

**FOTOVOLTAİK PANELLERDE SICAKLIĞIN
ELEKTRİKSEL VERİME ETKİLERİ VE
TERMAL GÜÇ ELDESİ**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Özgür AKMAN

**FOTOVOLTAİK PANELLERDE SICAKLIĞIN ELEKTRİKSEL VERİME
ETKİLERİ VE TERMAL GÜÇ ELDESİ**

Özgür AKMAN

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Eylül 2019

Ozgür AKMAN tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK PANELLERDE SICAKLIĞIN ELEKTRİKSEL VERİME ETKİLERİ VE TERMAL GÜÇ ELDESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/09/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Hikmet DOĞAN (GÜ)

Üye : Prof. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Muhammet KAYFECİ (KBÜ)

İmzası

.../.../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

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

Özgür AKMAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK PANELLERDE SICAKLIĞIN ELEKTRİKSEL VERİME ETKİLERİ VE TERMAL GÜÇ ELDESİ

Özgür AKMAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

Eylül 2019, 69 sayfa

Fotovoltaik paneller güneş ışınını alması ile elektrik üretmeye başlar. Güneşten gelen ışınımın bir kısmı elektrik enerjisine dönüşürken, bir kısmı da ısı enerjisi olarak ortaya çıkar. Bu olay panellerin ısınmasına neden olur. Güneş hücrelerinin ısınması ile panellerin kısa devre akımı (I) artarken, açık devre voltajı (V) düşer, böylece elektriksel verim düşmektedir. Literatürde PV panellerin elektriksel verimlerini düşüren sıcaklık artışını engellemek için çok sayıda panel arka yüzey sıcaklığını düşürme çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada, PV panel hücrelerinin ısınması sonucu artan sıcaklığa bağlı, elektriksel verim düşmesini önlemek ve termal enerji kazanımı elde edilmesine yönelik, su kanallı ve su serpantinli farklı iki soğutma yöntemi uygulanmıştır. 20 W'lık polikristal PV panellere uygulanan bu iki yöntem ile yalın panelin elektriksel, termal güçleri ve verim değerleri, Karabük ili iklim şartlarında, farklı günlerde alınan

deney verileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak incelenen (YP, SRP, SKP) PV panellerin arka yüzey sıcaklıkları, akım, gerilim değerleri ölçülerek kaydedilmiş, daha sonra bu verilerden de sistemlerin elektriksel ve termal verimleri hesaplanmıştır. Sistemler için yaklaşık 775 W/m² ışınım değerinde en yüksek sıcaklıklar saat 14:30'da YP (Yalın Panel)'de 59,53 °C, SRP (Serpantinli Panel)'de 43,90 °C ve SKP (Su Kanallı Panel)'de 29,23 °C olmuştur. Bu sıcaklık değerlerinde her bir panelin ürettiği elektriksel güç ve verim değerleri sırası ile YP'de 11,80 W, % 13; SRP'de 14,44 W, % 16 ve SKP'de ise, 15,23 W, % 17 olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, fotovoltaik panellerde verim, termal kazanım.

Bilim Kodu : 928.1.233

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PHOTOVOLTAIC PANELS TEMPERATURE EFFECTS OF ELECTRICAL EFFICIENCY AND THERMAL POWER GENERATION

Özgür AKMAN

**Karabük University
Natural and of Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Sezayi YILMAZ

September 2019, 69 pages

Photovoltaic panels start to produce electricity when the solar radiation is absorbed. While some of the radiation from the sun turns into electrical energy, and some of it emerges as heat energy. This event causes to warm up the panels. As the solar cells heat up, while the short circuit current (I) of the panels increases, the open circuit voltage (V) decreases, thus the electrical efficiency is reduced. In the literature, a great number of panel back surface temperature reduction works are being studied that reduce the electrical efficiency of PV panels, in order to prevent the increase in temperature.

In this study, two different cooling methods with water channel and water serpentine have been applied to prevent the decrease of electrical efficiency and to gain thermal energy due to the increasing temperature as a result of heating of PV panel cells. These two methods applied to 20 W polycrystalline PV panels, electrical, thermal power

and efficiency values of lean panel were compared by using experimental data obtained from different days in Karabuk province climatic conditions. Experimentally examined (LP, SP, WCP) PV panels back surface temperatures, current, voltage values recorded by measuring, then electrical and thermal efficiencies of the systems were calculated from these data. In the radiation value of approximately 775 W/m^2 for the systems, the maximum temperatures were $59,53 \text{ }^\circ\text{C}$ in LP (Lean Panel), $43,90 \text{ }^\circ\text{C}$ in SP (Serpentine Panel) and $29,23 \text{ }^\circ\text{C}$ in WCP (Water Channel Panel) at 14:30 hrs. At these temperatures, the electrical power and efficiency values produced by each panel have been found respectively 11,80 W, 13 % in LP; 14,44 W, 16 % in SP and 15,23 W, 17 % in WCP.

Keywords : Solar energy, efficiency in photovoltaic panels, thermal recovery.

Science Code : 928.1.233

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, oluőumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam; Prof. Dr. Sezayi YILMAZ'a ve Arő.Gör. Hakan DUMRUL'a,

Çok değerli aileme ve ocuk Psikiyatri Bölümünün yoğun çalışma őartlarına rağmen, sadece tez sürecinde değil, her zaman yanımda manevi desteğini hissettiğim sevgili eőime; tüm kalbimle,

Sonsuz teőekkürler...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER VE EKLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR.....	4
BÖLÜM 2	9
ENERJİ	9
2.1. ENERJİ NEDİR	9
2.2. ENERJİNİN ÖNEMİ	9
2.3. ENERJİ KAYNAKLARI	11
2.4. TÜRKİYEDE KULLANILAN ENERJİ KAYNAKLARI	11
2.4.1. Yenilenebilir Enerji	12
2.4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi.....	12
2.5. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	14
2.5.1. Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi.....	14
2.5.2. Güneş Enerjili PV (Fotovoltaik) Sistemi.....	14
2.6. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN TANIMLANMASI	15
2.6.1. PV Kullanımının Avantajları.....	16
2.6.2. PV Kullanımının Dezavantajları.....	17

	<u>Sayfa</u>
2.6.3. Fotovoltaik Hücre	17
2.6.4. Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi	19
2.6.5. Güneş Panellerinde Meydana Gelen Kayıplar	20
2.7. GÜÇ DENKLEMİ İLE VOLTAJ AKIM ARASINDAKİ BAĞINTI	21
2.7.1. Güç	21
2.7.2. Enerji	21
2.8. GÜNEŞ PANELLERİ VOLTAJ VE AKIM ÖLÇÜMLERİ	22
2.8.1. Açık Devre Voltajı (V_{oc}).....	22
2.8.2. Maksimum Güç Voltajı (V_{mp})	22
2.8.3. Nominal Voltaj (V_{nom}).....	22
2.8.4. Kısa Devre Akımı (I_{sc}).....	23
2.8.5. Maksimum Güç	23
2.9. TÜRKİYEDEKİ GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ.....	23
2.9.1. Konum	26
2.9.2. Karabük İli Coğrafi Durumu	27
2.9.3. Karabük İli Topoğrafyası	27
2.9.4. Jeolojik Yapı.....	27
2.9.5. İklim	28
2.9.6. Karabük'te Güneş Enerjisi	28
BÖLÜM 3	30
MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1. DENEY SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	30
3.2. KULLANILAN EKİPMANLAR VE İŞLEM BASAMAKLARI	31
3.2.1. YP (PV) Panel.....	31
3.2.2. SKP (PV) Panel	32
3.2.3. SRP (PV) Panel	34
3.2.4. Deney Sistemi Masasının Yapımı	35
3.2.5. Güneş Pili'nin Elektrik Devre Bağlantıları	36
3.2.6. Sıcaklık Ölçer ve Özellikleri	38
3.2.7. Işınım Ölçer ve Özellikleri	39
3.2.8. Fan ve Özellikleri	40

	<u>Sayfa</u>
3.2.9. Deney Sistemi ve Metot.....	41
3.2.10. PV Panellerde Teorik Hesaplamalar.....	44
BÖLÜM 4	47
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	47
BÖLÜM 5	62
SONUÇ VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	64
EK AÇIKLAMALAR.....	66
EK-1 I. Günün ortalama sonuçları	67
EK-2 II. Günün ortalama sonuçları.....	67
EK-3 III. Günün ortalama sonuçları.....	68
EK-4 IV. Günün ortalama sonuçları	68
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. PV ve termal sistemler için yeryüzüne gelen güneş spektrumu	2
Şekil 1.2. Günümüzde kullanılan deney düzeneğinin şematik diyagramı	5
Şekil 1.3. Konsantre PV ve termal kollektör/soğutucunun yaz ve kış uygulaması..	8
Şekil 2.1. Fotovoltaik panelin iç yapısı	18
Şekil 2.2. Fotovoltaik panel ve dizi	18
Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi	19
Şekil 2.4. Bir PV sisteminde meydana gelen kayıplar	20
Şekil 2.5. Güç ile akım ve voltaj arasındaki ilişki	21
Şekil 2.6. Türkiye ve avrupa ülkelerinin güneşlenme sürelerinin kıyaslanması ...	24
Şekil 2.7. Türkiye güneşlenme haritası	26
Şekil 2.8. Karabük'ün güneşlenme süresi (saat)	29
Şekil 3.1. Deney sisteminin sistematik şekli	31
Şekil 3.2. YP (PV) panel	31
Şekil 3.3. Su akışı için geliştirilen kanallı panel (SKP) imalatı ve montajı	33
Şekil 3.4. Geliştirilen serpantinli ve su soğutmalı panelin (SRP) imalatı ve montajı	34
Şekil 3.5. Deney sistemi masası ve imalatı	35
Şekil 3.6. Panelin elektrik çıkış bağlantısının yapılması	36
Şekil 3.7. PV panel güç ölçümü elektrik devresi ve bağlantı şeması	36
Şekil 3.8. PV panellerin elektrik güç devresinde kullanılan dirençler	37
Şekil 3.9. Alüminyum soğutucunun altına fanların yerleştirilmesi	37
Şekil 3.10. Elektrik devre bağlantısının kurulumu ve son hali	38
Şekil 3.11. Panellerin akım (I), gerilim (V) değerlerini gösteren ölçüm cihazlarının montajı	38
Şekil 3.12. Sıcaklık ölçüm kayıt cihazı	39
Şekil 3.13. Işınım ölçer cihazı	39
Şekil 3.14. Fanın gösterimi	40
Şekil 3.15. Deney sisteminin son şekli	41

Şekil 3.16. Deney düzeneğinde sıcaklık ve güç cihazlarının bağlantı şeması	42
Şekil 3.17. Sistemdeki sıcaklık ölçüm noktaları	43
Şekil 4.1. (I. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak alınan PV panellerin arka yüzey sıcaklıklarının değişimleri.....	48
Şekil 4.2. (II. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak alınan PV panellerin arka yüzey sıcaklıklarının değişimleri.....	49
Şekil 4.3. (III. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak alınan PV panellerin arka yüzey sıcaklıklarının değişimleri.....	50
Şekil 4.4. (IV. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak alınan PV panellerin arka yüzey sıcaklıklarının değişimleri.....	51
Şekil 4.5. (I. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.....	52
Şekil 4.6. (II. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.....	52
Şekil 4.7. (III. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.....	53
Şekil 4.8. (IV. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.....	53
Şekil 4.9. (I. Gün) Zamana bağlı olarak panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri	55
Şekil 4.10. (II. Gün) Zamana bağlı olarak panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri	56
Şekil 4.11. (III. Gün) Zamana bağlı olarak panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri	57
Şekil 4.12. (IV. Gün) Zamana bağlı olarak panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri	58
Şekil 4.13. (I. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri	59
Şekil 4.14. (II. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri	59
Şekil 4.15. (III. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri.....	60
Şekil 4.16. (IV. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri.....	60

ÇİZELGELERDİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	25
Çizelge 2.2. Güneşlenme potansiyeli ve süresinin bölgelere göre dağılımı	26
Çizelge 3.1. Kullanılan güneş panelinin özellikleri	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

\dot{m}	: kütleli debi (kg/s)
ρ	: yoğunluk (kg/m ³)
v	: suyun hızı (m/s)
η_t	: termal verimlilik (%)
η_e	: elektriksel verim (%)
Q_e	: fotovoltaik panelden elde edilen güç (W)
η	: toplam verim (%)
G	: güneş ışınımı (W/m ²)
A	: panel yüzey alanı (m ²)
I	: akım (I)
V	: voltaj (V)
\dot{V}	: hacimsel debi (m ³ /s)
Δt	: sıcaklık farkı (K, °C)
P	: havanın yoğunluğu (kg/m ³)
V	: volt (V)
C_p	: özgül ısıma ısısı (kJ/kgK)
$Q_{\text{ç}}$: çıkan enerji (W)
Q_g	: giren enerji (W)
Q	: ısı enerjisi (Joule)
T_g	: serpantinli ve su kanallı panelin girişsuyu sıcaklığı (°C)
t	: zaman
T_{y_1}	: kanallı panel arka yüzey sıcaklığı (°C)
T_{g_1}	: kanallı panel giriş suyu sıcaklığı (°C)
$T_{\text{ç}_1}$: kanallı panel çıkış suyu sıcaklığı (°C)
T_{y_2}	: serpantinli panel arka yüzey sıcaklığı (°C)
T_{g_2}	: serpantinli panel giriş suyu sıcaklığı (°C)

$T_{\text{ç}_2}$: serpantinli panel çıkış suyu sıcaklığı (°C)
T_{y_3}	: yalın panel arka yüzey sıcaklığı (°C)
T_d	: dış ortam sıcaklığı (°C)
Q_t	: elde edilen termal enerji (W)
V_{oc}	: açık devre voltajı
V_{mp}	: maksimum güç voltajı
V_{nom}	: nominal voltaj
I_{sc}	: kısa devre akımı
I_{mp}	: maksimum güç akımı
I_L	: ışığın ürettiği akım
R	: direnç
R_S	: seri direnç
R_{SH}	: paralel direnç
RH	: bağıl nem

KISALTMALAR

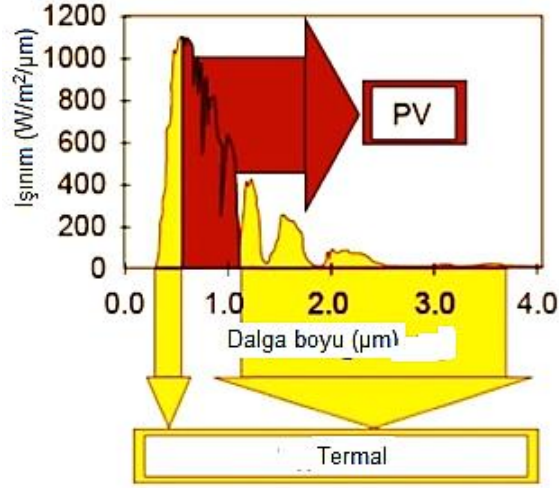
PVT	: Fotovoltaik-Termal
YP	: Yalın Panel
SRP	: Serpantinli Panel
SKP	: Su Kanallı Panel
PN	: Birleşme Yüzeyi
IR	: Kızılötesi
UV	: Ultraviyole
VIS	: Görünür Bölge
PCM	: Faz Değişim Malzemesi
AHU	: Temiz Hava Sistemi
APV	: Taze Hava Sistemi
STK	: Standart Test Koşulları
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Şirketi
GES	: Güneş Enerjisi Sistemi
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
EES	: Mühendislik Denklem Çözücü
MPPT	: Maksimum Power Point Tracking
LP	: Lean Panel
SP	: Serpentine Panel
WCP	: Water Channel Panel

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, dünyamızın bir sorunu olmasına rağmen hayatımızda vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu sayede enerjiye olan bağımlılığın artması ile fosil kaynaklı enerjilerinde azalması kaçınılmazdır. Bu kaynaklar hidrokarbon içeren kömür, petrol ve doğalgaz gibi doğal ve konvansiyonel enerji kaynaklarıdır. Fosil kaynaklı enerjilerin oluşturduğu çevresel kirlenme dünya üzerinde yaşanan çevresel sorunların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre kirliliği ile enerji üretiminin yüksek maliyetlere erişmesi gibi sorunlar yüzünden enerjinin verimli kullanılması, düşük maliyette etkin olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi gibi çözümleri doğurmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kullanımı büyük bir hızla artmaktadır. Dünya üzerindeki çok sayıda araştırmacı, güneş enerjisine dayalı sistemleri geliştirmektedir. Yeryüzüne ait güneş ışınimleri; % 43 kızılötesi (IR), % 48 görünür bölge (VIS) ve % 9 ultraviolet (UV) ışınlarından oluşur. Yeryüzüne ait güneş ışınimleri; 0,25-5 μm dalga boyu aralığındadır. Bu tam güneş spektrumu; elektriksel güç üretmek için güneş enerjili PV sistemi tarafından kullanılmamaktadır. Güneş hücresi malzemelerinin çoğu; yeryüzüne gelen güneş spektrumunun sınırlı bir kısmına cevap verir. Şekil 1.1'de PV ve ısı sistem için yeryüzüne gelen güneş spektrumunun kullanımını göstermektedir. Yalnızca güneş hücresi malzemesinin cevap aralığına karşılık gelen ışınimler; elektrik üretmek için güneş hücresi tarafından kullanılmaktadır. Güneş spektrumunun kullanılmayan ışınimleri, enerjilerini güneş hücresinde ısı olarak yaymaktadır. Bu ısı yayılımı; güneş enerjili fotovoltaik sistemde ısı kayıplara yol açar, böylece performansını düşürür. PV hücrelerinin çıkış gücü, güneş hücresinin çalışma sıcaklığı arttığında azalır. Bu nedenle, daha iyi performans için, güneş hücrelerinin düşük çalışma sıcaklığını korumak gereklidir.



Şekil 1.1. PV ve termal sistemler için yeryüzüne gelen güneş spektrumu [1].

Bu sistemler üzerine bazı teorik ve deneysel çalışmalar, aynı on yıllık dönem içerisinde literatürde rapor edilmiştir. PV modüllerden ısıyı çekmek için, başlangıçta su ve hava yaygın olarak kullanılmıştır. Bu teknoloji; son otuz yıl içerisinde gelişmiştir. Güneş panelleri özellikle güneşten elektrik üretimi katsayısı yüksek olan yerlerde oldukça kullanışlı olmaktadır. Her çeşit güneş paneli, güneş enerjisini kullanarak her yerde elektrik üretmeye olanak tanınması, güneşten elektrik üretimi yapmayı, evimize kadar getirmesiyle çok önemli bir teknolojidir. Her tüketici, güneş panelleri yardımıyla, kendi meskenini güneşten elektrik üreterek üretici konumuna geçebilmektedir. Yasalarla da desteklenen güneş enerjisi sistemleri, güneş panelleri kullanılarak evlerimizi birer solar enerji üreticisi konumuna getirebilir [1].

Güneş enerjisinden fotovoltaik dönüşüm ilkesinden yararlanılarak güneş pilleri aracılığıyla elektrik enerjisi elde edilmektedir. Güneş pilleri tarafından soğutulan güneş ışınımının çoğu elektrik enerjisine dönüştürülmez ve hücre sıcaklığını artırarak elektriksel verimi düşürür. Yüzey ısınmasına bağlı olarak panelin elektriksel verimi düşer. Verim düşüşü, panel yüzeyinin soğutulmasıyla minimum seviyeye düşürülebilir. Panel yüzeyinin soğutulmasında farklı metotlar kullanılmaktadır. Panel yüzeyinin soğutulmasında; su ile soğutma, hava ile soğutma, soğutucu akışkan veya gaz kullanılarak soğutma vb. yöntemler kullanılmaktadır. Bahsedilen soğutma yöntemlerinden herhangi birini tercih ederken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, maliyet ve PV panelin veriminde ne ölçüde artış sağlayacağıdır [10].

Günümüzde kullandığımız fotovoltaik güneş panelleri direkt elektrik enerjisi üretmesi açısından değerlendirildiğinde oldukça kullanışlı sistemlerdir. Ancak elektriksel verimliliklerinin düşük, maliyetlerinin yüksek olması bu sistemlerin en büyük dezavantajları olabilmektedir. Ayrıca fotovoltaik paneller, değişik geometrik şekillerde (düzlemsel, odaklamalı, parabolik vb.) tasarlanabilmektedir. Hangi geometrik yapıda olursa olsun bu panellerde elektriksel güç, sıcaklık ve ışınım arttıkça artmaktadır. Panel sıcaklığının artışı ise elektriksel verimi düşürmektedir. Fotovoltaik panellerin (PV) yüzey sıcaklıklarında termal olarak yararlanmaya ve elektriksel verimi yükseltmeye yönelik değişik metotlar kullanılarak (PV-T; C-PV-T) termal paneller geliştirilmektedir. Bu sayede hem elektrik verim düşümü engellenirken hem de panellerden değişik proseslerde kullanılacak ısı enerjisi elde edilmektedir. Böylece bu sistemlerin toplam verim değerleri yükseltilerek, daha kullanışlı ve ekserjik cihazlar üretilebilmektedir.

Bu çalışmada, fotovoltaik panellerde (PV), Karabük ili iklim şartlarında farklı ışınım değerlerine bağlı olarak panel yüzey sıcaklığının elektriksel verimine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Amaca yönelik olarak aynı özelliklere sahip polikristal (20 W) gücünde üç adet panelden birisi yalın formda, diğerlerinde ise, panel arka yüzeyi soğutma uygulaması yapılmıştır. Soğutulan panellerden birisine serpantinli (SRP), diğerine kanallı su soğutma (SKP) uygulaması yapılmıştır. Her üç panelde bölgenin enlem derecesine eşit, yaklaşık 40° eğiminde yerleştirilerek denenmiştir. Soğutulan panellerde soğutma su debileri eşit tutulmuştur. Hem su ile soğutulan panellerin birbiri ile mukayeseleri hem de yalın panel verileri ile mukayeseleri yapılarak literatüre uygunlukları tartışılmıştır.

Çalışmanın kapsamında; deney sisteminin tasarlanması, sistemin kurulumu, denenmesi, sistem verimlerinin birbirleriyle mukayese edilmeleri, sonuçların deneysel verilerden elde edilen grafiklerle ve analitik olarak açıklanması yer almaktadır.

Çalışmada, konu ile ilgili yapılan çalışmalar ve sonuçları literatür bölümünde verilmiştir. Çalışmanın önemi, enerjinin ve güneş enerjisinin önemi ile uygulama alanları, PV paneller hakkında bilgiler bölüm 2’de, sistemin genel şeması, çalışma

prensibi, tasarımı, imalatı, montaj aşamaları ve kullanılan cihaz ve malzemelerin özellikleri bölüm 3'te materyal ve yöntem başlığında detaylı olarak verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan eşitlikler ve uygulanan yöntem, yine bu bölümde açıklanmıştır. Deneylerin yapılışı, sonuçlarının alınması, mukayese edilmeleri ve karşılaştırılarak açıklamaları bölüm 4'te, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve öneriler ise bölüm 5'te verilmiştir.

1.1. LİTERATÜR

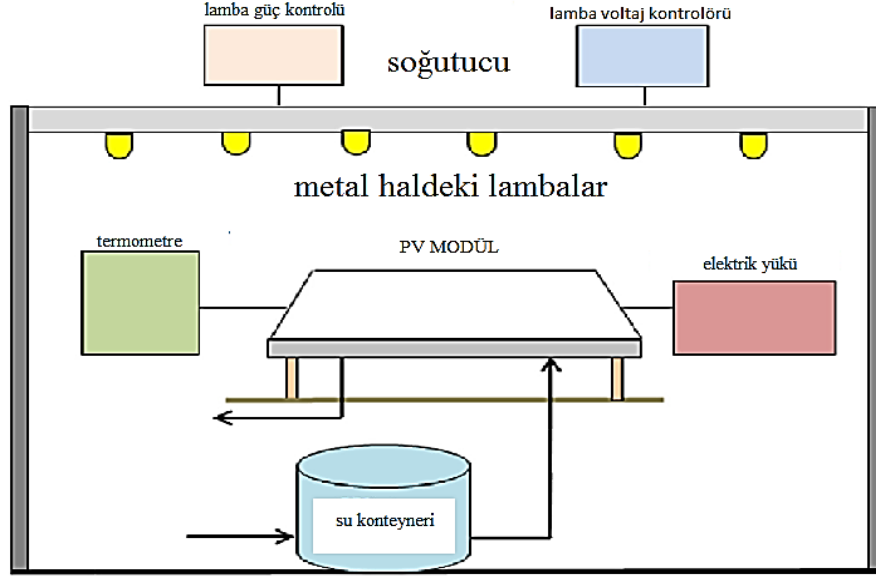
Son yıllarda fotovoltaik güneş panellerinin verimini arttırmaya yönelik çalışmalar her geçen gün artış göstermektedir. PV sistemlerle ilgili yapılan araştırmalardan bazıları literatürde açıklanmıştır.

Ceylan vd (2019) "PV Panellerinin Isı Aktarım Kategorisinin Belirlenmesi" adlı yaptıkları çalışmada, arka paneldeki hava hızının soğutmadaki etkinliği, panellerin bulunduğu ortamdaki sıcaklık ve güneş ışınımı esas alınarak incelenmiştir. Panellerin soğutulması sırasında, arka panel sıcaklığı düşmüştür ve buna bağlı panellerin açık devre gerilimi artmıştır. Panellerdeki en önemli kayıplar ise; güneş radyasyonu ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak panel sıcaklığındaki artıştan kaynaklanmıştır. Bu çalışmada, arka panel sıcaklık değişiklikleri 0-5 m/s hava hızlarında ve 10-40 °C'de gözlenmiştir. Hesaplamalar, kış hava koşullarında, panellerin sıcaklığının, soğutma gerektiren bir seviyede artmadığını ortaya koymuştur.

Bu çalışma, arka panel hava hızının dış hava sıcaklığına ve değişen arka panel sıcaklığına bağlı olarak yüzeyden ısı transferini araştırmıştır. Farklı dış hava sıcaklıklarının arka paneldeki ısı aktarımı üzerindeki etkisi minimum bulunmuştur. Hava hızı 5 m/s ve dış hava sıcaklığı 10-40°C olduğunda, Poli Kristal Güneş paneldeki ısı transferi 11,6 W/m²K olarak hesaplanmıştır [2].

Siahkamaria ve arkadaşları (2019) "Mikro yapılı fotovoltaik soğutma sisteminde anovel faz değişim malzemesi (PCM) kullanımı üzerine deneysel inceleme" adlı çalışmasında, soğutma performansını artırmak için PV modülünde yeni bir faz değişim malzemesi (PCM) kullanmaya yönelik deneysel araştırmalara odaklanmıştır.

PV modülünün yüzeyinden çok fazla ısı emerek faz değiştirme materyali ve sistemin ısı kapasitesini kontrol etmek, genel verimliliğini yükseltmiştir. PCM malzemesinin erimesini ertelemek için, içinde soğuk su bulunan bakır mikrokanal tüpleri kullanılmış ve PV modülünün arkasındaki bir odaya yerleştirilmiştir. Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Günümüzde kullanılan deney düzeneğinin Şematik diyagramı.

Deneylerin ilk aşamasında, koyun yağı yeni bir PCM olarak kullanılmış ve ikinci olarak; koyun yağının soğutma verimini artırmak için buna CuO nano partikülleri (0,004 (a/h)) eklenmiştir. Saf koyun yağı ve koyun yağı+CuO nano partiküllerinin sonuçları, geleneksel bir PCM olarak parafin balmumunun kullanıldığı ile karşılaştırılmıştır. Her PCM malzemesini kullanmak için yüzey sıcaklığı, maksimum güç artışı ve PV modülünün elektrik verimliliği elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, hem PCM’lerin (koyun yağı ve parafin balmumu) kullanılmasının, çalışılan PV modülünün soğutma performansını artırabileceğini göstermiştir; ancak koyun yağı, parafin balmumuna oranla daha verimlidir. Ek olarak, sonuçlar koyun yağına CuO nano partiküllerinin eklenmesinin PV modül yüzeyinin ortalama sıcaklığında önemli ölçüde azalmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Koyun yağı+CuO nano partiküllerin kullanımıyla yapılan ark deneyleri, üretilen maksimum

soğutma gücünün, soğutma sistemi içermemesine kıyasla % 24,6 ila % 26,2 ve para balmumuna oranla % 5,3 ile % 12 artacağını göstermiştir [3].

Zhang vd. (2019) “Çin'in farklı iklim bölgelerinde fotovoltaik temiz hava ön ısıtma sisteminin enerji tasarrufu potansiyeli üzerine sayısal değerlendirme” adlı çalışmada; binalarda temiz hava sistemi çok fazla miktarda enerji tüketmiştir. Güneş enerjisini kullanarak temiz havayı ısıtmak, binaların enerji tüketimini etkili bir şekilde azaltabilir. Bu çalışmada, fotovoltaik termal sistemi, binalara temiz hava sağlamak için klima santrali (AHU) temiz hava sistemi ile birleştirmektedir ve birleştirilmiş sistem, temiz havayı aynı anda ısıtırken elektrik üretmek için fotovoltaik (PV) hücreler kullanılmıştır. Kontrol hacim yöntemine ve bölgesel yaklaşıma dayanarak, bu çalışma içinde PV temiz hava ön ısıtma sistemini gerçek çalışma koşullarında simüle etmeye uygun dinamik bir model geliştirilmiştir.

APV temiz hava ön ısıtma sistemi test platformu kurulmuştur ve Changsha'da test edilmiştir. Model, gerçek koşullar altında toplanan veriler tarafından doğrulanmıştır ve simüle edilen sonuçlar deneysel verilerle iyi bir uyum göstermiştir. PV temiz hava ön ısıtma sisteminin performansı ve dört farklı iklim bölgelerinde, sırasıyla Changsha, Pekin, Shenyang ve Lhasa'daki şehirlerde enerji tasarrufu potansiyeli analiz edilmiştir. Sonuçlar, PV taze hava ön ısıtma sisteminin performansının esas olarak güneş ışınımından etkilendiğini göstermiştir. Sistemin Lhasa'da uygulanması, araştırılan şehirler arasında en yüksek enerji tasarrufu potansiyeline, ardından Shenyang ve Pekin'e ulaşabilir.

Bu çalışmada, yüksek ortam sıcaklığı ve düşük güneş ışınımı nedeniyle, Changsha'nın aylık ortalama toplam enerji verimliliği dört şehir arasında en düşük olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, PV temizleyici ön ısıtma sisteminin Çin'in farklı iklim bölgelerinde uygulanması için teorik bir rehberlik sağlayabilir [4].

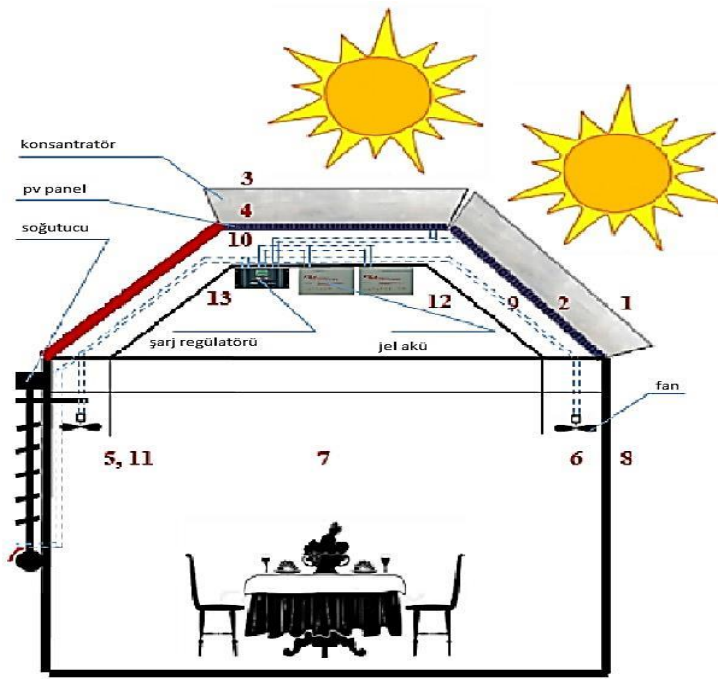
Teo vd (2011) “Fotovoltaik modüller için aktif bir soğutma sistemi” adlı çalışmada; fotovoltaik hücrenin elektriksel verimi, güneş ışınımının emilmesi sırasında hücre çalışma sıcaklığının belirgin şekilde artmasından olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu çalışmada hibrit bir fotovoltaik/termal (PV/T) güneş enerjisi sistemi

tasarlanıp, üretilmiş ve deneysel olarak incelenmiştir. PV hücrelerini aktif olarak soğutmak için, üniform hava akımı dağıtımı için tasarlanmış giriş/çıkış manifolduna sahip paralel kanal dizisi PV panelinin arkasına tutturulmuştur. Deneyler aktif soğutma ile ve buzdolabında gerçekleştirilmiştir. Verimlilik ve sıcaklık arasında doğrusal bir eğim bulunmuştur. Aktif soğutma olmadan, modülün sıcaklığı yüksek olduğundan ve güneş pilleri yalnızca % 8-9 arasında bir verime ulaşabilmiştir. Bununla birlikte, modül aktif soğutma koşulu altında çalıştırıldığında, sıcaklık önemli ölçüde düşmüştür ve güneş hücrelerinin verimliliğinde % 12 ile % 14 arasında bir artışa yol açmıştır. PV modülünün gerçek sıcaklık değerleri ile karşılaştırmak için bir ısı transfer simülasyon modeli geliştirilmiştir ve simülasyon ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum elde edilmiştir [5].

H. Bahaidarah vd (2013) “Fotovoltaik modülün sıcak iklim koşulları için arka yüzey su soğutması ile performans değerlendirmesi” adlı çalışmada; PV (fotovoltaik) modülünün performansı, çalışma sıcaklığına büyük ölçüde bağlıdır. Panel tarafından emilen enerjinin çoğu normalde kaybedilen ve hiçbir değer sağlamayan ısıya dönüştürülür. Hibrit bir PV su soğutmalı sistemin performansını incelemek için, EES (Mühendislik Denklem Çözücüsü) yazılımı kullanılarak sayısal bir model (Elektriksel ve Termal) geliştirilmiştir. Sistem, performansını etkileyen çeşitli elektriksel ve termal parametreleri öngörmektedir. Modülün arka yüzeyinde bir ısı eşanjörü (soğutma paneli) içererek soğutulmasının etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Sayısal modelin sonuçları, Suudi Arabistan'ın Dharan iklimi için hazırlanan deneysel ölçümlerle iyi bir uyum sağlanmıştır. Aktif su soğutmasında, modül sıcaklığı önemli ölçüde yaklaşık % 20'ye düşmüş ve PV panel verimliliğinde % 9'luk bir artışa neden olmuştur [6].

Zuhur vd (2019) “Türkiye’deki konsantrefotovoltaik/soğutma sisteminin enerji, ekserji ve çevresel etki analizi” adlı çalışmada; konsantre fotovoltaik soğutma sistemi tasarlanmış ve prototip üretilmiştir. Bu sistemin sıcak yaz günlerinde uygulandığı binanın soğutma ve elektrik ihtiyacını karşılaması amaçlanmıştır. Üretilen prototip, bir konsantratör kullanılarak ve kullanılmadan test edilmiştir. Elde edilen veriler enerji, ekserji ve çevresel maliyeti analiz etmek için kullanılmıştır. Deneylerin gerçekleştirilmesi sırasında, bir yoğunlaştırıcı kullanmak ısı enerjisi kullanımını

etkilememiştir ve toplam ısııl enerji kazancı sistemde yaklaşık 30 W olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yoğunlaştırıcı kullanımı ekserji verimliliğini arttırmıştır. Yoğunlaştırıcı kullanımı panellerin arka sıcaklığını arttırmıştır, bu nedenle elektriksel performans yoğunlaştırıcı olmayan sistemlerden daha düşük olmuştur. Düşük CO₂ üretimi nedeniyle sistem saatte 0,1 ºC tasarruf sağlamıştır. Sistemdeki ölçüm noktaları 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Konsantre PV ve termal kollektör/soğutucunun yaz ve kış uygulaması.

Sistemdeki Ölçüm Noktaları aşağıda verilmiştir.

- 1,2,3,4: Güneş radyasyonu
- 5: Evaporatör çıkışının hava sıcaklığı
- 6: Evaporatör girişinin hava sıcaklığı
- 7: Oda sıcaklığı
- 8: Dış sıcaklık
- 9,10: PV panelin arka taraf sıcaklığı
- 11: Evaporatör çıkışının hava hızı
- 12: Pilde depolanan elektrik enerjisi
- 13: Paneller tarafından üretilen elektrik enerjisi [7].

BÖLÜM 2

ENERJİ

2.1. ENERJİ NEDİR

Enerji, iş yapabilme yeteneğidir. Doğrudan ölçülemeyen bir değer olup fiziksel bir sistemin durumunu değiştirmek için yapılması gereken iş yoluyla veya enerji türüne göre değişik hesaplamalar yoluyla bulunabilir. Enerji korunumlu bir büyüklüktür ve aynı zamanda biçim değiştirebilir. Bunun en sıradan örneği hidroelektrik santrallerinde elektrik enerjisine dönüştürülen, suyun potansiyel enerjisidir. Bu dönüşüm işlemi pratikte birebir olamaz, kayıplar oluşur. Enerji korunumlu bir büyüklük olmasına rağmen diğer biçime dönüştürülemeyen ve dolayısıyla ısı olarak etrafa yayılan enerji, kayıp olarak nitelendirilir [8].

2.2. ENERJİNİN ÖNEMİ

1990'lı yıllarda yayımlanan eserlerde, genellikle 2020-2050 yılları arasındaki dünya koşullarının öngörülmeğe çalışıldığı görülmektedir. Bu yıllarda karşımıza çıkacak olan ülke nüfusları, buna bağlı olarak görülecek enerji ihtiyacı ve bu enerjinin üretiminden doğacak olan çevre kirliliğine karşı alınabilecek önlemlerin daha doksanlı yıllardan itibaren tartışmalara konu olduğunu literatürden takip edebilmekteyiz. Bu konuda ilk dikkat çeken husus nüfus artışı olup, Birleşmiş Milletler senaryolarına göre 1990 yılında 5,3 milyar olan dünya nüfusunun, 2020 yılında 8,1 milyara, 2050 yılında 10 milyara, 2100 yılında ise 12 milyara ulaşacağı tahmin edildiği görülmektedir. 2003 yılı itibarı ile 65 milyondan fazla olan Türkiye nüfusu da yılda % 1,7 artış göstermekte ve 2022 yılında 83,4 milyon olması beklenmektedir. Bu verilere göre, nüfus artışıyla birlikte karşılaşılabacak ihtiyaç artışının, üretimin ve dolayısıyla enerji ihtiyacının da artmasına neden olacağı söylenebilir. Nüfus artışının daha çok, gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşeceğinin

tahmin edildiği ve ayrıca bu ülkelerde aşırı enerji tüketimi söz konusu olacağıının öngöröldüğü de gözlenmektedir. Gelişmekte olan ülkeler, pek yakında dünyanın en büyük enerji pazarı haline geleceklerdir. Bu ülkelerin enerji tüketimi bugün zengin ülkelerin yarısı kadar olmakla birlikte, bu tüketim her on beş yılda bir iki katına çıkmaktadır. Bu hususta dikkat çekici olan noktalardan biri de, gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışına bağlı olarak enerji ihtiyacı artarken; zengin ülkelerin nüfus sayısında ve dolayısıyla kişi başına enerji ihtiyacında çok önemli değişiklikler görölmeyecek olmasıdır. İnsan hayatının vazgeçilmez bir parçası olan enerji, günümüzde hem üretim hem de tüketim açısından bazı ulusal ve uluslararası politikalarla yönetilmektedir. Çünkü giderek artan üretime bağlı olarak giderek artan enerji üretim ve tüketiminin, gerek kaynaklar açısından siyasi bir unsur, gerek çevresel koşullar açısından tehlikeli bir etken haline geldiği gözlenmektedir. Makinelerimizi çalıştıran, arabalarımızı yürüten, üretimi sağlayan, bizi aydınlatan, bilgisayarlarımızı çalıştıran güç; kimi zaman elektrik enerjisi, kimi zaman kimyasal enerji, kimi zaman potansiyel, kimi zaman da manyetik enerji olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğada bulunanveya yapay olarak üretilen potansiyel, kinetik ve manyetik enerjilerin başka enerji türlerine çevrilmesi ile insanlığın kullanımına sunulan enerji ve güç, bugün toplum hayatının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Elde edilme kaynağına göre önem arz eden enerji hususu; gelişen teknoloji, nüfus artışı ve giderek artan talep dolayısıyla kritik bir konu haline gelmiştir. Son dönemlerde karşımıza çıkmakta olan bu yeni koşullar ve bunlarla beraber enerji kaynaklarının dünya coğrafyası üzerinde eşit dağılmış olmamasının yanı sıra, enerji üretim ve tüketiminin yine dünya coğrafyası üzerinde eşit olarak gerçekleşmemesi; ülkelerin gelişmiş, gelişmekte olan ve az gelişmiş olarak sınıflandırılmaları hususuna hem sebep hem de sonuç olarak gösterilebilir. Özellikle elektrik enerjisinin depo edilemez nitelikte olması ve üretildiği anda tüketilmesi gerekliliği nedeniyle, stratejik planlama gerektiren bir olgudur. Görölmekte olan çevresel kirlilik ve küresel ısınma nedeniyle de, gelecek nesiller için, artan miktarlarda enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak yaşamsal bir zorunluluk olarak görölmektedir [8].

2.3. ENERJİ KAYNAKLARI

Enerji; kimyasal enerji, ısı enerjisi, mekanik enerji ve elektrik enerjisi olarak dört temel şekilde kullanılmaktadır. Aslında her maddenin bileşiminde, belli bir miktar enerji, yani iş yapabilecek güç vardır. Değişik yöntem ve teknikler kullanılarak, ekonomik amaçlarla enerji elde edilen kaynaklara genel bir terimle enerji kaynakları denir. Günümüzde, petrol, kömür, odun gibi fosil kökenli yenilenemeyen kaynaklardan ve güneş, rüzgâr ve akarsular gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından ekonomik olacak şekilde enerji üretilmektedir. Enerji kaynakları çok değişik biçimlerde (madde hali, depo edilebilirlik, dönüştürülebilme, yenilenebilirlik, kullanılabilirlik, güneş temelli gibi) sınıflandırılabilir. Daha çok kullanılabilirliğine ve yenilenebilirliğine göre yapılan sınıflandırma yaygındır. Buna göre enerji kaynakları; “Birincil (Konvansiyonel) Enerji Kaynakları” ve “İkincil (Dönüştürülmüş) Enerji Kaynakları” olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Bunun yanı sıra, potansiyeli mevcut olan ve teknolojik güçlükler sebebiyle yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına “yeni” potansiyeli eksilmeyen kaynaklara da “yenilenebilir” enerji kaynakları denilmektedir. Bu sınıflandırmada, kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer gibi enerji kaynakları “yenilenemeyen” kategorisindeyken, güneş, rüzgâr, biyomas ve su gücü gibi kaynaklar “yenilenebilir” türünde ifade edilmektedir. Çoğu alternatif enerji kaynakları “yenilenebilir” olarak kabul edilirler. Fakat kesinlikle hepsi birden bu kelimeyle eşanlamlı değildirler. Örneğin, bunlar arasında sayılan odun ve jeotermal güç “yenilenemez” birer enerji kaynağıdır; buna karşılık, hidroelektrik güç yenilenebilir olduğu halde, hiçbir zaman alternatif enerji kaynağı olarak kabul edilmez. Buna rağmen alternatif enerjilerden çoğu kez sonsuz kaynaklar olarak da söz edilir. Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi alternatif enerji kaynaklarının başlıcalarıdır [8].

2.4. TÜRKİYEDE KULLANILAN ENERJİ KAYNAKLARI

Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de enerji kaynaklarının başında birincil enerji kaynakları gelmektedir. En son verilere göre Türkiye yıllık enerji tüketimi 126 Mtep olarak kaydedilmiştir. Bu kaynakların başında % 34 ile kömür gelmektedir. Sırasıyla % 33 doğalgaz, % 26 petrol ve % 7 yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır.

Dünya genelinde olduğu gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yüzdelik oranının diğer kaynakların yanında çok az olduğu görülmektedir [9].

2.4.1. Yenilenebilir Enerji

Bütün ülkelerin imkanları dahilince geçmeye çalıştıkları ve bilimsel araştırmalarını yoğunlaştırdıkları enerji çeşidi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların diğer enerji türlerine karşı bazı avantajları ve dezavantajları vardır. En önemli avantajı ise uzun vadede dışa bağımlılığı azalttığı gibi çevre kirlenmesi ve diğer tehlikeleri de ortadan kaldırmış olmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynağı “Doğanın kendi evrimi içinde bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı” olarak tanımlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özellikleri, karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olmaları, yerli kaynaklar oldukları için enerjide dışa bağımlılığın azalmasına ve istihdamın artmasına katkıda bulunmaları ve kamuoyundan yaygın ve güçlü destek almalarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları ulaşılabilirlik, mevcudiyet, kabul edilebilirlik özelliklerinin hepsini taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları 7 çeşit enerji olarak sınıflandırılır. Bunlar:

- Hidroelektrik Enerjisi
- Jeotermal Enerji
- Rüzgâr Enerjisi
- Okyanus Enerjisi
- Güneş Enerjisi
- Hidrojen Enerjisi
- Biyokütle Enerjisi

2.4.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi

Enerji, çağımızda en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Gelişmiş ülkelerin en önemli ihtiyaçlarının başında gelen enerjinin tüketimi sürekli artmakta ve bu artışın gelecekte de devam etmesi beklenmektedir. Bugün

sahip olduğumuz teknolojik gelişmelerin devam etmesi ve sunduğu imkanların yaşamımızda sürmesi için doğrudan ve dolaylı olarak enerji tüketmek zorundayız. Tüketmek zorunda olduğumuz enerjinin bugün büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlarından, geri kalanı ise nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıt kullanımının çevre ve insan sağlığına verdiği zararlara karşı önlem alınmazsa bu zararların telafisi için gelecekte yaşayacak insanların ödeyeceği bedelin çok büyük boyutlara erişeceği kaçınılmaz olacaktır.

Enerji üretiminde fosil kaynak kullanımının devam edebilme olanağının azaldığı, kabul edilmesi gereken bir gerçektir. Bu durumda, sanayinin gelişmesiyle kullanımı giderek artan ve kalkınma ve sanayileşme yolunda verdiği zararlar, önceleri göz ardı edilen enerji kaynaklarının yerine çevreci yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerçeği her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır. Başlıca yenilenebilir enerji kaynağı, fosil ve hidrolik enerjinin de asıl kaynağı olan ve dünyamızı ısıtan güneş enerjisidir. Güneş, dünyadaki tüm enerji kaynaklarına dolaylı ya da dolaysız olarak temel oluşturmaktadır.

Güneş ışınları ile dünyaya 170 milyar MW güçte enerji gelmektedir. Bu değer, dünyada insanoğlunun bugün için kullandığı toplam enerjinin 15-16 bin katıdır. Günümüzde dünyaya ulaşan güneş enerjisinin değerlendirilmesinde iki yol izlenmektedir; ısıya dönüştürme ve elektrik enerjisine çevirme. Güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmede “toplaçlar”; doğrudan elektriğe dönüştürmede ise “güneş hücreleri-güneş pilleri” kullanılmaktadır.

Dünyanın küresel olarak pek kullanmadığı, ancak geleceğin en çok kullanılacak enerji kaynağı olan güneş enerjisinden elektrik üretimi, doğrudan dönüşüm ve dolaylı dönüşüm olmak üzere iki ayrı yöntem ile gerçekleştirilir. Bu enerji ile ısıtmadan soğutmaya çok farklı ısı etkisinin kullanıldığı uygulamaların yanı sıra değişik teknolojiler ile elektrik enerjisi üretimi de gerçekleştirilmektedir. Fotovoltaik hücreler (PV hücreler-güneş hücreleri) gürültüsüz, çevreyi kirletmeden, herhangi bir hareket eden, mekanizmaya gereksinim duymadan güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir [10].

2.5. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır.

Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır [9].

2.5.1. Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi

Dünyada yaygın olarak kullanılan enerji üretim sistemlerinden bir tanesi de güneş enerjisinden elektrik enerjisinin üretilmesidir. Güneş enerjisinin kullanılmasının en önemli avantajları elektrik enerjisinin üretimi sırasında çevreye zararlı gaz salınımı meydana gelmemekte ve enerji kaynağının güneş olması sebebiyle sınırsız bir kaynağa sahip olunmaktadır. Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretimi fotovoltaik paneller kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi küçük güçlü olabileceği gibi büyük güçlü güneş santralleri ile yüksek güçlerde elektrik üretimi de yapılmaktadır [11].

2.5.2. Güneş Enerjili (PV) Fotovoltaik Sistemi

Fotovoltaik etki; güneş ışınımına maruz kalan iki farklı malzemenin ortak jonksiyonunun arasında oluşan elektriksel potansiyeldir. PV hücresi, bu etkiyle ışığı doğrudan elektriğe çevirir. Bu etki Fransız fizikçi Becquerel tarafından 1839'da bulunmuştur. Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak; akümülatörler,

eviriciler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemini (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımamanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür. Bir fotovoltaik sistem, doğru akım (DC) ya da alternatif akım (AC) ile çalışan yükü beslemek amacıyla, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Üretilen elektrik DC'dir. Buradan doğru akım ile çalışan bir yük beslenebilir. Güneş ışınımı sürekli ve kararlı olmadığı için, yükün beslenmesinde yetersiz kaldığı durumlar olabilir. Ayrıca üretilen enerjinin sistemin ihtiyacından fazla olduğu zamanlar da oluşabilmektedir. Bu ihtiyaç fazlası enerji akülere depolanarak, güneş ışınımının yetersiz olduğu zaman dilimleri için enerji sağlanabilir. Çalıştırılması istenen yük alternatif akım ile çalışıyor olabilir. Bu durumda doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için bir evirici kullanılır. Fotovoltaik sistemler, yerleşim merkezinden uzak noktalarda bulunan elektrik yüklerini beslemek üzere, yerel elektrik şebekesinden bağımsız olarak inşa edilebilirler. Bununla birlikte yerel elektrik şebekesine yakın noktalarda bulunan fotovoltaik sistemler, şebekeye enerji aktarabilecek şekilde düzenlenebilirler [8].

2.6. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN TANIMLANMASI

“PV” photovoltaic kelimesinin kısaltmasıdır. “Photo” ışık ve “Voltaic” elektrik anlamına gelir. Fotovoltaik terimi; güneş ışığının güneş hücreleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülme süreci için kullanılır. Uygun tasarlanmış bir fotovoltaik sistem az bir ışıkla megawatlarca elektrik üretebilir. Herhangi bir işletme ücreti, enerji kaynağı, gürültülü makineler gerektirmez ve hava kirliliğine sebep olmadan sadece güneş ışığı ile elektrik üretir.

Fotovoltaikler DC üretirler. Bu elektrik;

- Direkt olarak DC gücü ile çalışan aygıtlarda
- Daha sonra kullanılmak üzere DC depolanarak
- AC dönüştürülerek bu akım ile çalışan aygıtlarda kullanılır [12].

2.6.1. PV Kullanımının Avantajları

- Güneş enerjisi ile çalıştığından ek bir yakıtı ihtiyacı yoktur.
- Güneş radyasyonunu elektrik enerjisine çevirebilen tüm doğrudan enerji dönüştürücüleri içinde en yüksek verime sahip olanlardır.
- İletim hattına gerek yoktur. Gücün tüketileceği yere kurulabilir.
- Uzun ömürlüdür.
- Aşırı derecede güvenli ve bakım gerektirmez.
- Havayı kirletmez çevreye zarar vermez.
- Ham maddesi silisyum doğada en bol bulunan malzemedir. Yenilemeyen petrol, kömür vb. yakıtları kullanılamaz.
- 1 W'tan MW'lara kadar enerji üretebilir.
- Modüller ve çok yönlü kullanılır. İstenildiğinde güç ve gerilim seviyesi kolaylıkla artırılabilir veya azaltılabilir. Modüllerden bir grup devre dışı kalsa bile güç üretimi devam eder.
- Çalışırken elektrik sorunu yoktur.
- İstenilen voltaj üretilebilir. Akım seri yada paralel bağlanabilir.
- Yeni tasarlanan bir binaya entegrasyonu söz konusuysa ekstra bir alt yapıya gerek duyulmaz. Çatı örtüsü, cephe elemanı vb. olarak kullanılır.
- Elektrik şebekesine yoğun saatlerde destek sağlamış olur.
- Gerektiğinde şebekeden elektrik desteği almayı engellemez.
- Fazla üretilen enerji akümülatörlerde depolanabilir.
- Fazla üretilen enerji elektrik şebekesine satılarak ilk yatırım maliyetleri düşürülmüş olur.
- Sera etkisi yaratan gaz salınımı olmaz.
- PV ürünleri transparan ve renkli üretilebilir. PV hücre renkleri siyah monokristal silisyum, mavi polikristal silisyum, kırmızımsı kahverengi amorf silisyum olarak üretilebilir.
- Sessizdirler.
- Çalıştırmak için özel bir eğitime ihtiyaç yoktur.
- Güneş ışınımı olan her alanda kullanılabilir [12].

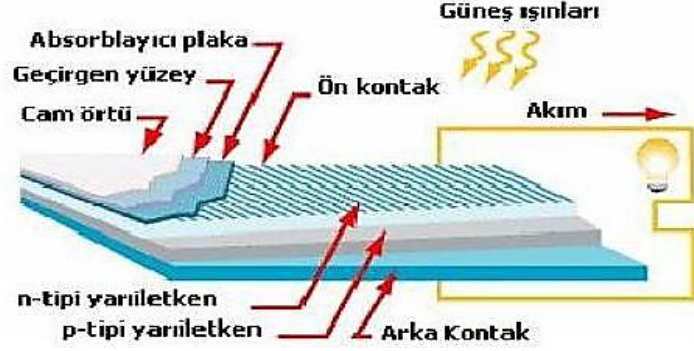
2.6.2. PV Kullanımının Dezavantajları

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Üretilen akım doğru akım olduğundan, ya doğru akımla çalışan cihazlar ya da çevirici kullanmak gerekir.
- Enerji sürekli olmadığı için enerjinin batarya grubu ile depolanması gerekir.
- Güneşlenme yönünden zengin bölgelere ihtiyaç vardır.
- Çok fazla güneş ışığı alan bölgelerde sıcaklık nedeniyle verim azalmaktadır. Bu yüzden PV'ler havalandırılarak soğutulmalıdır.
- Verimi gölge ile düşer. Bu yüzden PV panellerinin yüzeyide devamlı temiz tutulmalı ve sadece su ile temizlenmelidir. Diğer taraftan gölge yapabilecek elemanlardan kaçınılmalıdır.
- Güneş enerjisinden optimum yararlanmak için PV'ler eğimli yüzeylerde kullanılmalıdır. Maksimum enerji verimi için kuzey yarım kürede güneşe doğru yönlendirilmelidir.
- PV'leri yönlendirmek ve eğim açısı tasarım esnasında bazı zorluklara sebebiyet verebilir [12].

2.6.3. Fotovoltaik Hücre

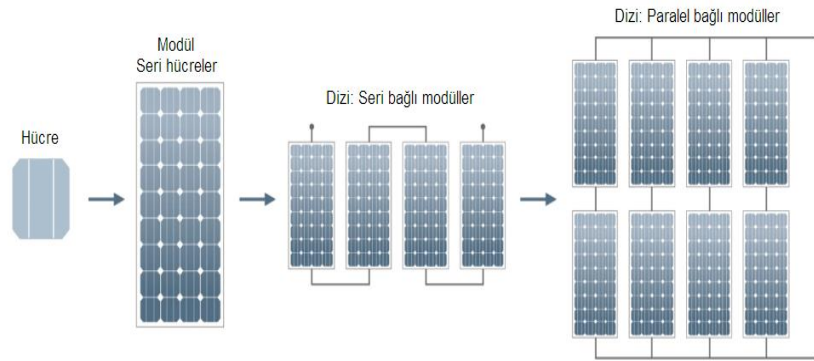
Fiziksel özellikleri bakımından bir fotovoltaik hücre ile bir PN yüzey birleşmeli diyot birbirine benzer. Şekil 2.1'de bir fotovoltaik hücrenin iç yapısı görülmektedir. Işık, birleşme yüzeyi tarafından emildiğinde, emilmiş olan fotonların enerjisi malzemenin elektron sistemine aktarılır ve böylece birleşme yüzeyinde ayrı bölümlere çekilerek yük taşıyıcıları oluşur. Bu yük taşıyıcıları, bir sıvı elektrolit içindeki elektron iyonları ya da bir katı yarı iletken malzeme içindeki elektron oyuk çifti olabilir. Bu taşıyıcılar birleşme yüzeyi bölgesinde, bir elektrik alan altında artan ve sanki bir harici kaynak varmış gibi yenilenen bir potansiyel güç oluşturur. Elektriğe dönüştürülmüş olan güç, birleşme yüzeyinden geçen akımın karesi ile hücrenin direncinin çarpımı şeklinde ifade edilebilir. Fotonlardaki kalan enerji, hücrenin ısınmasına yol açar. Fotovoltaik potansiyelin kaynağı, fermi seviyesi olarak adlandırılan, iki yalıtılmış malzemedeki elektronların kimyasal potansiyel farkıdır. Bu iki ayrı malzeme birleştirildiğinde yeni

bir termodinamik denge oluşur. Bu denge, güneş ışınımının elektron miktarlarında değişme yaratmasıyla bozulur ve iki malzeme arasında elektron sayılarını dengelemek üzere tek yönlü bir elektron hareketi başlayarak foto akım oluşur.



Şekil 2.1. Fotovoltaik panelin iç yapısı [19].

Oluşan foto akımı kullanabilmek için, birleşme yüzeyinin her iki tarafına metal temas yüzeyleri yerleştirilmiştir. Elektriksel bağlantı noktaları ile bağlantı arka temas yüzeyinin tümü ve ön temas yüzeyinin bir kenarı kullanılarak gerçekleştirilir. Gelen güneş ısınmını malzeme üzerinden belli oranda bir yansıma ile geri döner. Bu durum enerji kaybına neden olur. Bu durumu önlemek için ön yüzey yansıma önleyici bir madde ile kaplanır. Hücre bu haliyle gelebilecek darbelerden kolaylıkla zarar görebilir. Bu nedenle saydam bir yapııştırıcı ile ön yüzün üstüne yerleştirilen cam ile mekanik koruma sağlanır [8].

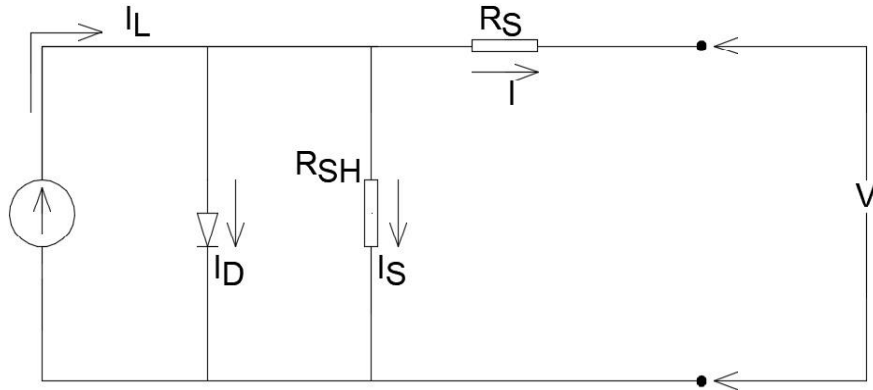


Şekil 2.2. Fotovoltaik panel ve dizi [13].

Fotovoltaik hücre, bir fotovoltaik güç sisteminin temel elemanıdır. Tipik olarak bir fotovoltaik hücre birkaç cm^2 lik bir alana sahiptir ve küçük değerlerde güç üretebilir. Üretilen bu güç bir fotovoltaik sistem için yeterli değildir. Daha yüksek güç sağlayabilmek için fazla sayıda fotovoltaik hücre seri veya paralel bağlanır. Fotovoltaik hücrelerin seri veya paralel bağlanması ile elde edilen birime fotovoltaik panel denir. Çok sayıda sistem için panel gücü de yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle panellerin gerekli gerilim ve akımı üretebilmek için seri veya paralel bağlanmaları gerekir. Fotovoltaik panellerin seri veya paralel bağlanmaları ile oluşan düzeneğe de fotovoltaik dizi denir [8].

2.6.4. Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi

Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresinde (I) çıkış akımını, (I_L) ışığın ürettiği akımı ve seri direnç (R_S), çıkış akımına karşı gösterilen iç direnci göstermektedir. Şekil 2.3'te gösterilmiştir. R_S 'nin değeri PN birleşme yüzeyinin yapısına bağlıdır. Paralel direnç (R_{SH}), sızıntı akımını ifade eder. İdeal bir fotovoltaik hücrede $R_S=0$ ve $R_{SH}=\infty$ olduğu kabul edilir. 1 inçlik kaliteli bir fotovoltaik hücrede $R_S=0,05-0,10 \Omega$ ve $R_{SH}=200-300 \Omega$ civarındadır. R_S üzerinde oluşan küçük bir artış, çıkış gerilimini kayda değer ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik çevirimin verimi R_S direncine duyarlıdır. Yük akımı sıfıra eşitken, hücre açık devre gerilimi (V_{OC}) elde edilir [8].

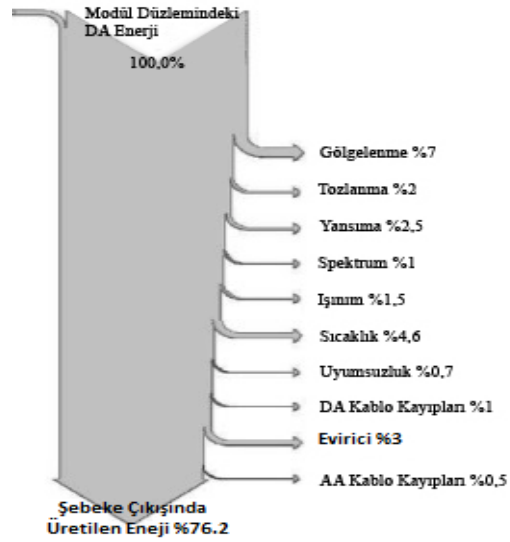


Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre eşdeğer devresi [8].

2.6.5. Güneş Panellerinde Meydana Gelen Kayıplar

Günümüz teknolojisinde üretilen güneş pillerinden yüzde yüz (% 100) verim elde edilememektedir. Verimleri düşük olduğundan dolayı güneş pillerinden elde edilen enerjinin mümkün olduğunca az kayıpla tüketiciye ulaşması gerekir. Bunun için güneş pillerinde meydana gelen kayıpları minimum seviyeye getirmek ve bu kayıplara neden olan unsurları ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılmaktadır.

PV sistemlerinde meydana gelen kayıplara neden olan unsurlar, çevresel faktörler ve PV sistemi şebekeye bağlamak için kullanılan ara elemanlardır. Çevresel faktörler gölgelenme, tozlanma vb. iken, bağlantı ara elemanlarında ise evirici ve kablolarda meydana gelen kayıpları sıralayabiliriz. Bu kayıpların bir arada olduğu düşünülürse üretilen enerjinin önemli bir kısmının kaybolduğu görülür. PV sistemleri bu kayıpları gözönüne alarak kurmak ve mümkün olduğu kadar üretilen enerjiyi yerinde tüketmek gerekir. Şekil 2.4'te bir PV sisteminde meydana gelen kayıplar görülmektedir.



Şekil 2.4. Bir PV sisteminde meydana gelen kayıplar [14].

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi bir PV sistemde üretilen enerjinin yaklaşık % 25'i kayıplardan dolayı kaybolmaktadır [14]. Büyük kayıplar içinde en yüksek kayıp değerinde % 7 ile gölgelenme oluşturmaktadır.

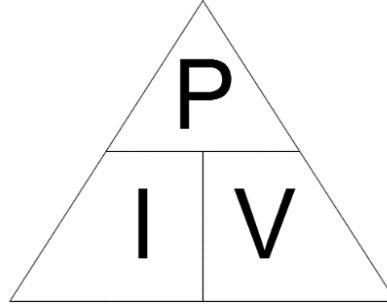
2.7. GÜÇ DENKLEMİ İLE VOLTAJ AKIM ARASINDAKİ BAĞINTI

2.7.1. Güç

Güç, Watt olarak ölçülür. 1000 W, 1 kW'a eşittir. Watt enerji akışının ölçüsüdür. Basit bir şekilde ifade etmek gerekirse enerji akışının anlık değerine güç denir. Watt biriminin kullanımını içerisinde belirli bir zamanın olmayışı yanlış kullanıma sebep olabilir. 1 Watt, saniyede 1 joule enerjiye eşittir.

2.7.2. Enerji

Gücün zaman ile çarpımıdır. kW-h olarak ölçülür. PV sistemlerinde, güç değeri (watt) enerji değeri kilowatt-saattir ve gerçek farkı yaratan değer de budur. Gücün güneşlenme süresi ile çarpımı sonucu gün boyunca ve buradan da yıl boyunca elde edilen enerji kW-h/yıl olarak bulunacaktır. Güç denklemi nispeten basittir ve ohm yasası ile ilgilidir. Voltaj ve akımın güç ile ilişkisi ohm yasasının bir uzantısıdır. Şekil 2.5'te olduğu gibi güç denklemi sunulmuştur.



Şekil 2.5. Güç ile akım ve voltaj arasındaki ilişki [15].

Şekilde P güç (W), I akım (Amper) ve V gerilim (Volt) olarak adlandırılmıştır. Matematiksel ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$P = I.V \quad (2.1)$$

$$I = P/V \quad (2.2)$$

$$V = P/I \quad (2.3)$$

2.8. GÜNEŞ PANELLERİ VOLTAJ VE AKIM ÖLÇÜMLERİ

Güneş panelleri için panel arkası etiketlerde okunabilecek parametreler aşağıdaki gibidir.

V_{oc} : Açık devre voltajı

V_{mp} : Maksimum güç voltajı

V_{nom} : Nominal voltaj

I_{sc} : Kısa devre akımı

I_{mp} : Maksimum güç akımı

2.8.1. Açık Devre Voltajı (V_{oc})

Bu değer basit bir multimetre yada voltmetre ile ölçülebilmektedir. Panel hiçbir yüke bağlanmadan voltmetre yada panele paralel bağlanarak ölçüm yapılabilmektedir. Açık devre voltajı en yüksek 48,3 voltur.

2.8.2. Maksimum Güç Voltajı (V_{mp})

Modül maksimum güçte standart test koşullarında (STK) ölçülen değerdir. Modül maksimum güçte ve maksimum yükte olmalıdır. Bu değer modül sisteme bağlı olsa bile batarya yükleri ve diğer yükler değişkenlik gösterebileceğinden kolay bir şekilde ölçülemez. Standart test koşullarında her bir hücre genellikle 0,5 V üretir. Pratik olarak V_{mp} hücre sayısına göre buradan hesap edilebilir. Maksimum güç voltajı en yüksek 39,8 voltur.

2.8.3. Nominal Voltaj (V_{nom})

Şebekeden ayrık sistemlerde kullanılan şarj regülatörü, MPPT cihazları gibi panelden gelen voltajın regüle edildikten sonraki durumudur. Birçok sistem 12-24 V_{nom} voltaja sahip olup, 36-72 seri bağlı hücreden oluşmaktadır. 12 V yada 24 V nominal

çıkışlı paneller tercih edildiğinde batarya yada akü gruplandırması paralel ve seri şekilde oluşturulabilmektedir. Nominal voltaj şarj regülatörünün batarya çıkışından ölçülebilir. Bunun için güneş modülünün yükte olması gerekir. Başka türlü yanlışlıkla batarya voltajı ölçümü yapılacaktır. 12 Voltluk sistemlerde nominal voltaj 12-13 Vnom arasında değişmektedir.

2.8.4. Kısa Devre Akımı (I_{sc})

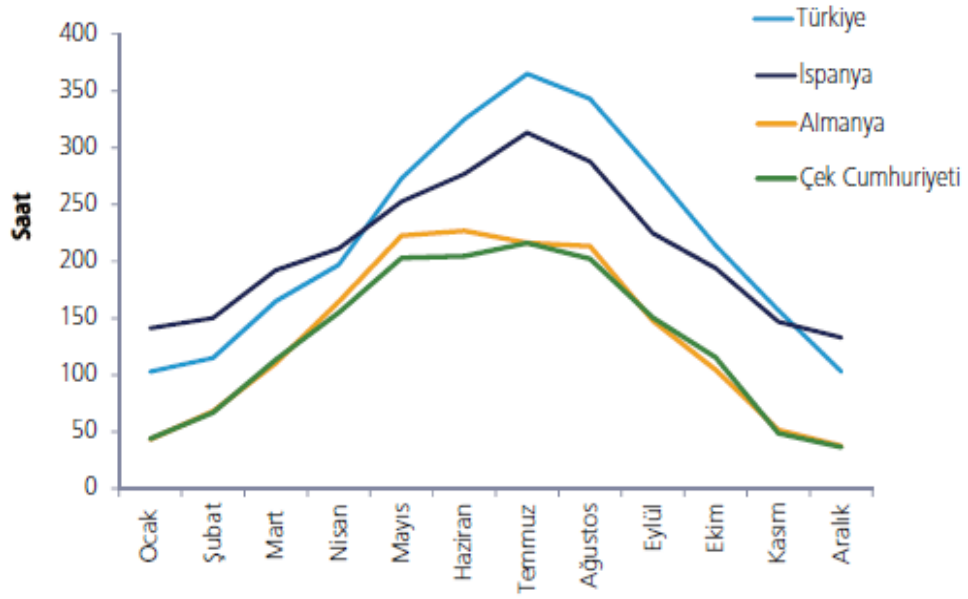
Kısa devre akımı modül herhangi bir yüke bağlanmadan voltmetre yada multimetrenin module seri bağlanması sonucu ölçülür. Başka bir ifade ile modülün artı (+) ve eksi (-) uçları arasında multimetre seri bağlanarak uçlar birleştirilir. Kısa devre akımı en yüksek 5,8 A'dır.

2.8.5. Maksimum Güç

Güneş modülü standart test şartlarında maksimum yükte çekilen akımdır. Panel etiketlerinden okunabilmektedir. Çevre şartlarında modül üzerinden ölçülemez. Bunun için test şartlarında elde edilen değerler kullanılır. Uygulamada bir modül üzerinden, açık devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), değerleri okunur. Maksimum güç voltajı (V_{mp}) ve maksimum güç akımı (I_{mp}) modüllerin standart test koşullarında elde edilen değerler olduğundan panel etiketlerinden okunabilir. Teorik olarak ulaşılabilecek en üst limiti gösterir [15].

2.9. TÜRKİYE'DEKİ GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye, güneş kuşağında yer aldığından dolayı güneş enerjisi potansiyeli bakımından bir çok ülkeye göre avantajlı konumdadır. Bu enerjisi potansiyeline rağmen ülkemizde enerji üretimine yönelik yapılan yatırım miktarı güneş enerjisi potansiyeli daha düşük olan bir çok ülkeye göre daha azdır. Günümüzde Almanya enerji ihtiyacının yaklaşık % 2'lik bir kısmını güneş enerjisinden karşılamaktadır. Şekil 2.6'da güneş enerjisini etkin olarak kullanan bazı Avrupa ülkeleriyle ülkemizin aylık güneşlenme süreleri görülmektedir [14].



Şekil 2.6. Türkiye ve avrupa ülkelerinin güneşlenme sürelerinin kıyaslanması [14].

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMG) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EGE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 2.1'de verilmiştir [14].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkeler ve devletler açısından oldukça önemli bir konuma geldiği günümüzde bu konuda yapılan çalışmalar da hızlanmış durumdadır. Özellikle son yıllarda ülkemiz enerji sektöründe büyük atılımlar gerçekleştirmekte ve sektörün iyileştirilmesi adına birçok çalışma yapılmaktadır. Çünkü Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle bu potansiyel güneş enerjisinde ön plana çıkmaktadır. Avrupa ve diğer dünya devletlerine göre ülkemizin yıllık güneşlenme süresi oldukça fazladır [9].

Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [14].

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
	kcal/cm ² -ay	kWh/m ² -ay	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	112,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1,311	264
Ortalama	308.0 kcal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

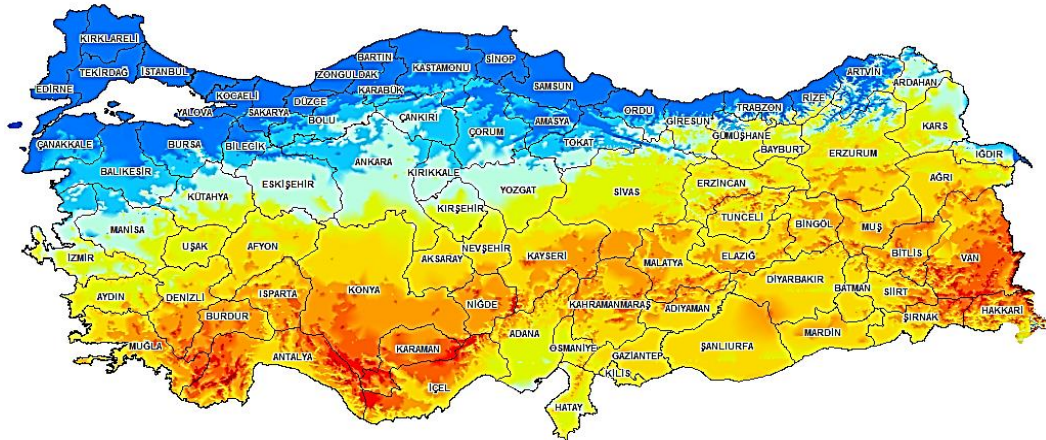
Bölgelere göre değerlendirmek gerekirse ülkemizin yıllık bazda en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir bunu Akdeniz bölgesi takip etmektedir. Ülkemizin yıllık elektrik üretimi Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin (TEİAŞ) 2013 verilerine göre 255 milyar 337 milyon kiloWatt saat (kWh) olarak belirlenmiştir. Bu elektriğin çoğu doğalgaza dayalı elektrik üretim tesislerinde elde edilmektedir [9]. Çizelge 2.2'de Güneşlenme potansiyeli ve süresinin bölgelere göre dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Güneşlenme potansiyeli ve süresinin bölgelere göre dağılımı [14].

Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi kWh/m ² -Yıl	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

2.9.1. Konum

Dünyanın geoit şeklinde olmasından dolayı güneşinlerinin yeryüzüne düşme açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle kabuğunda PV panel tasarımı yapılacak olan bir binanın bulunduğu bölgenin yıllık güneşlenme değerleri, panelden elde edilecek enerjiyi doğrudan etkilemektedir. Şekil 2.7'deki Türkiye güneşlenme haritasına göre; güneş açısından performansı en yüksek bölgelerin başında Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1460 kWh/m²-yıl ile birinci sırada yer almaktadır. Akdeniz Bölgesi ise 1390 kWh/m²-yıl ile onu takip etmektedir. Ülkemizin en düşük güneşlenme değerlerine sahip olan Karadeniz Bölgesi bile 1120 kWh/m²-yıl'lık potansiyeli ile dünya sıralamasında önemli bir yere sahiptir.



Şekil 2.7. Türkiye güneşlenme haritası [16].

2.9.2. Karabük İli Coğrafi Durumu

Karabük İli; Batı Karadeniz bölümünde yer almakta olup, Araç ve Soğanlı Çaylarının birleşmesiyle meydana gelen Yenice (Filyos) Irmağı'nın oluşturduğu vadilerle, bunların arasındaki platolardan meydana gelir. Coğrafi yapı, engebeli olup büyük düzlükler görülmemektedir. Kuzeyde Bartın (80 km), kuzeydoğu ve doğuda Kastamonu (120 km), güneydoğuda Çankırı (195 km), güneybatıda Bolu (130 km), batıda Zonguldak (170 km) illeriyle komşudur. Ankara'ya 230 km, İstanbul'a 400 km mesafededir. Karabük İli, Batı Karadeniz Bölgesi'nde 40° 50' ve 40° 15' kuzey boyları, 32° 15' ve 32° 20' doğu enlemleri arasında yer alır. Karabük'ün yüzölçümü 4.109 km² olup, İl merkezinin rakımı 254 metredir.

2.9.3. Karabük İli Topoğrafyası

Karabük il merkezinde genel olarak eğim oranı oldukça fazladır. Karabük şehir merkezinde eğimli (% 10-20) ve az eğimli (% 0-10) morfoloji göze çarpar. Şehir merkezinin dışına doğru ise; dik (% 20-40) ve çok dik (> % 40) morfolojinin olması jeoteknik problemlere yol açmaktadır. Mevcut durum yerleşim olanağını kısıtlamaktadır. Karabük ili etrafı yüksek dağ ve tepelerle çevrili bir havza karakteri gösterir. 250–500 m yüksekliğe sahiptir. Kuzeyindeki dağlık alandan kaynaklanan tali dereler, şehre doğru taşıdıkları maddelerle alüvyal bir dolgu oluşturmuştur.

2.9.4. Jeolojik Yapı

Karadeniz Bölgesi batı bölümünde yer alan Karabük ve çevresinde, Birinci zamandan, Kuvaterner'e kadar değişik yaşlarda, pek çok litolojik birim gözlenmektedir. Karabük-Safranbolu Tersiyer havzası, batıda Bolu kuzeyinden başlayıp doğuda Çelebiler ve Kastamonu'ya değin uzanan, genişliği batıda 2-2,5 km'den doğuda 30-35 km'ye değin değişen, yaklaşık KD-GB uzanımlı ve hemen tümüyle Eosen yaşlı tortul kayalarla doldurulmuş, huni biçimli bir alandır. Havza, güneyden Çağlayan Formasyonu ve Anadolu napı ile kuzey ve kuzeybatıdan ise Jura öncesi yaşlı metamorfitle ve yine Çağlayan Formasyonu ile sınırlıdır.

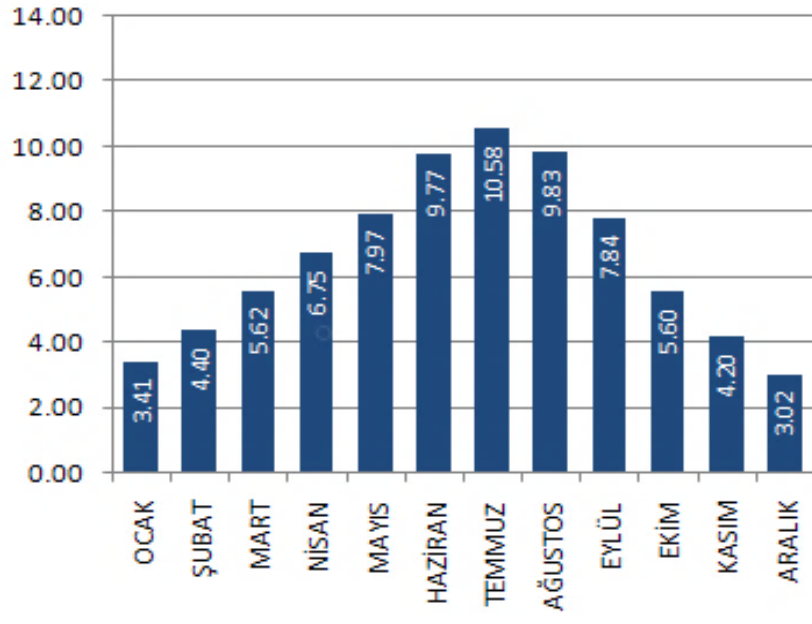
2.9.5. İklim

İlde genellikle her mevsim yağışlı Karadeniz iklimi yaşanmaktadır. Yazları serin ve kışları ılık geçen bölgede yıllık ortalama sıcaklık 13,5 °C dir. Ocak ayı sıcaklık ortalaması, 3,4 °C, temmuz ayı sıcaklık ortalaması 25 °C'dir. Karabük'te ortalama yıllık sıcaklık farkı ise 21,6 °C' dir. Bölgede gece ile gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları büyük dalgalanma göstermez. Safranbolu D.M.İ istasyonunda 1952 yılından günümüze yağış ve sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. 30 yıllık ortalama yağış 464,7 mm olup, Ağustos ayı (21,8 mm), Eylül ayı (23,1 mm) ile en az yağış, Aralık ayı (49,8 mm), Ocak ayı (55,5 mm) ve Şubat ayı (43,3 mm) ile en fazla yağış alan aylardır. Genel olarak hemen hemen yılın bütün aylarında yağış altındadır [17].

2.9.6. Karabük'te Güneş Enerjisi

Her geçen gün PV panel fiyatları düşerken buna karşın verimlilikleri de artmaktadır. 2016 şubat ayı itibariyle modül verimliliği % 22,8'e çıkmıştır. Bu bağlamda, verimlilik arttıkça dünya genelinde güneşe olan yatırım da artarak devam edecektir. Türkiye güneş enerjisi santrali (GES) kurulu gücü 2014 yılsonu itibariyle 40 MW iken 2015'te 248,8 MW'a ulaşmıştır. Santral sayısı 112'den 454'e ve katkı % 0,1'den % 0,4'e yükselmiştir. 2016 yılı Mart sonu itibariyle 492 adet santral ile GES kapasitesi 357,7 MW'a ulaşmış olup katkı oranı % 0,5'tir.

Karabük ilinde ise kurulu güç 0,67 MW'tır. Özel bir şirkete ait bir alışveriş merkezinin çatısında 12 bin m²lik alanda 2804 adetten oluşan PV santrali ile 150 bin kWh elektrik üretilmekte ve 50 bin kWh'i iç tüketimde kullanılmaktadır. Şekil Karabük iline ait aylara göre güneşlenme süresi ise şekil 2.8'de gösterilmiştir [18].



Şekil 2.8. Karabük'ün güneşlenme süresi (saat) [18].

BÖLÜM 3

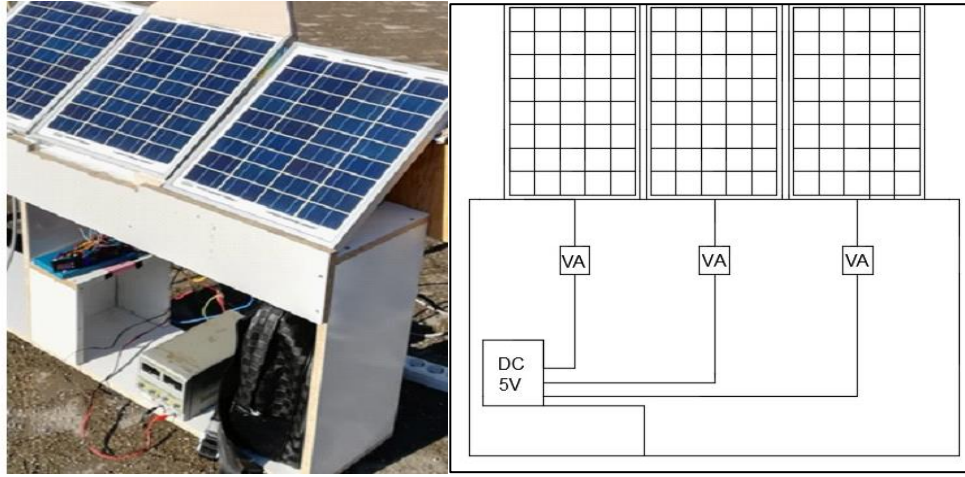
MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan deney sistemi Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarında kurulmuş ve buranın bahçesinde açık alanda deneyler gerçekleştirilmiştir. Tasarlanarak imalatı gerçekleştirilen deney sistemi şekil 3.1’de gösterilmiştir. Deney sisteminde kullanılan PV paneller, ölçüm ve kayıt cihazları bir masa üzerine monte edilmiştir. Kullanılan malzemelerin ve cihazların özellikleri bölüm içerisinde detaylı olarak verilmiştir.

3.1. DENEY SİSTEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Sistemde, fotovoltaik (PV) polikristal 20 W’lık çizelge 3.1’de gösterilen özelliklere sahip paneller kullanılmıştır. Bu panellerden birisi yalın panel (YP) formunda, diğer ikisi ise su soğutmalı olarak, serpantinli (SRP) ve su kanallı (SKP) panel formlarındadır. Bundan sonra metin içerisinde yalın panel için (YP), serpantinli su soğutmalı panel için (SRP) ve kanallı tip su soğutmalı panel içinde (SKP) kısaltılmış ifadeler kullanılacaktır.

Deney sisteminde, YP’nin elektriksel güç ve verimleri, SRP ve SKP de ise ek olarak termal enerji ve toplam verim değerleri hesaplanmıştır. Soğutulan (PV/T) olarak tasarlanan SRP ve SKP paneller sabit ve eşit debide şehir şebeke suyuna bağlanmıştır. Su debileri 100 ml/dak (0.001666kg/s) olarak ayarlanmış ve deney süresince sabit tutulmuştur. Deneyler eylül ayında farklı günlerde 11:00 ile 17:00 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Deney süresinin seçiminde deney yerinin gölgeleme faktörleri dikkate alınmıştır. Panel arkalarındaki sıcaklık farkı ve panelin ürettiği güçlerin hesapları yapılarak saatlik ortalamaları verilmiştir. Ek açıklamalar kısmında EK-1, EK-2, EK-3 ve EK-4’te gösterilmiştir.



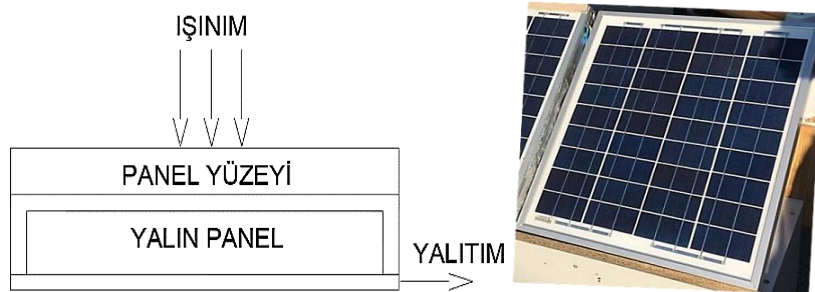
Şekil 3.1. Deney sisteminin sistematik şekli.

3.2. KULLANILAN EKİPMANLAR VE İŞLEM BASAMAKLARI

3.2.1. YP (PV) Panel

PV panellerde, malzeme, konum, yönlendirme ve yüzey eğim açısı, gölgelenme, panel tipi, bakım ve temizlik, modüllerin arkasında oluşan sıcaklık gibi etmenler ise PV panellerden sağlanacak performansı / verimi etkilemektedir [9].

Deney sisteminde kullanılan YP'nin (PV) özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Serpantinli ve kanallı su soğutma uygulamaları da bu panellere uygulanmıştır. Paneller sipariş verilirken her üçünde üretimde aynı seriden olmasına dikkat edilmiştir.



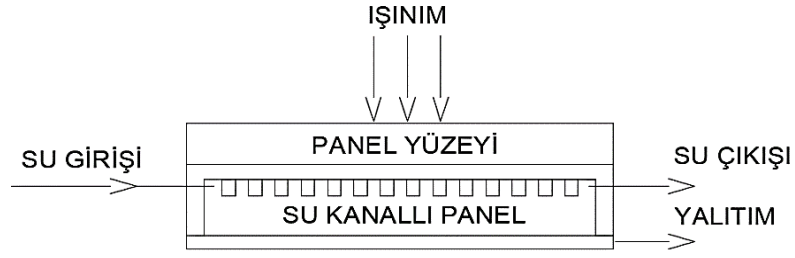
Şekil 3.2. YP (PV) Panel.

Çizelge 3.1. Kullanılan güneş panelinin özellikleri.

Maksimum Güç (P_{max})	20 Watt
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	22,10 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	1,35 Amper
Maksimum Güç Voltajı (V_{mp})	18 Volt
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	1,11 Amper
Modül Uygulaması	A Sınıfı
Boyut (mm)	360x43,5x17
Ağırlık (kg)	2,5 kilogram
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 Volt DC
Maksimum Seri Sigorta Sınıfı	10A
Güç Tolerans Aralığı	+5%

3.2.2. SKP (PV) Panel

Su kanallı PV panel (SKP) oluşturmak için, (30x30) cm ebatlarında ve 18 mm kalınlığında poliamid malzeme kullanılmıştır. Bu plaka üzerine Su girişi ve çıkışı için her iki yanlardan 10 mm çapında delinerek metrik kılavuz ile dış açılmıştır. Freze tezgahında poliamid malzeme üzerine 5 mm eşit aralıklarla 5 mm derinliğinde ve 5 mm genişliğinde su kanalları açılmıştır. Panel arkasında su kanallarının üzeri termal kazanım için yalıtılmıştır. Su kanallı panelin imalatı ve işlem basamakları şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Su akışı için geliştirilen kanallı panel (SKP) imalatı ve montajı.

PV panelin arka yüzeyine su kanallı poliamid malzemenin orta noktasına termokupl geçecek kadar (1 mm) delik açılmış, arka yüzey sıcaklık ölçümü için termokupl yerleştirilmiştir. Su giriş ve çıkış noktalarına ise termokupl yerleştirilerek, öncesinde hazırlanan su kanallı poliamid malzeme, panel arkasına sızdırmazlık malzemesi kullanılarak sabitlenmiştir.

3.2.3. SRP (PV) Panel

Serpantinli PV panel (SRP) oluşturmak için 2,5 m uzunluğunda, dış çapı 6,35 mm iç çapı 4,826 mm ve et kalınlığı 0,76 mm olan bakır boruyu içiçe girecek şekilde dairesel serpantin oluşturulmuştur. Şekil 3.4'te bakır borulu serpantinın imalatı ve montajı gösterilmiştir. Serpantinın alt yüzeyi planya üzerinde hafif preslenerek taşlanmış ve bu işlem ile tüm boruların panel arka yüzeyine eşit temas etmesi sağlanmıştır. Panel arka yüzeyine termal macun kullanılarak monte edilip sabitlenmiştir. Panelin arka yüzeyinin tam orta noktası belirlenerek termokupl yerleştirilmiştir. Serpantin giriş-çıkış suyu noktalarına termokupullar yerleştirilmiştir. Panel arkasında serpantinın üzeri termal kazanım için yalıtılmıştır.



Şekil 3.4. Geliştirilen serpantinli su soğutmalı panelin (SRP) imalatı ve montajı.

3.2.4. Deney Sistemi Masasının Yapımı

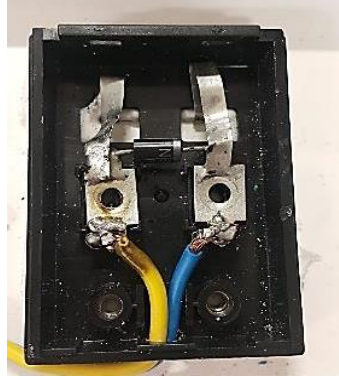
Sunta malzemeden (150x25) cm ebatlarında bir sistem masası yapılmıştır. Güneş panellerinin açısı, güneş ışınlarına 40° açıda olacak şekilde ayarlanmıştır. Güneş panellerinde ve sistem masasında elektrik bağlantısı için uygun ölçüde delik açılmıştır. Su giriş ve çıkışı için ise, kullanacağımız bakır boru çapında delik açılıp montajı yapılmıştır. Rahat taşınabilmesi için alt kısma 4 adet tekerlek takılarak taşınması kolaylaştırılmıştır. Sistemin montajı ve yapım aşamaları şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Deney sistemi masası ve imalatı.

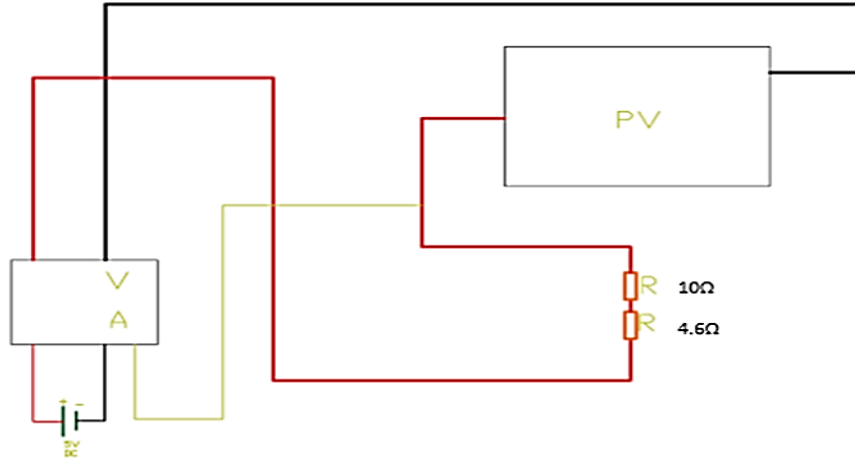
3.2.5. Güneş Panellerinde Elektrik Devre Bağlantıları

Deneylerde kullanılan tüm PV panellerin arka çıkış klemenslerinde direnç oluşmaması için kablolar lehimle birleştirilmiştir.



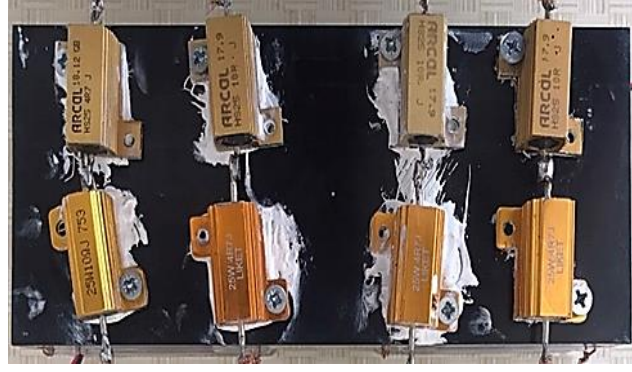
Şekil 3.6. Panelin elektrik çıkış bağlantısının yapılması.

PV panellerin ürettikleri gücün ölçümünde kullanılan elektrik devresi aşağıda şekil 3.7'deki kapalı direnç devresinde gösterilmiştir.



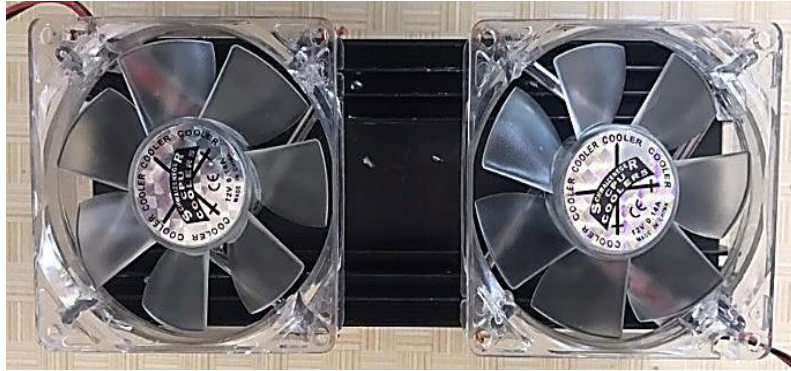
Şekil 3.7. PV Panel güç ölçümü elektrik devresi ve bağlantı şeması.

Devrede 10Ω ve $4,6 \Omega$ değerinde 4'er adet dirençler kullanılmıştır. Dirençlerin ısınmaması ve ölçüm değerlerinde farklılık oluşturmaması için, (10x20) cm ebatlarında alüminyum soğutucu üzerine dirençler yerleştirilmiştir. Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



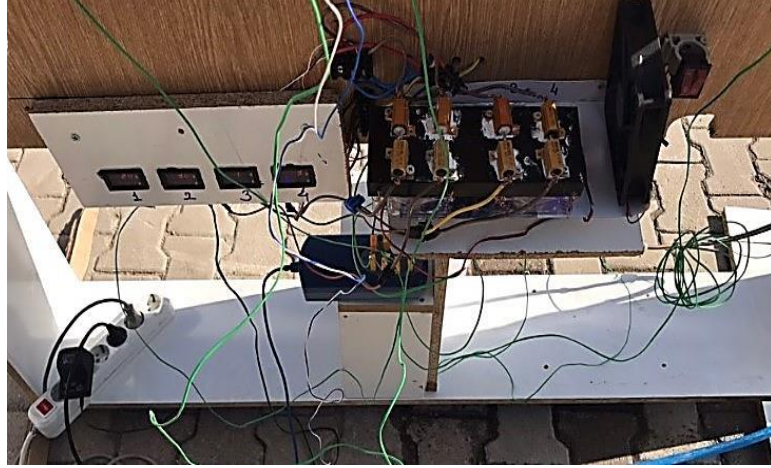
Şekil 3.8. PV Panellerinin elektrik güç devresinde kullanılan dirençler.

Alüminyum soğutucunun altında, 12 Volt ve 0,14 Amper değerinde, üç adet aynı özelliklerde fan kullanılmıştır. İki tanesi alüminyum soğutucunun altına yerleştirilmiştir. Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Diğer fan ise, dirençlerin hemen yanına konulmuştur. Böylece dirençlerin üsttende soğutulması sağlanmıştır. Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

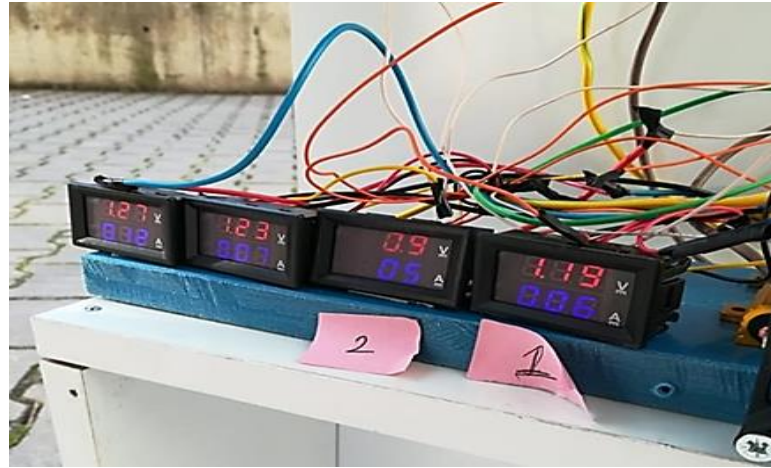


Şekil 3.9. Alüminyum soğutucunun altına fanların yerleştirilmesi.

Devre üzerindeki elektrik bağlantıları ile dirençlerin ve güç ölçüm cihazlarının kurulumu ve montajı Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



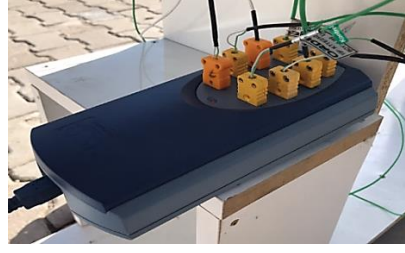
Şekil 3.10. Elektrik devre bağlantısının kurulumu ve son hali.



Şekil 3.11. Panellerin akım (I), gerlim (V) değerlerini gösteren ölçüm cihazlarının montajı.

3.2.6. Sıcaklık Ölçer ve Özellikleri

Ölçümlerin verimli yapılabilmesi için gerekli ortam sıcaklığı, panellerin arka yüzey sıcaklıkları, panele giren hava ve çıkan havanın sıcaklığı aynı şekilde suyun giren ve panelden çıkan sıcaklıkları olmak üzere 8 farklı noktalardan aynı anda sıcaklık değerleri K tipi termokupullar vasıtasıyla ölçülmüştür. Bu ölçüm noktalarının sistem üzerindeki yerleri şekil 3.12’de sistemdeki termokupl bağlantı şekli ve ölçüm ve kayıt cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Sıcaklık ölçüm kayıt cihazı.

Sıcaklık ölçüm ve kayıt cihazının genel özellikleri şunlardır:

- 1 Milyona kadar örnek toplama
- -270 ila + 1820 °C arasında etkili bir sıcaklık aralığında ölçüm
- -250 ila + 1370 °C aralığında 0,025 °C'den daha iyi bir çözünürlük
- Hassas ve kullanımı kolay
- Gerçek zamanlı veri toplama, analiz ve görüntüleme
- Her kanal için tanımlanabilir alarm seviyeleri
- 20 Üniteye kadar genişletilebilir/160 kanal
- Yüksek çözünürlük ve doğruluk
- Hızlı örnekleme hızı-saniyede 10 ölçüme kadar
- Tüm popüler termokupl tiplerini destekler [20].

3.2.7. Işınım Ölçer ve Özellikleri

Anlık global güneş ışınımının W/m^2 olarak ölçümünde şekil 3.13'te görülen pyronometre (ışınım ölçer) kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Işınım ölçer cihazı.

Ölçümlerde kullanılan pyronometrenin genel özellikleri şunlardır.

- Solar kuvvetin en verimli olduğu yeri bulur.
- 2000 W/m², 634 Btu/(ft x 2h) menzil
- Pil ömrü yaklaşık 100 saat
- Ağırlık yaklaşık 165 gr
- Boyut 111 mm (L) x 64 mm (W) x 34mm (H)
- Otomatik veri belleği 32000 dizi
- Çalışma sıcaklığı ve nem 0 °C - 50 °C ve % 80 RH altında
- Depolama sıcaklığı ve nem -10 °C - 60 °C ve % 70 RH altında
- Menü ve veri belleği 99 dizidir.
- Açısal doğruluğu 60° den küçük açılar için kosinüsü % 5 azaltır [21].

3.2.8. Fan ve Özellikleri

Sistemde kullanılan dirençlerin fazla ısınmasını önlemek ve alınan ölçümlerin sağlıklı olması amacıyla üç adet fan kullanılmıştır. Şekil 3.14'tefan gösterilmiştir. Deney sisteminde kullanılan fanın genel özellikleri şunlardır.



Şekil 3.14. Fanın gösterimi.

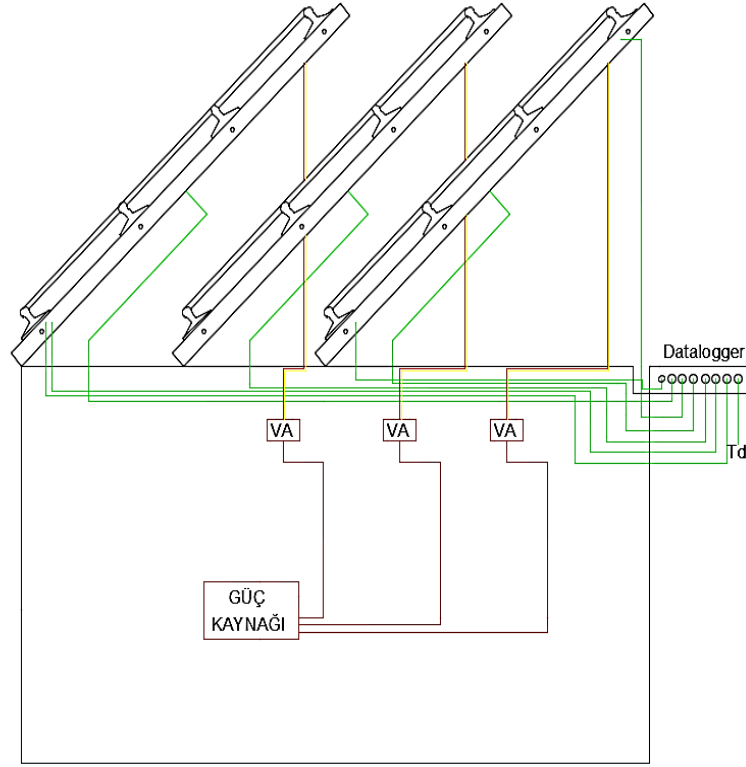
- Anma Gerilimi 12 V
- Ürün Boyutu (120x120x25) mm
- Anma Akımı 0,14 A

3.2.9. Deney Sistemi ve Metot

Çalışmada tasarımı ve imalatı yapılan deney sisteminin son hali şekil 3.15'te gösterilmiştir.

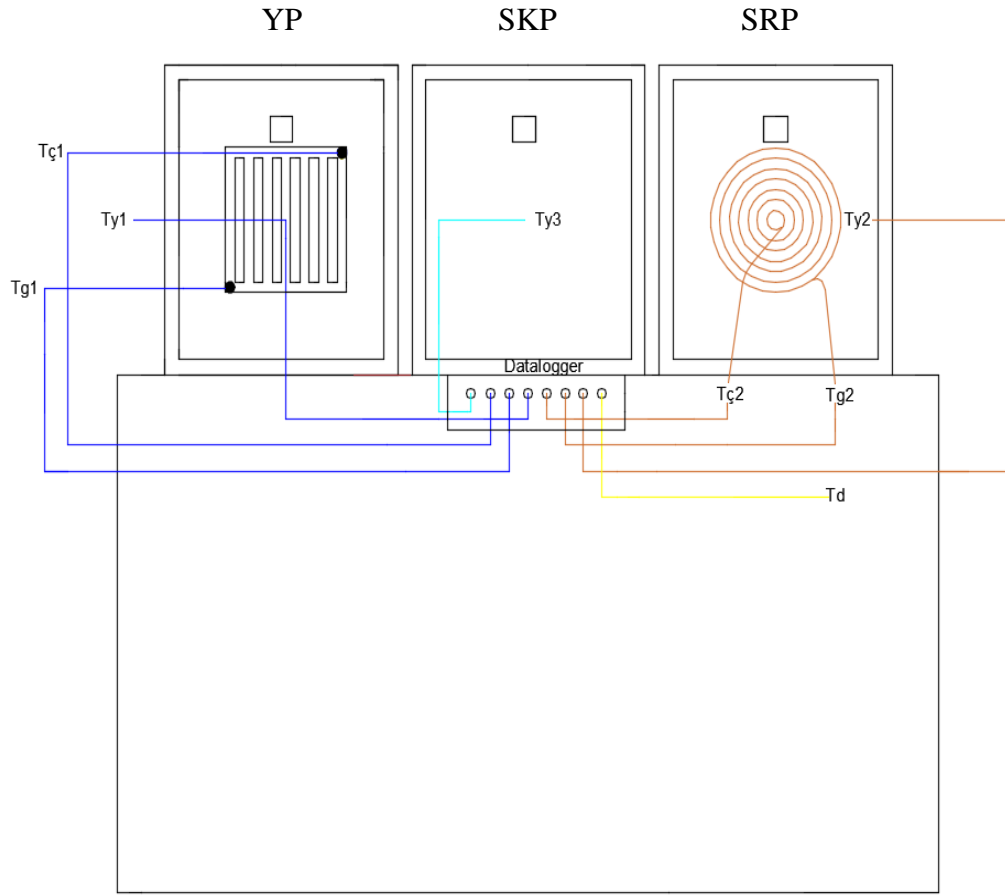


Şekil 3.15. Deney sisteminin son şekli.



Şekil 3.16. Deney düzeneğinde sıcaklık ve güç ölçüm cihazlarının bağlantı şeması.

Yöntem olarak Sistemde; Ölçümler 5 dakika ara ile yapılarak kaydedilecektir. Grafiklerin oluşturulmasında ve hesaplamalarda 30 dakikalık ve saatlik ortalama değerler kullanılacaktır. Sistemde zamana bağlı olarak W/m^2 cinsinden anlık ışınım değerleri, dış ortam sıcaklığı, mukayesesi yapılan panellerin ürettikleri akım ve gerilim değerleri, su ile soğutulan panellerin su giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülecektir. Deney düzeneği üzerinde sıcaklık ve güç ölçüm cihazlarının bağlantı şeması şekil 3.16'da, sıcaklık ölçümü yapılan noktalarda şekil 3.17'de gösterilmiştir. Sistemden elde edilecek deney verileri kullanılarak karşılaştırmalı grafikler oluşturulacaktır. Yine bu deneysel verilerden yararlanılarak Sistemlerin elektirksel ve termal güçleri ile elektirksel ve termal verimlilikleri analitik olarak hesaplanacaktır. Hesaplamaları yapılan bu veriler yine grafiklerle karşılaştırmalı olarak verilecek ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yorumlanacaktır.



Şekil 3.17. Sistemdeki sıcaklık ölçüm noktaları.

- Ty_1 : Kanallı panel arka yüzey sıcaklığı (°C)
 Tg_1 : Kanallı panel giriş suyu sıcaklığı (°C)
 $Tç_1$: Kanallı panel çıkış suyu sıcaklığı (°C)
 Ty_2 : Serpantinli panel arka yüzey sıcaklığı (°C)
 Tg_2 : Serpantinli panel giriş suyu sıcaklığı (°C)
 $Tç_2$: Serpantinli panel çıkış suyu sıcaklığı (°C)
 Ty_3 : Yalın panel arka yüzey sıcaklığı (°C)
 Td : Dış ortam sıcaklığı (°C)
 YP : Yalın Panel
 SKP : Su Kanallı Panel
 SRP : Serpantinli Panel

3.2.10. PV Panellerde Teorik Hesaplamalar

PV panelden elde edilen elektriksel güç (Q_e); devrede ölçülen gerilim (V) ve akımın (I) çarpımıdır ve eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$Q_e = V \times I \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

- Q_e : Elde edilen elektriksel güç (W)
 V : Üretilen voltaj
 I : Üretilen akım

olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen elektriksel verim (η_e); PV panelden elde edilen elektriksel gücün (Q_e), panel yüzeyine gelen toplam enerjiye oranıdır. ($G \times A$) olarak tanımlanır ve eşitlik (3.2) ile hesaplanmıştır.

$$\eta_e = \frac{Q_e}{G \times A} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

- η_e : Elde edilen elektriksel verim (%)
 Q_e : Elde edilen elektriksel güç (W)
 G : Güneş ışınımı (W/m^2)
 A : Panel yüzey alanı (m^2)

olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen termal güç hesaplanırken; suyun debisi (\dot{m}), suyun özgül ısısı (c_p), suyun giriş ve çıkış sıcaklık farkları (Δt) kullanılmıştır. Eşitlik (3.3)'te

hesaplanmıştır.

$$Q_t = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t (T_{\zeta} - T_g) \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

- Q_t : Elde edilen termal güç (W)
 \dot{m} : Kütleli debi (kg/s)
 c_p : Suyun özgül ısısı (4,186 kJ/kg)
 Δt : Suyun sıcaklık farkı (°C)
 T_g : Panele giren suyun sıcaklığı (°C)
 T_{ζ} : Panelden çıkan suyun sıcaklığı (°C)

olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen termal verim (η_t) hesaplanırken; panelden elde edilen termal gücün (Q_t), panel yüzeyine gelen toplam enerjiye (GxA) oranıdır ve eşitlik (3.4) yardımı ile hesaplanır.

$$\eta_t = \frac{Q_t}{GxA} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

- η_t : Elde edilen termal verim (%)
 Q_t : Elde edilen termal güç (W)
 G : Güneş ışınımı (W/m²)
 A : Panel yüzey alanı (m²)

olarak verilmiştir.

PV panelden elde edilen toplam verim (η); termal güç (Q_t) ve elektriksel güç (Q_e), toplamlarının, güneş ışınımı ve panel yüzey alanının çarpımına (GxA) oranıdır.

Eşitlik (3.5)'te hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{Q_e + Q_t}{G \times A} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

- η : Elde edilen toplam verim
 Q_t : Elde edilen termal güç (W)
 Q_e : Elde edilen elektriksel güç (W)
 G : Güneş ışınımı (W/m²)
 A : Panel yüzey alanı (m²)

olarak verilmiştir.

- Panel yüzey alanı: (36 x 43,5) cm = 1566 cm² = 0,1566 m²
- Panel hücre yüzey alanı: (31,5 x 36,2) cm = 1140,3 cm² = 0,114 m²
- Soğutma su debisi: $\dot{m} = 0,1 \text{ lt/dak} = 1,6666 \cdot 10^{-3} = 0,00166 \text{ kg/s}$ 'dir.

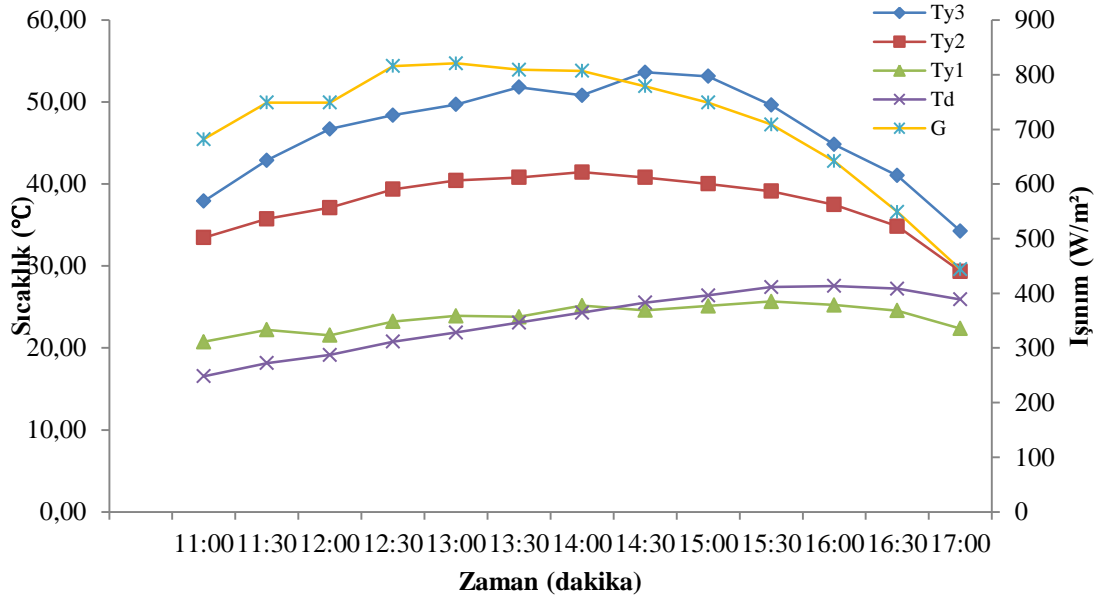
PV panellerde soğutma uygulamaları hem SRP hem de SKP'de hücre alanına eşdeğer uygulandığından panelden elde edilen enerjinin hesabında hücre yüzey alanı esas alınmıştır.

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

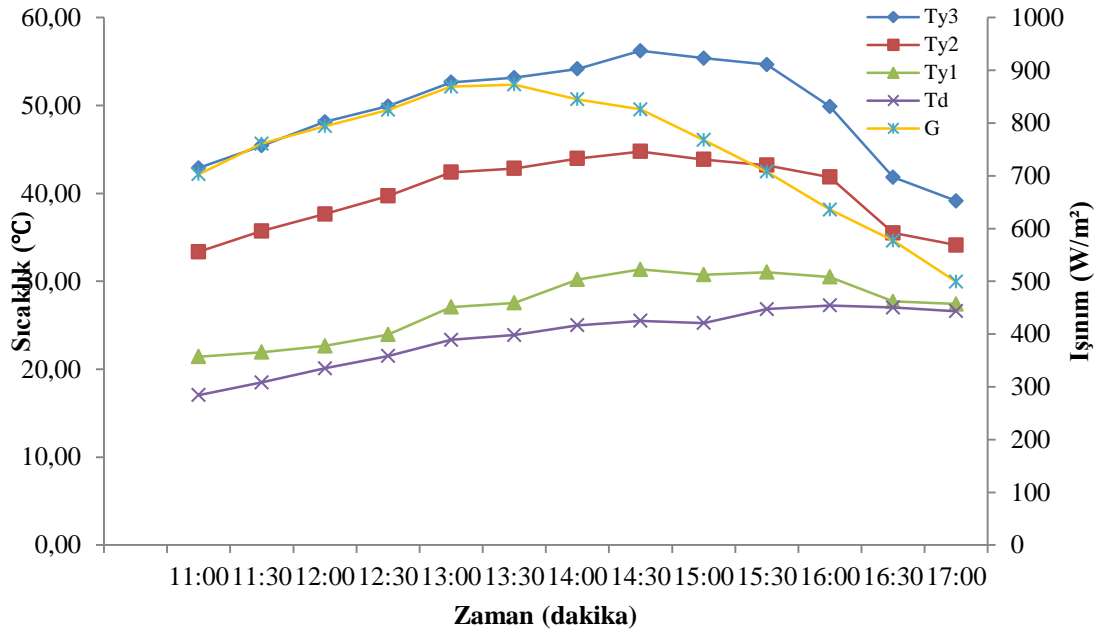
Deneyle 2019 yılının eylül ayında dört farklı günde yapılmıştır. Zaman dilimi olarak; 11:00-17:00 saatleri arasında ölçümler alınmış ve kaydedilmiştir. Deneylein saat 11'de başlanıp 17'de bitirilmesinin sebebi deney yerinin gölgeleme faktöründen kaynaklanmıştır. Ölçülen güneş ışınım değeri 300 W/m^2 'nin altına düştüğünde alınan veriler sağlıklı olmamaktadır. Bu nedenle ölçüm zamanı bu aralıkta belirlenmiştir. Karşılaştırılmalı olarak eşit şartlarda ve zamanda kıyaslanan YP, SRP ve SKP'lerden ölçülerek alınan sıcaklık, akım, gerilim ve güç değeri verileri kaydedilmiştir. Bu veriler, eşitlikler (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5) kullanılarak her soğutulan bir PV panel için elektriksel verim ve termal güç kazanımları hesaplanmıştır. Daha sonra YP için elektriksel; SRP, SKP için elektriksel, termal güçleri ve toplam verim hesaplamaları yapılarak sonuçlar grafikler şeklinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Deneyle sisteminden dört farklı günde alınan zaman ve ışınım değerine bağlı olarak ölçülen panel arka yüzey sıcaklıkları, şekil (4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4)'te karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. En yüksek ışınım değeri ortalama olarak birinci günde (821 W/m^2) saat 13:00'de, ikinci günde (873 W/m^2) 13:30'da, üçüncü günde (899 W/m^2) saat 13:00'de ve dördüncü günde (840 W/m^2) saat 13:00'te ölçülmüştür. Bu zaman dilimlerinde ve ışınım değerlerinde ölçülen ortalama panel arka yüzey sıcaklıkları da gün sırası ile birinci günde; YP'de $49,7 \text{ }^\circ\text{C}$, SRP'de $40,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ve SKP'de $23,9 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak, ikinci günde; $53,1 \text{ }^\circ\text{C}$, SRP'de $42,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ve SKP'de $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak, üçüncü günde; YP'de $54,0 \text{ }^\circ\text{C}$, SRP'de $43,2$ ve SKP'de $26,9 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak ve dördüncü günde; YP'de $55,9 \text{ }^\circ\text{C}$, SRP'de $41,2 \text{ }^\circ\text{C}$, SKP'de $24,2 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur. Işınım değeri tüm günlerde, deney yeri gölgeleme faktörüne de bağlı olarak ölçüm yapılan noktada yaklaşık olarak, saat 17:00'den sonra hızla 300 W/m^2 değerinin altına düşmektedir.



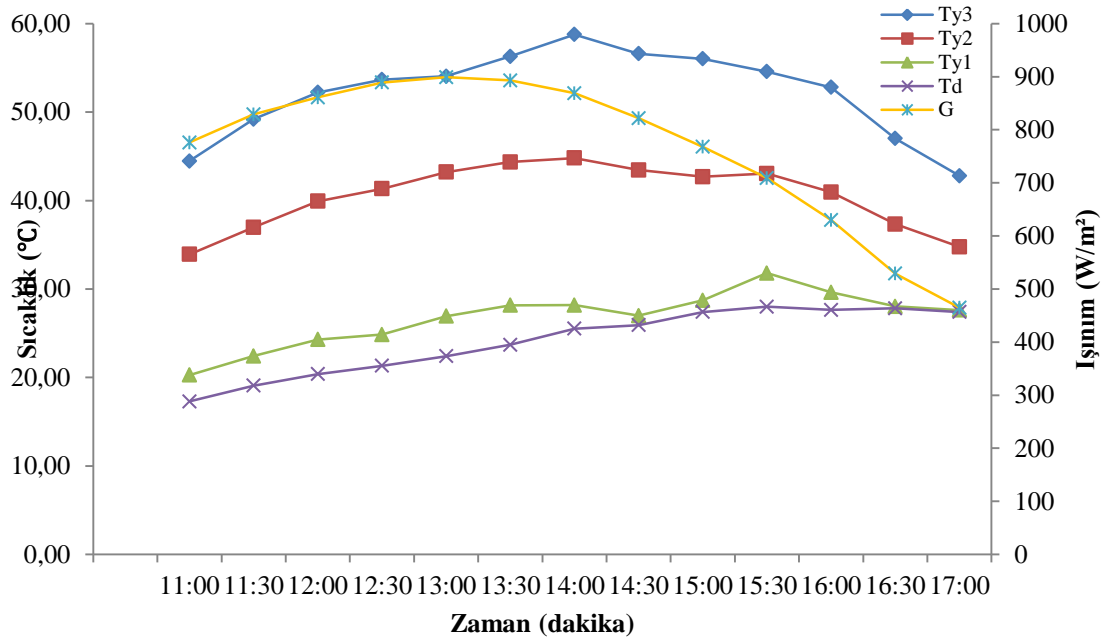
Şekil 4.1. (I. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin arka yüzey sıcaklıkları.

Deney sisteminden dört farklı günde alınan verilerden zaman ve ışınım değerine bağlı olarak ölçülen panel arka yüzey sıcaklıkları, birinci günü 4.1’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Panel arka yüzey sıcaklıkları incelendiğinde en yüksek ışınım değerinde (821 W/m²) öğlen saat 13:00’te ölçülmüş olup, bu değerde YP’nin arka yüzey sıcaklığı 49,7 °C, SRP’nin arka yüzey sıcaklığı 40,4 °C ve SKP’nin arka yüzey sıcaklığı ise, 23,9 °C olarak bulunmuştur. Deney sistemi üzerinde zamana bağlı ışınım değeri, 300 W/m² nin altına saat 17:00’den sonra düşmüştür.



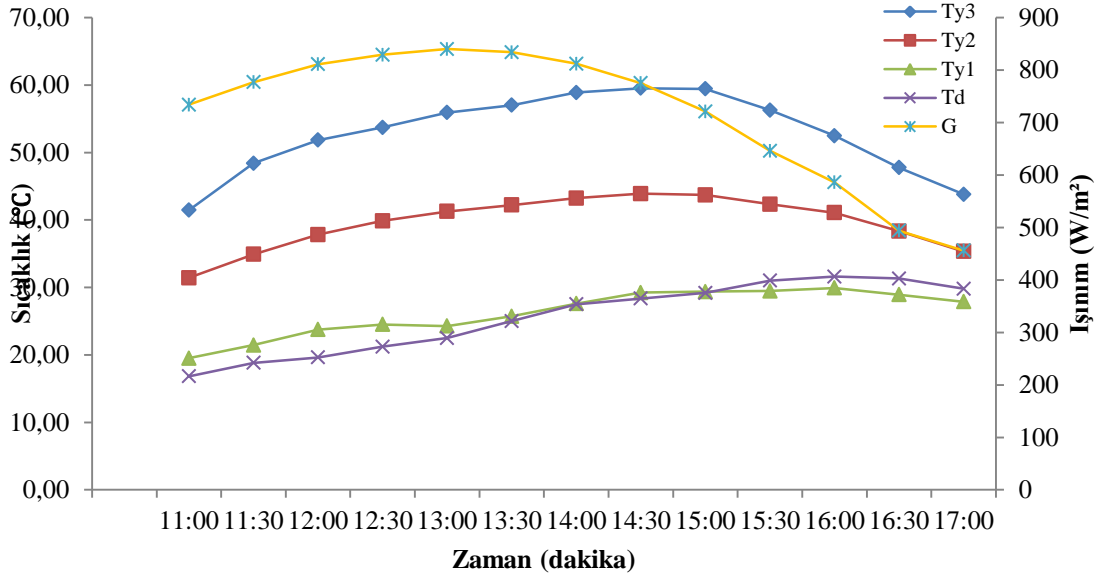
Şekil 4.2. (II. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin arka yüzey sıcaklıkları.

Zaman ve ışınım değerine bağlı ikinci günü panel arka yüzey sıcaklıkları incelendiğinde; en yüksek ışınım değerinde (873 W/m^2) öğlen saat 13:30'da ölçülmüş olup, bu değerde YP'nin arka yüzey sıcaklığı $53,1 \text{ }^\circ\text{C}$, SRP'nin arka yüzey sıcaklığı $42,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ve SKP'nin arka yüzey sıcaklığı ise, $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur. Panel arka yüzey sıcaklıkları ikinci günü 4.2'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Deney sistemi üzerinde zamana bağlı ışınım değeri, 300 W/m^2 nin altına saat 17:00'den sonra düşmüştür.



Şekil 4.3. (III. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin arka yüzey sıcaklıkları.

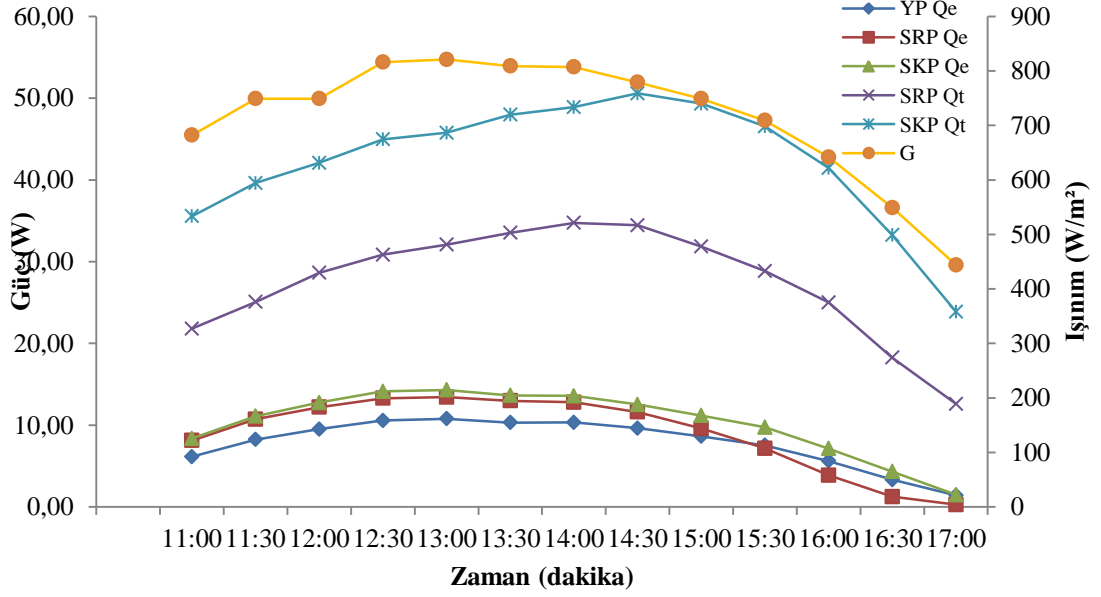
Zaman ve ışınım değerine bağlı üçüncü günü panel arka yüzey sıcaklıkları incelendiğinde; en yüksek ışınım değerinde (899 W/m²) öğlen saat 13:00'te ölçülmüş olup, bu değerde YP'nin arka yüzey sıcaklığı 54,0 °C, SRP'nin arka yüzey sıcaklığı 43,2 °C ve SKP'nin arka yüzey sıcaklığı ise, 26,9 °C olarak bulunmuştur. Panel arka yüzey sıcaklıkları ikinci günü 4.3'te karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Deney sistemi üzerinde zamana bağlı ışınım değeri, 300 W/m² nin altına saat 17:00'den sonra düşmüştür.



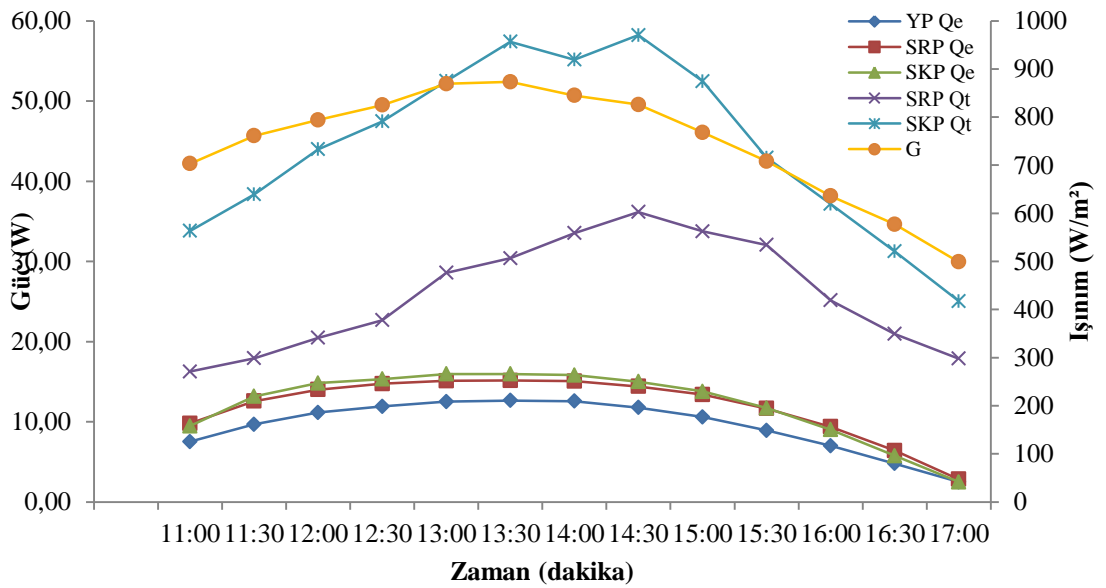
Şekil 4.4. (IV. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin arka yüzey sıcaklıkları.

Dört günlük deney sonuçları incelendiğinde, en yüksek ışınım değerleri (G) en yüksek öğlen (13:00-13:30) saatlerinde, yaklaşık 800 ila 900 W/m² arasında ölçülmüştür. Dış ortam sıcaklıkları (T_d) ise; en yüksek saat 14:00-16:30'da yaklaşık 27-31,6 °C arasında değişmektedir. Teorik olarak ışınım değerlerinin en yüksek olduğu zamanda (13:00-13:30) panellerin arka yüzey sıcaklıklarında en yüksek değerlerinde olması düşünülür. Ancak ısıl atalet yüzünden panel arka yüzey sıcaklıkları YP ve SRP panellerde en yüksek 14:00-14:30 saatleri arasında gerçekleşirken SKP de 15:30-16:30 saatleri arasında gerçekleşmektedir. Bu zaman dilimlerinde YP arka yüzey sıcaklığı maksimum 59,5 °C'ye kadar çıkarken, SRP'nin sıcaklığı maksimum 45 °C'yi geçmemektedir. SKP'nin arka yüzey sıcaklığı ise; en yüksek (3. Gün) saat 15:30'da maksimum 31,79 °C'ye kadar yükselmiştir. YP'nin arka yüzey sıcaklığı (Ty₃) ile SRP'nin arka yüzey sıcaklığı (Ty₂) arasında 14-15 °C fark oluşurken, SKP'nin arka yüzey sıcaklığı (Ty₁) arasında fark 27-28 °C'ye kadar çıkabilmektedir. SKP'nin arka yüzey sıcaklığı neredeyse tüm gün deneylerinde dış ortam sıcaklığının (T_d), maksimum olduğu zamanlarda bu sıcaklık değerinin altına düşmektedir. Bunun sebebi şebeke suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları ile ilgili olarak değerlendirilebilir. Dört farklı günde ve tüm zaman dilimlerinde YP, SRP ve SKP'nin sıcaklık değişimleri ve aralarında gerçekleşen fark değerleri şekil (4.1, 4.2, 4.3, 4.4)'te karşılaştırılmalı görülmektedir.

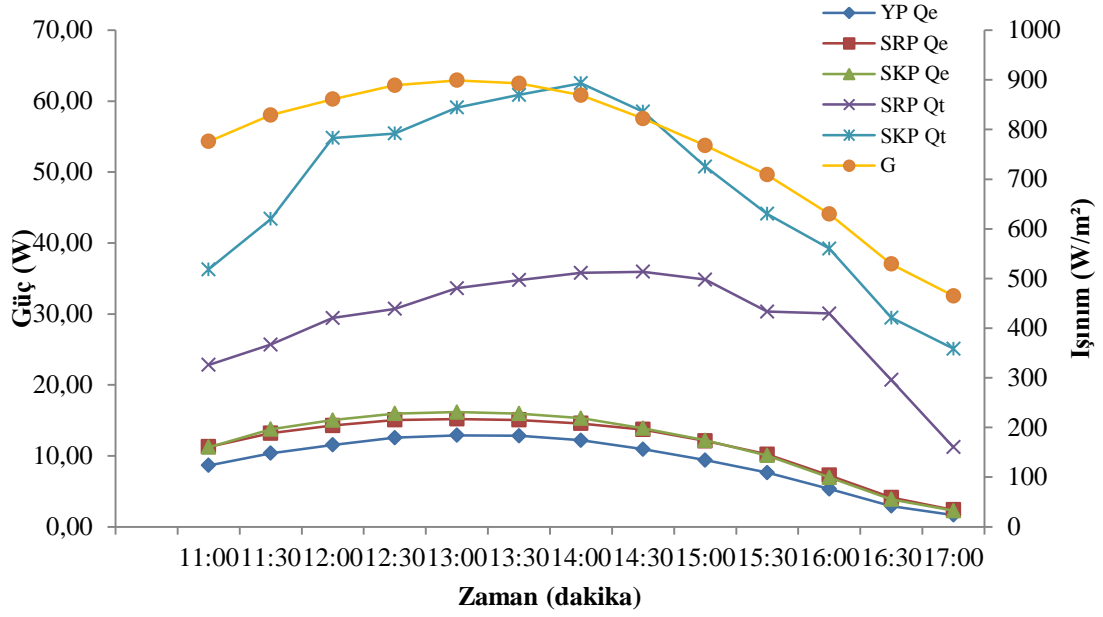
Farklı günlerde yapılan deneylerde, zamana göre YP, SRP ve SKP'lerden okunan ışınım, gerilim ve akım değerleri kullanılarak eşitlik (3.1)'den elektriksel güçler, eşitlik (3.3) yardımı ile de termal güçler hesaplanmıştır. İlgili zaman diliminde ve ışınım değerlerinde hesaplanan bu değerler karşılaştırılmalı olarak şekil (4.5, 4.6, 4.7, ve 4.8)'de verilmiştir.



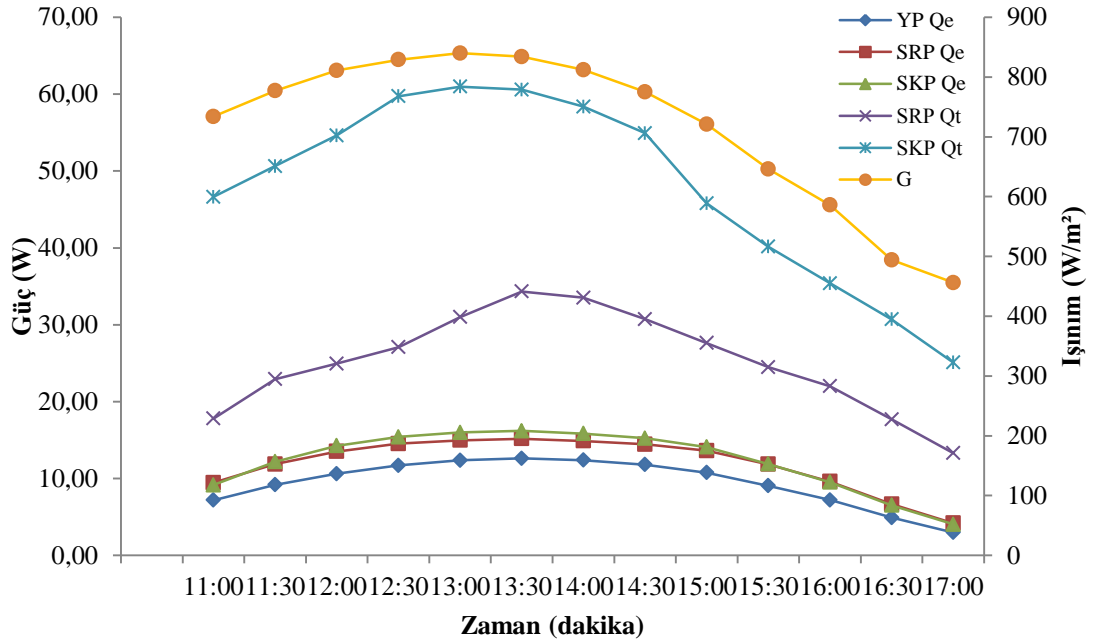
Şekil 4.5. (I. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.



Şekil 4.6. (II. Gün) ışınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.



Şekil 4.7. (III. Gün) ışınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.

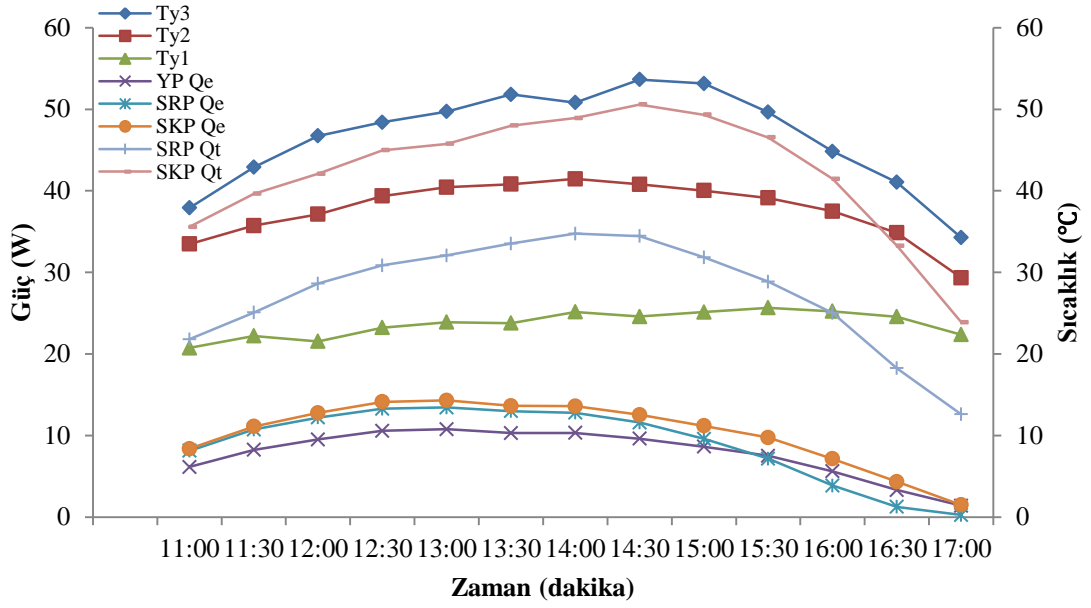


Şekil 4.8. (IV. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri.

Zaman ve ışınımına bağlı panellerden birinci günde elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri en yüksek ışınım değerinde (821 W/m²), öğlen saat 13:00'te ölçülmüş olup, bu değerde; YP'nin elektriksel gücü 10,7 W, SRP'nin elektrisel gücü; 13,4 W,

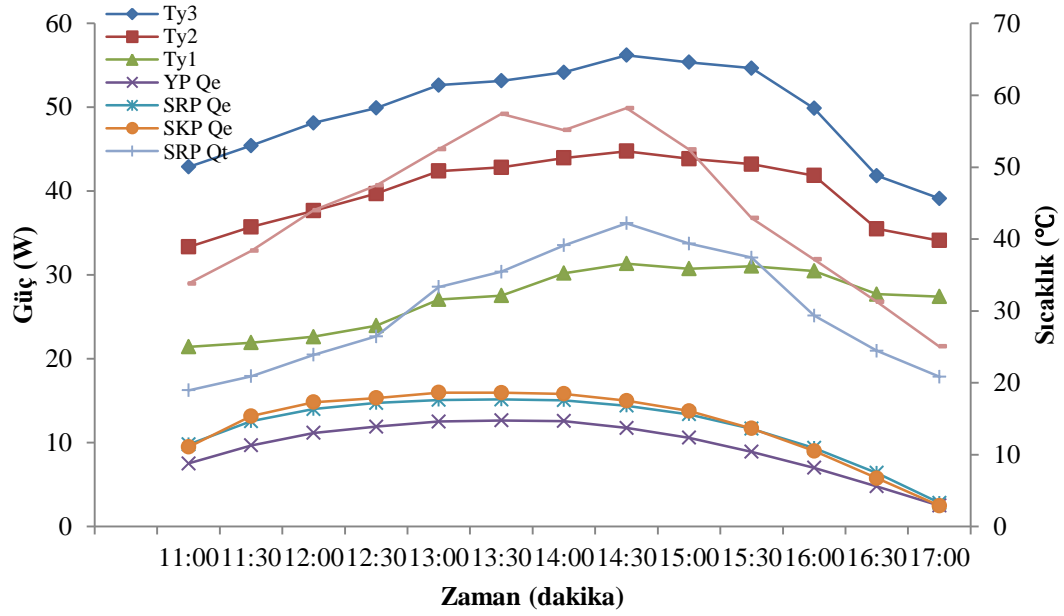
termal gücü 32,0 W ve SKP'nin elektriksel gücü ise, 14,3 W, termal gücü 45,7 W olarak bulunmuştur. İkinci günde ışıınım değeri saat 13:30'da (873 W/m²) ölçülmüş olup, bu değerde; YP'nin elektriksel gücü 12,6 W, SRP'nin elektriksel gücü 15,1 W, termal gücü 30,3 W ve SKP'nin elektriksel gücü ise 15,9 W, termal gücü 57,4 W olarak bulunmuştur. Üçüncü günde en yüksek ışıınım değeri saat 13:00'te (899 W/m²) ölçülmüş olup, bu değerde; YP'nin elektriksel gücü 12,8 W, SRP'nin elektriksel gücü 15,2 W, termal gücü 33,6 W ve SKP'nin elektriksel gücü ise 16,1 W, termal gücü 59,1 W olarak bulunmuştur. Dördüncü günde en yüksek ışıınım değeri öğlen saat 13:00'te (840 W/m²) ölçülmüştür. Bu değerde; YP'nin elektriksel gücü 12,3 W, SRP'nin elektriksel gücü 14,9 W, termal gücü 30,9 W ve SKP'nin elektriksel gücü ise 15,9 W, termal gücü 60,9 W olarak bulunmuştur. Bu günlerde en yüksek ışıınım değerlerinde YP'ye göre elektriksel güç artışı sırası ile SRP ve SKP de birinci günde; 2,7 W-3,6 W, ikinci günde; 2,5 W-3,3 W, üçüncü günde; 2,4 W-3,3 W, dördüncü gününde; 2,6-3,6 W olarak bulunmuştur. Elektriksel güç artışı, birinci günde en yüksek ışıınım değerinde; YP ile mukayese edildiğinde oransal olarak, SRP'de en yüksek % 24,7 SKP'de ise % 32,7 olarak gerçekleşmiştir. SKP'den elde edilen termal güç SRP'den daha yüksek olmaktadır.

Sistemlerde; arka yüzey sıcaklığının elektriksel güce etkilerini ve bu sıcaklıklarda elde edilebilecek termal güçlerin mukayese edilebilmesi için, deney yapılan tüm günlerde aynı ışıınım değerlerinde, zamana ve arka yüzey sıcaklıklarına bağlı güç değerleri karşılaştırılmalı olarak şekil (4.9, 4.10, 4.11, 4.12)'de verilmiştir.



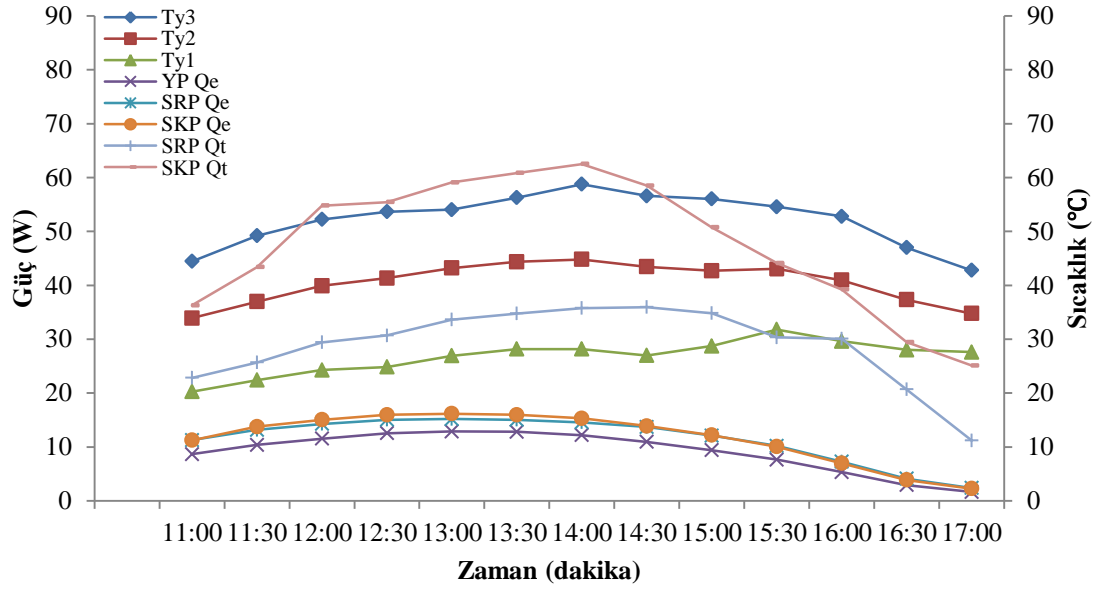
Şekil 4.9. (I. Gün) zamana bağlı olarak PV panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri.

Zamana ve arka yüzey sıcaklıklarına bağlı birinci günde; öğlen saat 13:00'te, YP'nin arka yüzey sıcaklığı 49,7 °C SRP'nin arka yüzey sıcaklığı 40,4 °C ve SKP'nin arka yüzey sıcaklığı ise, 23,9 °C olarak bulunmuştur. Panellerden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri incelendiğinde ise; YP'nin elektriksel gücü 10,7 W, SRP'nin elektriksel gücü 13,4 W, termal gücü 32,0 W ve SKP'nin elektriksel gücü ise 14,3 W, termal gücü 45,7 W'tır. YP'nin en yüksek sıcaklığı saat 14:30'da 53,6 °C, SRP'nin saat 14:00'te 41,4 °C, SKP'nin ise, saat 15:30'da 25,6 °C olarak bulunmuştur. Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Arka yüzey sıcaklıklarının soğutulan panellerde (SRP ve SKP) farklı zaman dilimlerinde maksimum değerlere ulaşmasının sebebi uygulanan yöntemle ilgilidir.



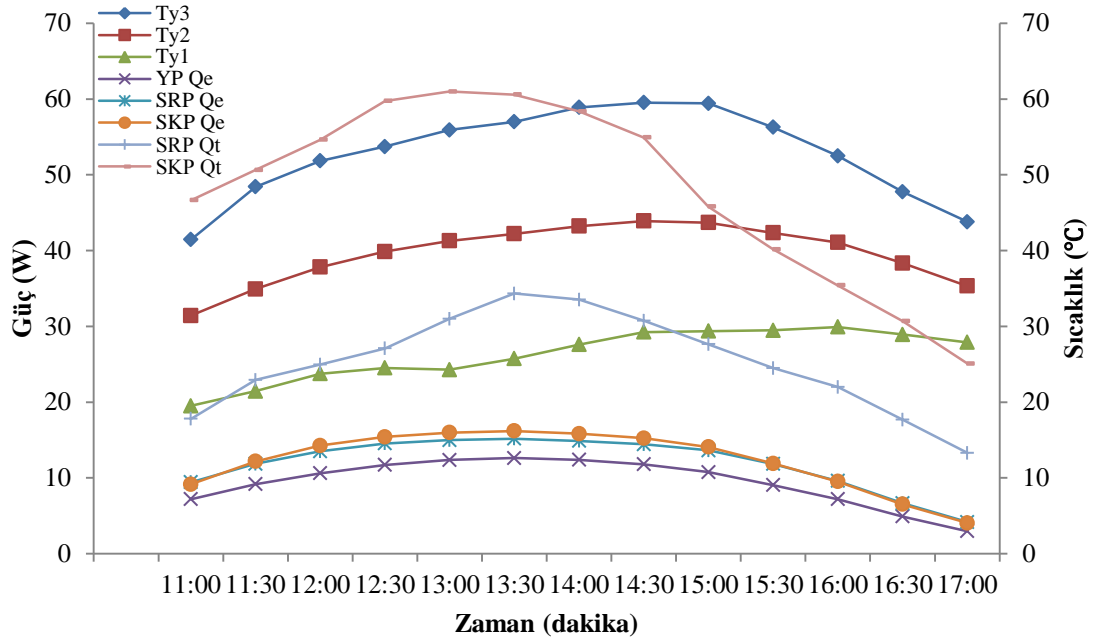
Şekil 4.10. (II. Gün) Zamana bağlı olarak PV panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri.

Zamana ve arka yüzey sıcaklıklarına bağlı ikinci günde; öğlen saat 13:30'da, YP'nin arka yüzey sıcaklığı 53,1 °C, SRP'nin arka yüzey sıcaklığı 42,8 °C ve SKP'nin arka yüzey sıcaklığı ise, 27,5 °C'dir. Panelden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri incelendiğinde ise; YP'nin elektriksel gücü 12,6 W, SRP'nin elektriksel gücü 15,1 W, termal gücü 30,3 W ve SKP'nin elektriksel gücü 15,9 W, termal gücü 57,4 W'tır. YP'nin en yüksek arka yüzey sıcaklığı saat 14:30'da 56,2 °C, SRP'nin 44,7 °C, SKP'nin ise, 31,3 °C olarak bulunmuştur. Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.11.(III. Gün) Zamana bağlı olarak PV panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri.

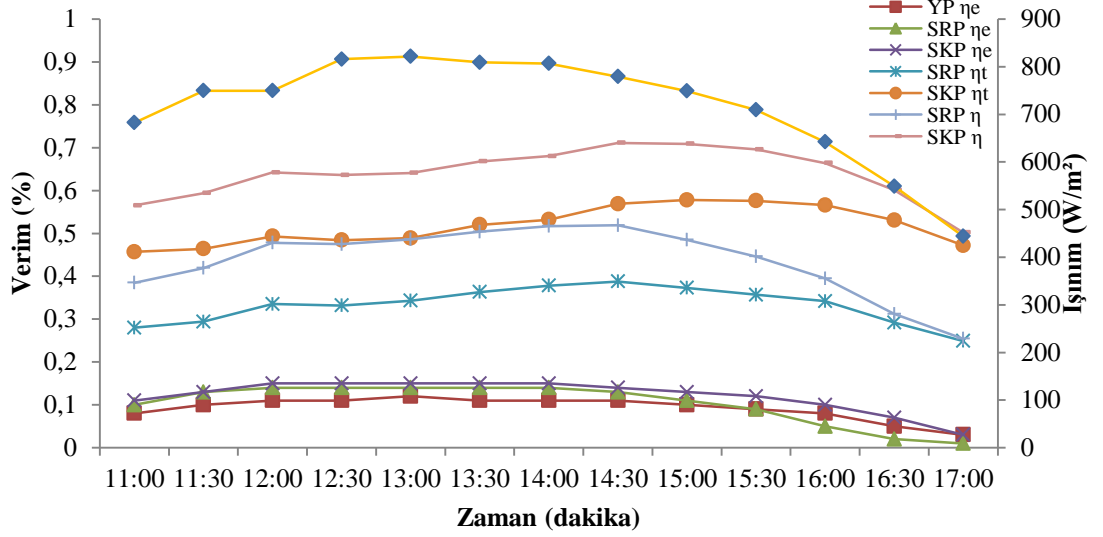
Zamana ve arka yüzey sıcaklıklarına bağlı üçüncü günde; öğlen saat 13:00'te, YP'nin arka yüzey sıcaklığı 54,0 °C, SRP'nin arka yüzey sıcaklığı 43,2 °C ve SKP'nin arka yüzey sıcaklığı ise, 26,9 °C'dir. Panelden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri incelendiğinde ise; YP'nin elektriksel gücü 12,8 W, SRP'nin elektriksel gücü 15,2 W, termal gücü 33,6 W ve SKP'nin elektriksel gücü 16,1 W, termal gücü 59,1 W'tır. YP'nin en yüksek arka yüzey sıcaklığı saat 14:00'te 58,7 °C, SRP'nin saat 14:00'te 44,8 °C, SKP'nin ise, saat 15:30'da 31,7 °C olarak bulunmuştur. Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



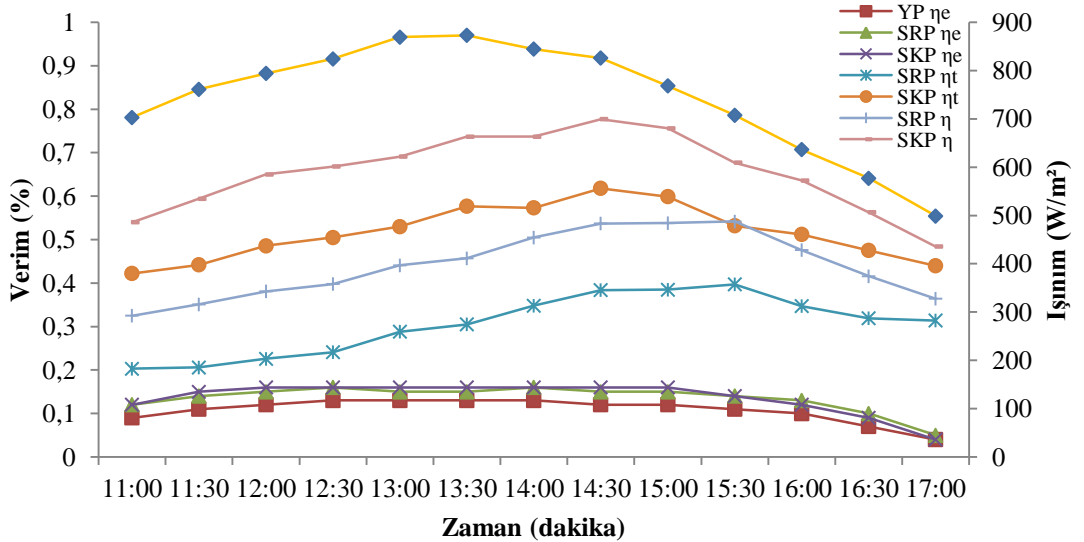
Şekil 4.12. (IV. Gün) Zamana bağlı olarak PV panel arka yüzey sıcaklıklarının değişimi ve panellerden elde edilen elektriksel-termal güç değerleri.

Zamana ve arka yüzey sıcaklıklarına bağlı dördüncü günde; öğlen saat 13:00'te, YP'nin arka yüzey sıcaklığı 55,9 °C, SRP'nin arka yüzey sıcaklığı 41,2 °C ve SKP'nin arka yüzey sıcaklığı ise 24,2 °C'dir. Panelden elde edilen elektriksel ve termal güç değerleri incelendiğinde ise; YP'nin elektriksel gücü 12,3 W, SRP'nin elektrisel gücü 14,9 W, termal gücü 30,9 W ve SKP'nin elektriksel gücü 15,9 W, termal gücü 60,9 W'tır. YP'nin en yüksek arka yüzey sıcaklığı saat 14:30'da 59,5 °C, SRP'nin saat 14:30'da 43,9 °C, SKP'nin ise, saat 16:00'da 29,9 °C olarak bulunmuştur. Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

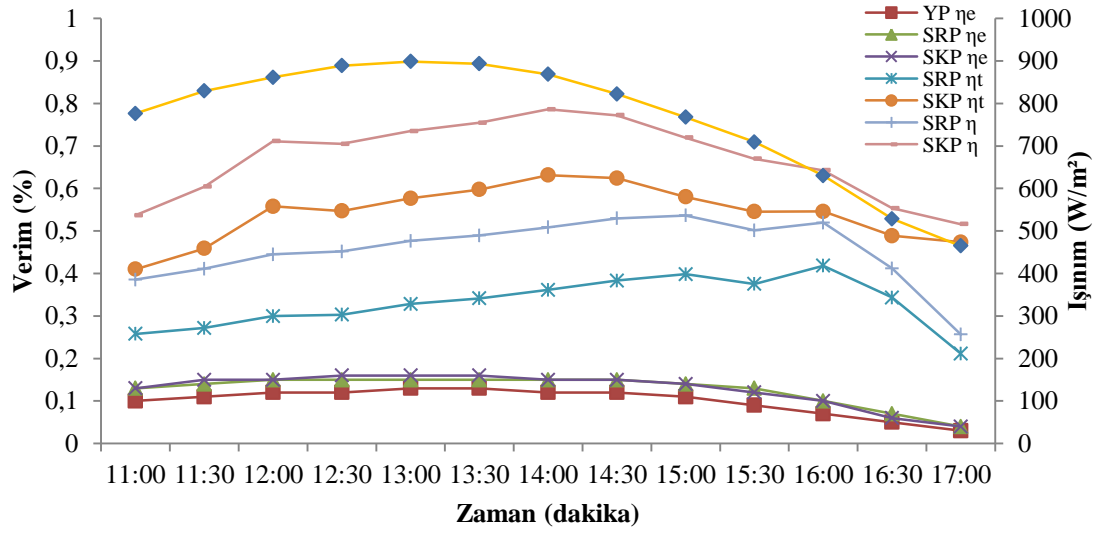
Sistemlerde deney verilerinden hesaplanan elektriksel ve termal güç değerleri kullanılarak eşitlik (3.1, 3.2, 3.4, 3.5) yardımı ile tüm gün deney verileri için elektriksel, termal ve toplam verim değerleri bulunmuştur. Dört gün için hesaplanan bu değerlerin ışınım ve zamana göre değişimleri karşılaştırılmalı olarak şekil (4.13, 4.14, 4.15, 4.16)'da verilmiştir.



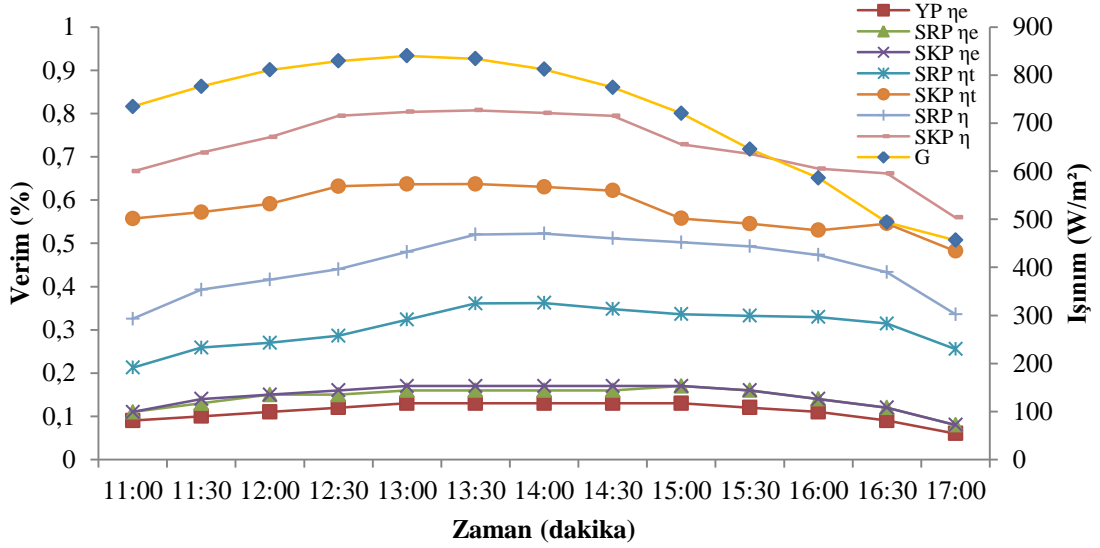
Şekil 4.13. (I. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri.



Şekil 4.14. (II. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri.



Şekil 4.15. (III. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri.



Şekil 4.16. (IV. Gün) Işınım ve zamana bağlı olarak PV panellerin elektriksel ve termal verim değerleri.

Zaman ve ışınımına bağlı birinci günün elektriksel, termal ve toplam verim değerleri incelendiğinde; en yüksek ışınım değerinde (821 W/m²) öğlen saat 13:00'te, YP'nin elektriksel verimi % 12 SRP'nin elektriksel verimi % 14, termal verimi % 34, toplam verimi % 49, SKP'nin elektriksel verimi % 15 termal verimi % 49, toplam verimi % 64 olarak bulunmuştur. Her üç panel içinde elektriksel verim değerleri en yüksek ışınımın olduğu öğlen saatlerinde gerçekleşmektedir. Termal verim değerleri ise;

SRP için en yüksek saat 14:30'da % 39, SKP için 15:00-15:30'da % 58'dir. Dolayısı ile toplam verim değerleride en yüksek bu zaman dilimlerinde gerçekleşmektedir. SRP'nin elektriksel verim değeri 16:00 ile 17:00 saatleri arasında YP'den düşüktür. Bunun nedeni olarak; ışınım değerlerinin düşmeye başladığı bu zaman dilimlerinde, SRP'nin üzerine düşen gölge ile açıklanabilir. Zira termal ve toplam verim değerlerindeki değişim SKP ile paralel değişmektedir. Bunun sadece birinci gün deneylerinde gerçekleştiği, diğer günlerde normale döndüğü görülmektedir. Şekil 4.13'te görülmektedir. Diğer günlere ait veriler incelendiğinde; tüm paneller için (YP, SRP, SKP) en yüksek elektriksel verim değerlerinin ışınımın en yüksek olduğu öğlen saatlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Termal ve toplam verimde ise, SRP ve SKP için ışınım değeri düşerken, termal verim atalete bağlı ısınan panellerin hala soğutma akışkanına ısı transferinden dolayı öğleden sonraki saatlere kaydığı görülmektedir. Şekil 4.13,4.14, 4.15, 4.16' da görülmektedir.

Panel arka yüzey sıcaklığının, panellerin verim değerlerine etkisi incelendiğinde; en önemli parametre elektriksel verimdeki iyileşme olarak değerlendirilebilir. Bunun yanında elde edilebilecek termal kazanım ise, sistemlerin toplam verimliliğini yükseltmektedir. Deney verileri bu açıdan değerlendirildiğinde; dördüncü günde en yüksek ışınım değerinde (840 W/m²), panellerden elde edilen en yüksek elektriksel verim değerleri YP için % 13, SRP için % 16 ve SKP için % 17 olarak bulunmuştur. SRP ve SKP için elde edilen en yüksek termal verim değerleri ise yine aynı günde, SRP için % 32, SKP için ise % 63 olarak bulunmuştur. Termal verimliliğin SKP için daha yüksek çıkmasının nedeni, kanallı soğutucuda akışkanın panel arkası ile direkt temasından dolayıdır. Panel arka yüzey sıcaklıklarına bakıldığında en düşük sıcaklıkların SKP'de gerçekleştiği, buna bağlı olarak elektriksel, termal ve toplam verim değerlerinin SKP'den elde edildiği görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; 20 W'lık polikristal yalın PV panel arkalarına bakır borudan yapılmış serpantin ve poliamid malzemedden yapılmış su kanalı ile soğutma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Panel arka yüzey sıcaklıklarının düşürülmesi ve sabit tutularak panellerin elektriksel ve termal verimliliğin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak deney sistemi kurulmuş olup, üç farklı PV panel (YP, SRP ve SKP) birbirleriyle mukayese edilmiştir. Deneyler Karabük Üniversitesinde, 2019 yılı eylül ayında dört farklı günde, 11:00-17:00 saatleri arasındagerçekleştirilmiştir. Bu günlerde ve deney süreleri içindegüneş ışınım değerleri en düşük ve en yüksek olarak; 444-899 W/m², dış ortam sıcaklığının 16,5-31,6 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. Dörtfarklı günde 10'ar dakika ara ile ölçülen sistemde; güneş ışınımı, gerilim, akım ve sıcaklık değerlerinin 30'ar dakikalık ortalamaları alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yine bu değerler kullanılarak parametrelerin birbirleri ile mukayese edilebilmeleri için grafikler oluşturulmuştur.

Deneyler incelendiğinde; en yüksek panel arka yüzey sıcaklıklarının dördüncü gününde, 775 W/m² ışınım değerinde saat 14:30'da YP'de 59,53 °C, SRP'de 43,90 °C ve SKP'de 29,23 °C olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık değerlerinde her bir panelin ürettiği elektriksel güç ve verim değerleri sırası ile YP'de 11,80 W, % 13; SRP'de 14,44 W, % 16 ve SKP'de ise, 15,23 W, % 17 değerleri elde edilmiştir. Tüm günlere ait deney verileri incelendiğinde, ışınım ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak YP ile SRP ve SKP'nin elektriksel verim farklılığı % 5 - % 6 arasında değişim göstermektedir. SRP ile SKP'nin elektriksel verim farklılığı ise, % 1 - % 2 arasında değişmektedir. Termal verimlilik açısından değerlendirildiğinde SKP'nin verim değerleri SRP'ye göre daha yüksektir.

Sonuç olarak; fotovoltaik panellerin arka yüzeylerinin soğutularak sıcaklıklarının düşürülmesinin elektriksel verimi artırdığı görülmektedir. Ayrıca soğutma işleminden de termal kazanım elde edilebileceği görülmüştür. Bu termal kazanım değerleri termal verimlilik açısından çok yüksek değerler olarak görülebilir. Ancak ekserjik değildir. Panellerin çıkış suyu sıcaklıkları kullanılabilirlik açısından değerlendirildiğinde çok düşüktür. Bunu yükseltmek istediğimizde ise, panel sıcaklığı artar.

Öneri olarak; optimum bir sıcaklık noktasının belirlenmesine deneysel çalışmalar yapılabilir. Hem elektriksel verim yükseltilirken hem de elde edilen termal kazanım ile mahal ısıtma sistemlerinde ön ısıtma uygulamaları yapılabilir. Düşük sıcaklıklı kurutma fırınlarında ve ısı pompasında sıcak kaynak olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Joshi, S. S., Dhoble, A. S., “Photovoltaic-Thermal systems (PVT): Technology review and future trends”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92: 848-882 (2018).
2. Ceylan, İ., Yılmaz, S., İnanç, Ö., Ergün, A., “Determination of the heat transfer coefficient of pv panels”, *Energy* 175: 978-985 (2019).
3. Siahkamaria, L., Rahimia, M., Azimib, N., Banibayata, M., “Experimental investigation on using anovel phase change material (PCM) in micro structure photovoltaic cooling system”, *International Commications in Heat and Mass Transfer* 100: 60-66 (2019).
4. Zhang, Y., Liu, Z., Wu, Z., Zhang, L., Luo, Y., “Numerical evaluation on energy saving potential of the photovoltaic fresh air preheating system in different climate regions of China”, *Applied Thermal Engeneering*, 154: 407-418 (2019).
5. Teo, H. G., Lee, P. S., Hawlader, M. N. A., “An active cooling system for photovoltaic modules”, *Applied Energy* 90.1: 309-315 (2012).
6. Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P., Rehman, S., “Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions”, *Energy* 59: 445-453 (2013).
7. Zuhur, S., Ceylan, İ., Ergün, A., “Energy, exergy and environmental impact analysis of concentrated PV/cooling system in Turkey”, *Solar Energy* 180: 567-574 (2019).
8. Karaca, C., “Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sistemi Tasarımı” Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 3-6,119 (2012).
9. Baş, H. C., “Fotovoltaik Sistemlerin Performans Değerlendirmesi” Bitirme Tezi, *Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü*, Karabük,4-5,14,48 (2016).
10. Duran, F., “Pv/t Hibrit Sistemlerin Termodinamik ve Performans Analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-2,17 (2014).
11. Seymen, S, S., Açıkgöz, G., Tunçbilek, İ., “Akıllı Enerji Sistemi” Bitirme Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Trabzon, 10 (2013).

12. Özkılıç Keleş, C., “Türkiyede Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 33,57-58 (2008).
13. İnternet: PV Hücre, modül ve dizi tasarımları, <http://www.google.com/pvhucre-modul-dizi-tasarimlari/goseller> (2019)
14. Köprü, M. A., “Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 11-13,25 (2016).
15. Ceylan, İ., Gürel, A. E., “Güneş Enerjisi Sistemleri Tasarımı Kitabı” *Dora Yayıncılık*, Bursa 74-78 (2017).
16. Turhan, S., Çetiner, İ., “Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi” **6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu**, Bursa (2012).
17. İnternet: A) Karabük İli Çevresel Durum Değerlendirilmesi 1. Bölüm, “Karabük, Zonguldak, Bartın İlleri Çevresel Durum Değerlendirilmesi”, http://www.bakka.gov.tr/assets/raporlar/Karabuk_Zonguldak_Bartın_Illeri_Cevresel_Durum_Degerlendirilmesi_954463.pdf3-4,7 (2012)
18. Şevik, S., “İl Bazında Enerji Dengesi Analizi: Karabük Örneği” Fen Bilimleri Dergisi, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 77-78 (2017).
19. İnternet: PV Hücresinin İç Yapısı, <http://www.google.com/pvhucesininic yapisi/gorseller> (2019)
20. İnternet: Pico Technology, “Genel Ürün Sitesi” <http://www.picotech.com/data-logger/tc-08/thermocouple/data-logger> (2019)
21. İnternet: Tekniktest, “Genel Ürün Sitesi”, <http://www.tekniktest.com/urun/tes-1333r-solar-guc-olcer-rs232> (2019)

EK
AÇIKLAMALAR

EK-1 I. Günün ortalama sonuçları.

saat	G	YP Qe	SRP Qe	SKP Qe	SRP Qt	SKP Qt	YP ηe	SRP ηe	SKP ηe	SRP ηt	SKP ηt	SRP η	SKP η	Tg (1-2)	Tç2	Tç1	Td
11:00	682	6,15	8,13	8,38	21,81	35,57	0,08	0,10	0,11	0,28	0,46	0,39	0,57	18,07	21,21	23,19	16,56
11:30	749	8,24	10,74	11,11	25,08	39,63	0,1	0,13	0,13	0,29	0,46	0,42	0,59	18,80	22,41	24,50	18,15
12:00	749	9,53	12,20	12,78	28,64	42,08	0,11	0,14	0,15	0,34	0,49	0,48	0,64	19,34	23,46	25,39	19,15
12:30	816	10,59	13,29	14,13	30,86	44,97	0,11	0,14	0,15	0,33	0,48	0,48	0,64	20,19	24,63	26,66	20,77
13:00	821	10,78	13,44	14,31	32,08	45,76	0,12	0,14	0,15	0,34	0,49	0,49	0,64	20,84	25,46	27,43	21,89
13:30	809	10,31	12,99	13,65	33,53	47,98	0,11	0,14	0,15	0,36	0,52	0,50	0,67	21,12	25,95	28,03	23,10
14:00	807	10,33	12,80	13,60	34,76	48,90	0,11	0,14	0,15	0,38	0,53	0,52	0,68	21,55	26,55	28,59	24,31
14:30	779	9,63	11,61	12,54	34,46	50,58	0,11	0,13	0,14	0,39	0,57	0,52	0,71	21,91	26,87	29,18	25,54
15:00	749	8,64	9,60	11,19	31,85	49,33	0,1	0,11	0,13	0,37	0,58	0,49	0,71	22,15	26,73	29,25	26,42
15:30	709	7,53	7,18	9,76	28,86	46,55	0,09	0,09	0,12	0,36	0,58	0,45	0,70	22,93	27,08	29,62	27,44
16:00	642	5,62	3,88	7,15	25,02	41,46	0,08	0,05	0,10	0,34	0,57	0,40	0,66	21,97	25,57	27,94	27,56
16:30	549	3,33	1,27	4,34	18,26	33,26	0,05	0,02	0,07	0,29	0,53	0,31	0,60	21,25	23,88	26,04	27,23
17:00	444	1,41	0,27	1,50	12,61	23,89	0,03	0,01	0,03	0,25	0,47	0,25	0,50	20,33	22,15	23,77	25,92

EK-2 II. Günün ortalama sonuçları.

saat	G	YP Qe	SRP Qe	SKP Qe	SRP Qt	SKP Qt	YP ηe	SRP ηe	SKP ηe	SRP ηt	SKP ηt	SRP η	SKP η	Tg (1-2)	Tç2	Tç1	Td
11:00	703	7,52	9,79	9,48	16,25	33,8	0,09	0,12	0,12	0,20	0,42	0,33	0,54	18,39	20,72	23,25	17,06
11:30	761	9,68	12,56	13,17	17,91	38,36	0,11	0,14	0,15	0,21	0,44	0,35	0,59	19,38	21,95	24,90	18,49
12:00	794	11,16	14,01	14,82	20,48	43,99	0,12	0,15	0,16	0,23	0,49	0,38	0,65	20,47	23,42	26,80	20,10
12:30	825	11,91	14,74	15,33	22,67	47,45	0,13	0,16	0,16	0,24	0,51	0,40	0,67	21,73	24,99	28,56	21,50
13:00	869	12,52	15,10	15,97	28,58	52,49	0,13	0,15	0,16	0,29	0,53	0,44	0,69	23,54	27,65	31,09	23,34
13:30	873	12,65	15,15	15,96	30,38	57,41	0,13	0,15	0,16	0,31	0,58	0,46	0,74	24,21	28,58	32,47	23,89
14:00	845	12,58	15,07	15,82	33,53	55,16	0,13	0,16	0,16	0,35	0,57	0,51	0,74	25,90	30,73	33,84	25,00
14:30	826	11,76	14,41	15,00	36,16	58,21	0,12	0,15	0,16	0,38	0,62	0,54	0,78	26,86	32,07	35,24	25,51
15:00	768	10,58	13,38	13,79	33,74	52,47	0,12	0,15	0,16	0,39	0,60	0,54	0,76	26,23	31,09	33,78	25,26
15:30	708	8,91	11,66	11,70	32,06	42,92	0,11	0,14	0,14	0,40	0,53	0,54	0,68	25,73	30,35	31,91	26,84
16:00	636	7,00	9,37	9,01	25,15	37,16	0,1	0,13	0,12	0,35	0,51	0,48	0,64	25,41	29,03	30,76	27,26
16:30	577	4,78	6,40	5,77	20,96	31,26	0,07	0,10	0,09	0,32	0,48	0,42	0,56	24,82	27,83	29,32	27,02
17:00	499	2,49	2,82	2,49	17,87	25,04	0,04	0,05	0,04	0,31	0,44	0,36	0,48	23,79	26,36	27,39	26,61

EK-3 III. Günün ortalama sonuçları.

saat	G	YP Qe	SRP Qe	SKP Qe	SRP Qt	SKP Qt	YP ηe	SRP ηe	SKP ηe	SRP ηt	SKP ηt	SRP η	SKP η	Tg (1-2)	Tç2	Tç1	Td
11:00	776	8,66	11,28	11,24	22,82	36,28	0,1	0,13	0,13	0,26	0,41	0,39	0,54	18,27	21,56	23,49	17,29
11:30	829	10,37	13,18	13,76	25,69	43,39	0,11	0,14	0,15	0,27	0,46	0,41	0,60	19,95	23,65	26,19	19,08
12:00	861	11,54	14,28	15,05	29,43	54,80	0,12	0,15	0,15	0,30	0,56	0,45	0,71	21,25	25,48	29,13	20,38
12:30	889	12,56	15,05	15,96	30,71	55,44	0,12	0,15	0,16	0,30	0,55	0,45	0,70	21,82	26,24	29,79	21,33
13:00	899	12,89	15,20	16,17	33,64	59,10	0,13	0,15	0,16	0,33	0,58	0,48	0,73	23,74	28,58	32,24	22,42
13:30	893	12,83	15,06	15,98	34,78	60,87	0,13	0,15	0,16	0,34	0,60	0,49	0,75	24,72	29,72	33,48	23,70
14:00	869	12,21	14,57	15,32	35,79	62,52	0,12	0,15	0,15	0,36	0,63	0,51	0,79	25,74	30,89	34,74	25,52
14:30	822	10,94	13,71	13,89	35,95	58,51	0,12	0,15	0,15	0,38	0,62	0,53	0,77	26,14	31,32	34,56	25,91
15:00	768	9,39	12,10	12,20	34,84	50,77	0,11	0,14	0,14	0,40	0,58	0,54	0,72	26,70	31,72	34,01	27,40
15:30	709	7,64	10,22	10,05	30,34	44,12	0,09	0,13	0,12	0,38	0,55	0,50	0,67	28,83	33,20	35,18	28,00
16:00	630	5,35	7,25	6,96	30,07	39,23	0,07	0,10	0,10	0,42	0,55	0,52	0,64	29,45	33,78	35,09	27,63
16:30	529	2,92	4,12	3,89	20,71	29,47	0,05	0,07	0,06	0,34	0,49	0,41	0,55	27,04	30,02	31,28	27,82
17:00	465	1,66	2,39	2,26	11,22	25,11	0,03	0,04	0,04	0,21	0,47	0,26	0,52	25,92	27,54	29,54	27,39

EK-4 IV. Günün ortalama sonuçları.

saat	G	YP Qe	SRP Qe	SKP Qe	SRP Qt	SKP Qt	YP ηe	SRP ηe	SKP ηe	SRP ηt	SKP ηt	SRP η	SKP η	Tg (1-2)	Tç2	Tç1	Td
11:00	734	7,19	9,44	9,15	17,8	46,64	0,09	0,11	0,11	0,21	0,56	0,33	0,67	17,42	19,98	24,13	16,82
11:30	777	9,18	11,86	12,18	22,93	50,64	0,1	0,13	0,14	0,26	0,57	0,39	0,71	18,99	22,29	26,27	18,83
12:00	811	10,62	13,51	14,26	24,95	54,63	0,11	0,15	0,15	0,27	0,59	0,42	0,75	20,81	24,40	28,67	19,62
12:30	829	11,71	14,54	15,40	27,08	59,73	0,12	0,15	0,16	0,29	0,63	0,44	0,79	21,39	25,28	29,98	21,22
13:00	840	12,36	14,98	15,99	31	60,98	0,13	0,16	0,17	0,32	0,63	0,48	0,80	21,41	25,87	30,18	22,50
13:30	834	12,62	15,18	16,20	34,33	60,59	0,13	0,16	0,17	0,36	0,64	0,52	0,81	22,33	27,27	31,05	25,01
14:00	812	12,39	14,88	15,83	33,52	58,37	0,13	0,16	0,17	0,36	0,63	0,52	0,80	23,80	28,63	32,20	27,49
14:30	775	11,80	14,44	15,23	30,73	54,92	0,13	0,16	0,17	0,35	0,62	0,51	0,79	24,99	29,41	32,89	28,36
15:00	721	10,77	13,62	14,09	27,63	45,79	0,13	0,17	0,17	0,34	0,56	0,50	0,73	25,97	29,94	32,56	29,18
15:30	646	9,05	11,84	11,89	24,48	40,16	0,12	0,16	0,16	0,33	0,55	0,49	0,71	25,81	29,33	31,59	31,01
16:00	586	7,20	9,59	9,52	22	35,4	0,11	0,14	0,14	0,33	0,53	0,47	0,67	26,07	29,24	31,17	31,62
16:30	494	4,90	6,67	6,52	17,7	30,7	0,09	0,12	0,12	0,31	0,55	0,43	0,66	26,21	28,75	30,63	31,33
17:00	456	2,98	4,18	4,04	13,3	25,08	0,06	0,08	0,08	0,26	0,48	0,34	0,56	25,49	27,40	29,10	29,81

ÖZGEÇMİŞ

Özgür AKMAN 1980 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Üniversitesi Sıhhi Tesisat Öğretmenliği Bölümünü bitirdikten sonra, 2013 yılında Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. Halen Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde öğrenci olarak devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : İhsaniye Mh. Demet Sk. No: 7/3 Kozlu/ZONGULDAK

Tel : 0545 797 70 67

E-posta : ozgurakman67@gmail.com