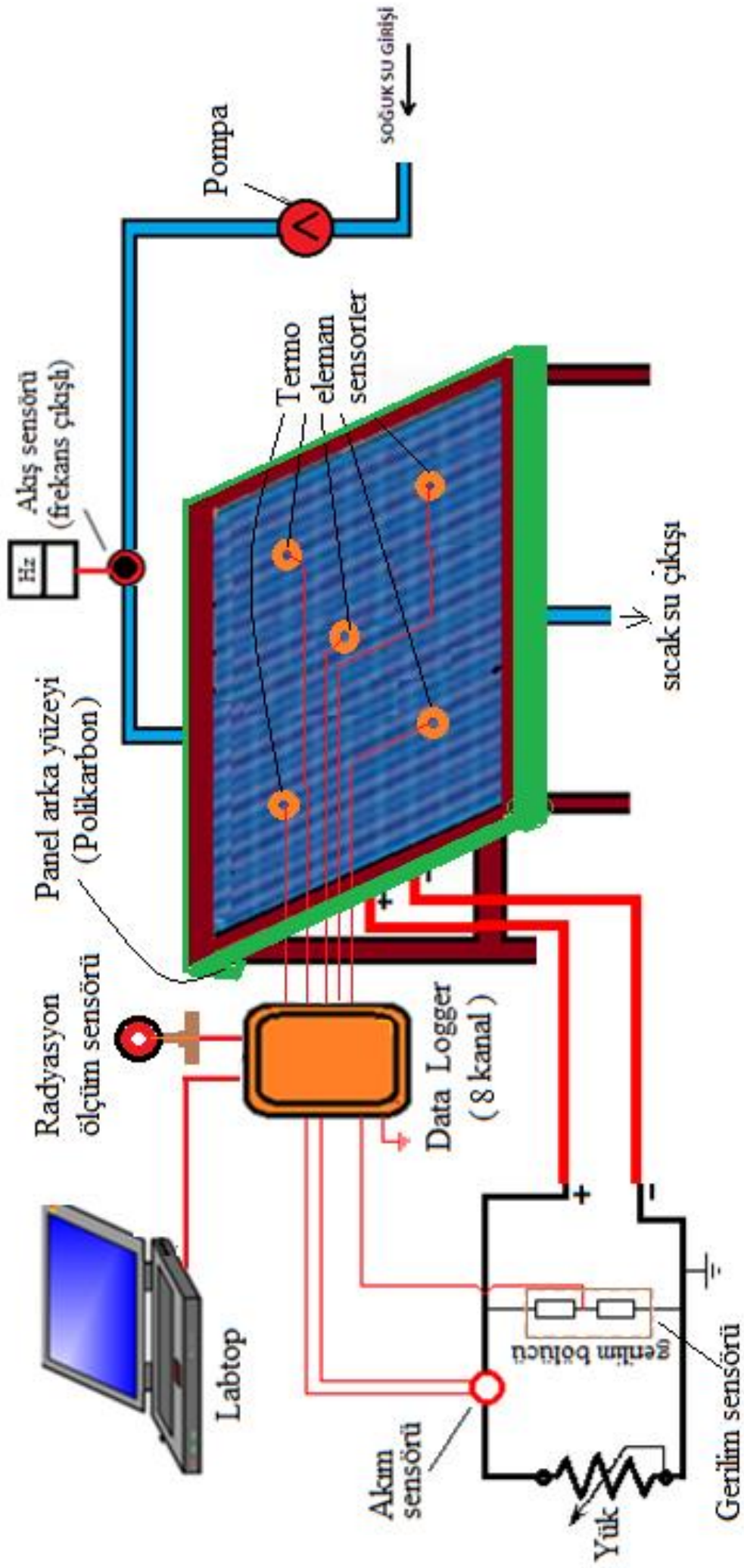


#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Soğutma sıvısı olarak şebeke suyunun kullanıldığı bu çalışmada 250 W'lık güneş paneli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Soğutma sistemine ilişkin çalışma düzeneğinin sistematik diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir. Soğutma sistemi düzeneği aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

- Güneş paneli (250 W Polikristal)
- Su pompası
- Akış sensörü
- Akım sensörü
- Radyasyon ölçüm cihazı
- 8 Kanallı veri toplayıcı (Data logger)
- Ahşap taşıyıcı
- Panelin arka yüzeyi için polikarbon yalıtılan tabaka ve montaj sistemi
- Soğutma suyu tesisatı

Güneş panelinin ön yüzeyine uygun konumlarda 5 adet T tipi termo eleman yerleştirilmiştir. Panelin ön yüzeyinin sıcaklıkları ölçülerek veri toplayıcı ( Datalogger ) ile eşzamanlı olarak ölçülüp cihaza kaydedilmiştir. Akış ölçer cihazları ile arzulanan soğutma suyu debisi sağlanmıştır. Soğutma suyu debisini değiştirerek panel düzey sıcaklığı istenen düzeyde tutulmuştur. Polikarbon yalıtkan malzeme panelin arka yüzeyine köşebentler ile entegre edilerek, panelin arka yüzeyi boyunca su filmi ile soğutulması sağlanmıştır.



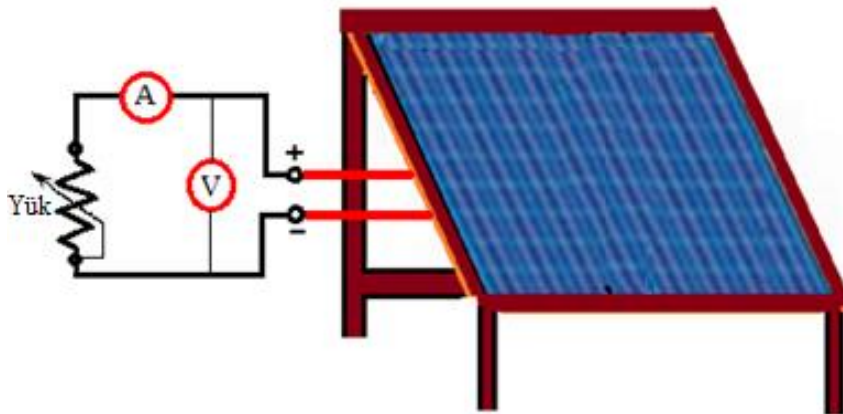
Şekil 4.1. Soğutma sistemi çalışma düzeninin sistematik diyagramı

Prensip şeması Şekil 4.1'de verilmiş olan deney düzeneği gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma düzeneğinin fotoğrafları Şekil E4.1 ve Şekil E4.2'de verilmiştir. Güneş paneli uygun bir ahşap panel taşıyıcı üzerine monte edilmiştir.. Güneşin radyasyon düzeyini gerçek zamanda ölçmek için ise uygun özelliklere sahip olan bir radyasyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Panel soğutması için gerekli olan su, akış hızının sabit olduğu varsayılan şebeke suyundan temin edilmiştir. Çalışma düzeneğinin kurulduğu üniversite kampüsündeki şebeke suyunun sıcaklık düzeyi yaklaşık olarak 30 derece civarında ölçülmüştür. Şebeke borusuna bağlanan ayarlı bir vana ile ayarlanabilen soğutma suyunun debisinin ölçümü için, 15 Litre/dk'lık pals çıkışlı akış ölçüm sensörü kullanılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan veri toplayıcı, okuduğu verileri gerçek zamanlı olarak PC'ye kaydedebilen özel bir yazılıma sahiptir. Bu yazılım ile panel ön sıcaklık değerleri, ortam sıcaklığı, panel akımı ve panel gerilimi gerçek zamanda eşzamanlı olarak ölçülerek PC'ye kaydedilmiştir.

#### 4.1. PV Panelin I-V ve P-V Karakteristiğinin Elde Edilmesi:

100 W'lık reosta direnci sıfır değerinden başlamak üzere maksimum değerine kadar kademeli arttırılarak, her bir artış değeri için panelden çekilen akım ve panel çıkış gerilimleri ölçülerek kaydedilmiştir. Kaydedilen ölçümler her bir akım ve panel çıkış gerilim değerleri için panelden çekilen ani güç değerleri hesaplanmıştır.



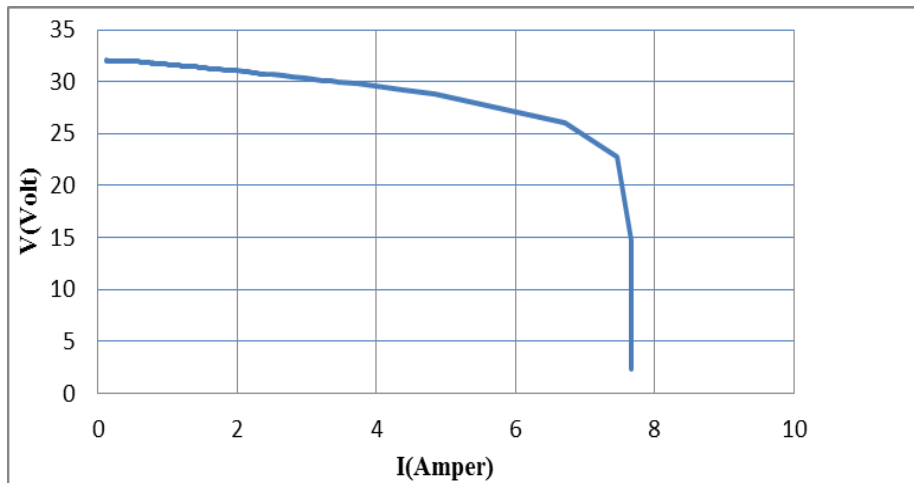
Şekil 4.2. I-V ve güç karakteristik eğrisi için çalışma düzeneği

Sabit güneş radyasyon düzeyi (E) ve sabit ortam sıcaklığı için, panelin P-V ve V-I karakteristiğinin elde edilmesi için Şekil 4.2'deki çalışma düzeneği kurulmuştur. Kurulmuş olan bu düzeneğin fotoğrafı Şekil E4.3'te mevcuttur.

Bu tez çalışmasında öncelikle 250 W'lık güneş panellerinin P-V karakteristiği elde edilmiştir. Kurulan çalışma düzeneğinde, 822 Watt/m<sup>2</sup> radyasyon düzeyi ve 45 °C ortam sıcaklığı için, 100 W'lık ayarlı reostanın direnci sıfır değerinden başlayarak 10,88 Ω değerine kadar kademeli olarak arttırılarak gerilim, akım ölçümleri ve hesaplanan güç değerleri bulunmuştur. Elde edilen gerilim, akım ölçümleri ve hesaplanan güç değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Her direnç artış değeri için ölçülen yük akımı ve yük gerilim değerleri tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 4.1.** Çalışmada kullanılan güneş panelinin yük direncine göre değişen akım, gerilim ve güç değerleri

Ayarlı Dirence Göre Maksimum Güç Noktasının Belirlenmesi				
Ölçüm	I (Akım)	V (Gerilim)	P (Güç)	R (Direnç)
1	7,67	2,309	17,71	0,00
2	7,66	14,65	112,22	1,91
3	7,46	22,77	169,86	3,05
4	6,71	26,09	175,06	3,89
5	4,84	28,80	139,39	5,95
6	4,39	29,18	128,10	6,65
7	3,74	29,78	111,38	7,96
8	3,46	29,97	103,70	8,66
9	3,36	30,05	100,97	8,94
10	3,23	30,13	97,32	9,33
11	3,00	30,31	90,93	10,10
12	2,80	30,45	85,26	10,88

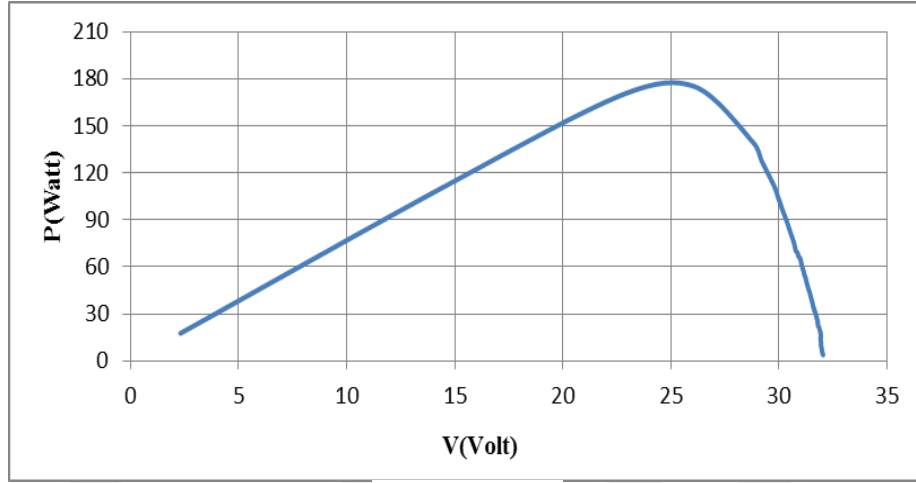


a) I-V karakteristiği

Şekil 4.3 (a)'da verilmiş olan I-V karakteristik eğrisine ilişkin panelden maksimum gücün çekildiği nokta  $R_y=3,89 \Omega$  olarak belirlenmiştir. Bu noktada yük



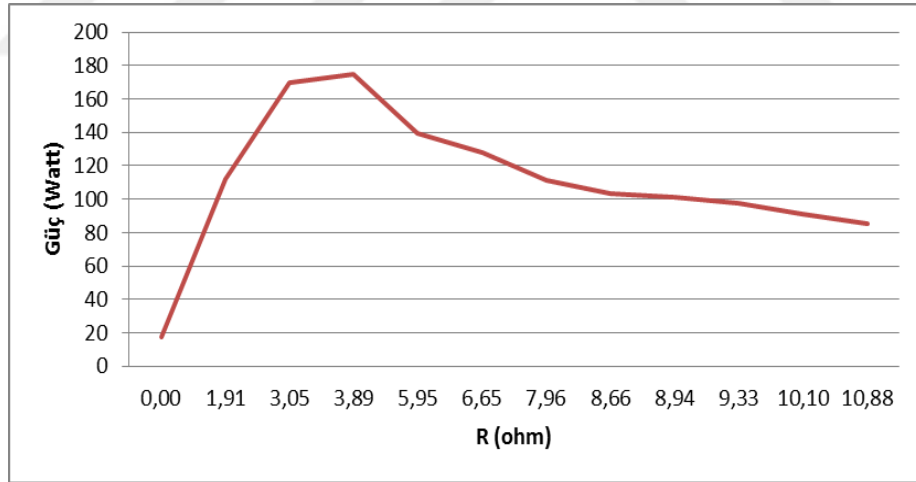
direncine göre oluşan panel gerilim değeri 26,09 ve panel akım değeri ise 6,71 olarak ölçülmüştür.



b) P-V karakteristiği

Şekil 4.3. Panele ilişkin I-V ve P-V karakteristik eğrileri

Elde edilen ölçüm değerleri ile tez çalışmasında kullanılan panele ilişkin P-V karakteristik eğrisi Şekil 4.3 (b)'de verilmiştir.  $R_y=3,89 \Omega$  için panel maksimum güç değeri 175,06 ve panel gerilim değeri ise 26,09 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.4. Panel gücünün yük direncine göre değişim eğrisi

Şekil 4.4'teki grafikte, panel çıkış gücünün maksimum noktada yük direncinin  $R_y=3,89 \Omega$  olarak seçilmesinin uygun olacağı görülmüştür.

## 4.2. PV Panelin Verimliliğinin Sıcaklık ile Değişiminin İncelenmesi

Enerji verimliliği için gerekli ölçüm düzeneği Şekil 4.1'de verilmiştir. Güneş paneli ayarlanan debideki soğutma suyu ile fasıllı olarak soğutularak, soğutma süresi

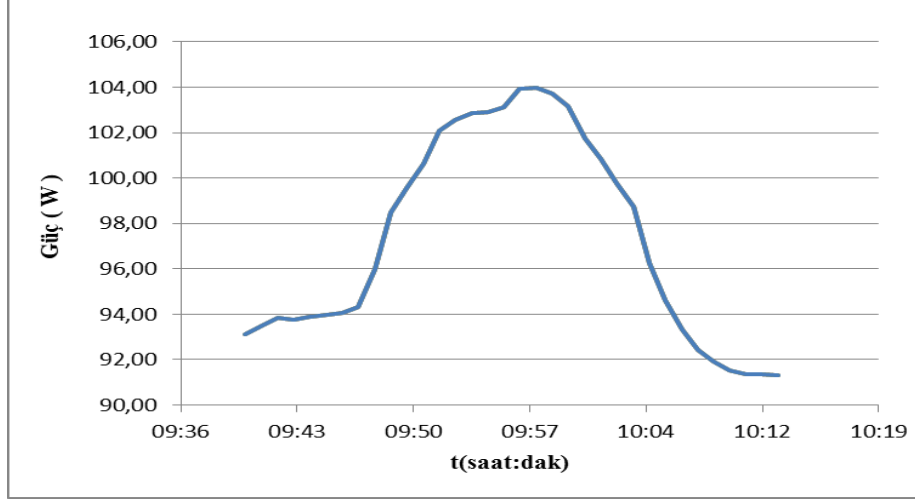
boyunca; panel yüzey sıcaklığı, radyasyon düzeyi, yük direncinin ( $R_y$ ) sistemdem çektiği akım ve üzerinde düşen gerilim ölçülerek veri toplama cihazı üzerinden bilgisayara kaydedilmiştir. Kaydedilen bu ölçüm değerleri kullanılarak güneş paneline ilişkin Güç-Zaman, Akım-Zaman, Gerilim-Zaman, Sıcaklık-Zaman ve Sıcaklık-Çıkış Gücü eğrileri ayrı ayrı çizilmiştir. Sıcaklık değişimine karşı elde edilen eğriler kullanılarak, enerji verimliliğinin sıcaklık ile değişimi irdelenmiştir.

#### **4.2.1. Yüksek ortam sıcaklığı koşullarında 1. gün çalışması**

1 Ağustos güneşli bir günde sabah ve öğlen saatleri olmak üzere 2 ayrı çalışma yapılmıştır. Şekil 4.1'deki deney düzeneği için yük direnci  $R_y=3.89 \Omega$  seçilerek, ortam sıcaklığı sabahki çalışma için  $44,31 \text{ }^\circ\text{C}$  radyasyon düzeyinin yaklaşık olarak  $E=822 \text{ W/m}^2$ , soğutma suyunun akış hızı ise  $0,5 \text{ Litre/dakika}$  ( $136 \text{ Hz}$ ) frekans değerleri için güneş paneli sabah saatlerinde yapılan çalışma için 19 dakika süre ile panelin arka yüzeyi su ile homojen bir şekilde soğutulmuştur. Soğutma işlemi öncesi ortalama panel ön yüzey sıcaklıkları sabahki çalışmada  $47,94 \text{ }^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Arkadan soğutma sistemi kullanılarak panel ön yüzey sıcaklığı sabah yapılan çalışmada  $34,24 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar soğutulmuştur. Söz konusu soğutma süresi boyunca birer dakikalık aralıklarla elde edilen ölçüm değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablodaki ölçüm verilerine ilişkin akım, gerilim ve güç değişim eğrileri ise Şekil 4.5'te verilmiştir.

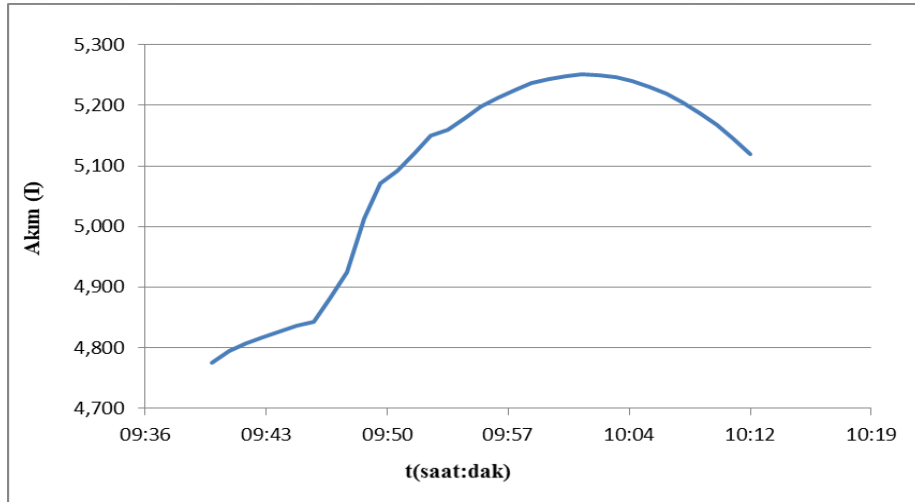
**Tablo 4.2.** Soğutulmuş pv panel için sabah saatlerinde alınan ölçüm sonuçları  
**Ölçüm Sonuçları 01.08.2017 Tarihinde Saat 9:40'da alınmıştır.**

Gerçek	Ortam	Gerilim	Akım	Güç	Ort Sıcaklık
Saat :	sıcaklığı	V	I	P	°C
09:40	44,31	19,50	4,774	93,10	47,94
09:41	44,31	19,51	4,794	93,52	47,69
09:42	44,31	19,53	4,807	93,85	47,44
09:43	44,28	19,46	4,816	93,74	46,94
09:44	44,28	19,45	4,826	93,87	46,69
09:45	44,28	19,43	4,836	93,96	46,45
09:46	44,27	19,42	4,843	94,04	45,70
09:47	44,27	19,33	4,881	94,33	45,45
09:48	44,26	19,49	4,925	96,00	45,95
09:49	44,22	19,65	5,013	98,49	43,53
09:50	44,21	19,63	5,072	99,54	42,67
09:51	44,12	19,76	5,092	100,63	39,98
09:52	44,12	19,94	5,121	102,11	39,73
09:53	44,11	19,91	5,150	102,57	37,72
09:54	44,11	19,93	5,160	102,85	37,47
09:55	44,11	19,87	5,179	102,92	37,22
09:56	44,11	19,84	5,198	103,10	36,52
09:57	44,10	19,94	5,213	103,95	36,24
09:58	44,10	19,89	5,226	103,96	36,11
09:59	44,10	19,81	5,237	103,72	34,24
10:00	44,10	19,67	5,244	103,16	34,50
10:01	44,10	19,38	5,249	101,74	34,58
10:02	44,10	19,21	5,251	100,86	34,81
10:03	44,09	19,01	5,250	99,78	36,11
10:04	44,09	18,82	5,246	98,74	36,24
10:05	44,09	18,37	5,240	96,26	36,52
10:06	44,12	18,08	5,231	94,60	37,22
10:07	44,12	17,89	5,219	93,35	37,47
10:08	44,12	17,76	5,205	92,44	37,72
10:09	44,12	17,72	5,188	91,92	39,73
10:10	44,12	17,71	5,167	91,52	39,98
10:11	44,11	17,76	5,145	91,38	40,23
10:12	44,11	17,84	5,119	91,34	40,97
10:13	44,10	17,94	5,091	91,31	43,00



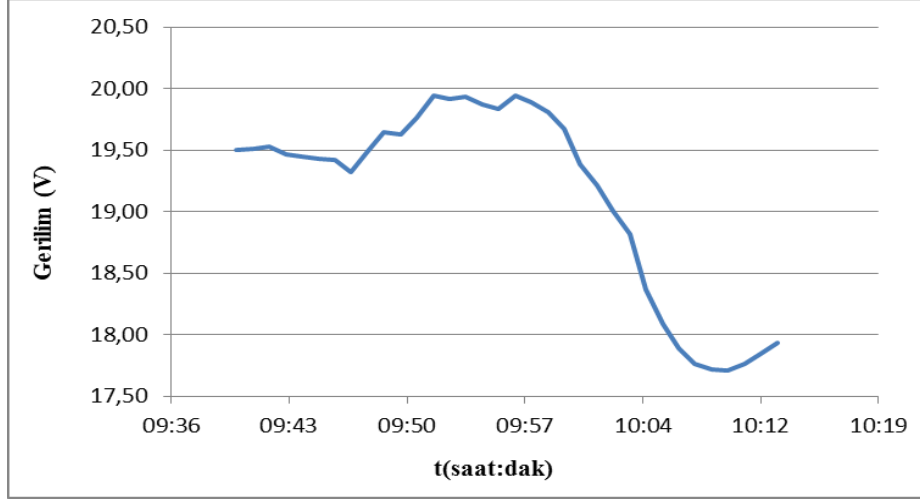
a) Panel gücünün zamana göre değişimi

1 Ağustos günü sabah saatlerinde yapılan ölçümlerde, panel çıkış gücünün zamana bağlı değişimi Şekil 4.5 (a)'da verilmiştir. Panel yüzeyinin arkadan su ile soğutulmasına saat 9:40'da başlanmıştır. Panel yüzeyinin soğumasıyla, Şekilden de görüldüğü gibi panel çıkış gücünde artış olduğu gözlenmiştir. Saat 9:59'da panel gücünün maksimum olduğu belirlenmiştir. Saat 9:59'den itibaren soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında panel gücünün giderek azaldığı yapılan ölçüm sonuçları ile birlikte görülmüştür.



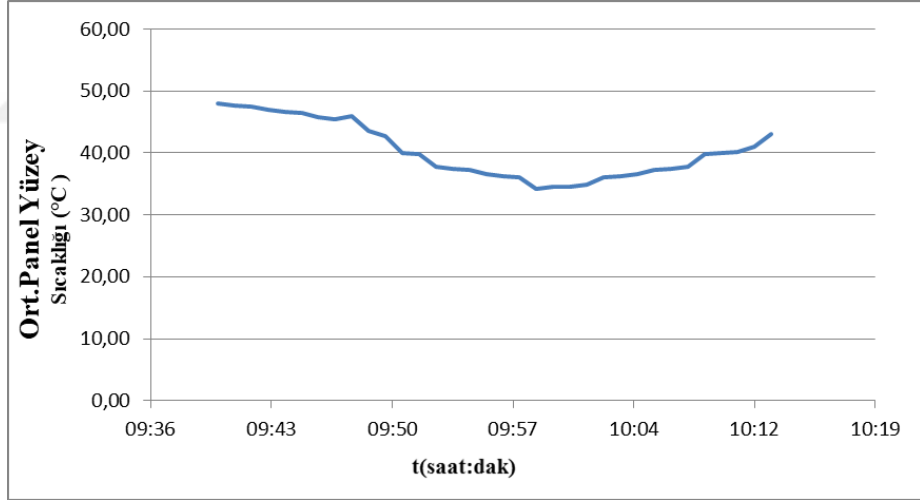
(b) Panel akımının zamana göre değişimi

Panel akımının zamana göre değişimi Şekil 4.5 (b)'de verilmiştir. Panelin arka yüzeyi soğutulurken bazı dakikalarda panel akımında dikkate değer artışlar gözlenmiştir. Soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında panel akımının değerinde zamanla düşüş görülmüştür.



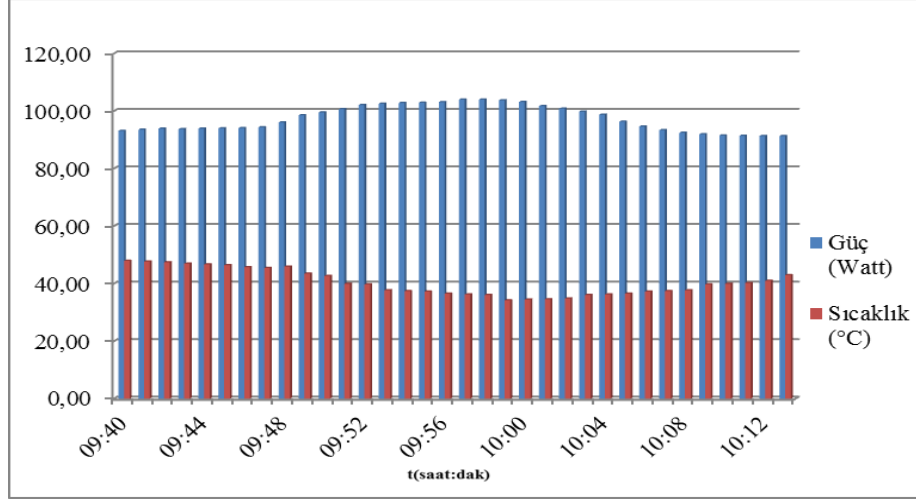
(c) Panel geriliminin zamana göre değişimi

Panel gerilimin zamana göre değişimi Şekil 4.5 (c)'de verilmiştir. Panelin arka yzeyi soğutularak panel geriliminde bir sfire değişim olmadığı daha sonrasında giderek bir artış olduğu g6zlenmiştir. Soğutulan panel yzeyi devre dışı bırakıldığında panel gerilim değerinde azalmalar g6r6lm6řt6r.



(d) Panel ortalama sıcaklığının zamana göre değişimi

Panel ortalama sıcaklığının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.5 (d)'deki grafikten g6r6lmektedir. Panelin arka yzeyinin soğutulması ile panel yzey sıcaklığını d6ř6rm6řt6r. Saat 9:59'dan itibaren panel soğutma sisteminin devre dışı bırakıldığında ise panel yzeyi sıcaklık değerinde zamanla artış olduğu g6r6lm6řt6r.



(e) Panel gücünün zamana bağlı olarak sıcaklıkla değişimi

Şekil 4.5. Soğutulmuş olan PV panele ilişkin akım, gerilim, sıcaklık ve güç değişim eğrileri (1. gün sabah saatleri )

Tablo 4.2'den ve Şekil 4.5 (e)'deki grafikten; ortalama panel ön yüzeyi sıcaklığı 47,94 °C iken  $R_y=3.89 \Omega$  yük direncinin panelden 93,1 W olduğu görülmektedir. Panelin yüzeyinin arkadan su soğutma yöntemi ile panel ön yüzeyi sıcaklığı 34,24 °C, panelden çekilen güç ise 103,72 W olarak ölçülmüştür. Güç değişim eğrilerinden 10,62 W'lık bir güç artışı sağlanmış olduğu görülmektedir.

#### **Ön yüzey soğuma ve ısınma hızının hesabı:**

1 Ağustos 2017 günü sabah saatlerinde Tablo 4.2'den arkadan soğutma ile panel ön yüzey sıcaklığı 19 dakikada 47,94 °C'den 34,24 °C'ye düşürülmüştür. Soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında ise panel ön yüzey sıcaklığı güneş ışınları ile 13 dakikada 43 °C düzeyine çıktığı gözlenmiştir.

#### **soğuma hızı;**

$$\Delta T=(47,94-34,24)/1140=0,012 \text{ (}^\circ\text{C/sn)}$$

#### **ısınma hızı ise;**

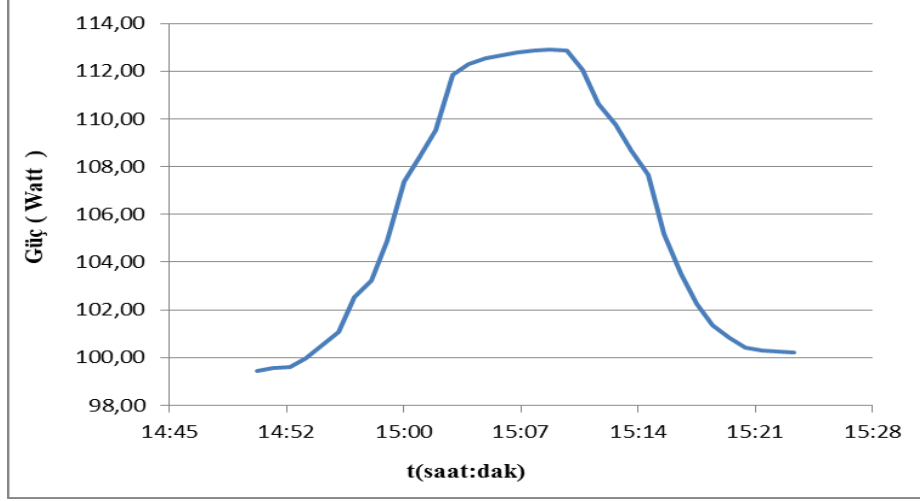
$$\Delta T=(43-34,24)/1200=0.0073 \text{ (}^\circ\text{C/sn)} \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

Öğlen saatlerinde yapılmış olan 2.çalışma için yük direnci  $R_y=3.89 \Omega$  seçilerek, ortam sıcaklığı, öğleden sonraki çalışma için 47,24 °C, radyasyon düzeyinin yaklaşık olarak  $E=822 \text{ W/m}^2$ , soğutma suyunun akış hızı ise 0,5 Litre/dakika (136 Hz ) frekans değerleri için güneş paneli 20 dakika süre ile panelin arka yüzeyi su ile homojen bir şekilde soğutulmuştur. Soğutma işlemi öncesi panel ön yüzey sıcaklığı 52,10 °C olarak

ölçülmüştür. Arkadan soğutma sistemi kullanılarak panel ön yüzey sıcaklığı öğleden sonra yapılan çalışmada 37,88 °C'ye kadar soğutulmuştur. Söz konusu soğutma süresi boyunca birer dakikalık aralıklarla elde edilen ölçüm verileri Tablo 4.3'te verilmiştir. Tablodaki ölçüm verilerine ilişkin akım, gerilim ve güç değişim eğrileri ise Şekil 4.6'da verilmiştir.

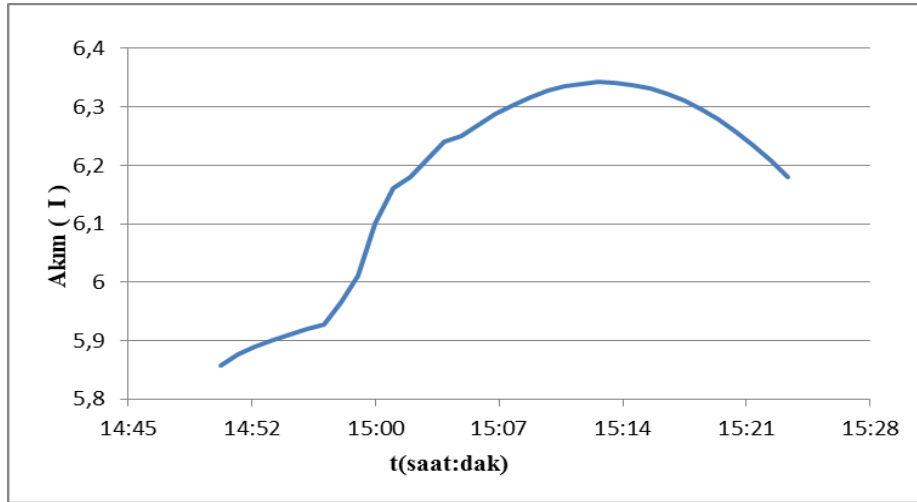
**Tablo 4.3.** Soğutulmuş pv panel için öğle saatlerinde alınan ölçüm sonuçları

<b>Veriler 01.08.2017 tarihinde saat 14:51'den itibaren alınmıştır.</b>					
Gerçek	Ortam	Gerilim	Akım	Güç	Ort. Sıcaklık
Saat :	Sıcaklığı	V	I	P	°C
14:51	47,24	16,980	5,857	99,45	52,10
14:52	47,24	16,939	5,877	99,55	51,97
14:53	47,24	16,914	5,89	99,62	51,94
14:54	47,24	16,943	5,9	99,97	51,91
14:55	47,24	17,010	5,91	100,53	51,00
14:56	47,24	17,070	5,92	101,05	50,97
14:57	47,24	17,206	5,927	102,54	50,94
14:58	47,18	17,304	5,966	103,24	50,00
14:59	47,18	17,455	6,01	104,90	47,78
15:00	47,18	17,605	6,1	107,39	44,45
15:01	47,18	17,604	6,16	108,44	43,73
15:02	47,18	17,724	6,18	109,53	41,67
15:03	47,18	18,009	6,21	111,84	40,20
15:04	47,17	17,999	6,24	112,31	39,09
15:05	47,17	18,006	6,25	112,54	39,06
15:06	47,17	17,969	6,2693	112,65	39,03
15:07	47,22	17,937	6,2881	112,79	39,00
15:08	47,22	17,901	6,3041	112,85	38,97
15:09	47,21	17,865	6,3173	112,92	38,94
15:10	47,21	17,836	6,3277	112,86	37,88
15:11	47,21	17,688	6,3353	112,06	37,88
15:12	47,21	17,450	6,3401	110,64	38,94
15:13	47,21	17,307	6,3421	109,76	38,97
15:14	47,21	17,139	6,3413	108,68	39,00
15:15	47,21	16,985	6,3377	107,64	39,03
15:16	47,21	16,610	6,3313	105,16	39,06
15:17	47,21	16,372	6,3221	103,51	39,09
15:18	47,21	16,205	6,3101	102,26	40,20
15:19	47,21	16,098	6,2953	101,34	41,67
15:20	47,21	16,062	6,2777	100,83	43,73
15:21	47,21	16,049	6,2573	100,42	44,45
15:22	47,20	16,087	6,2341	100,29	45,34
15:23	47,20	16,148	6,2081	100,25	46,50
15:24	47,20	16,219	6,1793	100,22	47,0



a) Panel gücünün zamana göre değişimi

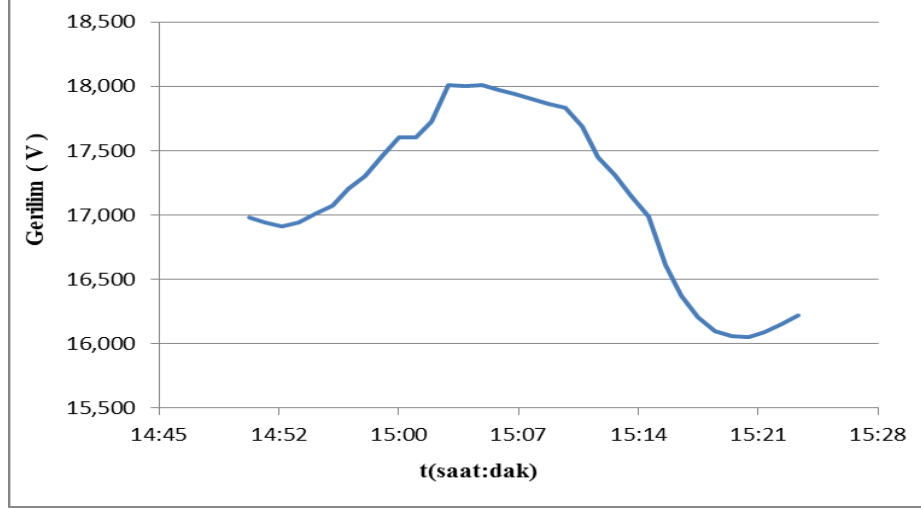
Öğlen saatlerinde yapılmış olan ölçümlerde, Şekil 4.6 (a) ile verilmiş olan grafikte panel yüzeyinin arkadan su ile soğutulmasına ilişkin saat 14:51'den itibaren başlanmıştır. Panel yüzeyinin soğumasıyla, şekilde de görüldüğü gibi panel çıkış gücünde zamanla artış olduğu görülmüştür. Saat 15:10'da panel gücünün maksimum değere ulaştığı gözlenmiştir. Saat 15:10'den itibaren soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında panel gücünün giderek azaldığı yapılan ölçüm sonuçları ile birlikte görülmüştür.



(b) Panel akımının zamana göre değişimi

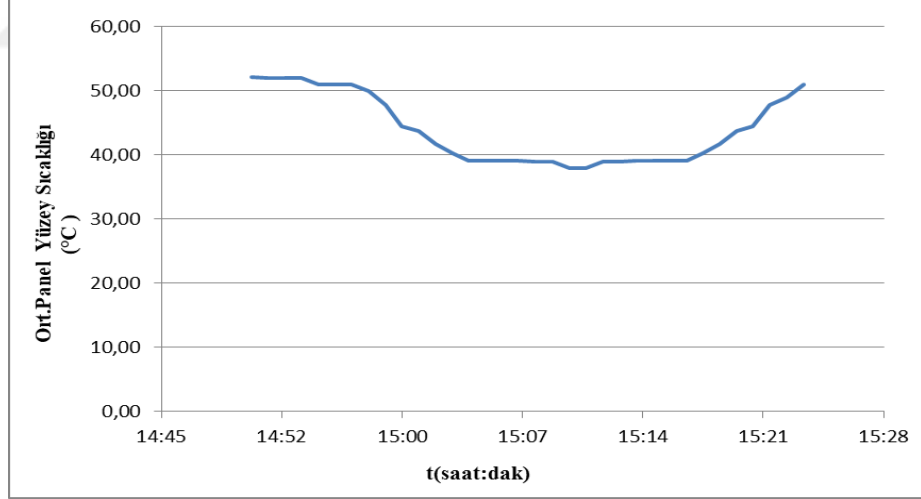
Panel akımının zamana göre değişimi Şekil 4.6 (b)'de verilmiştir. Panelin arka yüzeyi soğutulurken bazı dakikalarda panel akımında dikkate değer artışlar görülmüştür. Soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında panel akımının değerinde zamanla azalmalar olduğu gözlenmiştir.





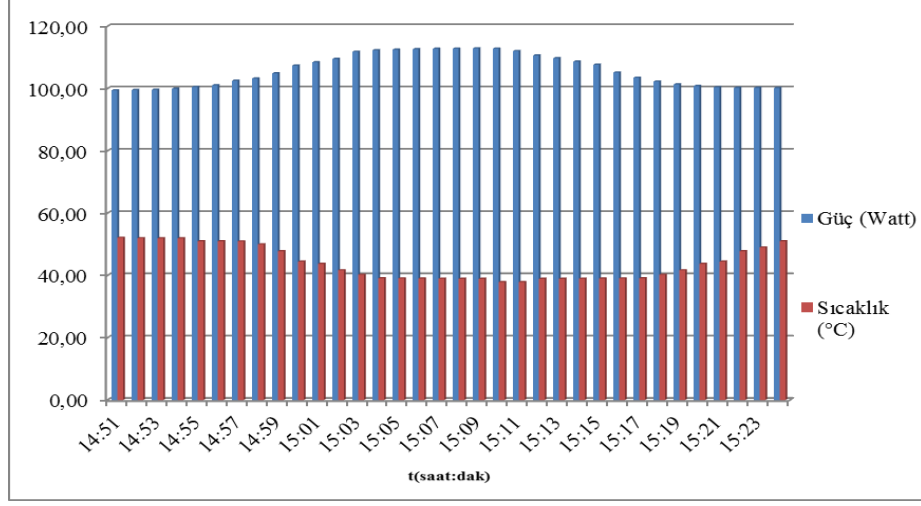
(c) Panel geriliminin zamana göre değişimi

Bu çalışmada, lum sonuçlarından elde edilen panel gerilimin zamana göre grafik eğrisi Şekil 4.6 (c)'de görülmektedir. Saat 14:51'de arkadan su soğutma yöntemi ile panel yüzeyi soğutulmaya başlanmıştır. Söz konusu soğutma sistemi devam ederken panel geriliminin gittikçe arttığı gözlenmiştir. Saat 15:10'dan itibaren soğutma sistemi devre dışı bırakılmıştır. Bu dakikadan itibaren panel gerilim değeri zamanla düştüğü görülmüştür.



(d) Panel ortalama sıcaklığının zamana göre değişimi

Panel ortalama sıcaklığının zamana göre grafik eğrisi Şekil 4.6 (d)'de verilmiştir. Panel yüzeyinin soğutulması ile başlangıçta sıcaklık değişimi görülmezken, yüzeyin iyice soğumasıyla panelde dikkate değer ısı düşüşü gözlenmiştir. Soğutma sisteminin saat 15:10'dan itibaren devre dışı bırakıldığında ise, panel yüzeyinin sıcaklık değerinde artış olduğu görülmüştür.



(e) Zamana bağlı panel gücünün sıcaklıkla değişimi

Şekil 4.6 Soğutulmuş olan pv panele ilişkin akım, gerilim, sıcaklık ve güç değişim eğrileri (1. gün öğle saatleri)

Tablo 4.3'den ve Şekil 4.6 (e)'deki grafikten; ortalama panel ön yüzeyi sıcaklığı 52,1 °C iken  $R_y=3.89 \Omega$  yük direncinin panelden 99,45 W olduğu görülmektedir. Panelin yüzeyinin arkadan su soğutma yöntemi ile panel ön yüzeyi sıcaklığı 37,88 °C, panelden çekilen güç ise 112,86 W olarak ölçülmüştür. Güç değişim eğrilerinden 13,41 W'lık bir güç artışı sağlanmıştır.

#### Ön yüzey soğuma ve ısınma hızının hesabı:

1 Ağustos 2017 tarihinde öğleden sonraki ölçümlere ilişkin Tablo 4.3'den panel sıcaklığı 52,10 °C den 37,88 °C ye 19 dakikada düşürülmüştür. Soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında ise panel sıcaklığı 14 dakikada 37,88 °C'den 51 °C'ye yükseldiği görülmüştür.

#### soğuma hızı;

$$\Delta T=(52,1-37,88)/1080=0.012 \text{ (}^\circ\text{C/sn)}$$

#### ısınma hızı ise;

$$\Delta T=(47-37,88)/840=0,010 \text{ (}^\circ\text{C/sn)} \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

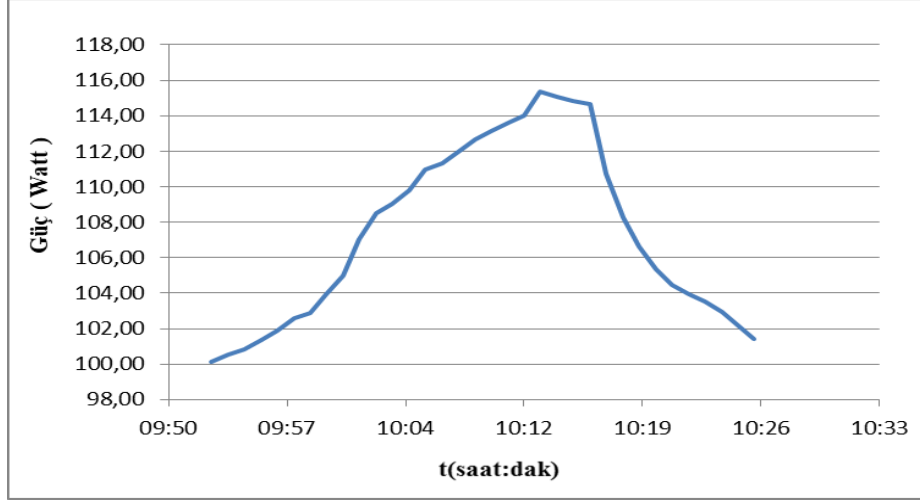
#### 4.2.2. Yüksek ortam sıcaklığı koşullarında 2. gün çalışması

2017 Ağustos ayının ikinci günü güneşli bir günde, aynı çalışma düzeneği kullanılarak yük direnci  $R_y=3.89 \Omega$  seçilerek, ortam sıcaklığı sabah saatlerinde 44 °C radyasyon düzeyinin yaklaşık olarak  $E=822 \text{ W/m}^2$ , soğutma suyunun akış hızı ise 0,5 litre/dakika olduğu 20 dakika süreyle soğutulmuştur. Arkadan su soğutma yöntemi

kullanılmıştır. Soğutma işlemi öncesi ortalama panel ön yüzey sıcaklığı 46,7 °C olarak ölçülmüştür. Soğutma sistemi ile panel ön yüzey sıcaklığı 32,91 °C'ye kadar soğutulmuştur. Soğutma süresi boyunca birer dakika aralıklarla yük gerilimi, yük akımı ve panel ön sıcaklık değerleri eş zamanlı olarak ölçülerek PC'ye kaydedilmiştir. Kaydedilen ölçüm değerleri Tablo 4.4 'te verilerek yük direnci uçlarındaki gerilim ile yükün panelden çekmiş olduğu yük akımı ve gücün zamana göre değişim eğrileri Şekil 4.7'de verilmiştir.

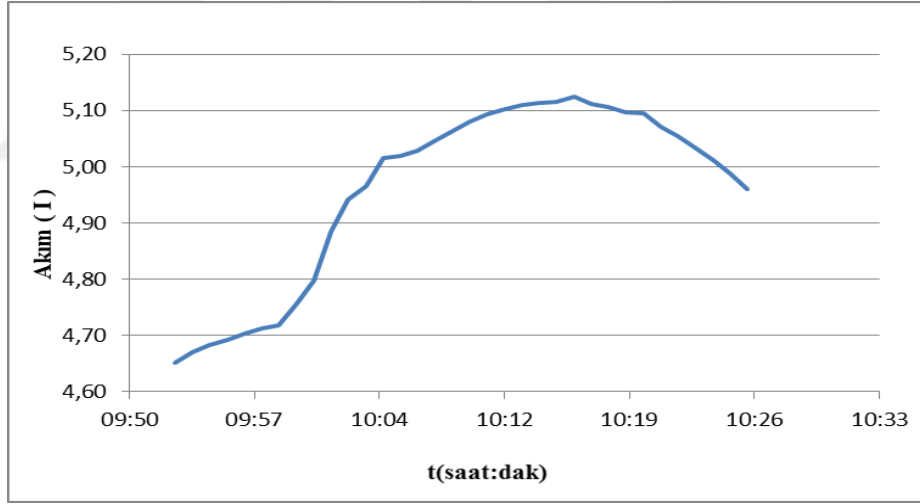
**Tablo 4.4.** Soğutulmuş pv panel için sabah saatlerinde alınan ölçüm sonuçları  
**Veriler 02.08.2017 tarihinde saat 09:53'den itibaren alınmıştır.**

Gerçek Saat :	Ortam Sıcaklığı	Gerilim V	Akım I	Güç P	Ort. Sıcaklık °C
09:53	44,31	21,52	4,65	100,10	46,70
09:54	44,31	21,52	4,67	100,52	46,22
09:55	44,31	21,53	4,68	100,85	45,75
09:56	44,28	21,60	4,69	101,37	45,48
09:57	44,28	21,66	4,70	101,87	45,24
09:58	44,28	21,77	4,71	102,57	44,99
09:59	44,27	21,80	4,72	102,87	44,25
10:00	44,27	21,85	4,76	103,92	43,80
10:01	44,26	21,88	4,80	104,98	43,65
10:02	44,22	21,92	4,88	107,06	42,11
10:03	44,21	21,96	4,94	108,52	41,26
10:04	44,12	21,98	4,97	109,04	40,75
10:05	44,12	22,01	5,02	109,82	39,54
10:06	44,11	22,11	5,02	110,96	37,21
10:07	44,11	22,14	5,03	111,32	36,11
10:08	44,11	22,19	5,05	111,98	35,86
10:09	44,11	22,25	5,06	112,68	35,16
10:10	44,10	22,27	5,08	113,13	34,89
10:11	44,10	22,31	5,09	113,61	34,76
10:12	44,10	22,35	5,10	114,04	33,16
10:13	44,10	22,58	5,11	115,37	32,91
10:14	44,10	22,50	5,11	115,07	33,25
10:15	44,10	22,45	5,12	114,86	34,89
10:16	44,09	22,41	5,12	114,63	35,16
10:17	44,09	21,66	5,11	110,74	35,86
10:18	44,09	21,20	5,11	108,26	36,11
10:19	44,12	20,91	5,10	106,60	36,35
10:20	44,12	20,72	5,10	105,35	38,34
10:21	44,12	20,59	5,07	104,44	40,25
10:22	44,12	20,56	5,05	103,92	40,85
10:23	44,12	20,56	5,03	103,52	41,65
10:24	44,11	20,54	5,01	102,96	41,98
10:25	44,11	20,48	4,99	102,15	41,05
10:26	44,10	20,45	4,96	101,44	41,15



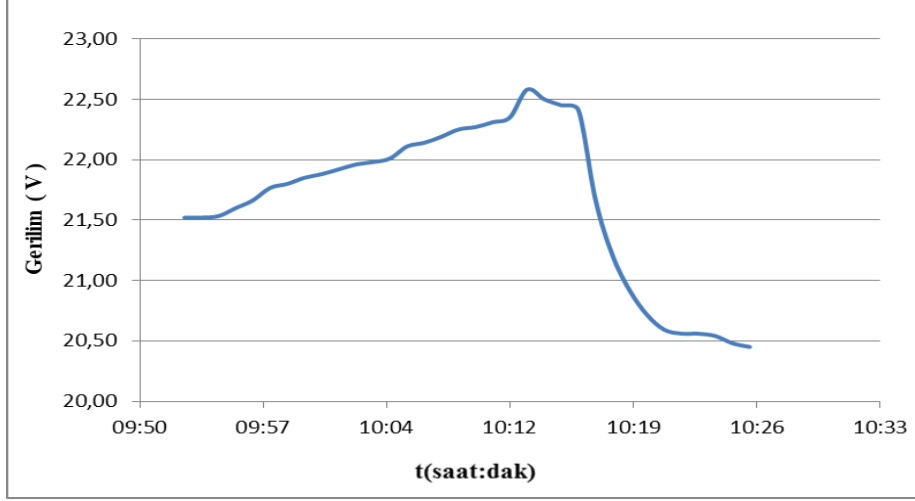
a) Panel gücünün zamana göre değişimi

Ağustos ayının ikinci gününde ölçülen panel elektrik üretiminin zamana göre değişimi şekil 4.7 (a)'da verilmiştir. Bu grafiğe göre, panel arka yüzeyi soğutularak elektrik üretiminin giderek arttığı anlaşılmıştır. Soğutmalı sistem saat 10:13'ten itibaren devre dışı bırakarak panel elektrik üretiminde azalış olduğu görülmüştür.



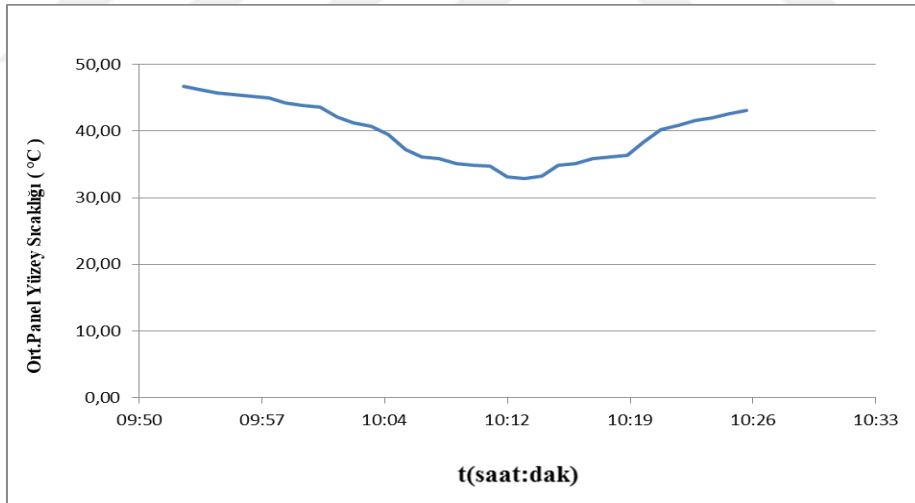
b) Panel akımının zamana göre değişimi

Fotovoltaik panelin arkadan su ile soğutma yöntemi sayesinde oluşan panel akımının zamana göre grafik eğrisi Şekil 4.7 (b)'de verilmiştir. Panelin yüzeyi soğudukça panel akımının değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Saat 10:13'ten sonra soğutma sistemi devre dışı bırakılmıştır. Bu nedenle panelin akım değerinde azalmalar görülmüştür.



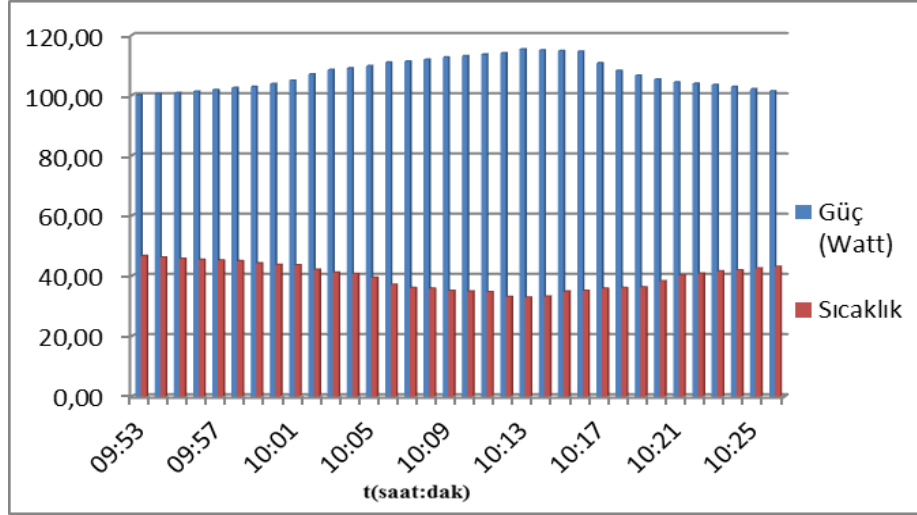
c) Panel geriliminin zamana göre değişimi

Sabah saatlerinde yapılan ölçümlerde, panel geriliminin zamana göre grafik eğrisi şekil 4.7 (c)'de incelenmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere saat 9:53'te panel yüzeyinin soğutulmasına başlanmıştır. Bu sebeple belli bir süre sonra panel gerilimin değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Saat 10:13'ten itibaren soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında panel yüzeyinin zamanla ısındığı görülmüştür. Bu etki panel geriliminde azalmalar meydana getirdiği ölçüm sonuçlarından anlaşılmaktadır.



d) Panel ortalama sıcaklığının zamana göre değişimi

Soğutmalı sistemle elde edilen panel yüzey sıcaklık eğrileri Şekil 4.7 (d)'deki grafikte verilmiştir. Panel yüzey sıcaklığı değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür. Saat 10:15'ten sonra soğutmalı sistemin devre dışı bırakılmasıyla kısa sürede panel yüzey sıcaklığında artışlar gözlenmiştir.



e) Zamana bağlı panel gücünün sıcaklıkla değişimi

Şekil 4.7. Soğutulmuş olan pv panele ilişkin akım, gerilim, sıcaklık ve güç değişim eğrileri ( 2. gün sabah saatleri )

Tablo 4.4'den ve Şekil 4.7 (e)'deki grafikten; ortalama panel ön yüzeyi sıcaklığı  $46,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  iken  $R_y=3.89\ \Omega$  yük direncinin panelden  $100,1\ \text{W}$  olduğu görülmektedir. Panelin yüzeyinin arkadan su soğutma yöntemi sonucunda ise panel ön yüzeyi sıcaklığı  $32,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ , panelden çekilen güç ise  $115,07\ \text{W}$  olarak ölçülmüştür. Güç değişim eğrilerinden  $14,97\ \text{W}$ 'lık bir güç artışı sağlanmıştır.

#### ***Ön yüzey soğutma ve ısıtma hızının hesabı:***

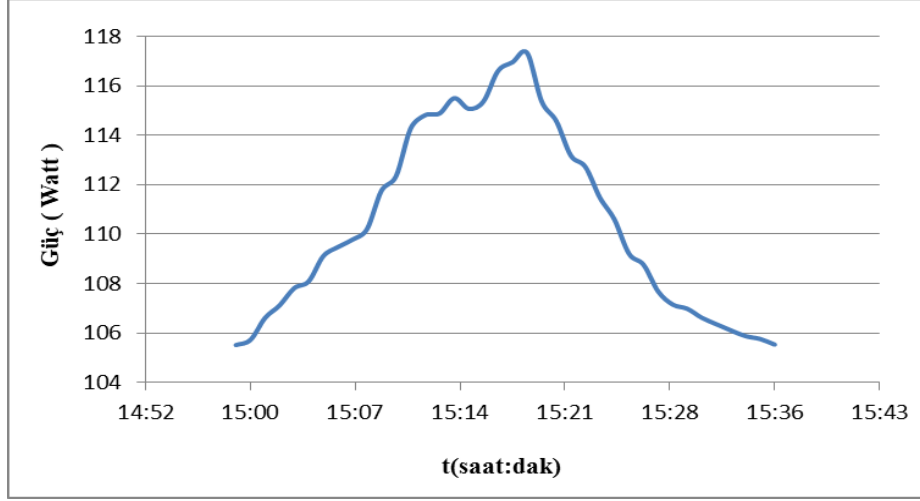
2 Ağustos 2017 günü sabah vakti elde ettiğimiz Tablo 4.4'teki verilerin arkadan soğutma ile panel ön sıcaklığı 20 dakikada  $46,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $32,91\text{ }^{\circ}\text{C}$  düzeyine düşmüştür. Soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında ise panel yüzey sıcaklığı 13 dakikada  $32,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $41,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselmiştir. Deneysel sonuçlardan güneş panelinin ön yüzey soğuma hızı  $0.0115\text{ } (^{\circ}\text{C}/\text{sn})$ , ısınma hızı ise  $0.010\text{ } (^{\circ}\text{C}/\text{sn.})$  olarak elde edilmiştir.

Öğlen saatlerinde yapılan deney düzeneğinde; yük direnci  $R_y=3.89\ \Omega$  seçilerek, ortam sıcaklığı öğleden sonra  $48,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ , radyasyon düzeyinin yaklaşık olarak  $E=822\ \text{W}/\text{m}^2$ , soğutma suyunun akış hızı ise  $0,5\ \text{litre}/\text{dakika}$  20 dakika süreyle soğutulmuştur. Soğutmada arkadan su soğutma yöntemi kullanılmıştır. Soğutma işlemi öncesi ortalama panel ön yüzey sıcaklığı  $57\text{ }^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Soğutma sistemi ile panel ön yüzey sıcaklığı  $35,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulmuştur. Soğutma süresi boyunca birer dakika aralıklarla yük gerilimi, yük akımı ve panel ön sıcaklık değerleri eş zamanlı olarak ölçülerek PC'ye kaydedilmiştir. Kaydedilen ölçüm değerleri Tablo 4.5'te verilerek yük

direnci uçlarındaki gerilim ile yükün panelden çekmiş olduğu yük akımı ve gücün zamana göre değişim eğrileri Şekil 4.8'da verilmiştir.

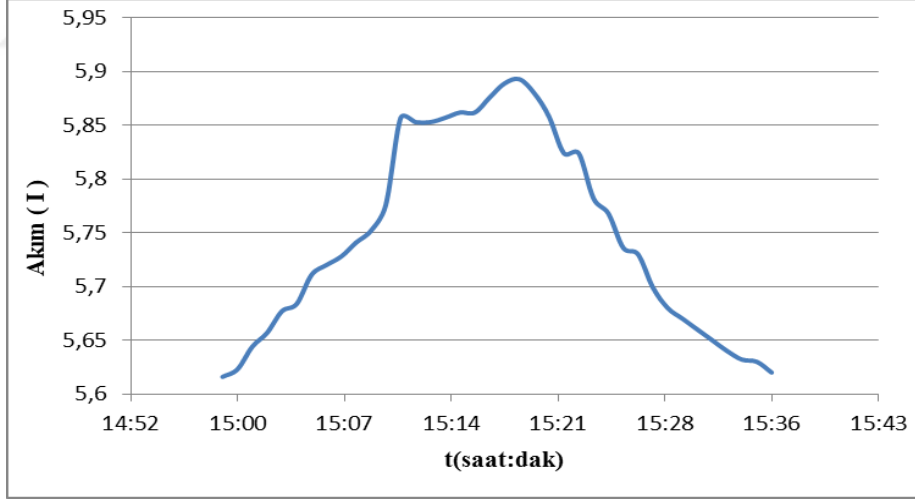
**Tablo 4.5.** Soğutulmuş pv için öğle saatlerinde alınan ölçüm sonuçları

<b>Veriler 02.08.2017 tarihinde saat 14:59'dan itibaren alınmıştır.</b>					
Gerçek Saat :	Ortam Sıcaklığı	Gerilim V	Akım A	Güç P	Ort Sıcaklık °C
14:59	48,47	18,79	5,62	105,51	57,0
15:00	48,47	18,80	5,62	105,72	57,0
15:01	48,47	18,89	5,64	106,61	56,9
15:02	48,47	18,94	5,66	107,12	56,9
15:03	48,48	18,99	5,68	107,81	56,0
15:04	48,48	19,02	5,68	108,09	56,0
15:05	48,48	19,11	5,71	109,11	55,9
15:06	48,48	19,14	5,72	109,48	55,4
15:07	48,48	19,17	5,73	109,78	52,8
15:08	48,48	19,20	5,74	110,20	49,5
15:09	48,48	19,43	5,75	111,76	48,7
15:10	48,48	19,45	5,78	112,34	42,3
15:11	48,48	19,51	5,86	114,27	42,0
15:12	48,46	19,62	5,85	114,81	40,5
15:13	48,46	19,63	5,85	114,89	39,9
15:14	48,46	19,72	5,86	115,50	38,7
15:15	48,46	19,63	5,86	115,07	37,2
15:16	48,46	19,68	5,86	115,36	36,5
15:17	48,46	19,84	5,88	116,60	36,2
15:18	48,46	19,86	5,89	116,96	36,0
15:19	48,45	19,91	5,89	117,33	35,9
15:20	48,45	19,62	5,88	115,37	37,5
15:21	48,46	19,56	5,86	114,58	38,0
15:22	48,46	19,43	5,82	113,18	38,2
15:23	48,47	19,36	5,82	112,72	38,7
15:24	48,47	19,28	5,78	111,48	39,5
15:25	48,47	19,17	5,77	110,59	40,6
15:26	48,47	19,04	5,74	109,21	41,6
15:27	48,47	18,98	5,73	108,76	42,3
15:28	48,47	18,90	5,70	107,68	43,5
15:29	48,44	18,87	5,68	107,15	44,3
15:30	48,44	18,87	5,67	106,98	45,8
15:31	48,43	18,84	5,66	106,62	46,9
15:32	48,43	18,82	5,65	106,36	48,0
15:33	48,42	18,81	5,64	106,11	48,3
15:34	48,4	18,80	5,63	105,88	49,6
15:35	48,4	18,79	5,63	105,76	50,6
15:36	48,4	18,78	5,62	105,53	51,3



a) Panel gücünün zamanla değişimi

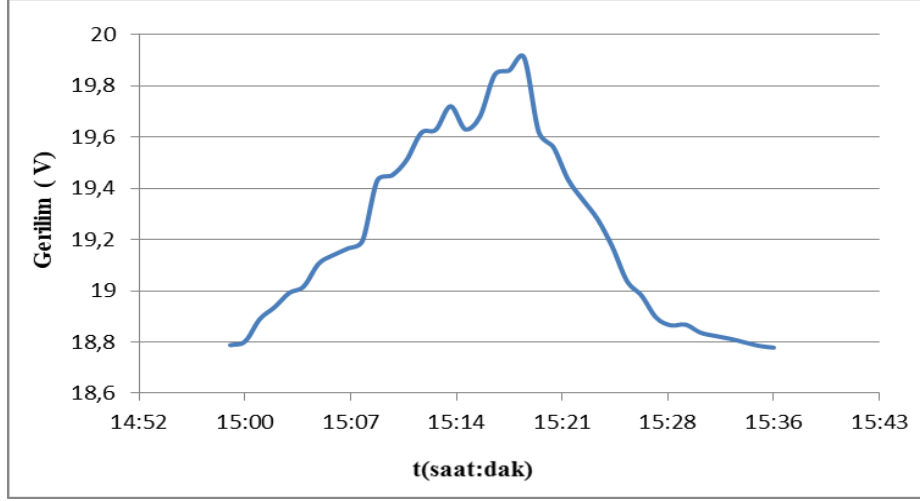
Öğlen saatlerindeki ölçümler Şekil 4.8 (a)'da verilmiştir. Panel yüzeyinin soğutulmaya başlanmasıyla panel elektrik üretiminde kısa sürede artışlar olduğu grafik eğrisinde görülmüştür. Saat 15:19'dan itibaren soğutmasız sistem ile çalışmaya devam edilmiş ve panel elektrik üretiminde ani kırılmalar meydana gelmiştir. Şekildeki grafikten inceleyecek olursak, soğutmasız sistemde panel elektrik üretiminin zamanla azaldığı anlaşılmaktadır.



b) Panel akımının zamanla değişimi

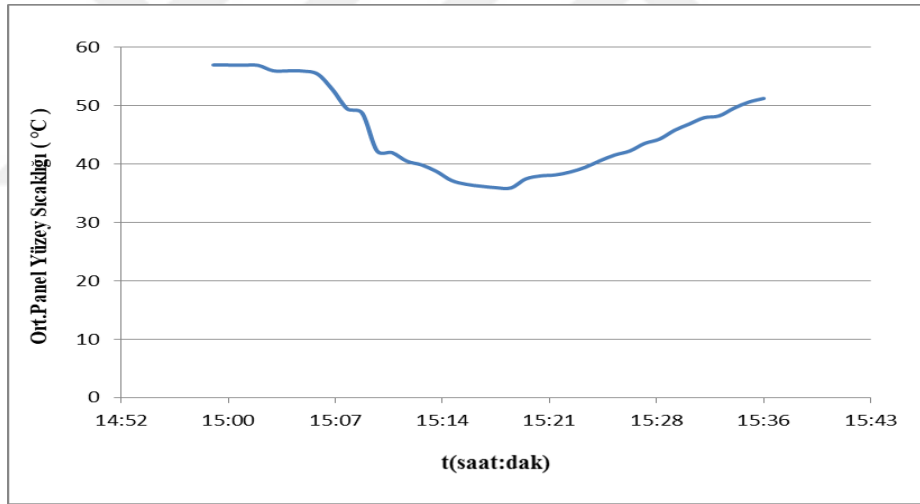
Şekil 4.8 (b)'de verilmiş olan panel akımının zamanla değişimi soğutmalı ve soğutmasız sisteme göre karşılaştırılmıştır. Saat 14:59'dan itibaren soğutmalı sistem düzeneği ile panel akımının değeri zamana göre arttığı görülmüştür. Saat 15:19'dan itibaren soğutma sistemi devre dışı kaldıktan sonra panelin akım değerlerinde azalmalar gözlenmiştir.





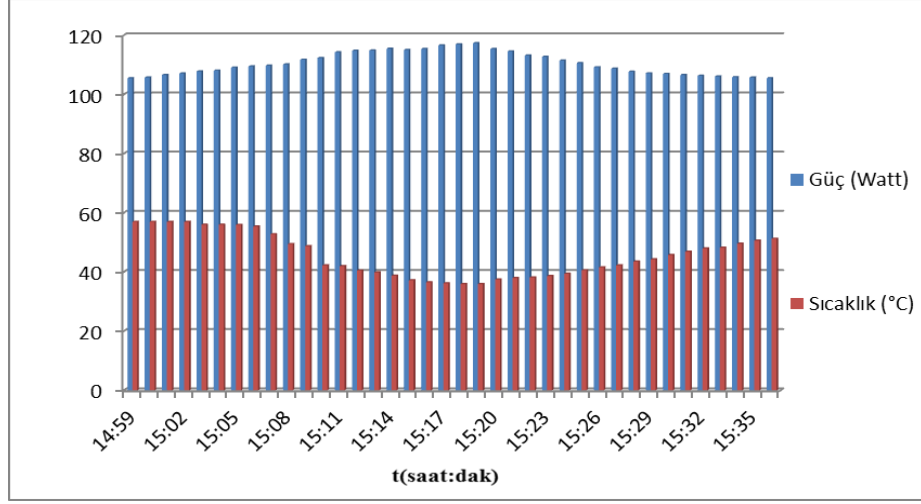
c) Panel geriliminin zamanla değişimi

Elde edilen ölçümler sonucunda panel geriliminin zamana göre grafik eğrisi Şekil 4.8 (c)'de görülmektedir. Saat 14:59'da arkadan su soğutma yöntemi ile panel yüzeyi soğutulmaya başlanmıştır. Saat 15:19'dan itibaren soğutma sistemi devre dışı bırakıldığında panel geriliminin zamanla giderek azaldığı gözlenmiştir.



d) Panel ortalama sıcaklığının zamanla değişimi

Arkadan su ile soğutma yönteminin uygulandığı fotovoltaik paneli yüzey sıcaklık değişimini Şekil 4.8 (d)'deki grafikte verilmiştir. Soğutmalı sistem ile panel yüzey sıcaklığı değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür. Saat 15:19'dan itibaren soğutmalı sistemin devre dışı bırakılmasıyla kısa sürede panel yüzey sıcaklığında artışlar gözlenmiştir.



e) Panel gücünün zamana göre sıcaklıkla değişimi

Şekil 4.8. Soğutulmuş olan PV panele ilişkin akım, gerilim, sıcaklık ve güç değişim eğrileri  
( 2. gün öğlen saatleri)

Tablo 4.5'ten ve Şekil 4.8 (e)'deki eğrilerden; ortalama panel ön yüzeyi sıcaklığı 57 °C iken  $R_y=3.89 \Omega$  yük direncinin panelden çektiği gücün 105,51 W olduğu görülmektedir. Panel yüzeyinin arkadan su soğutma yöntemi ile ön yüzeyi sıcaklığı 35,9 °C, panelden çekilen güç ise 117,33 W olarak ölçülmüştür. Güç değişim eğrilerinden toplamda 11,82 W'lık bir güç artışı sağlanmıştır.

#### Ön yüzey soğutma ve ısıtma hızının hesabı:

Son olarak 2 Ağustos 2017 günü öğleden saatlerinde elde edilen Tablo 4.5'teki deneysel sonuçlardan arkadan soğutma ile panel ön yüzey sıcaklığı 57 °C'den 35,9 °C'ye kadar 20 dakikada soğutulmuştur. Soğutma sistemi devre dışı kaldığında ise panel ön yüzey sıcaklığının 35,9 °C'den 51,30 °C'ye 17 dakikada yükseldiği görülmüştür. Bu deneysel sonuçlardan panellerin ön yüzey soğuma hızı 0,017 (°C/sn), ısınma hızı ise 0.015 (°C/sn) olarak hesaplanmıştır.

Kullanılan deney sistemi yardımıyla güneş panelinin I-V ve P-V karakteristiği çıkarıldı. Daha sonra güneş şiddetinin ve ortam sıcaklığının yüksek olduğu Ağustos ayında arkadan soğutma tekniği ile panel soğutulmuş panelden çekilen gücün sıcaklıkla değişimi elde edilmiştir. Deneyler sabah ve öğlen saatleri olmak üzere iki farklı gün için tekrarlanmıştır. Arkadan su ile soğutma yönteminde doğal kaynaklar kullanılarak panellerin verimlilik artışının sağlandığı ve diğer soğutma yöntemlerine göre daha az maliyetli olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında 250 W'lık bir fotovoltaik panelin verimliliğinin sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarında güneş panellerinin verimliliğinin arkadan su ile soğutularak arttırılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca ortam sıcaklığı ve güneş enerjisi düzeyi arttıkça elde edilen verimlilik düzeyinin de azaldığı görülmüştür.

Kullanılan panelin soğuma ve ısınma katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) Güneş panellerinin soğutulması ile önemli ölçüde enerji verimliliği artışı sağlanmıştır.
- 2) 1-2 Ağustos 2017 tarihlerinde sabah ve öğlen saatlerinde gerçekleştirilen çalışmaların karşılaştırılması sonucunda arkadan su ile soğutma sayesinde panel yüzey sıcaklığı azaldıkça, panelden elde edilen enerji verimliliğinin arttığı görülmüştür.
- 3) Tablo 5.2, Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'ten fotovoltaik güneş panelin arkadan su ile soğutma sayesinde ön soğuma hızının, güneş ışınları ile ısıtma hızından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

### 5.2. Öneriler

Yapılmış olan bu tez çalışması sonucunda, kurulmuş olan bir su soğutmalı güneş panel sistemi için panellerin arka yüzey soğutma ve ısınma hızları bir kez hesaplandıktan sonra, söz konusu sistemin panel ön yüzey sıcaklık değişimi zamana bağlı olarak hesaplanabilir. Böylece sadece bir zamanlayıcı ile fasıllı soğutma sistemi kurulabilir. Ayrıca fotovoltaik panellerin enerji verimliliğine ilişkin etkisi hava ile soğutma yöntemi araştırılmalıdır.



## 6. KAYNAKLAR

- Anonymous, 2003. Progress in Photovoltaics Research and Applications, 62, 11-47
- Anonim, 2004. Çevre Dostu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Çevre Bakanlığı, Ankara, 27-29.
- Anonim, 2009. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, 20-35.
- Anonim, 2013. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, *Güneş Ölçüm Elemanlarının Konstrüksiyon Üzerine Montajı*, MEB Yayınları, Ankara, 2-14
- Altınışik, U., 2016. Su Soğutma ile Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Arttırılması Yüksek Lisans Tezi, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Siirt.
- Beyoglu, M.F., 2011. Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- Cockell, C., Blaustein, A.R., 2001. Ecosystems, Evolution and Ultraviolet Radiation, Springer,
- Çetinkaya, H.Basri, 2001. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli.
- Diñçadam F., 2008. Güneş Pilleri İle Sıcak Su Elde Etme, Sokak Aydınlatması ve Güneş Takip Sistemi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van.
- Dubey S., Sandhu G.S., Tiwari GN., 2009. Analytical Expression for Electrical Efficiency of PV/T Hybrid Air Collector, 86, 697–705.
- Derse, S., 2014, Batman’ın İklim Koşullarında Eğimli Düzleme Gelen Güneş Işınımının Farklı Açılı Değerlerinde Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Garg HP, Datta G., 1989. Performance Studies on a Finned Air Heater, 14, 87–92.
- Garg HP, Agarwal PK, Bhargava AK., 1991. The Effect of Plane Booster Reflectors on the Performance of a Solar Air Heater with Solar Cells Suitable for a Solar Dryer Energy Convers Manage, 32, 543–54.
- Han JC, Park JS., 1988. Developing Heat transfer in rectangular channels with ribturbulators, 183–95.
- Joshi S, Tiwari A, Tiwari GN, Dincer I., 2009. Performance Evaluation of a Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) System, 48(1), 154–64.
- Karamanav, M., 2007. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Keçel, S., 2007. Türkiye’nin Değişik Bölgelerinde Eysel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri İle Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi Y. Lisans Tezi *Gazi Üniversitesi*, Ankara.
- Keçel, S., Yavuzcan H., 2008. Türkiye’deki Bölgesel Sıcaklık Değişimlerinin Güneş Panellerinin Verimliliğine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, Ankara 22, 12-20.
- Kurban, M., Aksungur, K. M., Filik, Ü. B., 2015. Türkiye’nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, İstanbul, 2-10
- Masalıcı, Ö., 2000. Muğla İli Güneş Işınım Verileri ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla.
- Moharram, K.A., Abd-Elhady M.s., El-Sherif, H., 2013. Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling, *Ain Shams Engineering Journal*, 4, 869-877.
- Naphon P., 2005. On the Performance and Entropy Generation of the Double-Pass Solar Air Heater with Longitudinal Fins, *Renew Energy*, 30, 1345–57.

- Nordmann, T., Clavadetscher, L., 2005. Understanding Temperature Effects on Photovoltaic system performance, 5-10
- Prasad BN, Saini JS., 1991. Optimal Thermo hydraulic Performance of Artificially Roughened Solar Air, 47, 91–6.
- Pottler K, Sippel CM, Beck A, Fricke J.,1999. Optimized Finned Absorber Geometries for Solar Air Heating Collectors, 67, 35–52.
- Roberts, S., Guariento, N., 2009. Building Integrated Photovoltaics, A Handbook, *Birkhauser Press*, Berlin, Germany.
- Sopian K, Yigit KS, Liu HT, Kakac S., 1996. Performance Analysis of Photovoltaic Thermal Air Heaters, 37, 1657–70.
- Skoplaki, E., Boudouvis, A.G., Palyvos, J.A., 2008. A Simple Correlation for the Operating Temperature of Photovoltaic Modules of Arbitrary Mounting, 92, 1393–1402.
- Thomas, R., Fordham, M., 2001. Photovoltaics and Architecture, *Spon Press*, Newyork.
- Tonui JK, Tripanagnostopoulos Y., 2007. Air-Cooled PV/T Solar Collectors with Low Cost Performance Improvements, *Solar Energy*, 81, 498–511.
- Quaschnig, V., 2005 *Understanding Renewable Energy Systems* , Toronto, Canada, 117-119.
- Wec-Tnc, 2009. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, 2-5.
- Url-1 <<http://www.solar-academy.com/menus/Fotovoltaiik-Sistemler-ve-Uygulamalari.122101.pdf>> , [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2017].
- Url-2 < <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/pvilke.html>> , [Ziyaret Tarihi: 30 Haziran 2017].
- Url-3<<http://ekstremlbilgi.com/bilim/gunes-pillerinin-yapisi-ve-cesitleri/>> , [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2017].
- Url-4 < <http://www.akyol.net/datalogger-cesitleri/dt-185-solar-datalogger-gunes-isigi-kayit-cihaz.html>> , Ziyaret Tarihi: 5 Temmuz 2017].
- Url-5 <http://www.konyagunesenerji.com/gunes-pili.asp>
- Url-6< <https://uk.rs-online.com/web/p/data-loggers/4925105/>> , [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2017].
- Url-7 < [http://www.alfasolarenerji.com/download/poly\\_catalog.pdf](http://www.alfasolarenerji.com/download/poly_catalog.pdf)> , [Ziyaret Tarihi: 30 Nisan 2017].

## **EKLER**

### **EK-1** Kullanılan PV Panelin Teknik Özellikleri:

Maksimum Güç:250W

Maksimum güç voltajı:30,59 V

Maksimum güç akımı:8,18 A

Açık devre voltajı: 37,65 V

Kısa devre akımı: 8,67 A

Maksimum sistem gerilimi: 1000 V (DC)

### Kullanılan PV Panelin Mekanik Özellikleri:

Ölçü: 1652 mm (L) x 997 mm (W) x 42 mm (D)

Ağırlık: 20 Kg.

Güneş Hücresi: 60 Polikristal Tip 6'' Silikon Hücre (156 mm x 156 mm)

Ön cam: Temperli / Temperli Antireflekte Cam

Çerçeve: Alüminyum Çerçeve (Eloksal Kaplamalı)

## EK-2 Kullanılan Piranometrenin Teknik Özellikleri:

**Tablo E2.1** Kullanılan piranometrenin teknik özellikleri

Hava Hızı Ölçüm	1.00 ... 30.00m/s
Hava Akışı Ölçüm	0-999,900 ft <sup>3</sup> /min
Birim	m/s, ft/min, km/h, knots,mph
Sıcaklık Ölçüm	-10.0 ... 60.0°C
Çözünürlük	0.01m/s
Doğruluk	±3%±0.20 m/s
Pervane Çapı	27.2(mm)
Boyutlar	163 x 45 x 34mm
Pil	9V
Standart Donanım	Kullanım Kitapçığı, Taşıma Çantası

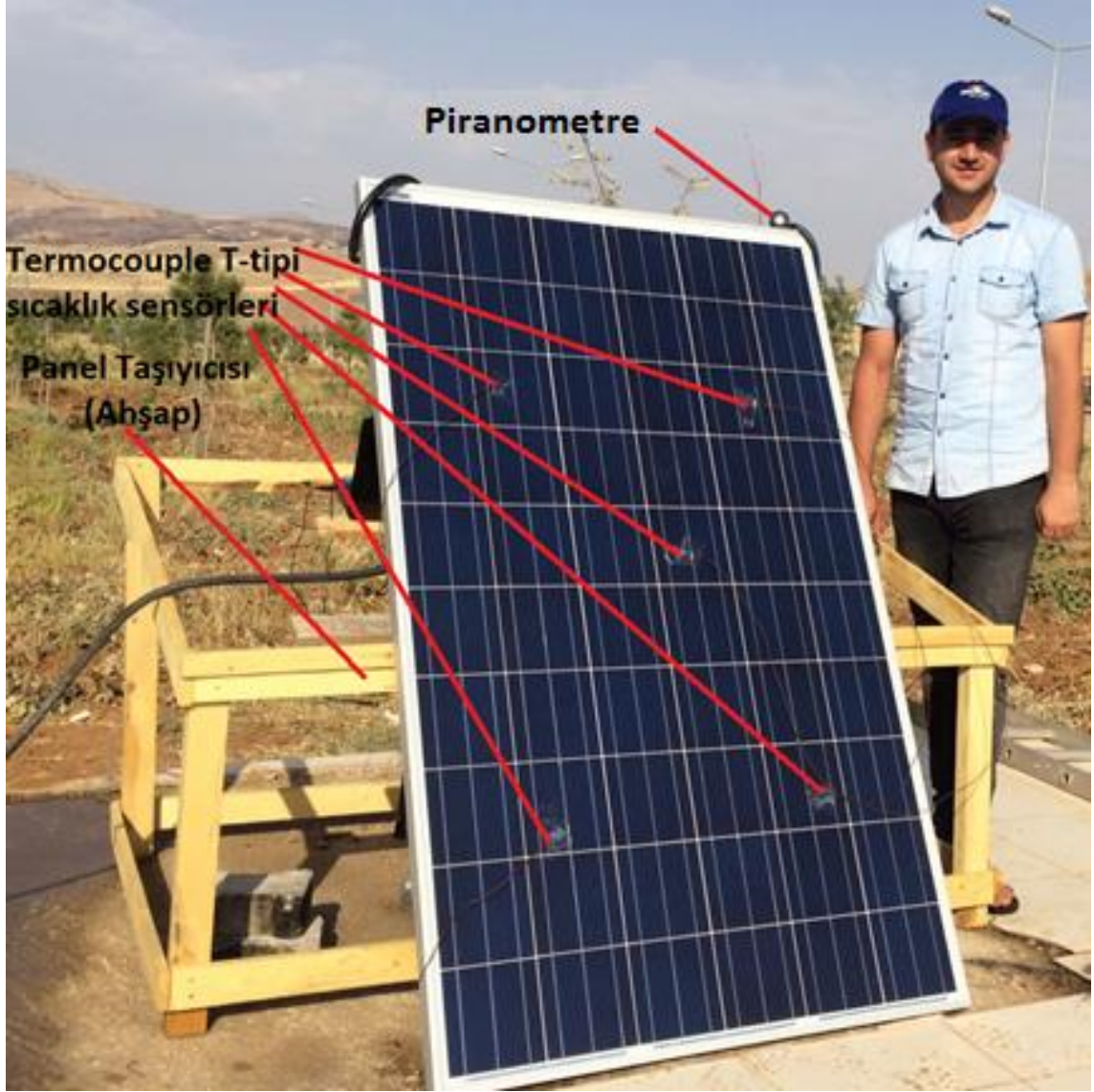


### EK-3 Kullanılan Veri Topla Cihazın Teknik Özellikleri:

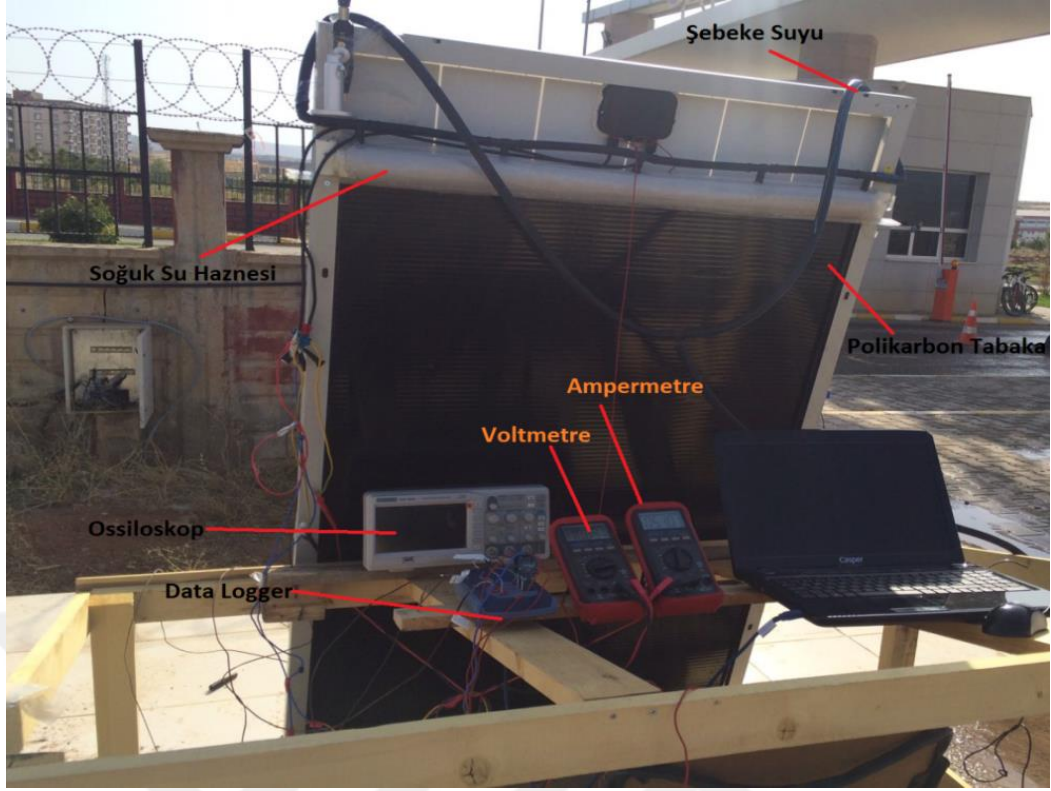
**Tablo E3.1** Picolog Tc-08 veri toplama cihazın teknik özellikleri

Number of channels	8
Temperature accuracy	The sum of $\pm 0.2\%$ and $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Voltage accuracy	The sum of $\pm 0.2\%$ and $\pm 10\text{ }\mu\text{V}$
Overload protection	$\pm 30\text{ V}$
Voltage input	$\pm 70\text{ mV}$
Reading rate	Up to 10 per second
Input connectors	Miniature thermocouple
PC connection	USB
Dimensions	201 x 104 x 34 mm

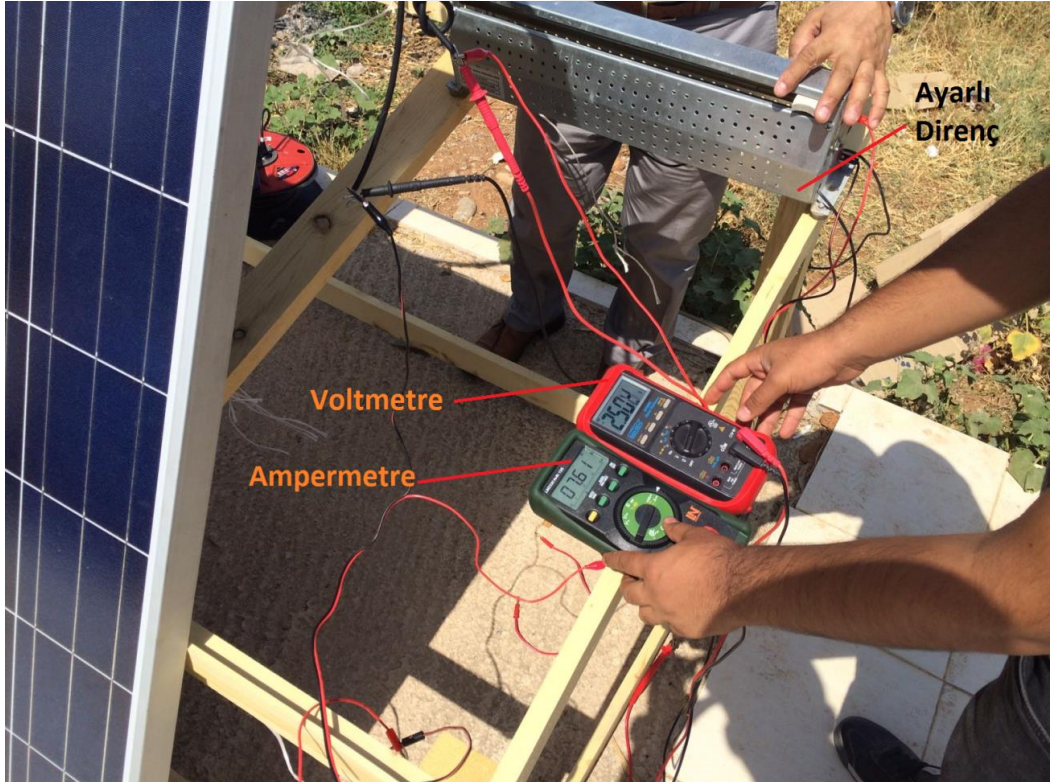
**EK-4 Gerçekleştirilen Çalışma Düzenegi ile İlgili Resimler**



**Şekil E4.1.** Çalışma düzeneginin önden görünümü



Şekil E4.2. Çalışma düzeneğinin arkadan görünümü



Şekil E4.3. Panel gücünün yük direncine göre değişimi

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ömer KIZILKAN  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Siirt-01.01.1989  
**Telefon** : (546) 286 2096  
**E-posta** : omerkizilkan@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı,	İlçe,	İl	Bitirme Yılı
Lise	: S. Eyyubi Lisesi	Merkez	Bitlis	2006
Üniversite	: Fatih Üniversitesi	Merkez	İstanbul	2017
Yüksek Lisans	: Siirt Üniversitesi	Merkez	Siirt	2017

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013-2014	Tillo Yapı Denetim	Elk.Elkt. Müh.
2015-Devam	Tesla Mühendislik	Elk.Elkt. Müh.

### UZMANLIK ALANI

Güneş Enerjisi

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

Kızılkan, Ö., Şahin, M., Calculation of Solar Radiation by Using Regression Methods, International Physics Conference At The Anatolian Peak (IPCAP'16), February 25-27, 2016 Erzurum, Turkey

Kızılkan O., Aksoy S., Arkadan Su Soğutma İle Fotovoltaik Panellerin Verimliliğinin Arttırılması, International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis) Oct 27-29, 2017, Bitlis, Turkey.