T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK PANELLERDE SICAKLIĞIN ETKİSİ VE PANEL SICAKLIĞININ DÜŞÜRÜLMESİ İÇİN FARKLI SOĞUTMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

SERAY TÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi DİNÇER AKAL

EDİRNE-2022

SERAY TÜRK'ün hazırladığı "**FOTOVOLTAİK PANELLERDE SICAKLIĞIN ETKİSİ VE PANEL SICAKLIĞININ DÜŞÜRÜLMESİ İÇİN FARKLI SOĞUTMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri: İmza

Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL ……

Prof. Dr. Ayşegül CAN ……

Prof. Dr. Uğur AKYOL ……

Tez Savunma Tarihi: 05/ 09/ 2022

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

23/ 08/ 2022
Seray TÜRK
İmza

Yüksek Lisans Tezi

Fotovoltaik Panellerde Sıcaklığın Etkisi ve Panel Sıcaklığının Düşürülmesi için Farklı Soğutma Yöntemlerinin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak enerjiye olan ihtiyaç da her geçen gün artmaktadır. Artan enerji maliyetleri ve enerji için kullanılan fosil kaynaklar hem azalmakta hem de küresel ısınmaya neden olmaktadır. Enerji ihtiyacının çevresel ve ekonomik olarak karşılanabilmesi için alternatif kaynaklara yönelik çalışmalar oldukça önemlidir. Günümüz teknolojileri temelinde bu alternatif enerji kaynaklarının daha verimli ve ekonomik kullanımı hedef haline gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik panellerin verimini arttırmaktır. Literatürde bu konu ile ilgili birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen panel verimi halen istenilen düzeye çıkarılamamıştır. Fotovoltaik panellerin günümüz koşullarında verimliliği %20 civarındadır. Fotovoltaik paneller, standart test koşullarında 20°C sıcaklık ve 1000 W/m² radyasyonda maksimum verimle çalışır. Ancak ortam sıcaklığının artması ve enerji dönüşümü anında modül hücre sıcaklıklarının artması ile verim düşmeye başlar. Bu durum sonucunda fotovoltaik panellerin çıkış gücü de azalmaktadır. Bu çalışmada standart fotovoltaik panel üzerine uygulanan iki farklı pasif soğutma yöntemi ile enerji üretiminin arttırılması hedeflenmiştir. Deneylerin sonuçlarına bağlı olarak; Standart fotovoltaik panele göre toplam üç ay sonunda alüminyum kanatçıklı pasif soğutucu uygulaması ile yaklaşık olarak; %8,5 termoelektrik jeneratör uygulaması ile %8,4 daha fazla enerji elde edilmiştir.

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 150

Anahtar Kelimeler : Enerji, Fotovoltaik Panel, Sıcaklık, Soğutma, Verim

Master's Thesis

Effect of Temperature on Photovoltaic Panels and Investigation of Different Cooling Methods for Decrease of Panel Temperature

Trakya University Institute of Natural Sciences

Department of Machine Engineering

ABSTRACT

In parallel with the development of technology, the need for energy is increasing day by day. Increasing energy costs and fossil resources used for energy both decrease and cause global warming. In order to meet the energy need environmentally and economically, studies on alternative sources are very important. On the basis of today's technologies, more efficient and economical use of these alternative energy sources has become a target. The aim of this study is to increase the efficiency of photovoltaic panels used in electricity generation from solar energy. Although many studies have been done on this subject in the literature, the panel efficiency has still not been increased to the desired level. The efficiency of photovoltaic panels in today's conditions is around 20%. Photovoltaic panels operate with maximum efficiency at 20°C temperature and 1000 W/m² radiation under standard test conditions. However, with the increase in ambient temperature and the increase in module cell temperatures at the time of energy conversion, the efficiency begins to decrease. As a result of this situation, the output power of the photovoltaic panels decreases. In this study, it is aimed to increase the energy production with two different passive cooling methods applied on the standard photovoltaic panel. Depending on the results of the experiments; with the application of passive heatsink with aluminum fins, after a total of three months, when compared to the standard photovoltaic panel, approximately; with the thermoelectric generator application, 8,5% and 8,4% more energy was obtained.

Year : 2022

Number of Pages : 150

Keywords : Energy, Photovoltaic Panel, Temperature, Cooling, Efficiency.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada standart fotovoltaik panel üzerine uygulanan iki farklı pasif soğutma yöntemi ile yüksek sıcaklığın sebep olduğu kayıpların azaltıldığını ve enerji verimliliğinin önemini ortaya koyacağını düşünmekteyim. Yüksek lisans tezimle ile ilgili olarak bu zorlu sürecin başından bu yana bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Dinçer AKAL ve aileme teşekkürü bir borç bilirim. Yine bu tez sürecinde bana yapmış olduğu katkılarından dolayı Prof. Dr. Şaban AKTAŞ'a, Doç. Dr. Doğan ERYENER'e, Doç. Dr. İlhan UMUT'a, Dr. Öğretim Üyesi Muhammed Ozan AKI'ya, Dr. Öğretim Üyesi Hacer AKHAN'a ve Araştırma Görevlisi Enis Barış BULUT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET....iv
ABSTRACT....v
ÖNSÖZ....vi
İÇİNDEKİLER....vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ....xv
ÇİZELGELER DİZİNİ....xvii
ŞEKİLLER DİZİNİ....xix
BÖLÜM 1....1
GİRİŞ....1
1.1. Genel Durum....1
1.2. Amaç ve Özgünlük....2
BÖLÜM 2....4
KAYNAK ARAŞTIRMASI....4
BÖLÜM 3....7
GÜNEŞ ENERJİSİ....7
3.1. Güneşin Yapısı....7
3.2. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli....7
3.3. Güneş ışınımı ve dalga boyutu....9
3.4. Solar Sabiti....10
3.5. Solar Radyasyon Geometrisi....11
3.5.1. Deklinasyon Açısı....11
3.5.2. Güneş Saat açısı....12
3.5.3. Enlem açısı....12
3.5.4. Zenit açısı(θ)....12
3.5.5. Güneş Yükseklik Açısı....13
3.5.6. Azimut Açısı....14
BÖLÜM 4....15
FOTOVOLTAİK PANELLERİN YAPISI....15
4.1. Hücre Teknolojileri, Fotovoltaik Etki ve PV paneller....15

4.2. Silikon Güneş Hücreleri 19
4.2.1. Monokristal güneş panelleri 19
4.2.2.Polikristal güneş panelleri 19
4.2.3. Pasifleştirilmiş verici ve arka hücre (PERC) panelleri 20
4.2.4. İnce film güneş panelleri 20
4.2.5. Yeni nesil güneş panelleri 21
BÖLÜM 5 22
FOTOVOLTAİK PANELLERİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER 22
5.1. Güneş Panellerindeki Kayıplar 22
5.2. Sıcaklığın Verim Üzerindeki Etkisi 23
5.3. Dolgu Faktörü 24
BÖLÜM 6 26
TEORİK HESAPLAMALAR 26
6.1. Fotovoltaik Sistemlerin Termodinamik Analizi Kavramı 26
6.2. Ekserji Analizi Kavramı 26
6.2.1. Ekserji Değeri Hesaplamaları 28
6.2.2. Ekserji Analizi 30
6.3. Fotovoltaik Sistemlerin Enerji ve Ekserji Analizi 33
6.3.1. Fotovoltaik Sistemde Enerji ve Ekserji Hesaplamaları 34
6.3.2. Enerji Analizi 36
6.4. Fotovoltaik Sistemde Enerji ve Ekserji Verimi 37
6.4.1. Enerji Verimi 37
6.4.2. Ekserji Verimi ve Güneş Işınım Ekserjisi 40
6.4.3. Fotovoltaik Sistemin Ekserji Verimi 40
BÖLÜM 7 42
PASİF SOĞUTMA YÖNTEMLERİ 42
7.1. PV Panel Alt Yüzeyinde Kanatçık Uygulaması ile Pasif Soğutma 42
7.2. PV Panel Alt Yüzeyine Termoelektrik Jeneratör Uygulaması ile Soğutma 44
BÖLÜM 8 47
MATERYAL ve YÖNTEM 47
8.1. Materyal ve Deneysel Kurulum 47
BÖLÜM 9 56
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA 56
BÖLÜM 10 129
SONUÇ VE ÖNERİLER 129
9.1. Sonuçlar 129

9.2. Öneriler.....130
KAYNAKLAR 131
ÖZGEÇMİŞ 134

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

PV	=	Fotovoltaik
P_{max}	=	Maximum Güç
V_{mp}	=	Maximum Güç Voltajı
I_{mp}	=	Maximum Güç Akımı
V_{oc}	=	Açık Devre Voltajı
I_{sc}	=	Kısa Devre Akımı
A	=	Alan (m^2)
c	=	Işık hızı ($2,998x10^8$ m/s)
e	=	Yüzde sapmanın karekökü (%)
E_{GH}	=	Elektronun en yüksek enerji içeriğinde üretilen elektrik (W)
E_n	=	Enerji akış hızı (E)
E_L	=	Elektronun mevcut enerji içeriği (W)
en	=	Sistemin özgül enerjisi (J/kg)
Ex	=	Ekserji akış hızı(W)
ex	=	Sistemin özgül ekserjisi (J/kg)
Ex^Q	=	Isıl ekserji (W)
Ex^W	=	İş ekserjisi (W)
FF	=	Dolum faktörü (boyutsuz)
g	=	Yerçekimi ivmesi($9,81$ m/s^2)
h	=	Planck sabiti ($6,626x10^{-36}$ J.s)
h_{ca}	=	Taşınımla ısı geçiş katsayısı (W/m^2 K)
I	=	Akım (A)
i	=	Sistemin ekserji tüketimi (W)
m	=	Kütlesel akış hızı (kg/s)

q	=	Elektron yükü (J)
Q	=	Isı enerjisi (W)
S_{gen}	=	Sistemin entropi üretimi (W/K)
S_T	=	Toplam güneş ışınımı (W/m^2)
t	=	Süre (s)
T	=	Sıcaklık (°C)
U	=	Isı kaybı katsayısı (W/m^2 K)
v	=	Rüzgar hızı (m/s)
V	=	Gerilim (V)
W	=	İş, Termodinamik güç (W)
η	=	Verim (%)
Ψ	=	Ekserji verimi (%)

Kısaltmalar

amb	=	Ortam
solar	=	Güneş
sun	=	Güneş
cell	=	PV hücre
in	=	Giriş
m	=	Maksimum
oc	=	Açık devre
sc	=	Kısa devre
out	=	Çıkış
PV/T	=	Fotovoltaik / Isı
FF	=	Dolum Faktörü
STC	=	Standart Test Koşulları
PCM	=	Faz Değiştiren Malzeme
NOCT	=	Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 8.1. Fotovoltaik Panelin Teknik Özellikleri 50
Çizelge 8.2. 5 Temmuz Günü İçin Çevre Değerleri 57
Çizelge 8.3. 5 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 59
Çizelge 8.4. 5 Temmuz Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler 63
Çizelge 8.5. 15 Temmuz Günü İçin Çevre Değerleri 66
Çizelge 8.6. 15 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 68
Çizelge 8.7. 15 Temmuz Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler 72
Çizelge 8.8. 25 Temmuz Günü İçin Çevre Değerleri 75
Çizelge 8.9. 25 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 77
Çizelge 8.10. 25 Temmuz Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler 80
Çizelge 8.11. 5 Ağustos Günü İçin Çevre Değerleri 82
Çizelge 8.12. 5 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 84
Çizelge 8.13. 5 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler 87
Çizelge 8.14. 15 Ağustos Günü İçin Çevre Değerleri 90
Çizelge 8.15. 15 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 92
Çizelge 8.16. 15 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler 96
Çizelge 8.17. 25 Ağustos Günü İçin Çevre Değerleri 98
Çizelge 8.18. 25 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 100
Çizelge 8.19. 25 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler 103
Çizelge 8.20. 5 Eylül günü İçin Çevre Değerleri 106
Çizelge 8.21. 5 Eylül Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 108
Çizelge 8.22. 5 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler 111
Çizelge 8.23. 15 Eylül Günü İçin Çevre Değerleri 114
Çizelge 8.24. 15 Eylül Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler 115

Çizelge 8.25. 15 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler.....118
Çizelge 8.26. 25 Eylül Günü İçin Çevre Değerleri.....121
Çizelge 8.27. 25 Eylül Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler.....122
Çizelge 8.28. 25 Eylül günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler.....125
Çizelge 8.29. Aylara Göre Panellerden Üretilen Toplam Enerji Üretimi.....128

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Türkiye'deki Bölgelere Göre Ortalama Güneşlenme Süreleri. 8
Şekil 3.2. Türkiye'deki Aylara Göre Ortalama Güneşlenme Süreleri. 8
Şekil 3.3. Türkiye'deki Bölgelere Göre Ortalama Güneş Işınım Değerleri. 9
Şekil 3.4. Deklinasyon Açısının Aylara Göre Değişimi 11
Şekil 3.5. Zenit Açısı 13
Şekil 4.1. En Yüksek Güneş Pili Verimlilikleri. 15
Şekil 4.2. PV Hücre Yapısı, Fotovoltaik Etki ve Çalışma Prensibi. 16
Şekil 4.3. PV Hücre Devresi. 17
Şekil 4.4. PV Hücre, Modül ve Dizi Tasarımları 17
Şekil 4.5. PV Hücrenin Akım-Gerilim (I-V) ve Güç-Gerilim (P-V) Özellikleri. 18
Şekil 4.6. Silikon Hücre Yapısı. 19
Şekil 4.7. Pasifleştirilmiş Verici ve Arka Hücre Yapısı. 20
Şekil 5.1. Fotovoltaik Panellerde Meydana Gelen Kayıplar 22
Şekil 6.1. Ekserji Dengesi Diyagramının Termodinamik Bir Sistemdeki Gösterimi 31
Şekil 6.2. Gerilim ve Akım Değerlerinin Niceliksel Olarak Fotovoltaik Verim İçin Gösterimi 38
Şekil 7.1. Dikdörtgen Profilli Kanatçıktaki Sıcaklık Dağılımı 43
Şekil 7.2. Termoelektrik Modüllerde Seebeck ve Peltier Etkisi Oluşumu 44
Şekil 8.1. PV Sistem Bileşenleri ve Devre Tasarımı. 48
Şekil 8.2. PV Sistem Deney Düzeneği Kurulumu. 49
Şekil 8.3. Fotovoltaik Panellerin Alt Yüzeylerine Uygulanan Pasif Soğutma Yöntemleri 51
Şekil 8.4. Fotovoltaik Paneller ve Termoelektrik Jeneratörlerden Anlık Akım/Gerilim Ölçümü. 52
Şekil 8.5. Fotovoltaik Panel Alt Yüzeyine Termoelektrik Jeneratörlerin ve Alüminyum Kanatçıkların Montajı. 53
Şekil 8.6. Fotovoltaik Panel Alt Yüzeyine Termoelektrik Jeneratörlerin Montajı. 54
Şekil 8.7. Fotovoltaik Panel Alt Yüzeyine Alüminyum Kanatçıkların (Pasif Soğutucu) Montajı. 55
Şekil 8.8. 5 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 61

Şekil 8.9. 5 Temmuz Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 62
Şekil 8.10. 5 Temmuz İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri 65
Şekil 8.11. 15 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 70
Şekil 8.12. 15 Temmuz Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 71
Şekil 8.13. 15 Temmuz İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri 74
Şekil 8.14. 25 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 78
Şekil 8.15. 25 Temmuz Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 79
Şekil 8.16. 25 Temmuz İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri 82
Şekil 8.17. 5 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 86
Şekil 8.18. 5 Ağustos Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 87
Şekil 8.19. 5 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri 90
Şekil 8.20. 15 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 94
Şekil 8.21. 15 Ağustos Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 95
Şekil 8.22. 15 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri 98
Şekil 8.23. 25 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 102
Şekil 8.24. 25 Ağustos Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 103
Şekil 8.25. 25 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri 106
Şekil 8.26. 5 Eylül Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 110
Şekil 8.27. 5 Eylül Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 111
Şekil 8.28. 5 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimi 113
Şekil 8.29. 15 Eylül Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 117
Şekil 8.30. 15 Eylül Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 118
Şekil 8.31. 15 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri 120
Şekil 8.32. 25 Eylül Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler 124
Şekil 8.33. 25 Eylül Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri 125
Şekil 8.34. 25 Eylül günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimi 127
Şekil 8.35. Aylara Göre Panellerde Üretilen Enerjiler 128

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Genel Durum

Dünyanın pek çok ülkesinde artan nüfusa ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak enerjiye olan talep de büyümektedir. Çok uzun geçmişten bugüne kadar hala geleneksel fosil yakıtların kullanılması iklim değişikliği, küresel ısınma, hava kirliliği ve sera etkisi gibi pek çok problemlere yol açmaktadır. Bu sebeple elektrik üretiminde yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesine olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Türkiye güneş enerji potansiyeli olarak dünyadaki pek çok ülkeye göre avantajlı konumdadır. Yenilenebilir enerji teknolojileri birbiriyle etkileşim içindedir ve birlikte geliştirilip yaygın hale getirilmesi önem arz etmektedir. Özellikle güneş enerjisinden fotovoltaik panellerle elektrik enerjisi elde ederken hücre sıcaklığının sebep olduğu kayıpların azaltılması için uygulamaya yönelik etkin ve ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüz şartlarında kurulumu yapılan güneş enerji santrallerinde bu konu yeterince önem kazanmamıştır. Bu nedenle ekonomik, çevreci ve sürdürülebilir enerji sistemleriyle birlikte verimliliğin ön plana çıkarılması gerekmektedir. Bunların sonucu olarak artan enerji maliyetleri, dışa bağımlılık ve çevre sorunlarının önüne geçilmiş olacaktır. Dünyada ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilen enerji seviyeleri toplam tüketilen enerjinin yarısı civarındadır (TÜBA, 2018). Avrupa'da ise bu oran, %46 seviyesindedir. Türkiye de benzer oranlara yakın seviyelerdedir. Türkiye'de güneş enerjisi teknolojilerinin ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanımı incelendiğinde ısıl teknolojiler olarak, toplam enerji tüketimimizin yaklaşık %30'u, fotovoltaik teknolojiler olarak ise yaklaşık %14'lük bir oranda fırsat bulunmaktadır (TÜBA, 2018). Türkiye'nin mevcut güneş enerjisi potansiyelini en iyi şekilde

değerlendirmesi için yeni gelişen teknolojilere, büyük ölçekli uygulamalara ayrıca verimlilik konusunda araştırmalara adapte olması önem arz etmektedir.

1.2. Amaç ve Özgünlük

Fotovoltaik (PV) yarı iletken hücreler; Güneş ışınlarını direkt olarak elektriğe dönüştüren**,** yapılarında hareketli parçaları bulunmayan elektronik bileşenlerden oluşmaktadır. Güneş enerjisi fotovoltaik hücrenin yapısına bağlı olarak günümüz şartlarında %5 ile %20 arasında bir verimle elektriğe dönüştürebilmektedir. Bu sebeple fotovoltaik hücrelerdeki bu düşük olan dönüşüm verimliliğinde oluşan kayıpların min**i**mum seviyede tutulması gerekmektedir. Fotovoltaik hücre performansını etkileyen; İklim özellikleri, Güneş ışınımı, gölgelenme, modül sıcaklığı ve toz birikimi (kirlenme faktörleri) önemli etkileri olan çevresel faktörlerden bazılarıdır. PV Panel sistem özelliklerinden kaynaklı kayıplar ise; panel malzeme yapısı, hücre (Modül) verimi, invertör yapısı, atomik yapı ve bant aralığı enerjisi gibi faktörlerden oluşmaktadır. Kurulumda meydana gelen kayıplar ise, maliyet, kablo özellikleri, PV panel eğim açısı, uyumsuzluk etkileri, sabit/izleme sistemleri (Maksimum güç noktası takibi) gibi faktörlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca PV paneldeki zaman içerisinde meydana gelen bozulmalar, panel dirençleri, performans oranı, bakım ve temizlik gibi diğer çeşitli faktörlerin sistemin performansını etkilemektedir. Fotovoltaik sistemlerde dönüşüm verimliliğini etkileyen bu faktörler ile ilgili pek çok çalışma yapılmasına rağmen Edirne ili için gerçek iklim şartlarında kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu tezdeki amacımız, Edirne ili iklim şartlarında temmuz, ağustos ve eylül aylarında yüksek sıcaklıktan kaynaklanan PV panel çıkış gücündeki azalmanın 2 farklı pasif soğutma yöntemi ile engellenmesi ayrıca bu yöntemlerin başarı durumlarının karşılaştırılmasıdır. Gerçek iklim şartlarında PV panellerde oluşan yüksek sıcaklığın alüminyum kanatçıklı pasif soğutma yöntemi ile azaltılması ve PV panel atık ısısından faydalanarak termoelektrik jeneratörlerle ilave elektrik enerjisi üretilerek yüzey sıcaklığının düşürülmesi, çalışmanın özgün yönünü ortaya koymaktadır. Ayrıca bu kurulum için 3 ay boyunca PV panellerdeki elektriksel çıkış değerlerini, sıcaklık değimlerini, ölçen, kaydeden sisteme özel donanım ve yazılımın geliştirilmesi çalışmanın diğer özgün bir yönüdür. Bu çalışmanın sonucunda, fotovoltaik panellerin çıkış

güçlerindeki değişimler incelenmiş ve standart PV panele göre daha fazla elektrik enerjisi elde edilmiş olacaktır.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Benato & Stoppato (2019) tarafından fotovoltaik panellerde modül hücre sıcaklığının azaltılması için yeni bir su soğutmalı nozul püskürtme sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada fotovoltaik panel yüzey sıcaklığı önemli seviyede azaltılmış ve panel çıkış gücünde artış sağlanmıştır.

Joshi vd. (2009) yaptıkları çalışmada, güneş enerji sistemlerinde enerji, ekserji ve dönüşüm verimliliğinde sıcaklıktan kaynaklanan kayıpların azaltılması amacıyla fotovoltaik panel alt yüzeyinde hava akımını arttırmayı hedeflemişlerdir. Fotovoltaik panel arka yüzeyindeki havanın konveksiyon yolu ile uzaklaştırması için doğru akımla çalışan fan sistemi kullanılmıştır. Bu uygulama ile enerji ve ekserji verimliliğinde artış sağlanmıştır.

Nizetic vd. (2016) tarafından panellerin soğutulmasında her yöntemin avantajlarını göz önünde bulundurarak farklı yöntemler araştırılmıştır. Fotovoltaik panel yüzeylerinin etkili bir şekilde soğutulması için arka yüzeyde kullanılan özel konvektif soğutma profilleri ile modül hücre sıcaklığı azaltılarak PV panel güç çıkışında %2,5 ile %4,5 arasında bir verimlilik artışı sağlanmıştır.

Nizetic vd. (2021); Nizetic, Papadopoulos, ve Giama (2017) tarafından fotovoltaik panellerde sıcaklık artışını önlemek için farklı pasif soğutma yöntemleri araştırılmıştır. Fotovoltaik panel yüzey sıcaklığının azaltılması için faz değiştiren malzeme (FDM) uygulaması ile fotovoltaik panelin çıkış gücünde %2,5 ile %10,7 arasında performans artışı sağlanmıştır.

Metwally vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada termoelektrik soğutma yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada; termoelektrik jeneratörün yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının arttırılması ve soğutma amacıyla sistemde su kullanılmıştır. Fotovoltaik

panel yüzey sıcaklığının sabit bir sıcaklıkta tutulması ile mevsimsel olarak verim de %4 ile %20 arasında artış sağlanmıştır.

Parkunam vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada fotovoltaik panellerin soğutulması amacıyla panel alt yüzeylerinde alüminyum ve bakır malzemeden yapılmış pasif soğutucular uygulanmıştır. Fotovoltaik panel alt yüzeyine alüminyum malzemeden yapılmış pasif bir soğutucu kullanıldığında sıcaklık 3°C ve bakır malzemeden yapılmış pasif soğutucu kullanıldığında ise sıcaklık 7,35°C azaltılmıştır.

Bevilacqua vd. (2020) tarafından İtalya Calabria Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde kurulan bir deney düzeneğinde karşılaştırılmalı bir çalışma yapılmıştır. Fotovoltaik modüllerdeki sıcaklığı düşürerek verimliliği artırmak için PV panellerin su ve hava ile soğutulması kıyaslanmıştır. Yapılan bu çalışmada su ile soğutmada daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Fotovoltaik panellerin soğutulması için sezon boyunca 2,78 m^3 su kullanılmış ve %8,6'ya varan verim artışı sağlanmıştır.

Singh vd. (2022) tarafından güneş modülleri ve termoelektrik elemanlarla birlikte faz değişim malzemesi (FDM) kullanılarak fotovoltaik panelin veriminin iyileştirilmesi için hibrit bir sistem tasarlanmıştır. Modül sıcaklığındaki artışla güneş panellerinin elektriksel veriminin düştüğü gerçeğinden yola çıkarak, bu çalışmada COMSOL Multiphysics yazılımı kullanılarak, FDM kombinasyonları analiz edilmiştir. FDM kombinasyonlarına göre simülasyon verimliliğinde %9,7'lik artış gözlemlenmiştir. Termoelektrik jeneratörler ve FDM'lerin birlikte kullanılması ile tasarlanan hibrit soğutma sisteminde daha yüksek verim elde edilmiştir.

Sieckera vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada; fotovoltaik panelleri soğutmak için kullanılan farklı yöntemlerin ayrıntılı analizleri ortaya çıkarılmıştır. Herhangi bir soğutma yönteminin etkinliği ile birlikte; fotovoltaik panel yüzeyindeki sıcaklığını düşürmek, sabit tutmak, kolay uygulamak ve güvenilir olmak gibi özelliklerini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca herhangi bir soğutma tekniğinin kullanılması sonucunda; fotovoltaik panellerin termal ve elektriksel verimi artarken hücre bozulma oranlarının azalması ile modül kullanım ömrünü maksimuma çıkarttığı ifade edilmektedir.

Albayrak (2019) tarafından yapılan çalışmada fotovoltaik panellerde oluşan sıcaklık artışının su soğutma yöntemi ile azaltılması ve PV panel çıkış gücünün

yükseltilmesi hedeflenmiştir. Yapılan ölçümlerdeki sonuçlara göre; dış ortam sıcaklığı ve güneş radyasyonuna bağlı olarak standart panele oranla %13-24 güç artışı sağlanmıştır.

Yılancı (2020) tarafından yapılan çalışmada, PV panel yüzey sıcaklığının termoelektrik elemanla azaltılarak PV panel güç çıkışındaki değişimler teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Termoelektrik soğutma yöntemi uygulanmış PV panelin yüzey sıcaklıkları ölçüldüğünde standart PV panelin yüzey sıcaklığına göre 3,1-4,9°C bir fark elde edilmiştir. Bununla birlikte yüksek sıcaklıkların olduğu temmuz ayında bu farkın 12,7°C'ye ulaştığı görülmüştür. Yapılan teorik modelleme ve simülasyon sonuçlarına bağlı olarak termoelektrik modül kullanımı ile PV panelin yıllık enerji üretiminin %20,51 artacağı ifade edilmektedir.

Benghanem vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Medine bölgesinde yaz aylarında ortam sıcaklığının yaklaşık 50°C olduğu hatta bazen bu sıcaklığı aştığı ifade edilmektedir. Ortam sıcaklığının 50°C'nin üzerinde olması durumunda hücre verimliliği daha da düşmektedir. Bu nedenle PV panellerin termoelektrik modül ile soğutulması için hibrit bir sistem önerilmiştir. Standart soğutmasız PV panelde yüzey sıcaklığı 83°C iken termoelektrik soğutma modülü kullanılan hibrit PV panelde bu sıcaklık 65°C'ye kadar indirilerek enerji dönüşüm verimliliğinde artış sağlanmıştır.

BÖLÜM 3

GÜNEŞ ENERJİSİ

3.1. Güneşin Yapısı

Güneş sisteminin merkezinde yer alan Güneş, elektromanyetik enerji yayarak bilinen enerjiler arasından en temiz ve tükenmez bir kaynaktır. Güneş radyasyonu çok büyük miktarda enerji içerir ve doğadaki süreçlerin pek çoğuna katkıda bulunmaktadır. Güneş, kütlesindeki hidrojen atomlarının yüksek basınç altında helyum atomlarına dönüştürüldüğü füzyon reaksiyonları ile çok büyük miktarda enerji üretmektedir. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 5500°C'dir ve buna ek olarak Güneşin çapı 1,39 x 10^9 m'dir. Dünyadan yaklaşık 1,5x 10^{11} m uzaklıktadır. Kütlesi 2,0x 10^{30} kg olup bu dünyanın yaklaşık olarak 330.000 katı anlamına gelmektedir (Doğan, 2006).

3.2. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

1991 ile 2020 yıllarında Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ölçülen veriler göz önüne alındığında bulunduğu konum dolayısıyla Türkiye, diğer ülkelere göre oldukça önemli bir konumdadır. Şekil 3.1'de bu ölçümler yardımı ile Türkiye'nin ortalama güneşlenme süresi görülmektedir. Türkiye'deki en fazla potansiyele sahip bölgemiz Güneydoğu Anadolu Bölgesi iken en az potansiyele sahip bölgemiz ise Karadeniz Bölgesi olarak görülmektedir (www.mgm.gov.tr).



Şekil 3.1. Türkiye'deki Bölgelere Göre Ortalama Güneşlenme Süreleri (www.mgm.gov.tr).

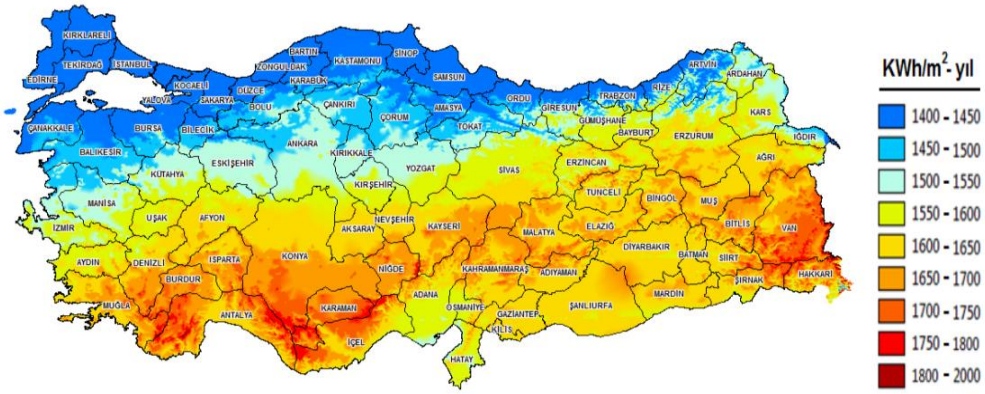
Şekil 3.2'de görüldüğü gibi günlük güneşlenme süresi en yüksek temmuz ayında 10,66 saat ile gerçekleşmektedir. Ayrıca ülkemizde nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos, eylül ve ekim aylarında güneşlenme süresi 6 saat/gün üzerinde olduğu görülmektedir. Güneşlenme süresinin en az olduğu aylar ise aralık ve ocak aylarıdır.



Şekil 3.2. Türkiye'deki Aylara Göre Ortalama Güneşlenme Süreleri (www.gepa.enerji.gov.tr).

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi birçok ülkeye göre Türkiye'nin güneş potansiyeli oldukça yüksektir. Bu potansiyel neticesinde Türkiye'de güneş enerjisinden yararlanma da daha çok iki yöntemden yararlanılır. Bunlardan ilki yarı iletkenler malzemeler kullanılarak tasarlanarak güneşten gelen ışınları elektrik enerjisine dönüştüren güneş hücreleri diğeri de odaklanmış güneş enerjisi ve ısıl güneş teknolojileridir.

Güneşin yapısından dolayı güneş enerjisinden elektrik üretiminden daha çok ısı enerjisi üretimi alanında yararlanılsa da günümüzde artan enerji maliyetleri ve ihtiyaçlarından dolayı elektrik üretimine yönelim daha çok artmıştır. Ülkemizdeki bölgelere göre yıllık güneş ışınım seviyeleri Şekil 3.3'te görülmektedir. Güneş enerji santralları kurulumları için bu değerler büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3.3. Türkiye'deki Bölgelere Göre Ortalama Güneş Işınım Değerleri (www.gepa.enerji.gov.tr).

3.3. Güneş ışınımı ve dalga boyutu

Işınım bir madde veya ortamdan elektromanyetik dalgalar veya parçacıkların ortaya yayılması olayıdır. Işık ise, elektromanyetik spektrum içerisinde yaklaşık 380-720 nanometre dalga boyutları arasında görünerek insan gözünün duyarlılığına göre değişebilen ışınım enerjisidir. Yayılan ışınımın özelliği elektromanyetiktir. Elektromanyetik ışınım uzayda ışık hızı ile dalgalar halinde hareket eder. Işık hızı hiçbir zaman aşılamayacak bir değer olarak kabul edilen uluslararası bir hız sabitidir ve değeri $2{,}99792458 \times 10^8$ metre/saniye olarak kabul edilir (Şen & Uğurel, 2008). Güneşten gelen

enerji radyo dalgalarına benzer bir biçimde ancak farklı frekanslar aralığında elektromanyetik dalga olarak Dünya'ya ulaşmaktadır. Güneş enerjisi genel olarak W/m^2 alana düşen enerji olarak tanımlanmaktadır. Atmosfer dışına ulaşan güneş enerjisi ışınım miktarı 1367 W/m^2 civarındadır. Bu enerjinin bir kısmı dünyaya ulaşmadan atmosferin etkisiyle soğurulur bir kısmı da ışınım olarak yeryüzüne yansımış olur. Bununla birlikte atmosferdeki kirlilik ve gaz moleküllerinin bir kısmıda yayılmış olur. Tüm bunların sonucunda güneşli bir günde güneşin yeryüzüne düşen mevcut enerji seviyesi 1000 W/m^2'dir. Atmosfer dışında kalan güneş ışınlarının dalga boyları mor ötesinden kızıl ötesine kadar uzanmaktadır (Şen & Uğurel, 2008).

Genel olarak Güneş ışınlarının dalga boyları 0,1-3µm (mikrometre) seviyesindedir. Her dalga boyunun şiddeti birbirinden farklıdır ve bu dalga boylarının dağılımı incelendiğinde %9'u mor ötesi, %45'i görünür ışık ve geri kalan %46'lık dilim ise kızıl ötesi bölgesinde yer almaktadır (Şen & Uğurel, 2008). Yalnızca dalga boylarının ışığın dalga boyundan daha yüksek olmasıyla oluşabilen, elektromanyetik dalgalarla oluşan cisimler arasında taşınma ve değişme içermeyen ısı transferine ısı ışınımı denir.

Isı ışınımı; taşınım ve iletim olaylarından ayrılarak iki farklı sıcaklık bölgeleri arasında meydana gelen temel bir ısı transferi olayıdır. Atomların ve moleküllerin enerji miktarlarındaki artma sonucunda ortaya çıkan elektromanyetik dalgalar ile ısının taşınmasıyla meydana gelir. Işınım ile ısı transferinin en önemli şartı cisimler arasında daima bir sıcaklık gradyanı bulunmalıdır. Bu fark onu iletim ve taşınımla olan ısı transferinden ayıran en önemli etkendir. Mutlak sıfır noktasında bulunmayan her cisimden ışınım yayılır. Yayılan bu ışınım iki önemli faktöre bağlıdır.

1-Işınım yayan cismin yüzey özellikleri

2-Işınım yayan cismin mutlak sıcaklığı

3.4. Solar Sabiti

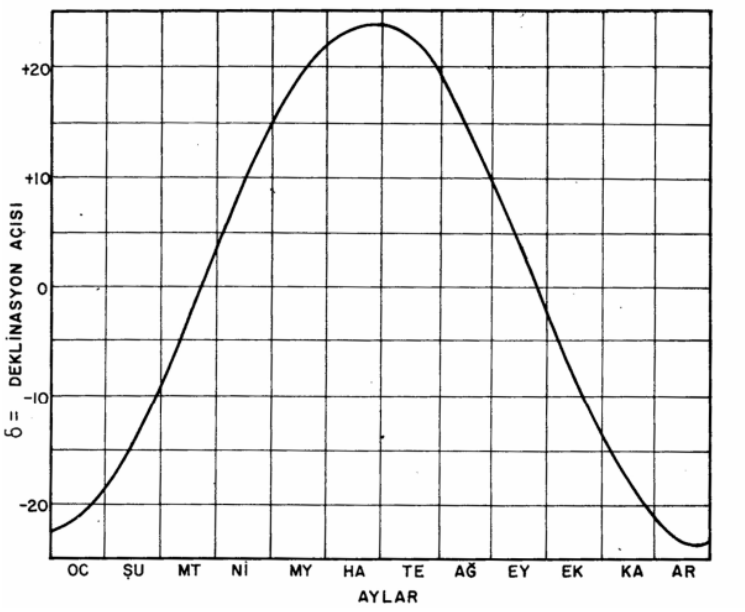
Güneş yüzeyindeki enerji miktarı 6,33 x 10^7 W/m^2'dir. Atmosferin dışında kalan Güneşten yaklaşık 5 x 10^{11} m uzaklıktaki 1 m^2'lik alana düşen enerji miktarı solar sabiti olup, I_{sc} olarak tanımlanır. I_{sc}=1367 W/m^2 değerindedir.

3.5. Solar Radyasyon Geometrisi

Yeryüzünde, ışınımın özellikleri dünyamızın kendi etrafında dönmesi ve güneşin etrafındaki eliptik yörüngesi ile belirlenmektedir. Güneşten gelen ışınlar, Dünya ile yüzeyler arasında farklı açılar oluşturmaktadır. Bu açılar Güneş enerjisinin etkinliği için önem arz etmektedir.

3.5.1. Deklinasyon Açısı

Dünya Güneş doğrultusunun, yeryüzünün ekvator düzlemiyle oluşturduğu açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açının aylara göre değişimi Şekil 3.4'te görülmektedir. Kuzey yarım kürede pozitif değere sahiptir. Deklinasyon açısı yaz ortasında (21 haziran) en yüksek (90° - 66,55° = 23,45°), kış ortasında ise (21 aralık, -23,45°) değerdedir. Deklinasyon açısı 1 ocaktan itibaren sayısı n olarak hesaplanmaktadır. Bu açı deklinasyon açısı (δ) olarak tanımlanmakta olup tarih ve yıla bağlı olarak çizelgelerden bulunmaktadır. Ayrıca deklinasyon açısının yaklaşık değeri Cooper eşitliği ile hesaplanabilir. $\delta = 23{,}45 \sin(360 \times \frac{284+n}{365})$ Buradaki n yılın gün sayısıdır. Deklinasyon açısı aylara ve mevsimlere göre güneş ışınlarının dünyaya geliş açısı olarak da tanımlanabilmektedir (Kıncay, 2012).



Şekil 3.4. Deklinasyon Açısının Aylara Göre Değişimi (Kıncay, 2012)

3.5.2. Güneş Saat açısı

Saat açısı (ω) güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile yeryüzündeki referans alınan yerin boylamı arasında kalan açıdır. Saat açısı, güneş öğlesinden itibaren önce ise (-), sonra ise (+) olarak alınmaktadır. Güneş öğlesinde, güneş saati 12:00 olarak kabul edilmektedir. Güneş öğle vakti ile referans zaman arasındaki saat farkı 15 sabit sayısı ile çarpılarak güneş saat açısı bulunmaktadır. Bu sabit sayı, Dünyanın Güneş etrafında bir tur dönüşü sırasında kat ettiği, 360° açının 24'e bölünmesiyle hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle, bu kat sayı dünyanın güneş etrafındaki 1 saatte yaptığı açı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir önemli konuda güneş saat açısının hesaplanmasında standart saatin değil, yerel saatin kullanılmasıdır (Kıncay, 2012).

Saat 12:00'de ω = 0°'dir. Bir saat, 15° boylama eşittir. Saat açıları güneş öğlesine göre simetrik olmaktadır. Saat 11:00'de ve saat 13:00'te saat açıları birbirine eşit olmaktadır. [ω = 15 x (GS -12)] Yeryüzündeki her bir noktada güneşin doğrultusu ve yatay eksen etrafındaki açı referans bölgenin enlemine ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Güneş saat açısı Denklem 3.1'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\omega = \frac{2\pi t}{24} \tag{3.1}$$

Denklem 3.1'de t= zaman(h)'dır.

3.5.3. Enlem açısı

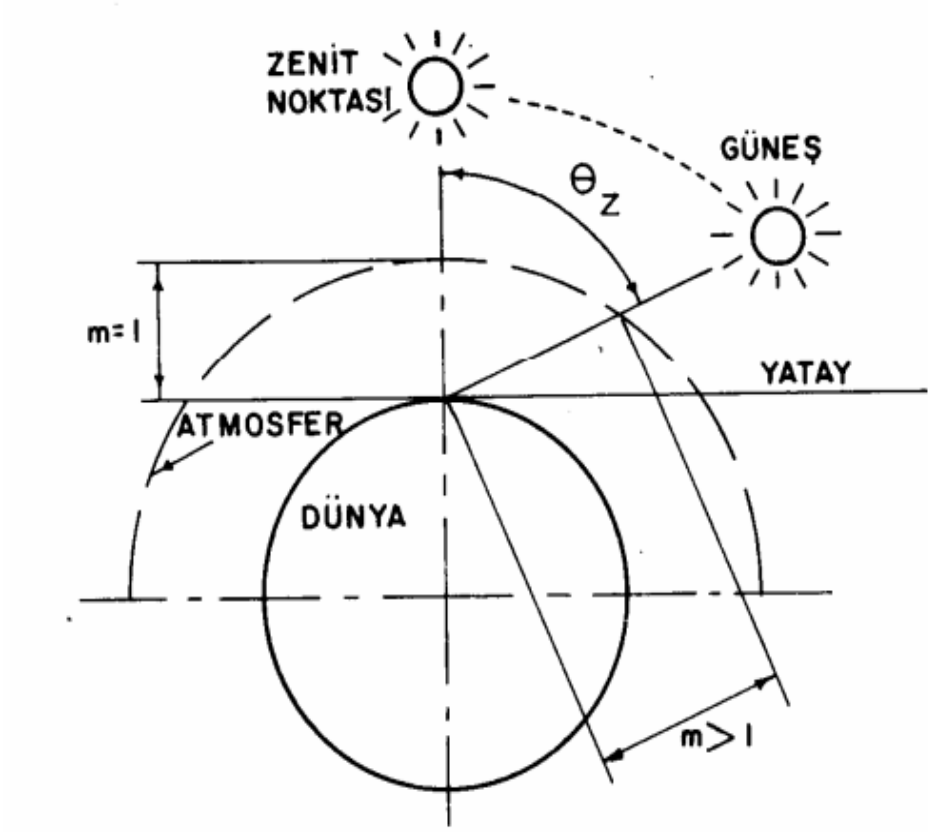
Enlem açısı (Φ), ekvator düzlemiyle referans olarak alınan yerin arasında kalan açıdır. Bir başka ifadeyle enlem açısı, doğrudan gelen ışın ile yatay arasındaki açıdır. Türkiye 36-42 enlemleri arasında yer almaktadır. Enlem açısı kuzey yarım küre için (+) değerli olup 0-90° arasında değişmektedir (Kıncay, 2012).

3.5.4. Zenit açısı($\boldsymbol{\theta}$)

Yatay yüzeyin normaliyle güneş ışınları arasında oluşan açı olarak tanımlanır. Bu açıya başucu açısı da ifade edilmektedir. Zenit açısı, güneşin doğuş ve batışında 90° iken, ışınların dik olduğu durumda 0'dır.

Bu açının güneşin durumuna göre değişimi Şekil 3.5'te görülmektedir (Kıncay, 2012).

$\theta = 90 - \alpha$, Burada α= güneş yükseklik açısıdır.



Şekil 3.5. Zenit Açısı (Kıncay, 2012)

3.5.5. Güneş Yükseklik Açısı

Güneş yükseklik açısı (α), doğrudan güneş ışını ile yatay düzlem arasında kalan açıdır. Güneş yükseklik açısı güneşin herhangi bir anında yerel yatay α düzlem ile bulunduğu noktaya doğru varsayılan çizgi arasındaki açıdır. En yüksek değerini tüm mevsimler öğle vaktinde alır (Kıncay, 2012).

$$\alpha = \sin^{-1} [\cos(\delta)\cos(\Phi)\cos(\omega) + \sin(\delta)\sin(\Phi)] \quad (3.2)$$

Burada yükseklik açısının değeri, Denklem 3.2'de görüldüğü gibi deklinasyon açısı, enlem açısı ve güneş saat açısı olmak üzere üç açıya bağlı olarak değişmektedir (Kıncay, 2012).

3.5.6. Azimut Açısı

Herhangi bir bölgede ve zamanda güneşe doğru varsayılan doğrunun yatay düzlemdeki iz düşümü ile güney doğrultusu arasında kalan açı olarak tanımlanır. Gün uzunluğunun 12 saatten fazla olması halinde günün bazı saatlerinde 90°'den büyük olmaktadır. Güneye doğru olan azimut açısı (ɣ) Denklem 3.3'te gösterilmiştir.

$$\text{Sin}(\gamma_s) = \frac{-cos(\delta)\ x\ sin(\omega)}{\sin(\psi)} \tag{3.3}$$

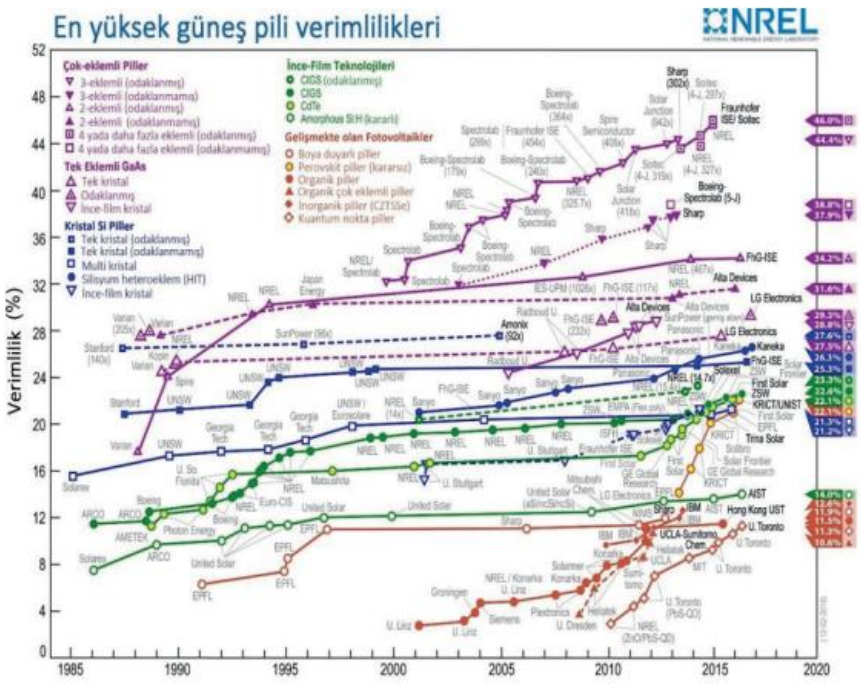
Güneş azimut açısı güneş ışınlarının kuzeye göre saat dönüş yönünde sapmasını belirtir. Yüzey azimut açısı (ɣ) yüzeyin normali ile kuzey-güney doğrultusu arasındaki açıdır. Yüzeyin dikeyinin yerel boylarına göre sapmasını gösterir (Kıncay, 2012).

BÖLÜM 4

FOTOVOLTAİK PANELLERİN YAPISI

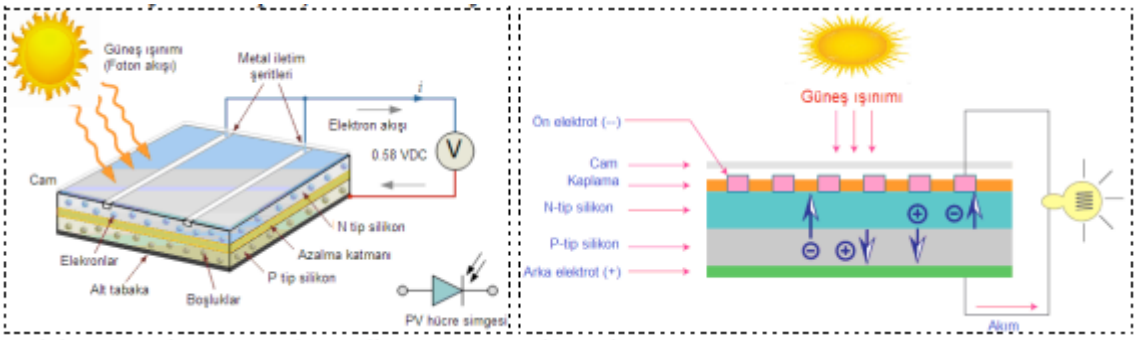
4.1. Hücre Teknolojileri, Fotovoltaik Etki ve PV paneller

Şekil 4.1'de yıllara göre güneş pillerindeki verimlilik ile ilgili gelişmeler görülmektedir. Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) verilerinden elde edilen bu hücre verimlikleri detaylı olarak açıklanmıştır. Ayrıca Almanya'daki Güneş Enerjisi Sistemleri Fraunhofer Enstitüsü tarafından yapılan açıklamalarda laboratuvar şartlarında en yüksek veriminin, monokristal için %26,7 olduğu ifade edilmektedir (TÜBA, 2018).



Şekil 4.1. En Yüksek Güneş Pili Verimlilikleri (TÜBA, 2018).

Güneşten gelen enerji farklı uygulama teknolojileri ile, güneş ışınımını kullanılabilir enerjiye dönüştürür. Evler ve işletmeler için en yaygın olarak kullanılan güneş enerjisinden faydalanma yöntemi fotovoltaik teknolojisidir. (https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html)



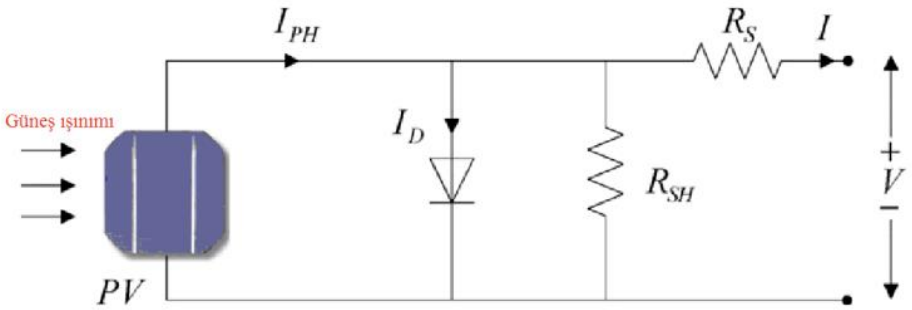
Şekil 4.2. PV Hücre Yapısı, Fotovoltaik Etki ve Çalışma Prensibi (Öztürk, 2017).

Şekil 4.2'de Fotovoltaik etki ve hücrenin çalışma prensibi görülmektedir. Fotovoltaik etki; güneş ışınımı ile ulaşan fotonların, silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarpması ile atomlardan elektronları serbest bırakmaları ile ortaya çıkan bir fiziksel olay olarak tarif edilebilir. Fotovoltaik kelimesinin anlamı Yunanca, ışık anlamına gelen photo ve elektrik akımını geliştiren makinayı tasarlayan Alessandra Volt'dan alınan kelimelerin birleşmesi ile oluşturulmuştur (Öztürk, 2017).

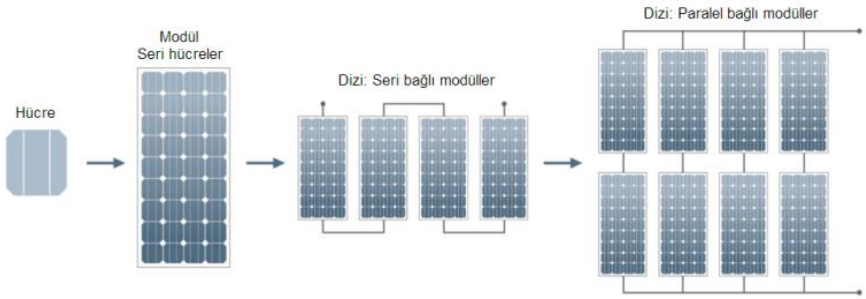
Güneşten gelen ışınım, enerji taşıyan fotonların birleşiminden oluşur. Güneş ışınımı ile gelen fotonların, PV hücre üzerine ulaşması sürecinde; bir kısmı soğurulur, bir kısmı yansıtılır ve kalan kısmı da hücre içerisinden geçer. Bunun sonucunda PV hücre tarafından soğurulan fotonlar elektrik enerjisini üretmiş olur (Belirli bir enerji seviyesindeki fotonlar silisyum kristali gibi katı bir maddeye çarptığında taşıdıkları enerjiyi transfer etmiş olurlar.) (Öztürk, 2017).

Şekil 4.3'te, PV hücresinin elektronik alanizi için en yaygın kullanılan devre modeli görülmektedir. Buradaki akımın kaynağı yarı iletken diyot paralel bağlanarak modellenmiştir. Diğer bataryalarda olduğu gibi devrede PV hücresinin bir iç direnci vardır ve Şekil 4.3'te görüldüğü gibi R_s olarak tanımlanmıştır. Sistemdeki R_s nin değeri güneş radyasyonunun şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Güç kaybının azaltılması için bu direnç mümkün olduğunda düşük seviyede olacak şekilde hücreler üretilmektedir. Akım kaynağına paralel olarak bağlanmış R_{SH} ise hücrenin kısa devre iç direncini

oluşturur. Sistemdeki R_s değerine göre mümkün olduğunca yüksek seviyelerde olması gerekmektedir (Öztürk, 2017).



Şekil 4.3. PV Hücre Devresi (Öztürk, 2017).

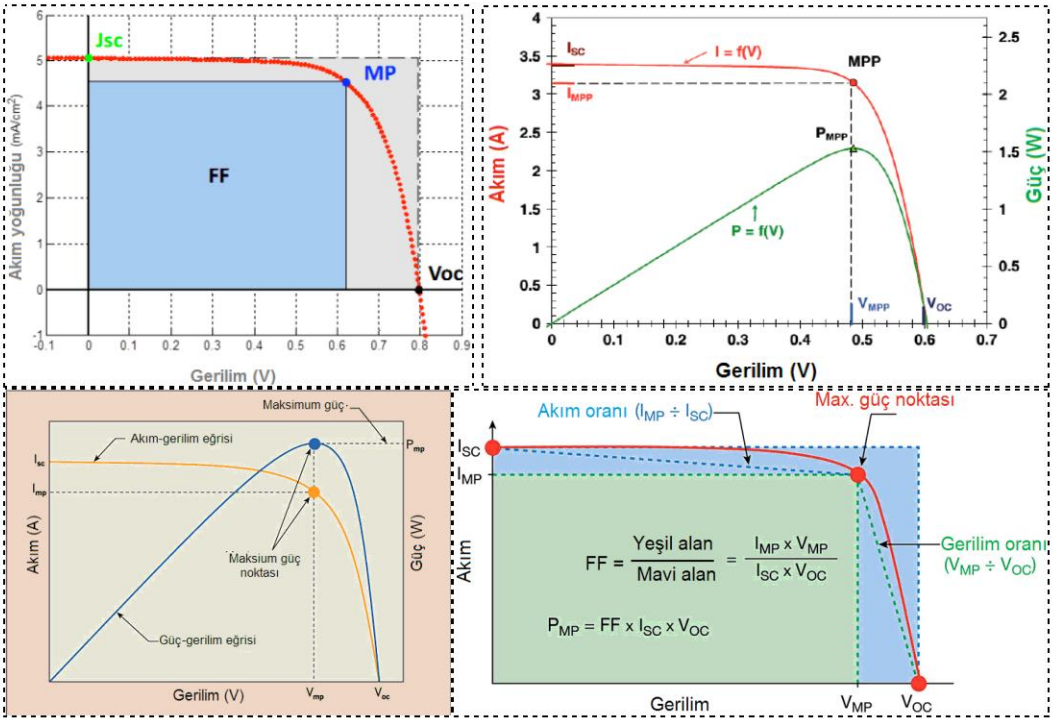


Şekil 4.4. PV Hücre, Modül ve Dizi Tasarımları (Öztürk, 2017).

Fotovoltaik hücre, elektrik dönüşümünü sağlayan temel yapı elemanıdır. Bir PV hücresi bireysel olarak 1-2 W güç üretebilmektedir.Bu hücreler bir araya getirilerek daha fazla güç üretecek modül meydana getirilmiş olur. Modüllerin bir araya getirilmesi ile de diziler oluşturulmaktadır (Öztürk, 2008).

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda PV hücrelerin paralel veya seri bağlanarak bir yüzey üzerinde toplanmış haline modül adı verilir. Bu yapı Şekil 4.4'te görülmektedir. Projelendirmedeki modüller ihtiyaca bağlı olarak megawatt güçlere çıkacak kadar PV diziler ile oluşturulabilmektedir (Öztürk, 2017).

Şekil 4.5'te akım yoğunluğuna bağlı olarak doyma faktörü (FF) grafiği görülmektedir. Doyma faktörünün (Dolgu faktörü) değeri fotovoltaik panellerdeki verimlilik için önem arz etmektedir. Bu değerin 1'e yakın olması PV hücresinin ideal şartlara yakın olduğu anlamını vermektedir. İdeal bir PV hücrenin doyma faktörü "1"dir. (FF = 1 olarak tanımlanır.) Ancak günümüz teknolojisinde üretilen hücrelerin doyma faktörü 0,7-0,8 değerindedir.



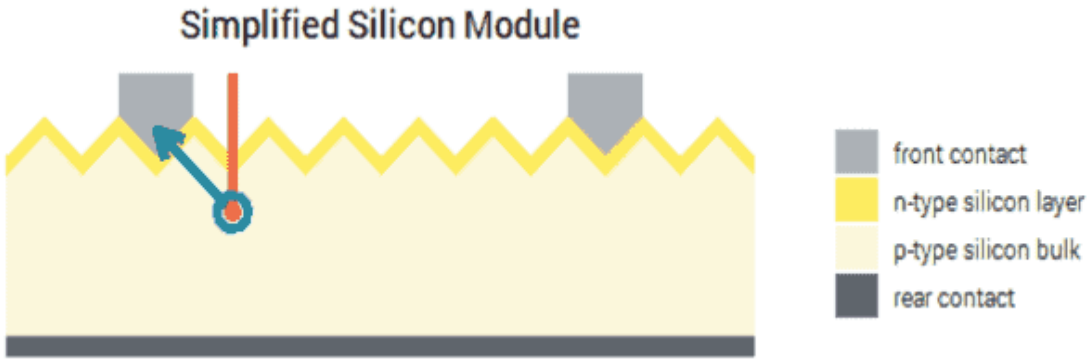
Şekil 4.5. PV Hücrenin Akım-Gerilim (I-V) ve Güç-Gerilim (P-V) Özellikleri (Öztürk, 2017).

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi fotovoltaik bir hücre maksimum olarak geniş bir gerilim (V) ve akım (I) aralığında çalışabilir. Maksimum güç noktası ise sürekli olarak ışınım alan bir fotovoltaik hücredeki direnç yükünü sıfırdan çok yüksek bir değere kadar sürekli arttırarak belirlenebilmektedir. Maksimum güç noktasında fotovoltaik hücre bulunduğu ışınım seviyesinde en yüksek elektrik enerjisini üretebilmektedir. Fotovoltaik hücreden en büyük elde edilebilecek çıkış gücü ise Şekil 4.5'te görülen akım-gerilim grafiğindeki eğri içine çizilebilecek maksimum alanlı dikdörtgenin alanına eşit olacaktır.

4.2. Silikon Güneş Hücreleri

Günümüz teknolojisinde fotovoltaik üretiminde en yaygın olarak silikon hücreler kullanılmaktadır. Silikon hücreler hem maliyet hem de güneş ışığını elektriğe dönüştürme hızı olarak avantaj sunmaktadır.

Güneş panelleri, Güneşten gelen güneş enerjisini toplamak ve elektriğe dönüştürmek için kullanılan bir teknolojidir. Klasik bir güneş paneli, her biri silikon, bor ve fosfor katmanlarından yapılmış ayrı güneş pillerinden oluşur. Bor tabakası pozitif yükü, fosfor tabakası negatif yükü, silikon da yarı iletken görevini sağlar. Basit bir silikon hücre yapısı Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Silikon Hücre Yapısı (https://aurorasolar.com).

4.2.1. Monokristal güneş panelleri

Monokristal panel olarak da bilinen bu hücreler, bölünmüş tek bir saf silikon kristalinden oluşmaktadır.Bu hücreler saf silikondan üretildikleri için koyu siyah renkleriyle kolayca tanınmaktadır. Saf silikon kullanılan monokristal paneller, diğer güneş panellerine göre daha yüksek verim ve daha uzun kullanım ömrü sunmaktadır. Monokristal paneller %20'nin üzerinde bir verimlilik derecesine sahiptir (www.nrel.gov.tr).

4.2.2.Polikristal güneş panelleri

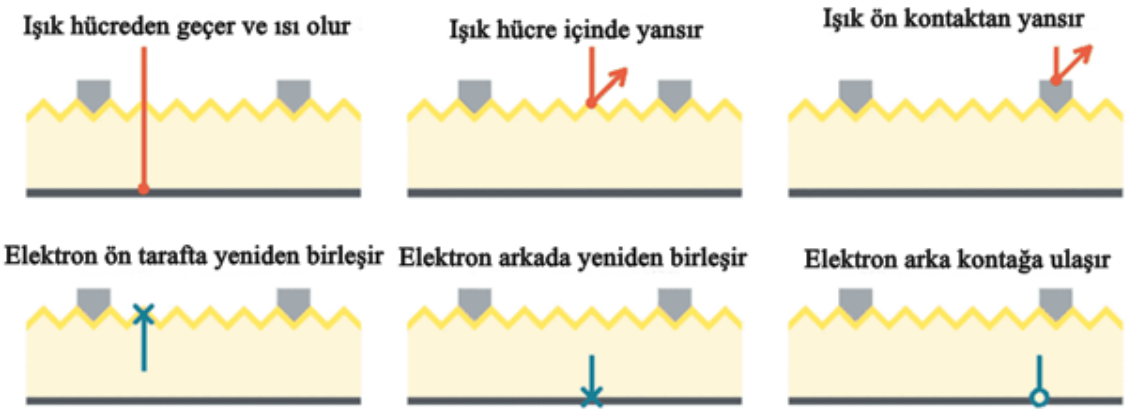
Polikrsital güneş panelleri, bir tane yerine çok sayıda silikon kristallerinden gelmektedir. Silikon parçaları eritilir ve kare bir kalıba dökülürek israf olmadan üretildiği için daha ekonomiktir. Hücre görünümü kare kesit şeklindedir. Bununla birlikte, silikon

saflıkları ve yapıları monokristal panellerden daha düşük olduğundan dolayı enerji dönüşüm verimliliği daha düşüktür.Ayrıca yüksek sıcaklıklarda hücre dönüşüm verimliliği daha da azalmaktadır. Polikristal güneş panelleri %15-17 arasında verime sahiptir (www.nrel.gov.tr).

4.2.3. Pasifleştirilmiş verici ve arka hücre (PERC) panelleri

PERC güneş panelleri, geleneksel monokristal hücrenin geliştirilmiş halidir. Bu nispeten yeni teknoloji, hücrenin arka yüzeyine verimliliği çeşitli şekillerde artıran bir pasifleştirme katmanı eklenmiştir. Bu katman sayesinde ışığı hücreye geri yansıtır ve emilen güneş radyasyonu miktarını arttırır. Bu katman daha büyük dalga boylarındaki ışığın yansımasını sağlamaktadır.

Şekil 4.7'de pasifleştirilmiş verici ve arka hücre yapısı görülmektedir. PERC güneş panelleri, yapılarındaki ilave katman sayesinde %5 daha fazla verime sahiptir (www.nrel.gov.tr).



Şekil 4.7. Pasifleştirilmiş Verici ve Arka Hücre Yapısı.

4.2.4. İnce film güneş panelleri

İnce film paneller, esnek olacak kadar ince olan çok ince katmanlarla karakterize edilerek üretilmiştir. Bu tip paneller bir çerçeve desteği gerektirmediği için daha hafif ve montaj kolaylığı sunmaktadırlar. Genellikle 60, 72 ve 96 hücreli standart boyutlarda gelen kristalin silikon panellerin aksine, ince film paneller özel ihtiyaçlara uyacak şekilde farklı boyutlarda üretilebilmektedir. Ancak, tipik silikon güneş panellerine göre daha düşük verime sahiptirler. İnce güneş panelleri silikon kullanan kristal panellerin aksine

farklı malzemelerden üretilmektedir. Bunlar; Kadmiyum tellür (CdTe), Amorf silikon (a-Si), Bakır indiyum galyum selenit (CIGS) ve Kadmiyum tellür (CdTe) malzemelerdir. İnce film güneş panelleri genellikle kristal silikon hücrelerden %2-3 daha az verimlidir. Ortalama olarak %13-15 verim aralığına sahiptir (www.nrel.gov.tr).

4.2.5. Yeni nesil güneş panelleri

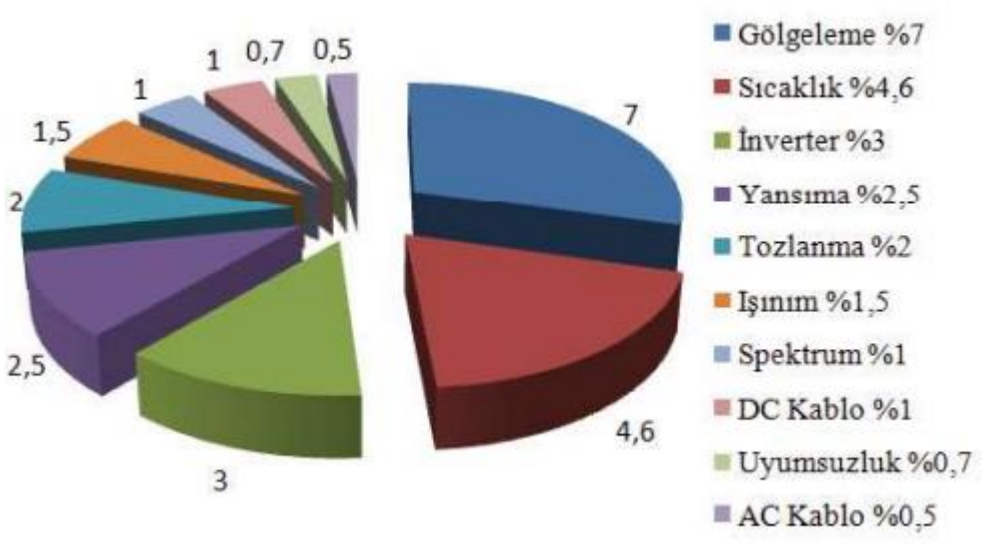
NREL'deki araştırmacılar, malzeme bilimcileri, ekonomi analistleri, elektrik mühendisleri, çeşitli güneş paneli üreticileri ve diğer araştırmacılar; organik malzemelerden, kuantum noktalarından, hibrit organik-inorganik malzemelerden (perovskit) yapılan güneş pilleri gibi birçok yeni fotovoltaik teknolojilerini takip etmektedirler. Bu tip yeni nesil teknolojilerin kullanılması halinde daha düşük maliyetler ve üretim kolaylığı elde edileceği düşünülmektedir (www.nrel.gov.tr).

BÖLÜM 5

FOTOVOLTAİK PANELLERİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.1. Güneş Panellerindeki Kayıplar

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi güneş enerjisinden elektrik üretimi sırasında kullanılan fotovoltaik panellerde birçok kayıplar meydana gelmektedir. Bunlar arasında en önemli kayıp gölgelenme ile meydana gelir ve PV panel çıkış gücünün azalmasına sebep olmaktadır. Doğal olarak ışınımın engellenmesi halinde fotovoltaik hücrede elektrik enerjisi üretimi olmayacaktır. Fotovoltaik panellerdeki verimin azalmasına sebep olan gölgelenme etkisinden sonraki en önemli ikinci kayıp sıcaklık faktörüdür. Bu nedenle tezin konusu olan sıcaklık faktörü hakkında ilerleyen bölümlerde daha detaylı bilgiler verilmiştir.



Şekil 5.1. Fotovoltaik Panellerde Meydana Gelen Kayıplar (Çarkıt & Alçı, 2017)

5.2. Sıcaklığın Verim Üzerindeki Etkisi

Güneş panellerinin verimlerinde meydana gelen kayıpların başlıca nedeni sıcaklık artışıdır. Hücre veriminde meydana gelen kayıplar Denklem 5.1'deki şekilde ifade edilebilir (Ceylan & Gürel, 2017).

$$\eta_h = \eta_{stk}[1 - \beta(T_h - 25)] \tag{5.1}$$

Denklem 5.1'de η_h hücre verimini,

η_{stk} standart test koşullarındaki verim,

β sıcaklık katsayısı,

T_h ise ölçülen an için PV hücrenin sıcaklığıdır.

β değeri güneş hücresinin yapısına bağlı olarak 0,002 ile 0,0045 arasında değişiklik gösterir.

Bu durum düşünüldüğünde hücre sıcaklına bağlı olarak modül verimi Denklem 5.2'deki gibi hesaplanabilir (Ceylan & Gürel, 2017).

$$\eta_m = \eta_h \, x \, \tau_g \, x \, \propto_h \, x \, PF \tag{5.2}$$

Denklem 5.2'de;

τ_g güneş panelinin geçirgenlik katsayısını,

$\propto_h$ güneş ışınımının absorpsiyon oranını,

PF paketleme faktörünü göstermektedir.

Polikarbon yüzey kaplamaları için τ_g değeri 0,90 olarak,

$\propto_h$ yaklaşık olarak 0,95

PF 'de genellikle 0,90 olarak alınabilir.

Paketleme faktörü, bir güneş paneli içerisindeki hücrelerin kapladığı alanın, panel alanına oranı olarak tanımlanabilir ve Denklem 5.3 kullanılarak da hesaplanabilir (Ceylan & Gürel, 2017).

$$PF = \frac{Toplam\ hücre\ alanı}{Toplam\ modül\ alanı} = \frac{c\ x\ d\ x\ hücre\ adedi}{a\ x\ b} \tag{5.3}$$

5.3. Dolgu Faktörü

Doldurma faktörü, açık devre voltajı ile kısa devre akımları değerleri kullanılarak modül veriminin bulunması için kullanılan bir diğer değerdir. Denklem 5.4'te olduğu gibi gösterilir.

$$\eta_m = \frac{P_{mak}}{A_m x\, I(t)} \tag{5.4}$$

Denklem 5.4'te P_{mak} panelden elde edilebilecek maksimum güç olup bu değer Denklem 5.5'te gösterildiği gibi hesaplanabilir (Ceylan & Gürel, 2017).

$$P_{max} = DF.V_{oc}.I_{sc} = I_{mp}.V_{mp} \tag{5.5}$$

DF doldurma faktörü ise Denklem 5.6'daki gibi gösterilebilir;

$$DF = \frac{V_{mp}.I_{mp}}{V_{oc}.I_{sc}} = \frac{P_{max}}{V_{ov}.I_{sc}} \tag{5.6}$$

Denklem 5.6'da;
A_m, panel alanını (m^2),
$I(t)$, güneş ışınımını (W/m^2),
V_{mp}, maksimum voltajı,
I_{mp}, maksimum akımı,
V_{oc}, açık devre voltajını (V),
I_{sc}, kısa devre akımını (A) göstermektedir.

DF, doldurma faktörü olarak bilinse de açı faktörü olarak da bilinir ve bu değer silisyum yapıdaki güneş panelleri için 0,78 olarak alınabilir (Ceylan &Gürel, 2017).

Günümüzde kullanılan güneş panellerinden elde edilecek elektriksel kazanç Denklem 5.7'de gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$\dot{E}_{net} = \eta_m\, x\, A_m x\, I(t) \tag{5.7}$$

Burada;

η_m, modül verimini,

A_m, modül yüzey alanını (m^2) ifade etmektedir.

Bir modülde oluşan toplam güç ise Denklem 5.8'deki gibi hesaplanabilir (Ceylan & Gürel, 2017).

$$P_m = P_{stk}[1 - \beta(T_h - 25)] \quad (5.8)$$

Denklem 5.8'de $P_{stk} = P_{mak}$ standart test koşullarındaki panel gücünü (W),

η_{ref}, standart test koşullarındaki panel verimini (%),

T_h, çalışma şartlarındaki hücre sıcaklığını (°C) göstermektedir.

Sistemlerdeki yıllık üretilebilecek güç ise Denklem 5.9'daki gibi hesaplanabilir (Ceylan & Gürel, 2017);

$$P_{yıl} = P_m \, x \, GS_{ort} \, x \, \eta_{inv} \, x \, 365 \quad (5.9)$$

Denklem 5.9'da;

P_m, kurulu gücü,

GS_{ort}, yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat),

η_{inv}, invertör verimini (%) ifade etmektedir.

BÖLÜM 6

TEORİK HESAPLAMALAR

6.1. Fotovoltaik Sistemlerin Termodinamik Analizi Kavramı

Fotovoltaik sistemlerin enerjileri güneş ışınları tarafından yayılan ısı ve elektrik olmak üzere iki farklı bileşene bağlıdır. Fotovoltaik sistemler elektriksel ekserji olarak adlandırılabilen üretilen elektrik enerjisinin yararlı bir amaç için kullanılabilmesi ve faydalı bir işlevde kullanılmaması ile ısı kaybı olarak adlandırılan iki farklı olaydan oluşur. Fotovoltaik sistemlerde verim bir diğer adıyla enerji dönüşüm faktörü, fotovoltaik hücrede üretilen elektrik miktarının hücreye nüfuz eden toplam güneş ışınımına oranı olarak nitelendirilebilir. Ortam ve hücre sıcaklıkları, fotovoltaik hücrenin kimyasal bileşenleri gibi özellikler verimin hesaplanmasında dikkate alınmamaktadır. Kısacası fotovoltaik hücrelerde verim kavramının ölçütü güneş enerjisini elektriğe dönüştürebilme kabiliyetidir (Öztürk & Kaya, 2019).

6.2. Ekserji Analizi Kavramı

Termodinamiğin birinci yasasına göre, var olan enerji yok edilemez ve yoktan da var edilemez, enerji biçimleri değişiklik gösterse de bir çevrimde farklı enerjilerin toplamları birbirine eşittir. Elektrik enerjisi, Potansiyel ve kinetik enerjiler tersinir bir değişime uğrarlarsa tamamen başka bir enerji türüne veya işe dönüşebilirler fakat iç enerji, kimyasal ve ısı enerjileri son konumda çevre koşullarında hala belirli bir enerjide denge durumunda olsalar da enerjilerinin tamamını işe dönüştürmek mümkün olmamakla birlikte bu enerjinin sadece belirli bir kısmı kullanılabilmektedir.

Termodinamiğin ikinci yasası, kullanılabilir olan faydalı enerji kavramı üzerinedir ve geri döndürülemez işlemler olarak tanımlanabilen tersinmezlik sonucunu ortaya

çıkartmaktadır. Belirli bir miktar enerjinin kalitesi, o enerjinin başarabileceği faydalı işin, mümkün olan en yüksek seviyedeki iş miktarına bağlı olarak ölçülebilir (Öztürk & Kaya, 2019).

Isıl sistemlerde gerçekleşen ısı kayıpları, termodinamiğin birinci yasası olan enerji dengesi kavramıyla bulunur. Enerjinin hangi kısımlarda ne kadarlık bir miktarının verimsiz kullanıldığı termodinamiğin ikinci yasasıyla bulunur.

Termodinamiğin ikinci yasası dikkate alındığında ekserji düşünülerek enerji kalitesi için bir ölçüt belirlenebilir. Termodinamiğin birinci yasasını etkileyen ikinci yasaya göre ısı enerjisinin tamamı işe dönüştürülemez fakat bir işin tamamı ısı enerjisine dönüştürülebilir. Bu durum göz önünde bulundurularak enerji, diğer bir enerji türlerine dönüştürülebilen ve dönüştürülemeyen olmak üzere iki bölümden meydana gelir. Enerjinin diğer enerji türlerine dönüştürülebilen ekserji diğer bir deyişle kullanılabilir enerji olarak nitelendirilebilir. Diğer bir deyişle ekserji, ısı enerjisinin işe dönüştürülebilen tarafıdır (Öztürk & Kaya, 2019).

Nicel bir kavram olarak işlem içerisindeki tüketilen ekserji miktarına eşit olarak tanımlanan Tersinmezlik kavramı ortam sıcaklığı ve işlemdeki net entropi değişimine bağlı olduğundan termodinamiğin ikinci yasası ile bağlantılıdır. Tersinmezlikler nedeniyle gerçek işlemlerde ekserji tüketilir veya yok edilebilir. İşlemler süresince olan ekserji tüketim miktarıyla, işleme ilişkin tersinmezlikler sebebiyle yaratılan entropi ile doğrudan orantılıdır. Ekserji belirli termodinamik şartların altında enerjinin başka bir tür enerji şekillerine dönüşebilen kısmıdır (Öztürk & Kaya, 2019).

Bir sistemin toplam ekserjisi Ξ, fiziksel ekserji Ξ_f, kinetik ekserji Ξ_k, kimyasal ekserji, Ξ_c ve potalsiyel ekserji Ξ_p ile gösterilirse sistemin toplam ekserjisini bulabilmek için Denklem 6.1 kullanılabilir.

$$\Xi = \Xi_f + \Xi_k + \Xi_c + \Xi_p \ldots \quad (6.1)$$

Kapsamlı bir özellik olan Ekserjiyi, birim kütle veya madde miktarını dikkate alarak değerlendirme yapmak en uygunu olacaktır. Kütleye bağlı olarak toplam özgül ekserji "$\boldsymbol{\varepsilon}$", fiziksel ekserji $\boldsymbol{\varepsilon}_f$, kimyasal ekserji $\boldsymbol{\varepsilon}_c$, kinetik ekserji $\boldsymbol{\varepsilon}_k$ ve potalsiyel ekserji $\boldsymbol{\varepsilon}_p$ olarak düşünüldüğünde Denklem 6.2 ile açıklanabilir.

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}_f + \boldsymbol{\varepsilon}_f + \boldsymbol{\varepsilon}_p + \boldsymbol{\varepsilon}_c \ldots \quad (6.2)$$

Termodinamik sistemlerde belirli koşullara bağlı kalındığında ekserji denklemlerinde verilen bileşenlerin tamamının kullanılabileceği gibi bazıları da kullanılabilir. Kinetik, potansiyel ve kimyasal bileşim enerjilerinde bir değişiklik olmadığında fiziksel ekserji, özgül entalpinin h, özgül entropinin s, ve sıcaklığın T ve referans çevre koşullarının alt indisinin "*ai*" ile gösterildiği bir Denklem 6.3'te olduğu gibi bulunabilir (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\boldsymbol{\varepsilon}_f = (h - h_{ai}) - T_{ai}(s - s_{ai}) \quad (6.3)$$

Çevre, farklı sistem veya sistem gruplarının belirlenen en yüksek iş potansiyeli için doğal-referans bir ortam meydana getirir. Meydana gelen bu referans ortam durağan bir sistemin çevre ile ısıl ve mekanik dengede olduğu durumu belirtir ve sonsuz bir sistem gibi düşünülebilir. Referans ortam kararlı halde denge durumunda bulunur. Ekserji değerleri devamlı olarak referans ortam koşulları ile karşılaştırılarak değerlendirilmelidir. Referans ortam tanımlamalarında sıcaklık (T_0), basınç (P_0), kimyasal potansiyel (μ_{joo}) gibi belirli değerler kullanılır.

6.2.1. Ekserji Değeri Hesaplamaları

Sabit sıcaklık olan (T) ile ortam sıcaklığı olan (T_0) sıcaklıkların arasındaki ısı enerjisinden (Q) elde edilebilecek en yüksek iş (W_{max}) Carnot çevrimine göre Denklem 6.4 ile hesaplanabilir.

$$W_{max} = \Xi = \frac{(T - T_0)}{T} . Q = Q - \frac{T_0}{T} . Q \ldots \quad (6.4)$$

Isı enerjisinden faydalanılarak elde edilebilecek olan en yüksek iş ekserji ($\frac{T_0}{T} . Q$) ise işe dönüştürülemeyen bölümdür.

Ekserji değerlerindeki değişimler, ısı enerjisi değerlerindeki değişimlere bağlıdır.

$$d\Xi = dQ - \frac{T_0}{T} dQ \quad (6.5)$$

$$dQ = m\ x\ c_p\ x\ dT \tag{6.6}$$

Denklem 6.5 ve 6.6'da belirtilen T sıcaklığındaki ısı ekserjisi Denklem 6.7 ile bulunabilir.

$$\Xi = \int_{T_0}^{T} m.\, c_p \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) dQ \tag{6.7}$$

Denklem 6.7 izo-termal olmayan hesaplamalar içinde kullanılabilir. Bulunulan durumda T_1 sıcaklığındaki suyun ekserjisi Denklem 6.8'de olduğu gibi hesaplanabilir (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\Xi_{su}(T_1) = m.\, c_p \left[(T_1 - T_0) - T_0 \ln \frac{T_1}{T_0}\right] \tag{6.8}$$

T_1 Sıcaklığındaki su, T_2 sıcaklığına kadar ısıtılırsa ekserji artışı Denklem 6.9 ve 6.10'daki gibi hesaplanabilir.

$$\Delta\Xi = \Xi(T_2) - \Xi(T_1) \tag{6.9}$$

$$\Delta\Xi = m\ x\ c_p.\left[(T_2 - T_1) - T_0 \ln \frac{T_2}{T_1}\right] \tag{6.10}$$

Denklem 6.10'da görüleceği gibi, ekserji de olan artış sıcaklık farkı $(T_2 - T_1)$ ile enerji artışında olduğu gibi doğrusal şekilde değişmez. Ekserji artışı, sıcaklık miktarı ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir. $(T_2 - T_1)$ Farkı aynı olduğunda $\left({}^{T_2}/_{T_1}\right)$ oranı sıcaklık seviyeleri yüksek olduğunda düşük sıcaklık seviyelerine göre daha düşüktür. Ortam sıcaklığı yüksek seviyede olduğunda, enerji miktarı yüksek olsa da ekserji miktarı düşüktür. Belirli bir seviyede enerji eklenmesi durumunda, yüksek sıcaklık seviyelerinde düşük sıcaklık seviyelerine oranla daha yüksek seviyede ekserji artışı meydana gelir. Ayrıca yüksek sıcaklık seviyelerinde meydana gelen enerji kaybı, düşük sıcaklık seviyelerinde meydana gelen enerji kaybından çok daha yüksek seviyededir. Ekserji miktarlarındaki değişim sıcaklık miktarındaki artış ile birlikte artmaktadır (Öztürk & Kaya, 2019).

Potansiyel ve kinetik enerji seviyelerindeki değişim göz ardı edilirse, kararlı akış gerçekleşen bir işlemde kullanılan akışkanın birim kütlesinin ekserjisi Denklem 6.11 ile hesaplanabilir.

$$\Xi = (h - h_o) - T_o(S - S_o) \tag{6.11}$$

Bu denklemde alt indeks olarak belirtilen "o", "ortam" veya "ölü-durum" koşullarını belirtir. Benzer bir şekilde T sıcaklığındaki bir ısı kaynağından transfer edilen belirli mir miktardaki ısı ekserjisi (Q) Denklem 6.12 ile hesaplanabilir.

$$\Xi = \mathrm{Q}\left(1 - \frac{T_o}{T}\right) \tag{6.12}$$

Ekserji üretiminin gerçek işlerdeki sürtünme, sonlu sıcaklık farklarında transfer edilen ısı miktarı tersinmezlikleriyle ve entropi üretimiyle doğrudan bağlantılı olduğundan ekserji azalımını en düşük seviyelere indirmek için ısıl sistemlerinin tasarımlarının en iyilenmesi yaklaşımı ve "Guoy-Stodola" teoremleri gibi sistemde gerçekleşen tersinmezlikleri azaltmayı hedefleyen yöntemler ön plana çıkmaktadır (Öztürk & Kaya, 2019).

6.2.2. Ekserji Analizi

Ekserji analizi hesaplamaları, ekserji yararlılık gibi terimlerle adlandırılan yararlanılabilir enerjinin ve tersinmezlik olarak adlandırılan yararlanılamayan enerjinin belirlenmesine olanak sağlar. Ekserji analizlerinde termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarından faydalanılır. Bir enerji akışının daha etkin olarak gerçekleşmesine olanak sağlayan enerji kalitesini esas alır. Ayrıca ekserji analizlerinde enerji akışlarındaki belirli farklılıklar, yani sıcaklık düzeylerindeki farklılıklarda ısı enerjisi seviyelerinde, basınç düzeylerindeki farklılıklarda mekanik enerji seviyelerinde, aydınlatma için kullanılan elektrik enerjisi seviyelerinde ve madde birleşimi sebebiyle kimyasal enerji seviyelerinde meydana gelen farklılıklar, sıcaklık düzeyi, deniz seviyesinden yükseklik veya basınç kaybındaki değişiklikler ile ilgili olarak tersinmezlik artışları veya enerji etkinliği seviyelerinin azalması durumları incelenir (Öztürk & Kaya, 2019).

Ekserji fonksiyonu Denklem 6.13'te olduğu gibi tanımlanabilirken;

$$(U_e + P_oV - T_oS) \tag{6.13}$$

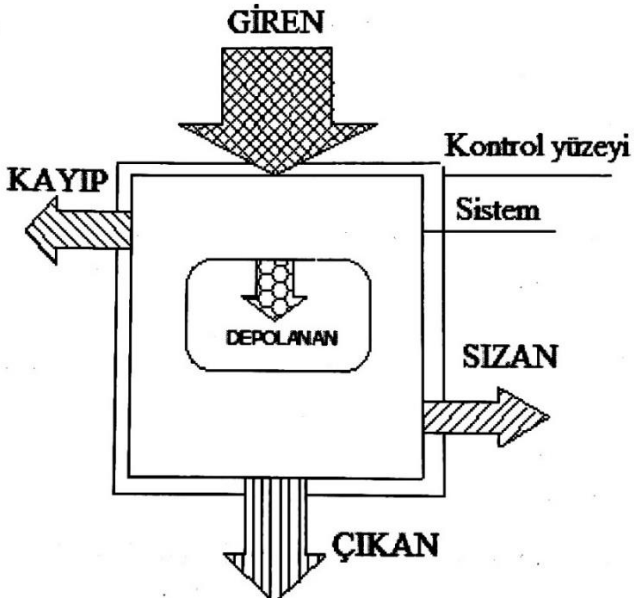
Akış ekserjisi Denklem 6.14'teki gibi tanımlanır.

$$(H - T_oS) \tag{6.14}$$

Açık bir sistemde Ξ ekserji akışı (J), u iç enerji (J), P basınç (Pa), V hacim (m^3), T mutlak çevre sıcaklığı (K), S entropi (J/K), μ_{ia} kimyasal enerji potansiyeli (J/mol), N mol sayısı (mol), ve a ölü durumu belirtirse sistemin temel ekserjisi Denklem 6.15 ile bulunabilir.

$$\Xi = (u_e - u_{ea}) + P_a(V - V_a) - T_a(S - S_a) - \sum_i \mu_{ia}(N_i - N_{ia}) \tag{6.15}$$

Termodinamik bir çevrimin ekserji dengesine bakılırken sisteme giren ekserji miktarı, sistemden çıkan ekserji miktarı, çevreye sızan ekserji miktarı, sistemden kaybolan ekserji miktarı ve sistemdeki ekserji değişimi dengede etkili olan niceliklerdir (Öztürk & Kaya, 2019).



Şekil 6.1. Ekserji Dengesi Diyagramının Termodinamik Bir Sistemdeki Gösterimi

Şekil 6.1'deki ekserji dengesi diyagramından yola çıkarak enerji dengesi en genel anlamda Denklem 6.16 ile tanımlanabilir.

$$\sum Ekserji_{Giren} = \sum Ekserji_{Depolanan} + \sum Ekserji_{Çıkan} + Tersinmezlik \quad (6.16)$$

Başlangıç ve bulunduğu son durumları tanımlanmış bir sistem için m kütle (kg), T sıcaklık (K), ε kararlı hal koşulları için özgül ekserji (kJ/kg), I tersinmezlik hızı (kJ/s), s özgül entropi (kJ/kgK), h_r referans sıcaklık ve basınçta özgül entalpi, s_r referans sıcaklık ve basınçta özgül entropi olarak tanımlanırsa ekserji akış dengesi Denklem 6.17 ve 6.18 ile gösterilebilir (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\dot{Q}\left(1 - \frac{T_r}{T}\right) = \left[(\dot{m}\varepsilon)_f - (\dot{m}\varepsilon)_i\right] + \dot{\Xi}_{Çıkan} + \dot{I} \quad (6.17)$$

$$\varepsilon = (h - h_r) - T_r(s - s_r) \quad (6.18)$$

Ekserjiye bağlı olarak tanımlanabilen bir etki sağlayan bir çevrimde gerçekleşen herhangi bir kararlı durumdaki işlem için belirtilebilen genel bir etkinlik ölçütüne Ekserjetik etkinlik denir. Denklem 6.19'da gösterildiği gibi Ekserjetik etkinlik, sitemden çıkan toplam ekserjinin sisteme gerekli olan toplam ekserjiye oranıdır. Termodinamiğin ikinci yasasından dolayı $I \geq 0$ 'dır ve bu yüzden;

$$0 \leq \frac{\sum E_{ÇIKAN}}{\sum E_{GİREN}} \leq 1 \text{ 'dir.} \quad (6.19)$$

Rasyonel etkinlik olarak da adlandırılan Ekserjetik etkinliği "ψ" simgesi ile gösterecek olursak, Denklem 6.20 ve 6.21'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\Psi = \frac{\sum \Delta E_{ÇIKAN}}{\sum \Delta E_{GİREN}} \quad (6.20)$$

$$\Psi = 1 - \frac{I}{\sum \Delta E_{GİREN}} \quad (6.21)$$

Ekserjetik etkinlik, enerji değeri ile alakalı olan tersinmezlik artışları veya ekserji kayıplarını inceleyen bir etkinlik olarak tanımlanabilir.

Entropi üretiminin en aza indirilmesine dayanan sistem tasarım yöntemlerinin geliştirilmesine yardımcı olmak, termodinamik kayıpları sadece birinci yasaya dayanarak değil, hem birinci hem de ikinci yasaya göre değerlendirmek, herhangi bir enerji dönüşümü sisteminin kendi için uyumlu olarak tasarlanıp işletilmesine olanak sağlamak, termodinamiğin ikinci yasasının analizini kolaylaştırmak ve bir sistemdeki kayıpları analiz etmeye olanak sağlamak, farklı türdeki ve kalitedeki fazla miktar enerji gerektiren uygulamaların ve enerji dönüşümü işlemlerinin tasarımı ve etkin olarak işletilmesinde uygun olmak ısıl işlemlerde ekserji analizinin faydalarındandır (Öztürk & Kaya, 2019).

6.3. Fotovoltaik Sistemlerin Enerji ve Ekserji Analizi

Fotovoltaik sistemlerin termodinamik analiz hesaplamalarında Joshi ve Ark., tarafından gerçekleştirilen çalışmadan faydalanabiliriz. Kararlı durum ve kararlı akıştaki bir sistem ($m_{in} = m_{out} = 0$) için enerji ve ekserji dengesi Denklem 6.22 ve 6.23'te gösterilen şekilde belirtilebilir.

$$\sum_{in} en_{in}\dot{m}_{in} - \sum_{ex} en_{out}\dot{m}_{out} + \sum_{k} \dot{Q}_k - \dot{W} \tag{6.22}$$

$$\sum_{in} ex_{in}\dot{m}_{in} - \sum_{ex} ex_{out}\dot{m}_{out} + \sum_{k} \dot{E}x^{Q} - \dot{E}x^{W} - \dot{I} \tag{6.23}$$

Sistemdeki ekserji tüketimi "I", tersinmez bir işlem için sıfırdan büyük, tersinir bir işlemde ise sıfıra eşittir. Denklem 6.22 ve 6.23'ü basitleştirmek gerekirse Denklem 6.24 ve 6.25 ile de ifade edilebilir;

$$\sum_{k} \dot{Q}_k - \dot{W} = 0 \tag{6.24}$$

$$\sum_{k} \dot{E}x^{Q} - \dot{E}x^{W} - \dot{I} = 0 \tag{6.25}$$

İşlem süresince meydana gelen tersinmezlikler sebebiyle oluşan ekserji tüketimi Denklem 6.26 ile hesaplanabilir.

$$\dot{I} = T_{amb}\, x\, S_{gen} \tag{6.26}$$

6.3.1. Fotovoltaik Sistemde Enerji ve Ekserji Hesaplamaları

Bir fotovoltaik sistemdeki enerjiler güneş ışınlarının etkisiyle elektrik ve ısı enerjisi olmak üzere iki bileşene ayrılır. Elektrik üretimi fotovoltaik etki ile üretilir ve bu yüzden güneş ışınlarının ısısıyla hücreler de ısınır. Fotovoltaik sistemlerde üretilen elektrik çeşitli şekillerle tamamen kullanılabildiği için bu enerji elektriksel ekserji olarak da adlandırılan bir enerjidir. Bunun aksine ısı enerjileri fotovoltaik sistemlerde faydalı bir iş için kullanılamadığından çevreyle olan ısı kaybı olarak isimlendirilir. Bu bilgiler düşünüldüğünde fotovoltaik sistemlerde kazanılan enerji çıktısı Denklem 6.27 ile belirtilebilir.

$$\dot{E}n_{out} = \dot{E}n_{ELEKTRİK} + \dot{E}n_{ISI} = V_{oc} * I_{sc} + \dot{Q} \tag{6.27}$$

Benzer bir şekilde bir fotovoltaik sistemde kazanılan ekserji çıktısı Denklem 6.28 ile bulunabilir.

$$\dot{E}x_{out} = \dot{E}x_{ELETKRİK} + \dot{E}x_{ISI} + \dot{E}x_{d} = \dot{E}x_{ELEKTRİK} + \dot{I} \tag{6.28}$$

Denklem 6.28'de "$\dot{I}$ " fotovoltaik sistemdeki ekserji tüketimi ve tersinmezlikler olarak tanımlanabilir ve gerçekleşen kayıpları içsel ve dışsal olarak ayırt etmeden tamamen kapsar. Denklem 6.29'da olduğu gibi ifade edilebilir.

$$\dot{I} = \sum \dot{E}x_{d} = \dot{E}x_{d,ısı} + \dot{E}x_{d,elektrik} \tag{6.29}$$

Sistemde gerçekleşen içsel kayıplar elektriksel ekserji $\left(\dot{E}x_{d,elektriksel}\right)$'nin dağılması olarak dışsal kayıplar da çevre ile meydana gelen ısı kayıpları $\left(\dot{E}x_{d,thermal}\right)$ olarak tanımlanabilir. Gerçekleşen ısı kayıpları fotovoltaik sistemlerde sayısal olarak $Ex_{thermal}$ değerine eşittir. Ek olarak fotovoltaik etki ile elektrik üretilirken açığa çıkan ısı enerjisinden yararlanılmak için tasarlanan sistemler için (PV/T sistemler) ısı kayıpları değerlendirilerek ısı kazancı durumuna geldiğinden, PV/T sistemleri için ekserji kaybı Denklem 6.30'da görüldüğü gibi sadece elektriksel ekserji kaybı olarak görülür.

$$\dot{I} = \sum \dot{E}x_d = \dot{E}x_{d,elektrik} \quad (6.30)$$

Bir fotovoltaik sistemde elektriksel ekserjiyi ($Ex_{elektriksel}$) bulabilmek için, fotovoltaik yüzey tarafından emilen ekserji içeriğinin tamamının, maksimum elektriksel ekserji üretmek için ($V_{oc} * I_{sc}$) kullanıldığı kabul edilir. Bu göz önüne alınırsa ve üretilen enerji miktarı $V_{oc} * I_{sc}$, elektriksel ekserji kaybı $\left(Ex_{d,elektrik}\right) V_{oc} * I_{sc} - V_m * I_m$ olarak gösterilirse elektriksel ekserji Denklem 6.31 ile hesaplanabilir.

$$\dot{E}x_{ELEKTRİK} = \dot{E}n_{ELEKTRİK} - \dot{I} = V_{oc} * I_{sc} - (V_{oc} * I_{sc} - V_m * I_m) \quad (6.31)$$

Fotovoltaik sistemlerde üretilen elektriksel ekserji, Denklem 6.32'de gösterildiği gibi üretilen elektrik miktar ve elektriksel ekserji kaybının toplanmasıyla bulunur.

$$\dot{E}x_{elektrik} = V_m + I_m \quad (6.32)$$

Bir fotovoltaik sistemin ısıl ekserjisi ($Ex_{ısı}$), fotovoltaik hücre yüzeyinden çevreye doğru olan ısı kaybı ile oluşur. Bu ısıl ekserji Denklem 6.33 ile bulunabilir.

$$\dot{E}x_{ISI} = \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}}\right) * \dot{Q} \quad (6.33)$$

Denklem 6.33'teki $\left(\dot{Q}\right)$ olarak belirtilen fotovoltaik hücre yüzeyinden çevreye doğru olan ısı kaybı Denklem 6.34 ile bulunabilir.

$$\dot{Q} = h_{ca} * A(T_{cell} - T_{amb}) \quad (6.34)$$

Fotovoltaik hücrelerde çevreye doğru ışınım ve taşınım şeklinde gerçekleşen ısı transferi katsayısı (h_{ca}), rüzgâr hızı (v), havanın yoğunluğu ve çevre koşullarına bağlı olarak Denklem 6.35 ile bulunabilir.

$$h_{ca} = 5{,}7 + 3{,}8 * v \quad (6.35)$$

Bir fotovoltaik sistemin ekserjisi Denklem 6.36 ile bulunulabilir.

$$\dot{E}x_{PV} = V_m * I_m - \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}}\right) * [h_{ca} * A(T_{cell} - T_{amb})] \quad (6.36)$$

Fotovoltaik sistemlerde ekserji sadece elektriksel ekserji olarak alınır. Bu yüzden sistemdeki çevreye kaybolan atık durumdaki ısı enerjisi eksi işaret ile denklemde yer alır. PV/T sistemlerinde ısı enerjisi değerlendirildiği için ekserji eşitliği Denklem 6.37 ile hesaplanabilir ve elektriksel ve ısıl enerjilerin toplamı ile bulunur (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\dot{E}x_{PV/T} = V_m * I_m + \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}}\right) * [h_{ca} * A(T_{cell} - T_{amb})] \quad (6.37)$$

6.3.2. Enerji Analizi

Normal şartlarda yapılan enerji analizlerinde termodinamiğin birinci yasası olan enerjinin korunumu dikkate alınır ve kullanılan enerji miktarları ve enerjinin akışındaki etkinliği incelenir. Bir çevrimde enerji dengesi Denklem 6.38 ile hesaplanabilir.

$$\sum Enerji_{Giren} = \sum Enerji_{Depolanan} + \sum Enerji_{Çıkan} \quad (6.38)$$

Başlangıç durumu " i " ve son durum " f " olan kararlı bir işlem düşünüldüğünde $\dot{Q}$ sisteme verilen enerji (kJ/s), h özgül entalpi (kJ/kg), $\dot{W}$ çıkan enerji (kJ/s) veya iş (kW) ve $\dot{m}$ kütle akış hızı (m/s) ise enerji dengesi Denklem 6.39'daki gibi hesaplanabilir (Öztürk & Kaya , 2019).

$$\dot{Q} = \left[(\dot{m}h)_f - (\dot{m}h)_i\right] + \dot{W} \quad (6.39)$$

Teorik olarak bir işin tamamı ısı enerjisine dönüştürülebilirken, ısı enerjisinin tamamı işe dönüşümü mümkün değildir ve sıcaklık ile sınırlıdır. Bu sınırlama "Carnot Çevrimi" ile tanımlanabilmektedir. Kararlı haldeki bir işlem veya sistemin enerjetik etkinliği Denklem 6.40 ile tanımlanabilir.

$$\eta(\%) = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}} \tag{6.40}$$

Enerji kaynağı seçimi ve alternatif enerji kaynaklarını, enerji korunumu yöntemlerini, yararlanma etkinliğinin sadece enerji miktarına bağlı olduğu uygulamaları ve sadece belirli bir tür enerji kullanılan sistemleri inceleme ve boyutlandırma da enerji analizi yöntemleri kullanılabilir (Öztürk & Kaya, 2019).

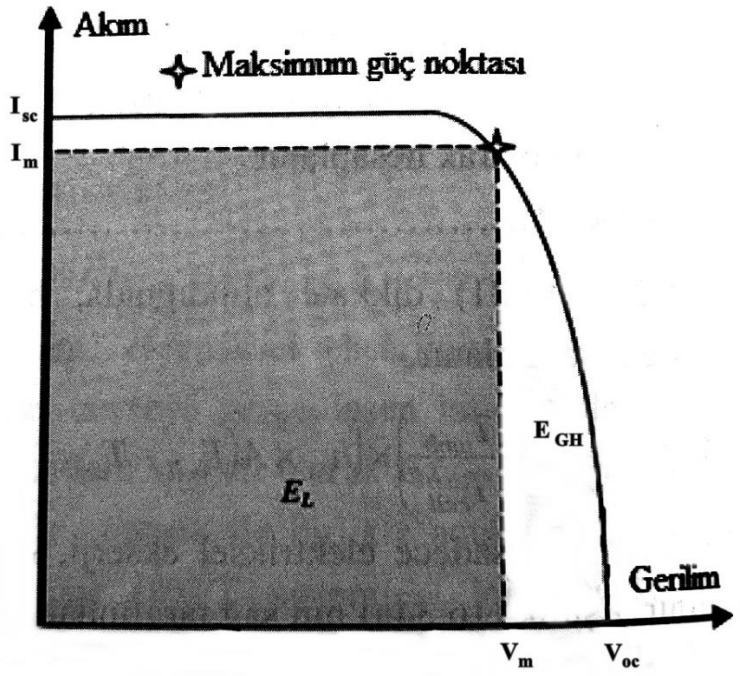
6.4. Fotovoltaik Sistemde Enerji ve Ekserji Verimi

6.4.1. Enerji Verimi

Fotovoltaik bir sistemin enerji verimi konusu işlenirken elektrik ve ısı enerjisi dahil sistemden çıkan enerjinin, fotovoltaik sistemin güneş enerjinden gelen ışınların yüzeyi tarafından emilen enerjisine oranı dikkate alınır. $\eta_{ENERJİ}$ ifadesi Denklem 6.41'deki gibi ifade edilebilir.

$$\eta_{ENERJİ} = \frac{\dot{E}n_{out}}{\dot{E}n_{in}} = \frac{V_{oc}*I_{sc}+\dot{Q}}{S_T*A} \tag{6.41}$$

Fotovoltaik hücrelerde verim ölçütü güneşten hücre yüzeyine gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğidir. Elektriksel güç çıktısı ise fotovoltaik sistemden elde edilen gerilim ve akıma göre tanımlanır. Sabit güneş ışınımında bile bu dönüşüm çevrimi sabit bir değerde değildir. Maksimum güç noktası vardır ve bu noktada (V_m) olarak tanımlanan gerilim değeri (V_{oc}) olarak tanımlanan açık devre geriliminden daha düşük seviyededir. Fakat bu seviye çok az bir değerdir bu yüzden birbirlerine çok yakındırlar. (I_m) olarak tanımlanan akım da (I_{sc}) olarak tanımlanan kısa devre akımından düşük ama gerilimde olduğu gibi çok yakın seviyededir (Öztürk & Kaya, 2019).



Şekil 6.2. Gerilim ve Akım Değerlerinin Niceliksel Olarak Fotovoltaik Verim İçin Gösterimi

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, elektronun maksimum enerji içeriğinde üretimi yapılan ve (E_{GH}) olarak tanımlanan elektrik miktarı, elektronun en yüksek güneş ışınımı şartlarında ulaşılabilen maksimum enerji düzeyi için sabittir. Eğrinin alt kısmındaki I_{sc}'den V_{oc}'ye kadar aktif bir alan gerekir. Eğer eğrinin altındaki alan göz önüne alınırsa elektrik miktarı Denklem 6.42 ile bulunur.

$$E_{GH} = \int_{V=0}^{V_{oc}} I(V)dv \tag{6.42}$$

Ek olarak, pratikte yapılan uygulamalarda gördüğümüz elektronun düşük enerji içeriği, Şekil 6.2'deki dikdörtgen şeklindeki bir alan ile gösterilen E_L değeri sabit kalır ve bu yüzden E_L değeri Denklem 6.43 ile bulunabilir.

$$E_L = I_m * V_m \tag{6.43}$$

Maksimum güç noktası değeri (FF) ile gösterilen ve dolum faktörü olarak adlandırılan bir terimle sınırlandırılır. Dolum faktörü Denklem 6.44 ile tanımlanabilir.

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (6.44)$$

Gerilim ve elektron yükü arasında Denklem 6.45 ve 6.46'daki gibi bir güç ilişkisi vardır.

$$E = V * I \quad (6.45)$$

$$I = \frac{q}{t} \quad (6.46)$$

Fotovoltaik hücrelerin (η_{pc}) olarak tanımlanan güç dönüşüm verimi, gerçekte üretilen elektrik miktarının fotovoltaik hücrelere gelen güneş enerjisi miktarına oranıdır. Bu tanımlamayı dikkate alarak güç dönüşüm verimi Denklem 6.47 ile tanımlanabilir (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\eta_{pc} = \frac{\dot{E}_L}{S_T * A} = \frac{V_m * I_m}{S_T * A} \quad (6.47)$$

Denklem 6.47'de güç dönüşüm verimi olarak tanımlanan verim değeri gerçek elektriksel verim olarak da adlandırılabilir. Bir fotovoltaik hücrede dolum faktörüne bağlı olarak güç dönüşüm etkinliği Denklem 6.48 ile tanımlanabilir.

$$\eta_{pc} = \frac{FF * V_{oc} * I_{sc}}{S_T * A} \quad (6.48)$$

Fotovoltaik hücrelerde üretilen maksimum elektrik miktarı ve giren toplam enerji miktarına bağlı olarak maksimum elektrik verimi (η) Denklem 6.49 ile gösterilebilir (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\eta_{m,elektrik} = \frac{V_{oc} * I_{sc}}{S_T * A} \quad (6.49)$$

6.4.2. Ekserji Verimi ve Güneş Işınım Ekserjisi

Fotovoltaik hücreler güneşten gelen ışınların doğrudan ve yaygın bileşenlerine göre etkilenir. Bu etkinin seviyesi atmosferik şartlara ve Carnot kısıtlamalarına göre değişiklik gösterir. Fotovoltaik hücrelerde gerçekleşen ekserji verimlerinin doğru olarak hesaplanabilmesi için sisteme gelen toplam güneş ışınım ekserjinin bilinmesi gerekir. Bu nedenle (Ex_{solar}, Ex_{in}) olarak gösterilen ve güneşim iç yüzeyinden fotovoltaik sistemin yüzeyine temas eden ısını ekserjini belirten güneş ışınım ekserjisi değeri, Denklem 6.50 ile bulunabilir (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\dot{E}x_{SOLAR} = \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right) * S_T * A \tag{6.50}$$

Ξ_g, güneş ışınım ekserjisi (W/m^2), I_T toplam güneş ışınımı (W/m^2), T_g güneş yüzey sıcaklığı (K) ve T_0 hava sıcaklığı (K) olarak tanımlandığında hava sıcaklığına ve güneş yüzey sıcaklığına bağlına bağlı olarak $Petela$ tarafından tanımlanan Denklem 6.51'deki gibidir.

$$\dot{\Xi}_g = \left[1 - \frac{1}{3}\left(\frac{T_o}{T_g}\right)^4 - \frac{4}{3}\left(\frac{T_o}{T_g}\right)\right] * I_T \tag{6.51}$$

Güneş ışınımı miktarı termodinamik etkinlik değerinin 0,948 olduğu yani ortam sıcaklığının 300K ve güneş sıcaklığının 5777K olduğu değerde çarpılırsa gerçeğe çok yakın bir değer bulunur. T_g olarak tanımlanan güneş yüzey sıcaklığı spektrumun 0,3-3,0 μm dalga boyu bandında 5762K olarak da alınabilir (Öztürk & Kaya, 2019).

6.4.3. Fotovoltaik Sistemin Ekserji Verimi

Genel olarak düşünüldüğünde bir sistemde kazanılan ekserji miktarının, ilk zamanda sisteme verilen ekserji miktarına oranını ekserji verimi olarak tanımlayabiliriz. Ekserji verimini (Ψ) simgesi ile gösterebilir ve Denklem 6.52'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\Psi = \frac{\dot{E}x_{out}}{\dot{E}x_{in}} = \frac{\dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_d}{\dot{E}x_{in}} = 1 - \frac{\dot{I}}{\dot{E}x_{in}} \tag{6.52}$$

Daha önce tanımladığımız $Petela$'nın güneş ışınım ekserjisi ve pv sistemin ekserjisi denklemlerini bu denklemde yerlerine koyarsak fotovoltaik sistemin ekserji verimini Denklem 6.53 ile hesaplayabiliriz.

$$\Psi_{PV} = \frac{V_m * I_m - \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}}\right) * [h_{ca} * A(T_{cell} - T_{amb})]}{\left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right) * S_T * A} \tag{6.53}$$

Aynı mantık ile PV/T sistemlerinde ekserji verimi de Denklem 6.54 ile hesaplanabilir (Öztürk & Kaya, 2019).

$$\Psi_{PV} = \frac{V_m * I_m + \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}}\right) * [h_{ca} * A(T_{cell} - T_{amb})]}{\left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right) * S_T * A} \tag{6.54}$$

BÖLÜM 7

PASİF SOĞUTMA YÖNTEMLERİ

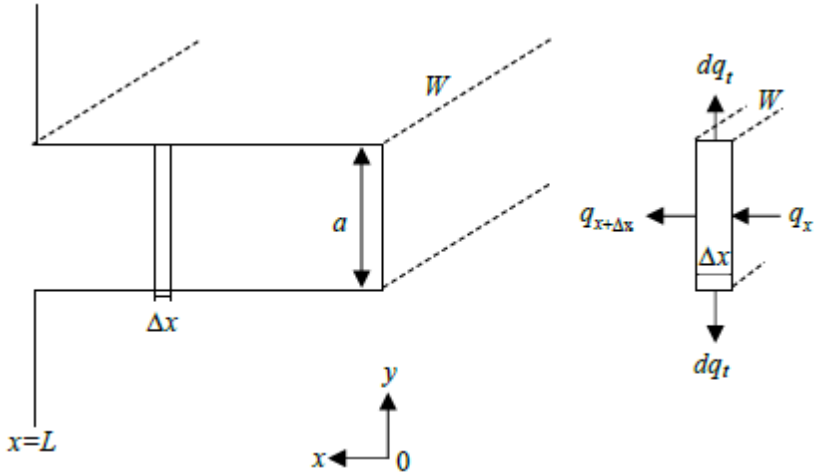
7.1. PV Panel Alt Yüzeyinde Kanatçık Uygulaması ile Pasif Soğutma

Fotovoltaik panellerin soğutulmasında pasif soğutma yöntemleri kullanmak ekstra bir enerji kullanılmadığı için daha çok tercih edilen soğutma yöntemlerindendir. Pasif soğutma yöntemlerinde ise en verimli olanı su ile soğutmadır fakat ısıtılan su yararlı bir amaç için kullanılmazsa kullanılan su israf edileceğinden birçok alanda hava ile soğutma kullanılır. Hava ile soğutulan güneş panellerinin soğutma mantığı doğal ısı taşınımı yöntemine dayanmaktadır. Panellerin altına kanatçıklar yerleştirilerek bu kanatçıklar ile ısı geçişi arttırılır. Genellikle yüksek ısıl iletkenliğe sahip malzemelerden yapılan kanatçıklar ile ekstra bir enerji harcanmadan soğutma sağlanmış olur.

Kanatçıklar ile ilgili yapılan teorik çalışmalarda analitik ve numerik olmak üzere farklı iki yöntem kullanılmıştır. Numerik çözümde Runge-Kutta tercih edilmiş olup denklemlerin elde edilmesinde enerjinin korunumu yasası kullanılmıştır. Ayrıca sıcaklık dağılımını veren denklemlerde bazı kabuller yapılmıştır (Bilen vd., 2022).

Yapılacak numerik çözümde enerji denge metodu yardımı ile sıcaklık dağılımı, ısı geçişi ve kanat verimlerini bulabilmek için Denklem 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 ve 7.5 kullanılabilir (Bilen vd., 2022). Dikdörtgen profilli kanatçıktaki sıcaklık dağılımı Şekil 7.1'de görülmektedir.

Dikdörtgen kesitli kanatlar için;



Şekil 7.1. Dikdörtgen Profilli Kanatçıktaki Sıcaklık Dağılımı (Bilen vd., 2022).

$$\dot{E}_{giren} + \dot{E}_{\text{üretilen}} = \dot{E}_{\text{çıkan}} + \dot{E}_{depolanan} \tag{7.1}$$

$$q_x = q_{x+\Delta x} + dq_t \tag{7.2}$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \underbrace{\frac{hP}{kA_c}}_{m^2}(T - T_\infty) = 0 \tag{7.3}$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}}, \bar{x} = \frac{x}{L}, \theta = \frac{T-T_\infty}{T_b-T_\infty}, dx = Ld\bar{x} \tag{7.4}$$

$$dT = (T_b - T_\infty)d\theta\ , \frac{dT}{dx} = \frac{T_b-T_\infty}{L}\frac{d\theta}{d\bar{x}} \tag{7.5}$$

Sınır koşulları Denklem 7.6, 7.7, 7.8, 7.9 ve 7.10 ile belirtilmiştir;

$$\left.\frac{dQ(\bar{x})}{d\bar{x}}\right|_{\bar{x}=0} = 0 \Rightarrow c_1 mL - c_2 mL = 0 \Rightarrow c_1 \Rightarrow c_2 \tag{7.6}$$

$$\theta(\bar{x})|_{\bar{x}=0} = 1 \Rightarrow \underbrace{c_1}_{c_2} e^{mL} + c_2 e^{-mL} = 1 \Rightarrow c_2(e^{mL} + e^{-mL}) = 1 \tag{7.7}$$

$$\theta(\bar{x}) = \frac{1}{2\cosh(mL)}(e^{mL\bar{x}} + e^{-mL\bar{x}}) \tag{7.8}$$

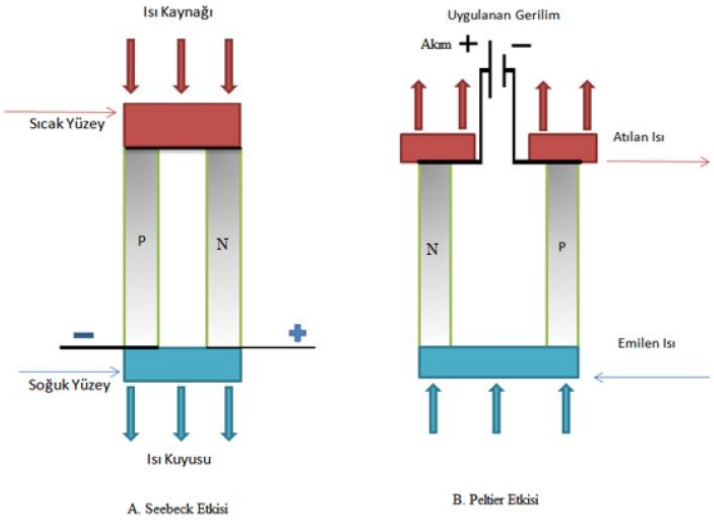
$$q_k = -kA_c \left.\frac{d\theta(\bar{x})}{d\bar{x}}\right|_{\bar{x}=1} = kA_c m\theta_b \tanh(mL) \tag{7.9}$$

$$\eta_k = \frac{q_k}{q_{maksimum}} = \frac{kA_c m\theta_b \tanh(mL)}{hA_l\theta_b} = \frac{\tanh(mL)}{mL} \tag{7.10}$$

7.2. PV Panel Alt Yüzeyine Termoelektrik Jeneratör Uygulaması ile Soğutma

İki farklı tür yarı iletken özellik taşıyan malzemenin birleştirilmesiyle meydana gelen yapılara termoelektrik modül (TEM) adı verilmektedir. Bu modüller üzerinden elektrik akımı geçirildiğinde yüzeyler arasında sıcaklık farkı oluşmasına peltier etkisi denilmektedir. Şayet yarı iletken malzemelerin bağlantı yüzeyleri arasında sıcaklık farkı meydana gelirse Seebeck etkisi ortaya çıkar ve bunun sonucunda elektrik akımı oluşur. Şekil 7.2'de Seebeck ve Peltier etkilerinin oluşumu görülmektedir. Termoelektrik modüllerin bir araya getirilmesi ile termoelektrik jeneratörler (TEJ) oluşturulmaktadır (Kayabaşı & Kaya, 2019).

Termoelektrik modüllerin yapısında hareketli parçanın bulunmaması, temiz, gürültüsüz ve yapılarının oldukça basit olmasından dolayı pek çok sektörde tercih edilmektedirler. Son zamanlarda termoelektrik jeneratörler ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılabildiği gibi özellikle atık ısılardan elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmaktadırlar. Günümüz şartlarında üretilen termoelektrik jeneratörlerin dönüşüm verimliliği düşük olmasına rağmen küçük uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayabaşı & Kaya, 2019).



Şekil 7.2. Termoelektrik Modüllerde Seebeck ve Peltier Etkisi Oluşumu (Kayabaşı & Kaya, 2019).

"Seebeck voltajı" olarak bilinen farklı iki yarı iletken malzemenin temas noktalarının arasında sıcaklık farkı oluşturulmasıyla elektrik gerilimi oluşması olayında p tipi yarı iletken malzeme kullanıldığında α değeri pozitif, n tipi yarı iletken malzeme kullanıldığında, α değeri negatif bir değer olmaktadır. Bu devreden ölçülen gerilim değeri

malzemelerin farklı iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. Isı çekilen soğuk yüzey T_c, ısı verilen sıcak yüzey T_h sıcaklıkları ile sıcaklık farkı oluşturulur. Oluşturulan bu sıcaklık farklarının oranı ve iç direnç değerleri P_{max} değerini belirler. Maksimum güç çıkışı değerine ulaşabilmek için $(R_L = R)$ olmalıdır. Yüzeyler arasında oluşan sıcaklık farkı $T_H - T_C = \Delta T$ olduğunda gerilim $(V_{max} = V_R)$ur. Maksimum verimlilik η_{max} saplanır. α değerini devreyi oluşturan malzemelerin özellikleri etkiler (Kayabaşı & Kaya, 2019).

Termoelektrik jeneratörler için kalite faktörü (Z) tanımlaması olarak yapılır ve Denklem 7.11'deki gibi ifade edilebilir.

$$Z = \frac{a^2}{R_{k_{th}}} \tag{7.11}$$

Termoelektrik jeneratör akımı (A) Denklem 7.12 ile hesaplanabilir (Kayabaşı & Kaya, 2019).

$$I = \alpha \Delta T / [(1 + m)R] \tag{7.12}$$

Termoelektrik jeneratörün elektrik direnci (R), Seebeck sabiti (α) ve RL Yükün elektrik direnci (Ω) Denklem 7.13 ve 7.14'teki gibi hesaplanabilir. Termoelektrik jeneratörlerin verimliliği yük değeri etkilemekte ve yüke bağlı olarak değişmektedir. Yük direnci için $R_L = mR$ varsayılır, m yük direncinin termoelektrik jeneratörün iç direncine oranıdır (Kayabaşı & Kaya, 2019).

$$\alpha = 2V_{max} \,/\, \Delta T \tag{7.13}$$

$$R = R_L = V_{max}^2 / P_{max} \tag{7.14}$$

Termoelektrik jeneratörlerin verimliliğini ve elektrik güç çıkışını ölçmek için sıcak yüzeye uygulanan termal güç girişi bilinmelidir. Termoelektrik jeneratörlerin ısı çekilen soğuk yüzey T_c ve ısı verilen sıcak yüzey T_h sıcaklıkları verim için kullanılabilmektedir (Kayabaşı & Kaya, 2019). Denklem 7.15 ile ifade edilebilir.

$$n = I^2 R_L / Q_H \quad (7.15)$$

Yük karşılaştırmasında, yük ve iç direnç arasındaki oran (m_{opt}) Denklem 7.16 ile bulunabilir (Kayabaşı & Kaya, 2019).

$$m_{opt} = 1 + Z_{AVE} 0{,}5 \quad (7.16)$$

Termoelektrik jeneratör maksimum verimindeyken burada m_{OPT} değeri m direnç oranının değeridir. Maksimum güç üretimi esnasında verim η_{max} olur. Bu durumda akım değeri Denklem 7.17'deki gibi bulunur (Kayabaşı & Kaya, 2019).

$$I_{max} = \alpha \Delta T / 2R \quad (7.17)$$

Termoelektrik jeneratörün termal iletkenliği Denklem 7.18'deki gibi hesaplanabilir (Kayabaşı & Kaya, 2019).

$$K_{th} = a^2 / RZ \quad (7.18)$$

Termoelektrik jeneratörlerde oluşan Seebeck etkisi metallerde ısı sensörü (termokupl) gibi kullanılırken yarı iletkenlerde jeneratör gibi kullanılır. Termoelektrik modüllerin elektrik üretimi için gerekli sıcaklık değerleri; modülün dinamik, ısıl ve elektriksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Kayabaşı & Kaya, 2019).

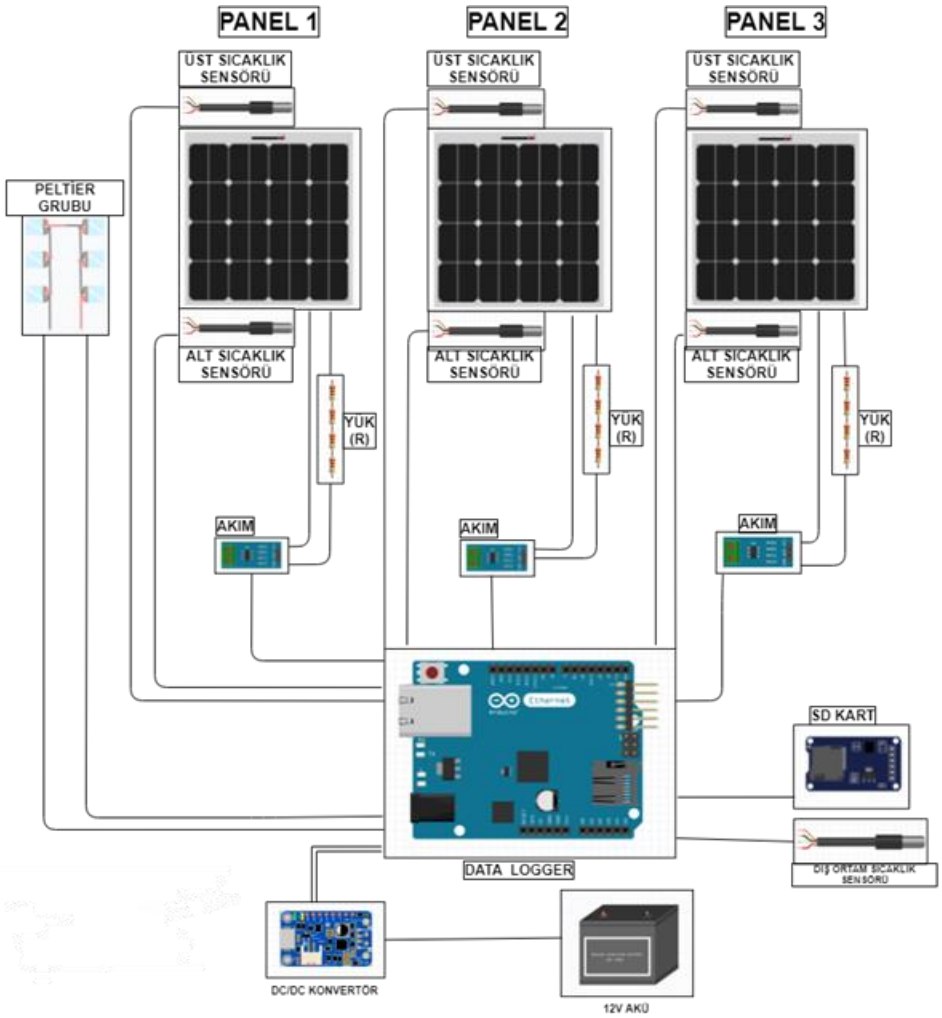
BÖLÜM 8

MATERYAL ve YÖNTEM

8.1. Materyal ve Deneysel Kurulum

Edirne ili Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ahmet Karadeniz yerleşkesinde 3 adet güneş paneli (eşit güç ve özelliklerde) özel olarak tasarlanmış bir çelik konstrüksiyon taşıyıcı üzerine konumlandırılmıştır. Güneş Panellerinin yeri seçilirken gölgelenme etkisine ve rüzgâr geçişinin engellenmemesine dikkat edilmiştir. Fotovoltaik panellerden (PV Panel) elektrik üretiminin karşılaştırılması amacıyla Şekil 8.1'de devre tasarımı Şekil 8.2'de deney düzeneği kurulumu görülmektedir. Deneylere başlamadan evvel fotovoltaik paneller taşıyıcı sistem üzerine tespit edilerek ışınımın yüksek olduğu bir günde yaklaşık 4 saat güneşe maruz bırakılmıştır. Daha sonra 3 adet PV panelin çıkış gerilimleri ve akım değerleri ölçülmüştür. PV panellerin çıkış güçlerinde fark olmadığı tespit edilmiştir. Kurulumu yapılan sistem üzerinde fotovoltaik panellerden bir tanesi standart halde iken diğer iki fotovoltaik panelin alt yüzeyine hücre sıcaklığının düşürülmesi (Soğutma) ve çıkış gücünün arttırılması amacı ile özel pasif soğutma tasarımları yapılmıştır. Bu çalışmada hücre sıcaklığının düşürülmesi için birinci PV panel alt yüzeyine hücre sıcaklığının düşürülmesi ve atık ısıdan faydalanarak ilave elektrik üretimi için 30 adet termoelektrik jeneratör (TEJ-12706) kullanılmıştır. Buradaki amaç panel sıcaklığı 42˚C sıcaklığın üzerine çıktığında termoelektrik jeneratörlerle bir miktar ısı çekerek PV panel verimliliğinin artması ve ilave elektrik enerjisi üretmektir. PV Panel alt yüzeyi ile termoelektrik üst yüzeyi arasına ısı iletiminin azalmaması için termal macun uygulanmıştır. Termoelektrik jeneratör yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının oluşması için alt yüzeylerine alüminyum kanatçıklı soğutucular ilave edilmiştir. İkinci PV panel karşılaştırma amacı ile standart halde bırakılmış olup üzerinde herhangi bir işlem

yapılmamıştır. Üçüncü PV panelin alt yüzeyine 30 adet alüminyum kanatçıklı soğutucu (Pasif soğutucu) uygulanmıştır. Deney düzeneği üzerinde eş zamanlı olarak üretilen elektrik enerjisini ölçen ve SD karta kayıt alan datalogger sistemi, sensörler, akü, 3 adet 260 watt gücündeki Jinko marka polikristal fotovoltaik panel ve bağlantı kablolarından oluşturulan devre tasarımı Şekil 8.1'de görülmektedir.



Şekil 8.1. PV Sistem Bileşenleri ve Devre Tasarımı.



Şekil 8.2. PV Sistem Deney Düzeneği Kurulumu.

Kurulum tamamlandıktan sonra temmuz ayı başından eylül ayı sonuna kadar fotovoltaik panellerden elde edilen toplam elektrik enerjisi, termoelektrik jeneratörlerden elde edilen ilave elektrik akım/ gerilim değerleri ve eş zamanlı olarak çevre iklim verileri kaydedilmiştir. Sabah saat 07:00 dan akşam saat 19:00 e kadar her 10 dakikada bir 3 ay boyunca düzenli bir şekilde veriler toplanmıştır. Her üç fotovoltaik panel için temmuz-ağustos ve eylül aylarında üretilen günlük aylık enerji miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler göre toplam enerji miktarı için grafikler çizilmiştir. Bu sistem üzerindeki verilerin kaydedilmesi için arduino mega kart üzerine özel bir yazılım uygulanmıştır. (Şekil 8.1) Fotovoltaik panellerden elde edilen elektriksel değerlerle eş zamanlı olarak güneş ışınımı, çevre sıcaklığı, modül hücre alt/üst yüzey sıcaklıkları ve rüzgâr hızı değerleri aralıksız olarak kaydedilmiştir.

Deney düzeneğinde kullanılan fotovoltaik panellerin teknik özellikleri Çizelge 8.1'de görülmektedir. Bu sistemde çıkış güçleri eşit olan 3 adet Jinko marka 260 watt gücünde polikristal PV panel kullanılmıştır.

Çizelge 8.1. Fotovoltaik Panelin Teknik Özellikleri

Güneş Modül Tipi**:**	JKM 260P-60
Maximum Güç (P_{max})**:**	260 W
Güç Toleransı**:**	0~+3%
Maximum Güç Voltajı (V_{mp})**:**	31,1 V
Maximum Güç Akım (I_{mp})**:**	8,37 A
Açık Devre Voltajı (V_{oc})**:**	38,1 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})**:**	8,98 A
Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı (NOCT)**:**	45±2ºC
Maximum Sistem Voltajı**:**	1000 VDC
Maximum Sigorta Değeri**:**	15 A
Çalışma Sıcaklığı**:**	-40ºC~+8ºC
Uygulama Sınıfı**:**	A
Ağırlık**:**	18,5 kg
Boyutlar**:**	1650×992×40 (mm)

Deneylerin yapıldığı saha ve PV panel yüzey sıcaklığının düşürülmesi için alt yüzeylerine uygulanan özel tasarımlar Şekil 8.3'te görülmektedir. Taşıyıcı sistem üzerinde 2. PV panel standart olarak bırakılmış ve alt yüzeyine hiçbir işlem yapılmadığı Şekil 8.5'te görülmektedir. Tüm montaj işlemleri tamamlandıktan sonra Edirne coğrafi şartlarına göre PV panelleri taşıyıcı sistem 30˚eğim açısı ile sabitlenmiştir.



Şekil 8.3. Fotovoltaik Panellerin Alt Yüzeylerine Uygulanan Pasif Soğutma Yöntemleri.

Şekil 8.4'te görüldüğü gibi bazı günlerde belirli aralıklar ile tüm panellerin ve termoelektrik jeneratörlerin gerilim/akım değerleri ölçülmüştür.



Şekil 8.4. Fotovoltaik Paneller ve Termoelektrik Jeneratörlerden Anlık Akım/Gerilim Ölçümü.

Şekil 8.5'te termoelektrik jeneratörlerin fotovoltaik panel arka yüzeyine montajı görülmektedir. Fotovoltaik panel arka yüzeyi ile termoelektrik jeneratörlerin yüzeyleri arasında ısı transferini arttırmak için termal macun kullanılmıştır. Termoelektrik jeneratörlerin yüzeyleri arasında sıcaklık farkı yaratmak (soğutmak) amacıyla Şekil 8.5'te görüldüğü gibi alüminyum kanatçıklı soğutucuların yan yüzeylerine silikon yapıştırıcı kullanılarak fotovoltaik panele tespiti yapılmıştır.



Şekil 8.5. Fotovoltaik Panel Alt Yüzeyine Termoelektrik Jeneratörlerin ve Alüminyum Kanatçıkların Montajı.

PV panel yüzey sıcaklığını düşürerek çıkış gücünü arttırmak ve atık ısıdan faydalanarak ilave elektrik enerjisi üretimi için 30 adet termoelektrik jeneratör kullanılmıştır. Termoelektrik jeneratörlerin PV panelin arka yüzeyine eşit aralıklarla tespiti Şekil 8.6'da görülmektedir.



Şekil 8.6. Fotovoltaik Panel Alt Yüzeyine Termoelektrik Jeneratörlerin Montajı.

Diğer PV paneldeki yüzey sıcaklığını düşürmek ve çıkış gücünü arttırmak amacıyla 30 adet alüminyum kanatçıklı soğutucular (Pasif soğutucular) kullanılmıştır. Şekil 8.7'de görüldüğü gibi pasif soğutucuların montajı eşit aralıklarla PV panel arka yüzeyine silikon yapıştırıcı ile yapılmıştır.



Şekil 8.7. Fotovoltaik Panel Alt Yüzeyine Alüminyum Kanatçıkların (Pasif Soğutucu) Montajı.

BÖLÜM 9

DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney düzeneğinde temmuz ayı başından eylül ayı sonuna kadar olan üç aylık periyotta sabah saat 07.00'den akşam üzeri saat 19.00'a kadar 10 dakikalık aralıklarla alınan veriler toplanıp analiz edildikten sonra güneş panellerinin güneşe maruz kalma sürelerinin artması böylece panel sıcaklıklarının yükselmesiyle soğutulan panellerdeki enerji üretiminin soğutulmayan panele göre enerji üretiminde önemli bir artış gözlemlenmiştir.

3 aylık deney süreci her ay başı, ortası ve sonundan olmak üzere üç güne bölünerek toplanan verilerin bir kısmı çalışmanın devamında çizelge ve şekiller ile paylaşılmıştır. Dünyamızın eksen eğikliğinden kaynaklanan güneş doğuş saatlerindeki değişikliklerden dolayı bazı saatlerde güneşin doğmamış ve batmış olmasından dolayı paylaşılan çizelge ve şekiller tüm günler için güneşin doğmuş ve batmamış olduğu 09:00 ile 18:00 saatleri arasında verilmiştir.

Seçilen ilk gün olan 5 Temmuz gününe ait güneşin yoğun olduğu saat aralıklarından bazı çevre verileri Çizelge 8.2'de görülmektedir.

Çizelge 8.2. 5 Temmuz Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	28,20	58	1,8	1.005,00	447
09:10	28,30	58	1,8	1.005,10	469
09:20	28,60	56	1,8	1.005,00	478
09:30	28,70	56	1,8	1.004,90	482
09:40	29,20	54	1,8	1.004,80	478
09:50	29,60	53	1,8	1.004,90	489
10:00	29,90	52	1,8	1.004,90	507
10:10	29,90	52	1,8	1.004,80	548
10:20	30,20	50	1,8	1.004,90	525
10:30	30,70	50	1,3	1.004,80	651
10:40	31,20	47	1,8	1.005,00	682
10:50	31,50	47	2,2	1.004,80	735
11:00	32,10	45	1,8	1.004,90	774
11:10	32,30	45	1,8	1.005,00	787
11:20	32,50	45	1,8	1.005,00	816
11:30	32,90	43	1,8	1.004,90	850
11:40	33,20	44	1,8	1.004,70	866
11:50	33,50	43	2,2	1.004,70	898
12:00	33,60	42	1,8	1.004,70	870
12:10	33,60	41	1,8	1.004,60	885
12:20	33,30	42	2,2	1.004,50	625
12:30	33,40	41	1,8	1.004,50	655
12:40	34,40	40	1,8	1.004,50	1061
12:50	33,40	41	1,8	1.004,40	403
13:00	33,70	42	1,8	1.004,20	919
13:10	34,10	40	2,2	1.004,30	812
13:20	33,30	42	1,8	1.004,20	277

13:30	32,80	42	2,2	1.004,00	309
13:40	32,80	42	1,8	1.003,80	253
13:50	32,90	41	1,8	1.003,60	258
14:00	33,00	43	1,8	1.003,50	265
14:10	33,70	42	2,2	1.003,40	747
14:20	34,90	39	2,2	1.003,20	964
14:30	33,70	41	2,2	1.003,40	260
14:40	33,70	41	1,8	1.003,20	332
14:50	34,20	40	2,2	1.003,30	587
15:00	34,40	40	2,2	1.003,10	690
15:10	35,20	37	2,2	1.003,10	854
15:20	35,70	36	2,2	1.002,90	938
15:30	36,20	37	1,8	1.002,90	914
15:40	35,50	36	1,8	1.002,80	464
15:50	35,10	36	1,8	1.002,70	366
16:00	35,20	36	1,8	1.002,80	647
16:10	34,60	38	1,8	1.002,70	240
16:20	34,20	39	1,3	1.002,60	256
16:30	34,20	38	1,8	1.002,60	263
16:40	34,80	38	1,3	1.002,60	547
16:50	35,50	37	1,8	1.002,40	691
17:00	35,80	36	1,8	1.002,40	679
17:10	35,70	36	1,8	1.002,50	603
17:20	34,90	37	1,3	1.002,30	283
17:30	34,80	37	2,2	1.002,20	544
17:40	34,30	38	1,8	1.002,00	327
17:50	34,80	38	1,8	1.001,90	475
18:00	34,80	38	1,8	1.001,90	445

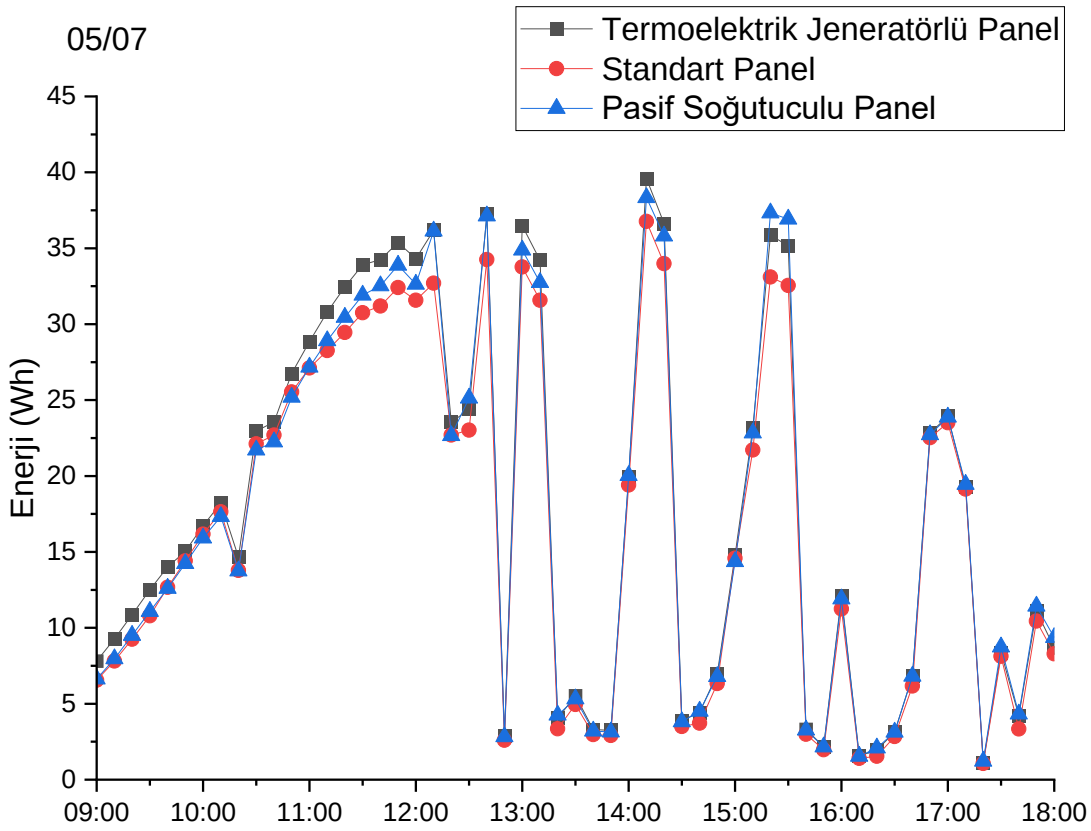
Seçilen 5 Temmuz gününe ait PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.3'te görülmektedir.

Çizelge 8.3. 5 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	13,28	3,53	46,88	7,81	41,28	12,16	3,23	39,33	6,55	42,64	12,23	3,25	39,78	6,63	39,50
09:10	14,46	3,85	55,62	9,27	40,34	13,28	3,53	46,90	7,82	41,99	13,40	3,56	47,76	7,96	39,28
09:20	15,66	4,16	65,19	10,86	43,14	14,45	3,84	55,53	9,26	45,50	14,64	3,89	57,00	9,50	42,41
09:30	16,80	4,47	75,06	12,51	42,38	15,60	4,15	64,72	10,79	45,24	15,81	4,20	66,48	11,08	42,20
09:40	17,78	4,73	84,06	14,01	43,49	16,91	4,50	76,05	12,68	46,23	16,86	4,48	75,60	12,60	43,45
09:50	18,42	4,90	90,20	15,03	45,18	18,03	4,80	86,46	14,41	48,26	17,92	4,77	85,41	14,23	45,41
10:00	19,43	5,17	100,36	16,73	46,52	19,10	5,08	97,02	16,17	49,39	18,95	5,04	95,51	15,92	46,88
10:10	20,27	5,39	109,28	18,21	47,94	19,95	5,31	105,85	17,64	51,09	19,77	5,26	103,95	17,33	48,48
10:20	18,18	4,83	87,90	14,65	47,62	17,63	4,69	82,66	13,78	51,15	17,61	4,68	82,48	13,75	48,16
10:30	22,76	6,05	137,81	22,97	48,65	22,34	5,94	132,73	22,12	50,65	22,13	5,89	130,25	21,71	48,40
10:40	23,05	6,13	141,32	23,55	50,18	22,63	6,02	136,20	22,70	52,88	22,40	5,96	133,45	22,24	50,06
10:50	24,57	6,53	160,50	26,75	49,92	24,00	6,38	153,19	25,53	52,51	23,84	6,34	151,16	25,19	49,35
11:00	25,51	6,79	173,12	28,85	51,11	24,73	6,58	162,65	27,11	53,32	24,76	6,59	163,05	27,17	51,16
11:10	26,36	7,01	184,77	30,79	53,37	25,25	6,72	169,56	28,26	55,46	25,54	6,79	173,48	28,91	53,02
11:20	27,06	7,20	194,72	32,45	54,19	25,78	6,86	176,76	29,46	56,27	26,21	6,97	182,70	30,45	53,87
11:30	27,66	7,36	203,41	33,90	55,54	26,34	7,01	184,52	30,75	58,37	26,83	7,14	191,45	31,91	56,09
11:40	27,80	7,39	205,54	34,26	56,66	26,53	7,06	187,19	31,20	58,64	27,09	7,20	195,18	32,53	56,01
11:50	28,25	7,51	212,29	35,38	57,09	27,04	7,19	194,46	32,41	58,61	27,65	7,35	203,33	33,89	55,87
12:00	27,82	7,40	205,84	34,31	54,60	26,69	7,10	189,46	31,58	56,42	27,13	7,22	195,75	32,63	54,03
12:10	28,57	7,60	217,09	36,18	57,00	27,16	7,22	196,19	32,70	58,64	28,55	7,59	216,78	36,13	56,23
12:20	23,04	6,13	141,19	23,53	48,78	22,63	6,02	136,20	22,70	51,07	22,61	6,01	135,96	22,66	47,54
12:30	23,46	6,24	146,38	24,40	49,11	22,79	6,06	138,13	23,02	51,24	23,81	6,33	150,78	25,13	48,61
12:40	28,98	7,71	223,43	37,24	63,03	27,80	7,39	205,54	34,26	64,31	28,94	7,70	222,75	37,12	61,93
12:50	8,11	2,16	17,48	2,91	46,14	7,66	2,04	15,61	2,60	47,71	7,98	2,12	16,94	2,82	44,97
13:00	28,69	7,63	218,91	36,49	55,21	27,60	7,34	202,60	33,77	57,23	28,05	7,46	209,26	34,88	54,98
13:10	27,78	7,39	205,23	34,21	58,03	26,69	7,10	189,46	31,58	60,07	27,18	7,23	196,48	32,75	57,34
13:20	9,55	2,54	24,26	4,04	42,06	8,69	2,31	20,08	3,35	44,47	9,80	2,61	25,54	4,26	41,68
13:30	11,17	2,97	33,15	5,53	40,32	10,57	2,81	29,71	4,95	42,73	10,96	2,91	31,95	5,32	39,11
13:40	8,63	2,30	19,81	3,30	39,61	8,18	2,18	17,80	2,97	41,85	8,50	2,26	19,22	3,20	38,78
13:50	8,56	2,28	19,48	3,25	40,67	8,10	2,15	17,45	2,91	43,10	8,42	2,24	18,86	3,14	40,17
14:00	21,21	5,64	119,62	19,94	38,73	20,92	5,56	116,40	19,40	41,02	21,26	5,65	120,21	20,03	37,76
14:10	29,89	7,95	237,62	39,60	51,74	28,80	7,66	220,60	36,77	53,40	29,41	7,82	230,04	38,34	49,73
14:20	28,75	7,65	219,79	36,63	61,15	27,69	7,36	203,92	33,99	61,93	28,42	7,56	214,81	35,80	58,42
14:30	9,37	2,49	23,37	3,89	40,98	8,88	2,36	20,97	3,50	42,82	9,27	2,47	22,85	3,81	39,05
14:40	9,99	2,66	26,54	4,42	45,16	9,16	2,44	22,32	3,72	46,99	10,09	2,68	27,08	4,51	43,89
14:50	12,55	3,34	41,86	6,98	52,39	11,95	3,18	37,98	6,33	54,04	12,38	3,29	40,76	6,79	50,66
15:00	18,26	4,86	88,68	14,78	51,52	18,14	4,82	87,52	14,59	53,81	18,00	4,79	86,17	14,36	51,05
15:10	22,87	6,08	139,06	23,18	54,00	22,13	5,89	130,25	21,71	55,90	22,70	6,04	137,05	22,84	52,96

15:20	28,45	7,57	215,27	35,88	59,99	27,33	7,27	198,65	33,11	61,68	29,02	7,72	223,98	37,33	58,88
15:30	28,16	7,49	210,90	35,15	60,96	27,10	7,21	195,32	32,55	61,36	28,86	7,68	221,52	36,92	58,15
15:40	8,65	2,30	19,91	3,32	50,99	8,21	2,18	17,93	2,99	51,74	8,59	2,28	19,62	3,27	48,54
15:50	7,00	1,86	13,05	2,17	46,29	6,67	1,77	11,83	1,97	47,67	6,98	1,86	12,96	2,16	44,52
16:00	16,54	4,40	72,77	12,13	54,81	15,93	4,24	67,49	11,25	56,20	16,39	4,36	71,44	11,91	53,20
16:10	5,91	1,57	9,30	1,55	42,17	5,63	1,50	8,43	1,41	43,74	5,90	1,57	9,26	1,54	40,53
16:20	6,64	1,77	11,73	1,95	42,57	5,89	1,57	9,23	1,54	44,10	6,86	1,82	12,52	2,09	41,42
16:30	8,40	2,24	18,79	3,13	42,93	8,01	2,13	17,06	2,84	44,86	8,41	2,24	18,81	3,14	41,62
16:40	12,41	3,30	40,96	6,83	49,49	11,80	3,14	37,03	6,17	50,92	12,40	3,30	40,89	6,82	48,30
16:50	22,69	6,03	136,94	22,82	52,55	22,54	5,99	135,12	22,52	54,15	22,64	6,02	136,32	22,72	51,16
17:00	23,24	6,18	143,60	23,93	54,02	23,03	6,13	141,06	23,51	55,33	23,21	6,17	143,27	23,88	52,21
17:10	20,87	5,55	115,82	19,30	49,63	20,78	5,53	114,84	19,14	50,75	20,95	5,57	116,73	19,45	47,29
17:20	5,07	1,35	6,83	1,14	40,62	4,91	1,31	6,41	1,07	42,02	5,23	1,39	7,27	1,21	39,18
17:30	13,75	3,66	50,29	8,38	46,23	13,54	3,60	48,76	8,13	48,43	14,04	3,73	52,43	8,74	44,43
17:40	9,74	2,59	25,23	4,21	40,52	8,68	2,31	20,04	3,34	42,60	9,88	2,63	25,96	4,33	39,05
17:50	15,83	4,21	66,66	11,11	45,52	15,35	4,08	62,67	10,44	47,40	16,06	4,27	68,60	11,43	43,83
18:00	14,01	3,73	52,19	8,70	44,22	13,67	3,64	49,70	8,28	46,05	14,54	3,87	56,23	9,37	42,58

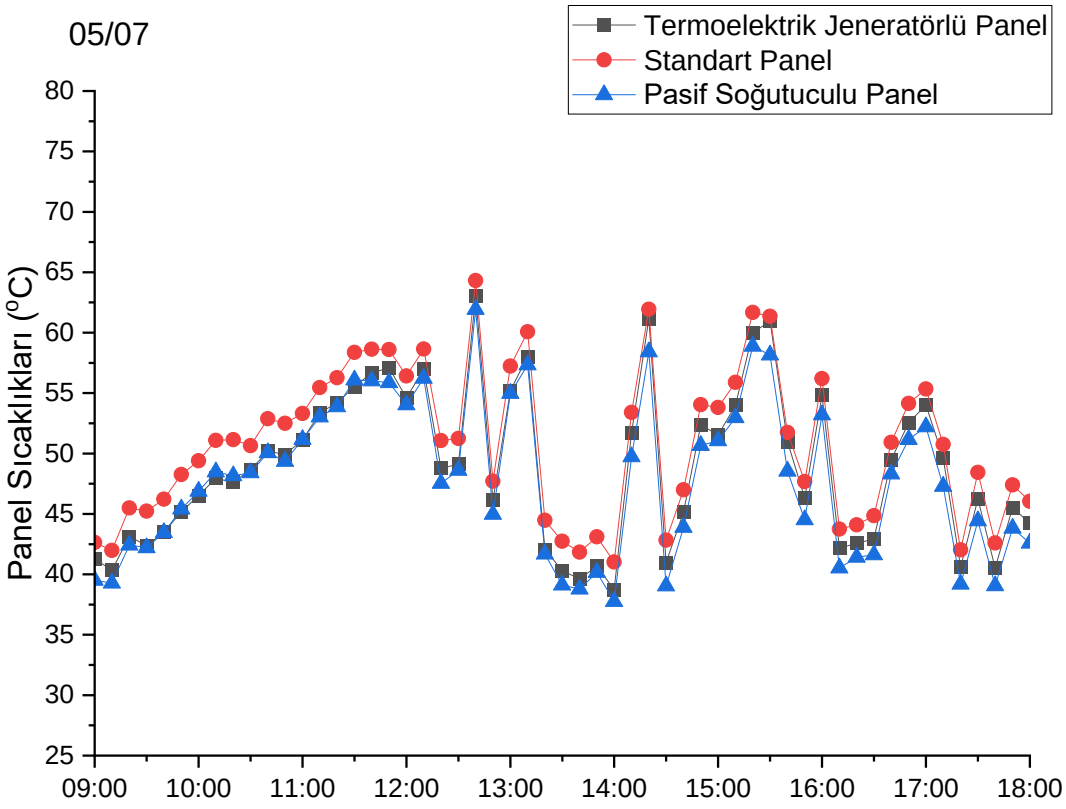
Seçilen 5 Temmuz gününde PV panellerden elde edilen toplam enerjiler Şekil 8.8'de görülmektedir. Soğutma uygulanan panellerden standart panele göre daha yüksek enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.8. 5 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Şekil 8.8'de görüldüğü gibi sıcaklığın yüksek olduğu öğle saatlerinde standart PV panele göre daha yüksek enerji üretimi gerçekleşmiştir.

Seçilen 5 Temmuz gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıkları Şekil 8.9'da görülmektedir. Hemen hemen tüm saatlerde standart panelin yüzey sıcaklığı soğutma uygulanan PV panele göre daha yüksektir. Bu durumda standart PV panelin çıkış gücü düşmektedir.



Şekil 8.9. 5 Temmuz Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Şekil 8.9'da görüldüğü gibi öğle saatlerinde standart PV panelin yüzey sıcaklığı 65°C ye ulaşmıştır. Pasif soğutma uygulanan diğer 2 PV panelin sıcaklığı hiçbir zaman bu noktaya ulaşmamıştır.

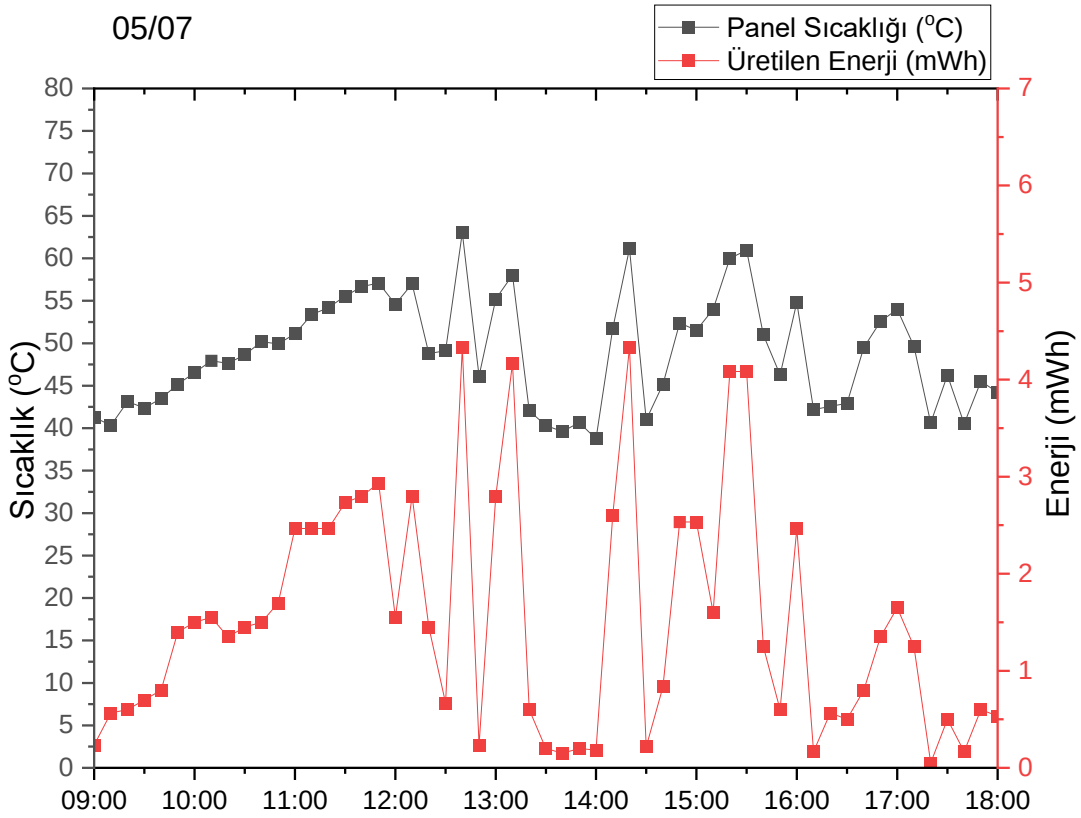
Seçilen 5 Temmuz gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.4'te görülmektedir.

Çizelge 8.4. 5 Temmuz Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	140,00	10,00	1,40	0,23
09:10	170,00	20,00	3,40	0,57
09:20	180,00	20,00	3,60	0,60
09:30	210,00	20,00	4,20	0,70
09:40	240,00	20,00	4,80	0,80
09:50	280,00	30,00	8,40	1,40
10:00	300,00	30,00	9,00	1,50
10:10	310,00	30,00	9,30	1,55
10:20	270,00	30,00	8,10	1,35
10:30	290,00	30,00	8,70	1,45
10:40	300,00	30,00	9,00	1,50
10:50	340,00	30,00	10,20	1,70
11:00	370,00	40,00	14,80	2,47
11:10	370,00	40,00	14,80	2,47
11:20	370,00	40,00	14,80	2,47
11:30	410,00	40,00	16,40	2,73
11:40	420,00	40,00	16,80	2,80
11:50	440,00	40,00	17,60	2,93
12:00	310,00	30,00	9,30	1,55
12:10	420,00	40,00	16,80	2,80
12:20	290,00	30,00	8,70	1,45
12:30	200,00	20,00	4,00	0,67
12:40	520,00	50,00	26,00	4,33
12:50	140,00	10,00	1,40	0,23
13:00	420,00	40,00	16,80	2,80
13:10	500,00	50,00	25,00	4,17

13:20	180,00	20,00	3,60	0,60
13:30	120,00	10,00	1,20	0,20
13:40	90,00	10,00	0,90	0,15
13:50	120,00	10,00	1,20	0,20
14:00	110,00	10,00	1,10	0,18
14:10	390,00	40,00	15,60	2,60
14:20	520,00	50,00	26,00	4,33
14:30	130,00	10,00	1,30	0,22
14:40	250,00	20,00	5,00	0,83
14:50	380,00	40,00	15,20	2,53
15:00	380,00	40,00	15,20	2,53
15:10	320,00	30,00	9,60	1,60
15:20	490,00	50,00	24,50	4,08
15:30	490,00	50,00	24,50	4,08
15:40	250,00	30,00	7,50	1,25
15:50	180,00	20,00	3,60	0,60
16:00	370,00	40,00	14,80	2,47
16:10	100,00	10,00	1,00	0,17
16:20	170,00	20,00	3,40	0,57
16:30	150,00	20,00	3,00	0,50
16:40	240,00	20,00	4,80	0,80
16:50	270,00	30,00	8,10	1,35
17:00	330,00	30,00	9,90	1,65
17:10	250,00	30,00	7,50	1,25
17:20	30,00	10,00	0,30	0,05
17:30	150,00	20,00	3,00	0,50
17:40	100,00	10,00	1,00	0,17
17:50	180,00	20,00	3,60	0,60
18:00	160,00	20,00	3,20	0,53

Seçilen 5 Temmuz gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.10’da görülmektedir



Şekil 8.10. 5 Temmuz İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri

Şekil 8.10'da görüldüğü gibi PV panel yüzey sıcaklığı arttıkça termoelektrik jeneratörlerden daha yüksek enerji elde edilmiştir.

Seçilen 15 Temmuz gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.5'te görülmektedir.

Çizelge 8.5. 15 Temmuz Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	22,60	44	1,3	1.009,80	471
09:10	23,10	43	0,9	1.009,80	480
09:20	23,60	41	0,9	1.009,70	480
09:30	24,10	39	0,9	1.009,80	475
09:40	24,50	39	0,9	1.009,70	477
09:50	24,70	39	1,3	1.009,70	493
10:00	25,10	38	1,3	1.009,60	489
10:10	25,60	34	1,3	1.009,60	560
10:20	25,80	34	1,3	1.009,70	672
10:30	26,20	33	1,3	1.009,90	736
10:40	26,30	32	1,3	1.009,70	764
10:50	26,70	32	1,3	1.009,70	790
11:00	26,60	33	1,8	1.009,70	810
11:10	26,80	32	1,8	1.009,50	828
11:20	26,80	31	1,3	1.009,60	848
11:30	27,10	31	0,9	1.009,50	869
11:40	27,40	31	1,8	1.009,40	888
11:50	27,20	31	2,2	1.009,40	903
12:00	27,60	32	1,8	1.009,50	922
12:10	27,80	31	2,2	1.009,30	926
12:20	27,70	31	0,9	1.009,10	941
12:30	28,10	28	1,8	1.009,20	952
12:40	27,80	29	1,3	1.009,10	957
12:50	28,40	28	2,2	1.009,10	966
13:00	28,40	29	2,2	1.009,00	972
13:10	28,60	28	1,3	1.008,90	975
13:20	28,40	28	1,8	1.009,00	979

13:30	28,50	27	0,9	1.009,00	978
13:40	28,80	28	1,3	1.009,00	976
13:50	29,40	27	1,8	1.009,00	975
14:00	29,40	28	1,3	1.009,00	972
14:10	28,80	28	1,3	1.009,00	968
14:20	29,30	28	1,8	1.008,90	958
14:30	29,50	28	2,2	1.008,90	950
14:40	29,70	28	2,7	1.008,70	941
14:50	29,60	28	2,7	1.008,90	955
15:00	29,80	28	1,8	1.008,90	926
15:10	30,10	27	1,8	1.008,60	919
15:20	30,00	28	1,8	1.008,50	912
15:30	30,40	27	1,3	1.008,40	875
15:40	30,30	26	1,3	1.008,40	850
15:50	30,70	27	1,3	1.008,30	828
16:00	30,90	27	1,3	1.008,30	807
16:10	30,70	26	1,3	1.008,20	786
16:20	30,80	27	1,3	1.008,20	762
16:30	31,20	26	0,9	1.008,10	736
16:40	31,00	26	1,8	1.008,20	712
16:50	30,80	26	0,9	1.008,10	685
17:00	31,10	26	1,3	1.008,00	661
17:10	30,80	28	1,3	1.007,90	630
17:20	30,70	27	1,3	1.007,80	600
17:30	30,70	27	0,9	1.007,70	572
17:40	30,90	27	0,9	1.007,50	539
17:50	31,20	26	0,4	1.007,50	504
18:00	31,40	26	1,3	1.007,40	471

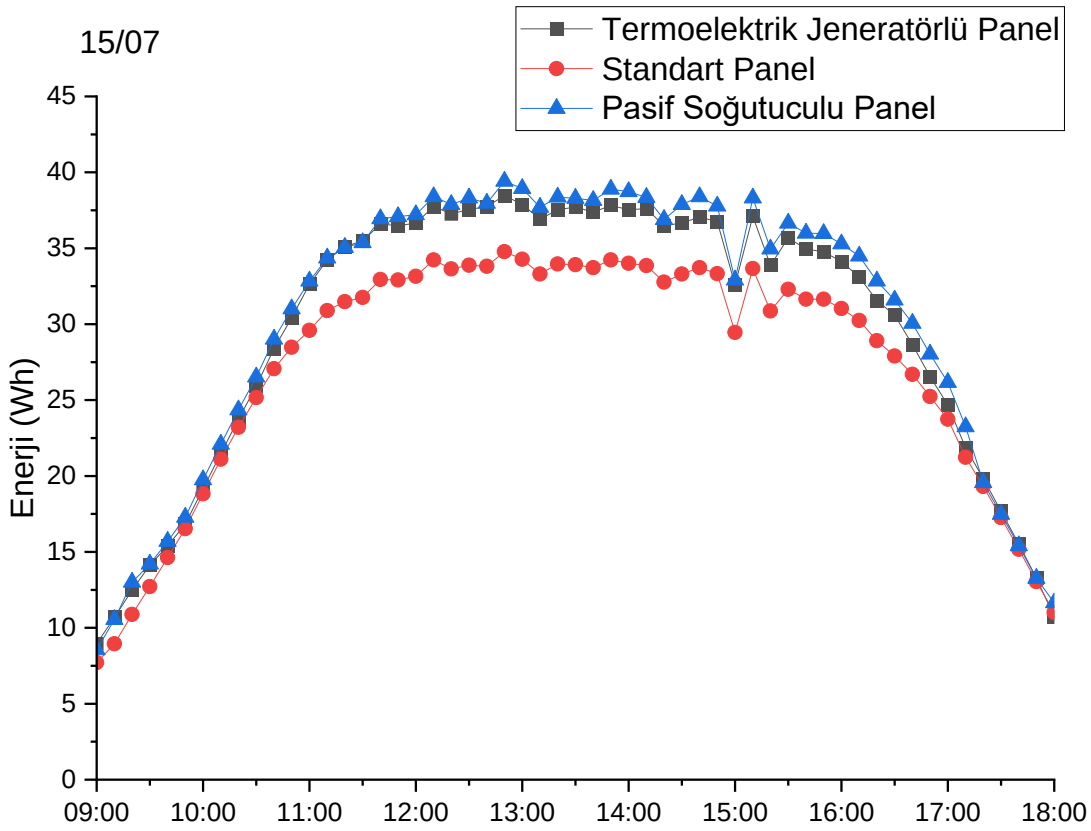
Seçilen 15 Temmuz günü için PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.6'da görülmektedir.

Çizelge 8.6. 15 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	14,22	3,78	53,75	8,96	35,80	13,19	3,51	46,27	7,71	37,95	13,89	3,69	51,31	8,55	35,65
09:10	15,53	4,13	64,12	10,69	37,80	14,21	3,78	53,70	8,95	41,05	15,43	4,10	63,32	10,55	38,46
09:20	16,79	4,46	74,94	12,49	38,99	15,67	4,17	65,31	10,88	41,68	17,13	4,56	78,04	13,01	39,37
09:30	17,86	4,75	84,80	14,13	39,37	16,94	4,51	76,32	12,72	41,66	17,90	4,76	85,22	14,20	38,89
09:40	18,64	4,96	92,38	15,40	40,69	18,17	4,83	87,81	14,63	42,77	18,82	5,01	94,20	15,70	41,03
09:50	19,49	5,18	101,02	16,84	41,30	19,31	5,14	99,17	16,53	43,27	19,75	5,25	103,74	17,29	40,46
10:00	20,80	5,53	115,06	19,18	42,74	20,61	5,48	112,97	18,83	45,33	21,11	5,61	118,54	19,76	42,90
10:10	22,02	5,86	128,92	21,49	43,26	21,82	5,80	126,63	21,10	44,87	22,33	5,94	132,60	22,10	41,68
10:20	23,14	6,15	142,41	23,73	46,69	22,88	6,09	139,23	23,20	48,62	23,44	6,23	146,15	24,36	45,38
10:30	24,18	6,43	155,50	25,92	47,35	23,83	6,34	151,03	25,17	48,76	24,46	6,51	159,13	26,52	45,62
10:40	25,31	6,73	170,42	28,40	49,52	24,71	6,57	162,39	27,06	51,85	25,58	6,80	174,08	29,01	49,47
10:50	26,20	6,97	182,53	30,42	50,77	25,35	6,74	170,91	28,49	51,80	26,45	7,03	186,03	31,00	49,11
11:00	27,13	7,22	195,81	32,63	52,96	25,84	6,87	177,58	29,60	55,01	27,22	7,24	197,01	32,83	52,55
11:10	27,79	7,39	205,38	34,23	50,66	26,40	7,02	185,36	30,89	51,93	27,84	7,40	206,15	34,36	49,33
11:20	28,14	7,48	210,64	35,11	53,47	26,65	7,09	188,89	31,48	55,46	28,12	7,48	210,33	35,05	53,88
11:30	28,30	7,53	212,98	35,50	57,28	26,77	7,12	190,59	31,77	58,85	28,25	7,51	212,20	35,37	58,13
11:40	28,74	7,64	219,60	36,60	52,84	27,26	7,25	197,64	32,94	54,30	28,87	7,68	221,68	36,95	52,52
11:50	28,69	7,63	218,97	36,49	56,00	27,25	7,25	197,49	32,92	57,82	28,92	7,69	222,47	37,08	54,84
12:00	28,76	7,65	219,92	36,65	58,10	27,35	7,27	198,94	33,16	59,93	28,97	7,71	223,28	37,21	57,29
12:10	29,18	7,76	226,49	37,75	54,56	27,79	7,39	205,39	34,23	55,95	29,43	7,83	230,38	38,40	53,25
12:20	29,00	7,71	223,60	37,27	59,77	27,55	7,33	201,86	33,64	60,69	29,23	7,78	227,30	37,88	59,44
12:30	29,11	7,74	225,36	37,56	59,06	27,65	7,35	203,33	33,89	60,19	29,40	7,82	229,90	38,32	58,03
12:40	29,18	7,76	226,49	37,75	59,59	27,62	7,35	202,89	33,81	61,50	29,27	7,78	227,79	37,96	60,46
12:50	29,46	7,84	230,87	38,48	55,36	28,01	7,45	208,66	34,78	56,63	29,82	7,93	236,45	39,41	54,24
13:00	29,23	7,78	227,30	37,88	59,32	27,81	7,40	205,69	34,28	62,92	29,64	7,88	233,65	38,94	57,84
13:10	28,86	7,68	221,52	36,92	66,37	27,41	7,29	199,82	33,30	70,47	29,16	7,76	226,17	37,69	65,70
13:20	29,10	7,74	225,20	37,53	62,38	27,68	7,36	203,77	33,96	65,38	29,42	7,82	230,22	38,37	61,76
13:30	29,17	7,76	226,33	37,72	62,65	27,66	7,36	203,48	33,91	65,46	29,39	7,82	229,73	38,29	62,48
13:40	29,04	7,72	224,24	37,37	63,76	27,58	7,34	202,30	33,72	66,94	29,34	7,80	228,92	38,15	63,05
13:50	29,21	7,77	226,98	37,83	60,61	27,79	7,39	205,39	34,23	63,68	29,62	7,88	233,32	38,89	59,11
14:00	29,10	7,74	225,20	37,53	62,82	27,70	7,37	204,07	34,01	65,24	29,56	7,86	232,34	38,72	61,03
14:10	29,13	7,75	225,69	37,61	61,54	27,64	7,35	203,18	33,86	65,24	29,41	7,82	230,06	38,34	61,85
14:20	28,68	7,63	218,81	36,47	67,27	27,19	7,23	196,62	32,77	73,18	28,85	7,67	221,36	36,89	67,46
14:30	28,77	7,65	220,08	36,68	64,46	27,41	7,29	199,82	33,30	67,95	29,23	7,78	227,30	37,88	62,22
14:40	28,91	7,69	222,31	37,05	61,29	27,58	7,34	202,30	33,72	65,29	29,43	7,83	230,38	38,40	58,86
14:50	28,80	7,66	220,56	36,76	64,55	27,42	7,29	199,96	33,33	70,08	29,19	7,76	226,65	37,78	63,41
15:00	27,11	7,21	195,51	32,58	65,29	25,78	6,86	176,76	29,46	70,95	27,25	7,25	197,46	32,91	64,83
15:10	28,93	7,69	222,63	37,11	59,15	27,56	7,33	202,01	33,67	61,56	29,40	7,82	229,90	38,32	57,96

15:20	27,64	7,35	203,23	33,87	63,48	26,39	7,02	185,22	30,87	67,43	28,08	7,47	209,70	34,95	62,44
15:30	28,37	7,55	214,08	35,68	58,62	26,99	7,18	193,74	32,29	61,80	28,76	7,65	219,92	36,65	57,99
15:40	28,08	7,47	209,70	34,95	60,92	26,72	7,11	189,88	31,65	64,48	28,50	7,58	215,96	35,99	60,25
15:50	28,01	7,45	208,62	34,77	57,44	26,72	7,11	189,88	31,65	59,82	28,49	7,58	215,81	35,97	55,49
16:00	27,75	7,38	204,76	34,13	56,08	26,46	7,04	186,21	31,03	58,70	28,22	7,50	211,73	35,29	54,47
16:10	27,33	7,27	198,67	33,11	58,05	26,12	6,95	181,45	30,24	60,16	27,89	7,42	206,92	34,49	54,66
16:20	26,69	7,10	189,41	31,57	60,32	25,54	6,79	173,48	28,91	63,91	27,22	7,24	197,01	32,83	57,71
16:30	26,27	6,99	183,55	30,59	59,11	25,09	6,67	167,42	27,90	63,98	26,70	7,10	189,55	31,59	58,47
16:40	25,43	6,76	171,96	28,66	58,01	24,54	6,53	160,16	26,69	63,24	26,04	6,93	180,36	30,06	56,28
16:50	24,47	6,51	159,27	26,54	57,77	23,86	6,35	151,41	25,23	61,45	25,15	6,69	168,19	28,03	56,00
17:00	23,60	6,28	148,10	24,68	57,70	23,14	6,15	142,41	23,73	63,40	24,29	6,46	156,97	26,16	56,70
17:10	22,20	5,91	131,12	21,85	57,55	21,89	5,82	127,44	21,24	62,40	22,90	6,09	139,48	23,25	55,85
17:20	21,15	5,63	119,01	19,83	55,33	20,87	5,55	115,84	19,31	60,91	21,01	5,59	117,40	19,57	54,35
17:30	19,97	5,31	106,04	17,67	54,22	19,73	5,25	103,53	17,26	56,92	19,86	5,28	104,90	17,48	53,23
17:40	18,71	4,98	93,10	15,52	53,83	18,50	4,92	91,02	15,17	56,00	18,64	4,96	92,41	15,40	52,01
17:50	17,30	4,60	79,55	13,26	51,48	17,15	4,56	78,22	13,04	53,17	17,30	4,60	79,60	13,27	50,27
18:00	15,56	4,14	64,38	10,73	47,79	15,76	4,19	66,06	11,01	49,55	16,21	4,31	69,88	11,65	46,12

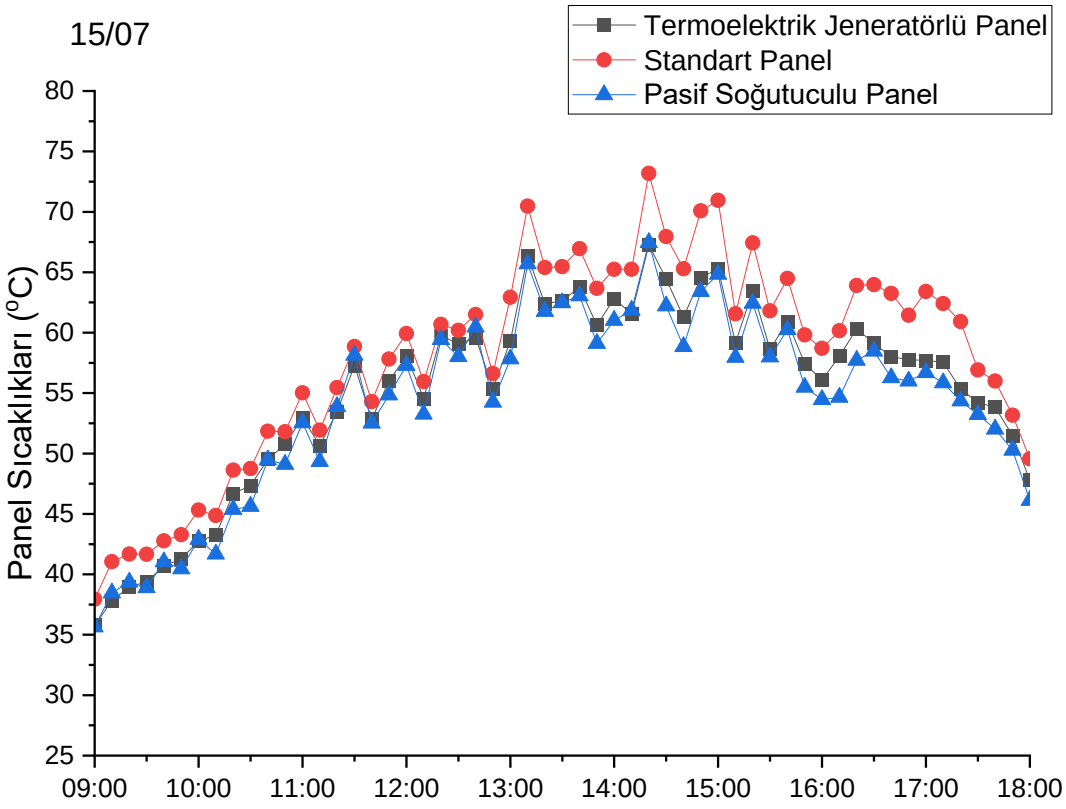
Seçilen 15 Temmuz gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.11'de görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde Standart PV panele göre en yüksek enerji alüminyum kanatçıklı pasif soğutucu uygulanmış PV panelden elde edilmiştir.



Şekil 8.11. 15 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Şekil 8.11'de görüldüğü gibi standart PV panelin enerji üretimi diğer 2 PV panele göre gün boyunca daha düşük seviyede gerçekleşmiştir.

Seçilen 15 Temmuz gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.12'de görülmektedir.



Şekil 8.12. 15 Temmuz Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Şekil 8.12'de görüldüğü gibi standart PV panelin yüzey sıcaklığı gün boyunca diğer iki PV panele göre daha yüksek olup öğle saatlerinde 73°C seviyesine kadar çıkmıştır. Veriler incelendiğinde pasif soğutma uygulanan diğer 2 PV panelde bu seviyede sıcaklık gün içinde hiçbir zaman görülmemiştir.

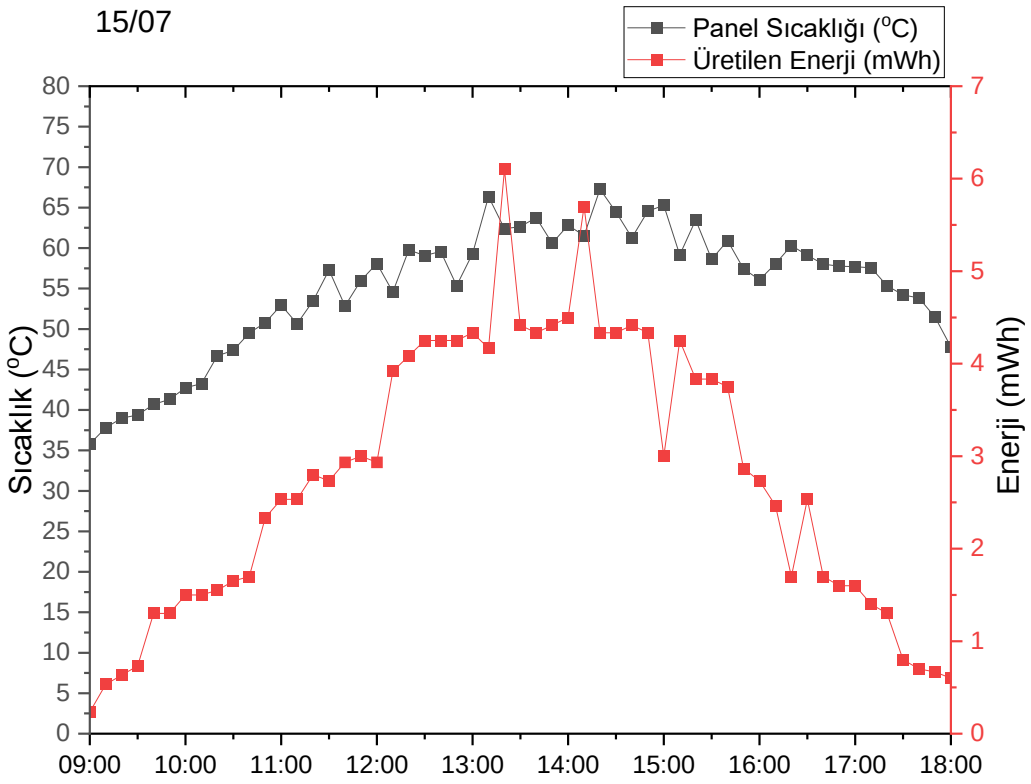
Seçilen 15 Temmuz gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.7'de görülmektedir.

Çizelge 8.7. 15 Temmuz Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	140,00	10,00	1,40	0,23
09:10	160,00	20,00	3,20	0,53
09:20	190,00	20,00	3,80	0,63
09:30	220,00	20,00	4,40	0,73
09:40	260,00	30,00	7,80	1,30
09:50	260,00	30,00	7,80	1,30
10:00	300,00	30,00	9,00	1,50
10:10	300,00	30,00	9,00	1,50
10:20	310,00	30,00	9,30	1,55
10:30	330,00	30,00	9,90	1,65
10:40	340,00	30,00	10,20	1,70
10:50	350,00	40,00	14,00	2,33
11:00	380,00	40,00	15,20	2,53
11:10	380,00	40,00	15,20	2,53
11:20	420,00	40,00	16,80	2,80
11:30	410,00	40,00	16,40	2,73
11:40	440,00	40,00	17,60	2,93
11:50	450,00	40,00	18,00	3,00
12:00	440,00	40,00	17,60	2,93
12:10	470,00	50,00	23,50	3,92
12:20	490,00	50,00	24,50	4,08
12:30	510,00	50,00	25,50	4,25
12:40	510,00	50,00	25,50	4,25
12:50	510,00	50,00	25,50	4,25
13:00	520,00	50,00	26,00	4,33
13:10	500,00	50,00	25,00	4,17

13:20	610,00	60,00	36,60	6,10
13:30	530,00	50,00	26,50	4,42
13:40	520,00	50,00	26,00	4,33
13:50	530,00	50,00	26,50	4,42
14:00	540,00	50,00	27,00	4,50
14:10	570,00	60,00	34,20	5,70
14:20	520,00	50,00	26,00	4,33
14:30	520,00	50,00	26,00	4,33
14:40	530,00	50,00	26,50	4,42
14:50	520,00	50,00	26,00	4,33
15:00	450,00	40,00	18,00	3,00
15:10	510,00	50,00	25,50	4,25
15:20	460,00	50,00	23,00	3,83
15:30	460,00	50,00	23,00	3,83
15:40	450,00	50,00	22,50	3,75
15:50	430,00	40,00	17,20	2,87
16:00	410,00	40,00	16,40	2,73
16:10	370,00	40,00	14,80	2,47
16:20	340,00	30,00	10,20	1,70
16:30	380,00	40,00	15,20	2,53
16:40	340,00	30,00	10,20	1,70
16:50	320,00	30,00	9,60	1,60
17:00	320,00	30,00	9,60	1,60
17:10	280,00	30,00	8,40	1,40
17:20	260,00	30,00	7,80	1,30
17:30	240,00	20,00	4,80	0,80
17:40	210,00	20,00	4,20	0,70
17:50	200,00	20,00	4,00	0,67
18:00	180,00	20,00	3,60	0,60

Seçilen 15 Temmuz gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.13'te görülmektedir.



Şekil 8.13. 15 Temmuz İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri

Şekil 8.13'te görüldüğü gibi PV panel yüzey sıcaklığı arttıkça termoelektrik jeneratörlerden daha yüksek enerji elde edilmiştir.

Seçilen 25 Temmuz gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.8'de görülmektedir.

Çizelge 8.8. 25 Temmuz Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	25,70	60	1,3	1.005,50	423
09:10	26,40	57	1,3	1.005,40	429
09:20	26,80	54	1,3	1.005,30	426
09:30	27,10	48	1,3	1.005,60	431
09:40	27,60	49	1,3	1.005,50	451
09:50	27,80	48	1,3	1.005,60	445
10:00	28,10	46	1,3	1.005,40	439
10:10	28,10	45	2,2	1.005,40	532
10:20	28,30	46	1,8	1.005,50	668
10:30	28,60	46	0,9	1.005,40	704
10:40	28,80	44	1,8	1.005,30	733
10:50	28,90	45	1,3	1.005,30	758
11:00	29,30	41	1,8	1.005,40	777
11:10	29,50	42	0,9	1.005,30	795
11:20	29,60	42	1,3	1.005,30	817
11:30	30,20	39	1,8	1.005,30	841
11:40	30,10	40	1,3	1.005,40	857
11:50	30,80	39	1,8	1.005,30	876
12:00	30,60	39	2,2	1.005,20	886
12:10	30,90	37	1,8	1.005,10	904
12:20	31,20	37	2,2	1.005,00	921
12:30	31,30	38	2,7	1.004,90	924
12:40	31,60	38	3,1	1.004,90	932
12:50	31,90	37	1,8	1.004,90	938
13:00	32,10	36	2,2	1.004,80	946
13:10	32,10	36	2,7	1.004,70	950
13:20	32,40	34	2,2	1.004,60	956

13:30	32,30	35	1,8	1.004,60	953
13:40	32,40	34	1,3	1.004,40	950
13:50	32,80	34	2,2	1.004,30	950
14:00	33,00	32	1,8	1.004,10	947
14:10	33,10	33	1,8	1.004,20	938
14:20	33,30	32	1,3	1.004,00	931
14:30	33,40	30	1,8	1.004,10	923
14:40	33,60	31	2,7	1.003,70	915
14:50	33,40	31	2,2	1.003,70	909
15:00	33,60	30	2,2	1.003,70	892
15:10	34,10	28	1,8	1.003,70	874
15:20	34,30	29	1,8	1.003,60	862
15:30	34,00	28	2,7	1.003,60	842
15:40	34,00	29	1,8	1.003,40	824
15:50	34,30	29	1,8	1.003,50	802
16:00	34,50	29	1,8	1.003,50	779
16:10	34,60	28	1,8	1.003,40	757
16:20	34,30	27	2,7	1.003,40	734
16:30	34,30	29	2,2	1.003,30	709
16:40	34,30	29	2,2	1.003,10	682
16:50	34,50	28	2,2	1.003,10	657
17:00	34,20	28	2,2	1.002,90	630
17:10	34,40	28	1,8	1.002,80	601
17:20	34,40	28	1,3	1.002,80	568
17:30	33,90	28	2,7	1.002,60	539
17:40	33,80	28	2,7	1.002,60	510
17:50	33,90	28	2,2	1.002,40	475
18:00	33,90	29	2,2	1.002,30	445

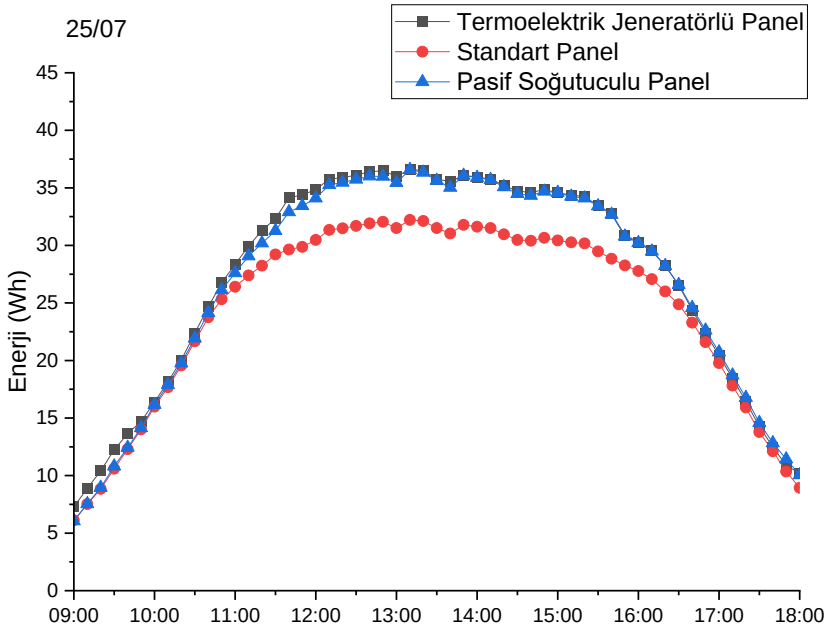
Seçilen 25 Temmuz günü için PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.9'da görülmektedir.

Çizelge 8.9. 25 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	12,82	3,41	43,70	7,28	36,64	11,75	3,13	36,72	6,12	39,18	11,68	3,11	36,28	6,05	35,43
09:10	14,17	3,77	53,40	8,90	38,61	13,03	3,47	45,15	7,53	42,16	13,04	3,47	45,19	7,53	37,37
09:20	15,33	4,08	62,46	10,41	39,38	14,13	3,76	53,10	8,85	43,10	14,22	3,78	53,77	8,96	38,39
09:30	16,62	4,42	73,42	12,24	40,43	15,46	4,11	63,57	10,59	44,23	15,62	4,15	64,86	10,81	39,35
09:40	17,54	4,67	81,83	13,64	41,32	16,66	4,43	73,82	12,30	44,99	16,75	4,45	74,60	12,43	40,25
09:50	18,21	4,84	88,16	14,69	41,42	17,78	4,73	84,08	14,01	45,24	17,86	4,75	84,84	14,14	40,32
10:00	19,23	5,11	98,31	16,39	42,72	18,99	5,05	95,91	15,98	46,24	19,09	5,08	96,97	16,16	41,49
10:10	20,24	5,38	108,91	18,15	44,95	19,97	5,31	106,06	17,68	49,82	20,09	5,34	107,39	17,90	43,99
10:20	21,27	5,66	120,27	20,05	46,16	21,01	5,59	117,40	19,57	49,87	21,11	5,62	118,56	19,76	44,49
10:30	22,47	5,98	134,31	22,39	50,54	22,11	5,88	130,01	21,67	53,59	22,25	5,92	131,62	21,94	49,43
10:40	23,59	6,27	147,95	24,66	50,58	23,15	6,16	142,53	23,76	54,44	23,35	6,21	144,98	24,16	49,06
10:50	24,57	6,54	160,61	26,77	53,39	23,90	6,36	151,92	25,32	56,79	24,28	6,46	156,74	26,12	52,37
11:00	25,29	6,73	170,13	28,36	53,20	24,41	6,49	158,47	26,41	57,03	24,96	6,64	165,68	27,61	51,92
11:10	25,99	6,91	179,64	29,94	53,63	24,86	6,61	164,37	27,39	55,87	25,61	6,81	174,46	29,08	51,86
11:20	26,57	7,07	187,78	31,30	58,30	25,24	6,71	169,43	28,24	61,67	26,10	6,94	181,20	30,20	57,06
11:30	27,01	7,18	194,01	32,33	56,59	25,67	6,83	175,25	29,21	60,16	26,56	7,06	187,63	31,27	54,89
11:40	27,75	7,38	204,81	34,14	59,12	25,86	6,88	177,86	29,64	62,32	27,25	7,25	197,46	32,91	57,89
11:50	27,86	7,41	206,38	34,40	59,85	25,96	6,90	179,23	29,87	63,62	27,47	7,30	200,64	33,44	58,69
12:00	28,04	7,46	209,06	34,84	57,95	26,22	6,97	182,84	30,47	62,10	27,74	7,38	204,61	34,10	56,41
12:10	28,41	7,56	214,64	35,77	56,77	26,59	7,07	188,04	31,34	59,56	28,21	7,50	211,58	35,26	54,51
12:20	28,45	7,57	215,28	35,88	57,47	26,65	7,09	188,89	31,48	60,64	28,29	7,52	212,83	35,47	55,28
12:30	28,55	7,59	216,73	36,12	56,78	26,74	7,11	190,17	31,69	60,92	28,39	7,55	214,40	35,73	54,74
12:40	28,65	7,62	218,34	36,39	56,19	26,83	7,14	191,45	31,91	60,76	28,51	7,58	216,13	36,02	54,41
12:50	28,70	7,63	218,99	36,50	57,60	26,89	7,15	192,31	32,05	61,20	28,50	7,58	215,97	36,00	56,36
13:00	28,49	7,58	215,92	35,99	62,30	26,66	7,09	189,03	31,51	66,41	28,28	7,52	212,67	35,45	60,46
13:10	28,74	7,64	219,64	36,61	58,00	26,96	7,17	193,31	32,22	61,77	28,73	7,64	219,46	36,58	55,66
13:20	28,70	7,63	218,99	36,50	60,20	26,92	7,16	192,74	32,12	63,82	28,63	7,61	218,03	36,34	57,73
13:30	28,41	7,56	214,64	35,77	64,22	26,66	7,09	189,03	31,51	67,61	28,35	7,54	213,77	35,63	62,17
13:40	28,31	7,53	213,20	35,53	66,30	26,46	7,04	186,21	31,03	70,01	28,11	7,48	210,18	35,03	64,58
13:50	28,54	7,59	216,57	36,09	61,58	26,78	7,12	190,74	31,79	65,14	28,53	7,59	216,45	36,07	59,06
14:00	28,47	7,57	215,60	35,93	62,16	26,71	7,10	189,74	31,62	65,71	28,45	7,57	215,34	35,89	60,05
14:10	28,41	7,56	214,64	35,77	62,39	26,66	7,09	189,03	31,51	66,17	28,38	7,55	214,24	35,71	60,08
14:20	28,19	7,50	211,29	35,21	65,40	26,43	7,03	185,78	30,96	68,45	28,13	7,48	210,49	35,08	63,58
14:30	27,98	7,44	208,27	34,71	67,43	26,22	6,97	182,84	30,47	71,22	27,89	7,42	206,92	34,49	65,28
14:40	27,94	7,43	207,64	34,61	65,75	26,19	6,97	182,42	30,40	70,90	27,83	7,40	206,00	34,33	63,76
14:50	28,04	7,46	209,06	34,84	63,38	26,30	6,99	183,96	30,66	66,88	27,98	7,44	208,16	34,69	60,84
15:00	27,93	7,43	207,48	34,58	62,53	26,20	6,97	182,56	30,43	66,15	27,93	7,43	207,54	34,59	59,94
15:10	27,85	7,41	206,22	34,37	61,29	26,13	6,95	181,59	30,26	64,41	27,80	7,39	205,53	34,26	58,70

15:20	27,79	7,39	205,44	34,24	61,04	26,09	6,94	181,03	30,17	64,13	27,74	7,38	204,61	34,10	58,63
15:30	27,47	7,31	200,76	33,46	60,67	25,79	6,86	176,89	29,48	65,00	27,46	7,30	200,49	33,41	58,01
15:40	27,20	7,23	196,75	32,79	61,80	25,51	6,78	173,07	28,85	65,27	27,15	7,22	196,11	32,68	59,58
15:50	26,39	7,02	185,29	30,88	61,61	25,25	6,72	169,56	28,26	65,19	26,36	7,01	184,76	30,79	59,60
16:00	26,15	6,95	181,80	30,30	58,76	25,03	6,66	166,62	27,77	61,89	26,11	6,94	181,34	30,22	56,30
16:10	25,82	6,87	177,34	29,56	57,26	24,71	6,57	162,39	27,06	60,49	25,80	6,86	176,97	29,50	55,13
16:20	25,24	6,71	169,43	28,24	56,32	24,22	6,44	156,01	26,00	60,49	25,23	6,71	169,36	28,23	53,85
16:30	24,47	6,51	159,25	26,54	55,48	23,69	6,30	149,26	24,88	59,39	24,49	6,51	159,51	26,59	53,51
16:40	23,45	6,24	146,26	24,38	55,60	22,92	6,10	139,71	23,29	59,40	23,55	6,26	147,52	24,59	53,19
16:50	22,47	5,98	134,31	22,39	54,88	22,07	5,87	129,54	21,59	58,60	22,59	6,01	135,76	22,63	52,61
17:00	21,47	5,71	122,64	20,44	54,24	21,12	5,62	118,63	19,77	58,08	21,62	5,75	124,36	20,73	51,83
17:10	20,40	5,43	110,71	18,45	52,80	20,05	5,33	106,92	17,82	56,24	20,55	5,47	112,35	18,72	50,82
17:20	19,26	5,12	98,63	16,44	52,20	18,95	5,04	95,51	15,92	55,00	19,45	5,17	100,63	16,77	50,09
17:30	17,94	4,77	85,56	14,26	49,68	17,63	4,69	82,66	13,78	54,29	18,15	4,83	87,57	14,60	47,89
17:40	16,78	4,46	74,90	12,48	49,29	16,53	4,40	72,67	12,11	53,97	17,01	4,52	76,98	12,83	47,20
17:50	15,67	4,17	65,29	10,88	47,23	15,28	4,06	62,10	10,35	50,16	16,05	4,27	68,55	11,43	45,35
18:00	15,16	4,03	61,12	10,19	45,15	14,20	3,78	53,63	8,94	48,24	15,06	4,00	60,28	10,05	43,54

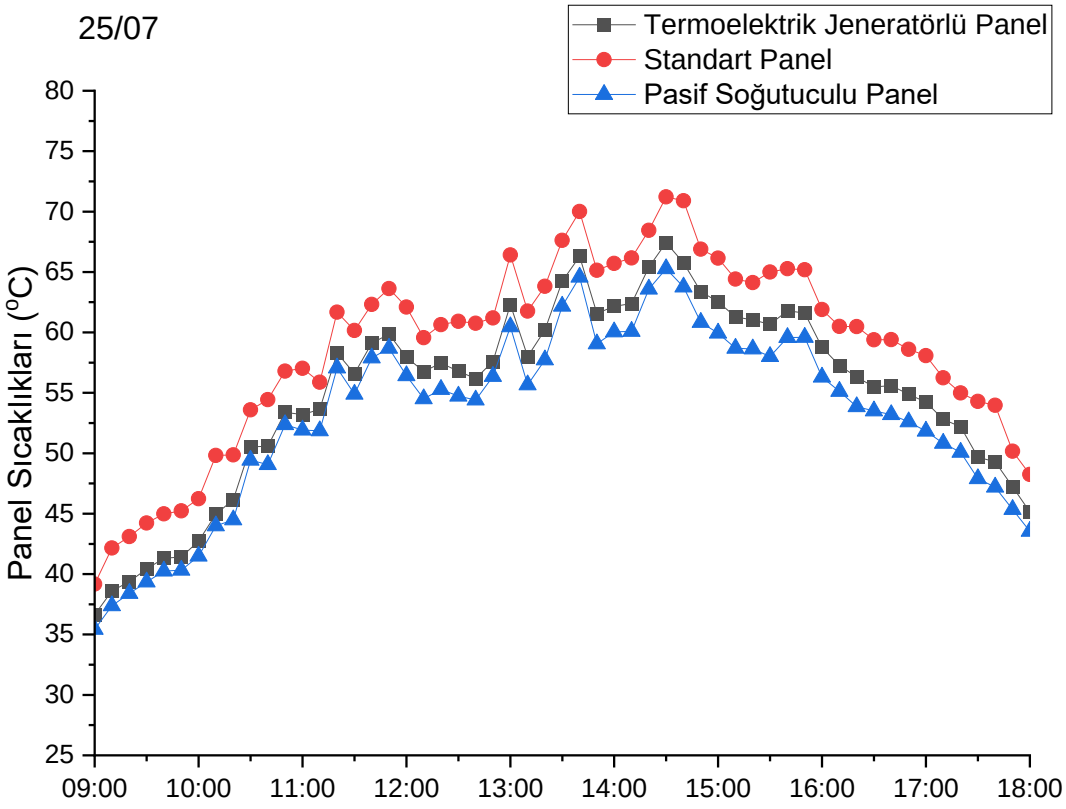
Seçilen 25 Temmuz gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.14'te görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde Standart PV panele göre pasif soğutucu uygulanmış PV panellerden daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.14. 25 Temmuz Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Şekil 8.14'teki grafik incelendiğinde pasif soğutma uygulanmış PV panel ile termoelektrik jeneratör uygulanmış PV panelin enerji üretimleri birbirine çok yakın seviyelerde gerçekleşmiştir.

Seçilen 25 Temmuz gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.15'te görülmektedir. Benzer şekilde bugün de standart PV panelin yüzey sıcaklığı pasif soğutma uygulanmış PV panellere göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 8.15. 25 Temmuz Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Şekil 8.15'te görüldüğü gibi gün boyunca standart PV panelin yüzey sıcaklığı diğer 2 PV panele göre daha yüksek olup öğle saatlerinde 72°C seviyelerine ulaşmıştır.

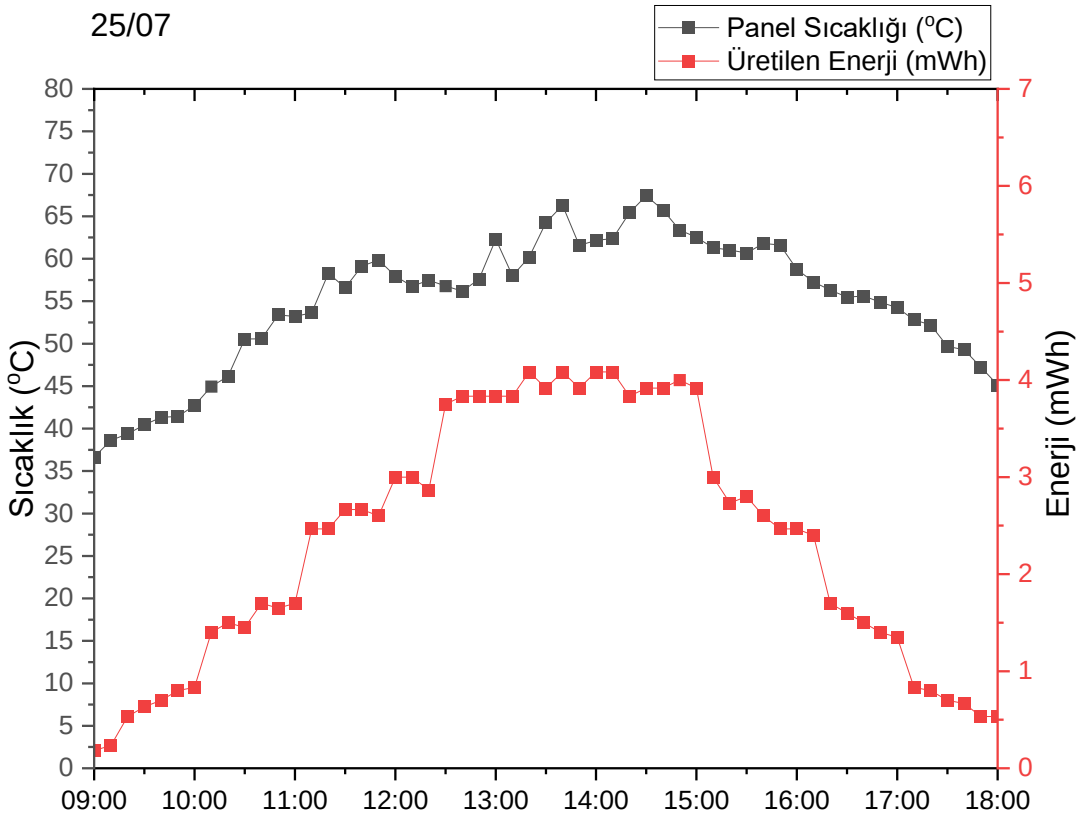
Seçilen 25 Temmuz gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.10'da görülmektedir.

Çizelge 8.10. 25 Temmuz Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	110,00	10,00	1,10	0,18
09:10	140,00	10,00	1,40	0,23
09:20	160,00	20,00	3,20	0,53
09:30	190,00	20,00	3,80	0,63
09:40	210,00	20,00	4,20	0,70
09:50	240,00	20,00	4,80	0,80
10:00	250,00	20,00	5,00	0,83
10:10	280,00	30,00	8,40	1,40
10:20	300,00	30,00	9,00	1,50
10:30	290,00	30,00	8,70	1,45
10:40	340,00	30,00	10,20	1,70
10:50	330,00	30,00	9,90	1,65
11:00	340,00	30,00	10,20	1,70
11:10	370,00	40,00	14,80	2,47
11:20	370,00	40,00	14,80	2,47
11:30	400,00	40,00	16,00	2,67
11:40	400,00	40,00	16,00	2,67
11:50	390,00	40,00	15,60	2,60
12:00	450,00	40,00	18,00	3,00
12:10	450,00	40,00	18,00	3,00
12:20	430,00	40,00	17,20	2,87
12:30	450,00	50,00	22,50	3,75
12:40	460,00	50,00	23,00	3,83
12:50	460,00	50,00	23,00	3,83
13:00	460,00	50,00	23,00	3,83
13:10	460,00	50,00	23,00	3,83

13:20	490,00	50,00	24,50	4,08
13:30	470,00	50,00	23,50	3,92
13:40	490,00	50,00	24,50	4,08
13:50	470,00	50,00	23,50	3,92
14:00	490,00	50,00	24,50	4,08
14:10	490,00	50,00	24,50	4,08
14:20	460,00	50,00	23,00	3,83
14:30	470,00	50,00	23,50	3,92
14:40	470,00	50,00	23,50	3,92
14:50	480,00	50,00	24,00	4,00
15:00	470,00	50,00	23,50	3,92
15:10	450,00	40,00	18,00	3,00
15:20	410,00	40,00	16,40	2,73
15:30	420,00	40,00	16,80	2,80
15:40	390,00	40,00	15,60	2,60
15:50	370,00	40,00	14,80	2,47
16:00	370,00	40,00	14,80	2,47
16:10	360,00	40,00	14,40	2,40
16:20	340,00	30,00	10,20	1,70
16:30	320,00	30,00	9,60	1,60
16:40	300,00	30,00	9,00	1,50
16:50	280,00	30,00	8,40	1,40
17:00	270,00	30,00	8,10	1,35
17:10	250,00	20,00	5,00	0,83
17:20	240,00	20,00	4,80	0,80
17:30	210,00	20,00	4,20	0,70
17:40	200,00	20,00	4,00	0,67
17:50	160,00	20,00	3,20	0,53
18:00	160,00	20,00	3,20	0,53

Seçilen 25 Temmuz gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.16'da görülmektedir.



Şekil 8.16. 25 Temmuz İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 5 Ağustos gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.11'de görülmektedir.

Çizelge 8.11. 5 Ağustos Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	24,00	60	0,9	1.004,50	368
09:10	24,60	60	0,9	1.004,50	335
09:20	24,90	60	0,9	1.004,60	357

09:30	25,80	59	0,4	1.004,60	402
09:40	25,90	57	0,9	1.004,70	321
09:50	25,80	56	0,9	1.004,70	421
10:00	26,10	56	0,9	1.004,70	600
10:10	26,70	56	0,9	1.004,70	458
10:20	26,80	54	0,9	1.004,60	192
10:30	27,20	54	0,9	1.004,50	392
10:40	27,10	53	1,3	1.004,40	175
10:50	27,50	52	0,9	1.004,40	407
11:00	27,10	54	0,4	1.004,40	277
11:10	27,80	50	0,9	1.004,20	649
11:20	28,50	46	1,3	1.004,20	687
11:30	29,70	44	1,3	1.004,10	884
11:40	30,60	41	2,2	1.004,20	939
11:50	30,10	42	1,3	1.004,30	861
12:00	30,10	42	1,8	1.004,30	961
12:10	30,70	40	1,3	1.004,30	937
12:20	30,60	40	0,9	1.004,30	853
12:30	31,30	38	1,8	1.004,40	950
12:40	31,00	38	1,8	1.004,40	940
12:50	31,40	37	2,2	1.004,20	953
13:00	31,80	37	1,8	1.004,00	950
13:10	32,00	36	1,3	1.004,10	949
13:20	32,30	35	1,8	1.003,90	950
13:30	32,40	34	2,2	1.004,10	954
13:40	32,60	32	2,7	1.003,90	956
13:50	32,60	31	1,8	1.004,20	949
14:00	32,40	32	1,8	1.004,20	949
14:10	32,50	32	1,3	1.004,20	942
14:20	32,40	32	1,3	1.004,30	926
14:30	32,90	31	2,2	1.004,00	922
14:40	33,10	31	2,2	1.004,00	915

14:50	32,80	30	1,3	1.003,70	903
15:00	32,90	30	2,2	1.003,70	886
15:10	33,40	31	1,3	1.003,60	868
15:20	33,60	30	1,3	1.003,50	851
15:30	33,80	29	2,7	1.003,50	840
15:40	33,90	29	2,2	1.003,30	819
15:50	33,70	29	2,7	1.003,20	796
16:00	33,70	29	1,8	1.003,10	777
16:10	33,50	29	0,9	1.003,10	753
16:20	34,00	31	1,3	1.003,00	728
16:30	34,40	31	1,8	1.003,20	704
16:40	34,40	31	1,8	1.003,00	673
16:50	34,30	31	2,2	1.003,00	639
17:00	33,90	31	2,7	1.003,00	610
17:10	34,20	30	2,2	1.002,80	582
17:20	34,20	31	1,8	1.002,70	552
17:30	34,10	32	1,8	1.002,60	520
17:40	34,00	32	2,2	1.002,80	490
17:50	34,30	31	0,9	1.002,70	455
18:00	34,30	31	1,3	1.002,60	425

Seçilen 5 Ağustos gününe ait PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.12'de görülmektedir.

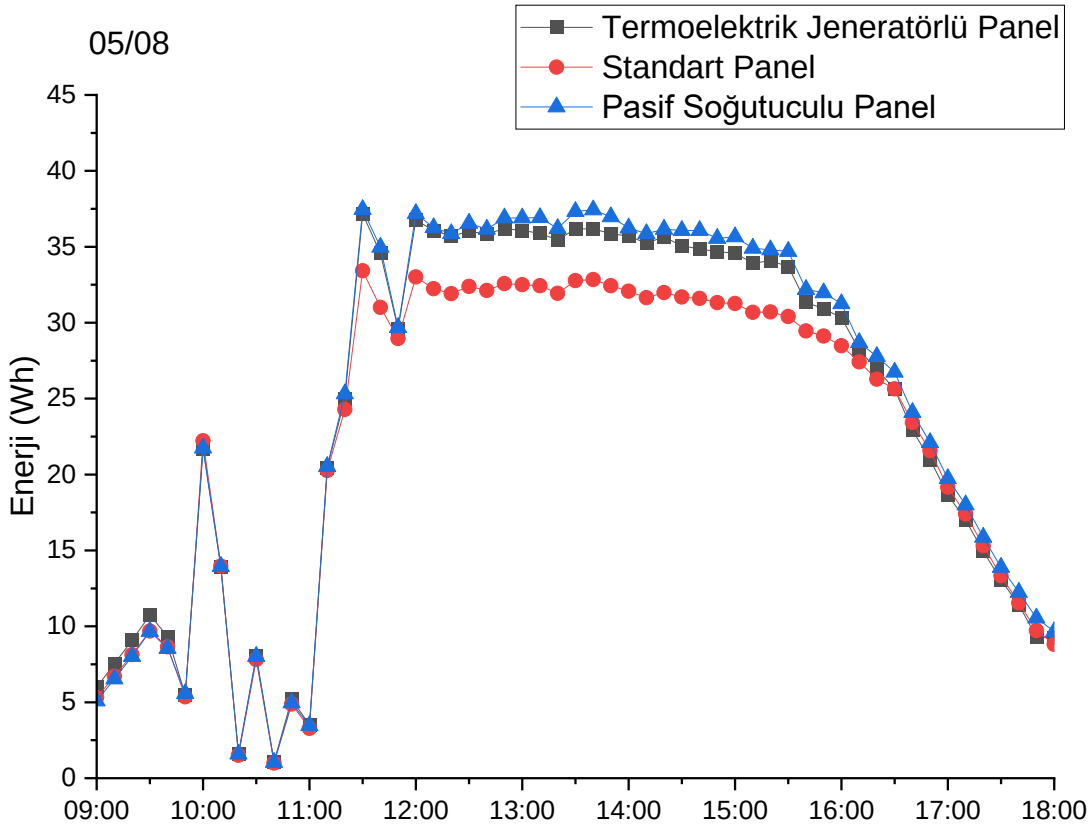
Çizelge 8.12. 5 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	11,62	3,09	35,91	5,99	36,46	10,94	2,91	31,83	5,31	37,63	10,72	2,85	30,56	5,09	36,84
09:10	13,05	3,47	45,29	7,55	37,77	12,31	3,27	40,30	6,72	38,86	12,14	3,23	39,20	6,53	37,87
09:20	14,31	3,81	54,46	9,08	40,38	13,55	3,60	48,83	8,14	41,04	13,45	3,58	48,11	8,02	40,43
09:30	15,57	4,14	64,47	10,75	42,55	14,79	3,93	58,18	9,70	42,74	14,77	3,93	58,02	9,67	42,31

09:40	14,51	3,86	55,99	9,33	42,61	13,97	3,72	51,90	8,65	43,12	13,88	3,69	51,24	8,54	42,74
09:50	11,11	2,95	32,83	5,47	41,71	10,99	2,92	32,12	5,35	41,27	11,21	2,98	33,42	5,57	41,59
10:00	22,13	5,89	130,25	21,71	49,94	22,39	5,95	133,33	22,22	49,67	22,15	5,89	130,48	21,75	49,38
10:10	17,70	4,71	83,32	13,89	39,84	17,75	4,72	83,79	13,97	41,09	17,74	4,72	83,70	13,95	39,98
10:20	6,06	1,61	9,77	1,63	34,32	5,84	1,55	9,07	1,51	36,32	5,98	1,59	9,51	1,59	34,59
10:30	13,47	3,58	48,26	8,04	40,86	13,28	3,53	46,90	7,82	42,30	13,45	3,58	48,11	8,02	40,83
10:40	4,91	1,31	6,41	1,07	34,22	4,73	1,26	5,95	0,99	36,01	4,85	1,29	6,26	1,04	34,29
10:50	10,85	2,89	31,31	5,22	39,62	10,49	2,79	29,27	4,88	41,38	10,58	2,81	29,77	4,96	39,64
11:00	8,89	2,36	21,02	3,50	38,80	8,61	2,29	19,72	3,29	39,11	8,84	2,35	20,78	3,46	38,69
11:10	21,48	5,71	122,71	20,45	47,65	21,38	5,69	121,57	20,26	48,90	21,52	5,72	123,17	20,53	47,11
11:20	23,75	6,32	150,02	25,00	52,28	23,41	6,23	145,75	24,29	53,83	23,90	6,36	151,92	25,32	51,03
11:30	28,95	7,70	222,97	37,16	55,43	27,46	7,30	200,55	33,42	57,70	29,07	7,73	224,73	37,46	54,86
11:40	27,92	7,43	207,39	34,56	55,22	26,45	7,03	186,06	31,01	59,83	28,09	7,47	209,87	34,98	54,65
11:50	25,84	6,87	177,57	29,60	47,40	25,56	6,80	173,75	28,96	50,94	25,88	6,88	178,14	29,69	47,19
12:00	28,80	7,66	220,57	36,76	54,01	27,29	7,26	198,07	33,01	57,35	28,96	7,70	223,13	37,19	53,04
12:10	28,53	7,59	216,45	36,07	58,53	26,97	7,17	193,45	32,24	61,09	28,60	7,61	217,55	36,26	57,67
12:20	28,38	7,55	214,24	35,71	60,99	26,83	7,14	191,45	31,91	62,75	28,44	7,57	215,18	35,86	60,08
12:30	28,51	7,58	216,13	36,02	57,00	27,03	7,19	194,31	32,39	60,18	28,72	7,64	219,30	36,55	55,71
12:40	28,43	7,56	215,03	35,84	59,41	26,92	7,16	192,74	32,12	62,34	28,56	7,60	216,92	36,15	58,48
12:50	28,58	7,60	217,24	36,21	58,07	27,11	7,21	195,47	32,58	61,77	28,85	7,67	221,37	36,89	56,94
13:00	28,53	7,59	216,45	36,07	58,58	27,08	7,20	195,03	32,51	62,73	28,85	7,67	221,37	36,89	58,16
13:10	28,45	7,57	215,34	35,89	59,12	27,05	7,19	194,60	32,43	62,43	28,86	7,68	221,53	36,92	58,17
13:20	28,28	7,52	212,67	35,45	62,41	26,84	7,14	191,59	31,93	65,66	28,58	7,60	217,24	36,21	61,47
13:30	28,57	7,60	217,08	36,18	57,93	27,19	7,23	196,62	32,77	62,32	29,02	7,72	223,93	37,32	56,87
13:40	28,57	7,60	217,08	36,18	57,59	27,22	7,24	197,06	32,84	62,86	29,06	7,73	224,57	37,43	56,77
13:50	28,44	7,57	215,18	35,86	59,90	27,05	7,19	194,60	32,43	63,48	28,88	7,68	221,85	36,97	58,58
14:00	28,38	7,55	214,24	35,71	63,45	26,90	7,15	192,45	32,07	65,91	28,59	7,60	217,39	36,23	62,42
14:10	28,19	7,50	211,42	35,24	65,32	26,72	7,11	189,88	31,65	68,04	28,44	7,57	215,18	35,86	64,02
14:20	28,36	7,54	213,93	35,65	60,87	26,86	7,14	191,88	31,98	63,25	28,56	7,60	216,92	36,15	59,74
14:30	28,12	7,48	210,33	35,06	62,20	26,74	7,11	190,17	31,69	66,60	28,53	7,59	216,45	36,07	61,42
14:40	28,05	7,46	209,24	34,87	62,36	26,70	7,10	189,60	31,60	66,38	28,53	7,59	216,45	36,07	61,19
14:50	27,97	7,44	208,00	34,67	64,17	26,58	7,07	187,90	31,32	66,72	28,32	7,53	213,30	35,55	62,99
15:00	27,93	7,43	207,54	34,59	60,30	26,56	7,06	187,62	31,27	64,63	28,36	7,54	213,93	35,65	59,21
15:10	27,66	7,36	203,54	33,92	62,76	26,31	7,00	184,10	30,68	66,03	28,06	7,46	209,40	34,90	61,90
15:20	27,73	7,37	204,46	34,08	58,39	26,32	7,00	184,24	30,71	61,90	28,02	7,45	208,78	34,80	57,86
15:30	27,57	7,33	202,16	33,69	58,75	26,19	6,97	182,42	30,40	63,33	27,98	7,44	208,16	34,69	58,02
15:40	26,59	7,07	188,06	31,34	63,06	25,78	6,86	176,76	29,46	66,89	26,95	7,17	193,14	32,19	62,25
15:50	26,41	7,02	185,47	30,91	58,56	25,63	6,82	174,71	29,12	64,10	26,86	7,14	191,83	31,97	58,65
16:00	26,16	6,96	182,05	30,34	59,66	25,35	6,74	170,91	28,49	63,31	26,55	7,06	187,48	31,25	58,65
16:10	25,22	6,71	169,16	28,19	64,20	24,87	6,61	164,50	27,42	64,74	25,44	6,77	172,13	28,69	63,45
16:20	24,65	6,56	161,60	26,93	61,21	24,35	6,48	157,69	26,28	64,03	25,03	6,66	166,62	27,77	60,77
16:30	24,04	6,39	153,70	25,62	53,71	24,05	6,40	153,83	25,64	57,83	24,56	6,53	160,42	26,74	53,19
16:40	22,74	6,05	137,53	22,92	52,66	22,99	6,11	140,57	23,43	57,18	23,31	6,20	144,51	24,08	52,54
16:50	21,76	5,79	125,93	20,99	50,92	22,06	5,87	129,43	21,57	55,42	22,33	5,94	132,61	22,10	50,74

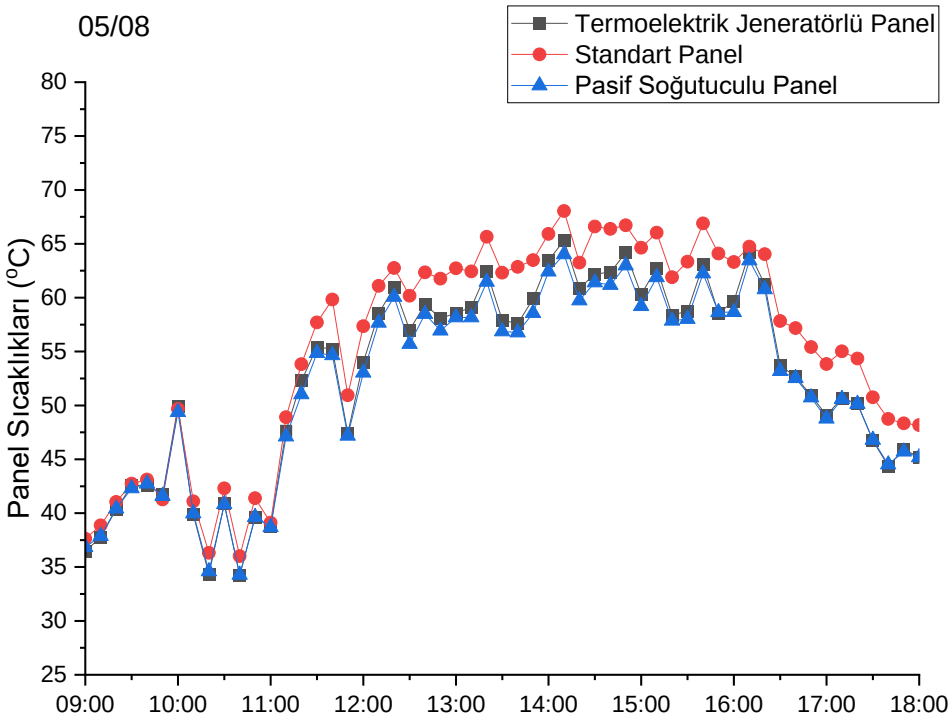
17:00	20,52	5,46	111,99	18,66	49,07	20,79	5,53	114,95	19,16	53,84	21,10	5,61	118,41	19,73	48,77
17:10	19,58	5,21	101,96	16,99	50,69	19,81	5,27	104,37	17,40	55,02	20,15	5,36	107,98	18,00	50,59
17:20	18,36	4,88	89,65	14,94	50,16	18,58	4,94	91,81	15,30	54,35	18,92	5,03	95,20	15,87	50,14
17:30	17,16	4,56	78,32	13,05	46,74	17,34	4,61	79,97	13,33	50,75	17,70	4,71	83,32	13,89	46,81
17:40	16,05	4,27	68,51	11,42	44,36	16,14	4,29	69,28	11,55	48,74	16,62	4,42	73,46	12,24	44,52
17:50	14,49	3,85	55,84	9,31	45,94	14,81	3,94	58,33	9,72	48,33	15,43	4,10	63,32	10,55	45,71
18:00	14,43	3,84	55,38	9,23	45,18	14,10	3,75	52,88	8,81	48,18	14,76	3,93	57,94	9,66	45,20

Seçilen 5 Ağustos gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.17'te görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde Standart PV panele göre pasif soğutucu uygulanmış PV panellerden daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.17. 5 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Seçilen 5 Ağustos gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.18'de görülmektedir. Benzer şekilde bugün de standart PV panelin yüzey sıcaklığı pasif soğutma uygulanmış PV panellere göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 8.18. 5 Ağustos Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 5 Ağustos gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.13'te görülmektedir.

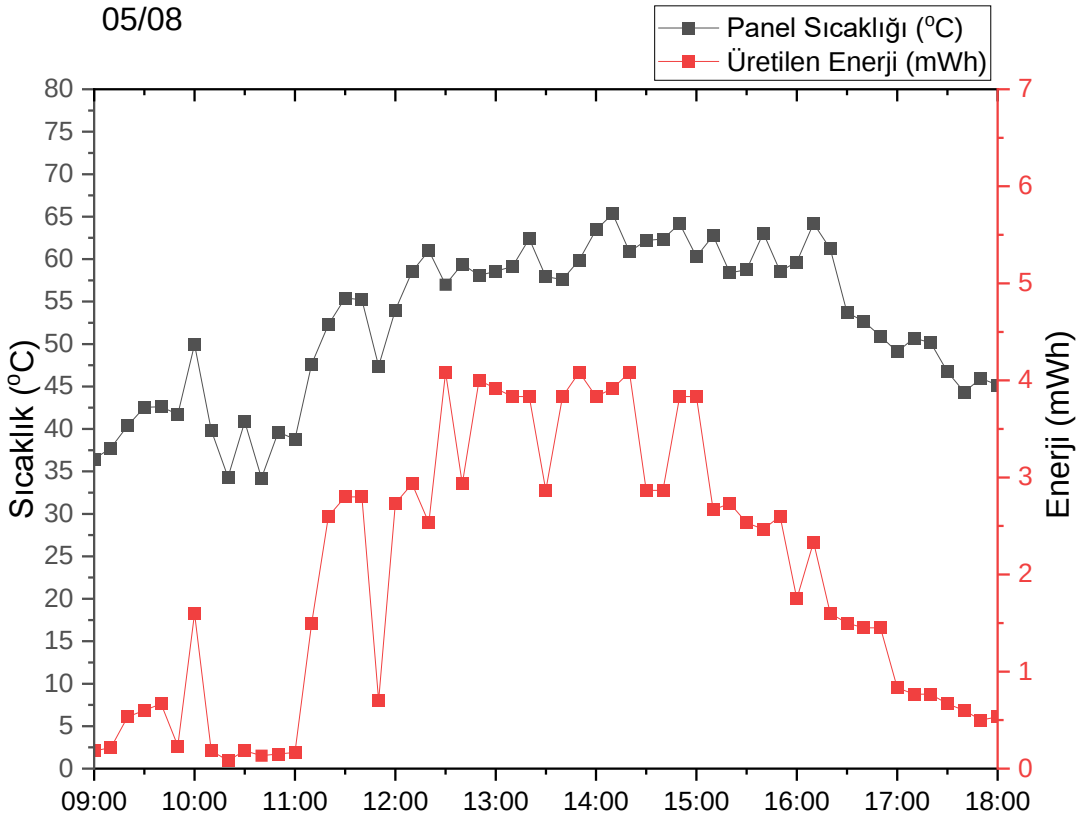
Çizelge 8.13. 5 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	110,00	10,00	1,10	0,18
09:10	130,00	10,00	1,30	0,22
09:20	160,00	20,00	3,20	0,53
09:30	180,00	20,00	3,60	0,60
09:40	200,00	20,00	4,00	0,67

09:50	140,00	10,00	1,40	0,23
10:00	320,00	30,00	9,60	1,60
10:10	110,00	10,00	1,10	0,18
10:20	50,00	10,00	0,50	0,08
10:30	110,00	10,00	1,10	0,18
10:40	80,00	10,00	0,80	0,13
10:50	90,00	10,00	0,90	0,15
11:00	100,00	10,00	1,00	0,17
11:10	300,00	30,00	9,00	1,50
11:20	390,00	40,00	15,60	2,60
11:30	420,00	40,00	16,80	2,80
11:40	420,00	40,00	16,80	2,80
11:50	210,00	20,00	4,20	0,70
12:00	410,00	40,00	16,40	2,73
12:10	440,00	40,00	17,60	2,93
12:20	380,00	40,00	15,20	2,53
12:30	490,00	50,00	24,50	4,08
12:40	440,00	40,00	17,60	2,93
12:50	480,00	50,00	24,00	4,00
13:00	470,00	50,00	23,50	3,92
13:10	460,00	50,00	23,00	3,83
13:20	460,00	50,00	23,00	3,83
13:30	430,00	40,00	17,20	2,87
13:40	460,00	50,00	23,00	3,83
13:50	490,00	50,00	24,50	4,08
14:00	460,00	50,00	23,00	3,83
14:10	470,00	50,00	23,50	3,92
14:20	490,00	50,00	24,50	4,08
14:30	430,00	40,00	17,20	2,87
14:40	430,00	40,00	17,20	2,87
14:50	460,00	50,00	23,00	3,83
15:00	460,00	50,00	23,00	3,83

15:10	400,00	40,00	16,00	2,67
15:20	410,00	40,00	16,40	2,73
15:30	380,00	40,00	15,20	2,53
15:40	370,00	40,00	14,80	2,47
15:50	390,00	40,00	15,60	2,60
16:00	350,00	30,00	10,50	1,75
16:10	350,00	40,00	14,00	2,33
16:20	320,00	30,00	9,60	1,60
16:30	300,00	30,00	9,00	1,50
16:40	290,00	30,00	8,70	1,45
16:50	290,00	30,00	8,70	1,45
17:00	250,00	20,00	5,00	0,83
17:10	230,00	20,00	4,60	0,77
17:20	230,00	20,00	4,60	0,77
17:30	200,00	20,00	4,00	0,67
17:40	180,00	20,00	3,60	0,60
17:50	150,00	20,00	3,00	0,50
18:00	160,00	20,00	3,20	0,53

Seçilen 5 Ağustos gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.19'da görülmektedir.



Şekil 8.19. 5 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 15 Ağustos gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.14'te görülmektedir.

Çizelge 8.14. 15 Ağustos Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	22,80	67	0,9	1.008,30	283
09:10	23,20	66	0,9	1.008,30	293
09:20	23,40	66	1,3	1.008,20	325
09:30	23,80	64	1,3	1.008,40	343
09:40	24,40	63	0,9	1.008,40	392

09:50	25,10	61	0,9	1.008,40	487
10:00	25,80	60	0,9	1.008,40	556
10:10	26,20	58	0,9	1.008,60	584
10:20	26,30	57	0,9	1.008,50	613
10:30	27,10	55	0,9	1.008,40	641
10:40	27,30	54	0,9	1.008,50	666
10:50	27,90	48	1,3	1.008,40	689
11:00	28,80	47	1,3	1.008,30	711
11:10	28,90	49	1,3	1.008,20	734
11:20	29,30	48	1,8	1.008,20	754
11:30	29,90	43	1,8	1.008,00	775
11:40	30,40	43	2,7	1.008,00	793
11:50	30,50	43	2,2	1.007,90	806
12:00	31,00	42	1,8	1.008,00	822
12:10	31,40	40	2,2	1.007,90	836
12:20	31,90	39	1,8	1.007,80	843
12:30	32,20	37	2,7	1.007,80	859
12:40	32,00	38	1,8	1.007,70	875
12:50	32,30	37	1,8	1.007,60	889
13:00	32,40	38	1,8	1.007,40	905
13:10	32,30	39	1,8	1.007,20	931
13:20	33,10	37	2,2	1.007,20	930
13:30	32,40	37	1,8	1.007,00	607
13:40	32,70	38	1,8	1.006,90	733
13:50	32,50	38	2,2	1.006,70	694
14:00	32,30	39	2,7	1.006,60	410
14:10	33,10	37	2,7	1.006,50	977
14:20	33,60	36	2,7	1.006,60	944
14:30	33,20	36	2,7	1.006,50	749
14:40	33,30	36	3,1	1.006,30	927
14:50	33,60	36	2,2	1.006,30	909
15:00	33,70	35	2,2	1.006,20	908

15:10	33,80	35	2,7	1.005,90	723
15:20	33,10	37	2,7	1.005,80	484
15:30	32,60	36	3,1	1.005,70	215
15:40	32,50	37	2,7	1.005,50	522
15:50	33,60	35	2,2	1.005,50	819
16:00	34,10	33	3,1	1.005,40	803
16:10	33,50	33	3,6	1.005,50	559
16:20	33,30	34	3,6	1.005,30	560
16:30	33,80	33	3,6	1.005,30	738
16:40	33,80	33	3,6	1.005,20	721
16:50	32,60	34	3,1	1.005,20	228
17:00	32,10	34	2,7	1.004,90	246
17:10	31,90	33	4	1.005,30	268
17:20	32,30	32	3,1	1.005,50	407
17:30	32,10	32	2,7	1.005,50	233
17:40	32,20	32	3,1	1.005,60	281
17:50	32,10	32	3,1	1.005,60	313
18:00	31,60	32	3,6	1.005,60	191

Seçilen 15 Ağustos günü için PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.15'te görülmektedir.

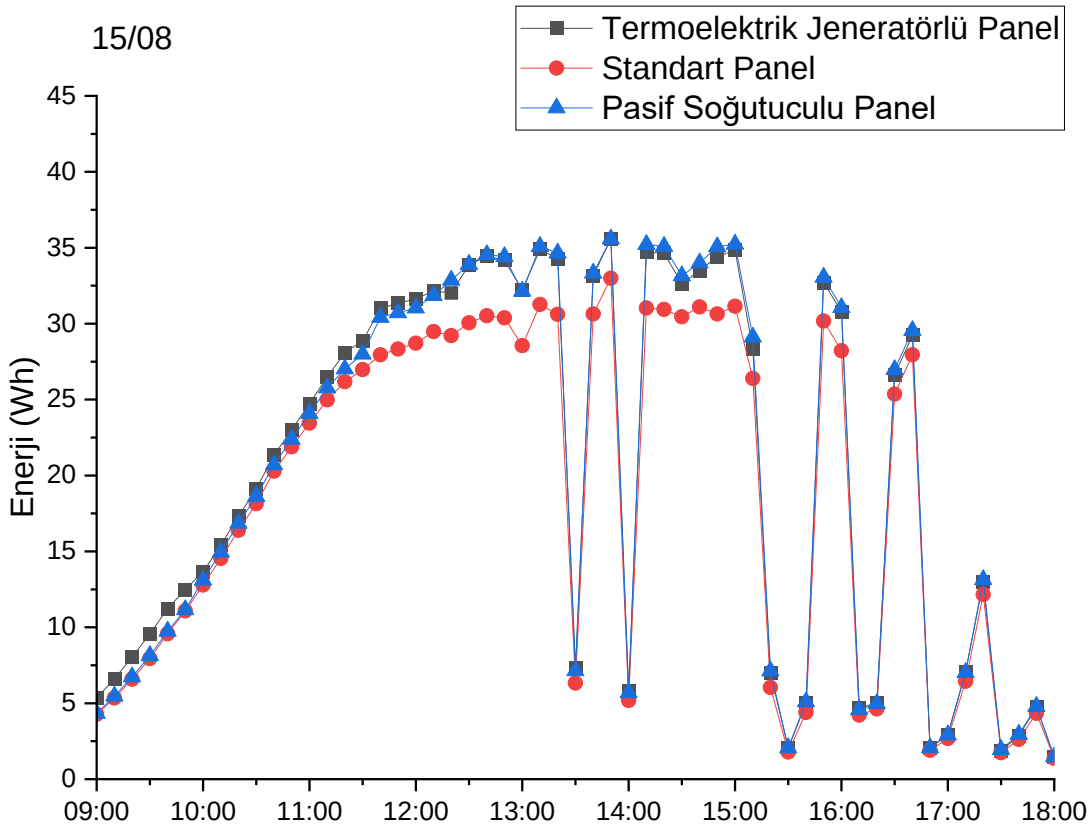
Çizelge 8.15. 15 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	10,98	2,92	32,06	5,34	35,37	9,81	2,61	25,59	4,27	36,87	9,89	2,63	26,01	4,34	35,20
09:10	12,21	3,25	39,65	6,61	37,19	10,98	2,92	32,06	5,34	38,31	11,11	2,95	32,83	5,47	36,88
09:20	13,47	3,58	48,26	8,04	37,92	12,19	3,24	39,52	6,59	39,32	12,33	3,28	40,43	6,74	37,59
09:30	14,69	3,91	57,39	9,57	39,35	13,38	3,56	47,61	7,94	40,27	13,55	3,60	48,83	8,14	38,80
09:40	15,93	4,24	67,49	11,25	42,28	14,70	3,91	57,47	9,58	42,34	14,83	3,94	58,49	9,75	41,57
09:50	16,78	4,46	74,89	12,48	45,22	15,81	4,20	66,48	11,08	45,36	15,87	4,22	66,98	11,16	44,22

10:00	17,55	4,67	81,92	13,65	47,34	16,98	4,52	76,68	12,78	47,47	17,20	4,57	78,68	13,11	46,38
10:10	18,65	4,96	92,51	15,42	46,58	18,11	4,82	87,23	14,54	47,49	18,37	4,89	89,75	14,96	45,57
10:20	19,76	5,26	103,85	17,31	50,09	19,23	5,11	98,35	16,39	50,29	19,50	5,19	101,13	16,86	48,89
10:30	20,77	5,52	114,73	19,12	51,40	20,23	5,38	108,84	18,14	51,92	20,50	5,45	111,77	18,63	49,06
10:40	21,94	5,84	128,02	21,34	54,91	21,39	5,69	121,68	20,28	54,55	21,62	5,75	124,32	20,72	51,54
10:50	22,79	6,06	138,13	23,02	56,30	22,22	5,91	131,31	21,89	56,68	22,47	5,98	134,28	22,38	53,53
11:00	23,62	6,28	148,38	24,73	54,82	23,00	6,12	140,69	23,45	56,26	23,31	6,20	144,51	24,08	53,15
11:10	24,45	6,50	158,99	26,50	54,62	23,74	6,31	149,89	24,98	56,86	24,11	6,41	154,60	25,77	53,72
11:20	25,17	6,69	168,49	28,08	58,25	24,30	6,46	157,05	26,17	59,23	24,69	6,57	162,13	27,02	55,93
11:30	25,52	6,79	173,21	28,87	58,49	24,67	6,56	161,86	26,98	60,49	25,13	6,68	167,96	27,99	57,12
11:40	26,45	7,03	186,06	31,01	55,89	25,11	6,68	167,69	27,95	59,58	26,19	6,97	182,48	30,41	56,23
11:50	26,59	7,07	188,07	31,35	58,84	25,28	6,72	169,97	28,33	61,54	26,33	7,00	184,33	30,72	58,10
12:00	26,72	7,11	189,81	31,64	61,91	25,45	6,77	172,26	28,71	63,96	26,46	7,04	186,20	31,03	60,41
12:10	26,93	7,16	192,87	32,15	58,83	25,79	6,86	176,89	29,48	62,72	26,81	7,13	191,12	31,85	59,23
12:20	26,88	7,15	192,14	32,02	62,69	25,67	6,83	175,25	29,21	65,10	27,23	7,24	197,18	32,86	61,49
12:30	27,65	7,35	203,26	33,88	59,86	26,04	6,93	180,34	30,06	64,39	27,66	7,36	203,42	33,90	60,78
12:40	27,87	7,41	206,65	34,44	59,24	26,24	6,98	183,12	30,52	62,92	27,92	7,42	207,27	34,54	59,47
12:50	27,77	7,39	205,11	34,18	62,29	26,18	6,96	182,29	30,38	65,51	27,86	7,41	206,50	34,42	61,90
13:00	26,96	7,17	193,27	32,21	61,14	25,38	6,75	171,32	28,55	64,39	26,93	7,16	192,82	32,14	60,86
13:10	28,06	7,46	209,44	34,91	63,88	26,56	7,06	187,62	31,27	67,41	28,14	7,48	210,53	35,09	63,71
13:20	27,80	7,39	205,57	34,26	66,45	26,28	6,99	183,68	30,61	69,14	27,96	7,44	207,89	34,65	65,31
13:30	12,89	3,43	44,17	7,36	59,36	11,95	3,18	37,98	6,33	60,91	12,69	3,38	42,85	7,14	57,42
13:40	27,36	7,28	199,07	33,18	64,00	26,29	6,99	183,82	30,64	64,66	27,42	7,29	199,97	33,33	61,01
13:50	28,33	7,53	213,45	35,58	55,23	27,28	7,26	197,93	32,99	56,78	28,33	7,53	213,45	35,58	53,57
14:00	11,45	3,05	34,87	5,81	47,51	10,81	2,88	31,08	5,18	50,01	11,33	3,01	34,14	5,69	47,01
14:10	27,98	7,44	208,20	34,70	66,47	26,46	7,04	186,21	31,03	69,15	28,19	7,50	211,31	35,22	65,32
14:20	27,96	7,44	207,89	34,65	67,68	26,42	7,03	185,64	30,94	71,00	28,14	7,48	210,53	35,09	67,03
14:30	27,13	7,22	195,81	32,64	56,17	26,21	6,97	182,70	30,45	59,44	27,35	7,27	198,92	33,15	56,07
14:40	27,49	7,31	201,01	33,50	64,82	26,49	7,05	186,63	31,10	67,56	27,70	7,37	204,01	34,00	63,77
14:50	27,86	7,41	206,50	34,42	65,26	26,29	6,99	183,82	30,64	67,32	28,13	7,48	210,38	35,06	63,59
15:00	28,03	7,46	208,98	34,83	66,13	26,51	7,05	186,91	31,15	67,68	28,20	7,50	211,47	35,25	63,93
15:10	25,27	6,72	169,89	28,31	62,24	24,40	6,49	158,34	26,39	65,79	25,63	6,82	174,73	29,12	62,01
15:20	12,56	3,34	41,96	6,99	48,00	11,67	3,10	36,22	6,04	51,50	12,68	3,37	42,78	7,13	48,46
15:30	6,77	1,80	12,17	2,03	41,53	6,34	1,69	10,69	1,78	44,93	6,82	1,81	12,36	2,06	42,10
15:40	10,63	2,83	30,05	5,01	42,71	9,95	2,65	26,33	4,39	45,27	10,73	2,85	30,63	5,10	42,63
15:50	27,16	7,22	196,26	32,71	58,33	26,09	6,94	181,03	30,17	60,46	27,31	7,26	198,33	33,05	57,10
16:00	26,36	7,01	184,76	30,79	61,93	25,23	6,71	169,30	28,22	64,91	26,47	7,04	186,34	31,06	61,21
16:10	10,28	2,73	28,11	4,68	57,61	9,76	2,60	25,33	4,22	60,65	10,16	2,70	27,45	4,58	57,03
16:20	10,66	2,84	30,22	5,04	45,76	10,22	2,72	27,78	4,63	49,18	10,59	2,82	29,83	4,97	46,27
16:30	24,51	6,52	159,77	26,63	55,79	23,92	6,36	152,17	25,36	58,91	24,67	6,56	161,86	26,98	55,51
16:40	25,68	6,83	175,39	29,23	58,10	25,11	6,68	167,69	27,95	61,72	25,82	6,87	177,31	29,55	58,14
16:50	6,82	1,81	12,37	2,06	40,49	6,55	1,74	11,41	1,90	43,83	6,82	1,81	12,37	2,06	41,08
17:00	8,13	2,16	17,58	2,93	37,45	7,77	2,07	16,06	2,68	39,76	8,10	2,15	17,45	2,91	37,30
17:10	12,65	3,36	42,56	7,09	36,30	12,06	3,21	38,68	6,45	39,61	12,59	3,35	42,16	7,03	37,09

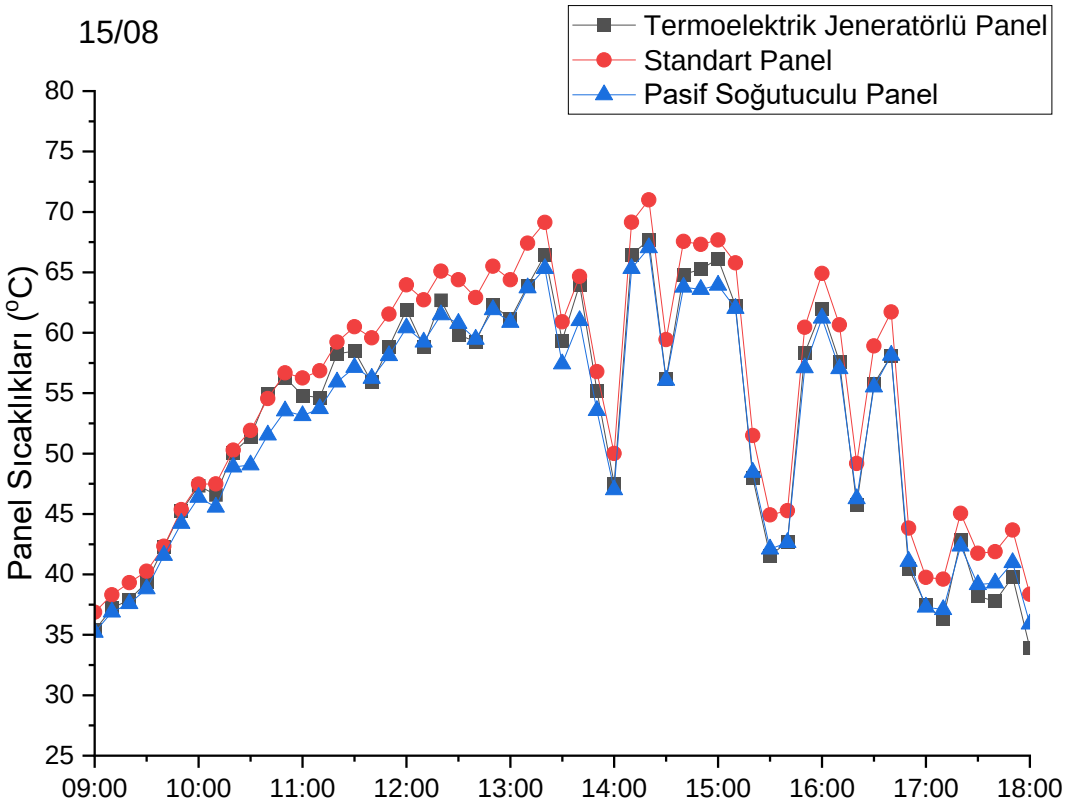
17:20	17,10	4,55	77,77	12,96	42,83	16,56	4,40	72,93	12,16	45,06	17,22	4,58	78,86	13,14	42,34
17:30	6,53	1,74	11,34	1,89	38,19	6,27	1,67	10,46	1,74	41,75	6,62	1,76	11,66	1,94	39,16
17:40	8,00	2,13	17,02	2,84	37,77	7,68	2,04	15,69	2,61	41,88	8,16	2,17	17,71	2,95	39,28
17:50	10,35	2,75	28,49	4,75	39,80	9,89	2,63	26,01	4,34	43,67	10,39	2,76	28,71	4,79	40,98
18:00	5,71	1,52	8,67	1,45	33,92	5,55	1,48	8,19	1,37	38,36	5,77	1,53	8,85	1,48	35,89

Seçilen 15 Ağustos gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.20'de görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde Standart PV panele göre pasif soğutucu uygulanmış PV panellerden daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.20. 15 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Seçilen 15 Ağustos gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.21'de görülmektedir. Benzer şekilde bugün de standart PV panelin yüzey sıcaklığı pasif soğutma uygulanmış PV panellere göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 8.21. 15 Ağustos Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

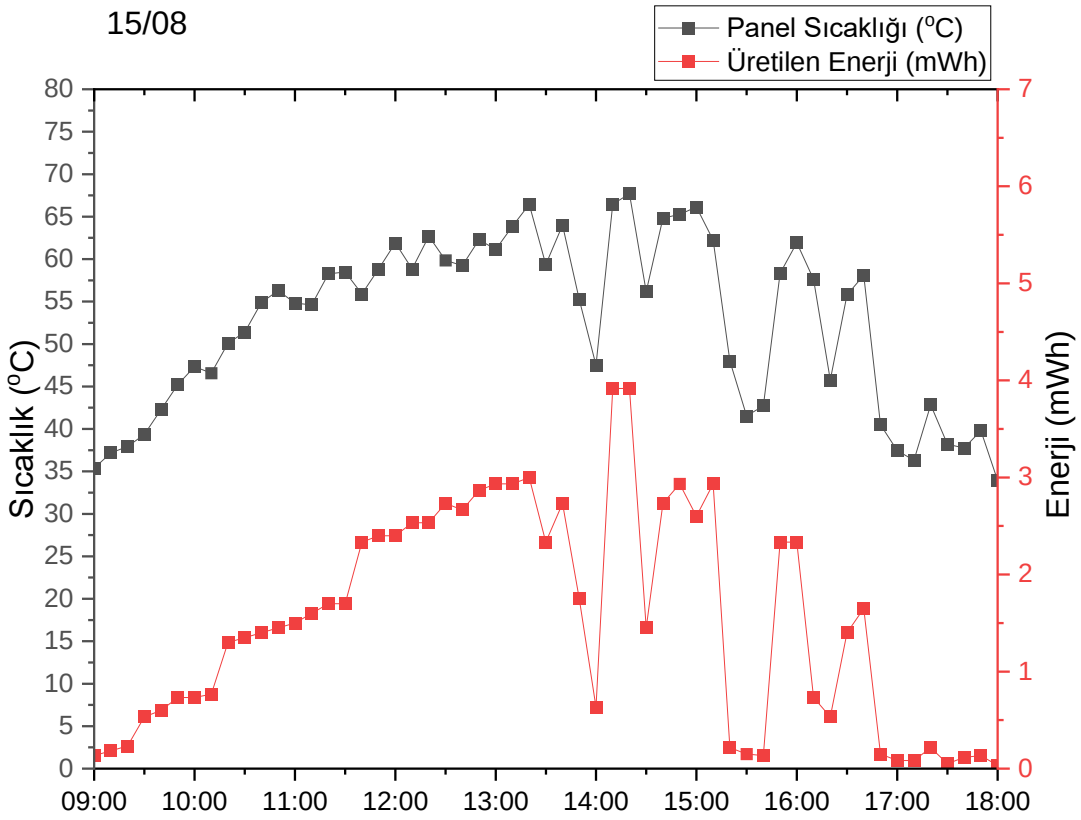
Seçilen 15 Ağustos gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.16'da görülmektedir.

Çizelge 8.16. 15 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	80,00	10,00	0,80	0,13
09:10	110,00	10,00	1,10	0,18
09:20	140,00	10,00	1,40	0,23
09:30	160,00	20,00	3,20	0,53
09:40	180,00	20,00	3,60	0,60
09:50	220,00	20,00	4,40	0,73
10:00	220,00	20,00	4,40	0,73
10:10	230,00	20,00	4,60	0,77
10:20	260,00	30,00	7,80	1,30
10:30	270,00	30,00	8,10	1,35
10:40	280,00	30,00	8,40	1,40
10:50	290,00	30,00	8,70	1,45
11:00	300,00	30,00	9,00	1,50
11:10	320,00	30,00	9,60	1,60
11:20	340,00	30,00	10,20	1,70
11:30	340,00	30,00	10,20	1,70
11:40	350,00	40,00	14,00	2,33
11:50	360,00	40,00	14,40	2,40
12:00	360,00	40,00	14,40	2,40
12:10	380,00	40,00	15,20	2,53
12:20	380,00	40,00	15,20	2,53
12:30	410,00	40,00	16,40	2,73
12:40	400,00	40,00	16,00	2,67
12:50	430,00	40,00	17,20	2,87
13:00	440,00	40,00	17,60	2,93
13:10	440,00	40,00	17,60	2,93

13:20	450,00	40,00	18,00	3,00
13:30	350,00	40,00	14,00	2,33
13:40	410,00	40,00	16,40	2,73
13:50	350,00	30,00	10,50	1,75
14:00	190,00	20,00	3,80	0,63
14:10	470,00	50,00	23,50	3,92
14:20	470,00	50,00	23,50	3,92
14:30	290,00	30,00	8,70	1,45
14:40	410,00	40,00	16,40	2,73
14:50	440,00	40,00	17,60	2,93
15:00	390,00	40,00	15,60	2,60
15:10	440,00	40,00	17,60	2,93
15:20	130,00	10,00	1,30	0,22
15:30	90,00	10,00	0,90	0,15
15:40	80,00	10,00	0,80	0,13
15:50	350,00	40,00	14,00	2,33
16:00	350,00	40,00	14,00	2,33
16:10	220,00	20,00	4,40	0,73
16:20	160,00	20,00	3,20	0,53
16:30	280,00	30,00	8,40	1,40
16:40	330,00	30,00	9,90	1,65
16:50	90,00	10,00	0,90	0,15
17:00	50,00	10,00	0,50	0,08
17:10	50,00	10,00	0,50	0,08
17:20	130,00	10,00	1,30	0,22
17:30	30,00	10,00	0,30	0,05
17:40	70,00	10,00	0,70	0,12
17:50	80,00	10,00	0,80	0,13
18:00	20,00	10,00	0,20	0,03

Seçilen 15 Ağustos gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.22’de görülmektedir.



Şekil 8.22. 15 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 25 Ağustos gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.17'de görülmektedir.

Çizelge 8.17. 25 Ağustos Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	23,60	72	0,4	1.005,40	273
09:10	24,10	70	0,4	1.005,50	295
09:20	24,40	69	0,4	1.005,50	331
09:30	24,80	67	0,4	1.005,60	417
09:40	25,00	66	0,9	1.005,60	491

09:50	25,70	62	0,9	1.005,80	521
10:00	25,80	62	0,9	1.005,80	552
10:10	26,20	60	0,9	1.005,70	581
10:20	26,50	59	0,9	1.005,70	610
10:30	27,20	55	1,3	1.005,50	638
10:40	27,40	51	0,9	1.005,40	662
10:50	27,40	53	0,9	1.005,40	685
11:00	27,50	53	0,9	1.005,40	707
11:10	28,10	50	0,9	1.005,40	727
11:20	28,20	48	0,9	1.005,40	751
11:30	28,10	50	1,3	1.005,50	770
11:40	28,20	47	1,8	1.005,30	787
11:50	28,30	49	1,8	1.005,10	799
12:00	29,30	46	1,3	1.005,00	815
12:10	29,90	45	1,3	1.005,00	826
12:20	29,70	45	1,8	1.005,00	844
12:30	29,70	44	1,3	1.004,90	853
12:40	29,80	43	1,8	1.004,80	858
12:50	30,30	42	1,3	1.004,40	866
13:00	30,50	41	1,8	1.004,40	870
13:10	30,40	41	1,8	1.004,20	873
13:20	30,80	39	1,3	1.004,20	873
13:30	31,20	40	1,8	1.004,20	873
13:40	31,20	39	1,3	1.004,10	870
13:50	31,20	38	1,8	1.003,90	864
14:00	31,70	37	1,3	1.003,80	860
14:10	31,70	37	1,8	1.003,80	858
14:20	31,80	36	1,3	1.003,60	853
14:30	32,40	35	1,8	1.003,40	844
14:40	32,60	35	1,8	1.003,20	831
14:50	33,10	34	1,8	1.003,10	817
15:00	33,40	34	1,3	1.003,10	802
15:10	33,60	34	1,8	1.003,00	789
15:20	33,70	33	1,8	1.002,90	768
15:30	33,40	34	1,3	1.003,00	750

15:40	33,30	35	1,3	1.003,00	730
15:50	34,20	33	1,3	1.003,10	707
16:00	34,10	33	1,3	1.003,00	682
16:10	33,80	32	1,3	1.002,90	658
16:20	34,10	31	0,9	1.002,90	631
16:30	34,30	32	0,9	1.003,00	598
16:40	34,30	32	1,3	1.002,80	576
16:50	34,50	32	1,3	1.002,80	548
17:00	34,80	31	1,8	1.002,70	516
17:10	34,90	31	1,8	1.002,60	483
17:20	34,70	32	1,8	1.002,60	454
17:30	34,60	31	1,8	1.002,50	426
17:40	34,70	31	1,3	1.002,40	395
17:50	34,40	32	1,3	1.002,30	357
18:00	34,10	35	1,3	1.002,40	323

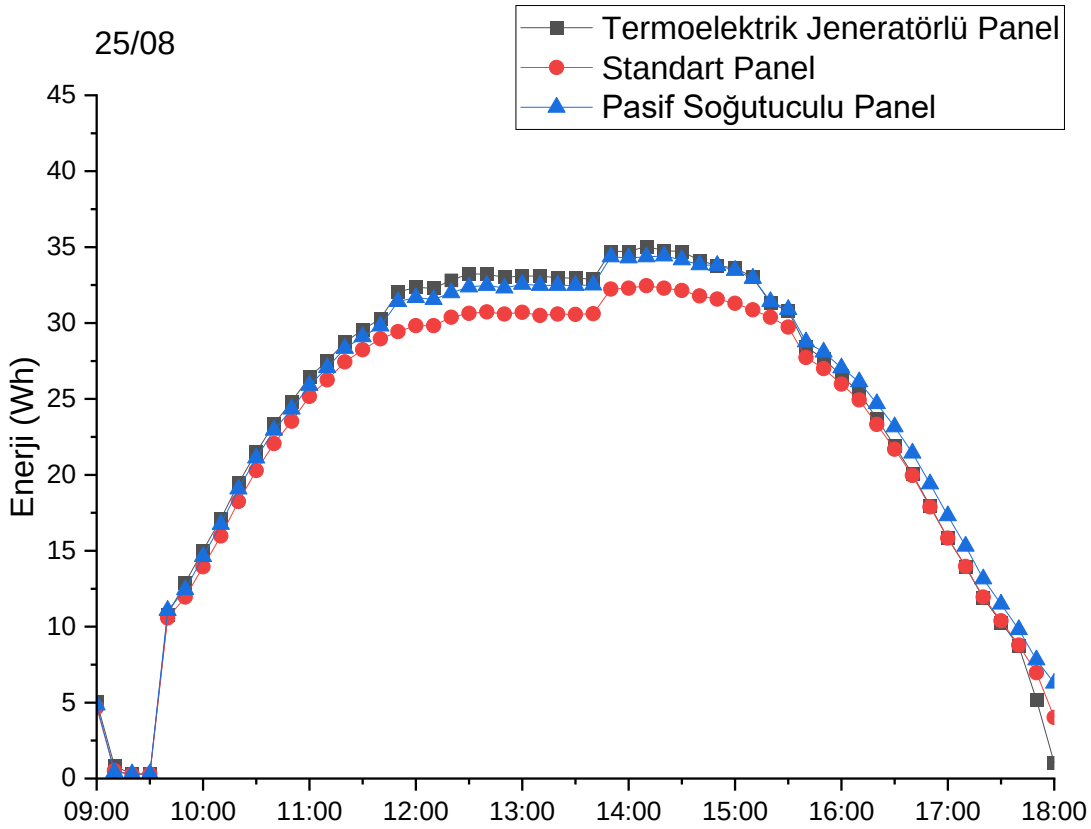
Seçilen 25 Ağustos günü için PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.18'de görülmektedir.

Çizelge 8.18. 25 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	10,69	2,84	30,39	5,07	37,92	10,26	2,73	28,00	4,67	37,47	10,46	2,78	29,10	4,85	36,74
09:10	4,33	1,15	4,99	0,83	39,02	3,43	0,91	3,13	0,52	39,04	3,05	0,81	2,47	0,41	38,06
09:20	2,51	0,67	1,68	0,28	40,79	2,46	0,65	1,61	0,27	40,76	2,59	0,69	1,78	0,30	38,64
09:30	2,63	0,70	1,84	0,31	34,34	2,54	0,68	1,72	0,29	34,18	2,60	0,69	1,80	0,30	34,37
09:40	15,61	4,15	64,81	10,80	32,80	15,44	4,11	63,40	10,57	32,47	15,80	4,20	66,39	11,07	38,19
09:50	17,06	4,54	77,41	12,90	42,34	16,42	4,37	71,71	11,95	41,32	16,75	4,45	74,62	12,44	43,41
10:00	18,41	4,90	90,14	15,02	46,97	17,74	4,72	83,70	13,95	46,70	18,16	4,83	87,71	14,62	45,90
10:10	19,64	5,22	102,59	17,10	50,10	18,98	5,05	95,81	15,97	50,50	19,43	5,17	100,41	16,73	48,11
10:20	20,94	5,57	116,62	19,44	52,13	20,29	5,40	109,49	18,25	52,59	20,74	5,52	114,40	19,07	50,12
10:30	22,02	5,86	128,96	21,49	53,55	21,39	5,69	121,68	20,28	54,51	21,82	5,80	126,63	21,10	51,94
10:40	22,95	6,10	140,08	23,35	54,57	22,31	5,93	132,38	22,06	55,64	22,75	6,05	137,65	22,94	53,21
10:50	23,67	6,30	149,01	24,83	56,92	23,04	6,13	141,18	23,53	58,03	23,43	6,23	146,00	24,33	55,47
11:00	24,43	6,50	158,73	26,46	57,55	23,83	6,34	151,03	25,17	58,67	24,17	6,43	155,37	25,89	55,97

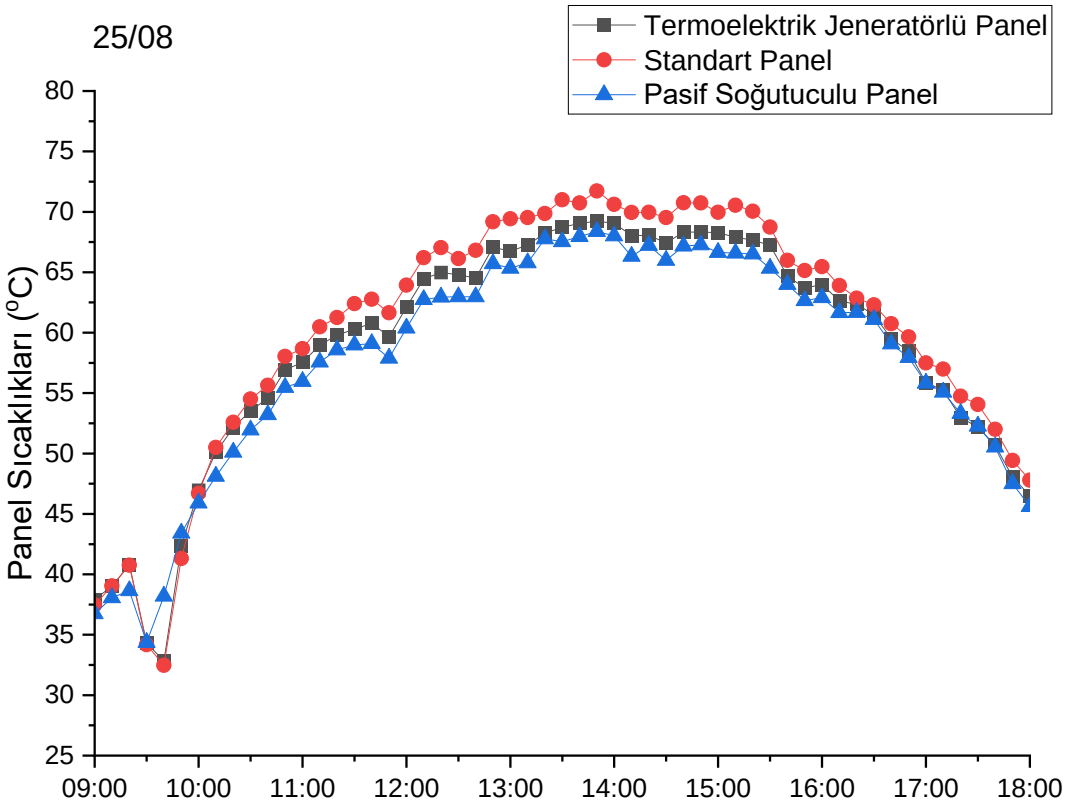
11:10	24,91	6,63	165,03	27,50	58,96	24,34	6,47	157,56	26,26	60,48	24,71	6,57	162,39	27,06	57,56
11:20	25,46	6,77	172,40	28,73	59,81	24,88	6,62	164,63	27,44	61,26	25,28	6,72	169,97	28,33	58,57
11:30	25,82	6,87	177,31	29,55	60,28	25,24	6,71	169,43	28,24	62,41	25,62	6,81	174,57	29,10	58,99
11:40	26,14	6,95	181,73	30,29	60,79	25,56	6,80	173,75	28,96	62,77	25,93	6,90	178,82	29,80	59,09
11:50	26,89	7,15	192,24	32,04	59,65	25,77	6,85	176,62	29,44	61,65	26,62	7,08	188,47	31,41	57,89
12:00	27,02	7,19	194,14	32,36	62,12	25,94	6,90	178,96	29,83	63,94	26,73	7,11	190,06	31,68	60,38
12:10	26,99	7,18	193,70	32,28	64,44	25,94	6,90	178,96	29,83	66,20	26,68	7,10	189,34	31,56	62,74
12:20	27,21	7,24	196,93	32,82	64,99	26,18	6,96	182,29	30,38	67,04	26,87	7,14	191,95	31,99	62,94
12:30	27,38	7,28	199,44	33,24	64,79	26,29	6,99	183,82	30,64	66,13	27,03	7,19	194,28	32,38	62,97
12:40	27,37	7,28	199,29	33,22	64,52	26,33	7,00	184,38	30,73	66,82	27,07	7,20	194,87	32,48	62,97
12:50	27,29	7,26	198,11	33,02	67,07	26,27	6,99	183,54	30,59	69,18	27,00	7,18	193,85	32,31	65,71
13:00	27,32	7,27	198,55	33,09	66,74	26,32	7,00	184,24	30,71	69,42	27,10	7,21	195,31	32,55	65,33
13:10	27,32	7,27	198,55	33,09	67,26	26,23	6,98	182,98	30,50	69,52	27,07	7,20	194,87	32,48	65,79
13:20	27,28	7,26	197,96	32,99	68,23	26,27	6,99	183,54	30,59	69,86	27,07	7,20	194,87	32,48	67,77
13:30	27,26	7,25	197,66	32,94	68,73	26,26	6,98	183,40	30,57	71,00	27,07	7,20	194,87	32,48	67,53
13:40	27,24	7,25	197,37	32,89	69,04	26,28	6,99	183,68	30,61	70,73	27,08	7,20	195,02	32,50	67,96
13:50	27,98	7,44	208,28	34,71	69,22	26,97	7,17	193,45	32,24	71,73	27,84	7,40	206,17	34,36	68,38
14:00	27,98	7,44	208,28	34,71	69,06	26,99	7,18	193,74	32,29	70,62	27,81	7,40	205,72	34,29	68,02
14:10	28,12	7,48	210,26	35,04	68,04	27,06	7,20	194,75	32,46	69,95	27,84	7,40	206,17	34,36	66,33
14:20	28,01	7,45	208,59	34,76	68,05	26,99	7,18	193,74	32,29	69,97	27,86	7,41	206,47	34,41	67,22
14:30	27,98	7,44	208,28	34,71	67,43	26,93	7,16	192,88	32,15	69,52	27,76	7,38	204,96	34,16	65,99
14:40	27,74	7,38	204,66	34,11	68,32	26,78	7,12	190,74	31,79	70,75	27,63	7,35	203,01	33,84	67,16
14:50	27,61	7,34	202,72	33,79	68,33	26,69	7,10	189,46	31,58	70,74	27,61	7,34	202,72	33,79	67,28
15:00	27,54	7,32	201,67	33,61	68,28	26,57	7,07	187,76	31,29	69,96	27,48	7,31	200,78	33,46	66,65
15:10	27,30	7,26	198,26	33,04	67,90	26,39	7,02	185,22	30,87	70,54	27,26	7,25	197,66	32,94	66,59
15:20	26,57	7,07	187,76	31,29	67,66	26,18	6,96	182,29	30,38	70,05	26,62	7,08	188,46	31,41	66,52
15:30	26,36	7,01	184,80	30,80	67,22	25,90	6,89	178,41	29,73	68,74	26,40	7,02	185,36	30,89	65,33
15:40	25,33	6,74	170,64	28,44	64,69	25,01	6,65	166,36	27,73	65,99	25,47	6,77	172,53	28,76	63,99
15:50	24,97	6,64	165,82	27,64	63,68	24,68	6,56	162,00	27,00	65,15	25,17	6,69	168,49	28,08	62,66
16:00	24,47	6,51	159,25	26,54	63,99	24,21	6,44	155,88	25,98	65,47	24,70	6,57	162,26	27,04	62,90
16:10	23,95	6,37	152,55	25,43	62,62	23,72	6,31	149,64	24,94	63,90	24,28	6,46	156,79	26,13	61,67
16:20	23,12	6,15	142,16	23,69	62,34	22,94	6,10	139,96	23,33	62,85	23,60	6,28	148,13	24,69	61,67
16:30	22,23	5,91	131,43	21,90	61,48	22,12	5,88	130,13	21,69	62,30	22,86	6,08	138,98	23,16	61,09
16:40	21,27	5,66	120,32	20,05	59,50	21,22	5,64	119,76	19,96	60,74	21,99	5,85	128,61	21,43	59,07
16:50	20,13	5,35	107,77	17,96	58,47	20,09	5,34	107,34	17,89	59,65	20,92	5,56	116,40	19,40	57,95
17:00	18,90	5,03	95,00	15,83	55,85	18,90	5,03	95,00	15,83	57,50	19,76	5,26	103,85	17,31	55,83
17:10	17,74	4,72	83,70	13,95	55,26	17,75	4,72	83,79	13,97	56,99	18,58	4,94	91,81	15,30	55,07
17:20	16,38	4,36	71,36	11,89	52,98	16,42	4,37	71,71	11,95	54,75	17,22	4,58	78,86	13,14	53,31
17:30	15,23	4,05	61,69	10,28	52,16	15,31	4,07	62,34	10,39	54,06	16,10	4,28	68,94	11,49	52,26
17:40	14,01	3,73	52,20	8,70	50,69	14,08	3,74	52,73	8,79	52,01	14,87	3,95	58,81	9,80	50,53
17:50	10,82	2,88	31,14	5,19	48,04	12,54	3,34	41,82	6,97	49,42	13,28	3,53	46,90	7,82	47,51
18:00	4,79	1,27	6,10	1,02	46,52	9,53	2,53	24,15	4,03	47,80	11,91	3,17	37,73	6,29	45,61

Seçilen 25 Ağustos gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.23'te görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde benzer şekilde standart PV panele göre pasif soğutucu uygulanmış PV panellerden daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.23. 25 Ağustos Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Seçilen 25 Ağustos gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.24'te görülmektedir. Benzer şekilde bugün de standart PV panelin yüzey sıcaklığı pasif soğutma uygulanmış PV panellere göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 8.24. 25 Ağustos Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 25 Ağustos gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.19'da görülmektedir.

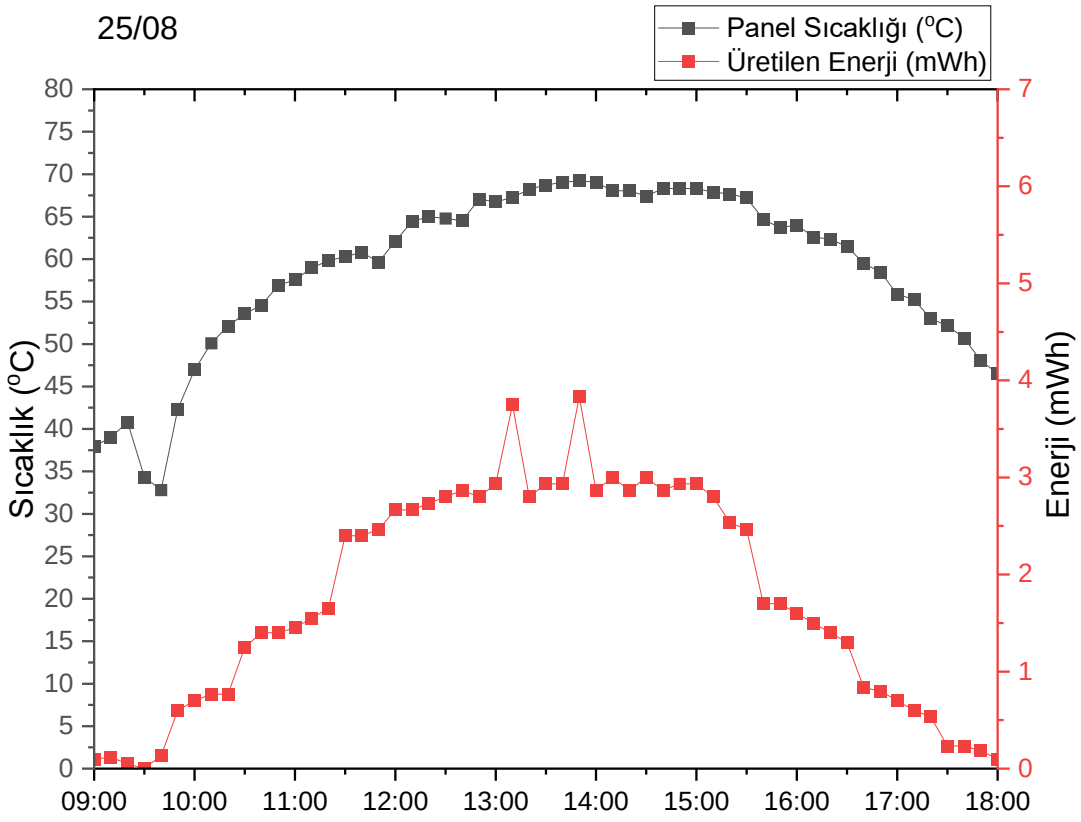
Çizelge 8.19. 25 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	60,00	10,00	0,60	0,10
09:10	70,00	10,00	0,70	0,12
09:20	30,00	10,00	0,30	0,05
09:30	0,00	0,00	0,00	0,00
09:40	80,00	10,00	0,80	0,13

09:50	180,00	20,00	3,60	0,60
10:00	210,00	20,00	4,20	0,70
10:10	230,00	20,00	4,60	0,77
10:20	230,00	20,00	4,60	0,77
10:30	250,00	30,00	7,50	1,25
10:40	280,00	30,00	8,40	1,40
10:50	280,00	30,00	8,40	1,40
11:00	290,00	30,00	8,70	1,45
11:10	310,00	30,00	9,30	1,55
11:20	330,00	30,00	9,90	1,65
11:30	360,00	40,00	14,40	2,40
11:40	360,00	40,00	14,40	2,40
11:50	370,00	40,00	14,80	2,47
12:00	400,00	40,00	16,00	2,67
12:10	400,00	40,00	16,00	2,67
12:20	410,00	40,00	16,40	2,73
12:30	420,00	40,00	16,80	2,80
12:40	430,00	40,00	17,20	2,87
12:50	420,00	40,00	16,80	2,80
13:00	440,00	40,00	17,60	2,93
13:10	450,00	50,00	22,50	3,75
13:20	420,00	40,00	16,80	2,80
13:30	440,00	40,00	17,60	2,93
13:40	440,00	40,00	17,60	2,93
13:50	460,00	50,00	23,00	3,83
14:00	430,00	40,00	17,20	2,87
14:10	450,00	40,00	18,00	3,00
14:20	430,00	40,00	17,20	2,87
14:30	450,00	40,00	18,00	3,00
14:40	430,00	40,00	17,20	2,87
14:50	440,00	40,00	17,60	2,93
15:00	440,00	40,00	17,60	2,93

15:10	420,00	40,00	16,80	2,80
15:20	380,00	40,00	15,20	2,53
15:30	370,00	40,00	14,80	2,47
15:40	340,00	30,00	10,20	1,70
15:50	340,00	30,00	10,20	1,70
16:00	320,00	30,00	9,60	1,60
16:10	300,00	30,00	9,00	1,50
16:20	280,00	30,00	8,40	1,40
16:30	260,00	30,00	7,80	1,30
16:40	250,00	20,00	5,00	0,83
16:50	240,00	20,00	4,80	0,80
17:00	210,00	20,00	4,20	0,70
17:10	180,00	20,00	3,60	0,60
17:20	160,00	20,00	3,20	0,53
17:30	140,00	10,00	1,40	0,23
17:40	140,00	10,00	1,40	0,23
17:50	110,00	10,00	1,10	0,18
18:00	60,00	10,00	0,60	0,10

Seçilen 25 Ağustos gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.25'te görülmektedir.



Şekil 8.25. 25 Ağustos Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 5 Eylül gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.20'de görülmektedir.

Çizelge 8.20. 5 Eylül günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	19,70	68	1,3	1.012,40	271
09:10	21,00	60	0,9	1.012,40	344
09:20	22,10	55	1,3	1.012,50	412
09:30	22,60	54	1,3	1.012,50	444
09:40	23,00	52	1,8	1.012,50	477

09:50	23,20	51	1,8	1.012,40	510
10:00	23,90	50	1,3	1.012,20	541
10:10	24,20	50	1,8	1.012,30	570
10:20	24,70	48	1,3	1.012,00	599
10:30	24,70	48	1,8	1.012,10	626
10:40	25,00	47	1,8	1.012,20	651
10:50	25,10	47	1,8	1.012,10	674
11:00	25,30	47	1,8	1.012,10	697
11:10	25,70	46	1,8	1.012,00	717
11:20	25,80	46	1,8	1.011,90	736
11:30	25,90	45	2,2	1.011,70	757
11:40	25,80	45	2,2	1.011,80	773
11:50	26,30	43	1,3	1.011,70	791
12:00	26,60	43	1,3	1.011,70	805
12:10	27,00	42	1,8	1.011,40	819
12:20	26,70	43	1,8	1.011,40	827
12:30	27,10	41	2,2	1.011,20	840
12:40	27,30	41	1,3	1.011,20	847
12:50	27,60	39	1,3	1.011,20	861
13:00	28,10	38	1,8	1.011,10	860
13:10	28,20	37	2,2	1.011,10	890
13:20	28,40	37	2,2	1.011,00	886
13:30	29,20	36	1,3	1.011,00	892
13:40	29,00	36	1,8	1.010,90	882
13:50	29,10	35	1,8	1.010,70	896
14:00	29,20	36	1,3	1.010,70	783
14:10	29,30	35	1,8	1.010,60	891
14:20	29,60	34	1,3	1.010,50	815
14:30	29,70	33	1,3	1.010,30	780
14:40	29,80	32	2,2	1.010,10	820
14:50	29,90	32	1,8	1.010,00	797
15:00	30,30	31	2,2	1.009,90	780

15:10	30,40	31	2,2	1.009,90	765
15:20	30,30	29	2,2	1.009,70	736
15:30	30,80	30	2,2	1.009,60	720
15:40	31,00	30	1,3	1.009,30	703
15:50	31,10	29	1,8	1.009,20	681
16:00	31,20	28	1,8	1.009,20	653
16:10	30,90	28	1,8	1.009,10	636
16:20	31,40	28	1,3	1.009,00	597
16:30	31,40	27	1,3	1.009,00	576
16:40	31,30	27	1,3	1.008,90	547
16:50	31,40	27	1,8	1.008,90	520
17:00	31,40	27	1,3	1.008,90	488
17:10	31,30	26	1,3	1.009,00	458
17:20	31,30	27	1,8	1.008,80	423
17:30	31,40	26	1,8	1.008,70	390
17:40	31,40	26	1,3	1.008,50	358
17:50	31,20	26	1,3	1.008,50	323
18:00	31,10	26	1,8	1.008,50	289

Seçilen 5 Eylül günü için PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.21'de görülmektedir.

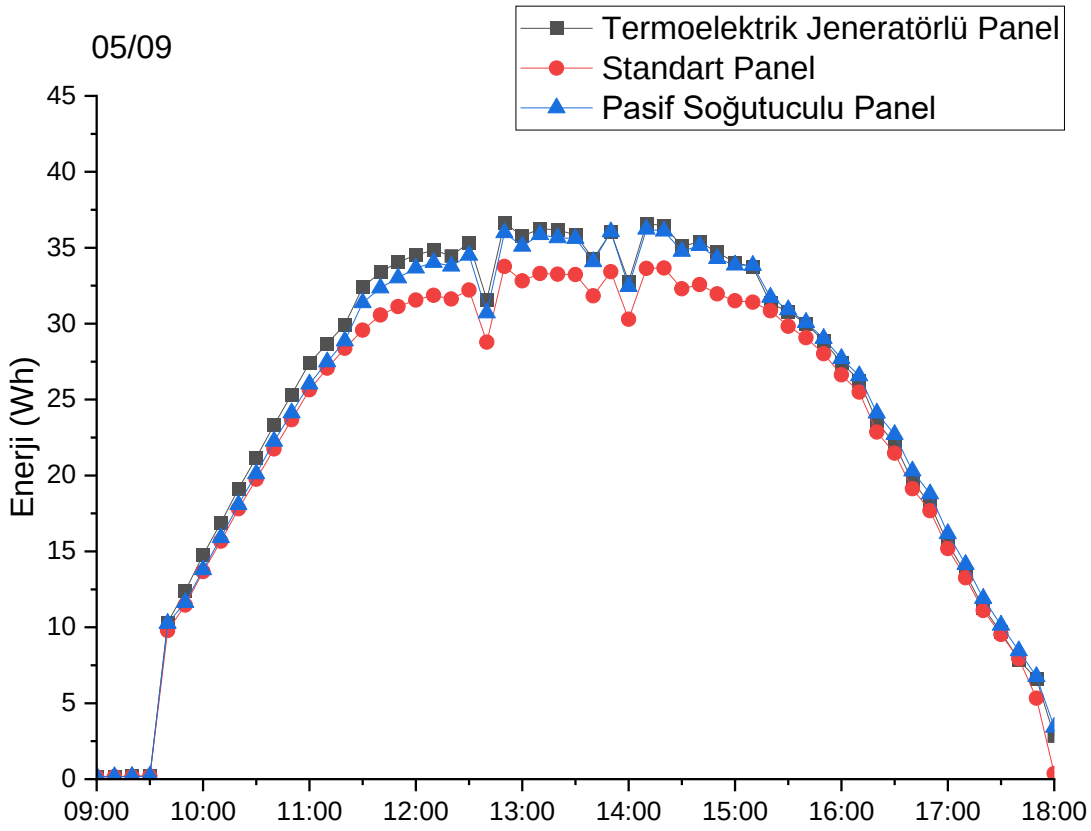
Çizelge 8.21. 5 Eylül Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	1,90	0,51	0,96	0,16	29,69	1,85	0,49	0,91	0,15	30,68	1,88	0,50	0,94	0,16	28,07
09:10	1,95	0,52	1,01	0,17	25,71	1,91	0,51	0,97	0,16	26,10	1,93	0,51	0,99	0,17	24,74
09:20	2,12	0,56	1,20	0,20	25,09	1,97	0,52	1,03	0,17	25,87	2,01	0,53	1,07	0,18	24,28
09:30	2,10	0,56	1,17	0,20	25,14	2,08	0,55	1,15	0,19	26,23	2,12	0,56	1,20	0,20	24,90
09:40	15,26	4,06	61,93	10,32	26,31	14,86	3,95	58,73	9,79	28,06	15,21	4,05	61,53	10,25	29,10
09:50	16,73	4,45	74,44	12,41	33,71	16,08	4,28	68,77	11,46	34,89	16,20	4,31	69,80	11,63	33,78
10:00	18,25	4,85	88,58	14,76	38,77	17,56	4,67	82,01	13,67	40,01	17,64	4,69	82,76	13,79	38,42

10:10	19,51	5,19	101,23	16,87	38,57	18,80	5,00	94,00	15,67	40,50	18,94	5,04	95,41	15,90	38,26
10:20	20,77	5,52	114,73	19,12	42,64	20,04	5,33	106,81	17,80	44,05	20,20	5,37	108,52	18,09	42,08
10:30	21,86	5,81	127,09	21,18	43,63	21,11	5,61	118,52	19,75	45,43	21,30	5,66	120,66	20,11	42,87
10:40	22,94	6,10	139,96	23,33	43,99	22,15	5,89	130,48	21,75	46,05	22,41	5,96	133,57	22,26	43,00
10:50	23,91	6,36	152,04	25,34	44,68	23,11	6,15	142,04	23,67	47,00	23,33	6,20	144,76	24,13	43,99
11:00	24,87	6,61	164,50	27,42	46,43	24,05	6,40	153,83	25,64	48,89	24,23	6,44	156,14	26,02	45,75
11:10	25,44	6,77	172,13	28,69	47,11	24,71	6,57	162,39	27,06	49,71	24,90	6,62	164,90	27,48	46,86
11:20	25,99	6,91	179,65	29,94	48,96	25,30	6,73	170,24	28,37	51,29	25,52	6,79	173,21	28,87	48,52
11:30	27,04	7,19	194,40	32,40	49,01	25,83	6,87	177,44	29,57	51,60	26,61	7,08	188,28	31,38	48,05
11:40	27,44	7,30	200,32	33,39	48,71	26,26	6,98	183,40	30,57	51,72	27,02	7,19	194,11	32,35	48,44
11:50	27,72	7,37	204,36	34,06	52,21	26,50	7,05	186,77	31,13	54,48	27,29	7,26	198,09	33,01	51,45
12:00	27,90	7,42	207,08	34,51	52,20	26,68	7,10	189,31	31,55	54,44	27,56	7,33	201,96	33,66	52,49
12:10	28,04	7,46	209,06	34,84	53,19	26,81	7,13	191,16	31,86	55,91	27,71	7,37	204,21	34,04	53,13
12:20	27,88	7,42	206,78	34,46	57,38	26,71	7,10	189,74	31,62	60,56	27,61	7,34	202,71	33,79	57,10
12:30	28,23	7,51	211,96	35,33	54,91	26,96	7,17	193,31	32,22	58,06	27,90	7,42	207,08	34,51	54,04
12:40	26,69	7,10	189,44	31,57	55,08	25,48	6,78	172,67	28,78	57,09	26,32	7,00	184,26	30,71	55,13
12:50	28,75	7,65	219,85	36,64	53,33	27,60	7,34	202,60	33,77	55,26	28,50	7,58	215,96	35,99	53,15
13:00	28,40	7,55	214,57	35,76	57,73	27,21	7,24	196,91	32,82	60,40	28,14	7,48	210,58	35,10	57,17
13:10	28,60	7,61	217,52	36,25	59,27	27,41	7,29	199,82	33,30	62,36	28,45	7,57	215,19	35,87	59,81
13:20	28,57	7,60	217,05	36,17	54,89	27,39	7,28	199,52	33,25	57,93	28,36	7,54	213,96	35,66	54,71
13:30	28,43	7,56	215,04	35,84	56,32	27,38	7,28	199,38	33,23	58,92	28,34	7,54	213,65	35,61	57,80
13:40	27,80	7,39	205,57	34,26	51,08	26,80	7,13	191,02	31,84	53,31	27,73	7,38	204,51	34,09	50,98
13:50	28,51	7,58	216,12	36,02	56,65	27,46	7,30	200,55	33,42	60,15	28,52	7,58	216,27	36,05	58,51
14:00	27,19	7,23	196,61	32,77	51,05	26,14	6,95	181,73	30,29	52,79	27,06	7,20	194,70	32,45	51,00
14:10	28,73	7,64	219,54	36,59	57,01	27,55	7,33	201,86	33,64	59,74	28,59	7,60	217,36	36,23	57,11
14:20	28,68	7,63	218,76	36,46	56,62	27,56	7,33	202,01	33,67	58,59	28,54	7,59	216,58	36,10	56,75
14:30	28,14	7,48	210,58	35,10	55,87	26,99	7,18	193,74	32,29	57,94	28,01	7,45	208,60	34,77	56,50
14:40	28,25	7,51	212,27	35,38	52,99	27,11	7,21	195,47	32,58	56,08	28,16	7,49	210,89	35,15	53,73
14:50	27,98	7,44	208,14	34,69	55,77	26,85	7,14	191,73	31,96	58,28	27,81	7,40	205,72	34,29	55,35
15:00	27,71	7,37	204,21	34,04	52,09	26,66	7,09	189,03	31,51	54,92	27,64	7,35	203,16	33,86	52,77
15:10	27,59	7,34	202,41	33,74	49,40	26,62	7,08	188,46	31,41	52,34	27,63	7,35	203,01	33,84	50,96
15:20	26,60	7,07	188,18	31,36	51,20	26,38	7,02	185,08	30,85	54,28	26,76	7,12	190,45	31,74	53,69
15:30	26,35	7,01	184,66	30,78	48,69	25,94	6,90	178,96	29,83	52,14	26,41	7,02	185,50	30,92	50,75
15:40	26,02	6,92	180,06	30,01	51,26	25,61	6,81	174,43	29,07	53,45	26,05	6,93	180,48	30,08	52,45
15:50	25,51	6,78	173,07	28,85	51,18	25,14	6,69	168,09	28,02	53,63	25,59	6,81	174,16	29,03	52,74
16:00	24,88	6,62	164,63	27,44	51,32	24,51	6,52	159,77	26,63	53,85	25,00	6,65	166,22	27,70	53,19
16:10	24,34	6,47	157,56	26,26	51,38	23,98	6,38	152,94	25,49	53,40	24,48	6,51	159,38	26,56	50,86
16:20	23,06	6,13	141,43	23,57	49,05	22,71	6,04	137,17	22,86	51,00	23,32	6,20	144,63	24,11	50,40
16:30	22,31	5,93	132,38	22,06	48,31	22,01	5,85	128,84	21,47	50,34	22,63	6,02	136,20	22,70	49,86
16:40	21,05	5,60	117,85	19,64	46,44	20,77	5,52	114,73	19,12	48,05	21,40	5,69	121,80	20,30	47,04
16:50	20,21	5,38	108,63	18,10	46,81	19,97	5,31	106,06	17,68	49,11	20,59	5,48	112,75	18,79	48,11
17:00	18,71	4,98	93,10	15,52	45,77	18,51	4,92	91,12	15,19	47,47	19,10	5,08	97,02	16,17	46,62
17:10	17,47	4,65	81,17	13,53	45,84	17,30	4,60	79,60	13,27	47,37	17,86	4,75	84,84	14,14	46,19
17:20	15,96	4,24	67,75	11,29	42,54	15,83	4,21	66,65	11,11	44,61	16,39	4,36	71,44	11,91	42,99

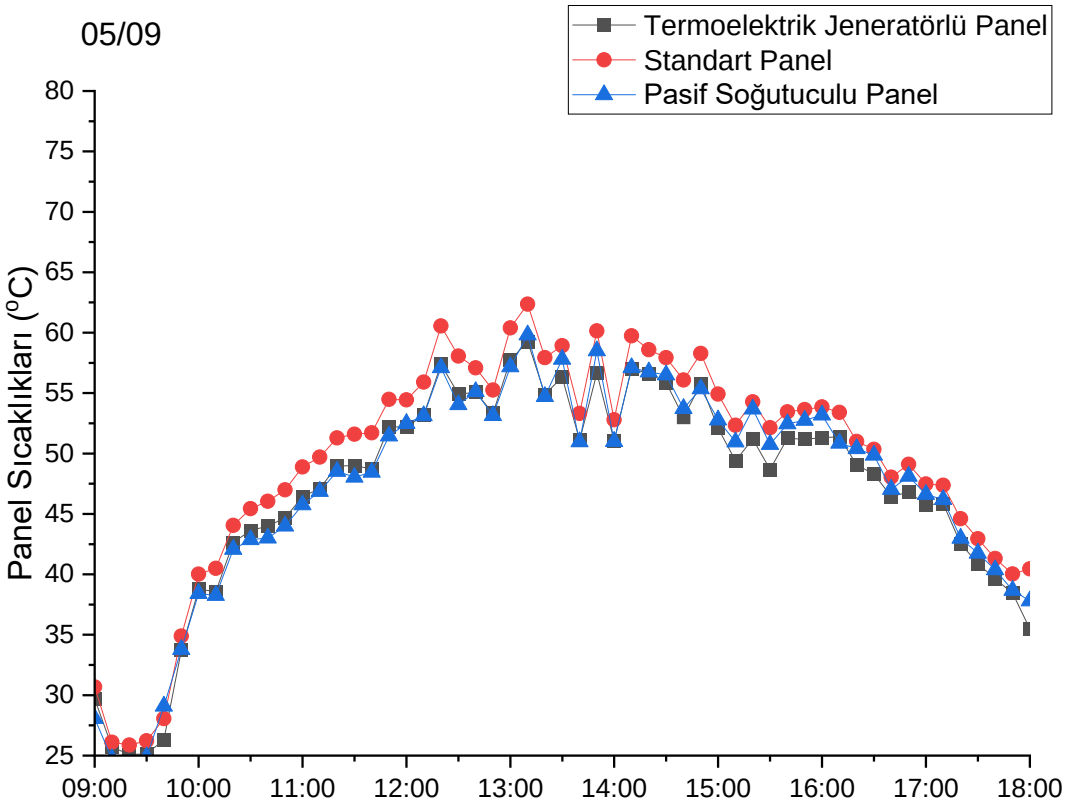
17:30	14,78	3,93	58,10	9,68	40,89	14,66	3,90	57,16	9,53	42,95	15,13	4,02	60,88	10,15	41,75
17:40	13,31	3,54	47,12	7,85	39,62	13,37	3,56	47,54	7,92	41,32	13,81	3,67	50,72	8,45	40,39
17:50	12,21	3,25	39,65	6,61	38,45	10,97	2,92	32,01	5,33	40,03	12,35	3,28	40,56	6,76	38,68
18:00	8,00	2,13	17,02	2,84	35,49	2,89	0,77	2,22	0,37	40,45	8,78	2,34	20,50	3,42	37,80

Seçilen 5 Eylül gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.26'da görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde Standart PV panele göre pasif soğutucu uygulanmış PV panellerden daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.26. 5 Eylül Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Seçilen 5 Eylül gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.27'de görülmektedir. Benzer şekilde bugün de standart PV panelin yüzey sıcaklığı pasif soğutma uygulanmış PV panellere göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 8.27. 5 Eylül Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 5 Eylül gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.22'de görülmektedir.

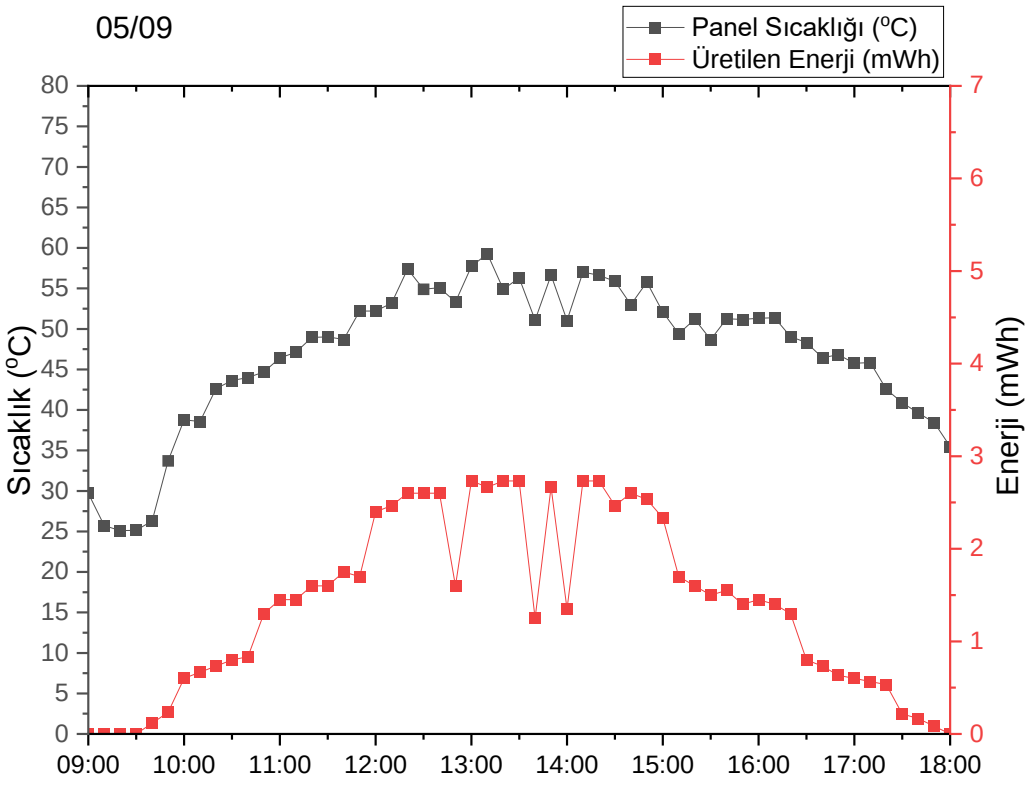
Çizelge 8.22. 5 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	0,00	0,00	0,00	0,00
09:10	0,00	0,00	0,00	0,00
09:20	0,00	0,00	0,00	0,00
09:30	0,00	0,00	0,00	0,00
09:40	70,00	10,00	0,70	0,12
09:50	140,00	10,00	1,40	0,23
10:00	180,00	20,00	3,60	0,60

10:10	200,00	20,00	4,00	0,67
10:20	220,00	20,00	4,40	0,73
10:30	240,00	20,00	4,80	0,80
10:40	250,00	20,00	5,00	0,83
10:50	260,00	30,00	7,80	1,30
11:00	290,00	30,00	8,70	1,45
11:10	290,00	30,00	8,70	1,45
11:20	320,00	30,00	9,60	1,60
11:30	320,00	30,00	9,60	1,60
11:40	350,00	30,00	10,50	1,75
11:50	340,00	30,00	10,20	1,70
12:00	360,00	40,00	14,40	2,40
12:10	370,00	40,00	14,80	2,47
12:20	390,00	40,00	15,60	2,60
12:30	390,00	40,00	15,60	2,60
12:40	390,00	40,00	15,60	2,60
12:50	320,00	30,00	9,60	1,60
13:00	410,00	40,00	16,40	2,73
13:10	400,00	40,00	16,00	2,67
13:20	410,00	40,00	16,40	2,73
13:30	410,00	40,00	16,40	2,73
13:40	250,00	30,00	7,50	1,25
13:50	400,00	40,00	16,00	2,67
14:00	270,00	30,00	8,10	1,35
14:10	410,00	40,00	16,40	2,73
14:20	410,00	40,00	16,40	2,73
14:30	370,00	40,00	14,80	2,47
14:40	390,00	40,00	15,60	2,60
14:50	380,00	40,00	15,20	2,53
15:00	350,00	40,00	14,00	2,33
15:10	340,00	30,00	10,20	1,70
15:20	320,00	30,00	9,60	1,60
15:30	300,00	30,00	9,00	1,50
15:40	310,00	30,00	9,30	1,55
15:50	280,00	30,00	8,40	1,40
16:00	290,00	30,00	8,70	1,45
16:10	280,00	30,00	8,40	1,40
16:20	260,00	30,00	7,80	1,30
16:30	240,00	20,00	4,80	0,80
16:40	220,00	20,00	4,40	0,73
16:50	190,00	20,00	3,80	0,63
17:00	180,00	20,00	3,60	0,60
17:10	170,00	20,00	3,40	0,57
17:20	160,00	20,00	3,20	0,53

17:30	130,00	10,00	1,30	0,22
17:40	100,00	10,00	1,00	0,17
17:50	50,00	10,00	0,50	0,08
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00

Seçilen 5 Eylül gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.28'de görülmektedir.



Şekil 8.28. 5 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimi

Seçilen 15 Eylül gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.23'te görülmektedir.

Çizelge 8.23. 15 Eylül Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	22,70	49	1,3	1.015,60	215
09:10	23,20	48	1,8	1.015,70	333
09:20	23,60	48	1,3	1.015,60	361
09:30	24,20	46	1,8	1.015,60	390
09:40	24,70	47	1,3	1.015,80	407
09:50	25,60	49	1,3	1.015,70	450
10:00	26,10	49	2,2	1.015,60	437
10:10	26,50	48	1,8	1.015,90	507
10:20	26,60	48	2,2	1.015,80	498
10:30	26,90	48	2,2	1.015,90	534
10:40	27,30	48	1,8	1.015,70	562
10:50	27,80	47	1,8	1.015,90	603
11:00	28,20	45	1,8	1.015,90	621
11:10	28,80	42	2,2	1.015,90	645
11:20	29,50	40	2,2	1.016,00	673
11:30	29,90	40	2,2	1.016,00	689
11:40	30,30	39	2,2	1.016,00	706
11:50	30,80	38	2,2	1.015,70	729
12:00	30,40	39	2,7	1.015,90	748
12:10	30,70	39	2,2	1.015,80	793
12:20	31,20	38	1,8	1.015,60	812
12:30	31,00	38	1,8	1.015,50	775
12:40	31,40	37	2,7	1.015,70	832
12:50	31,70	35	2,2	1.015,60	829
13:00	31,90	35	2,2	1.015,50	790
13:10	32,30	35	2,2	1.015,40	794
13:20	32,20	34	2,2	1.015,40	697
13:30	32,70	32	2,2	1.015,20	784
13:40	32,80	33	2,2	1.015,30	776
13:50	32,70	33	2,2	1.015,00	779
14:00	32,70	32	1,8	1.015,10	764
14:10	32,70	33	2,2	1.015,00	754
14:20	33,00	31	2,2	1.014,90	744
14:30	32,80	30	2,2	1.014,70	734
14:40	32,80	30	2,7	1.014,60	721
14:50	33,10	30	2,2	1.014,60	706
15:00	33,40	31	2,2	1.014,50	689

15:10	33,10	30	2,2	1.014,40	670
15:20	32,80	30	2,2	1.014,20	649
15:30	32,90	30	2,7	1.014,20	629
15:40	33,00	29	2,2	1.014,20	608
15:50	32,90	30	2,2	1.014,00	587
16:00	33,00	30	2,7	1.014,00	558
16:10	32,70	31	2,7	1.013,90	537
16:20	32,60	31	2,7	1.013,80	510
16:30	32,30	31	2,2	1.014,00	478
16:40	32,20	32	2,2	1.013,80	451
16:50	31,90	34	2,7	1.013,90	422
17:00	31,80	34	2,7	1.013,90	394
17:10	31,70	35	2,2	1.013,80	363
17:20	31,60	36	1,8	1.013,90	333
17:30	31,40	37	1,8	1.013,90	299
17:40	30,90	37	2,2	1.013,90	269
17:50	30,60	39	1,8	1.014,10	234
18:00	30,20	41	1,8	1.014,10	199

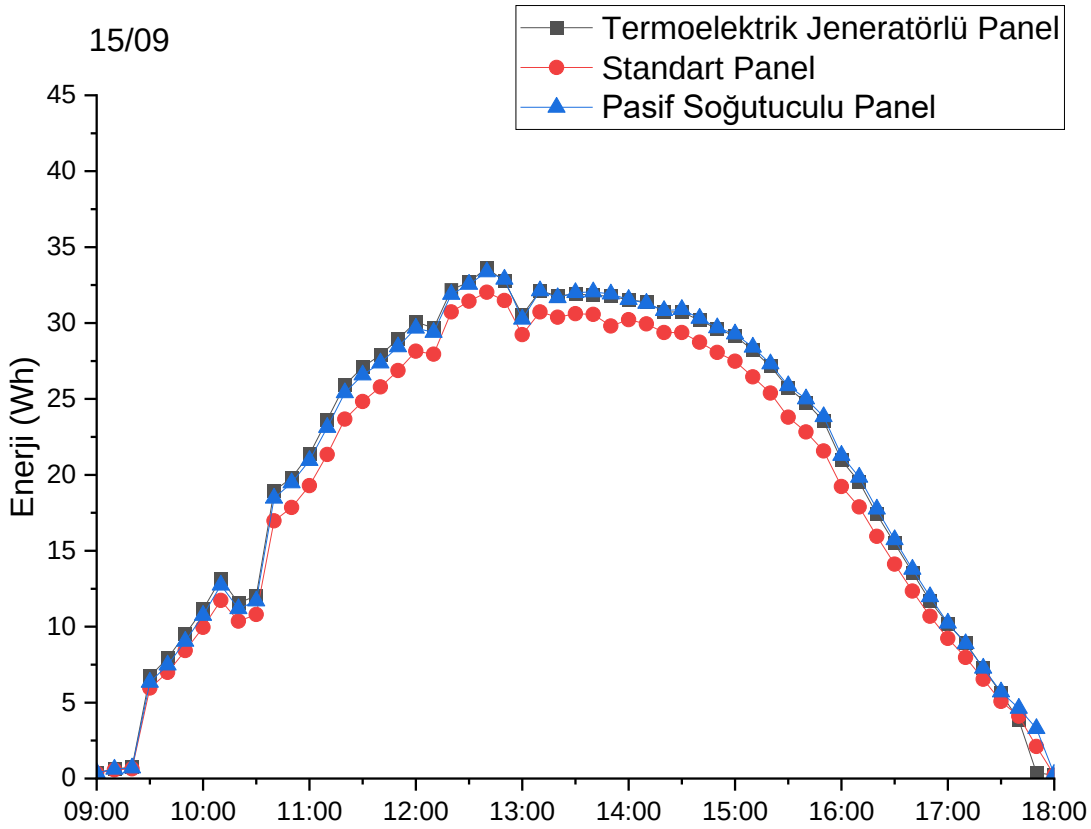
Seçilen 15 Eylül günü için PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.24'te görülmektedir.

Çizelge 8.24. 15 Eylül Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	2,96	0,79	2,33	0,39	23,77	2,79	0,74	2,07	0,35	25,33	2,92	0,78	2,27	0,38	23,44
09:10	3,77	1,00	3,78	0,63	24,84	3,57	0,95	3,39	0,56	26,89	3,72	0,99	3,68	0,61	24,57
09:20	4,12	1,10	4,51	0,75	26,58	3,80	1,01	3,84	0,64	28,65	3,95	1,05	4,15	0,69	26,29
09:30	12,33	3,28	40,43	6,74	34,75	11,59	3,08	35,73	5,95	37,42	11,96	3,18	38,04	6,34	35,02
09:40	13,37	3,56	47,54	7,92	34,18	12,56	3,34	41,96	6,99	36,17	12,99	3,45	44,88	7,48	33,98
09:50	14,64	3,89	57,00	9,50	36,62	13,79	3,67	50,58	8,43	38,31	14,28	3,80	54,23	9,04	36,40
10:00	15,85	4,22	66,81	11,14	35,44	14,99	3,99	59,76	9,96	38,09	15,57	4,14	64,47	10,75	35,51
10:10	17,23	4,58	78,96	13,16	36,35	16,27	4,33	70,40	11,73	38,46	16,95	4,51	76,41	12,74	36,39
10:20	16,15	4,30	69,37	11,56	35,94	15,29	4,07	62,18	10,36	38,29	15,89	4,23	67,15	11,19	35,91
10:30	16,48	4,38	72,23	12,04	37,72	15,61	4,15	64,81	10,80	40,20	16,24	4,32	70,14	11,69	37,48
10:40	20,67	5,50	113,63	18,94	38,36	19,57	5,20	101,86	16,98	40,41	20,41	5,43	110,79	18,46	38,16
10:50	21,14	5,62	118,86	19,81	41,71	20,07	5,34	107,13	17,85	43,97	20,96	5,57	116,84	19,47	41,82
11:00	21,95	5,84	128,14	21,36	41,94	20,86	5,55	115,73	19,29	44,20	21,74	5,78	125,70	20,95	42,23
11:10	23,09	6,14	141,79	23,63	44,09	21,94	5,84	128,02	21,34	46,53	22,84	6,07	138,74	23,12	44,03

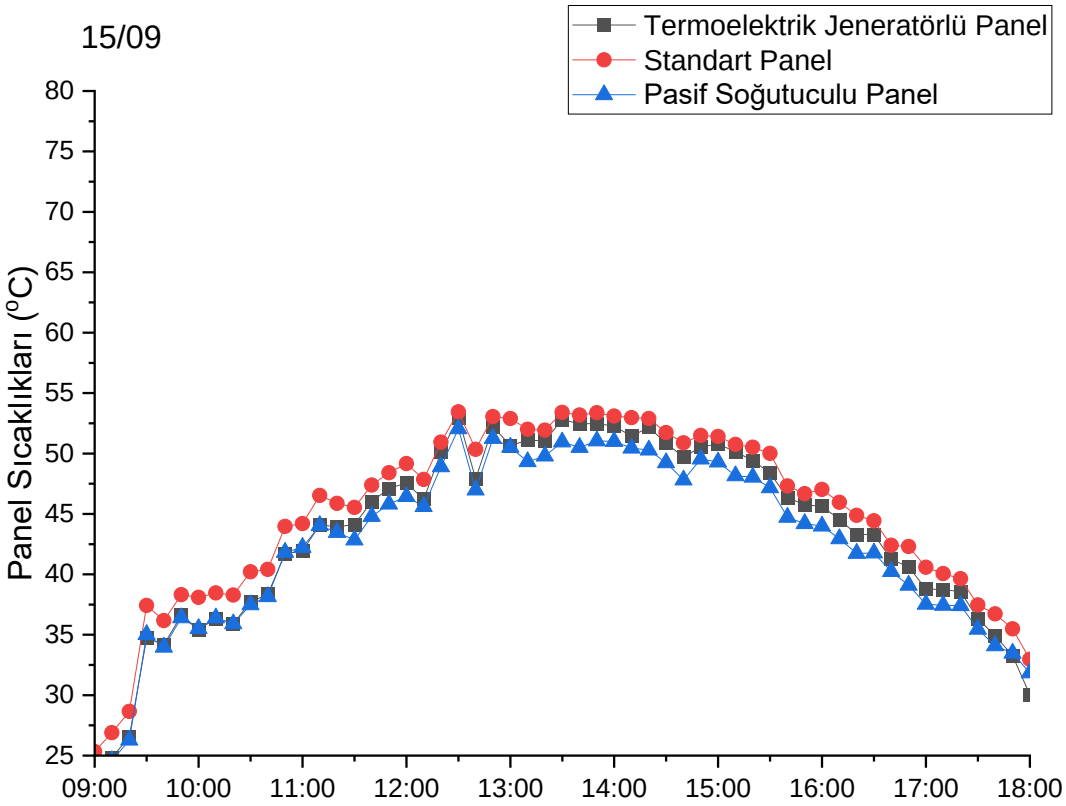
11:20	24,18	6,43	155,50	25,92	43,94	23,11	6,15	142,04	23,67	45,87	23,94	6,37	152,43	25,40	43,48
11:30	24,72	6,57	162,52	27,09	44,12	23,67	6,30	149,01	24,83	45,54	24,49	6,51	159,51	26,59	42,84
11:40	25,09	6,67	167,42	27,90	46,02	24,12	6,41	154,73	25,79	47,39	24,85	6,61	164,23	27,37	44,79
11:50	25,55	6,80	173,62	28,94	47,11	24,62	6,55	161,21	26,87	48,40	25,33	6,74	170,64	28,44	45,81
12:00	26,05	6,93	180,48	30,08	47,56	25,20	6,70	168,89	28,15	49,16	25,87	6,88	177,99	29,67	46,44
12:10	25,87	6,88	177,99	29,67	46,21	25,11	6,68	167,69	27,95	47,86	25,75	6,85	176,35	29,39	45,61
12:20	26,95	7,17	193,17	32,19	50,11	26,33	7,00	184,38	30,73	50,94	26,82	7,13	191,31	31,88	48,90
12:30	27,16	7,22	196,19	32,70	52,98	26,63	7,08	188,61	31,43	53,45	27,10	7,21	195,32	32,55	52,06
12:40	27,55	7,33	201,86	33,64	47,89	26,88	7,15	192,16	32,03	50,34	27,44	7,30	200,25	33,38	46,97
12:50	27,18	7,23	196,48	32,75	52,23	26,65	7,09	188,89	31,48	53,06	27,24	7,24	197,35	32,89	51,25
13:00	26,24	6,98	183,12	30,52	50,67	25,68	6,83	175,39	29,23	52,89	26,13	6,95	181,59	30,26	50,51
13:10	26,92	7,16	192,74	32,12	51,10	26,33	7,00	184,38	30,73	52,01	26,92	7,16	192,74	32,12	49,32
13:20	26,78	7,12	190,74	31,79	51,06	26,18	6,96	182,29	30,38	51,93	26,73	7,11	190,02	31,67	49,79
13:30	26,83	7,14	191,45	31,91	52,80	26,28	6,99	183,68	30,61	53,41	26,87	7,15	192,02	32,00	50,96
13:40	26,80	7,13	191,02	31,84	52,46	26,26	6,98	183,40	30,57	53,19	26,89	7,15	192,31	32,05	50,50
13:50	26,77	7,12	190,59	31,77	52,48	25,93	6,90	178,82	29,80	53,38	26,83	7,14	191,45	31,91	51,04
14:00	26,67	7,09	189,17	31,53	52,26	26,11	6,94	181,31	30,22	53,09	26,68	7,10	189,31	31,55	51,00
14:10	26,61	7,08	188,32	31,39	51,44	25,99	6,91	179,65	29,94	52,96	26,57	7,07	187,76	31,29	50,45
14:20	26,33	7,00	184,38	30,73	52,17	25,74	6,85	176,21	29,37	52,90	26,37	7,01	184,94	30,82	50,29
14:30	26,33	7,00	184,38	30,73	50,85	25,74	6,85	176,21	29,37	51,73	26,40	7,02	185,36	30,89	49,23
14:40	26,09	6,94	181,03	30,17	49,71	25,46	6,77	172,40	28,73	50,88	26,15	6,95	181,87	30,31	47,81
14:50	25,85	6,88	177,72	29,62	50,53	25,16	6,69	168,36	28,06	51,49	25,88	6,88	178,13	29,69	49,54
15:00	25,64	6,82	174,84	29,14	50,80	24,90	6,62	164,90	27,48	51,41	25,70	6,84	175,66	29,28	49,29
15:10	25,23	6,71	169,30	28,22	50,14	24,43	6,50	158,73	26,46	50,75	25,32	6,73	170,51	28,42	48,16
15:20	24,75	6,58	162,92	27,15	49,43	23,93	6,36	152,30	25,38	50,52	24,82	6,60	163,84	27,31	48,04
15:30	24,09	6,41	154,34	25,72	48,38	23,17	6,16	142,78	23,80	50,01	24,16	6,43	155,24	25,87	47,16
15:40	23,64	6,29	148,63	24,77	46,36	22,69	6,03	136,92	22,82	47,31	23,75	6,32	150,02	25,00	44,73
15:50	23,04	6,13	141,18	23,53	45,75	22,06	5,87	129,43	21,57	46,68	23,19	6,17	143,03	23,84	44,19
16:00	21,75	5,78	125,81	20,97	45,63	20,83	5,54	115,40	19,23	47,03	21,91	5,83	127,67	21,28	44,00
16:10	20,99	5,58	117,18	19,53	44,55	20,09	5,34	107,34	17,89	45,96	21,16	5,63	119,08	19,85	42,94
16:20	19,81	5,27	104,37	17,40	43,30	18,97	5,05	95,71	15,95	44,88	20,01	5,32	106,49	17,75	41,74
16:30	18,69	4,97	92,90	15,48	43,29	17,85	4,75	84,74	14,12	44,43	18,84	5,01	94,40	15,73	41,76
16:40	17,50	4,65	81,45	13,57	41,24	16,69	4,44	74,08	12,35	42,41	17,63	4,69	82,66	13,78	40,23
16:50	16,24	4,32	70,14	11,69	40,62	15,53	4,13	64,14	10,69	42,30	16,44	4,37	71,88	11,98	39,10
17:00	15,16	4,03	61,12	10,19	38,79	14,43	3,84	55,38	9,23	40,58	15,20	4,04	61,45	10,24	37,53
17:10	14,20	3,78	53,63	8,94	38,74	13,41	3,57	47,83	7,97	40,06	14,15	3,76	53,25	8,88	37,44
17:20	12,80	3,40	43,57	7,26	38,57	12,15	3,23	39,26	6,54	39,64	12,81	3,41	43,64	7,27	37,41
17:30	11,25	2,99	33,66	5,61	36,30	10,70	2,85	30,45	5,07	37,47	11,34	3,02	34,20	5,70	35,46
17:40	9,30	2,47	23,00	3,83	34,94	9,62	2,56	24,61	4,10	36,73	10,22	2,72	27,78	4,63	34,09
17:50	2,93	0,78	2,28	0,38	33,26	6,90	1,84	12,66	2,11	35,49	8,62	2,29	19,76	3,29	33,48
18:00	2,22	0,59	1,31	0,22	30,04	2,30	0,61	1,41	0,23	32,97	2,58	0,69	1,77	0,30	31,84

Seçilen 15 Eylül gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.29'da görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde Standart PV panele göre pasif soğutucu uygulanmış PV panellerden daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.29. 15 Eylül Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Seçilen 15 Eylül gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.30'da görülmektedir. Benzer şekilde bugün de standart PV panelin yüzey sıcaklığı pasif soğutma uygulanmış PV panellere göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 8.30. 15 Eylül Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 15 Eylül gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.25'te görülmektedir.

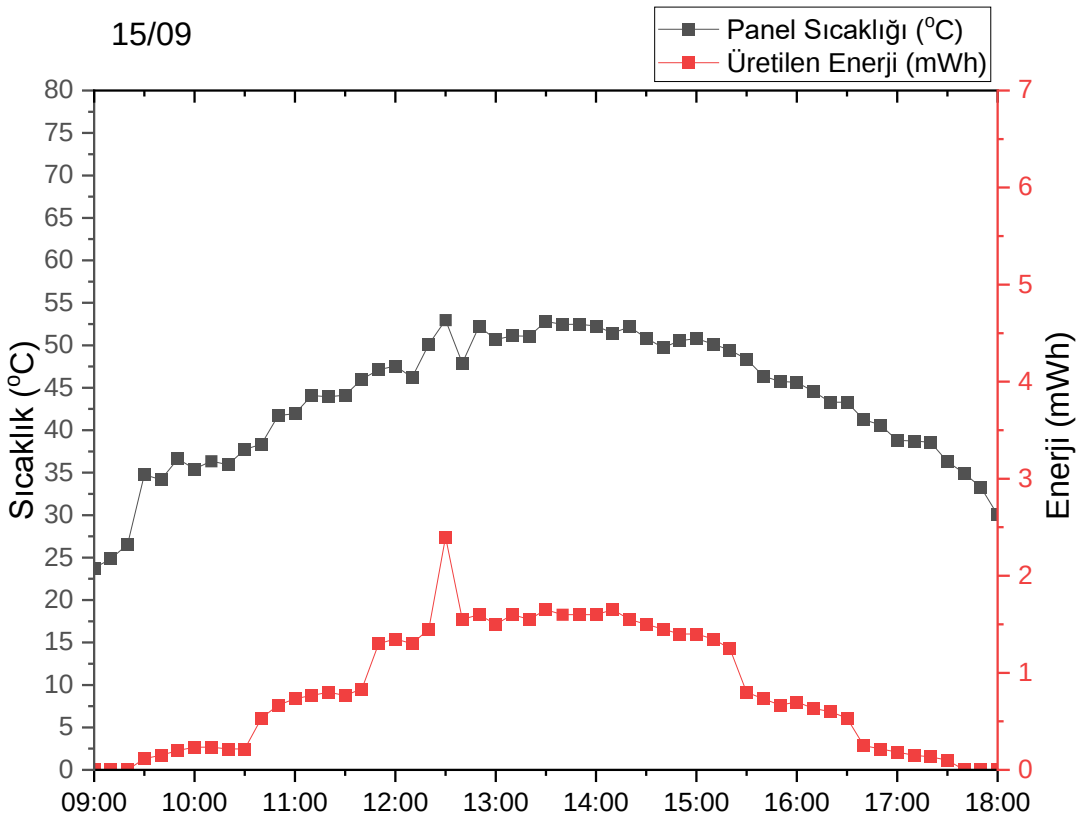
Çizelge 8.25. 15 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	0,00	0,00	0,00	0,00
09:10	0,00	0,00	0,00	0,00
09:20	0,00	0,00	0,00	0,00
09:30	70,00	10,00	0,70	0,12
09:40	90,00	10,00	0,90	0,15
09:50	120,00	10,00	1,20	0,20
10:00	140,00	10,00	1,40	0,23

10:10	140,00	10,00	1,40	0,23
10:20	130,00	10,00	1,30	0,22
10:30	130,00	10,00	1,30	0,22
10:40	160,00	20,00	3,20	0,53
10:50	200,00	20,00	4,00	0,67
11:00	220,00	20,00	4,40	0,73
11:10	230,00	20,00	4,60	0,77
11:20	240,00	20,00	4,80	0,80
11:30	230,00	20,00	4,60	0,77
11:40	250,00	20,00	5,00	0,83
11:50	260,00	30,00	7,80	1,30
12:00	270,00	30,00	8,10	1,35
12:10	260,00	30,00	7,80	1,30
12:20	290,00	30,00	8,70	1,45
12:30	360,00	40,00	14,40	2,40
12:40	310,00	30,00	9,30	1,55
12:50	320,00	30,00	9,60	1,60
13:00	300,00	30,00	9,00	1,50
13:10	320,00	30,00	9,60	1,60
13:20	310,00	30,00	9,30	1,55
13:30	330,00	30,00	9,90	1,65
13:40	320,00	30,00	9,60	1,60
13:50	320,00	30,00	9,60	1,60
14:00	320,00	30,00	9,60	1,60
14:10	330,00	30,00	9,90	1,65
14:20	310,00	30,00	9,30	1,55
14:30	300,00	30,00	9,00	1,50
14:40	290,00	30,00	8,70	1,45
14:50	280,00	30,00	8,40	1,40
15:00	280,00	30,00	8,40	1,40
15:10	270,00	30,00	8,10	1,35
15:20	250,00	30,00	7,50	1,25
15:30	240,00	20,00	4,80	0,80
15:40	220,00	20,00	4,40	0,73
15:50	200,00	20,00	4,00	0,67
16:00	210,00	20,00	4,20	0,70
16:10	190,00	20,00	3,80	0,63
16:20	180,00	20,00	3,60	0,60
16:30	160,00	20,00	3,20	0,53
16:40	150,00	10,00	1,50	0,25
16:50	130,00	10,00	1,30	0,22
17:00	110,00	10,00	1,10	0,18
17:10	90,00	10,00	0,90	0,15
17:20	80,00	10,00	0,80	0,13

17:30	60,00	10,00	0,60	0,10
17:40	0,00	0,00	0,00	0,00
17:50	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00

Seçilen 15 Eylül gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.31'de görülmektedir.



Şekil 8.31. 15 Eylül Günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 25 Eylül gününe ait sahadaki çevresel değerler Çizelge 8.26'da görülmektedir.

Çizelge 8.26. 25 Eylül Günü İçin Çevre Değerleri

Saat	Ortam Sıcaklığı (°C)	Nem (%)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Hava Basıncı (mBar)	Işınım (W/m²)
09:00	20,40	72	0,9	1.004,60	248
09:10	20,80	70	0,4	1.004,60	275
09:20	20,80	71	0,4	1.004,40	306
09:30	21,00	70	0,4	1.004,50	338
09:40	21,80	68	0,4	1.004,40	368
09:50	22,60	64	0,4	1.004,50	396
10:00	22,50	66	0,4	1.004,60	424
10:10	22,90	64	0,4	1.004,50	454
10:20	23,40	63	0,9	1.004,50	482
10:30	23,90	62	0,9	1.004,60	510
10:40	24,30	60	0,9	1.004,50	536
10:50	24,70	59	0,9	1.004,60	559
11:00	24,90	60	0,9	1.004,60	580
11:10	25,10	59	0,9	1.004,40	601
11:20	24,70	60	1,3	1.004,40	615
11:30	25,20	60	1,3	1.004,20	636
11:40	24,90	60	0,9	1.004,20	651
11:50	24,90	60	0,9	1.004,20	667
12:00	25,40	58	0,9	1.004,00	679
12:10	25,40	58	0,4	1.004,00	695
12:20	26,10	57	0,9	1.004,00	709
12:30	26,40	57	0,9	1.004,00	714
12:40	27,10	55	0,9	1.003,90	721
12:50	27,00	56	0,9	1.003,90	725
13:00	26,80	57	0,9	1.003,90	728
13:10	27,30	54	1,3	1.003,80	735
13:20	28,40	51	1,8	1.003,80	728
13:30	28,80	50	1,3	1.003,70	729
13:40	28,70	50	1,3	1.003,40	728
13:50	29,00	49	1,3	1.003,30	722
14:00	29,40	48	1,8	1.003,10	716
14:10	29,70	46	1,8	1.002,90	711
14:20	29,50	47	1,3	1.002,80	692
14:30	29,60	46	1,8	1.002,60	680
14:40	29,80	44	1,8	1.002,60	649
14:50	30,10	42	1,8	1.002,40	684
15:00	30,30	41	2,2	1.002,30	669

15:10	30,40	42	2,2	1.002,30	635
15:20	30,40	38	2,2	1.002,00	625
15:30	30,80	39	2,2	1.001,90	620
15:40	30,80	38	2,2	1.001,70	637
15:50	30,10	39	2,2	1.001,70	254
16:00	30,20	39	2,7	1.001,50	503
16:10	30,40	39	2,2	1.001,50	464
16:20	30,30	39	2,7	1.001,30	464
16:30	30,40	39	2,7	1.001,40	443
16:40	30,30	41	2,7	1.001,30	382
16:50	29,90	42	2,7	1.001,20	300
17:00	29,40	44	2,7	1.001,20	235
17:10	29,40	44	2,2	1.001,00	252
17:20	29,20	44	2,7	1.000,80	224
17:30	29,20	43	3,1	1.000,70	269
17:40	29,10	44	3,1	1.000,50	233
17:50	28,80	44	2,7	1.000,30	205
18:00	28,30	45	2,7	1.000,20	144

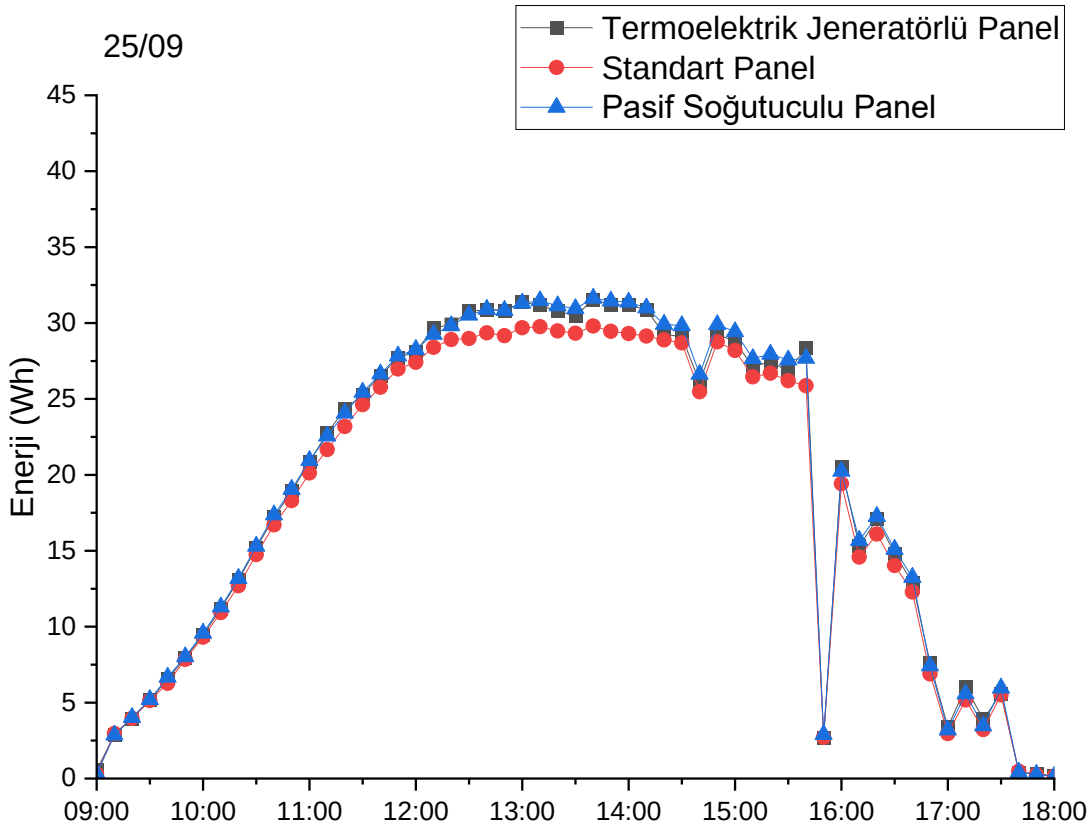
Seçilen 25 Eylül günü için PV panellerden elde edilen elektriksel değerler Çizelge 8.27'de görülmektedir.

Çizelge 8.27. 25 Eylül Günü İçin PV Panellerden Ölçülen Elektriksel Değerler

	Termoelektrik Jeneratörlü Panel					Standart Panel					Pasif Soğutuculu Panel				
Saat	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*	*Gerilim (V)*	*Akım (A)*	*Güç (Watt)*	*Enerji (Wh)*	*Panel Sıcaklık (°C)*
09:00	3,50	0,93	3,26	0,54	21,62	2,61	0,69	1,81	0,30	23,02	2,69	0,72	1,92	0,32	21,42
09:10	8,08	2,15	17,36	2,89	35,89	8,18	2,18	17,80	2,97	34,90	8,04	2,14	17,19	2,87	35,13
09:20	9,45	2,51	23,75	3,96	29,35	9,46	2,52	23,80	3,97	31,95	9,53	2,53	24,15	4,03	29,19
09:30	10,80	2,87	31,02	5,17	32,51	10,76	2,86	30,79	5,13	34,44	10,84	2,88	31,25	5,21	32,72
09:40	12,14	3,23	39,20	6,53	34,50	11,89	3,16	37,60	6,27	36,31	12,27	3,26	40,04	6,67	34,81
09:50	13,39	3,56	47,68	7,95	37,15	13,31	3,54	47,12	7,85	38,51	13,45	3,58	48,11	8,02	37,00
10:00	14,61	3,89	56,77	9,46	39,20	14,49	3,85	55,84	9,31	40,96	14,70	3,91	57,47	9,58	39,23
10:10	15,88	4,22	67,07	11,18	40,97	15,70	4,18	65,56	10,93	42,95	15,97	4,25	67,83	11,31	41,23
10:20	17,18	4,57	78,50	13,08	42,56	16,92	4,50	76,14	12,69	44,59	17,24	4,59	79,05	13,17	42,60
10:30	18,50	4,92	91,02	15,17	45,26	18,24	4,85	88,48	14,75	47,71	18,58	4,94	91,81	15,30	45,32
10:40	19,70	5,24	103,22	17,20	46,31	19,41	5,16	100,20	16,70	48,20	19,79	5,26	104,16	17,36	46,07
10:50	20,66	5,49	113,52	18,92	48,27	20,32	5,40	109,81	18,30	50,68	20,73	5,51	114,29	19,05	48,42
11:00	21,70	5,77	125,24	20,87	49,01	21,31	5,67	120,78	20,13	51,01	21,74	5,78	125,70	20,95	48,61
11:10	22,66	6,03	136,56	22,76	50,93	22,11	5,88	130,01	21,67	53,38	22,56	6,00	135,36	22,56	51,12

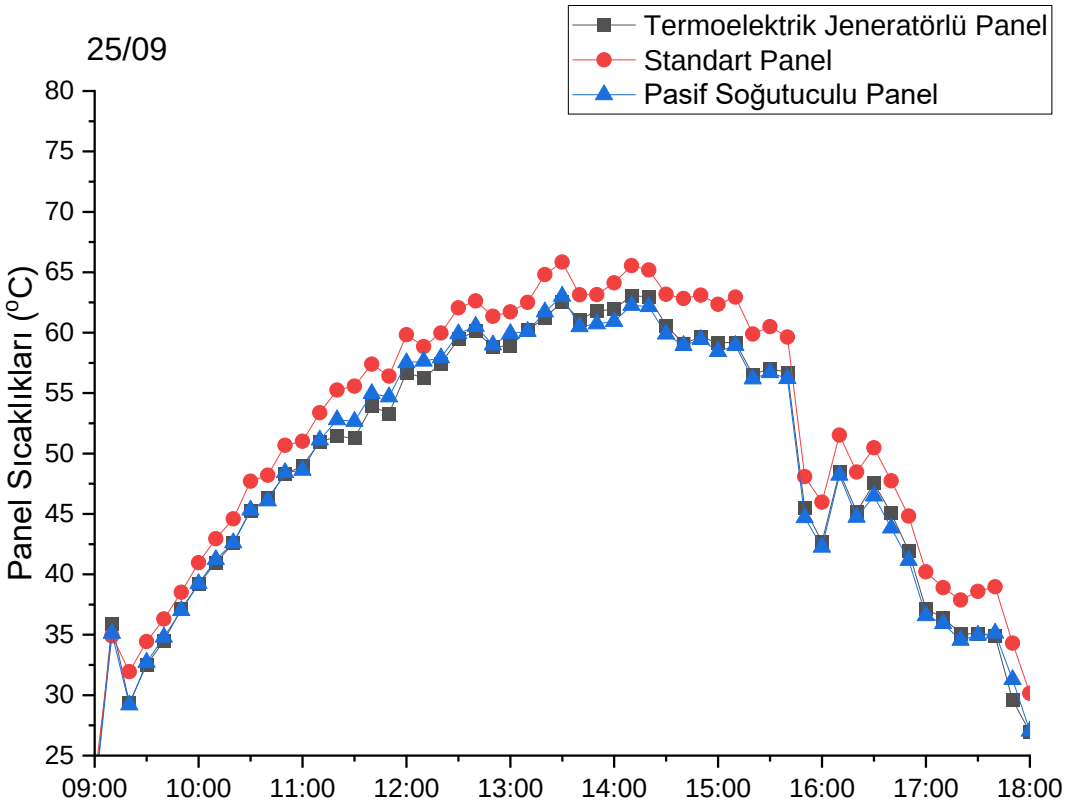
11:20	23,43	6,23	146,00	24,33	51,43	22,87	6,08	139,11	23,18	55,25	23,30	6,20	144,39	24,06	52,79
11:30	23,88	6,35	151,66	25,28	51,26	23,57	6,27	147,75	24,63	55,57	23,96	6,37	152,68	25,45	52,66
11:40	24,47	6,51	159,25	26,54	53,93	24,11	6,41	154,60	25,77	57,40	24,52	6,52	159,90	26,65	54,96
11:50	25,00	6,65	166,22	27,70	53,32	24,67	6,56	161,86	26,98	56,40	25,06	6,66	167,02	27,84	54,69
12:00	25,19	6,70	168,76	28,13	56,71	24,87	6,61	164,50	27,42	59,83	25,25	6,72	169,56	28,26	57,51
12:10	25,87	6,88	177,99	29,67	56,25	25,31	6,73	170,37	28,40	58,85	25,69	6,83	175,53	29,25	57,64
12:20	25,98	6,91	179,51	29,92	57,45	25,54	6,79	173,48	28,91	59,97	25,94	6,90	178,96	29,83	57,92
12:30	26,35	7,01	184,64	30,77	59,46	25,57	6,80	173,89	28,98	62,06	26,24	6,98	183,14	30,52	59,92
12:40	26,39	7,02	185,21	30,87	60,12	25,73	6,84	176,07	29,35	62,63	26,40	7,02	185,40	30,90	60,53
12:50	26,37	7,01	184,92	30,82	58,81	25,65	6,82	174,98	29,16	61,36	26,37	7,01	184,98	30,83	58,98
13:00	26,60	7,07	188,20	31,37	58,92	25,88	6,88	178,13	29,69	61,72	26,58	7,07	187,83	31,30	59,93
13:10	26,52	7,05	187,06	31,18	60,22	25,91	6,89	178,54	29,76	62,51	26,65	7,09	188,83	31,47	60,10
13:20	26,35	7,01	184,64	30,77	61,22	25,79	6,86	176,89	29,48	64,81	26,50	7,05	186,83	31,14	61,72
13:30	26,22	6,97	182,80	30,47	62,57	25,72	6,84	175,94	29,32	65,84	26,42	7,03	185,69	30,95	63,01
13:40	26,68	7,10	189,31	31,55	61,09	25,93	6,90	178,82	29,80	63,13	26,72	7,11	189,84	31,64	60,49
13:50	26,54	7,06	187,33	31,22	61,80	25,78	6,86	176,76	29,46	63,15	26,64	7,08	188,69	31,45	60,73
14:00	26,52	7,05	187,05	31,18	61,94	25,71	6,84	175,80	29,30	64,13	26,61	7,08	188,26	31,38	60,94
14:10	26,40	7,02	185,36	30,89	63,07	25,64	6,82	174,84	29,14	65,55	26,44	7,03	185,97	31,00	62,26
14:20	25,69	6,83	175,53	29,25	62,96	25,53	6,79	173,35	28,89	65,19	25,98	6,91	179,51	29,92	62,16
14:30	25,62	6,81	174,57	29,10	60,60	25,44	6,77	172,13	28,69	63,18	25,94	6,90	178,96	29,83	59,88
14:40	24,27	6,45	156,66	26,11	59,10	23,97	6,38	152,81	25,47	62,82	24,51	6,52	159,77	26,63	58,94
14:50	25,70	6,84	175,66	29,28	59,64	25,47	6,77	172,53	28,76	63,10	25,97	6,91	179,37	29,90	59,43
15:00	25,47	6,77	172,53	28,76	59,17	25,22	6,71	169,16	28,19	62,35	25,77	6,85	176,62	29,44	58,44
15:10	24,74	6,58	162,78	27,13	59,19	24,43	6,50	158,73	26,46	62,95	24,98	6,64	165,96	27,66	58,93
15:20	24,89	6,62	164,76	27,46	56,54	24,54	6,53	160,16	26,69	59,88	25,11	6,68	167,69	27,95	56,18
15:30	24,60	6,54	160,95	26,82	57,02	24,31	6,47	157,17	26,20	60,49	24,94	6,63	165,43	27,57	56,70
15:40	25,29	6,73	170,10	28,35	56,71	24,16	6,43	155,24	25,87	59,63	24,99	6,65	166,09	27,68	56,20
15:50	7,72	2,05	15,85	2,64	45,47	7,82	2,08	16,26	2,71	48,09	8,09	2,15	17,41	2,90	44,69
16:00	21,50	5,72	122,94	20,49	42,68	20,93	5,57	116,51	19,42	45,98	21,58	5,74	123,86	20,64	42,25
16:10	18,57	4,94	91,71	15,29	48,46	18,14	4,82	87,52	14,59	51,52	18,81	5,00	94,10	15,68	48,20
16:20	19,63	5,22	102,48	17,08	45,18	19,06	5,07	96,62	16,10	48,46	19,73	5,25	103,53	17,26	44,73
16:30	18,29	4,86	88,97	14,83	47,54	17,79	4,73	84,17	14,03	50,47	18,45	4,91	90,53	15,09	46,49
16:40	17,05	4,53	77,31	12,89	45,05	16,65	4,43	73,73	12,29	47,74	17,29	4,60	79,51	13,25	43,83
16:50	13,10	3,48	45,64	7,61	41,93	12,46	3,31	41,29	6,88	44,83	12,94	3,44	44,53	7,42	41,15
17:00	8,76	2,33	20,41	3,40	37,12	8,17	2,17	17,75	2,96	40,21	8,50	2,26	19,22	3,20	36,58
17:10	11,65	3,10	36,10	6,02	36,42	10,80	2,87	31,02	5,17	38,89	11,21	2,98	33,42	5,57	35,92
17:20	9,40	2,50	23,50	3,92	35,08	8,52	2,27	19,31	3,22	37,88	8,85	2,35	20,83	3,47	34,54
17:30	11,23	2,99	33,54	5,59	35,08	11,14	2,96	33,01	5,50	38,59	11,59	3,08	35,73	5,95	34,96
17:40	3,00	0,80	2,39	0,40	34,88	3,26	0,87	2,83	0,47	38,97	3,08	0,82	2,52	0,42	35,13
17:50	2,65	0,70	1,87	0,31	29,59	2,38	0,63	1,51	0,25	34,31	2,51	0,67	1,68	0,28	31,30
18:00	1,95	0,52	1,01	0,17	26,95	1,74	0,46	0,81	0,13	30,16	1,86	0,49	0,92	0,15	27,03

Seçilen 25 Eylül gününe ait PV panellerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.32'de görülmektedir. Bugüne ait veriler değerlendirildiğinde standart PV panele göre pasif soğutucu uygulanmış PV panellerden daha fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 8.32. 25 Eylül Günü İçin PV Panellerden Elde Edilen Enerjiler

Seçilen 25 Eylül gününe ait PV panellerde oluşan yüzey sıcaklıklarındaki değişim Şekil 8.33'te görülmektedir. Benzer şekilde bugün de standart PV panelin yüzey sıcaklığı pasif soğutma uygulanmış PV panellere göre daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir.



Şekil 8.33. 25 Eylül Günü İçin PV Panellerdeki Sıcaklık Değişimleri

Seçilen 25 Eylül gününde termoelektrik jeneratörlerde üretilen elektriksel değerler Çizelge 8.28'de görülmektedir.

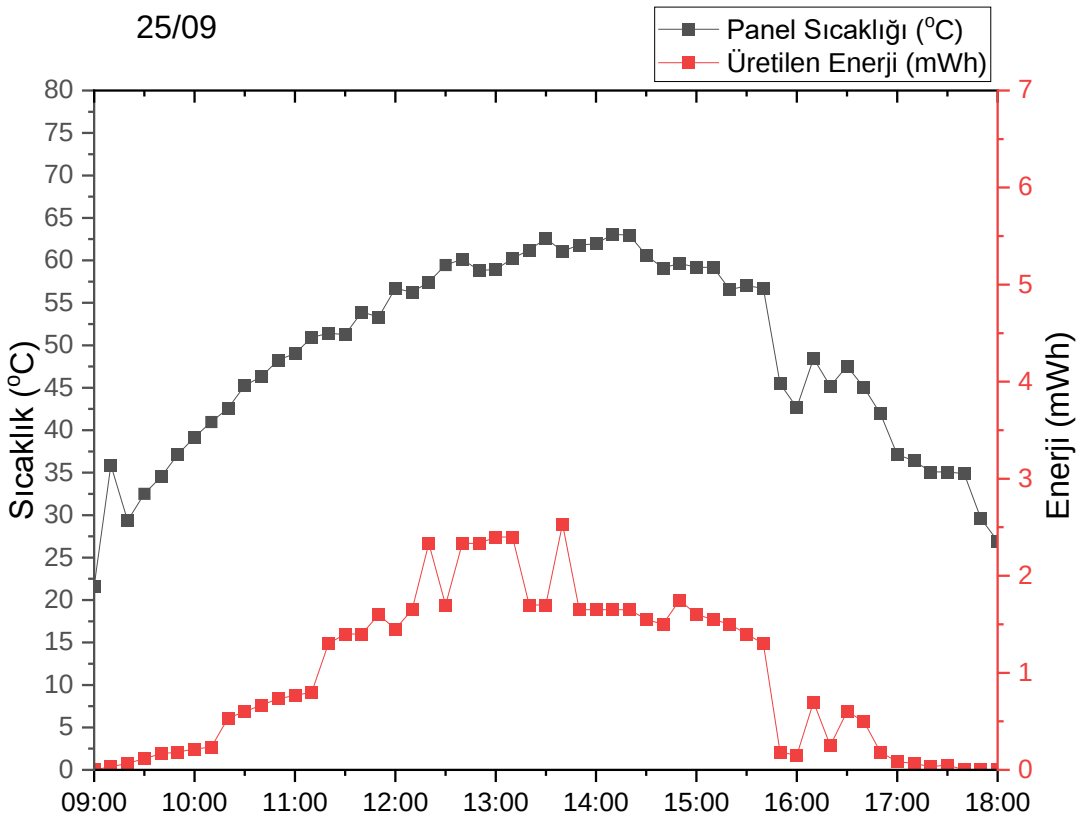
Çizelge 8.28. 25 Eylül günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerde Üretilen Elektriksel Değerler

Saat	Termoelektrik Jeneratörler			
	Gerilim (mV)	*Akım (mA)*	*Güç (mWatt)*	*Enerji (mWh)*
09:00	0,00	0,00	0,00	0,00
09:10	20,00	10,00	0,20	0,03
09:20	40,00	10,00	0,40	0,07
09:30	70,00	10,00	0,70	0,12
09:40	100,00	10,00	1,00	0,17
09:50	110,00	10,00	1,10	0,18
10:00	130,00	10,00	1,30	0,22

10:10	140,00	10,00	1,40	0,23
10:20	160,00	20,00	3,20	0,53
10:30	180,00	20,00	3,60	0,60
10:40	200,00	20,00	4,00	0,67
10:50	220,00	20,00	4,40	0,73
11:00	230,00	20,00	4,60	0,77
11:10	240,00	20,00	4,80	0,80
11:20	260,00	30,00	7,80	1,30
11:30	280,00	30,00	8,40	1,40
11:40	280,00	30,00	8,40	1,40
11:50	320,00	30,00	9,60	1,60
12:00	290,00	30,00	8,70	1,45
12:10	330,00	30,00	9,90	1,65
12:20	350,00	40,00	14,00	2,33
12:30	340,00	30,00	10,20	1,70
12:40	350,00	40,00	14,00	2,33
12:50	350,00	40,00	14,00	2,33
13:00	360,00	40,00	14,40	2,40
13:10	360,00	40,00	14,40	2,40
13:20	340,00	30,00	10,20	1,70
13:30	340,00	30,00	10,20	1,70
13:40	380,00	40,00	15,20	2,53
13:50	330,00	30,00	9,90	1,65
14:00	330,00	30,00	9,90	1,65
14:10	330,00	30,00	9,90	1,65
14:20	330,00	30,00	9,90	1,65
14:30	310,00	30,00	9,30	1,55
14:40	300,00	30,00	9,00	1,50
14:50	350,00	30,00	10,50	1,75
15:00	320,00	30,00	9,60	1,60
15:10	310,00	30,00	9,30	1,55
15:20	300,00	30,00	9,00	1,50
15:30	280,00	30,00	8,40	1,40
15:40	260,00	30,00	7,80	1,30
15:50	110,00	10,00	1,10	0,18
16:00	90,00	10,00	0,90	0,15
16:10	210,00	20,00	4,20	0,70
16:20	150,00	10,00	1,50	0,25
16:30	180,00	20,00	3,60	0,60
16:40	150,00	20,00	3,00	0,50
16:50	110,00	10,00	1,10	0,18
17:00	50,00	10,00	0,50	0,08
17:10	40,00	10,00	0,40	0,07
17:20	20,00	10,00	0,20	0,03

17:30	30,00	10,00	0,30	0,05
17:40	0,00	0,00	0,00	0,00
17:50	0,00	0,00	0,00	0,00
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00

Seçilen 25 Eylül gününde sıcaklığa bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerden elde edilen enerji seviyeleri Şekil 8.34'te görülmektedir.



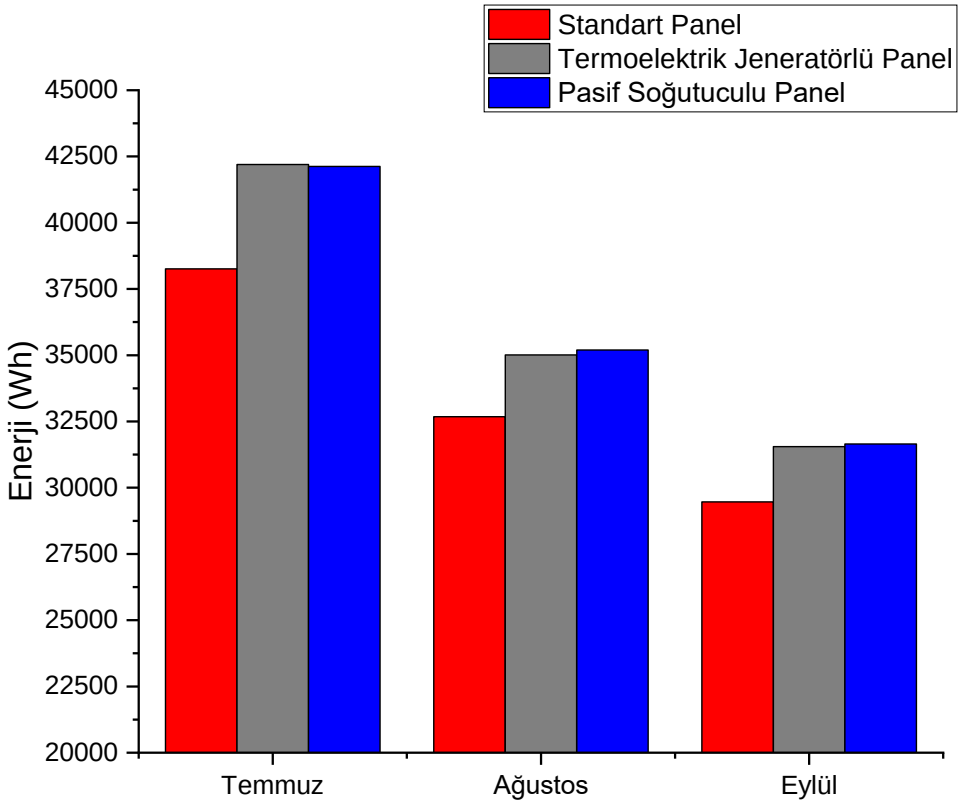
Şekil 8.34. 25 Eylül günü İçin Termoelektrik Jeneratörlerden Üretilen Enerji ve PV Paneldeki Sıcaklık Değişimi

Çalışma sonucunda deneylerden elde edilen verilere bağlı olarak hazırlanan toplam enerji değerleri Çizelge 8.29'da görülmektedir.

Çizelge 8.29. Aylara Göre Panellerden Üretilen Toplam Enerji Üretimi

	Standart Panel (Wh)	Termoelektrik Jeneratörlü Panel (Wh)	Fark (%)	Pasif Soğutuculu Panel (Wh)	Fark (%)
Temmuz	38.259,81	42.197,38	10,29%	42.126,37	10,11%
Ağustos	32.678,15	35.012,83	7,14%	35.195,83	7,70%
Eylül	29.464,74	31.552,76	7,09%	31.648,18	7,41%
TOPLAM	100.402,70	108.762,97	8,33%	108.970,38	8,53%

Fotovoltaik panellerden elde edilen toplam enerjilerin aylara göre olan dağılımı Şekil 8.35'te görülmektedir.



Şekil 8.35. Aylara Göre Panellerde Üretilen Enerjiler

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlar

Bu çalışmada; fotovoltaik panellerin verimini azaltan sıcaklık etkisi, farklı pasif soğutma yöntemleri kullanılarak PV panel çıkış güçlerinde önemli oranda artış sağlanmıştır. Edirne ili gerçek iklim şartlarında özellikle yaz aylarında yüksek sıcaklığın sebep olduğu enerji kayıplarının azaldığı tespit edilmiştir.

Fotovoltaik panellerdeki sıcaklığın azaltılması için uyguladığımız alüminyum kanatçıklı ve termoelektrik jeneratörlü pasif soğutma yöntemlerinden birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Üç aylık yaz sezonu sonucunda toplamda standart PV panele göre yaklaşık olarak; termoelektrik jeneratör uygulaması ile %8,4 alüminyum kanatçıklı pasif soğutma ile %8,5 daha fazla enerji elde edilmiştir.

Yapılan deneylerin sonuçlarına bağlı olarak ortalama sıcaklığın diğer aylara göre yüksek olduğu temmuz ayında standart PV panele göre; alüminyum kanatçıklı pasif soğutma ile %10,1, termoelektrik jeneratör uygulaması ile %10,2 daha fazla elektrik enerjisi elde edilmiştir. Ayrıca verimdeki bu artış tek bir PV panelden elde edilmiştir. Güneş enerji santral kurulumları dikkate alındığında daha büyük katkı sağlanmış olacaktır.

Ağustos ve eylül aylarında standart PV panele göre her iki yöntemle de %7-7,4 arasında daha fazla elektrik enerjisi elde edilmiştir. Bu aylardaki artış oranın düşmesi birçok faktöre bağlı olmakla birlikte özellikle temmuz ayına göre; ışınım ve rüzgâr hızı değerlerinin azalmasıdır.

Sonuç olarak; her iki pasif soğutma yöntemi ile de standart PV panele göre enerji üretiminde daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu yöntemler karşılaştırıldığında;

Termoelektrik jeneratörlerden elde edilen ilave enerji seviyelerinin düşük olması ve maliyet faktörü dikkate alındığında, PV panellerin alt yüzeyine alüminyum kanatçıklı pasif soğutma yönteminin daha uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca alüminyum kanatçıkların hareketsiz olması, bakım onarım gerektirmemesi, montaj kolaylığı, arıza vb. durumlarının olmamasından dolayı diğer alternatif soğutma yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadır.

9.2. Öneriler

Yapılan çalışmanın sonuçlarına bağlı olarak fotovoltaik panel yüzey sıcaklığı arttıkça verimin azaldığı görülmüştür. Bu nedenle PV panel yüzey sıcaklığının azaltılması için alternatif soğutma yöntemleri geliştirilmelidir. Bu konuda pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen güneş enerji santrallerinde bu yöntemler tercih edilmemektedir. PV panellerde yüzey sıcaklığının azaltılması ile kullanım ömrünün de arttığı unutulmamalıdır.

Çalışmada PV panel alt yüzeyine termoelektrik jeneratörler uygulanarak yüzey sıcaklığının düşürülmesi ve ilave elektrik enerjisi amaçlanmıştır. Bu yöntemle yüzey sıcaklığı düşürülmesi ve termoelektrik jeneratörlerin anlık çıkış güçleri ölçülmüştür. Ancak çalışma boyunca termoelektrik jeneratörlerden elde edilen güç çıkış ölçülemediği için toplam enerji hesaplanamamıştır. PV panel yüzey sıcaklığının değişimine bağlı olarak termoelektrik jeneratörlerin güç çıkışlarını sürekli ölçen elektronik devre imkânlar dâhilinde kurulamamıştır. Bu nedenle ilerideki çalışmalarda ilave elektrik enerjisini ölçen ve kaydeden sistemlerin geliştirilmesi ile daha etkin sonuçlar elde edilecektir. Ayrıca pasif soğutma yönteminde kullanmış olduğumuz alüminyum kanatçıkların geometrik tasarımları değiştirilerek farklı çalışmaların yapılması enerji verimliliğine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Albayrak, G. (2019). *Fotovoltaik Panellerin (PV) Verimliliğinin Su Soğutma İle Arttırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/476345.

Benato, A. & Stoppato, A. (2019). An experimental investigation of a novel low-cost photovoltaic panel active cooling system. *Energies* 12 (8):1448. doi:10.3390/en12081448.

Benghanem, M., Al-Mashraqi, A.A. & Daffallah, O.K. (2016). Performance of solar cells using thermoelectric module in hot sites. *Renewable Energy* 89-51-59.

Bevilacqua, P., Morabito, A., Bruno, R., Ferraro, V. & Arcuri, N. (2020). Seasonal performances of photovoltaic cooling systems in different weather conditions. *Journal of Cleaner* 272:122459.

Bilen K., Işık B., Gezer S. & Kıyık F. (2022). Hava soğutmalı fotovoltaik panellerde kanatçık tipinin soğutmaya etkisinin teorik olarak incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 25 (2):711-722.

Ceylan, İ. & Gürel, E.A. (2017). *Güneş Enerji Sistemleri ve Tasarımı,* Bursa: Dora

Çarkıt, T. & Alçı, M. (2017). Fotovoltaik Panellerde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi. 8. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı. Ankara: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.

Doğan, İ. (2006). Güneş Enerjisi Uygulamaları. İstanbul: Bileşim

Joshi, A. S., Tiwari, A., Tiwari, G.N., Dincer, İ. & Reddy, B.V. (2009). Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) (glass-to-glass) system.

International Journal of Thermal Sciences 48 (1):154–64. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2008.05.001

Kayabaşı, R. & Kaya, M. (2019). Fotovoltaik Modüllerin Atık Isılarından Termoelektrik Jeneratör İle Elektrik Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 310-324.

Kıncay, O. (2012). *Güneş Enerjisi Ders Notları,* Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul. http://www.solar-academy.com/menuis/Gunes-Enerjisi.021720.pdf

Metwally, H., Mahmoud, N.A., Aboelsoud, W. & Ezzat, M. (2021). Yearly performance of the photovoltaic active cooling system using the thermoelectric generator. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27:101252. doi:10.1016/j.csite.2021.101252.

Nizetic, S., Grubisic-Cabo, F., Marinic-Kragic, I. & Papadopoulos, M.A. (2016). Experimental and numerical investigation of a backside convective cooling mechanism on photovoltaic panels. *Energy* 111:211-25. doi:101016/j.energy.2016.05.103.

Nizetic, S., Jurcevic, M. Coko, D. & Arıcı, M. (2021). A novel and effective passive cooling strategy for photovoltaic panel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 145. doi:10.1016/j.rser.2021.111164.

Nizetic, S., Papadopoulos, M.A. & Giama, E. (2017). Comprehensive analysis and general economic-environmental evaluation of cooling techniques for photovoltaic panels, part I: Passive cooling techniques. *Energy Conversion, and Management* 149:334-54. doi:10.1016/j.enconman.2017.07.022.

Öztürk, H. & Kaya, D. (2019). *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*. Kocaeli: Umuttepe.

Öztürk, H.H. (2017). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler, *V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirile*ri 1:1-14.

Öztürk, H.H. (2008). *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, İstanbul: Birsen.

Parkunam, N., Pandiyan, L., Navaneethakrishnan, G., Arul, S. & Vijayan, V. (2020). Experimental analysis on passive cooling of flat photovoltaic panel with heat sink and wick structure. *Energy Sources Part a-Recovery Utilization and Environmental Effects* 42 (6):653-63. doi:10.1080/15567036.2019.1588429.

Sieckera, J., Kusakana, K. & Numbi, P.B. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79:193-203. doi:10.1016/j.rser.2017.05.053.

Singh, D., Chaubey, H., Parvez, Y., Monga, A. & Srivastava, S. (2022). Performance improvement of solar PV module through hybrid cooling system with thermoelectric coolers and phase change material. *Solar Energy*, 241:538–552.

Şen, H. & Uğurel, A. (2008). *Temiz Dünya Rehberi Güneş Enerjisi*. İstanbul: Doğa Sektörel.

TÜBA. (2018). Güneş Enerjisi Teknolojileri Raporu. Ankara

Yılancı, A. (2020). Termoelektrik etki ile soğutulan bir fotovoltaik panelin performansının analizi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 35 (2):619-634.

https://mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx

https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaics.html

www.gepa.enerji.gov.tr. (https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/22.aspx)

.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Seray TÜRK
Uyruğu: TC
Doğum Yeri / Tarihi: Kırklareli / 18.05.1994
E-Posta: trksry@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lise

Babaeski Anadolu Lisesi (Kırklareli/Babaeski)

Lisans

Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Programı (Karabük/Merkez)

MESLEKİ DENEYİM

- **Hema Endüstri A.Ş.**

  Pozisyon: Stajyer

  Tarih: 06.2015 – 07.2015

- **Beyçelik Gestamp**

Pozisyon: Stajyer

Tarih: 06.2016 – 07.2017

- **Sade Maya Sanayi ve Ticaret A.Ş.**

  Pozisyon: Makine Mühendisi

  Tarih: 08.2021 - Halen

SERTİFİKA BİLGİLERİ

- C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Belgesi

Sertifika No: 245408

Alındığı Kurum: ÇSGB

SEMİNER VE KURSLAR

- Ekserji Kursu ve Uygulamaları

Eğitim Kurumu: Trakya Üniversitesi Sürekli Eğitim Merkezi

Sertifika No: 39568857214-2019/196

- Fotovoltaik Panellerde Elektrik Üretiminde Sıcaklığın Etkisi ve Soğutma Yöntemlerinin İncelenmesi Semineri