

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DÜZLEMSEL YANSITMA DESTEKLİ DÜZLEMSEL
GÜNEŞ PANELİ TASARIMI – ELEKTRİK ÜRETİMİ VE
VERİM ANALİZİ**

Ahmet TURMUŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği
Program: Termodinamik

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet DURANAY

ELAZIĞ-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜZLEMSEL YANSITMA DESTEKLİ DÜZLEMSEL GÜNEŞ PANELİ TASARIMI –
ELEKTRİK ÜRETİMİ VE VERİM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet TURMUŞ
(151120112)

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Termodinamik

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet DURANAY

ELAZIĞ-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZLEMSEL YANSITMA DESTEKLİ DÜZLEMSEL GÜNEŞ PANELİ
TASARIMI – ELEKTRİK ÜRETİMİ VE VERİM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet TURMUŞ

(151120112)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.01.2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 19.01.2018

Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet DURANAY



Diğer Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk Can



Doç. Dr. Duygu Evin Deyiş



ELAZIĞ-2018

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince tüm çalışmalarımın engin bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve bana yol gösteren, tez çalışmam boyunca bana ayırdığı zamanı, paylaştığı değerli bilgileri ve önerileri için tez danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet DURANAY'a; yenilenebilir enerji kaynakları ve imalat konusunda desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Vedat TANYILDIZI'na; Bölüm Başkanı olarak yardım ve destek veren Sayın Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN'e yüksek lisans süresince değerli zamanını ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Oğuz YAKUT'a; tezin hazırlanmasından imalatın yapılmasına kadar zamanını ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Celal KISTAK'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte desteklerini esirgemeyen ve her daim yanımda olan tüm arkadaşlarıma ve dostlarıma teşekkür ederim.

Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimi tarafından maddi olarak desteklenen MF.17.29 no'lu projemize katkıda bulunan FÜBAP birimine de ayrıca teşekkür ederim.

En önemlisi bugünlere gelmemi sağlayan, her türlü destekleriyle yanımda olan ve tüm başarılarımın arkasında gizli aktör rolü oynayan aileme minnet ve şükranlarımı sunar, her şey için sonsuz teşekkür ederim.

Ahmet TURMUŞ

ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	5
2.1. Güneş Işınımı	7
2.2. Güneş Spektrumu	9
2.3. Fotovoltaik Panel Açısı ve Işınım Miktarı Hesaplamaları	11
2.3.1. Deklinasyon Açısı	11
2.3.2. Saat Açısı	12
2.3.3. Yüzey Azimut Açısı	12
2.3.4. Zenit Açısı	13
2.3.5. Yükseklik Açısı	13
2.3.6. Güneş Radyasyon Miktarı	14
2.4. Fotovoltaik Sistem Hesaplamaları	14
2.5. Güneş Işınımını Ölçme	15
2.6. Güneş Işınımı Ölçmede Kullanılan Dedektörler	17
2.7. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları	17
2.7.1. CSP Teknolojisi	17
2.7.1.1. Güneş Kulesi Sistemleri	17
2.7.1.2. Çanak Sistemleri	18
2.7.1.3. Parabolik Oluk Sistemleri	19
2.7.1.4. Fresnel Teknolojisi	20
2.7.2. PV Güneş Panelleri Teknolojisi	21
2.7.3. CPV Teknolojisi	22
2.8. Türkiye’de Güneş Enerjisi	23
3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ	27
3.1. PV’lerin Tarihi	27
3.2. PV Kullanımının Avantajları	29

3.3.	PV Kullanımının Dezavantajları.....	30
3.4.	Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi.....	31
3.5.	Fotovoltaik Sistemlerin Temel Bileşenleri	32
3.5.1.	Güneş Panelleri.....	33
3.5.1.1.	Güneş Pilleri	33
3.5.1.1.1.	Silisyum Güneş Pilleri	33
3.5.1.1.2.	Monokristal Silisyum Güneş Pilleri.....	34
3.5.1.1.3.	Ribbon Silisyum Güneş Pilleri	34
3.5.1.1.4.	Polikristal Silisyum Güneş Pilleri.....	35
3.5.1.1.5.	İnce Film Güneş Pilleri	35
3.5.1.1.6.	Amorf Silisyum Güneş Pilleri	36
3.5.1.1.7.	CIS Güneş Pilleri	36
3.5.1.1.8.	Kadmiyum Tellürid Güneş Pilleri (CdTe).....	37
3.5.1.1.9.	Galyum Arsenit Güneş Pilleri (GaAs).....	37
3.5.1.2.	Güneş Pillerinin Kıyaslanması	38
3.5.2.	Akü	39
3.5.3.	İnverter (Evirici).....	40
3.5.3.1.	Ada Tipi İnverterler	40
3.5.3.2.	Şebeke Bağlantılı İnverterler (ON-GRİD).....	41
3.5.3.2.1.	Merkezi İnverterler	41
3.5.3.2.2.	Dizi İnverterler	41
3.5.3.2.3.	Mikro İnverterler	42
3.5.3.3.	Hibrit İnverterler.....	42
3.5.4.	Akü Şarj Regülatörü	43
3.5.5.	Solar Kablolar.....	43
3.6.	PV Panellerin Performansını Etkileyen Faktörler	44
3.6.1.	İklimsel Faktörler.....	44
3.6.2.	Panelin Konumu	46
3.6.3.	Panelin Gölgelemesi	47
3.6.4.	Panelin Bakım ve Temizliği	48
3.7.	Performansı Arttırma Yolları.....	48
3.7.1.	Yoğunlaştırıcı Sistemler	50
3.7.2.	Güneş Takip Mekanizmaları.....	50
3.7.2.1.	Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	50
3.7.2.2.	Takip Eksen Sayısına Göre Sistemler.....	51
3.7.2.2.1.	Tek Eksenli Sistemler	51

3.7.2.2.2.	Çift Eksen Kontrollü Sistemler.....	51
3.7.2.3.	Kontrol Mekanizmasına Göre Sistemler.....	52
3.7.2.3.1.	Yerçekimini Kullanarak Çalışan Sistemler.....	52
3.7.2.3.2.	Açık Döngü Sistemler.....	52
3.7.2.3.3.	Kapalı Döngü Sistemler.....	53
3.7.2.4.	Güneş Takip Sistemlerinin Gerekliliği	53
3.7.2.5.	Güneş Takip Sistemlerinin Verime Etkisi	54
4.	MATERYAL VE METOD	56
4.1.	Sistem Sahası Özellikleri.....	56
4.2.	Sistem Tasarımı ve Kullanılan Elemanların Özellikleri	59
4.2.1.	Güneş Paneli	62
4.2.2.	Aynalar	63
4.2.3.	Güneş Takip Sistemi.....	63
4.2.4.	Akü	64
4.2.5.	Kontrol Paneli.....	64
4.2.6.	Wattmetre	65
4.2.7.	Dijital Termostat.....	65
4.2.8.	Sensörler	66
4.2.9.	Şalter Grubu.....	66
4.2.10.	Diğer Elemanlar.....	67
4.3.	Metod.....	67
5.	BULGULAR.....	68
5.1.	İki Ayna Etkin ve Güneş Takip Sistemi Aktif (1.Durum)	68
5.2.	İki Ayna Etkin ve Güneş Takip Sistemi Pasif (2.Durum)	77
5.3.	Tek Ayna Etkin ve Güneş Takip Sistemi Aktif (3.Durum)	84
5.4.	Tek ve Çift Aynanın Karşılaştırılması	92
6.	TARTIŞMA.....	95
7.	SONUÇLAR.....	97
8.	ÖNERİLER.....	98
	KAYNAKLAR	99
	EKLER	103
	ÖZGEÇMİŞ	122

ÖZET

Tüm dünya ülkelerinde enerji tüketiminin gün geçtikçe artmasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep ve ilgi de aynı oranda artmaktadır. Mevcut enerjinin en iyi şekilde kullanılması ve farklı enerji kaynakları arayışı ülkeler için önemli bir çalışma sahası oluşturmıştır. Güneş enerjisi potansiyeli bakımından şanslı olan ülkemizde de, bu alandaki çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez kapsamında, öncelikle güneş enerjisi, güneş enerjisi santralleri ve uygulamaları, farklı sistem teknolojileri ve yapılacak olan sistem ile ilgili genel bir literatür taraması yapılmıştır.

Fotovoltaik teknolojisinin keşfinden günümüze kadar yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, sistem elemanları, avantaj ve dezavantajları, hücre yapımında kullanılan malzemelerin dünya üzerindeki rezervleri, hücrelerin verimleri ve karşılaştırılması detaylı olarak anlatılmıştır.

Bu çalışmada, tasarımı ve imalatı yapılan sistemin elemanları kısaca anlatılmıştır. Reflektör etkisi ile yansıyan ışınların fotovoltaik panel üzerindeki etkisi gözlemlenmiş ve doğrudan gelen ışınlama ile, yansıyarak gelen ışınlamanın kıyaslaması yapılmıştır. Güneşi takip eden sistem ile uygun açıdaki sabit sistemin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca, direkt ve yansıyan ışınlama için hareketli ve sabit sistemin, teorik ve deneysel çalışma gerçek verimi hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistem, PV Teknolojisi, Güneş Pili, Yansıyan Işınlama, Düzlemsel Yansıtma, Reflektör, Panel Verimi.

SUMMARY

PLANAR SOLAR PANEL DESIGN WITH PLANAR REFLECTION SUPPORT - ELECTRICITY PRODUCTION AND EFFICIENCY ANALYSIS

The energy consumption in all the countries of the world is increasing day by day and this causes an increase for demand and interest on the renewable energy resources at the same rate. Using the current energy in the best way and searching for different energy sources have become an important field of study for the countries. Studies on this area also continue in our country which is lucky in terms of solar energy.

Within the scope of this thesis, firstly a general literature search has been made about solar energy, solar energy plants and applications, different system technologies and the system to be implemented.

The research and development studies, system elements, advantages and disadvantages, world reserves of materials used in cell making, efficiency and comparison of cells done from the discovery of photovoltaic technology to today are explained in detail.

In this study, components of the designed and produced system are briefly explained. Effect of reflected rays on photovoltaic panel was observed with reflector effect and comparison of reflected ray with direct incoming ray was made. Comparison of system following the sun and fixed system at appropriate angle was made. Also, for the direct and reflected ray, exact efficiency of theoretical and experimental work of moving and fixed system was calculated and compared.

Keywords; Photovoltaic System, PV Technology, Solar Cell, Reflected Radiation, Planar Reflection, Reflector, Panel Efficiency.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Güneşten dünyaya gelen ışıının dağılımı.....	6
Şekil 2.2.	Hava durumuna göre m^2 'ye düşen yaklaşık güneş ışıının şiddeti.....	7
Şekil 2.3.	Dünyanın yıllık ışıının şiddeti değişim grafiğı	8
Şekil 2.4.	Herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışıını	9
Şekil 2.5.	Güneş ışıını spektrumu	10
Şekil 2.6.	Güneş tayfı.....	10
Şekil 2.7.	Denklinasyon açısı.....	11
Şekil 2.8.	Saat açısı	12
Şekil 2.9.	Yüzey azimut açısı.....	12
Şekil 2.10.	Zenit açısı.....	13
Şekil 2.11.	Yükseklik açısı.....	13
Şekil 2.12.	Dağılık yansıma	15
Şekil 2.13.	Tipik piranometre örnekleri a. Termal dedektörlü b. Fotovoltaik dedektörlü ..	16
Şekil 2.14.	a. İki eksenle güneş takibi yaparak ölçüm yapan bir pirheliyometre b. Bantlı bir piranometre	16
Şekil 2.15.	Güneş kulesi uygulaması	18
Şekil 2.16.	Parabolik çanak uygulamaları.....	19
Şekil 2.17.	Parabolik oluk uygulaması	20
Şekil 2.18.	Fresnel teknolojisi.....	20
Şekil 2.19.	PV panel uygulamaları	21
Şekil 2.20.	CPV uygulaması	23
Şekil 2.21.	Türkiye'nin global radyasyon değerleri (KWh/m^2 -gün)	24
Şekil 2.22.	Türkiye'de farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları	24
Şekil 2.23.	Türkiye'nin güneşlenme süreleri (Saat).....	25
Şekil 2.24.	Türkiye'nin güneş radyasyonu	25
Şekil 3.1.	Fotovoltaik panel yapısı.....	27
Şekil 3.2.	Güneş paneli yapısı ve çalışma prensibi.....	31
Şekil 3.3.	a. Güneş pilinin çalışması b. Güneş pilinin eşdeğer devresi.....	32
Şekil 3.4.	Fotovoltaik sistem elemanları.....	32
Şekil 3.5.	Güneş pilleri.....	33
Şekil 3.6.	Silisyum güneş hücresi	33

Şekil 3.7. Monokristal güneş hücresi	34
Şekil 3.8. Polikristal güneş hücresi	35
Şekil 3.9. Amorf silisyum güneş hücresi	36
Şekil 3.10. Bakır indiyum diselenid güneş hücresi	36
Şekil 3.11. Kadmiyum tellürid güneş hücresi	37
Şekil 3.12. Galyum arsenit güneş hücresi	37
Şekil 3.13. Ada tipi inverter	40
Şekil 3.14. Merkezi inverter	41
Şekil 3.15. Dizi inverterler	41
Şekil 3.16. Mikro inverter	42
Şekil 3.17. Hibrit inverter	42
Şekil 3.18. Akü şarj regülatörü	43
Şekil 3.19. Solar kablo yapısı	43
Şekil 3.20. Sıcaklığın hücre performansına etkisi	44
Şekil 3.21. Işık kaynağından güneş piline doğru ışınımın açısal olarak geliş durumları....	46
Şekil 3.22. Gölgelemenin hücre performansına etkisi	47
Şekil 3.23. Fotovoltaik panel temizleme	48
Şekil 3.24. Tek eksenli takip sistemi	51
Şekil 3.25. İki eksenli takip sistemi	51
Şekil 3.26. Yerçekimi özelliğine göre çalışan sistemler	52
Şekil 3.27. Açık döngü sistemlerin blok diyagramı	52
Şekil 3.28. Yatay bir düzlemde güneş ışınımı	53
Şekil 4.1. Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli	56
Şekil 4.2. Elazığ ili güneşlenme süreleri(saat)	57
Şekil 4.3. Elazığ ili global radyasyon değeri(KWh/m ² -gün)	57
Şekil 4.4. Düzlemsel yansıtma destekli düzlemsel güneş paneli tasarımı a) Ön görünüş b) Arka görünüş	59
Şekil 4.5. Aynalardan yansıyan ışınların izlediği yol	60
Şekil 4.6. Sistem görünüşleri	60
Şekil 4.7. Sistem elemanları	61
Şekil 4.8. Fotovoltaik panel	62
Şekil 4.9. Ayna	63
Şekil 4.10. Kontrol paneli	64

Şekil 4.11. Wattmetre	65
Şekil 4.12. Dijital termostat	65
Şekil 4.13. LDR sensör	66
Şekil 4.14. Şalter grubu.....	66
Şekil 5.1. İki ayna etkin ve güneş takip sistemi aktif (1.Durum).....	68
Şekil 5.2. Alt ve üst panele dik gelen ışınlm miktarı (1.Durum).....	69
Şekil 5.3. Alt panel, üst panel ve çevre sıcaklıklarının zamana göre değişimi (1.Durum).....	69
Şekil 5.4. Alt ve üst panelin anlık güç miktarları (1.Durum)	70
Şekil 5.5. Üst panel sıcaklık ve güç değerlerinin zamana göre değişimi (1.Durum).....	70
Şekil 5.6. Alt panel sıcaklık ve güç değerlerinin zamana göre değişimi (1.Durum)	71
Şekil 5.7. Alt-üst panelin ışınlm ve güç değerlerinin zamana göre değişimi (1.Durum) .	71
Şekil 5.8. Alt ve üst panelin ürettiği günlük enerji miktarı (1.Durum).....	72
Şekil 5.9. Alt ve üst panelin ürettiği toplam enerji (1.Durum)	73
Şekil 5.10. Zenit ve azimut açısının hesaplanan ve ölçülen değerlerinin zamana göre değişimi.....	73
Şekil 5.11. Alt-üst panel hesaplanan (teorik) ve deneysel (gerçek) verimlerinin zamana göre değişimi (1.Durum)	76
Şekil 5.12. İki ayna etkin ve güneş takip sistemi pasif (2.Durum)	77
Şekil 5.13. Güneş paneli açısı tespit diyagramı [61]	78
Şekil 5.14. Alt ve üst panele dik gelen ışınlm miktarı (2.Durum)	78
Şekil 5.15. Alt - üst panel yüzey ve çevre sıcaklıklarının zamana göre değişimi (2.Durum)	79
Şekil 5.16. Üst panel güç ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (2.Durum).....	79
Şekil 5.17. Alt-üst panel güç ve ışınlm değerlerinin zamana göre değişimi (2.Durum).....	80
Şekil 5.18. Alt ve üst panelin ürettiği enerji miktarı (2.Durum).....	81
Şekil 5.19. Alt ve üst panelin ürettiği toplam enerji miktarı (2.Durum).....	81
Şekil 5.20. Üst panelin sabit ve güneş takip sistemli olma durumuna göre bir günde ürettiği enerji miktarı.....	82
Şekil 5.21. Üst panelin sabit ve takip sistemli olma durumuna göre ürettiği toplam enerji miktarı.....	82
Şekil 5.22. Alt-üst panel hesaplanan(teorik) ve deneysel (gerçek) verimlerinin zamana göre değişimi (2.Durum).....	84

Şekil 5.23. Tek ayna etkin ve takip sistemi pasif (3.Durum: Sağdaki ayna paneli görmeyecek durumda)	85
Şekil 5.24. Alt ve üst panele dik gelen ışınlam miktarı (3.Durum)	85
Şekil 5.25. Bir aynadan alt panele yansıyan ışınlam miktarının ölçülen ve hesaplanan değerlerinin zaman göre değişimi.....	87
Şekil 5.26. Alt panel, üst panel ve çevre sıcaklıklarının zamana göre değişimi (3.Durum)	87
Şekil 5.27. Alt ve üst panelin anlık güç miktarları (3.Durum)	88
Şekil 5.28. Üst panel güç ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (3.Durum).....	88
Şekil 5.29. Alt panel güç ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (3.Durum)	89
Şekil 5.30. Alt-üst panel güç ve ışınlam değerlerinin zamana göre değişimi (3.Durum).....	89
Şekil 5.31. Alt ve üst panelin ürettiği günlük enerji miktarı (3.Durum).....	90
Şekil 5.32. Alt ve üst panelin ürettiği toplam enerji miktarı (3.Durum).....	90
Şekil 5.33. Alt-üst panel hesaplama(teorik) ve deneysel (gerçek) verimlerinin zamana göre değişimi (3.Durum).....	91
Şekil 5.34. Tek ve çift aynanın alt panele yansıttığı ışınlam miktarı	92
Şekil 5.35. Tek ve çift aynanın alt panel yüzey sıcaklığına etkisi	93
Şekil 5.36. Tek ve çift aynanın etkisiyle alt panelde üretilen toplam enerji miktarı	93
Şekil 5.37. Tek ve çift aynanın etkisiyle alt panel verim ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi	94
Şekil E1.1. Işınlamın yansıma açıları	121

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı	26
Tablo 3.1.	Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler	38
Tablo 3.2.	Güneş pili yapımında kullanılan malzemelerin dünya rezervleri.....	38
Tablo 3.3.	Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi	45
Tablo 3.4.	GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi.....	45
Tablo 3.5.	Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi	45
Tablo 3.6.	Germenyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi.....	46
Tablo 3.7.	Işınımın geliş açısına bağlı olarak akım ve gerilimin değişimi.....	47
Tablo 3.8.	BP-585 tipindeki bir güneş paneline ait deneysel veriler.....	49
Tablo 4.1.	Elazığ'da kurulu elektrik enerjisi santralleri	58
Tablo 4.2.	Güneş paneli teknik özellikleri.....	62
Tablo 4.3.	Lineer aktüatör teknik özellikleri	63
Tablo 5.1.	Alt ve üst panelin yüzey sıcaklıklarına göre teorik ile deneysel çalışma gerçek verimi (1.Durum).....	76
Tablo 5.2.	Alt ve üst panelin yüzey sıcaklıklarına göre teorik ile deneysel çalışma gerçek verimi (2.Durum).....	83
Tablo 5.3.	Alt panele yansıyan ışınımın ölçülen ve hesaplanan değerleri ile üst panele doğrudan gelen ışınım değerleri	86
Tablo 5.4.	Alt ve üst panelin yüzey sıcaklıklarına göre teorik ile deneysel çalışma gerçek verimi (3.Durum).....	91
Tablo E1.1.	Sistem 1.durum şartlarında iken 02.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	103
Tablo E1.2.	Sistem 1.durum şartlarında iken 04.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	104
Tablo E1.3.	Sistem 1.durum şartlarında iken 05.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	105
Tablo E1.4.	Sistem 1.durum şartlarında iken 06.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	106
Tablo E1.5.	Sistem 1.durum şartlarında iken 07.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	107

Tablo E1.6. Sistem 1.durum şartlarında iken 08.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	108
Tablo E2.1. Sistem 2.durum şartlarında iken 10.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	109
Tablo E2.2. Sistem 2.durum şartlarında iken 11.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	110
Tablo E2.3. Sistem 2.durum şartlarında iken 12.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	111
Tablo E2.4. Sistem 2.durum şartlarında iken 13.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	112
Tablo E2.5. Sistem 2.durum şartlarında iken 14.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	113
Tablo E2.6. Sistem 2.durum şartlarında iken 15.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	114
Tablo E3.1. Sistem 3.durum şartlarında iken 16.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	115
Tablo E3.2. Sistem 3.durum şartlarında iken 17.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	116
Tablo E3.3. Sistem 3.durum şartlarında iken 18.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	117
Tablo E3.4. Sistem 3.durum şartlarında iken 19.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	118
Tablo E3.5. Sistem 3.durum şartlarında iken 20.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	119
Tablo E3.6. Sistem 3.durum şartlarında iken 23.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler	120

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Panel alanı (m^2)
B	: Doğrudan gelen ışınlam (W/m^2)
C	: Işık hızı (km/s)
CIS	: Bakır indiyum diselenid
CPV	: Yoğunlaştırılmış fotovoltaiik sistemler
CSP	: Yaygınlaştırılmış güneş gücü
D	: Yayılmış ışınlam (W/m^2)
DMİ	: Devlet meteoroloji işleri genel müdürlüğü
E	: Üretilen enerji (Wh)
EİE	: Elektrik işleri etüt idaresi
E_{PV}	: Anlık panel çıkış gücü (W)
G	: Güneşten gelen anlık ışınlam miktarı (W/m^2)
G_{alt}	: Alt panele dik gelen anlık ışınlam miktarı (W/m^2)
GES	: Güneş enerjisi sistemleri
G_{sc}	: Güneş sabiti (W/m^2)
G_{üst}	: Üst panele dik gelen anlık ışınlam miktarı (W/m^2)
G_{ya}	: Yansıyan ışınlam (W/m^2)
h	: Planck sabiti ($W.sn^2$)
HES	: Hidroelektrik Santrali
I_{onz}	: Yatay bir düzleme gelen günlük toplam ışınlamın aylık ortalaması (W/m^2)
I_z	: z eğim açısıyla gelen ışınlam oluşturduğu ışıma miktarı (W/m^2)
k	: Boltzman sabiti (J/K)
m	: Kütle (kg)
n	: Her ayı temsil eden ortalama gün
NASA	: Ulusal havacılık ve uzay dairesi
PV	: Fotovoltaiik
T_ç	: Ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)
TEP	: Ton eşdeğer petrol
T_{Pç}	: Panel çevresi sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_{pv}	: Panel yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
z	: Işının yatay düzleme geliş açısı (Derece)
α	: Yükseklik açısı (Derece)
α_c	: Fotovoltaik model emiciliği
β	: Elektrik verimliliği sıcaklık katsayısı ($1/K$)
γ	: Azimut açısı
δ	: Deklinasyon açısı (Derece)
δ_c	: Paket faktörü
η_0	: Standart şartlardaki panel verimi
η_c	: Sıcaklık etkisi altındaki panel verimi
η_m	: En genel panel verimi
θ_1	: Güneş'ten gelen ışınların ayna normali ile yaptığı açı (Derece)
θ_2	: Aynadan yansıyan ışınların alt panelin normali ile yaptığı açı (Derece)
λ	: Dalga boyu (m)
ρ	: Yansıtma katsayısı
τ_g	: Fotovoltaik model geçirgenliği
φ	: Coğrafi enlem (Derece)
ψ	: Zenit açısı (Derece)
ω	: Saat açısı (Derece)

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacının artması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebinde artmasına neden olmuştur. Enerji ihtiyacının, teknolojinin gelişmesi ve artan nüfus nedeniyle gün geçtikçe artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarından en yüksek verimle faydalanmayı gerektirmektedir. Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi ve uygulamaları hakkında araştırma yapılmıştır. Çalışmanın yapılacağı konuyla ilgili genel bilgilere yer verilmiştir.

Fotovoltaik sistem çalışmaları, güneş enerji santrali uygulamaları, Güneş-panel ilişkisi ve kurulu mevcut sistemlerle ilgili detaylı literatür araştırmaları yapılmıştır.

Enerji kaynaklarını yenilenebilir ve yenilenemeyen olarak iki sınıfta incelemek mümkündür. Petrol, kömür, doğalgaz gibi kullanıldığında tükenen ve tekrar oluşması çok uzun süreler alan enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynakları olarak adlandırılır [1].

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynağı olarak tanımlanır. Günümüzde Güneş ve rüzgâr enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok üzerinde çalışılan ve sıkça tercih edilen enerji türleridir. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra jeotermal enerji, biokütle enerjisi ve hidroelektrik santrallerden sağlanan enerji de yenilenebilir enerji kaynakları olarak kullanılmaktadır [1].

Ceylan vd. yaptıkları çalışmayla fotovoltaik modüllerin soğutulması için farklı PVT sistemlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, PV modül arkasına spiral boru yerleştirilerek içerisinden soğutma suyu geçirilmiştir ve sistemde ısı değiştirici görevi yaparak sistemin soğutulması sağlanmıştır. Soğutma yapılmayan PV modülün verimi %10 olarak hesaplanmışken soğutulan modül verimi ise %3 artarak %13 olarak hesaplanmıştır. [2].

Mishra ve Tiwari hibrid yaptıkları çalışmada PV termal kollektörlerin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. x ve y olarak adlandırdıkları iki farklı özelliğe sahip kollektörlerin termal enerji, elektrik enerjisi ve ekserji kazanımı parametrelerini inceleyerek analiz etmişlerdir. Bu çalışmada x olarak isimlendirilen kollektör kısmen PV modül ile kaplanırken y kolektörü ise tamamen PV modül ile kaplanmıştır [3].

Chandrasekar vd. yaptıkları çalışmada PV modüllerin Güneş'ten gelen ışınının sadece %4-17 arasını elektrik enerjisine dönüştürdüğünü ve %50 den daha fazlasının

Çalışma sırasında modülde ısı enerjisi olarak aıġa ıktıġını vurgulamışlardır. Bu nedenle modüllerin verimini arttırmak için yaptıkları çalışmada PV modülü pasif soġutma ile incelemişlerdir [4].

Bahaidarah vd. yaptıkları çalışmada PV modüllerin verimini çalışma sıcaklıġı büyük oranda etkilediġini belirterek sıcak iklim bölgeleri için arka yüzü su soġutmalı olan PV modülün verimini incelemiştir. Aktif soġutma sisteminin PV modül verimini %9 civarlarında arttırdıġını belirtmişlerdir [5].

Agrawal vd. yaptıkları çalışmada fotovoltaiik-termal (PV/T) bir havalı kolektörün iç ortam şartlarında performansını incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda ortalama elektriksel ve ısı verim sırasıyla %12,4 ve %35,7 olarak bulmuşlardır [6].

Teo vd. yaptıkları çalışmada PV modüller için bir aktif soġutma sistemi geliştirerek hibrid PVT sistem tasarımı ve imalatını yapmışlardır. Ayrıca sistemi deneysel olarak incelemişlerdir. Termal analiz yaparak ısı transferi simülasyonunda elde ettikleri sıcaklık profillerini gerçek sıcaklık profilleri ile karşılaştırmışlar ve her iki çalışmanın da birbirleriyle uyumlu olduġunu görmüşlerdir [7].

Agroui yaptıġı çalışmada, çoklu kristal güneş pillerinden oluşan PV modüllerinin farklı ortam koşulları için performanslarını incelemiştir. Çalışmada PV modül özelliklerinin belirlenmesinde laboratuvar da kullanılan metodoloji, temel prosedürler ve ölçüm aletleri anlatılmaktadır. Bu metoda göre, farklı koşullarda çoklu kristal PV modül için ana elektriksel ve ısı parametreler belirlenmiştir [8].

Boz yaptıġı çalışmada enerji kullanım alanları ile yenilenebilir enerji kaynaklarının nemi, PV sistemler ve yarıiletkenlerin özellikleri, fotovoltaiik hücrelerin çalışma prensibi, panel yapımında kullanılan güneş hücresi eşitleri, İleri teknoloji güneş hücreleri ve hücreler üzerine yapılan çalışmaları incelemiştir [9].

Gao vd. yaptıkları çalışmada paralel baġlanmış PV modülleri farklı gölge koşullarında deneysel olarak incelemişlerdir. PV modülü dört farklı ortam koşulu ile test etmişlerdir. Bunlar, i) PV modüller aġalar tarafından gölgelenen bir ortamda, yatay olarak konumlandırılmış ve hareket halinde, ii) PV modüller aġalar tarafından gölgelenen bir ortamda, yataya yaklaşık 70° olarak konumlandırılmış ve hareket halinde, iii) PV modüller korkuluklar tarafından gölgelendirilmiş, sabit ve yataya konumlandırılmış, iv) laboratuvar şartlarında 300 W yapay ışı nım ve %53 gölgeleme alanı oluşturularak testler gerçekleştirilmiştir [10].

Solanki vd. yaptıkları çalışmada fotovoltaiik termal (PV/T) bir havalı kolektörün iç ortam simülasyonunu ve testini gerçekleştirmişlerdir. Deneysel olarak incelenen PV/T sisteminin ısı %42 ve elektriksel verimi ise %8,4 olarak bulunmuştur [11].

Karamanav yaptığı çalışmada fotovoltaiik olay ve güneş hücrelerinin ilkelerini inceleyerek güneş enerjisi hakkında istatistiksel bilgileri değerlendirmiştir. Ayrıca güneş hücreleriyle ilgili deneysel çalışmayla elde ettiği verileri kullanarak güneş hücresinin akım ve gerilim değişimi grafiklerini elde etmiştir [12].

Ünal yaptığı çalışmada fotovoltaiik etki ile güneş hücresi işleminin temel ilkelerini incelemiştir. Fotovoltaiik teknolojisinin pazar payı ve dünya piyasasındaki yeri anlatılmıştır. Silisyumun, güneş hücresi üretimindeki yeri ve önemi üzerinde durulmuştur. Güneş pili üretiminde kullanılan diğer elementler de tartışma konusu olmuştur. Gelecekte dünya elektrik üretimine büyük katkıda bulunacağı hedeflenen fotovoltaiik sektörünün geçmişi ve geleceği ele alınmıştır [13].

Kenny vd. yaptıkları çalışmada ince film PV modüllerin performanslarını incelemek amacıyla bir test standı oluşturmuşlardır. Yapılan deney standıyla PV modül sıcaklığı, toplam ve difüz güneş ışınımı değerleri ölçülmüş ve ölçülen bu değerler kristal PV modülün enerji üretimini değerlendirebilmek amacıyla kullanılmıştır [14].

Küpeli yaptığı çalışmada güneş pillerinin verimlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ve verime etki eden parametreler incelenmiştir. Bu çalışmada PV dönüşüm sistemleri, bu sistemlerin yapılarındaki p-n eklemleri ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. Fotovoltaiik sistemin temel parçası olan güneş pillerinin tanımı yapılmıştır. Güneş pillerinin optik, yapısal ve elektriksel özellikleri incelenip sınıflandırılmaları yapılmıştır. Bu çalışmayla, güneş hücrelerinin verimlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır [15].

Batman yaptığı çalışmada güneş pillerinin kullanımında verimi artırmak için deneysel ve sayısal bir yöntem öne sürmüştür. Yöntem basit olup temeli, tüm hava koşulları için güneş pili modüllerinin sadece Güneşe çevrilmesi yeterli olmaktadır. Fakat bulutlu havalarda, gökyüzünden gelen ışık enerjisinin doğrultusu, şiddeti ve PV modülünün üreteceği enerjiyi tahmin etmek gerekmektedir. Gerekli verileri toplamak için İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi binasına bir ölçü düzeneği kurulmuştur. Tahmin için, verilere göre kendini sürekli olarak güncelleyen yapay sinir ağı algoritması kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, kurulan ölçü düzeneğinden alınan veriler, algoritma tarafından kullanılarak örnek bir güneş modülü yönlendirilmiştir. Güneş

modülünden alınan veriler, yorumlanarak, geliştirilen algoritma tarafından yönlendirilen panellerin daha verimli çalıştıkları sonucu elde edilmiştir [16].



2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, Güneşin çekirdeğinde oluşan füzyon tepkimeleri ile açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneş'te meydana gelen çekirdek tepkimeleri sırasında hidrojen helyuma dönüşür ve bu esnada bir miktar enerji üretilir. Güneş enerjisini engelleyen birçok etmenlere rağmen Dünya'ya küçük bir kısmı gelir. Bu küçük bir bölümü dahi Dünya'daki toplam enerji tüketiminden kat kat daha fazladır. Güneş enerjisinden faydalanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra artmış, bu çalışmalar ile güneş enerjisi sistemleri teknolojik anlamda gelişmiş, maliyet bakımından düşme göstermiş ve güneş enerjisi çevreyi etkilemeyen özelliğiyle temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [17].

Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Mesafenin bu kadar fazla olmasına rağmen Güneşten Dünya'ya ulaşan enerji, dünyada bir yılda tüketilen enerjinin 20 bin katıdır. Güneşin, 5 milyar yıl sonra tükeneyeceği hesaplanmakta ve bundan dolayı sonsuz bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir [17].

Ayrıca Güneşin merkez sıcaklığı 16 milyon °C değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Dünya'ya ulaşan enerji yaklaşık 6000 K değerindedir ve Güneşin birkaç yüz km kadar dar ve üst bölgesinden gelmektedir[18].

Güneş enerjisine ait özellikler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

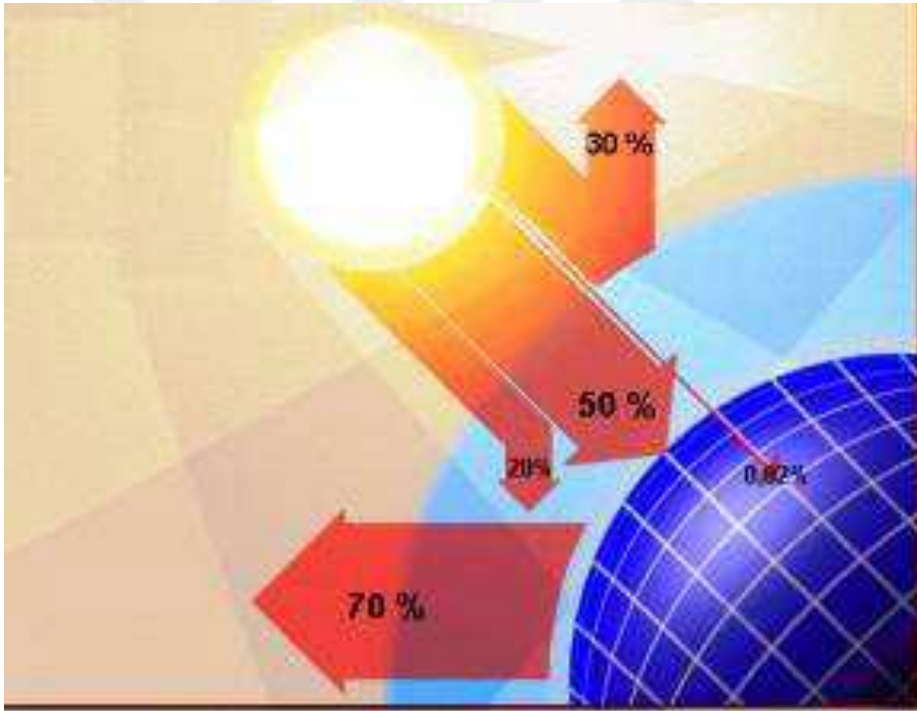
- Saf bir enerji türüdür ve karbon, duman, toz veya kükürt gibi kirletici ve zararlı etkenleri yoktur.
- Tüm dünyanın yararlanabileceği kadar yüksek enerjiye ve etkiye sahip güneş enerjisi bu özelliğiyle bütün ülkeleri kendine bağımlı hale getirmiştir.
- İlk yatırım maliyeti ve bakım masrafları dışında kaynağa herhangi bir ücret ödemeyi gerektirmeyen ve devamlılığı olan bir enerji türüdür.
- Güneş enerjisi desantralize özelliğine sahiptir. Yani bir diğer anlamla her yerde kullanılabilir, çünkü Güneş doğanın her yerindedir. Bu faydalanma dünyanın her yerinde aynı verim sonuçlarını vermese de tükenmez ve hali hazırda bir enerji kaynağı olmuştur.
- Karmaşık bir yapıya sahip değildir. Kuruluşu, işleyişi ve atığının olmamasıyla çokça talep edilen bir enerji türüdür.

- Bu enerji kaynağı özellikle yeraltı kaynaklarına göre birçok avantaja sahiptir. Örneğin ülkelerin savunma stratejilerinde yapacakları herhangi bir değişiklik, enerji türünü etkilemeyecek ve dışa bağımlılığı azaltacaktır [19].

Güneş enerjisi mevcutta bulunan enerjilerin kaynağı olarak görülmekte ve ekolojik açıdan diğer bütün enerjilerin temeli durumundadır. Termik, hidroelektrik, fosil yakıtlar, dalga, rüzgâr ve biyogaz gibi tüm enerji türleri kaynağını güneşten almaktadır [15].

Güneş'ten Dünya'ya ulaşan toplam ışıınım dolaylı (yaygın) ve dolaysız (direkt) olmak üzere iki bileşene ayrılmaktadır. Direkt ışıınım adından da anlaşılacağı gibi yeryüzüne direkt ulaşan ışıınım türüdür. Yaygın ışıınımda Dünya'ya doğrudan ulaşmayan, Dünya'ya ulaşırken yutulan ve saçılan ışıının yeryüzüne ulaşan kısmıdır. Bu ışıının belirli yön ve doğrultusu bulunmamaktadır [20].

Dünya üzerine gelen ışıınım dağılımı Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Güneşten dünyaya gelen ışıının dağılımı [21]

Güneş'ten yayılan ışıının %30 kadarı dünya atmosferinden geriye yansıtılır, %20'sini atmosfer ve bulutlar engeller, geriye kalan enerji yani %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Ulaşan bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığında bir yükselme olur ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Yeryüzüne ulaşan bu enerjiyle dünya ısınır. Bu ısınma ise rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına neden olur. Dünya yüzeyine gelen

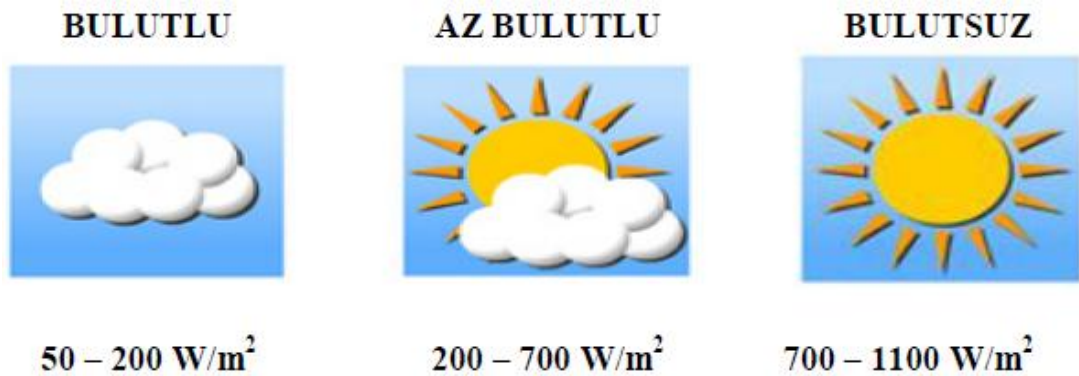
güneş enerjisinin %1'den azı bitkiler tarafından bitkisel yaşamın devamlılığı için fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığının yanı sıra karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Dünya'yı yaşanabilir hale getirirler. Güneş'ten Dünya'ya ulaşan ışınlam, sonunda ısıya dönüşür ve uzaya geri verilir [17].

2.1. Güneş Işınımı

Kelime anlamı olarak güneşin yaydığı ısı, ışık ve her çeşit elektromanyetik dalgaların bütünüdür. Işık yoğunluğu veya birim alana düşen güneş gücü miktarı ışınlam olarak ifade edilir ve birimi W/m^2 'dir [21].

Astronomik birimde güneş sabiti, G_{sc} , atmosfer dışında birim alana dikey olarak gelen güneş ışınlamının tüm dalga boylarını içeren birim zamandaki toplam güneş ışınlam enerjisidir. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Araştırmaları Merkezi (NASA) güneş sabiti değerini yaptıkları birçok ölçümden sonra $G_{sc} = 1353 W/m^2$ almıştır. Bu değer NASA tarafından 1971 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Dünya ışınlam merkezi (WRC) güneş sabiti değerini $G_{sc} = 1367 W/m^2$ olarak kabul etmektedir ve ışınlam hesaplamalarında güneş sabiti değeri olarak bu değer kullanılmaktadır [21].

Dünya'ya gelen güneş ışınlamı, Güneşe olan mesafesi ve gelen ışınlamın geliş açısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Dünya üzerinde bir noktanın güneş ışınlamı, yerin coğrafi konumuna, dünyanın yıllık devinimi esnasında Güneş ile arasındaki açının ve uzaklığın değişimine ve günlük atmosfer olaylarına göre değişim göstermektedir. Farklı atmosfer olaylarının güneş ışınlamına etkisi Şekil 2.2.'de verilmiştir [21].

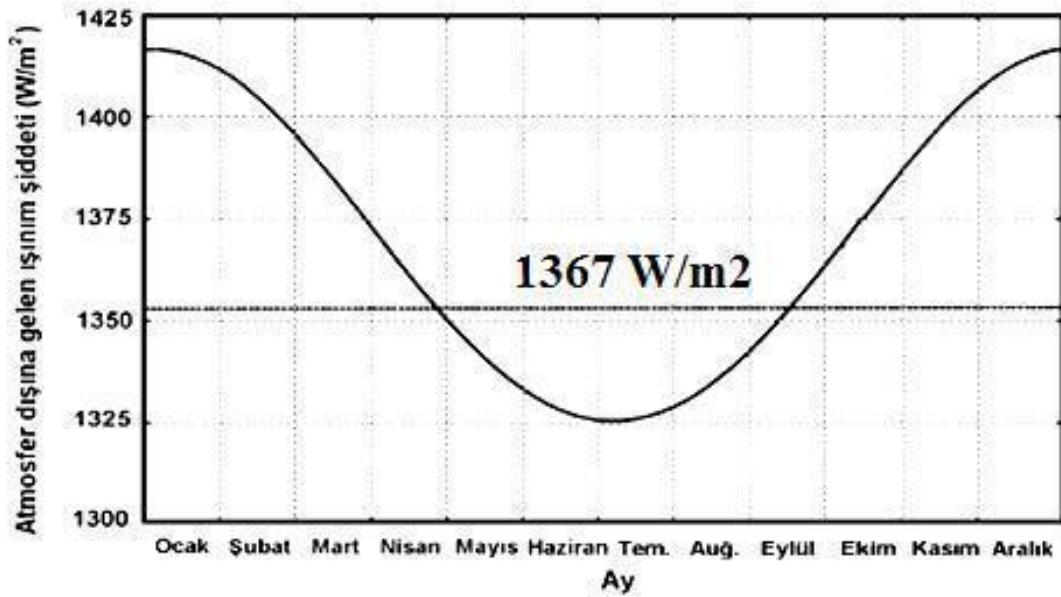


Şekil 2.2. Hava durumuna göre m^2 'ye düşen yaklaşık güneş ışınlam şiddeti [48]

Güneş'ten dünya yüzeyine düşen ışınlam şiddeti, gün içerisinde geliş açısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. En yüksek değerine günün öğle vaktinde ulaşır. Bunun nedeni,

gün içerisinde Güneş ve Dünya arasındaki mesafenin öğle vaktinde en kısa yani güneş ışınlarının atmosfer içinde izlediği yolun öğle vaktinde en az olmasıdır [21].

Yıl içerisinde Güneş ve Dünya arasındaki uzaklık ise, 3 Ocak'ta en az ve 4 Temmuz'da en fazladır. Bundan dolayı da Güneş'ten Dünya'ya gelen enerji miktarı Ocak ayında en yüksek değerde, Temmuz ayında ise en düşük değerdedir. Ocak ayında Dünya'ya ulaşan enerji miktarı 1412 W/m^2 ve Temmuz ayında ise bu değer 1322 W/m^2 değerine iner [21]. Dünya'ya gelen enerjinin yıl içindeki aşağıdaki şekilde verilmiştir.

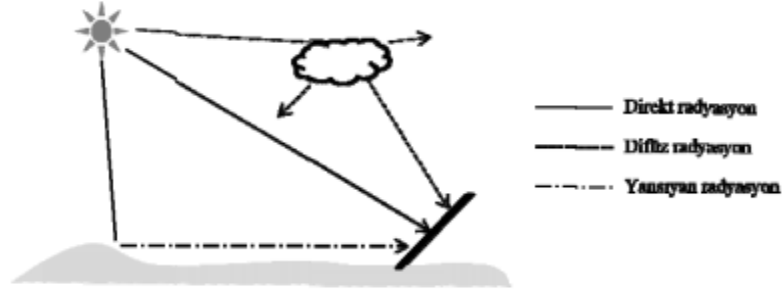


Şekil 2.3. Dünyanın yıllık ışınlam şiddeti değişim grafiği [21]

Güneş ışınları yeryüzüne ulaşmadan önce bir takım engellerle karşılaşılır. Güneş ışınlarının bir kısmı atmosferde bulunan moleküller nedeniyle saçılarak yön değiştirir ve bir kısmı da soğrularak enerjilerini belli oranda kaybederler. Saçılarak yön değiştiren ışınlama yayılmış (diffuse) ışınlam, (D), adı verilir [21].

Yayılmış ışınlamın bir bölümü uzaya doğru geri yansıtılır diğer bölümü ise yeryüzüne tekrar ulaşır. Güneş'ten bir doğru boyunca hiçbir sapma göstermeden yeryüzüne ulaşan ışınlama doğrudan (direct) ışınlam, (B), adı verilir. Bir yüzey üzerine gelen güneş ışınlarının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur, bir kısmı yansıtılır ve bir kısmı da geçirilir. Yeryüzünden yansıyan ışınlar genel adıyla albedo ismi verilir ve G_{ya} ile gösterilir. G_{ya} bir yüzey üzerinden yansıyan ışınlamın, aynı yüzey üzerine düşen toplam ışınlama oranı olarak tanımlanır. Fotovoltaik uygulamalar için albedo önemli bir etken olarak görülmekte ve yüzeyin cinsine bağlı olarak 0,2 ile 0,8 arasında farklı değerler

almaktadır. Eğimli bir yüzey üzerine gelen toplam (global), (G), güneş ışıınımlı aşağıdaki gösterildiğı gibi doğrudan, yayılmış ve yansıyan ışınların toplamıdır [21].



Şekil 2.4. Herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışıınımlı [21]

2.2. Güneş Spektrumu

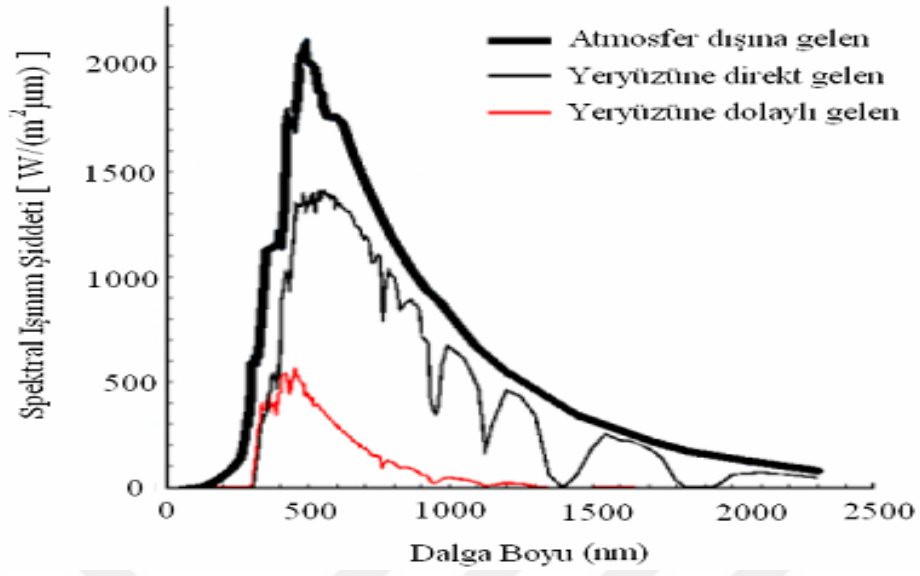
Güneş, hidrojen ve fazla olan gazların karışımından oluşmaktadır. Güneşteki hidrojen, füzyon reaksiyonu ile helyuma dönüştüğü zaman, kütle, Einstein 'in formülü $E = m.C^2$ ile uygun bir şekilde enerjiye dönüşür. Bu reaksiyon sonucunda güneş yüzeyi yaklaşık olarak 5800 K sıcaklığa ulaşır. Açığa çıkan bu enerji her yöne üniform olarak yayılır ve yayılan bu ışıma enerjisi Planck 'in siyah cisim (blackbody) ışıınımlı formülü ile şöyle ifade edilir [22]:

$$W_{\lambda} = (2.\pi.h.C^2.\lambda^{-5}) / (e^{hc/\lambda kT} - 1) \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (2.1)$$

Burada $h = 6,63.10^{-34}$ watt.sn² (Planck sabiti) ve $k = 1,38.10^{-23}$ joule/K (Boltzman sabiti), $C=300000$ km/sn (Işık hızı), λ dalga boyu (m).

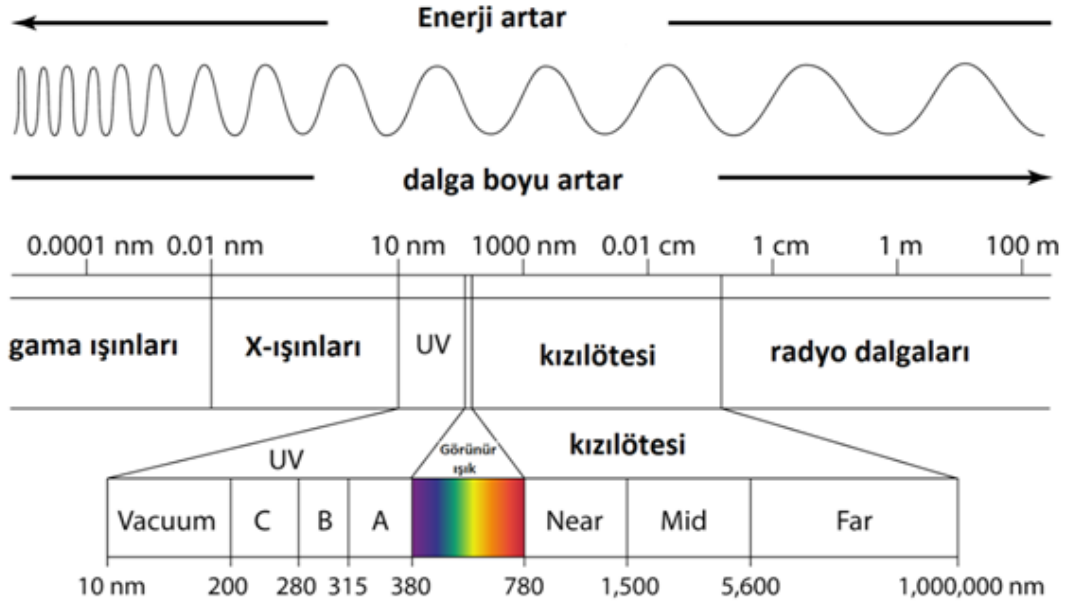
Denklem 2.1, (W/m²) olarak Güneşin yüzeyindeki enerji yoğunluğunu verir. Bu enerji Dünya'ya, 93 milyon mil mesafede geldiğı zaman, toplam atmosfer dışındaki enerji yoğunluğu 1367 w/m² 'ye düşer ve güneş sabiti olarak ifade edilir [22].

Yeryüzüne gelen güneş ışıınımlı spektrumu aşağıdaki şekil 2.5.'de gösterilmektedir [23].



Şekil 2.5. Güneş ışınımı spektrumu [23]

Güneş tayfı (Şekil 2.6), mutlak hava kütlesi, yoğuşabilir su içeriği, bulanıklık, bulutlar, atmosferdeki partiküllerin dağılımı, partiküllerin cinsi ve yerden yansıma gibi faktörlerden etkilenir [21].



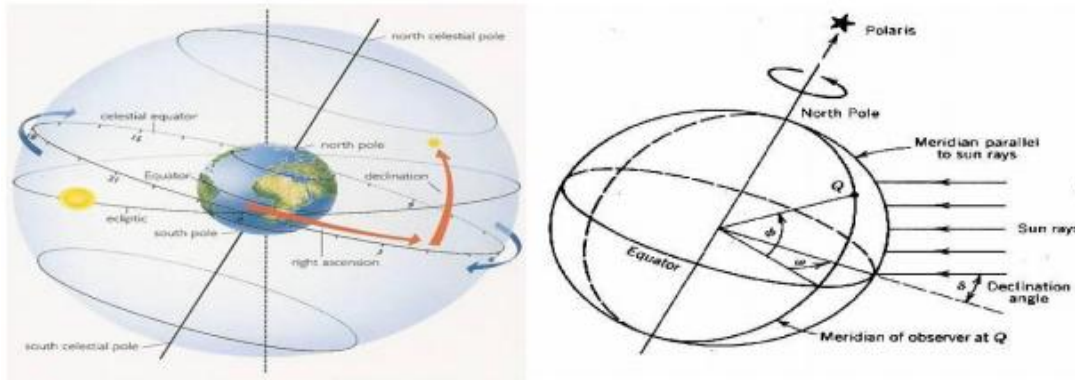
Şekil 2.6. Güneş tayfı [63]

2.3. Fotovoltaik Panel Açı ve Işınım Miktarı Hesaplamaları

Fotovoltaik sistemler için açı yani panelin güneşe göre konumu önemli bir parametredir. Fotovoltaik sistem performansı güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olduğundan, sistemden maksimum performans alınması için Güneşe en iyi şekilde yönlendirilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda panelin en yüksek verimi, güneş ışınlarının panele dik geldiği durumda gözlemlenmiştir.

2.3.1. Deklinasyon Açısı

Sapma açısı olarak da ifade edilen bu açı güneş ışınlarının geliş açısı ile dünya arasındaki açısal ilişki bakımından en önemli olanıdır. Dünya dönüş ekseninin aylara göre değiştiğinden güneşten gelen ışınların ekvator düzleminde oluşturduğu açı da değişmektedir. Eğer dünya daima sabit eksen etrafında dönmüş olsaydı deklinasyon açısı da daima sıfır olurdu [77].



Şekil 2.7. Deklinasyon açısı [77]

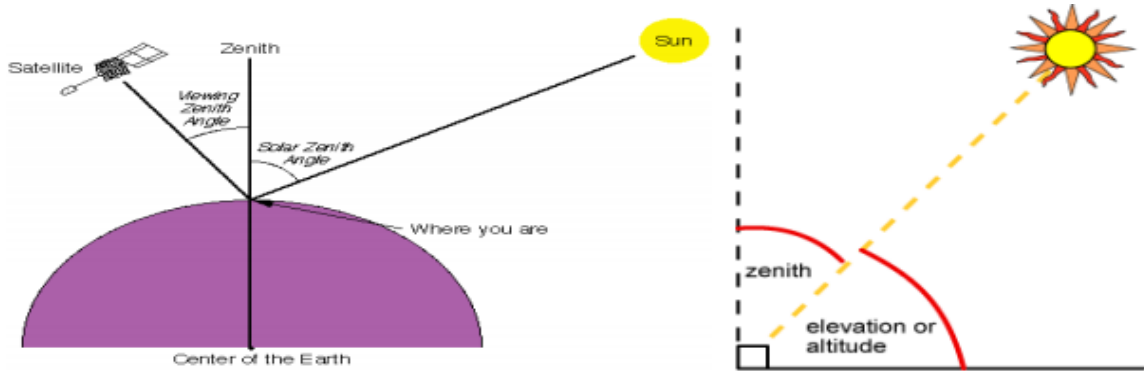
Deklinasyon açısı, yıl içerisinde $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ açıları arasında bir değer almaktadır. Deklinasyon açısı 21 Haziranda en yüksek ($23,45^\circ$), 21 Aralıkta en düşük ($-23,45^\circ$), Ekinoks noktalarında ise (21 Mart ilkbahar ekinoksu, 22 Eylül sonbahar ekinoksu) deklinasyon açısı “sıfır” olur. Deklinasyon açısının yaklaşık değerini aşağıdaki denklemden hesaplayabiliriz [77];

$$\delta = -23,45 \times \cos\{0,986 \times (n+10,5)\} \quad (2.2)$$

2.3.4. Zenit Açısı

Güneş'ten gelen ışınların yatay düzlemin dikeyi ile yaptığı açıdır. Güneşin doğuş ve batış anlarında bu açı 90° 'dir. Zenit açısı en düşük değerini saat 12.00'de almaktadır. Zenit açısını aşağıdaki denklemle ifade edebiliriz [77];

$$\cos(\psi) = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\phi) \quad (2.5)$$

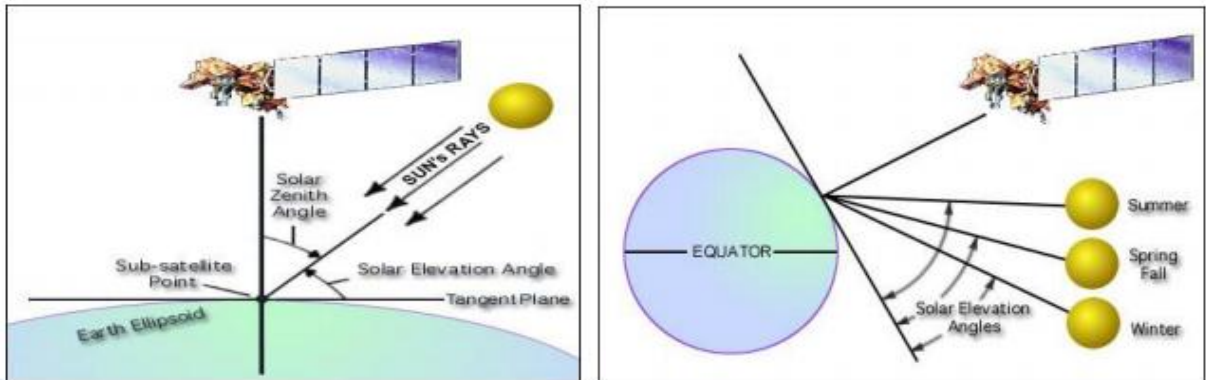


Şekil 2.10. Zenit açısı [77]

2.3.5. Yükseklik Açısı

Güneşten gelen ışınlarla yatay düzlem arasındaki açıdır. Diğer bir ifadeyle zenit açısını 90° 'ye tamamlayan açıdır. Yükseklik açısının zenit açısıyla olan ilişkisini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz [77];

$$\alpha = 90 - \psi \quad (2.6)$$



Şekil 2.11. Yükseklik açısı [77]

2.3.6. Güneş Radyasyon Miktarı

Yatay bir düzleme gelen günlük toplam ışıının aylık ortalaması (I_{onz}) denklem (2.7) ile hesaplanır [74].

$$I_{onz} = \frac{24.3600}{\pi} \cdot 1353 \cdot [1 + 0,033 \cdot \cos(\frac{360 \cdot n}{365})] \cdot [\sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \omega + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega] \quad (2.7)$$

Burada n , her ayı temsil eden ortalama gün; φ coğrafi enlem, δ deklinasyon, ω Güneşin doğuş-batış saat açısını belirtir [74].

2.4. Fotovoltaik Sistem Hesaplamaları

Fotovoltaik sistem hesaplamalarında, üretim kapasitesi ve panel verimi olmak üzere iki önemli ölçüt karşımıza çıkmaktadır. Üretim kapasitesi; panel alanı, panel verimi, güneş radyasyon miktarı ve çalışma sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır. Fotovoltaik sistemin kurulacağı yerin ilk olarak konum özellikleri ile ihtiyaç miktarı hesaplanmalıdır. Konum özellikleri ile güneş ışıma ve güneşlenme miktarı hesaplanır. İhtiyaç miktarından hareketle teorik olarak üretim kapasitesi hesaplanır ve kullanılacak olan panel sayısı yani sistem alanı belirlenmiş olur. Sistem alanının belirlenmesiyle ve güneş radyasyon miktarının hesaplanmasıyla sistem verimi elde edilir [48, 74].

Fotovoltaik panel verimi;

$$\eta_c = \eta_0 [1 - \beta(T_{PV} - 25)] \quad (2.8)$$

$$\eta_m = \eta_c \cdot \tau_g \cdot \alpha_c \cdot \delta_c \quad (2.9)$$

Burada η_0 standart test şartlarındaki ($G = 1000 \text{ W/m}^2$ ve $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) panel verimini ifade etmektedir ve değer 0,15'dir. T_{PV} panel sıcaklığı, β elektrik verimliliği sıcaklık katsayısıdır. β değeri modül malzemesine göre değişkenlik göstermektedir. Kristal silisyum bazlı malzeme için bu değer 0,0045/K dir [3].

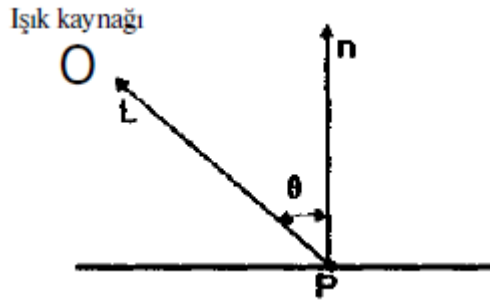
Denklem 4.2’de ise ; τ_g , α_c ve δ_c sırasıyla PV modülün geçirgenliği, modülün emiciliği ve packing (paket, sarma) faktörünü ifade etmektedir ve değerleri 0.90, 0.95 ve 0.90’dır [3].

Fotovoltaik panel anlık üretim miktarı;

$$E_{PV} = A \cdot \eta_m \cdot G \quad (2.10)$$

Burada η_m , PV modülünün en genel verim ifadesini, G anlık güneş radyasyon şiddetini (W/m^2), A fotovoltaik modül alanını (m^2) göstermektedir [48].

Lambert’in kosinüs teoremine göre bir aynadan alt panele yansıtılarak gelen ışıının miktarı aşağıdaki gibi hesaplanabilir [80].



Şekil 2.12. Dağınık yansıma [80]

$$G_{ya} = G \cdot \rho \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \quad (2.11)$$

Burada ‘ G ’ global radyasyon değerini, ‘ ρ ’ aynanın yansıtma oranını, ‘ θ_1 ’ Güneş’ten gelen ışınların ayna normali ile yaptığı açığı ($\theta_1 = 25,4^\circ$) ve ‘ θ_2 ’ aynadan yansıyan ışınların alt panelin normali ile yaptığı açığı ($\theta_2 = 53^\circ$) göstermektedir [80].

2.5. Güneş Işınımını Ölçme

Güneş ışıınıını her ne kadar varsayımlar ve teorik hesaplarla herhangi bir bölge için tahmin edilebilse de bir bölgedeki gerçek güneş ışıınıını değerlerini bulmak için ölçümler yapmak gerekmektedir. Hatta bu değerlerin daha sağlıklı sonuçlar vermesi için ölçümler uzun süreli yapılmalı ve ortalama bir değer elde edilmelidir. Çünkü herhangi bir yere, herhangi bir tarihte ve zamanda düşen güneş ışıınıını şiddeti atmosfer ve çevre şartlarından dolayı ani değişiklikler gösterebilmektedir [24].

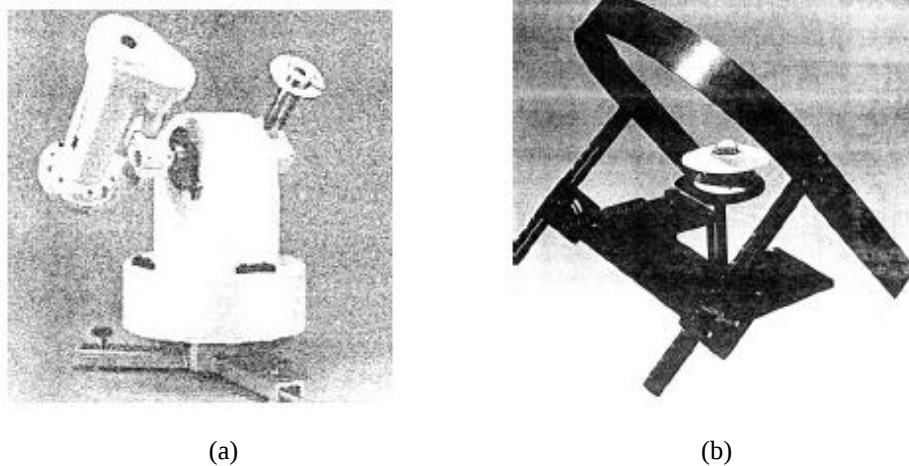
Güneş ışıını şiddetini ölçmek için iki farklı cihaz kullanılmaktadır. Bunlar, piranometre (pyranometer) ve pirheliometre (pyrheliometer)'dir [24].

Piranometre, yarı küresel bir görüş açısına sahiptir ve bu sebeple doğrudan ve dağınık olarak gelen ışıının toplamını ölçmek için kullanılırlar. Pirheliometre ise daha dar yani yaklaşık 5° bir görüş açısına sahiptir ve bu nedenle daha çok Güneş'ten gelen doğrudan ışıını ölçmek amacıyla kullanılır. Ayrıca Piranometreler direkt ışıını engelleyen bir band kullanılarak sadece dağınık ışıını ölçmek amacıyla da kullanılabilir [24].



Şekil 2.13. Tipik piranometre örnekleri a. Termal dedektörlü b. Fotovoltaik dedektörlü [24]

Pirheliometreyle doğrudan gelen güneş ışıını şiddetini ölçerken daha sağlıklı bir ölçüm için cihazın Güneşe tam dik açıyla bakması gerekmektedir (Şekil 2.14.). Eğer ölçüm belli bir süreyle sürekli yapılacaksa, cihazın güneş takip sistemiyle bütünleşik bir yapıda kullanmak gerekmektedir [24].



Şekil 2.14. a. İki eksenli güneş takibi yapan bir pirheliometre b. Bantlı bir piranometre [24]

2.6. Güneş Işınımı Ölçmede Kullanılan Dedektörler

Güneş ışıını ölçen cihazlarda dört temel tip dedektör kullanılmaktadır. Bunlar; termomekanik, kalorimetrik, termoelektrik ve fotoelektrik dedektörlerdir. Bunlar içerisinde en yaygın olarak kullanılanları termoelektrik ve fotoelektrik dedektörlerdir [24].

Termoelektrik dedektörler, seri termik çift (thermocouple) bağlantılarından oluşan termik pil kullanılır. Termik pil, bağlantının sıcak ve soğuk tarafı arasındaki farkla doğru orantılı olarak bir voltaj üretir ki bu aynı zamanda gelen güneş ışıınıyla da doğru orantılıdır [24].

Fotovoltaik dedektörler, genelde silikon fotovoltaik hücreler kullanılır [24].

2.7. Güneş Enerjisi Kullanım Alanları

Günümüzde güneş enerjisi özellikle elektrik ve ısı elde edilmesinde kullanılmaktadır. Genelde yaygın olarak çatılara konulan sıcak su kolektörleri ile ısıya dönüşüm birçok ev ve iş yerlerinde karşımıza çıkmaktadır.

2.7.1. CSP Teknolojisi

Güneş kaynaklı yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde elektrik üretim amaçlı birçok teknoloji mevcuttur. Bu teknolojiler içerisinde ilki CSP teknolojisi. Yani İngilizcesi concentrated solar power (yaygınlaştırılmış güneş gücü) anlamındadır. Yaygınlaştırılmış güneş gücü yani CSP teknolojisi en temel 4 bölümden oluşmaktadır. CSP teknolojileri aynalar ve bu aynalara bağlı bir güneş takip sistemleriyle bir alana düşen güneş ışıınlarını nispeten daha küçük bir alana veya noktaya yansıtma işlemine dayanır. Güneş'ten gelen ışıınlar bir alanda yoğunlaştırılır ve bu yoğunlaşma işlemiyle enerji o bölgedeki akışkana aktarılır. Daha sonra bu akışkan gerekli ekipmanlarla buhar türbinine aktarılması sonucu sistem tamamlanmış olur. CSP teknolojilerinde yoğunlaştırma işlemi yansıtıcı aynalar tarafından oluşmaktadır. Yoğunlaşma işlemi bu aynalar vasıtasıyla 25 ile 2000 kat artmaktadır [25, 26].

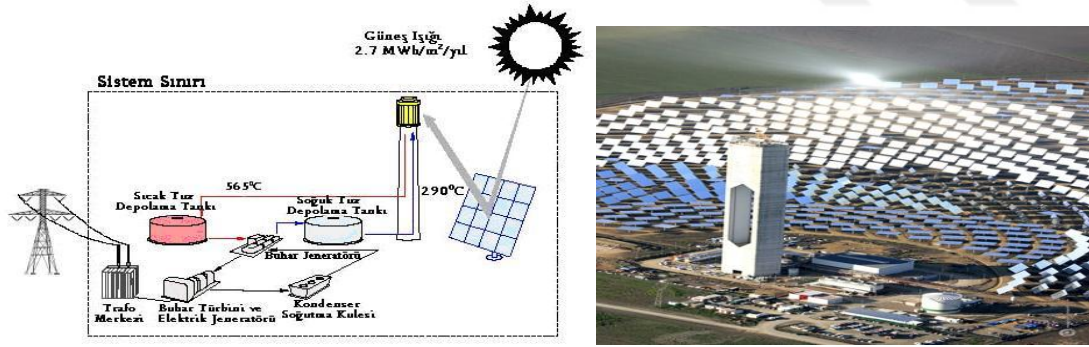
2.7.1.1. Güneş Kulesi Sistemleri

Bu sistemde, geniş bir alana yerleştirilmiş heliostat adı verilen yansıtıcılar vasıtasıyla Güneş'ten gelen ışıınları heliostat tesisinin merkezindeki kulenin tepesine odaklar. Bu yoğunlaştırma işlemiyle kule içerisinde dolaştırılan tuzlu eriyiğin sıcaklığı artırılır. Daha sonra tuzlu eriyik de biriken ısı enerjisi türbin-jeneratör sistemiyle elektrik

eldesin de kullanılır. Kısacası güneş ışınları toplayıcı bölgesinde yoğunlaştırılarak yüksek ısı enerjisi elde edilir. Elde edilen bu ısı enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemler yüksek kurulu güce sahip ve ortalama 30-400 MW arasındadır [27].

Kulenin odaklama bölgesi içerisinde ısı transfer akışkanı bulunmaktadır. Bu akışkan kule içinde doymuş buhar halinde olup ve ardından kuleden inerek buhar türbinine ve oradan da jeneratöre giderek elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Zor bir sistemdir. Çünkü iki eksen takip sistemlidir. Kulenin odak noktası olması ve yüksekliğinin fazla olması sebebiyle projenin gerçekleştirilmesi sırasında dezavantajları mevcuttur [27]

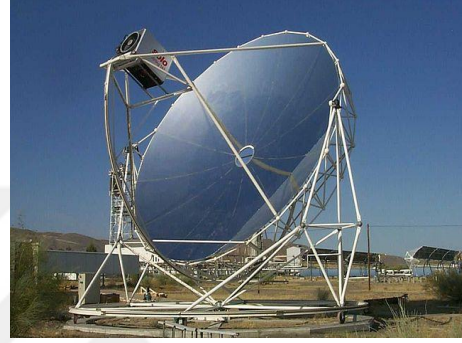
Bu sistemler farklı şekillerde tanımlanabilirler. Yani sistemde kullanılan ısı transfer akışkanı, sistemin ısı depolama ortamı ve güç dönüşüm sistemine bağlı olarak farklılık gösterirler. Bu sistemler de ısı transferi akışkanı olarak eriyik nitrat tuzu, su/buhar, sıvı metaller veya hava kullanılır. Isının depolanması, faz değiştiren maddeler veya seramik briketler vasıtasıyla sağlanır. Güneş kulesi sistemlerinde genel olarak Rankine buhar çevrimi uygulanmakla birlikte alternatif olarak ise açık çevrimli Brayton güç dönüşüm sistemi de kullanılabilir. Bu sistemlerde yoğunlaştırma oranı 300 ile 1500 arasında değişir ve sıcaklık ise 550°C'dan 1500°C'a kadar çıkabilir [27].



2.7.1.2. Çanak Sistemleri

Güneşi sürekli iki eksenle takip ederek, güneşten gelen ışınları sürekli olarak odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Odaklama noktasından dolaşım yapan bir akışkan sayesinde termal enerji ya da odak bölgesine monte edilen bir Stirling motoru yardımıyla elektrik enerjisi elde edilir. Çanak-Stirling birleşimiyle odak bölgesine yoğunlaştırılan güneş ışınları önce ısı enerjisi daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülür. Elektrik enerjisi elde edilmesinde %30 civarında verim elde edilmiştir [28].

Bu sistemde yoğunlaştırılan ışınlam sonucunda asıl enerji mekanik bir harekete ve kullanılan stirling motoru vasıtasıyla bu hareket elektrik enerjisine dönüştürülür. Güneş takip sistemli çift eksenli bir ekipman gerekmektedir. Sistem, hem küçük hem de modüllerin bağımsız olması özelliğiyle diğer CSP teknolojilerinden ayrılır. Sistemin verimi yüksektir ve tekrar sökülüp montajlanabilme özelliğine sahiptir. GES'ler içerisinde bu sistem %30'luk yüksek kapasite faktörüne sahiptir [29].



Şekil 2.16. Parabolik çanak uygulamaları [29]

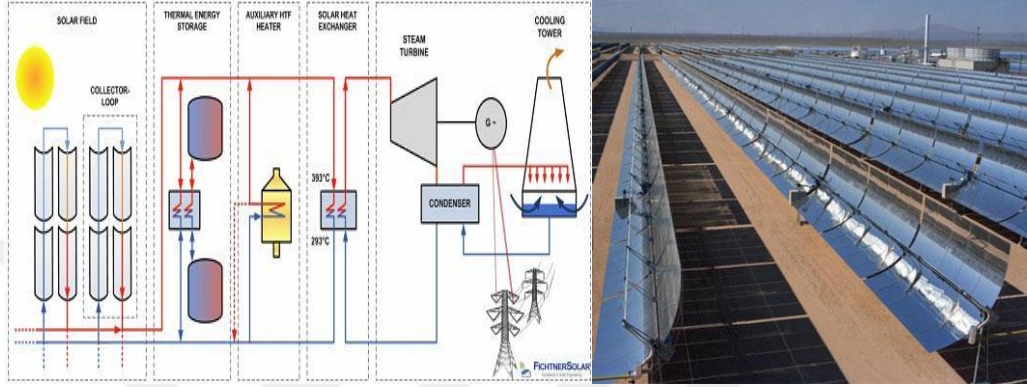
2.7.1.3. Parabolik Oluk Sistemleri

Bu sistemlerde çizgisel yoğunlaştırma yapılarak, Güneş'ten gelen ışınlar bir çizgi boyunca toplanır. Yoğunlaştırılan bu bölgede ısı enerjisi, ısı transfer akışkanı olarak kullanılan termal yağlara aktarılır. Bu bölgede 300°C'nin üzerinde sıcaklık elde edilir. Bağımsız üniteler şeklinde birbirine paralel olarak bağlanan parabolik kollektör grupları güneş tarlası adı verilen alanlar oluşturur [28].

Bu sistem mevcutta bulunan güneş ısı-elektrik teknolojileri içerisinde en yerleşmiş olanıdır. Geniş alanlı parabolik oluk kollektörleri bir Rankine buhar türbin/jeneratör çevrimi için buhar üretmede kullanılan ısı enerjisi karşılarlar. Bu sistemlerde, Güneş'ten gelen ışınlar yüksek yansıtma oranına (%94) sahip aynalar vasıtasıyla, odakta bulunan alıcı boru üzerine yansıtılır. Bu sistemlerde tek eksenli takip mekanizması kullanılarak Güneş'ten maksimum şekilde faydalanılır. Sistemde ışık algılayıcı bir sensör ve otomasyon-takip mekanizması bulunur. Güneş'ten gelen ışınları lineer bir alıcıya sürekli odaklama yapabilmesi için kollektörler Güneşi doğudan batıya doğru izler. Güneş alanları kuzey-güney yatay ekseninde dizilmiş çok sayıda birbirine paralel olarak bağlantı yapılmış dizilerden oluşur [28].

Bu sistem çöllerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kulelerden yoğunlaşan su buharları kollektörler üzerinde gölge meydana getirmesi sistemin en büyük dezavantajıdır.

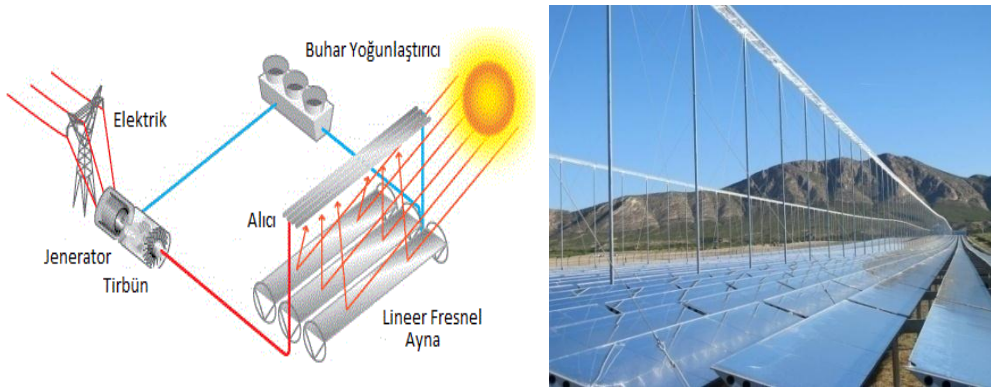
Bu sistemde, parabolik oluklarda erimiş tuz, fuel-oil, mineral yağ transfer işlemini gerçekleştiren akışkan olarak görev yapmaktadır. Sistem çalışma sıcaklıkları yaklaşık 400-500°C arasında olup, basit ve maliyeti düşük sistemlerdir. Parabolik güneş enerjisi sistemleri diğer CSP güneş enerjisi teknolojileri arasında en fazla verim elde edilen teknolojidir [29].



Şekil 2.17. Parabolik oluk uygulaması [28]

2.7.1.4. Fresnel Teknolojisi

Sistem yapı itibarı ile parabolik oluk sistemlerine çok benzemektedir. Parabolik oluk kollektörlerinde olduğu gibi gelen güneş ışınları yansıtıcı aynalar tarafından alıcı bölgeye yansıtılır. Bu sistemin, parabolik oluk sistemine göre en büyük avantajı daha ucuz ve daha az yer kaplamasıdır. Fresnel teknolojisinde kullanılan aynalar güney-kuzey yönünde uzanmaktadır. Gelen ışınları alıcıya yoğunlaştırıp, tüpler içerisinden geçen sıvıyı ısıtır. Bu sistemlerin en önemli özelliklerinden birisi de kum fırtınası veya dolu yağması halinde kendini kapatıyor olmasıdır. Bu sistemdeki alıcı, kısa dalga boylu radyasyonu soğurarak, uzun dalga boylu radyasyonun yayılması özelliğine sahiptir [30].



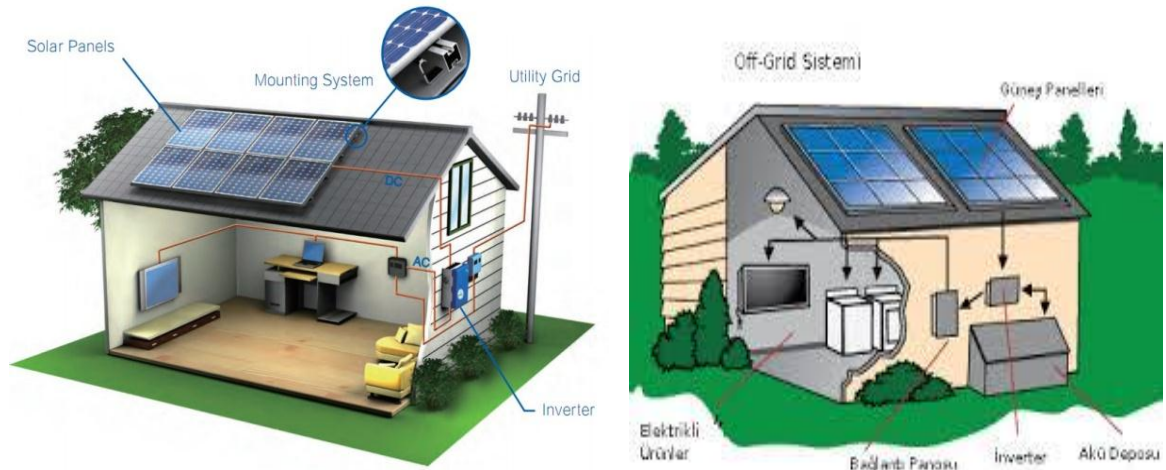
Şekil 2.18. Fresnel teknolojisi [30,65]

2.7.2. PV Güneş Panelleri Teknolojisi

Bu sistem tezin ana konusunu oluşturur. Yüzeysel olarak, kullanım çeşitleri ve kullanılan sistem elemanlarından bahsedelim. İleri bölümlerde sistemle ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki ana başlıkta incelemek mümkündür. Şebekeden bağımsız olarak kurulan sistemler kurulacak yerin enerji ihtiyacına göre tasarlanmaktadır. Fakat üretilen enerji miktarı, tüketicilerin anlık enerji ihtiyacından fazla olduğu için genellikle bu sistemlerde akü kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız olarak kurulan yerlere örnek olarak; tekneler ve karavan araçlar verilebilir. Kent merkezine uzak yerlerde, yazlıklarda ve şebekeden uzak kırsal alanlarda çokça tercih edilmektedir. GSM baz istasyonlarında, trafik levha ve lamba aydınlatmalarında, çağrı direkleri ve şebekeye uzak tüm bölgelerde kullanılmaktadır [29].

Dünya üzerinde kurulu PV güneş panellerinin büyük bir kısmı şebekeye bağlı sistemlerdir. Bu sistemler şebekeye bağlı olduklarından aküye gereksinim duymaksızın üretilen enerji doğrudan şebekeye verilir. Bu sistemlerde üretilen enerji bir eviriciden geçtikten sonra şebekeye verilir. Bazı yerlerde ise iki sistemin kombine hali karşımıza çıkmaktadır. Şebekeye bağlı ancak bir yerin de enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan bu sistemler enerji ihtiyacından arta kalan enerjiyi şebekeye gönderir. Böylelikle kullanılmayan enerji şebekeye gönderilip değerlendirilmektedir [29].



Şekil 2.19. PV panel uygulamaları [66]

2.7.3. CPV Teknolojisi

Yoğunlaştırılmış sistem olan bu modelin elektrik üretimi yöntemi CSP'lerden tamamen farklıdır. CPV sistemlerinde PV hücreler yardımıyla ışık elektriğe dönüşmektedir. Bu düzenekte herhangi bir termodinamik prosesten bahsedilmemektedir. Bu düzeneklerin en önemli özelliği yoğunlaştırmanın yüksek oluşudur. Bu modellerde yoğunlaştırmanın 100 ile 900 kat düzeyinde olduğu durumlarda %40-41 arasında bir verime sahip olduğu belirtilmiştir [31].

Spire şirketinin kurucusu Roger G. Little'a göre, malzeme maliyeti, yakın gelecekte fotovoltaiik hücre üretim maliyetine yön verecektir. Bu maliyetin azaltılması bir anlamda güneş ışımasının daha küçük fotovoltaiik hücreler üzerinde yoğunlaştırılmasını ifade eder. Bu hücreler yüksek verimli olup diğer PV'lere göre daha pahalıdır ve aynı zamanda teorik olarak %40 verimliliğe sahiptir. Fakat bu değerlere sadece laboratuvar şartlarında ulaşılabilmektedir [32].

Güneş'ten gelen ışınlar bir lens vasıtasıyla hücre üzerine odaklandırılır. Hücreler daha geniş spektrumlu güneş ışınlarını yakalamak üzere tasarlanmışlardır. Bu tasarım itibariyle karmaşık ve pahalıdır. Konsantre fotovoltaiik güneş enerjisi sistemleri (CPV) ilk yatırım maliyeti yani sistemin pahalı oluşu sebebiyle günümüzde küçük bir pazar payına sahiptir. Fakat teknolojinin sürekli gelişmesiyle watt başına fiyatı günden güne düşmektedir. Bundan dolayı sisteme olan talebin artması beklenmektedir [32].

Konsantre fotovoltaiik güneş enerjisi sistemleri (CPV) yapı itibariyle Güneş'ten gelen ışınları küçük bir alana odaklar. Sistem en yüksek verimle çalışması için iki eksenli güneş takip mekanizması gerekmektedir. Yoğunlaştırma sonucu hücreler üzerinde yüksek sıcaklık değerleri görülür. Hücre üzerinde oluşan ısı, hücreleri olumsuz yönde etkiler. Bu durum hücrelerde verim kayıplarına ve hücre ömürlerinin de kısılmasına sebep olur. Işıma (radyasyon), küçük hücreler üzerinde yoğunlaştırıldığı ve hücrelerin ısınısını artırdığı için bu konu çok önemlidir. Bu durum göz önünde bulundurulmazsa ileride sistemin maliyetinin artmasına sebep olur ya da pasif bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulması şeklinde karşımıza çıkar [32].



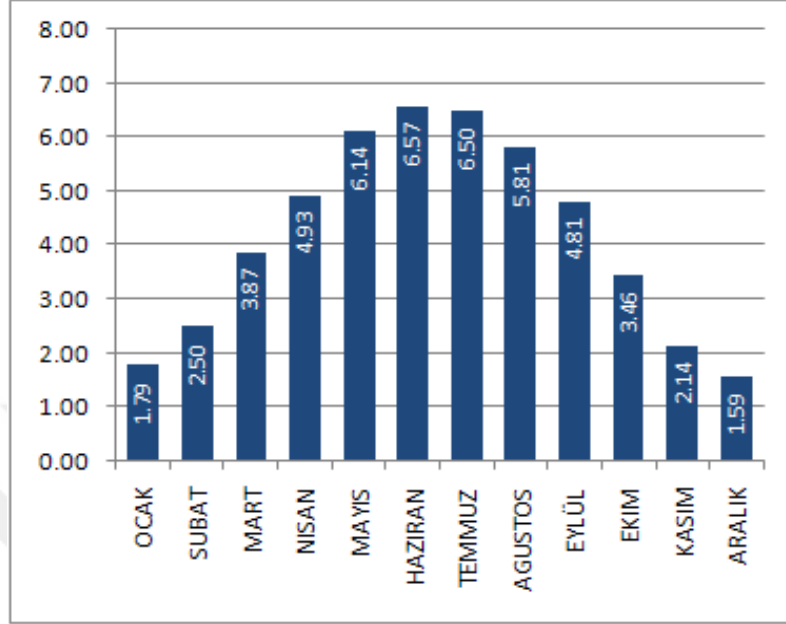
Şekil 2.20. CPV uygulaması [22]

2.8. Türkiye’de Güneş Enerjisi

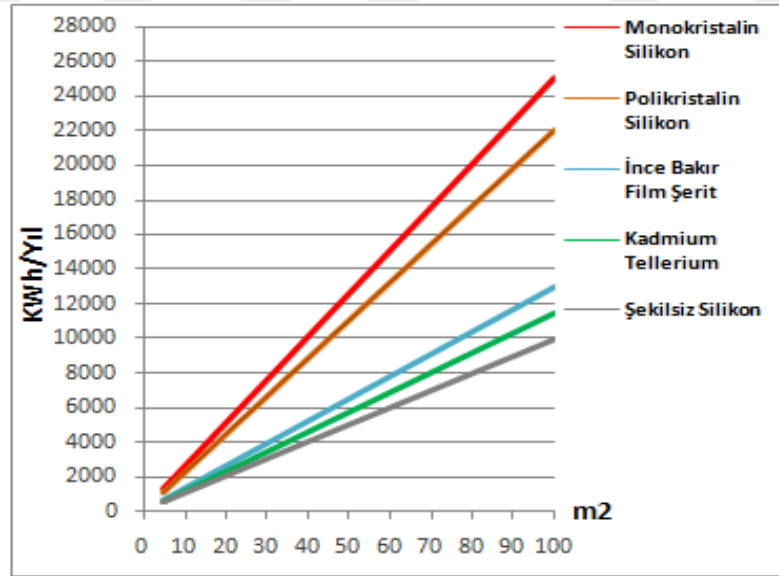
Türkiye, matematik konumu itibariyle $36-42^{\circ}$ kuzey enlemleri ve $26-45^{\circ}$ doğu meridyenleri arasında yer almaktadır. Dünya üzerinde bu alana gelen yıllık ortalama güneş ışıınımı $1303 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve bu alanın ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir. Bu değerler günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$ güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamda ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. 9,8 milyon TEP ısı uygulamalara olmak üzere yıllık 36,2 milyon TEP enerji potansiyeli mevcuttur. Yılın on ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak toplam ülke yüzölçümünün % 63’ünde ve tüm yıl boyunca %17’sinden yararlanılabilir [33].

Ülkemiz, sahip olduğu coğrafi konumuyla enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneş’ten anlık etrafa yayılan enerji dünyanın bir yılda tükettiği enerjiye kıyasla kat kat fazladır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat). Ortalama toplam ışıınım şiddeti $1311 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ (günlük toplam $3,6 \text{ kWh/m}^2$) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek güneşlenme süresine sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metrekaresinden ortalama olarak 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir [34].

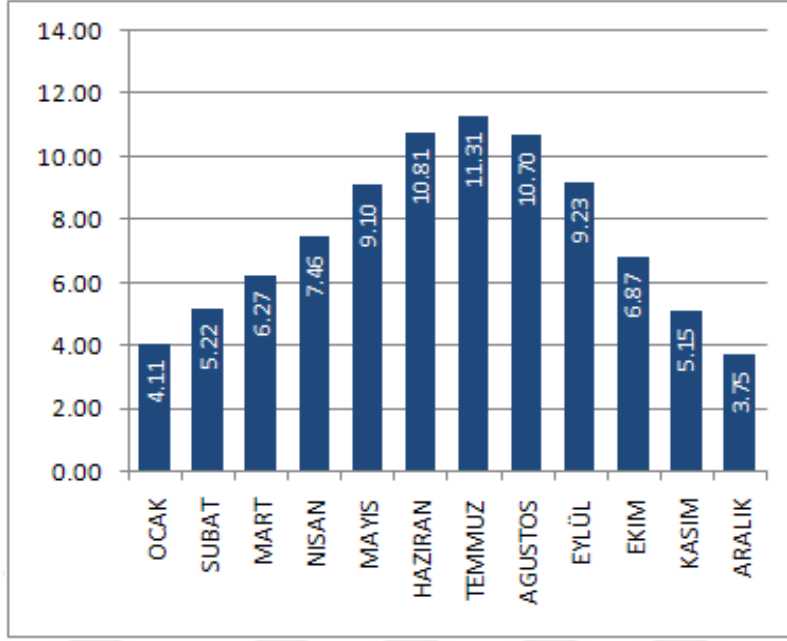
Türkiye'nin aylara göre güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 2.21. Türkiye'nin global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün) [30]

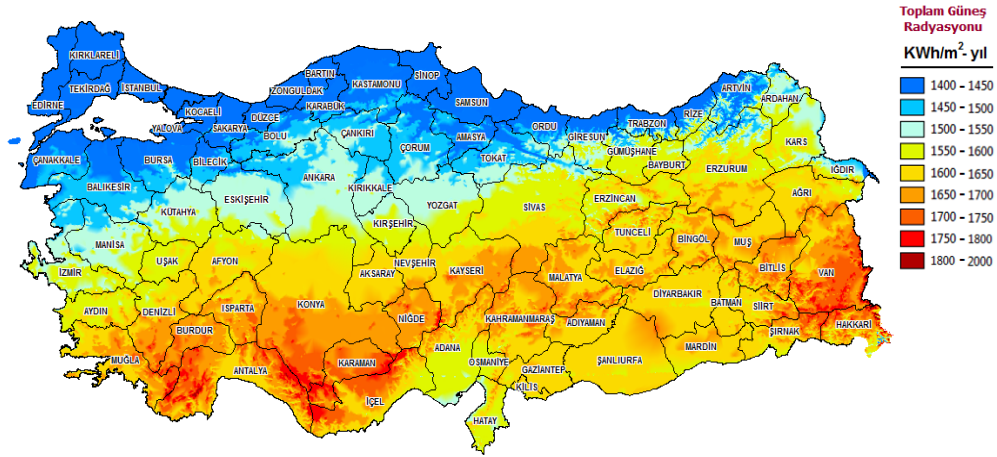


Şekil 2.22. Türkiye'de farklı PV paneller için elde edilecek enerji miktarları [30]



Şekil 2.23. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (Saat) [30]

Grafiklerde de görüldüğü gibi Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları sırası ile Haziran ve Aralık aylarıdır. Güneşlenme süresi olarak ise en yüksek Temmuz en düşük Aralık ve Ocak aylarıdır.



Şekil 2.24. Türkiye'nin güneş radyasyonu [30]

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli değerlerinin bölgelere göre dağılımı da yukarıdaki şekilde verilmiştir [17].

Ancak, yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye'nin gerçek güneş enerjisi potansiyeli yukarıdaki değerlerden daha az olduğu görülmüştür. Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. Böyle olmasının nedenleri arasında, öncelikle DMİ'nin güneş enerjisi ölçümleri, enerji amaçlı değil de tarımsal klimatoloji amaçlı ölçmüş olması, kullanılan güneş radyasyonu ölçüm cihazlarının düşük hassasiyette olması ve zamanla istasyonların şehir içinde kalması yer almaktadır. EİE ve DMİ 1992 yılından itibaren alınan verilerin daha sağlıklı olabilmesi için enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri yapılmaktadır. EİE'nin ölçü yaptığı 8 istasyondan alınan yeni ölçümler ve DMİ verileri yardımı ile 57 ile ait güneş enerjisi ve güneşlenme süreleri değerleri hesaplanarak bir kitapçık halinde basılmıştır [17].

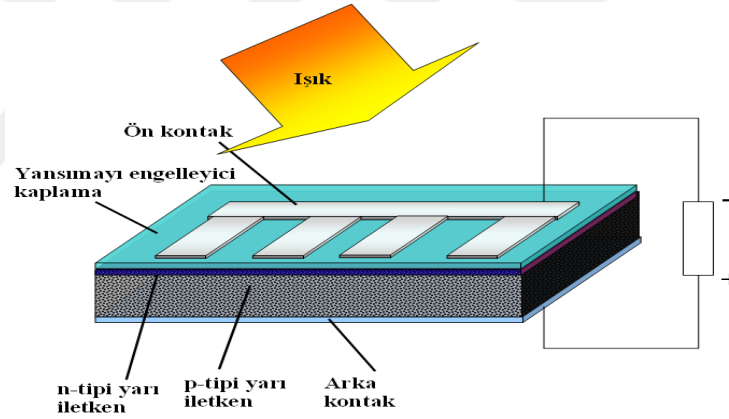
Tablo 2.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [17]

BÖLGE	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Genel olarak Türkiye'nin en çok ve en az güneş enerjisi üretilecek ayları sırası ile Haziran ve Aralık olmaktadır. Bölgeler arasında ise öncelikle Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz sahilleri gelmektedir.

3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİSİ

Fotovoltaik, görünür ya da diğer ışınların etkisi altında elektriksel gerilim farkı (voltaj) üretebilme özelliğidir. Fotovoltaik, kelime anlamıyla ışık anlamına gelen foto ve elektrik anlamına gelen voltaik sözcüklerinin birleştirilmesiyle meydana gelmiştir. Fotovoltaik teknolojisi Güneş'ten gelen ışınları doğrudan kullanılabilir güce çevirir. Kısacası ışıktan elektrik üreten sistemlerdir. Fotovoltaik pil ise fotovoltaik özellik sonucunda enerji üreten yapılardır. Yaygın olarak fotovoltaik pil olarak adlandırılrsa da, kendi kendine üreten pil, güneş pili, fototronik fotopil olarak da adlandırılmaktadır. Dolayısıyla bu sistemler yüzeylerine düşen ışınları kullanarak doğrudan elektrige çeviren yarı iletken malzeme içeren ve mevcutta yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çevreci olan yapılardır [35].



Şekil 3.1. Fotovoltaik panel yapısı [35]

3.1. PV'lerin Tarihi

PV'lerin zaman içerisindeki gelişimleri yıllara bağlı olarak aşağıda özetlenmiştir.

Güneşin bilimsel olarak konumu çok uzun yıllar önce teknolojiye yerini almıştır. Milattan önce 7.yy.'da, güneş ışınlarının yansıtıcı bir malzeme yardımıyla bir noktada odaklanmasıyla ateş yakıldığı bilinmektedir. İlk kez 1839 yılında Fransız bilim insanı Edmond Becquerel tarafından, iletken solüsyona koyulan iki elektrotun ışığa maruz kaldığında elektrik enerjisi ürettiği çeşitli denemeler sonucunda keşfedilmiştir [36].

- 1873 yılında selenyum elementinin foto iletkenliği Willoughby Smith tarafından keşfedilmiştir.

- 1876 yılında William Grylls Adams ve Richard Evans Day tarafından selenyum elementinin ışığa maruz kaldığında elektrik ürettiği keşfedilmiştir.
- 1883 yılında Charles Fritts tarafından ilk çalışan selenyum hücresi yapılmıştır.
- 1905 yılında Albert Einstein izafiyet teorisinde fotoelektrik efektini ortaya atmıştır.
- 1914 PV aygıtların içindeki geçiş katmanı (barrier layer) kaydedilmiştir.
- 1916 yılında Robert Millikan, Einstein'ın ortaya attığı fotoelektrik etkiyi deneysel olarak ispatlamıştır.
- 1918 yılında Polonyalı bilim adamı Jan Czochralski monokristal silisyumu geliştirmiştir.
- 1931 yılında Alman Bruno Lange de selenyum bazlı bir güneş hücresi üretmiştir. Ancak bu hücrenin verimi %1 civarlarında kalmıştır [37].
- 1932 yılında Stora ve Audobert Cadmium-Selenide (CdS) kullanarak uzun bir süre kullanılacak olan fotovoltaiik bir yöntem keşfetmişlerdir.
- 1946 yılında Russel Ohl ilk modern güneş pili patentini almıştır.
- 1951 yılında ilk germanyum esaslı güneş hücresi bulunmuştur
- 1954 yılında Bell Laboratuvarında yapılan geliştirmeler ile verimi %4'lere kadar ulaşabilen silisyum tabanlı güneş pili üretilmiştir.
- 1955 yılında Western Elektrik silisyum PV teknolojilerini satma ticari ruhsatını almıştır.
- 1956 yılında RCA Laboratuvarları tarafından fotovoltaiik hücrelerin dünya uydusu olarak geliştirilme önerisi sunulmuştur.
- 1957 yılında Hoffman Electronic yaptığı araştırma ve geliştirmeye PV hücrelerinin verimini %8'lere çıkarmıştır.
- 1958 yılında Hoffman Electronic yaptığı çalışmalar neticesinde PV hücrelerde %9'luk verim elde etmiştir. Küçük bir PV dizisi (1 watt civarında) Vanguard I uydusunda radyo dalgası için kullanılmıştır [38].
- 1959 yılında Hoffman Electronic devam eden çalışmalar ile PV hücrelerde %10'luk verim elde etmiştir. Ağustos Explorer VI uydusu 9600 güneş hücreli PV dizisiyle (her birinin ölçüsü 1cmx2cm) uzaya fırlatılmıştır.
- 1960 yılında Hoffman Electronic PV hücrelerde %14'lük verim değerine ulaşmıştır.

- 1993 yılında Pacific Gas & Electric tarafından Kaliforniya’da yapılan PV sistemi şebekeye bağlı olup 500 kW enerji üretimi gerçekleştirilmiştir.
- 1994 yılında The National Renewable Energy Laboratuvarları galyum indiyum fosfit ve galyum arsenid kullanarak geliştirdikleri hücrede PV tarihi boyunca en yüksek %30’un üzerinde verim elde edilmiştir.
- 1995 yılında Almanya’da şebekeye bağlı olan PV sistemlerinden üretilen fazla elektriğe ödeme yapılması kabul edilmiştir.
- 1996 yılında dünyanın ilk güneş enerjili uçağı olan Icare Almanya üzerinde uçurulmuştur. Uçağın kanat ve kuyruğunda toplam 3000 adet (21 m²) süper verimli hücreler kullanılmıştır. Bu tarihte ilk renkli PV hücreleri de yapılmıştır.
- 1998 yılında bilim adamı ve mucidi olan Subhendu Guha çatıya doğrudan monte edilen ve geleneksel asfalt şingillerinin yerini alacak esnek şingil icat etmiştir.
- 2000 yılında uluslararası Uzay İstasyonunda kanatlara yerleştirilen 32800 adet güneş hücresiyle en geniş güneş enerjili güç sistemi kurulmuştur.
- 2001 yılında NASA’nın güneş enerjili uçağı Helios (96,863 fit) rekor kırmıştır. TerraSun LLC şirketi tarafından holografik filmler kullanılarak transparan modüller çatı penceresi olarak kullanılmaya başlanılmıştır.
- 2002 NASA’nın uçağı olan Pathfinder Plus insansız olarak uçurulmuştur [39].

3.2. PV Kullanımının Avantajları

Fotovoltaik sistemlerin kullanım avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Temiz, canlılara zararsız, çevreci ve atık içermeyen bir enerji türüdür.
- Karbondioksit salınımı olmadığından sera gazı etkisi ve küresel ısınma olmaz.
- Modüler bir sistem olan PV’ler, rahatlıkla taşınabilir ve ihtiyaç halinde sisteme ilave yapılabilir.
- Hareketli bir parçası olmadığından sessiz çalışır, işletme ve bakım maliyetleri ise diğer sistemlere göre daha azdır.
- Elektrikte kaçak ve iletim kayıpları en aza indirilir.
- İhtiyacı halinde birey, kurum ve kuruluşlara elektrik üretimi imkânı sağlar.
- Elde edilmek istenen bu enerji her yerde, her bölgede ve her mevsimde üretilebilir.
- Sistem yapı itibarıyla kolay, pratik ve kısa zamanda kurulum imkânına sahiptir.
- Kaynağını güneşten aldığı için yerli ve yenilenebilir bir teknolojidir.

- Mevcut yapıların kendi elektriğini üretmesine imkân sağlar.
- Mevcut enerji altyapısına destek sağlar.
- Güneş radyasyonunun elektriğe dönüştürülmesinde en fazla verim elde edilen sistemdir.
- 1 Watt değerinden 1 MW değerlerine kadar enerji üretilebilir.
- Teorikte kullanım ömürleri sonsuz olmasına rağmen pratikte yapılan araştırmalar sonucunda performans sorunları yaşanmaması için 20 yıl ile sınırlandırılmıştır.
- Silisyum doğada bol miktarda bulunduğu için, hammadde temininde ve üretimde herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.
- İstenilen güç değerlerini elde etmek için sisteme istenilen oranda ekipman ilave edilebilir.
- Çatı kaplaması veya dış cephe elemanı olarak kullanılması mümkündür [40-44].

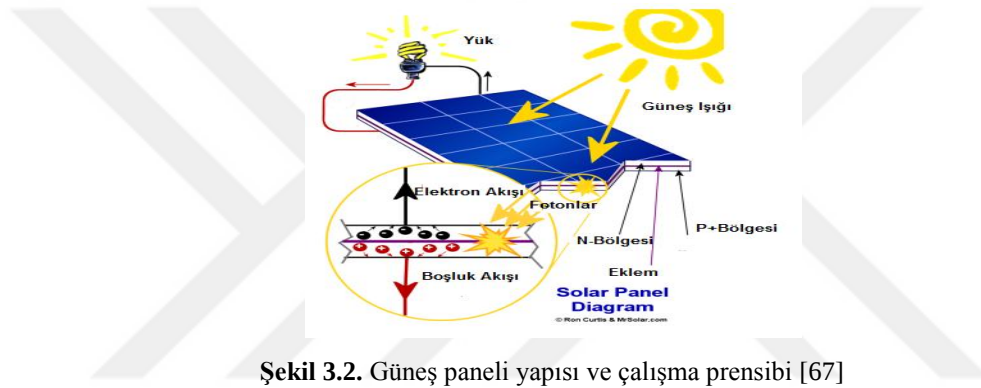
3.3. PV Kullanımının Dezavantajları

Fotovoltaik sistemlerin dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Sistemin en büyük dezavantajı ilk yatırım maliyetidir.
- Sistem de doğru akım üretildiğinden ya doğru akımla çalışan cihazlar ya da evirici (inverter) kullanmak gerekir.
- Üretilen enerji tamamıyla kullanılamadığı durumlarda akü kullanmak gerekir.
- Kaynağını güneşten aldığı için güneşçe zengin bölgelere kurulması gerekir.
- Çok fazla sıcak bölgeler de panelin ısınmasından dolayı verim kayıpları yaşanmaktadır. Bundan ötürü sistemin soğutulması gerekir.
- Panel üzerinde oluşacak kirlenme, tozlanma, gölgelenme panel veriminde kayıplar meydana getirmektedir. Bu yüzden PV panel yüzeyi belirli periyotlarla temizlenmelidir. Ayrıca gölge oluşturacak elemanlardan da kaçınılmalıdır.
- Güneş enerjisinden en fazla verimle yararlanmak için PV'ler eğimli yüzeylerde kullanılmalıdır [40-44]

3.4. Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Güneş hücreleri, Güneş'ten gelen ışınları doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Alanları çoğunlukla 100 cm² civarlarında olup yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklindedir. Kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Bu sistemler fotovoltaiik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düşen panelin iki ucu arasında elektrik gerilimi oluşur ve bu yöntemle güneş ışını elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur. Güneş hücresi, yapısına ve kullanılan malzemeye bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle çalışırlar. Paneller birbirleriyle seri ya da paralel bağlantı edilerek çıkış gücü artırılabilir. Bağlantı sonucunda üretilen enerji bir kaç W'tan MW'lara kadar çıkabilir [45].

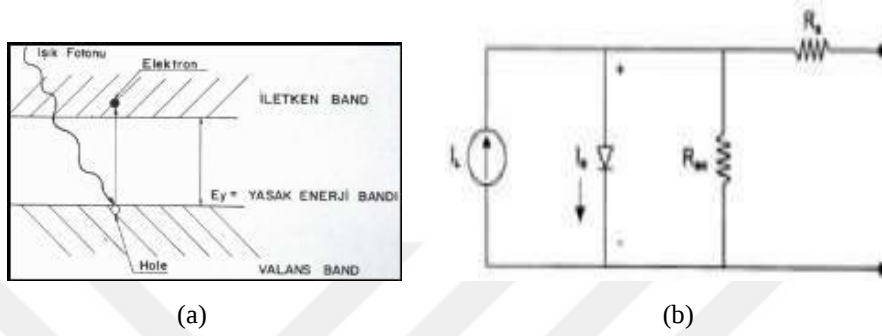


Şekil 3.2. Güneş paneli yapısı ve çalışma prensibi [67]

Fotovoltaiik paneldeki yarı iletkenler, yasak enerji denilen bölgeyle ayrılıp iki ayrı enerji bantından oluşur. "Valans bantı" ve "iletkenlik bantı" adını alan yarı iletken kısımlar, yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük bir foton emdiği zaman, enerjisini bir elektrona vererek elektronun iletkenlik bantına çıkmasını sağlar. Böylece elektron-boşluk çifti oluşmuş olur. Bu olay, PN eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise, elektron-boşluk çiftleri buradaki elektik alanı tarafından birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları N bölgesine, boşlukları da P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-boşluk çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar [46].

Bu döngü bir fotonun yeniden panel yüzeyine çarpması ile devam eder. Yarı iletken bölgenin iç kısımlarında da elektron-boşluk çiftleri oluşturulmaktadır. Ancak yeterli elektrikselsel alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar [47]. Üretim esnasında, pilin ön yüzeyine yakın yerde bir iç elektro-statik bölge oluşturularak, bu elektronun serbest duruma geçmesi sağlanır. Silisyum kristali içine diğer elementler yerleştirilmiştir.

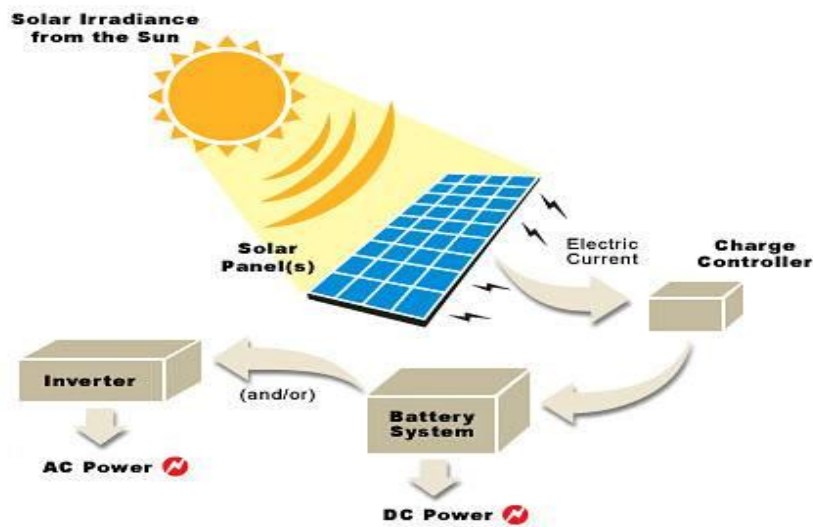
Bu elementlerin kristal içinde bulunması, kristalin elektriksel olarak dengede olmasını önler. Işıkla karşılaşan malzemede, bu atomlar dengeyi bozar ve serbest elektronları diğer pile veya yüke gitmeleri için pilin yüzeyine doğru süpürürler. Milyonlarca foton pilin içine akarken, enerji kazanıp bir üst seviyeye çıkan elektronlarda, pil içindeki elektro-statik bölgeye ve oradan da pil dışına akarlar [46].



Şekil 3.3. a. Güneş pilinin çalışması b. Güneş pilinin eşdeğer devresi [46]

3.5. Fotovoltaik Sistemlerin Temel Bileşenleri

Fotovoltaik sistemler, kurulma amacına göre farklı tasarım modelleri ve elemanların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Sistem en genel haliyle aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi güneş paneli, akü (batarya), evirici (inverter), şarj kontrolü ve kablolardan oluşmaktadır [48].

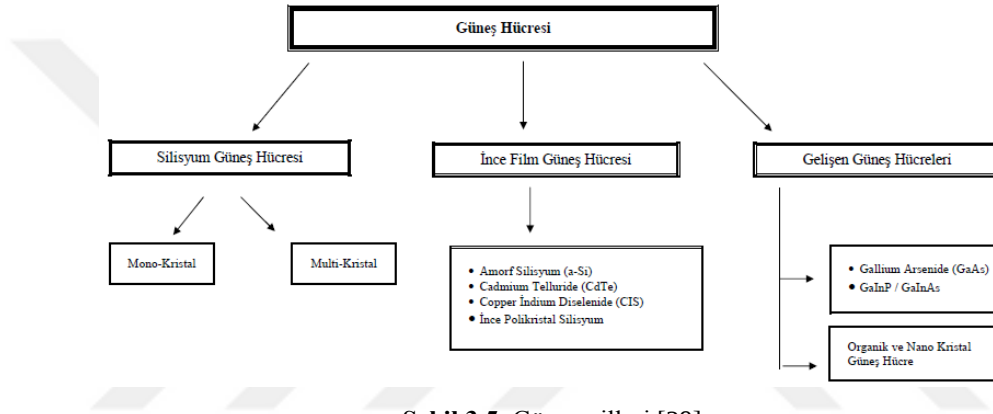


Şekil 3.4. Fotovoltaik sistem elemanları [56]

3.5.1. Güneş Panelleri

Fotovoltaik hücrelerden oluşmuş, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren dizilerdir. İçeriğindeki yarıiletken malzemenin türüne ve işlem tekniğine göre çeşitli verim ve maliyetlerde üretilmektedir. Laboratuvar ortamında elde edilen en yüksek verime % 43,5 ile Solar Junction adlı firma tarafından ulaşılmıştır. Yapımında kullanılan malzemelere bağlı olarak farklı özelliklerde birçok güneş pili üretilmiştir [48].

3.5.1.1. Güneş Pilleri



Şekil 3.5. Güneş pilleri [29]

3.5.1.1.1. Silisyum Güneş Pilleri

Silisyum, yarı iletken özelliğine sahip doğada bol miktarda bulunan ve bu özellikleri sayesinde güneş pili yapımında en çok kullanılan elementlerden biridir ve uzun yıllar boyunca da konumunu koruyacak gibi görünmektedir. Araştırmalar sonucunda fotovoltaik özellik bakımından daha üstün başka elementler bulunsa da, silisyum gerek ekonomik gerekse teknolojik olarak üstünlüğü nedeniyle tercih edilmektedir [48].



Şekil 3.6. Silisyum güneş hücresi [17]

3.5.1.1.2. Monokristal Silisyum Güneş Pilleri

İlk ticari güneş pillerinde, Czochralski kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapıli silisyum kullanılmıştır. Güneş pili endüstrisinde hala en çok kullanılan bu yöntemle silisyum oksit, ilk olarak ark fırınlarında çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra eriyik halde olan bu silisyumun içe risine çekirdek adı verilen tek kristal yapıli bir silisyum parçası batırılır. Eriyiğe batırılan bu çekirdek, eriyikten çıkarıldığında soğumadan dolayı silisyum eriyik, çekirdek üzerinde külçe şeklinde yığılmış olur. Eriyik olan bu silisyum külçe haline gelmez bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu işlem, iki aşamada yapılır. Önce külçe haline gelen eriyik dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Laboratuvar ortamında yapılan araştırmalar sonucunda verimlerinin %27 civarında olduğu görülmüştür. Üretimleri esnasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajıdır. Fakat pil ömürlerinin uzun olmasından dolayı uzun vadeli yatırımlar için tercih edilebilir [48].



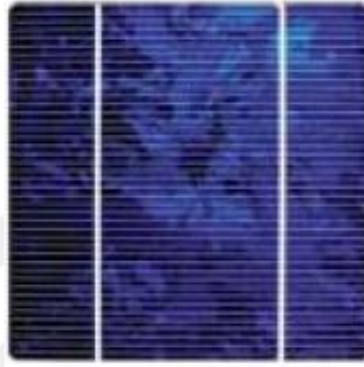
Şekil 3.7. Monokristal güneş hücresi [21]

3.5.1.1.3. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri

Monokristal silisyum güneş pillerinin en büyük dezavantajı olan üretim esnasındaki malzeme kayıplarının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Bu güneş pilleri, polikristal silisyum güneş pillerinden daha düşük verimlerde olmalarına rağmen üretimdeki malzeme kayıplarının azaltılmasından dolayı maliyetleri daha düşüktür. Bu pillerin verimleri laboratuvar ortamında %17-18 arasındadır [48].

3.5.1.1.4. Polikristal Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller de ribbon silisyum teknolojisiyle yapılıp, yapıları polikristal özellik gösterir. Monokristal silisyum üretim tekniği ile benzerlik gösteren bu piller, eriyik halinde bulunan silikonun dikkatli bir şekilde soğutulup külçeler haline getirilmesi ile elde edilir. Monokristal silisyum güneş pillerine göre üretim maliyeti az olmasına rağmen verimleri düşüktür. Bu pillerin laboratuvar ortamında yapılan araştırmalarla verimlerinin %20 civarında olduğu görülmüştür [48].



Şekil 3.8. Polikristal güneş hücresi [1]

3.5.1.1.5. İnce Film Güneş Pilleri

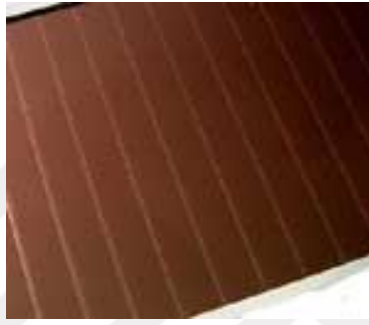
İnce film güneş pilleri, düz bir yüzey (cam, paslanmaz çelik, plastik) üzerinde oluşturulan ve kalınlığı yaklaşık 1 mikron olan hidrojen silisyum alaşımı ince bir film tabakasından oluşur. Monokristal ve polikristal teknolojilerine göre harcanan malzeme ve enerji gereksinimi çok daha düşük olup seri üretim için son derece uygundur [49].

Maliyet indirimini sağlayan faktörler şunlardır:

- Teknolojide kullanılan silisyum miktarında 1000 kat azalma.
- Tümlüşik devre teknolojisi kullanılarak hücreler arası bağlantıların otomatik olarak yapılması.
- Silisyum kristalleri ergitme için ihtiyaç duyulan yüksek enerji tüketimine gerek kalmaması [49].

3.5.1.1.6. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

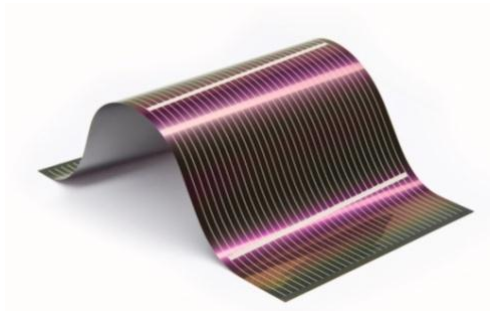
İnce film güneş pili teknolojisinin türevlerinden olan amorf silisyum güneş pilleri (a-Si), ilk başta Schottky bariyer yapısında iken daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. P-i-n yapısındaki pillerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır. Bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Amorf silisyum güneş pillerinin en büyük dezavantajı kısa zamanda bozunuma uğrayarak çıkışlarının azalmasıdır. Bu pillerin laboratuvar şartlarındaki verimi en yüksek %13 seviyelerindedir [48].



Şekil 3.9. Amorf silisyum güneş hücresi [8]

3.5.1.1.7. CIS Güneş Pilleri

CIS (copper indium diselenid) yani bakır indiyum diselenid güneş pilleri, diğer güneş hücrelerine göre daha ince yapıdadır. Bu pillerin verimlilikleri %10 civarındadır. Bu piller ince yapılı olmasından dolayı hafif, ucuz ve montajları kolaydır. Bu avantajlarından dolayı geniş yüzeylerin kaplanması için ideal güneş pili [76]. Bu piller homojen bir görüntüye sahip olup, renkleri gri ile siyah arasında değişebilmektedir. Cam kaplama olmadan sadece materyal kalınlığı 2mm ile 4mm arasındadır [50].



Şekil 3.10. Bakır indiyum diselenid güneş hücresi [29]

3.5.1.1.8. Kadmiyum Tellürid Güneş Pilleri (CdTe)

Çok kristalli bir yapıya sahip olan Kadmiyum tellürid (CdTe) güneş pilleri cam tabakası olmadan 3mm kalınlığında olup homojen yapıdadır. Renkleri koyu yeşil ile siyah arasındadır [29]. Verim değerleri, laboratuvar şartlarında %16 civarlarında olsa da ticari tip uygulamalarda %7 civarlarındadır [51].



Şekil 3.11. Kadmiyum tellürid güneş hücresi [1]

3.5.1.1.9. Galyum Arsenit Güneş Pilleri (GaAs)

Güneş pilleri teknolojisi için önemli yarı iletken materyaldir. Led ve lazerlerde kullanılmaktadır. En iyi elektrik alan boşluğuna sahip olan bu piller, güneş enerjisini optimum şekilde dönüştürürler. Bu pillerin, hücre etkinlikleri %25 civarındadır ve üretimleri oldukça pahalıdır [52].



Şekil 3.12. Galyum arsenit güneş hücresi [1]

3.5.1.2. Güneş Pillerinin Kıyaslanması

Fotovoltaik güneş pil verimlilikleri teknolojiye sürekli gelişimlere bağlı olarak değişmektedir. Pillerin karşılaştırılması amacıyla Fraunhofer Enstitüsü tarafından bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda en yüksek pil verimlilikleri saptanmıştır. Pil malzemesine ve alana bağlı olarak verimleri karşılaştırılmalı bir şekilde aşağıdaki gibi verilmiştir [53].

Tablo 3.1. Güneş pillerinde rapor edilmiş en yüksek verimlilikler [53]

Fotovoltaik pilin cinsi	Alan (cm ²)	Verimlilik (%)	Üretilen Birim
Tek Kristalli Silisyum	4.00	24	UNSW, Sydney Avustralya
Çok Kristalli Silisyum	21.2	17.4	ISE, Freiburg, Almanya
Amorf Silisyum	1	14.7	United Solar
Cu/In, Ga)Se ₂	0.4	17.7	NREL, USA
GaAS Tek Kristal	1	23.9	K.Univ, Nijmegen Hollanda

Güneş hücresi yapımında kullanılan malzemelerin rezerv durumları da oldukça önemlidir. Güneş pilinin ana maddesi olan silisyum, doğada çok fazla bulunan element olduğundan dolayı rezerv konusunda geleceğe yönelik sorun teşkil etmemektedir. Güneş pilini meydana getiren diğer elementlerin rezerv durumları, Dünya üzerindeki yıllık üretimi ve 500MW güç üretimi için gerekli miktar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir [53].

Tablo 3.2. Güneş pili yapımında kullanılan malzemelerin dünya rezervleri [53]

Element	Dünya Rezervleri (Ton)	Dünya Yıllık Üretimi (Ton)	500MW güç için gereken miktar (Ton)
Cd	970 000	20 000	25
Te	39 000	404	28
In	5 000	180	25
Se	130 000	2000	60
Ga	1 000 000	35	5

3.5.2. Akü

Aküler, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirir ve gerektiğinde depolanan kimyasal enerjiyi elektrik enerjisi olarak aktaran akım toplayıcı sistemlerdir. Fotovoltaik panel sistemlerinde enerji kazanımı ve depolaması, üretilen enerjinin günlük ve yıllık tüketimi eşzamanlı olarak gerçekleşmeyeceğinden ada tesisi olarak kurulan sistemlerde akü gurubuna ihtiyaç vardır. Güneşin olduğu zaman diliminde panelden üretilen enerji, Güneşin olmadığı zamanlar da kullanılmak üzere bir aküde depolanması gereklidir. Depolama ayrıca ışıının az olduğu kapalı hava şartlarında da gereklidir [54].

Fotovoltaik sistemlerde, kısa süreli bellek toplayıcıları olarak kurşunlu aküler kullanılmaktadır. Bu aküler, yüksek fiyat/performans oranına ve verim değerine sahip olup küçük ve büyük şarj akımlarını değerlendirebilir. Kurşunlu aküleri sıvı dolum durumuna göre açık ve kapalı tip olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür [54].

Açık tip akülerde, içerisinde oluşan reaksiyonlardan dolayı içerisindeki saf su miktarında azalma meydana gelmektedir ve bu durumdan dolayı belirli zaman aralıklarında kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu tip aküler uygun kullanıldığı takdirde yani akünün tamamen deşarj yapılmadığı sürece uzun bir kullanım ömrüne sahiptir [54].

Kapalı tip aküler ise açık tip akülere göre biraz farklıdır. Bu akülerde sıvı dolum ağzı bulunmaz ve bundan dolayı bağımsız akü olarak da ifade edilebilirler. Akülü fotovoltaik sistemlerde kullanılacak olan akünün iyi seçilmesi gerekmektedir. Seçim yapılırken öncelikle akünün nasıl bir sistemde kullanılacağı, hangi sıklıkla deşarj olacağı, deşarj durumunda akünün voltaj değeri ve çekilecek olan akım değerinin sabit mi yoksa daha fazla ya da daha az mı olacağı gibi unsurlar iyi tespit edilmelidir [55].

Akülü fotovoltaik sistemler de akü seçilirken göz önünde bulundurulması gereken faktörler;

- Maliyet/performans oranı
- En az bakım gereksinimi
- Kullanım ömrü
- Düşük öz boşalma olgusu ve yüksek verim
- Akım şiddetine bakılmaksızın düşük şarj akımlarıyla da şarj edilebilme
- Yüksek enerji ve performans yoğunluğu
- Herhangi dış darbelere karşı dirençli olması
- Depolama esnasında insan sağlığına ve çevreye zararlı olmama [54].

3.5.3. İnverter (Evirici)

Evirici ya da güç dönüştürücü olarak adlandırılan inverter, giren doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirmeye yarayan elektriksel güç dönüştürme elamanıdır. Tek Faz 220 Volt AC veya 3 Faz 380 Volt AC çıkış verebilir. Solar inverterleri ada tipi (OFF-GRID), şebeke bağlantılı (ON-GRID) ve hibrit inverterler olmak üzere 3 grupta incelemek mümkündür [56].

3.5.3.1. Ada Tipi İnverterler

Bu inverterler, şebekeye bağlı olmayan fotovoltaik sistemlerde, şebekenin bulunmadığı yerlerde kullanılır. Şebekeden bağımsız oldukları için yüksek depolamalı sistemlerde kullanılmaktadır. Panellerden elde edilen elektrik enerjisi iki şekilde kullanılabilir. Üretilen elektrik enerjisi inverter vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülüp doğrudan kullanılabilir ya da üretilen doğru akım aküye depolanır ve inverter vasıtasıyla alternatif akıma dönüştürülerek kullanılabilir. Bu uygulamalar daha çok şebeke hattının uzak olduğu yerlerde ya da şebeke hattının getirilmesinin çok masraflı olduğu yerlerde kullanılabilir. Bu uygulamaya örnek olarak çiftlik evleri, yayla evleri, baz istasyonları, izleme-görüntüleme, alarm-güvenlik verilebilir.

Çıkış Dalga Çeşitleri;

- a) Kare dalga inverter
- b) Sinüs benzeşimli inverter
- c) Tam-saf sinüs dalga inverter [56].



Şekil 3.13. Ada tipi inverter [68]

3.5.3.2. Şebeke Bağlantılı İnverterler (ON-GRID)

Bu inverterler şebekeye bağlı sistemler için kullanılır. Üretilen enerji dönüştürüldükten sonra şebekeye aktarılır. Şebekeye bağlı anlamına gelen On-Grid olarak da adlandırılabilirler. Kısacası panellerden üretilen doğru akım, alternatif akıma dönüştürülerek şebekeye basan inverterlerdir. Bu inverterler ise merkezi, dizi (string) ve mikro inverterler olmak üzere üçe ayrılmaktadır [56].

3.5.3.2.1. Merkezi İnverterler

Bu inverterler büyük çaptaki santrallerde kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan tek bir inverterin gücü yüzlerce KW seviyelerinden başlayıp MW seviyelerine kadar çıkmaktadır [56].



Şekil 3.14. Merkezi inverter [69]

3.5.3.2.2. Dizi İnverterler

Bu inverterler saha ve çatı uygulamalarında tercih edilebilirler. Farklı çatı lokasyonları için değişik tiplerde dizi inverterler kullanmak mümkündür. Dizi inverterlerinin kullanılmasındaki amaç tek bir santrali bölümlere ayırarak her bir parçanın birbirinden bağımsız olarak enerji üretmesini sağlamaktır [56].



Şekil 3.15. Dizi inverterler [70]

3.5.3.2.3. Mikro İnverterler

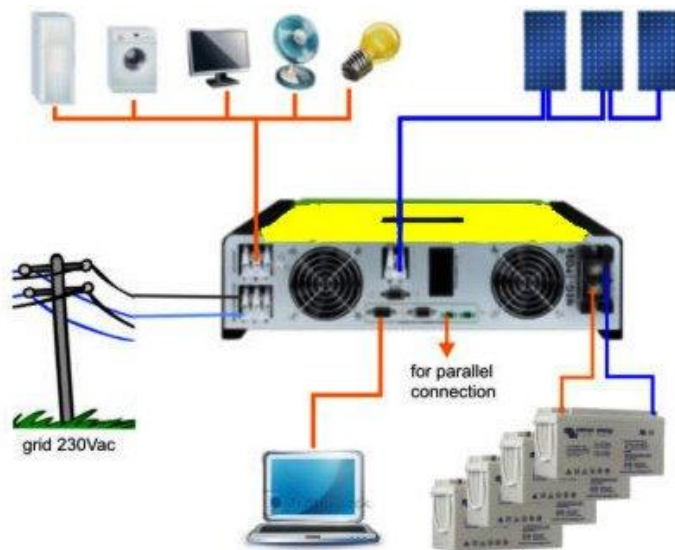
Mikro inverterler ise adından da anlaşılacağı gibi küçük tipte olup her bir inverter panel arkasına monte edilmektedir. Özellikle gölgelenmelerin çok olduğu çatı uygulamalarında tercih edilmesinin yanı sıra nadiren de olsa saha uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır [56].



Şekil 3.16. Mikro inverter [71]

3.5.3.3. Hibrit İnverterler

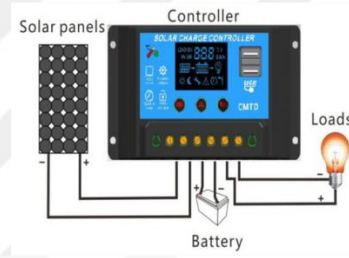
Hibrit inverterler çoklu sistemlerde kullanılır. Yani üretilen enerji tüketimden fazla depolanır ya da enerji ihtiyacından fazla üretim yapılıyorsa, üretilen enerji doğrudan şebekeye verilir. İhtiyaçtan az enerji üretildiği durumda ise şebekeden enerji çekilir [56].



Şekil 3.17. Hibrit inverter [72]

3.5.4. Akü Şarj Regülatörü

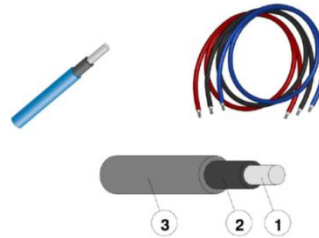
Güneş panelinden gelen akımı düzenleyerek aküye aktarılmasını sağlayan sistem elemanıdır. Görevi, akünün tam dolmasını ve yoğun kullanımlarda boşalmasını engeller. Şarj regülatörü seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli parametre, regülatörün maksimum akıma dayanıklı olmasıdır. Aynı zamanda seçilen regülatörün, kullanılan akü voltajı ile uyumlu olmasına da dikkat edilmelidir. Şarj regülatörleri kullanılacak sisteme göre 12V/24V/48V ve/veya 10A/20A/40A/60A gibi değerlerde değişir. Şarj regülatörlerinin bir özelliği de DC voltaj çıkışlarına sahip olmalarıdır. Bu özelliklerinden dolayı DC akımla çalışan cihazlara doğrudan gerilim verebilirler. LCD göstergeli modelleri de mevcut olan bu elemanın, ihtiyaca göre tercih edilebilir. Bu gösterge sayesinde anlık olarak akü ve panelin, akım ve voltaj değerleriyle bataryanın şarj durumu görülebilir [57].



Şekil 3.18. Akü şarj regülatörü [73]

3.5.5. Solar Kablolar

PV sistemlerde kullanılan kabloların olumsuz hava şartlarına, aşırı ısıya ve soğuğa, sürtünmeye dayanıklı olması gerekmektedir. Özel kılıf ve izolasyon dokusu sayesinde yanmaz, esnek, az yer kaplar, ömürleri uzun ve mekanik olarak dayanıklıdır. Aynı zamanda halojen içermezler. Kullanılan kabloların yapısı aşağıdaki şekilde görülmektedir [57].



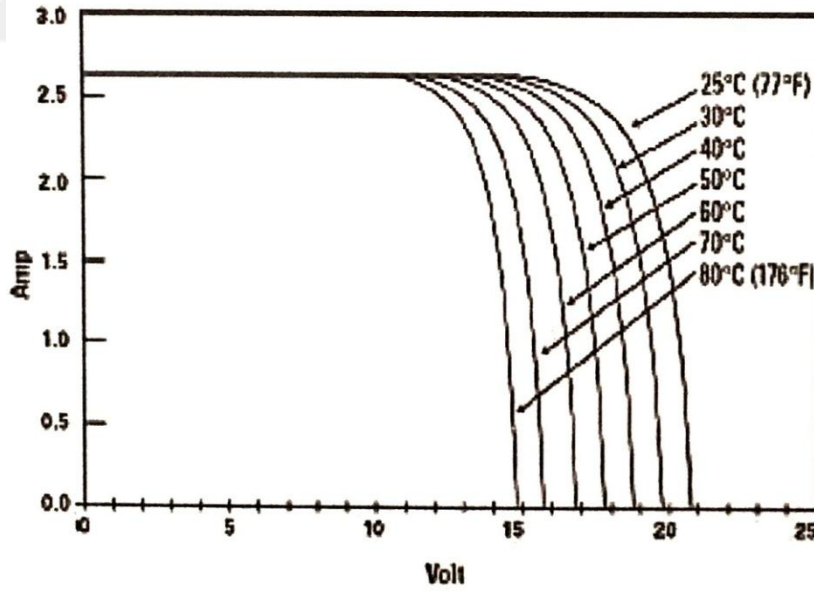
Şekil 3.19. Solar kablo yapısı (1. Tel Doku Hat: Kalaylanmış Bakır 2. İzolasyon 3. Kılıf) [57]

3.6. PV Panellerin Performansını Etkileyen Faktörler

Fotovoltaik hücrelerin araştırma ve geliştirilmesi keşfinden bu yana devam etmektedir. Teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle hücre verimleri de buna paralel olarak artmaktadır. Ancak yapılan deneyler laboratuvar ortamında olduğu için ulaşılan bu değerler pratikte söz konusu değildir. Fotovoltaik sistemlerin performansı, birçok etmene bağlı olarak azalmaktadır. Bunlar; iklimsel faktörler, panelin güneşe göre konumu, modülün arka yüzeyinde oluşan sıcaklık, gölgelenme durumu ve panelin bakım ve temizliğidir.

3.6.1. İklimsel Faktörler

Sıcaklık, güneş pillerinin çalışmasında etkili bir parametredir. Bu parametrenin lineer şekilde artmasıyla kısa devre akımı yükselir. Fakat sıcaklık bant aralıklarını kısalttığından devre voltajında ve dolup faktöründe bir azalma görünür. Enerji bantları arası mesafe oda sıcaklığında doğrusal değişim gösterirken düşük sıcaklıklarda doğrusal değişim görünmemektedir [53].



Şekil 3.20. Sıcaklığın hücre performansına etkisi [29].

Tablo 3.3. Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi [53]

Malzeme	T=300°K	T=0°K
Si	1.12 eV	1.17 eV
Ge	0.67 eV	0.75 eV
PbS	0.37 eV	0.29 eV
PbTe	0.29 eV	0.19 eV
InSb	0.16 eV	0.23 eV
GaSb	0.69 eV	0.79 eV

Tablo 3.3.'de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla enerji bant arası mesafe azalmaktadır. Bu da pilin çalışmasında olumsuz bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır[53].

Tablo 3.4. GaAs güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi [53]

T (°K)	eV	V	%η
273	1.4345	1.047	29.51
300	1.4245	0.989	27.73
323	1.4120	0.940	26.19
353	1.3981	0.875	25.14
373	1.3887	0.830	22.75

Tablo 3.4.'de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla galyum arsenitin verimi azalmaktadır. Sıcaklığın pil üzerindeki olumsuz etkisi yukarıdaki tabloda gözükmemektedir [53].

Tablo 3.5. Silisyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi [53]

T (°K)	eV	V	%η
273	1.1312	0.750	26.83
300	1.1245	0.699	24.67
323	1.1185	0.654	22.80
353	1.1104	0.595	20.33
373	1.1048	0.555	18.67

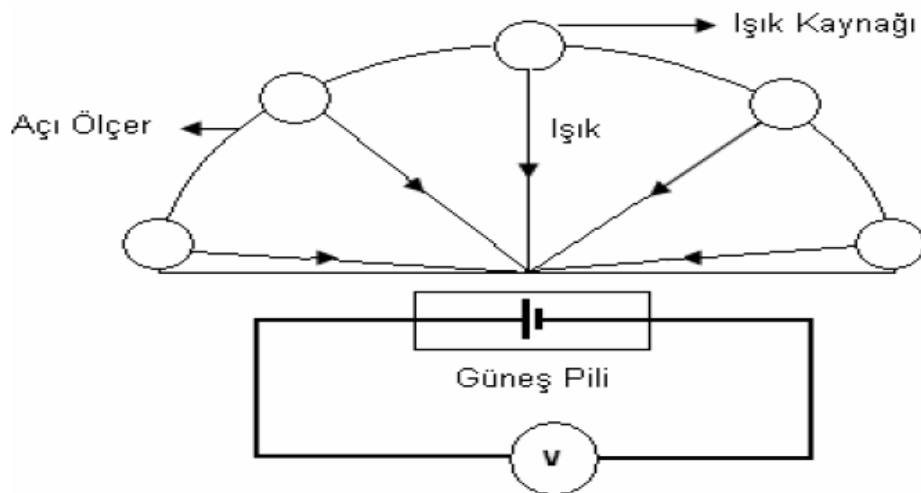
Tablo 3.5.'de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla silisyumun enerji bantları arası boşluğu ve voltaj değerleri azalmaktadır. Bundan dolayı verimde azalmaktadır. Sıcaklığın pil üzerindeki olumsuz etkisi yukarıdaki tabloda görülmektedir [53].

Tablo 3.6. Germanyum güneş pilinin sıcaklığa bağlı parametrelerinin değişimi [53]

T (°K)	eV	V	%η
273	0.67366	0.302	13.88
300	0.66339	0.248	10.60
323	0.65444	0.201	7.89
353	0.64253	0.139	4.62
373	0.63446	0.099	2.79

3.6.2. Panelin Konumu

Dünya'nın kendine özgü şeklinden dolayı güneşten gelen ışınların dünya yüzeyine düşme açısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Bu nedenle sistemin kurulacağı yer iyi seçilip, uygulanması gerekir. Sistemin uygulanacağı yer yapı ve ağaç gölgelerinden uzak açık bir bölgeye kurulmalıdır. En yüksek verim elde etmek için kurulacak olan paneller güneşe bakacak şekilde konumlandırılmalıdır [58].



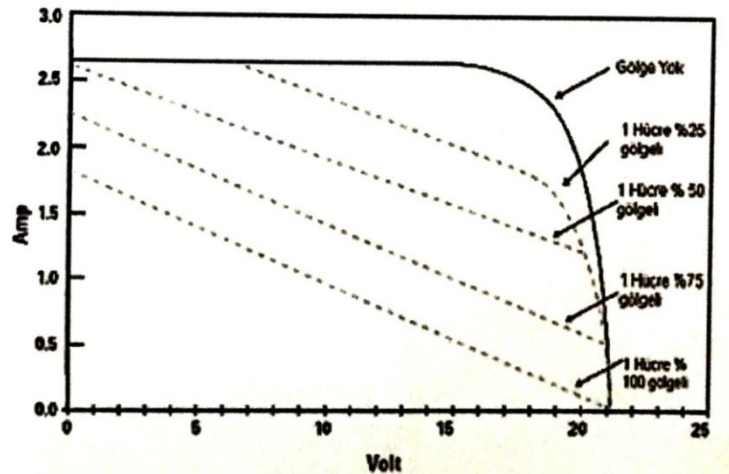
Şekil 3.21. Işık kaynağından güneş piline doğru ışınımın açısal olarak geliş durumları [53]

Tablo 3.7. Işınımın geliş açısına bağlı olarak akım ve gerilimin değişimi [53]

Açı	Akım (mA)	Gerilim (V)
0°	2.7	1.95
30°	9.5	2.28
45°	18.7	2.84
60°	35.2	3.01
90°	42.8	3.25
120°	35.2	3.01
135°	18.7	2.84
150°	9.5	2.28
180°	2.7	1.95

3.6.3. Panelin Gölgelemesi

Güneş hücreleri, adından da anlaşılacağı gibi güneş ışığıyla çalışan bu hücreler herhangi bir gölgelenme durumunda akımı ani olarak durdurur ve elektrik üretimi gerçekleşmez. Bu gölgelenme hava şartlarına, bina ya da ağaçlara ve diğer panellere bağlıdır. Kurulacak sistemde panellerin açısı ve konumu iyice ayarlanmazsa panellerin birbiri üzerinde oluşturdukları gölgelenmeden dolayı büyük verim kayıpları meydana gelebilir. Sistemin kurulacağı yerin şehirleşme yapısı da göz önüne alınmalıdır. Şehirlerin gelişmesiyle, yapıların sistem üzerinde bir gölgelenme oluşturabileceği dikkate alınarak kurulması gerekmektedir [50,59].



Şekil 3.22. Gölgelemenin hücre performansına etkisi [29]

3.6.4. Panelin Bakım ve Temizliği

Güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren bu sistemler, panel üzerinde oluşan kirlenmeden dolayı olumsuz etkilenmektedir. Bu kirlenmeler, insan kaynaklı ve doğa kaynaklı olabilmektedir. Şebeke veya kuyu suyu ile yapılmış olan temizleme sonucunda oluşan kireçlenme, meteorolojik kirlenmeler, fabrika atıklarının oluşturduğu is ve kurumlar, tarımsal kirlenmeler, Yüksek nem ve sıcaklık sonucu oluşan kirlenmeler, kuş pislikleri (hücre ısınmalarına da sebep olur), uygun olmayan ekipmanla yapılan temizlik sonucu mikro çatlaklar ya da mikro kirlenmeler panel üzerinde oluşan kirlenmelere örnek verilebilir. Bu kirlenmelerin giderilmesi için panellerin temizliği yılda iki sefer uygun kişi ve ekipmanlarca yapılması gerekir [60].



Şekil 3.23. Fotovoltaik panel temizleme

3.7. Performansı Arttırma Yolları

Güneş pili performanslarının arttırılmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda güneş takip mekanizması ve yoğunlaştırma işlemi, sistem performansını arttırdığı görülmüştür [61].

Güneş daima hareketli olduğu için, elle ayarlanabilir sabit bir paneli daima Güneşe dik bakacak şekilde konumlamak oldukça zahmetli ve zor iştir. Bu yüzden otomatik güneş takip mekanizmaları tasarlanmıştır. Bu mekanizmalar paneli otomatik olarak Güneşe dik bakacak şekilde konumlandırır. Bir ve iki eksen takip mekanizmaları mevcuttur [61].

Yoğunlaştırma işlemiyle, güneşten gelen ışığın şiddeti 500 kata kadar güçlendirilip kullanılır. Yoğunlaştırma işlemi genel olarak yansıtıcı ve reflektör olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Yansıtıcılar, panele doğrudan gelmeyen ve çevresinden geçen ışını tekrar

panele yansıtan ayna şeklindeki yapılardır. Reflektörler de panele doğrudan gelen ışının şiddetini arttırmak için kullanılan mercek yapılı elemanlardır [61].

3.7.1. Yoğunlaştırıcı Sistemler

Bir güneş panelinin performansı, çeşitli yollarla artırılabilir. Yoğunlaştırma işlemi bunlardan sadece bir tanesidir. Bu işlemle güneşten gelen ışık mercekler vasıtasıyla bir bölgeye toplanır. İşlemin amacı belli bir bölgeye düşen ışığın şiddetini arttırmaktır [61].

Bu işlemin kullanılmasındaki temel sebep, solar hücre alanını azaltarak böylece sistemin en pahalı parçası olan solar hücrelerden tasarruf etmektir. Bu işlemin kullanılmasıyla pahalı hücreler yerine geniş bir alandaki güneş ışığını hücrenin bulunduğu alana odaklayan daha ucuz maddeler (plastik mercekler, metal yataklamalar vs.) kullanılır. Yoğunlaştırma işleminin etkinliği hakkında bilgi sahibi olmamız için yoğunlaştırma oranı kullanılan bir ölçüttür [61].

Yoğunlaştırma işleminin, güç artırımının ve kullanılan hücrelerin büyüklüğü veya sayısını azaltmanın yanı sıra, solar hücrelerin verimini artırması gibi bir ek avantaja sahiptir. Verim artışları kullanılan solar hücrenin hammaddesine ve tasarımına bağlıdır. Yoğunlaştırma işleminin başka bir avantajı da bağımsız solar hücreler kullanabilmesidir [61].

Yoğunlaştırma işleminin avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Kullanılan yoğunlaştırıcı optiği, düz panel modüllerinden daha pahalıdır ve bu işlemin uygulandığı sistemler yıl boyunca güneşi izlemeleri gerekir. Böylece izleme mekanizmalarının pahalı olmasının yanı sıra hassas doğrulukta olması da işlemin dezavantajıdır. Yoğunlaştırma işleminin yüksek oranda olması da önemli bir problemdir. Çünkü yüksek yoğunlaştırma solar hücrenin sıcaklığının artmasına neden olur. Sıcaklığının artmasıyla da hem hücre verimi hem de hücre ömrü azalmış olur. Bundan dolayı güneş hücreleri serin tutulmalıdır [61].

Tablo 3.8. BP-585 tipindeki bir güneş paneline ait deneysel veriler [78]

	Reflektörsüz Fotovoltaik Panel Saat (12.52)	Reflektörlü Fotovoltaik Panel Saat (12.52)
V_{OC} (V)	19,62	20,2
I_{SC} (A)	3,00	3,76
G (W/m ²)	879	1070
Lux	914x100	1242x100
T (°C)	27	27

Zan B. [78] yaptığı çalışmada reflektörün panel üzerindeki etkisini incelemiştir. Reflektörün panel üzerindeki etkisi yukarıdaki tabloda verilmiştir. Panel yüzey sıcaklığı sabit tutulması kaydıyla reflektörlü panelin ürettiği enerji miktarı reflektörsüz panele göre 17,09 W artmıştır. Yani reflektörlü panel, reflektörsüz panelden %29 daha fazla enerji üretmiştir.

Akbarzadeh A. ve Wadowski T. yaptıkları çalışmada 25mm x 20mm boyutlarındaki fotovoltaiik pile 20 kat yoğunlaştırma işlemi yapmıştır. Sistemi soğutarak sıcaklığı 46 °C’de Sabitlemiştir. Bu durumda sistemin maksimum çıkış gücü 20,6 W olduğunu gözlemlemişlerdir. Yoğunlaştırma işlemi yapılmadan, fotovoltaiik pilin sadece güneşten ürettiği güç 2 W’tır. Yani 20 kat yoğunlaştırma yapıp ve sistemin soğutulmasıyla elde edilen güç, yaklaşık 10 kat artmıştır. Soğutma sisteminin etkisini gözlemek için herhangi bir akışkan olmadan ölçümler yeniden yapılmıştır ve sıcaklığın 84 °C ve çıkış gücünün ise 10,6 W olduğu görülmüştür [79].

3.7.2. Güneş Takip Mekanizmaları

Bu sistemleri çalışma şekli itibariyle ayçiçeklerine benzetebiliriz. Ayçiçeklerinin gün boyu Güneşe doğru bakması gibi bu sistemlerde güneşin hareketine bağlı olarak kendini güneşe dik bakacak şekilde konumlarlar. Bu benzetmeye bağlı olarak takip sistemleri için “elektromekanik ayçiçeği” tabirini de kullanabiliriz [24].

3.7.2.1. Güneş Takip Sistemlerinin Sınıflandırılması

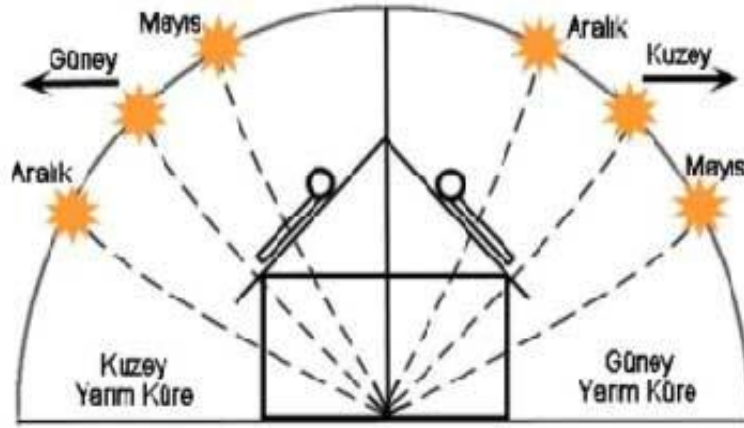
Güneş takip mekanizmalarını aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür.

- 1) Takip eksen sayısına göre;
 - a) Tek eksenli
 - b) Çift eksenli
- 2) Kontrol mekanizmasına göre;
 - a) Yerçekimiyle takip yapan sistemler
 - b) Açık döngü sistemleri
 - c) Kapalı döngü sistemleri [24]

3.7.2.2. Takip Eksen Sayısına Göre Sistemler

3.7.2.2.1. Tek Eksenli Sistemler

Sistemi sadece kuzey-güney ya da doğu-batı yönünde hareket ettirerek takip yapan sistemlerdir. Bu sistemin kontrolü için bir adet motor yeterlidir. Verimleri sabit sistemlere oranla daha yüksektir.



Şekil 3.24. Tek eksenli takip sistemi [31]

3.7.2.2.2. Çift Eksen Kontrollü Sistemler

Bu sistemin kontrolü için iki adet motor gereklidir. Motorlardan biri sistemi yatay eksen etrafında döndürürken, diğeri ise sistemi düşey eksen etrafında döndürür. Böylece sistem iki eksen de takip eder.



Şekil 3.25. İki eksenli takip sistemi [32]

3.7.2.3. Kontrol Mekanizmasına Göre Sistemler

3.7.2.3.1. Yerçekimini Kullanarak Çalışan Sistemler

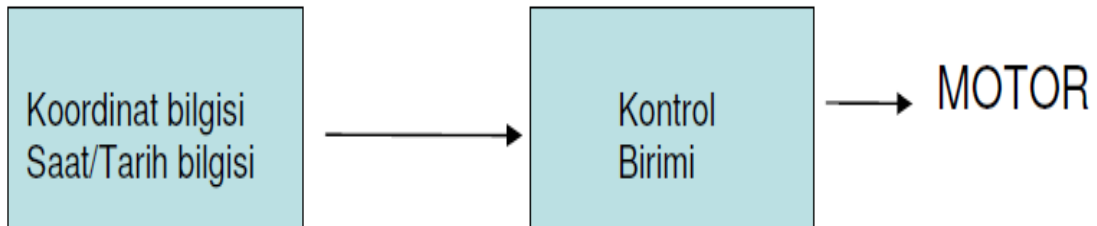
Bu sistemlerde panelin her iki tarafına içerisinde özel bir sıvı olan tüp yerleştirilir. Sağ ve sol kenarlarına yerleştirilmiş ve içerisinde özel bir sıvı olan bu tüpler, sıvı geçişi olduğundan dolayı birbirleriyle bağlantılıdır. Tüpler de kullanılan sıvı ısıya karşı hassas olup yüksek genleşme katsayısına sahiptir. Panel öncelikle ağırlık merkezine göre yerleştirilir. Daha sonra güneşten gelen ışınlar vasıtasıyla daha çok ısınan tüpteki sıvı genleşerek diğer tüpe doğru akar ve böylece panelin ağırlık merkezi değişir ve panel güneşe doğru hareket etmiş olur. Güneşten gelen ışınlar panel yüzeyine dik gelene kadar bu hareket devam etmektedir. Bu sistemlerde herhangi bir elektriksel aksam kullanılmayıp genellikle tek eksenli olarak tasarlanırlar [24].



Şekil 3.26. Yerçekimi özelliğine göre çalışan sistemler [24]

3.7.2.3.2. Açık Döngü Sistemler

Açık döngü sistemleri, güneşin herhangi bir tarih ve saatte hangi konumda olacağını bilmesinden dolayı sensöre gerek duymadan koordinat bilgilerine göre güneş takibi yapan sistemlerdir [24].



Şekil 3.27. Açık döngü sistemlerin blok diyagramı [24]

3.7.2.3.3. Kapalı Döngü Sistemler

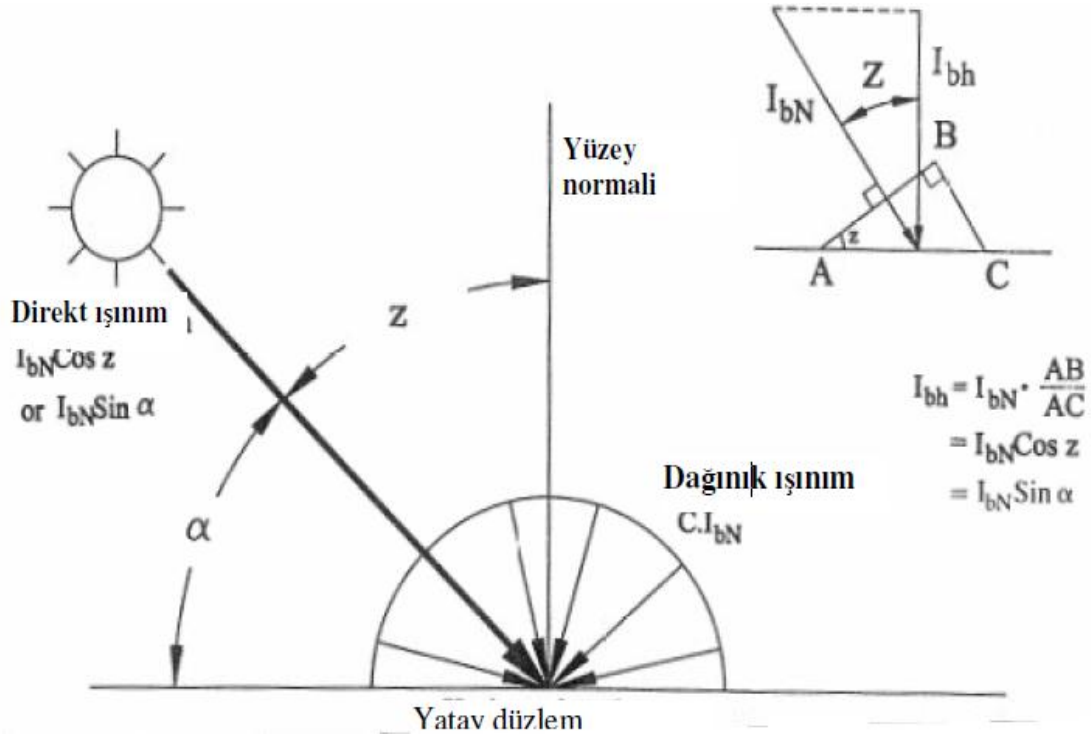
Bu sistemlerde ise çeşitli sensörler kullanılarak panelin güneşi izlemesi amaçlanmaktadır. Geri besleme özelliğine sahip olup paneli güneşe göre ayarlayan sistemlerdir [24].

3.7.2.4. Güneş Takip Sistemlerinin Gerekliliği

Bilindiği üzere bir yüzeye gelen ışıının toplamı o yüzeye gelen direkt ve dağınık ışıının toplamına eşittir. Yüzeye gelen doğrudan ışıının şiddeti o yüzeyin ışıınıla yaptığı açıya bağlıdır. Yatay düzleme z gelme açısıyla gelen ışıının birim yüzeye düşen anlık ışıma şiddeti;

$$I_z = G \cdot \cos(z) \text{ 'dir [62].} \quad (3.1)$$

Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi güneşten gelen ışıın bir yüzeye ne kadar dik gelirse ışıma şiddeti de o kadar yüksek olacaktır. Bundan dolayı güneş takip sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemlerin amacı, yüzeye düşen ışıınların daima dik açıyla gelmesi sağlanarak edilen enerji miktarını arttırmaktır [62].



Şekil 3.28. Yatay bir düzlemde güneş ışıını [62]

3.7.2.5. Güneş Takip Sistemlerinin Verime Etkisi

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi takip sisteminin kullanım amacı üretilen enerji miktarını artırmaktır. Bu artış miktarının ne kadar olacağı da önemli bir husustur. Bu artışla ilgili olarak ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından elde edilen bazı şehirlere ilişkin güneş ışınlamı şiddeti sistemin, sabit, tek eksenle takip ve çift eksenle takip yapılması durumunda elde edilen enerji miktarı verileri aşağıdaki tabloda sunulmuştur [24].

Tablo 3.9. Fransa-Paris şehrinde ortalama günlük güneş ışınlamı, kWh/m², Enlem: 48°49' N Boylam: 2°30' E [24]

Ay	Panel yere enlem -15° açısı kadar eğimli		Panel yere enlem açısı kadar eğimli		Panel yere enlem + 15° açısı kadar eğimli		2 Eksenle takip
	Sabit	1 Eksenle takip	Sabit	1 Eksenle takip	Sabit	1 Eksenle takip	
Ocak	1,77	1,77	2,06	2,06	2,24	2,24	2,24
Şubat	2,47	2,54	2,75	2,82	2,91	2,94	2,94
Mart	3,75	4,56	3,90	4,79	3,88	4,69	4,81
Nisan	4,32	6,02	4,25	5,99	4,04	5,54	6,06
Mayıs	5,01	7,39	4,78	7,05	4,41	6,22	7,41
Haziran	5,37	8,04	5,05	7,50	4,61	6,45	8,10
Temmuz	5,14	7,66	4,87	7,21	4,47	6,28	7,69
Ağustos	4,59	6,60	4,45	6,46	4,18	5,87	6,62
Eylül	3,95	5,04	4,02	5,19	3,93	4,98	5,20
Ekim	2,74	3,01	2,95	3,27	3,02	3,31	3,33
Kasım	1,71	1,71	1,95	1,95	2,11	2,11	2,11
Aralık	1,56	1,56	1,83	1,83	2,02	2,02	2,02
Ort.	3,53	4,66	3,57	4,68	3,49	4,39	4,88

Tablo 3.9' dan şu sonuçları çıkarabiliriz;

- Panelin sabit olduğu durumda yani güneş takip mekanizması yokken; yıllık ortalama 3.57 kWh/m² ısıma enerjisi elde edilmektedir.
- Tek eksenle takip yapılması durumunda; yıllık ortalama 4.68 kWh/m² ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu da sabite göre %31,1 artış demektir.
- İki eksenle takip yapılması durumunda ise; yıllık ortalama 4.88 kWh/m² ısıma enerjisi elde edilmektedir. Bu da sabite göre %36,7 artış demektir.

Sonuç olarak; tek eksenle takip yapan sistemlerde sabit sistemlere göre, iki eksenle takip yapan sistemlerde ise tek eksenle takip yapan sistemlere göre daha fazla enerji elde edilmektedir [24].

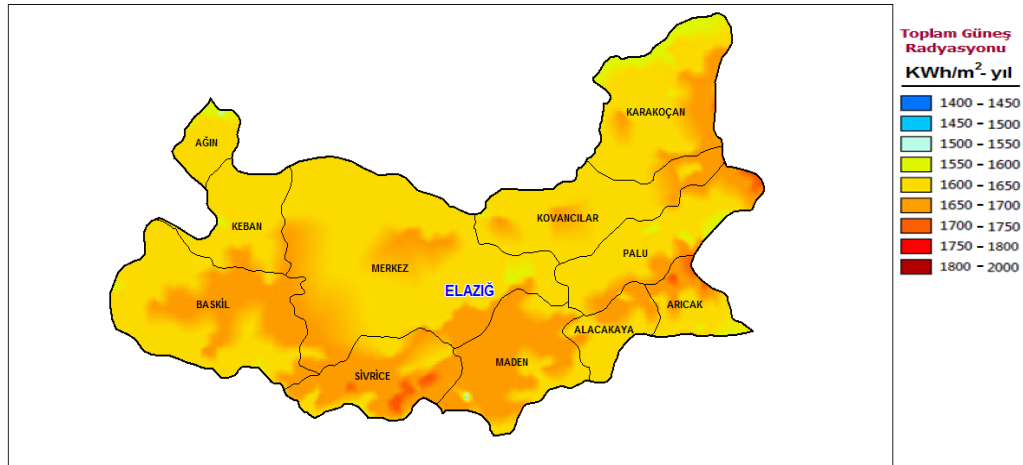


4. MATERYAL VE METOD

4.1. Sistem Sahası Özellikleri

Sistem Elazığ ilinde kurulup, bu il şartlarında deney yapılacaktır. Bundan dolayı Elazığ ilinin güneş enerjisi potansiyelini iyi analiz etmemiz gerekmektedir.

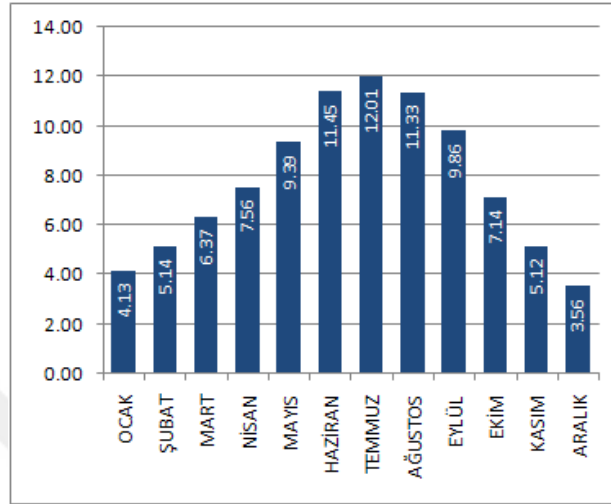
Elazığ ili, Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneybatısında ve bölüm olarak Yukarı Fırat Bölümü'nde yer almaktadır. İlin yüzölçümü yaklaşık 9153 km²'dir. 40° 21 ile 38° 30 doğu boylamları, 38° 17 ile 39° 11 kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Ayrıca Elazığ ili Türkiye topraklarının %1,2'lik kısmını kaplamaktadır. Kuşbakışı bakıldığında kabaca dikdörtgene ve çevresinde bulunan sular sebebiyle de Türkiye karasına benzemektedir. Elazığ ilinin doğu-batı doğrultusundaki yaklaşık uzunluğu 150 km, kuzey-güney doğrultusundaki yaklaşık uzunluğu ise 65 km civarındadır ve ilin rakımı ise 1067 m'dir. Elazığ ili sınırları içerisinde kalan alanın 8.327 km²'si kara, 826 km²'si ise baraj ve doğal göldür. İklimsel özellik bakımından karasal iklimin etkisinde olup, kışları sert ve soğuk yazları ise kurak ve sıcak geçmektedir. Bölgenin diğer illerine kıyasla kış ayları çok daha yumuşak yani ılık geçmektedir. Özellikle son zamanlarda Elazığ ili ve çevresine kurulan barajlar sebebiyle iklimde değişiklikler gözlenmiştir [29]. Elazığ iline ait güneş enerjisi potansiyeli aşağıdaki gibidir.



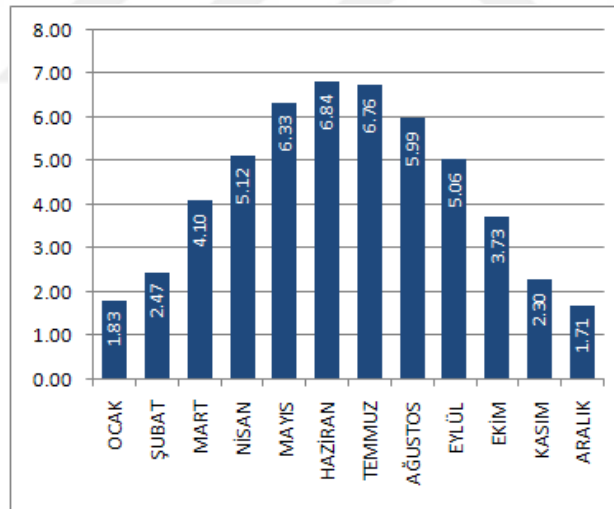
Şekil 4.1. Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli

Şekil 4.1.'e göre Elazığ ilinin toplam güneş radyasyonu yaklaşık 1550-1700 KW/m²-yıl değerindedir. Özellikle Maden ve Sivrice ilçelerinde Toplam ışıma 1700 KW/m²-yıl değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Elde edilen bu radyasyon değerinin

yanı sıra radyasyonun etki süresi yani güneşlenme süresi de önemlidir. Elazığ iline ait güneşlenme süresi ve Elazığ ili için bir günlük güneş ışıması aşağıda verilen şekillerdeki gibidir [29].



Şekil 4.2. Elazığ ili güneşlenme süreleri(saat)



Şekil 4.3. Elazığ ili global radyasyon değeri(KWh/m²-gün)

Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi özellikle yaz aylarında güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri oldukça yüksektir. Ay içerisindeki bir günlük toplam güneş ışıması $6.84 \text{ KW/m}^2\text{-yıl}$ değeriyle Türkiye ortalamasından %4,11 fazladır. Ayrıca güneşlenme süresi olarak da 12,01 saatlik değer ile Türkiye ortalamasından %6,19 yüksektir.

Elazığ ili elektrik santralleri;

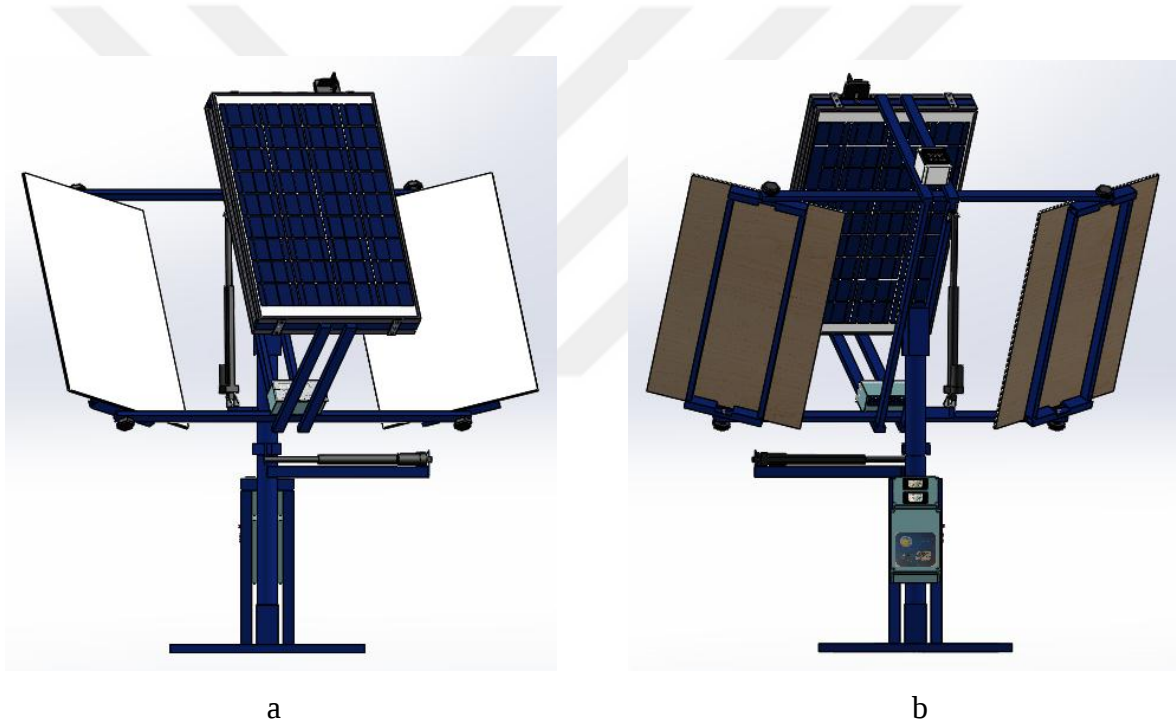
Elazığ'ın mevcutta elektriksel kurulu gücü 2.238 MW'tır. Toplamda 11 adet elektrik santrali bulunan Elazığ'da bu santraller yılda yaklaşık 8.060 GW elektrik enerjisi üretimi yapmaktadır. Bu santrallerin tesis türü ve gücüne göre değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir [29].

Tablo 4.1. Elazığ'da kurulu elektrik enerjisi santralleri [29]

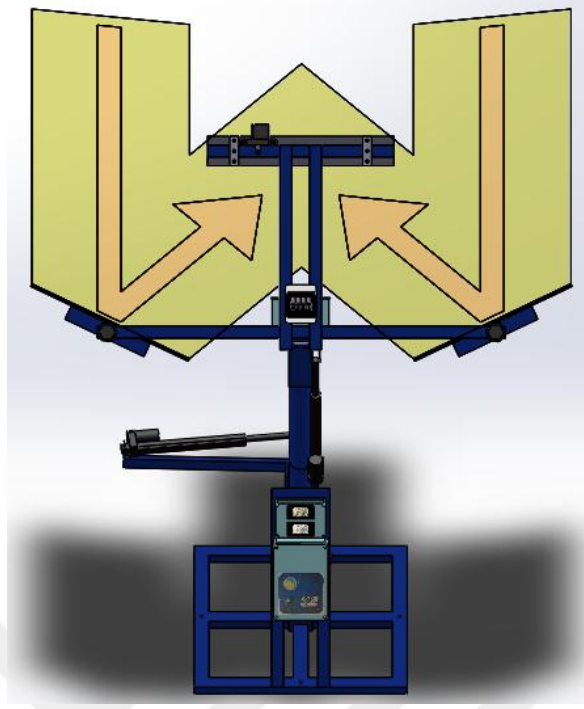
	Santral Adı	Tesis Türü	Kurulu Güç
1	Keban Barajı ve HES	Hidroelektrik	1330 MW
2	Beyhan Barajı ve HES	Hidroelektrik	582 MW
3	Tatar Barajı ve HES	Hidroelektrik	128 MW
4	Pembelik Barajı ve HES	Hidroelektrik	127 MW
5	Seyrantepe Barajı ve HES	Hidroelektrik	57 MW
6	Keban Deresi ve HES	Hidroelektrik	5,00 MW
7	Elazığ Şeker Fabrikası Termik Santrali	Fuel oil	3,60 MW
8	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Biyogaz	2,83 MW
9	Hayran Enerji GES	Güneş	1,00 MW
10	Tahir Yüce GES	Güneş	0,85 MW
11	Sivrice Arıtma Güneş Enerji Santrali	Güneş	0,40 MW
	Yapım Aşamasındaki Santraller		
12	Çardaklı HES	Hidroelektrik	15 MW
13	Karabeyli GES	Güneş	7,00 MW
14	Eti Krom Proses Atık Isı Santrali	Atık Isı	5,50 MW
15	Hisar Regülatörü ve HES	Hidroelektrik	4,86 MW
16	Yasin Mobilya GES	Güneş	0,36 MW
17	Elazığ EMT Tarım GES	Güneş	0,14 MW
	Üretim Lisansı Alınan Bazı Elektrik Santralleri		
18	Beyhan-2 Barajı ve HES	Hidroelektrik	227 MW
19	Asunim Solentegre ve GES	Güneş	8,00 MW

4.2. Sistem Tasarımı ve Kullanılan Elemanların Özellikleri

Tasarımı ve imalatı yapılan sistem güneşi iki eksende takip etmektedir. Sistemde; iki adet fotovoltaiik panel, iki adet ayna, iki adet lineer aktüatör, iki adet wattmetre, ışınlmölçer, sensör, dijital termostat ve diğer elemanlar kullanılmıştır. Sistem, güneşi tam görmesi yani her türlü gölge oluşturacak etmenlerden uzak tutulması amacıyla Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği teras alanına kurulmuştur. Olumsuz hava koşulları göz önünde bulundurularak sistem yere bağlantı elemanları ile sabitlenmiştir. Düzenek otomatik ve manuel olmak üzere iki şekilde kontrol edilebilmektedir. Aynalardan yansıyan ışınların hiçbir engelle karşılaşmaması için sistem alışılmıştan farklı olarak tasarlanmıştır. Sistemin yapısı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 4.4. Düzlemsel yansıtma destekli düzlemsel güneş paneli tasarımı a) Ön görünüş b) Arka görünüş

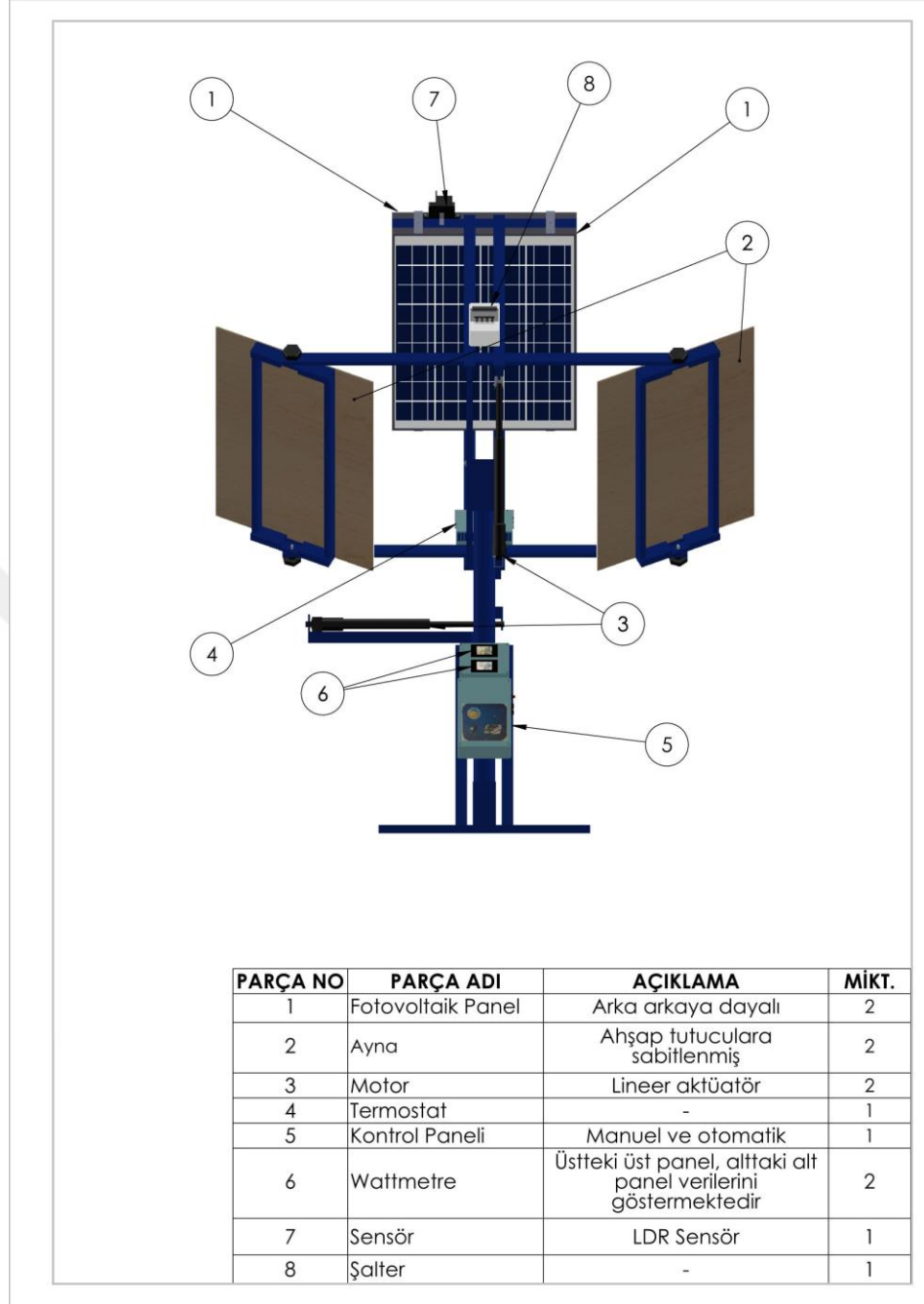


Şekil 4.5. Aynalardan yansıyan ışınların izlediği yol

Güneş'ten gelen ışınların aynalar vasıtasıyla arka panele yansımaları Şekil 4.5.'deki gibidir. Güneş takip sistemi aynaları da kapsadığından aynalardan yansıyan ışınların arka panele geliş açısı daima sabittir. Sistem görünüşleri de Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Sistem görünüşleri



Şekil 4.7. Sistem elemanları

Şekil 4.7.'de de görüldüğü gibi sistem arka arkaya dayalı iki panel, panel boyutlarında ayarlanıp sabitlenebilir iki adet ayna, iki adet lineer aktüatör, anlık olarak sıcaklık ölçümü yapan bir adet termostat, otomatik ve manuel kontrolün yapıldığı kontrol paneli, her biri bir panelin verilerini anlık olarak gösteren iki adet wattmetre, bir adet LDR sensör ve şalter grubundan oluşmaktadır.

4.2.1. Güneş Paneli

Kurulan düzende iki adet polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Laboratuvar şartlarındaki ($G = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_{PV} = 25^\circ\text{C}$) verimi %15 olan polikristal güneş panellerinin dış ortam şartlarına göre verim analizi yapılmıştır. Kullanılan paneller ve teknik özellikleri şekil 4.8’de ve tablo 4.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Fotovoltaik panel

Tablo 4.2. Güneş paneli teknik özellikleri

Marka	TOMMATECH
Model	TT100-36P
Maksimum güç	100 W
Maksimum güç noktası gerilimi	18.35 V
Maksimum güç noktası akımı	5.45 A
Açık devre gerilimi	22 V
Kısa devre akımı	6.32 A
Hücre tipi	Polikristal
Maksimum sistem gerilimi	1000 V
Ağırlık	7.4 Kg
Boyut	1010 x 530 x 30 mm

4.2.2. Aynalar

Sistemde, iki adet ayna kullanılmıştır. Kullanılan aynalar panel yüzey alanı boyutundadır. Aynalar bağlantı noktalarından hareketli olup, Güneşten gelen ışınların arka panele en iyi şekilde yansıtılması için manuel olarak ayarlanmıştır. Ayna açıları ise, sistem tasarımı yapılan Solidworks programında optimum şekilde belirlenmiştir. Sistemde kullanılan aynalar şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Ayna

4.2.3. Güneş Takip Sistemi

Sensörlerden alınan bilgilerin motorlara aktarılmasıyla sistem güneşi iki eksenle takip etmektedir. Sistemde iki adet lineer aktüatör kullanılmıştır. Motorlar üst panelin beslediği aküden tahrik edilmektedir. Kullanılan motorların teknik özellikleri tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Lineer aktüatör teknik özellikleri

Lineer Aktüatör	
Giriş	12V DC
Maks. Yükleme	3500 N
Hız	5 mm/s
Strok	300 mm
Görev Döngüsü	%25

4.2.4. Akü

Üst panelde üretilen enerjinin bir kısmı, motorların hareketi için gerekli enerjinin sağlandığı depolama elemanı aküye aktarılmaktadır. Kullanılan motorları tahrik eden enerji buradan sağlanmaktadır.

4.2.5. Kontrol Paneli

Daha öncede belirtildiği gibi sistem manuel ve otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. Sistemi doğu-batı yönünde döndüren iki buton ve panel eğimini arttırıp azaltan iki buton bulunmaktadır. Otomatik kontrol devre dışı bırakılarak sistem manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Panel, Güneş'ten bağımsız herhangi bir yere konumlandığı durumda otomatik kontrolün devreye girmesiyle sistem saniyeler içinde Güneşe yönelebilmektedir. Sisteme ait kontrol paneli şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Kontrol paneli

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi en üstteki kırmızı buton oto kontrolü aktif ve pasif yapmaktadır. İki adet mavi buton panelin yatayla olan açısını arttırıp azaltmaktadır. İki adet kırmızı buton ise sistemi düşey eksen etrafında döndürmektedir.

4.2.6. Wattmetre

Sistemde, doğru akımla çalışan üst üste yerleştirilmiş iki adet wattmetre kullanılmıştır. Kullanılan wattmetreler anlık olarak akım, gerilim, güç ve üretilen toplam enerjiyi göstermektedir. Üstteki wattmetre üst panel verilerini, alttaki ise alt panel verilerini göstermektedir. Sistemde kullanılan wattmetreler şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Wattmetre

4.2.7. Dijital Termostat

Anlık olarak sıcaklık ölçümü yapan bu cihaz 32 kanala sahiptir. Kurulan düzenekte iki adet üst panel yüzeyinde, iki adet alt panel yüzeyinde ve bir adet ise ortam olmak üzere anlık olarak 5 sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Alt ve üst panelde sıcaklık bilgileri alınan bölgeler panel çevresi ve hücrelerin bulunduğu iç kısımdır. Ortam sıcaklığını ölçen uç ise rüzgârdan ve Güneş ışığından etkilenmeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Sıcaklık ölçümü için PT100 termokupl kullanılmıştır. Sistemde kullanılan termostat şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Dijital termostat

4.2.8. Sensörler

Kapalı döngü prensibiyle çalışan düzenekte aşağıdaki gibi algılayıcı kullanılmıştır. Güneşten aldığı konum bilgileri doğrultusunda motorlara komut gönderilerek sistemin güneşe yönelmesi sağlanmaktadır. Güneş takip sistemi geri beslemeli olduğundan güneşin anlık hareketine karşılık, sistem kendini güneşe göre konumlandırmaktadır. Sistemde kullanılan sensör şekil 4.13.'de verilmiştir.



Şekil 4.13. LDR sensör

4.2.9. Şalter Grubu

Kurulan düzenekte akü, akü şarj, alt panel ve üst panel olmak üzere dört adet şalter kullanılmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi üst panelde elde edilen enerjinin bir kısmı sistem enerji sarfiyatını karşılamak için depolanmaktadır. Akü şalteri depolanan enerjinin motorlara akışını kontrol etmektedir. Şalter açık iken enerji akışı aktif, kapalı iken enerji akışı aktif değildir. Akü şarj, üst panelde üretilen enerjinin bir kısmının aküye gönderilmesi işlemidir. Şalter açık iken depolama aktiftir, kapalı iken aktif değildir. Alt panel ve üst panel şalterleri ise panellerin açık ve kapalı olma durumlarıdır. Açık durumda paneller enerji üretimi yaparken kapalı durumda enerji üretimi gerçekleşmez. Şalter grubu şekil 4.14.'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Şalter grubu

4.2.10. Diğer Elemanlar

Sistemde ısıya ve dış darbelere dayanıklı solar kablolar ve sistem montajı için bağlantı aparatları ve elemanları kullanılmıştır.

4.3. Metod

Kurulan düzende, altışar günlük periyotlarla üç farklı durumda gözlem yapılmıştır.

1. Gözlem: İlk altı gün iki ayna etkin olup, güneş takip sistemi aktif iken gözlem yapılmıştır. Bu durumda Güneşi doğrudan gören üst panel ile (aynalar vasıtasıyla) dolaylı gören alt panelin karşılaştırılması yapılmıştır. Sistem bu şekilde çalışmasına devam ederken 30 dakikalık aralıklarla veriler alınmıştır.

2. Gözlem: İkinci altı günde, iki ayna etkin olup sistem Elazığ ili şartları için güneşe yönlendirilerek sabitlenmiştir. Bu durumda veriler yine 30 dakikalık aralıklarla alınarak hem alt ve üst panelin hem de hareketli sistem ile sabit sistemin karşılaştırılması yapılmıştır.

3. Gözlem: Son altı günlük periyotta ise tek ayna etkin olup, güneş takip sistemi aktif iken gözlem yapılmıştır. Bir ayna ile yansıtma durumunda alt ve üst panelin karşılaştırılması ile iki ve tek aynanın oluşturduğu etkilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Üç farklı durum içinde verim analizi yapıp alt ve üst panelin ürettiği toplam enerji hesaplanmıştır.

5. BULGULAR

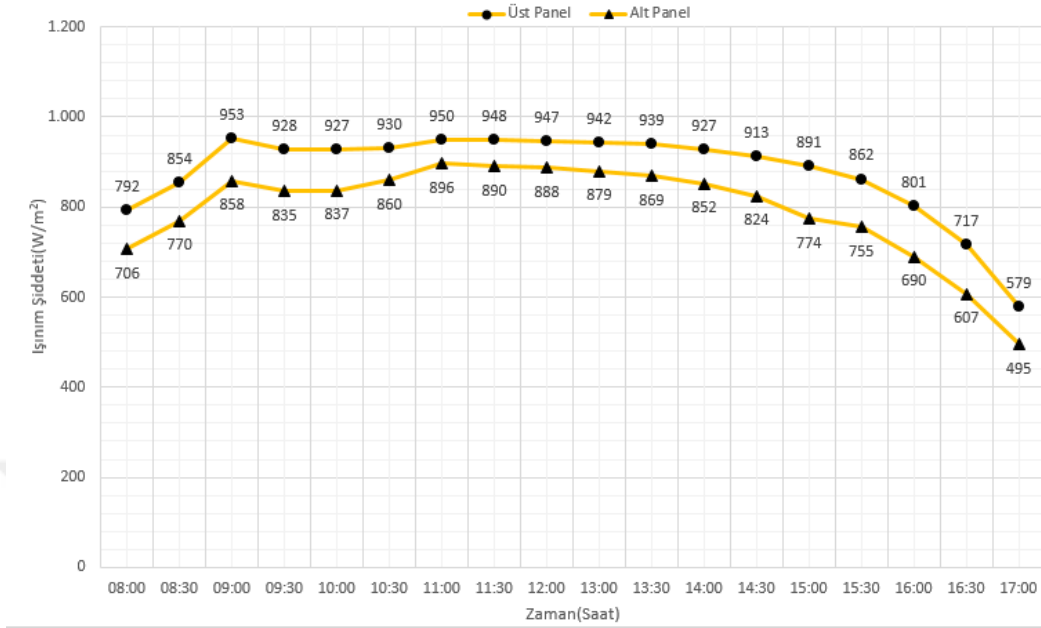
5.1. İki Ayna Etkin ve Güneş Takip Sistemi Aktif (1.Durum)

Sistem bu durumda iken 02.10.2017-08.10.2017 tarihleri arasında 6 gün boyunca 30 dakikalık aralıklarla veri alınmıştır. Bu durumda alınan veriler Ekler-1 kısmında tablolar halinde verilmiştir. Alınan veriler; zenit açısı (ψ), azimut açısı (γ), çevre sıcaklığı (T_c), panel çevresi sıcaklığı ($T_{pç}$), panel yüzey sıcaklığı (T_{pv}), üst panele dik gelen anlık güneş ışınlımı ($G_{üst}$), alt panele dik gelen anlık güneş ışınlımı (G_{alt}), akım (A), gerilim (V), anlık güç (E_{pv}) ve üretilen enerji (E)'dir.



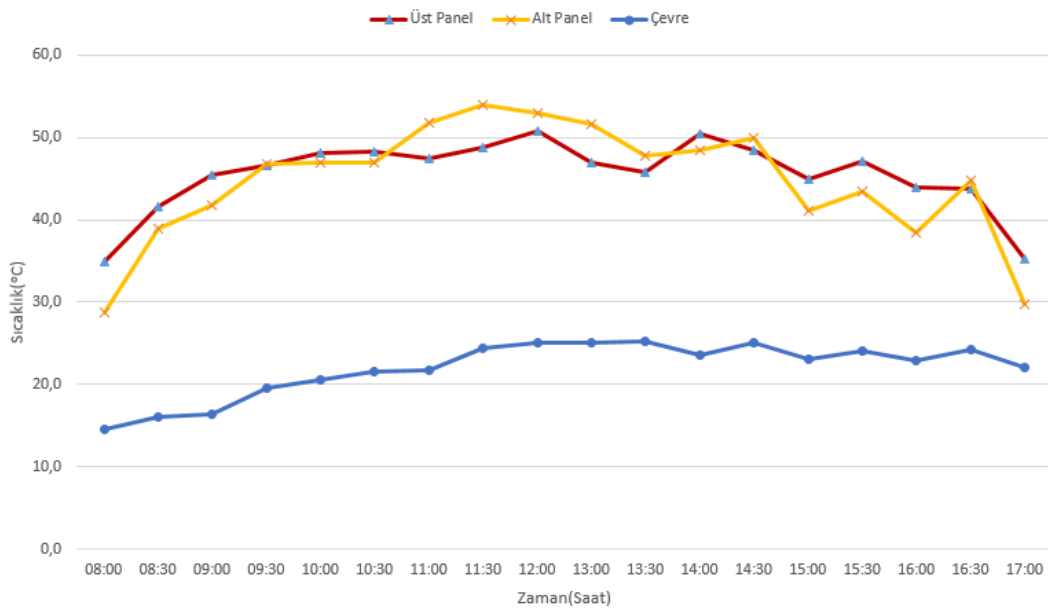
Şekil 5.1. İki ayna etkin ve güneş takip sistemi aktif (1.Durum)

Ekler kısmında verilen tablolarda T_c değerinden sonra ikiye bölünen satırın üst kısmı üst panelin, alt kısmı alt panelin verilerini göstermektedir.

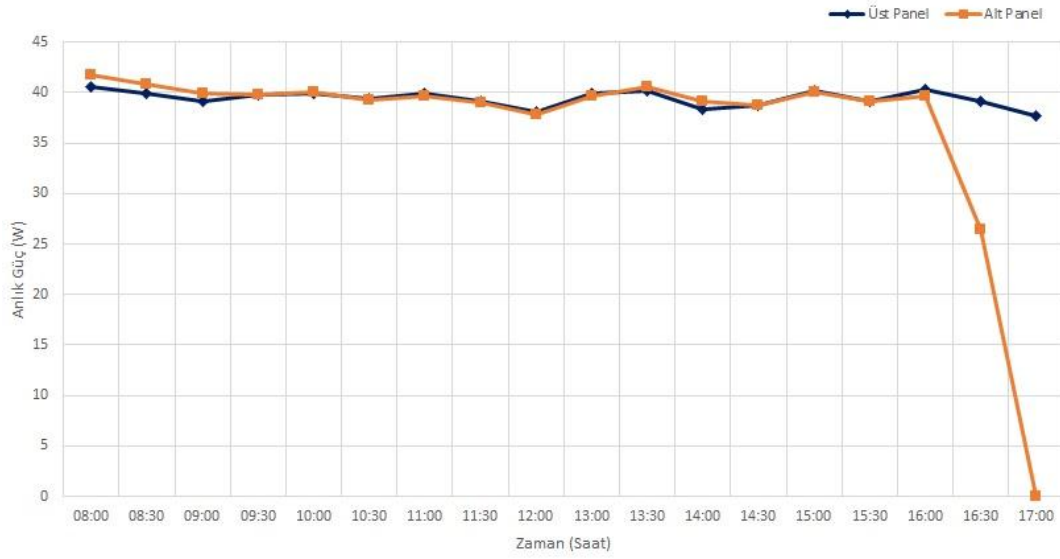


Şekil 5.2. Alt ve üst panele dik gelen ışınım miktarı (1.Durum)

Şekil 5.2.'de 07.10.2017 tarihinde alt ve üst panele dik gelen güneş ışınımı miktarları verilmiştir. Sistemde iki ayna etkin olmasına rağmen alt panele dik gelen ışınım şiddeti üst panelden daha azdır. Her bir aynadan yansıyan ışınların alt panelin normali ile yaptığı açı 53° 'dir.

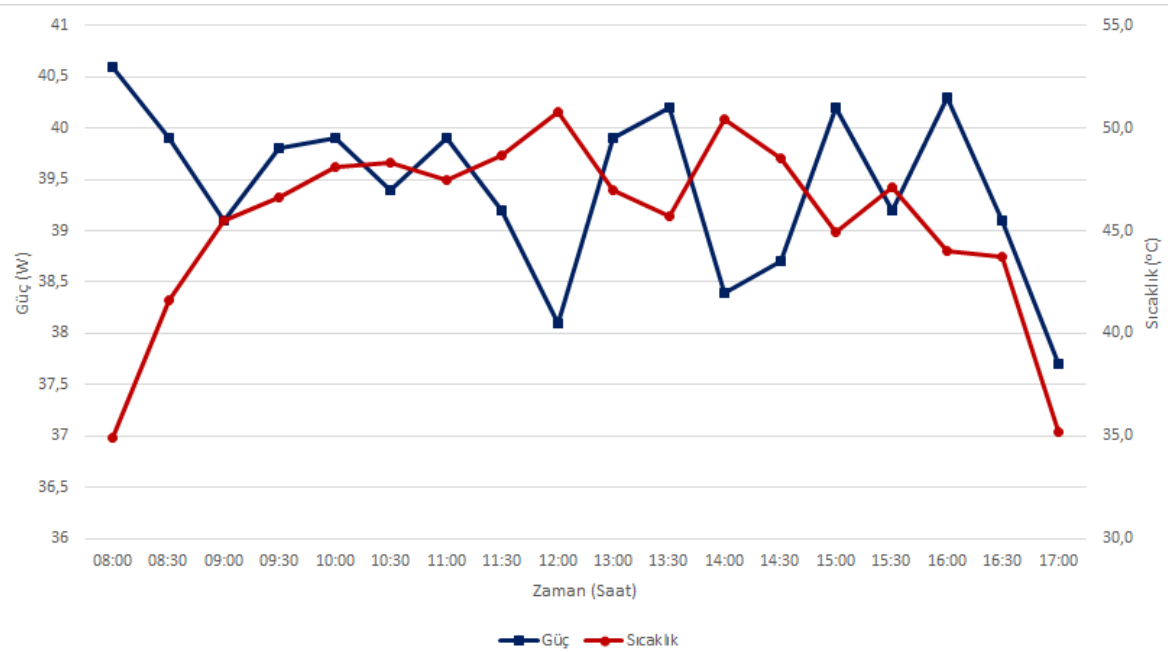


Şekil 5.3. Alt panel, üst panel ve çevre sıcaklıklarının zamana göre değişimi (1.Durum)



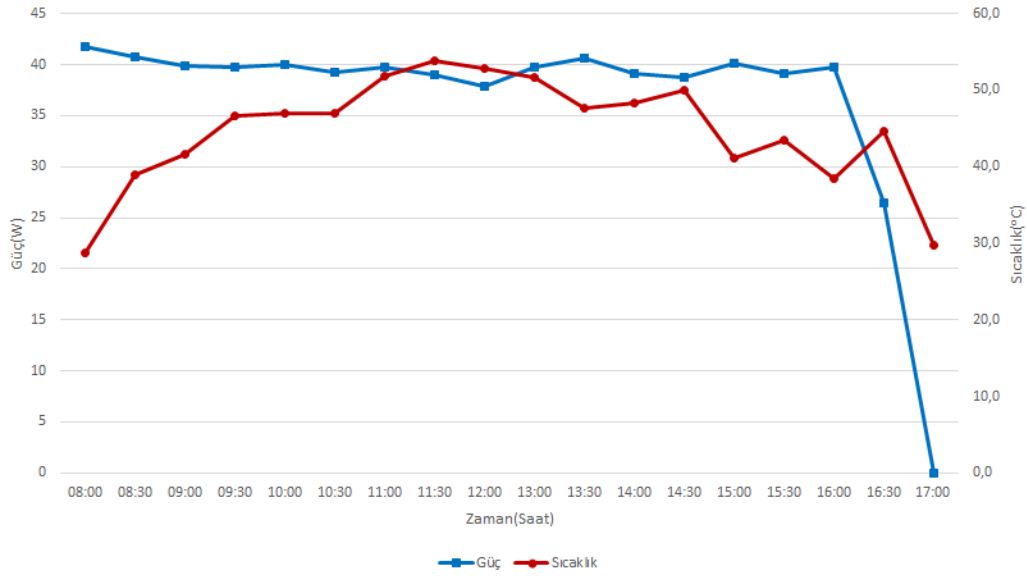
Şekil 5.4. Alt ve üst panelin anlık güç miktarları (1.Durum)

Şekil 5.4.'de alt ve üst panelin anlık güç miktarları verilmiştir. Yukarıda da görüldüğü gibi saat 16.00'dan sonra alt panelde üretilen anlık güç miktarı azalmaktadır. Bu durumun, alt panelde kısmi gölgelenmeden oluştuğu anlaşılmıştır. Gölgeleme boyutu arttıkça anlık enerji üretimi düşmektedir. 17.00 civarlarında ise gölgelenme boyutu oldukça arttığından alt panelin enerji üretimi durmuştur.



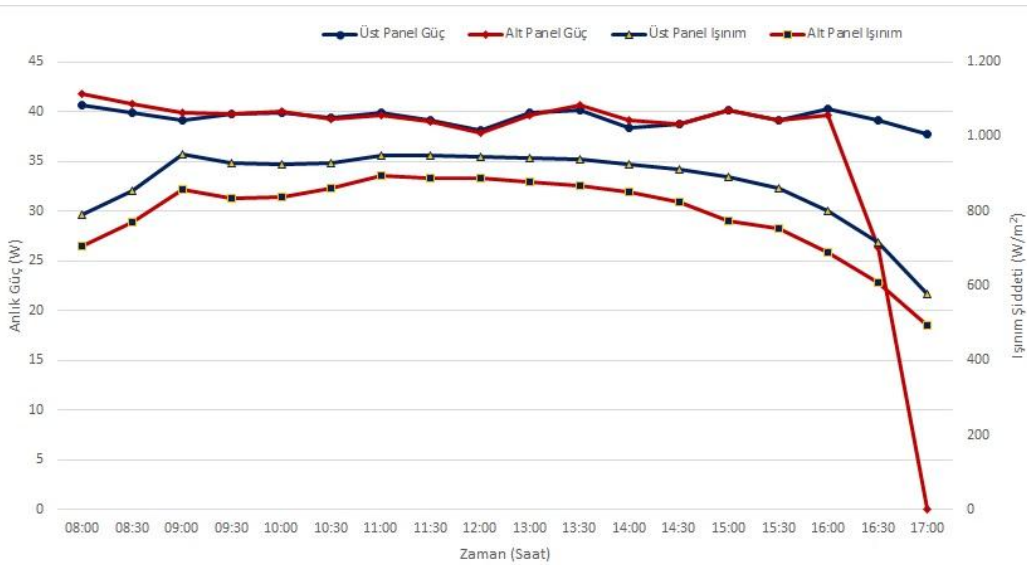
Şekil 5.5. Üst panel sıcaklık ve güç değerlerinin zamana göre değişimi (1.Durum)

Şekil 5.5.'de üst panelin sıcaklık ve güç değerlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi panelin yüzey sıcaklığı artarken ürettiği anlık enerji miktarı azalmaktadır. Yüzey sıcaklığı azaldığında ise üretilen anlık enerji miktarı artmaktadır. Kısacası panelin ürettiği anlık enerji miktarıyla sıcaklık ters orantılıdır. Bunun sebebi sıcaklığın artmasıyla enerji bantları arasındaki mesafe ve voltaj değerleri azalmaktadır. Bundan dolayı da üretilen anlık enerji miktarı azalmaktadır.



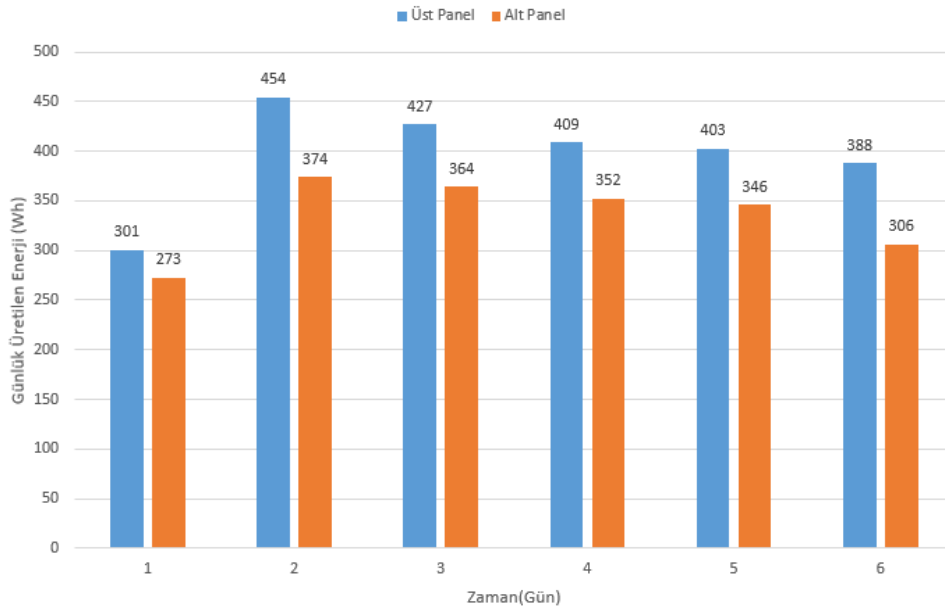
Şekil 5.6. Alt panel sıcaklık ve güç değerlerinin zamana göre değişimi (1.Durum)

Yüzey sıcaklığının üretilen enerji üzerindeki etkisi Şekil 5.6.'da verilmiştir. Sıcaklık arttıkça üretilen anlık enerji azalmaktadır.



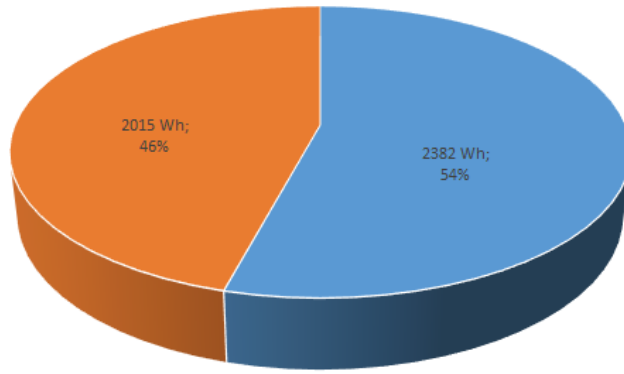
Şekil 5.7. Alt-üst panelin ısıtım ve güç değerlerinin zamana göre değişimi (1.Durum)

Şekil 5.7.'de alt ve üst panelin 07.10.2017 tarihine ait bir günlük (08.00-17.00) ışıınım ve güç değęerlerinin zamana göre değışimi verilmiştir. Başlangıçta ışıınım değęerlerinin artmasına rağmen anlık güç miktarında bir düşüş olmuştur. Burada da sıcaklığın etkisinden söz edebiliriz. Saat 16.00'dan sonra ise alt panelin anlık güç miktarında azalma olmuştur ve 17.00'da ise alt panel üretimi tamamen kesmiştir. Bu durum hem alt panele gelen ışıınım miktarında azalma hem de alt panelde oluşan kısmi gölgelenmeyle açıklanabilir.



Şekil 5.8. Alt ve üst panelin ürettiğı günlük enerji miktarı (1.Durum)

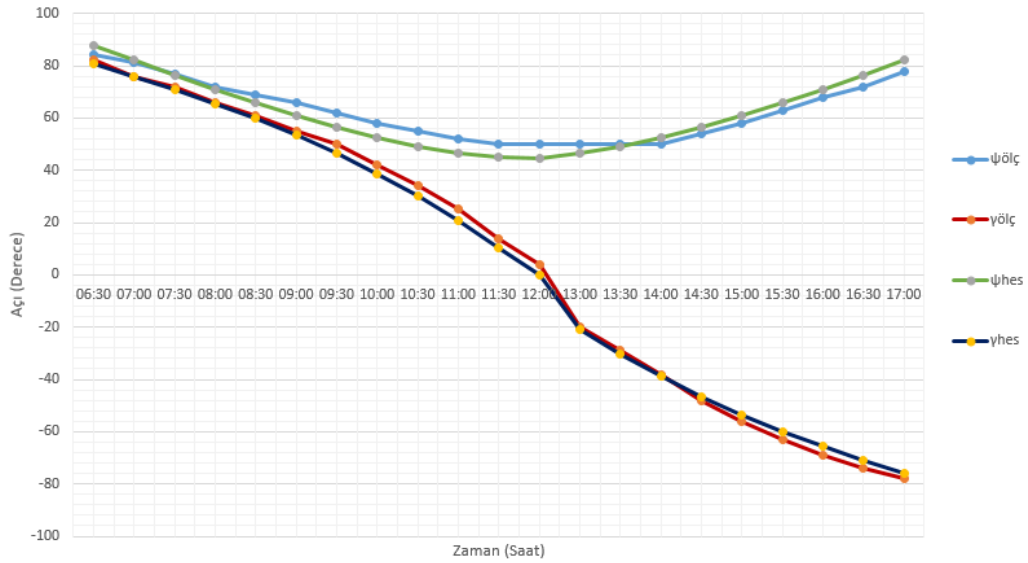
Şekil 5.8.'de alt ve üst panelin 6 günlük zaman dilimi içerisinde ürettiğı enerji miktarları verilmiştir. Alt panelde üretilen enerji miktarının üst panele göre az olmasının sebebi alt panelde meydana gelen kısmi gölgelenme ve yüzeyde oluşan yüksek sıcaklık değęerleridir. Alt ve üst panelin ürettiğı toplam enerji ve yüzdeleri ise aşağıdaki verilen şekildeki gibidir.



■ Üst Panel ■ Alt Panel

Şekil 5.9. Alt ve üst panelin ürettiği toplam enerji (1.Durum)

Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi altı günlük zaman dilimi içerisinde alt panel %46'lık bir değerle 2015 Wh enerji üretirken üst panel ise %54'lük değerle 2382 Wh enerji üretmiştir.



Şekil 5.10. Zenit ve azimut açısının hesaplanan ve ölçülen değerlerinin zamana göre değişimi

Şekil 5.10.'da zenit (ψ) ve yüzey azimut (γ) açısının ölçülen ve hesaplanan değerleri zamana göre değişimi verilmiştir. Hesaplanan ve ölçülen değerlerin birbirine yakın olduğu şekilde görülmektedir. Fotovoltaik panel, saat 12.00'de tam güneşe yöneldiğinden yüzey azimut açısı 0° dir.

Verim Analizi

Alt ve üst panelin teorik ve gerçek verimleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir;
Teorik verim [3];

$$\eta_c = \eta_0[1-\beta(T_{PV}-25)] \quad (5.1)$$

$$\eta_m = \eta_c \cdot \tau_g \cdot \alpha_c \cdot \delta_c \quad (5.2)$$

Deneysel çalışma verimi [48];

$$\eta_m = \frac{E_{pv}}{G \cdot A} \quad (5.3)$$

07.10.2017 tarihinde saat 08.00 da alınan verilere göre alt ve üst panel için verim değerlerini aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.

Üst panel verileri;

$$T_{PV} = 34,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$E_{PV} = 40,6 \text{ W}$$

$$A = 0,53 \text{ m}^2$$

$$G_{üst} = 792 \text{ W/m}^2$$

Alt panel verileri (iki ayna ile yansıtma);

$$T_{PV} = 28,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$E_{PV} = 41,8 \text{ W}$$

$$A = 0,53 \text{ m}^2$$

$$G_{alt} = 706 \text{ W/m}^2$$

Üst panel teorik verim;

$$\eta_c = 0,15 \cdot [1 - 0,0045/^{\circ}\text{C} \cdot (34,9 - 25) \text{ }^{\circ}\text{C}]$$

$$\eta_c = 0,143$$

$$\eta_m = 0,143 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,9$$

$$\eta_m = 0,11$$

$$\eta_m = \%11$$

Alt panel (iki ayna ile yansıtma) teorik verim;

$$\eta_c = 0,15.[1-0,0045/K.(28,7-25)^\circ\text{C}]$$

$$\eta_c = 0,147$$

$$\eta_m = 0,147.0,9.0,95.0,9$$

$$\eta_m = 0,113$$

$$\eta_m = \%11,3$$

Üst panel deneysel çalışma gerçek verimi;

$$\eta_m = \frac{40,6 \text{ W}}{792 \text{ W}.0,53 \text{ W}/\text{m}^2}$$

$$\eta_m = 0,0967$$

$$\eta_m = \%9,67$$

Alt panel (iki ayna ile yansıtma) deneysel çalışma gerçek verimi;

$$\eta_m = \frac{41,8 \text{ W}}{706 \text{ W}.0,53 \text{ W}/\text{m}^2}$$

$$\eta_m = 0,1117$$

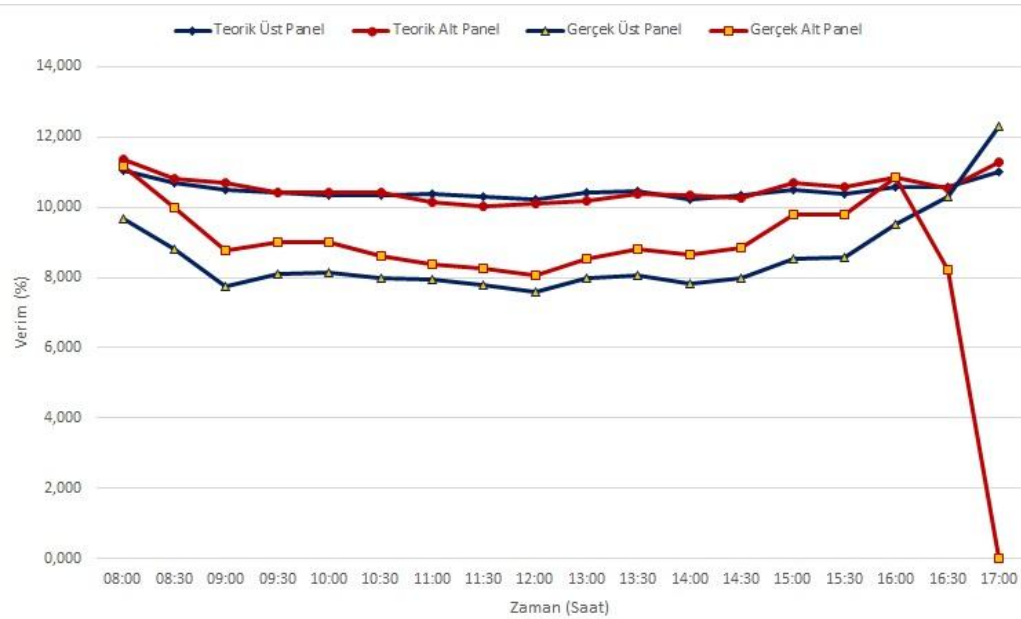
$$\eta_m = \%11,17$$

Hesaplamalarda da görüldüğü gibi deneysel çalışma verimi teorik verimden daha az çıkmıştır. Bunun sebebi laboratuvar şartlarında belirlenen modül geçirgenliği, modül emiciliği ve paket faktörünün ortamda daha düşük seviyelerde seyretmesidir. Bu faktörlerin panel verimini doğrudan etkilediği için deneysel çalışma verimi teorik verime göre düşük çıkmıştır.

07.10.2017 saat 08.00 için yapılan bu hesaplama o gün için tüm saatlere uygulanmıştır ve tablo 5.1.'deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 5.1. Alt ve üst panelin yüzey sıcaklıklarına göre teorik ile deneysel çalışma gerçek verimi (1.Durum)

Saat	Panel Yüzey Sıcaklıkları (°C)		Teorik Verim (%)		Deneysel Çalışma Gerçek Verimi (%)	
	Üst Panel	Alt Panel	Üst Panel	Alt Panel	Üst Panel	Alt Panel
08.00	34,9	28,7	11,0283	11,3503	9,6722	11,1711
08.30	41,6	39,0	10,6803	10,8153	8,8153	9,9975
09.00	45,5	41,7	10,4777	10,6751	7,7412	8,7742
09.30	46,6	46,7	10,4206	10,4154	8,0921	8,9933
10.00	48,1	46,9	10,3427	10,4050	8,1211	9,0169
10.30	48,3	46,9	10,3323	10,4050	7,9935	8,6222
11.00	47,5	51,8	10,3738	10,1505	7,9245	8,3600
11.30	48,7	53,9	10,3115	10,0414	7,8019	8,2680
12.00	50,8	52,9	10,2024	10,0933	7,5910	8,0529
13.00	47,0	51,6	10,3998	10,1609	7,9918	8,5217
13.30	45,7	47,7	10,4673	10,3634	8,0776	8,8152
14.00	50,4	48,4	10,2232	10,3271	7,8158	8,6589
14.30	48,5	50,0	10,3219	10,2440	7,9977	8,8615
15.00	44,9	41,1	10,5089	10,7062	8,5128	9,7752
15.30	47,1	43,5	10,3946	10,5816	8,5803	9,7713
16.00	44,0	38,4	10,5556	10,8465	9,4929	10,8559
16.30	43,7	44,7	10,5712	10,5193	10,2892	8,2061
17.00	35,2	29,8	11,0127	11,2932	12,2853	-



Şekil 5.11. Alt-üst panel hesaplanan (teorik) ve deneysel (gerçek) verimlerinin zamana göre değişimi (1.Durum)

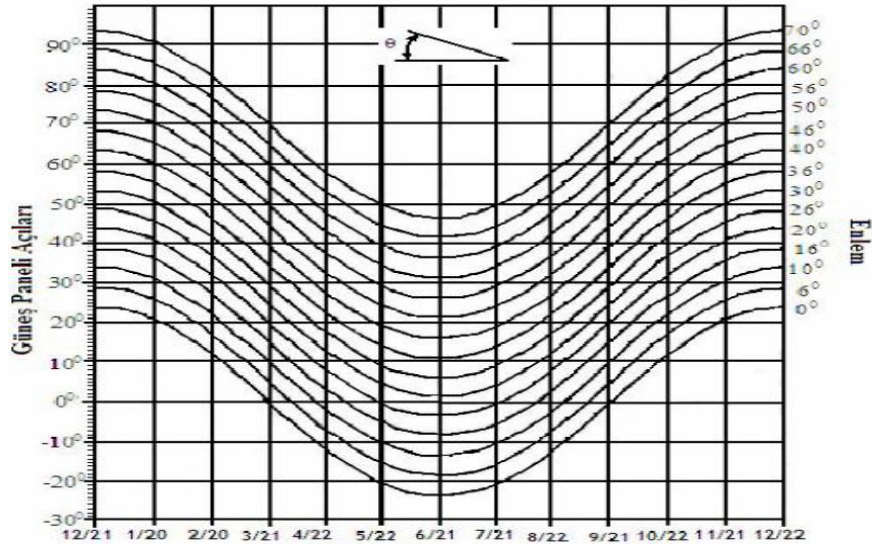
Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi alt ve üst panel verimlerinde öğle saatlerine doğru bir azalma olmuştur. Öğle saatlerine doğru panelin yüzeyine gelen ışınlım miktarı artmaktadır. Öğle saatlerinde, panel veriminin en yüksek değerde olması beklenebilir. Fakat göz önünde bulundurulması gerekli en önemli parametre sıcaklıktır. Panel yüzey sıcaklıkları da, öğle saatlerinde en yüksek değerlerini almaktadır. Bundan dolayı yüksek sıcaklık değerlerinin fotovoltaiik paneli olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Öztürk E. [12] de yaptığı çalışmada sıcaklığın panel üzerindeki etkisini incelemiştir ve sıcaklığın panel verimini olumsuz etkilediği görülmüştür.

5.2. İki Ayna Etkin ve Güneş Takip Sistemi Pasif (2.Durum)

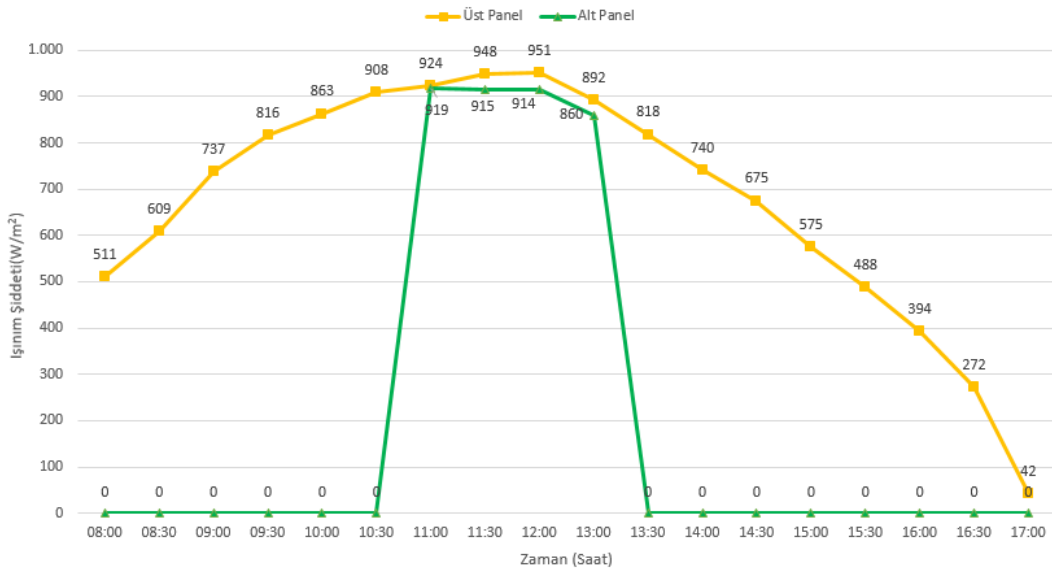
Sistem güneye yönlendirilip panelin yatayla olan açısı Elazığ ilinin enlem değerine ve Ekim ayına göre ayarlanmıştır. Elazığ ili için Ekim ayında panelin yatay ile yaptığı açı Şekil 5.16'ya göre 49° olarak tespit edilmiştir. Sistem bu şekilde sabitlenip 10.10.2017-15.10.2017 tarihleri arasında 6 gün boyunca 30 dakikalık aralıklarla veri alınmıştır. Bu durumda alınan veriler Ekler-2 kısmında tablolar halinde verilmiştir. Alınan veriler; Çevre sıcaklığı (T_c), panel çevresi sıcaklığı ($T_{pç}$), panel yüzey sıcaklığı (T_{pv}), üst panele dik gelen anlık güneş ışınlımı ($G_{üst}$), alt panele dik gelen anlık güneş ışınlımı (G_{alt}), akım (A), gerilim (V), anlık güç (E_{pv}) ve üretilen enerji (E)'dir.



Şekil 5.12. İki ayna etkin ve güneş takip sistemi pasif (2.Durum)

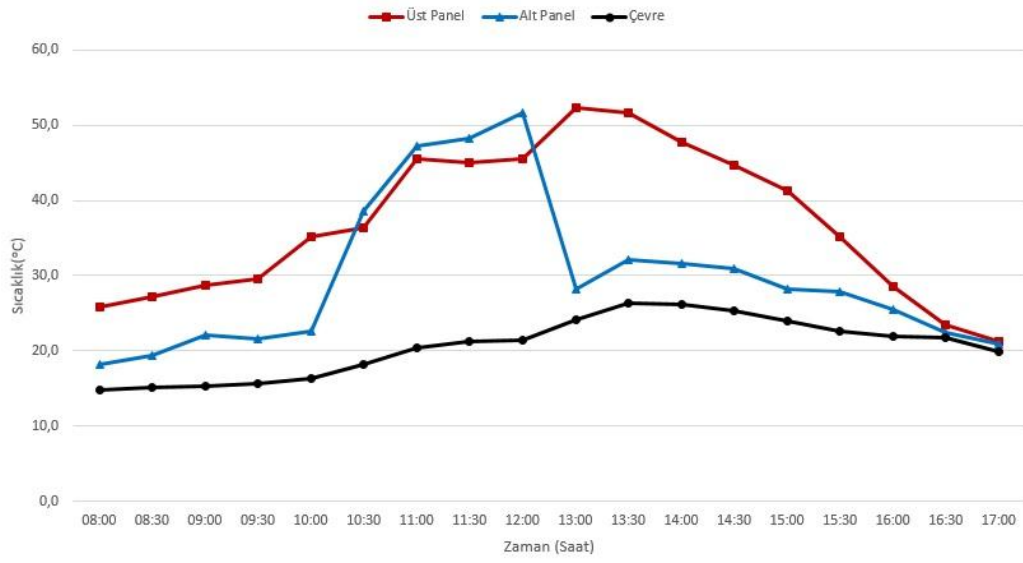


Şekil 5.13. Güneş paneli açısı tespit diyagramı [61]



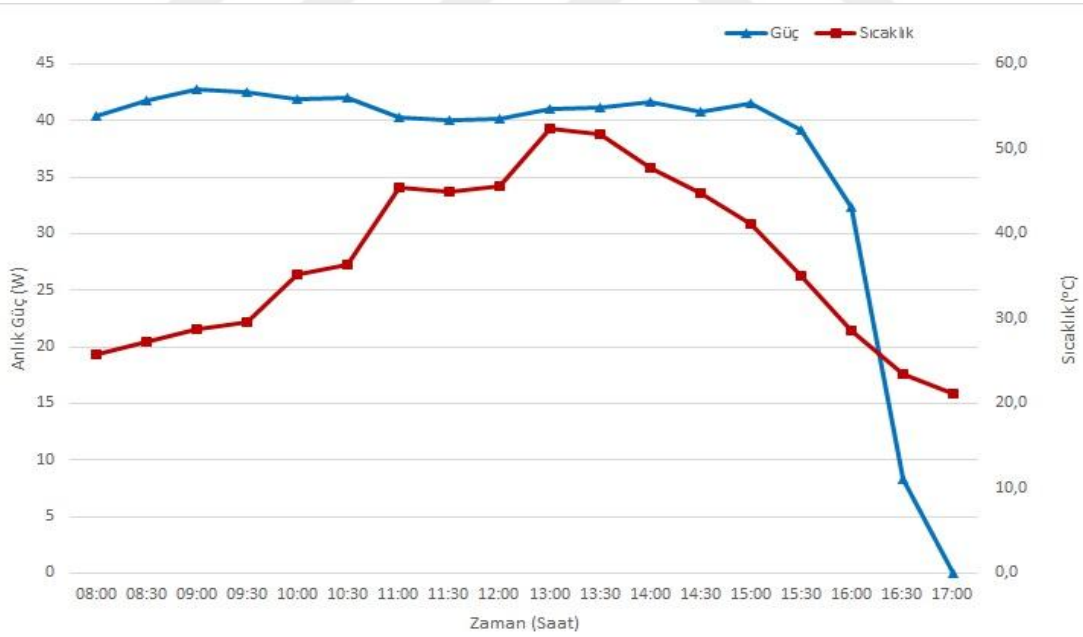
Şekil 5.14. Alt ve üst panele dik gelen ışıınım miktarı (2.Durum)

Şekil 5.14.'de sistem sabit iken (2.durum) alt ve üst panele dik gelen ışıınım şiddetlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi üst panele dik gelen ışıınım şiddeti en yüksek değerini 12.00 civarında almıştır. Alt panele ise sistem sabit olduğundan sadece 10.30-13.30 arasında ışıın düşmüştür. Düzenek sabit olduğundan diğer saatlerde aynalardan alt panele yansıma olmamıştır.

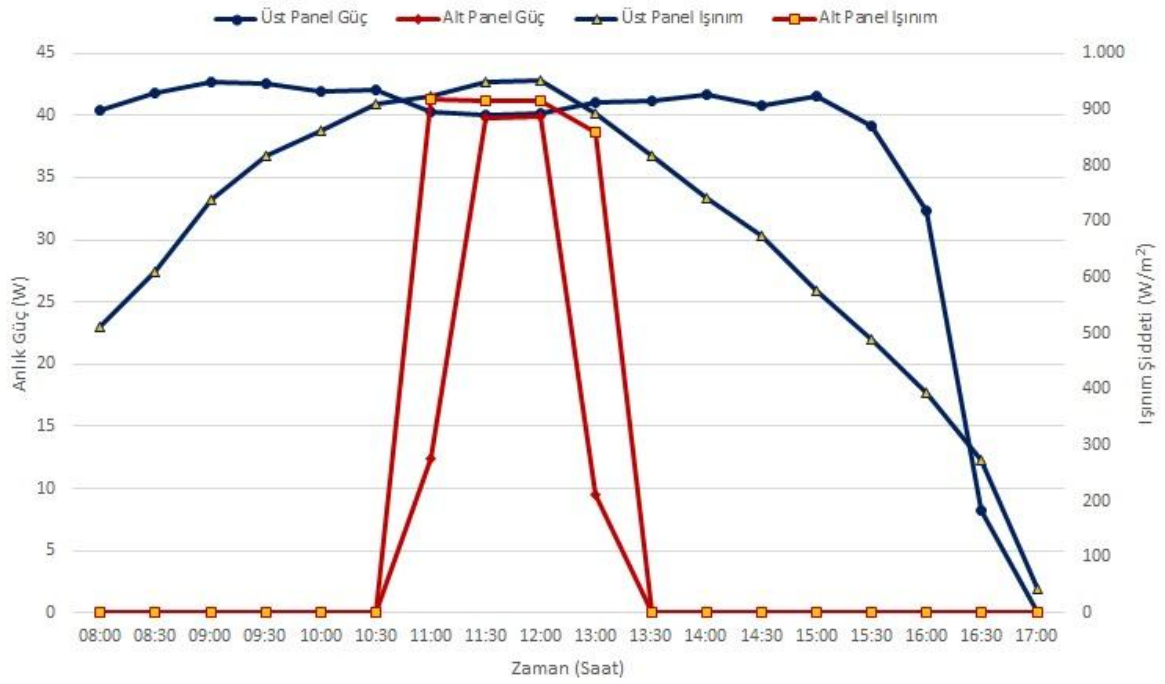


Şekil 5.15. Alt - üst panel yüzey ve çevre sıcaklıklarının zamana göre değişimi (2.Durum)

Şekil 5.15.'de görüldüğü gibi alt panelde sadece öğle saatlerinde yansıma söz konusu olduğundan o saatlerde yüzey sıcaklık değerlerinde yükselme olmuştur.

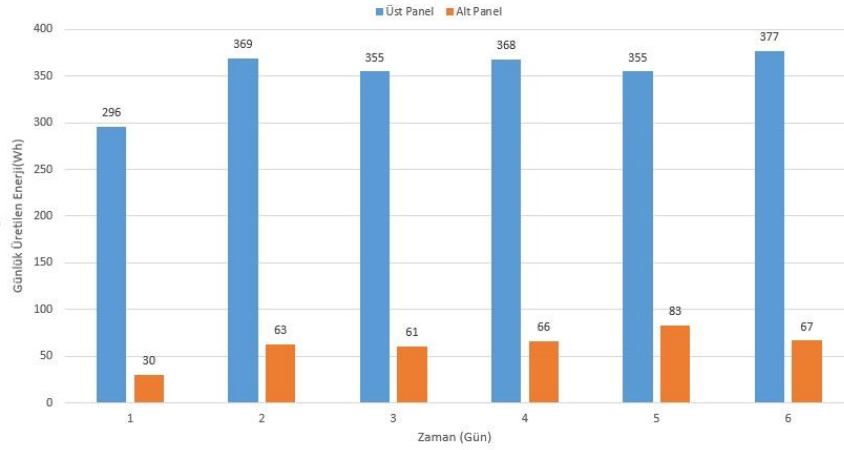


Şekil 5.16. Üst panel güç ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (2.Durum)

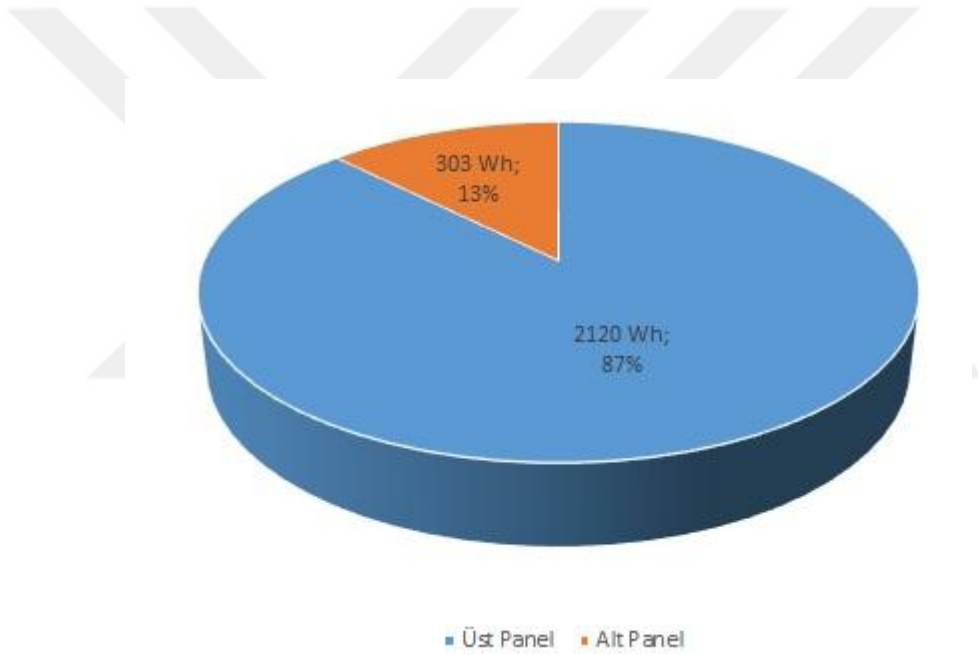


Şekil 5.17. Alt-üst panel güç ve ısıtım değerlerinin zamana göre değişimi (2.Durum)

Şekil 5.16.'da sistem sabit durumdayken üst panel sıcaklık ve güç değerlerinin zamana göre değişimi, Şekil 5.17.'de ise alt-üst panel ısıtım ve güç değerlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü gibi sıcaklık ve ısıtım üretilen anlık güç miktarını etkileyen iki önemli parametredir. Şekil 5.17.'de görüldüğü gibi öğle civarlarında ısıtım miktarı artmasına rağmen panel gücü düşmüştür. Daha önce de belirtildiği gibi yüksek sıcaklık değerleri panel verimini olumsuz etkilediğinden anlık üretim miktarında azalma olmuştur. Saat 12.00'den sonra ise üst panele dik gelen ısıtım miktarı azalmıştır. Buna rağmen panel üretim miktarında bir noktaya kadar azalma olmamıştır. Bunun sebebi panele dik gelen ısıtım miktarının azalmasından dolayı yüzey sıcaklık değeri de azalmıştır ve yüzey sıcaklığının azalmasıyla da panel veriminde yükselme olmuştur. Yine sıcaklığın panel üzerindeki etkisini görmek mümkündür.

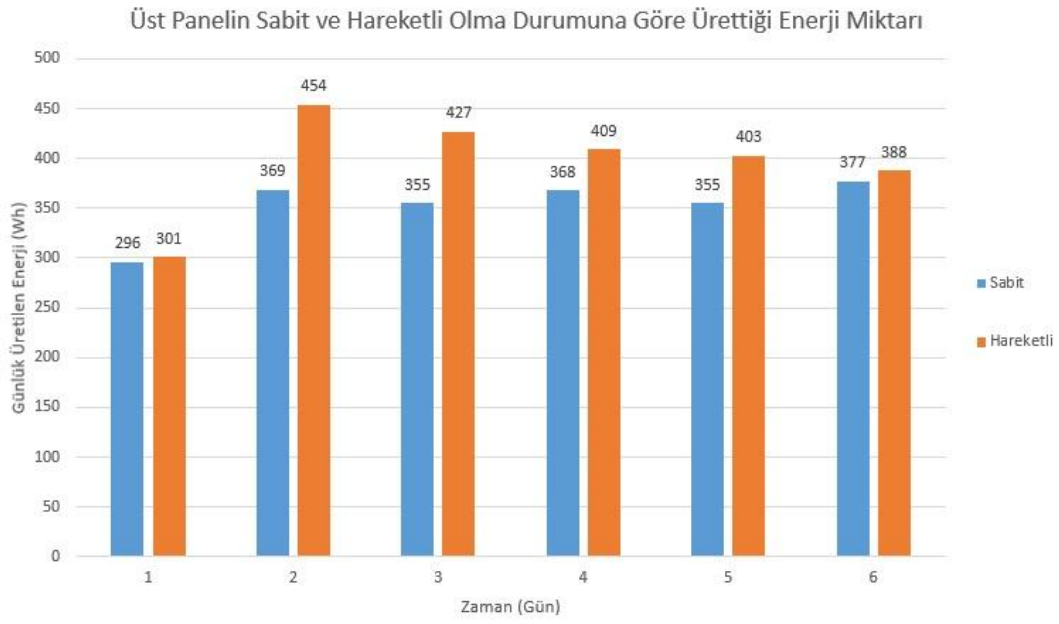


Şekil 5.18. Alt ve üst panelin ürettiği enerji miktarı (2.Durum)

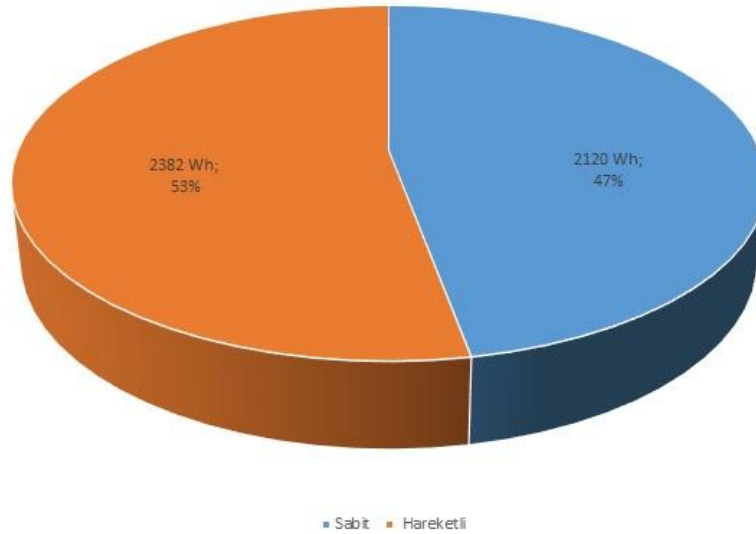


Şekil 5.19. Alt ve üst panelin ürettiği toplam enerji miktarı (2.Durum)

Şekil 5.18.'de alt ve üst panelin ürettiği günlük enerji miktarı, Şekil 5.19.'da ise, alt ve üst panelin altı günde ürettiği toplam enerji miktarı görülmektedir. Alt panelin sadece öğle saatlerinde, yaklaşık üç saatlik bir zaman diliminde aynalardan yansıma alması nedeniyle, alt panel üretim değerlerinin üst panele göre az çıkması beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.20. Üst panelin sabit ve güneş takip sistemli olma durumuna göre bir günde ürettiği enerji miktarı



Şekil 5.21. Üst panelin sabit ve takip sistemli olma durumuna göre ürettiği toplam enerji miktarı

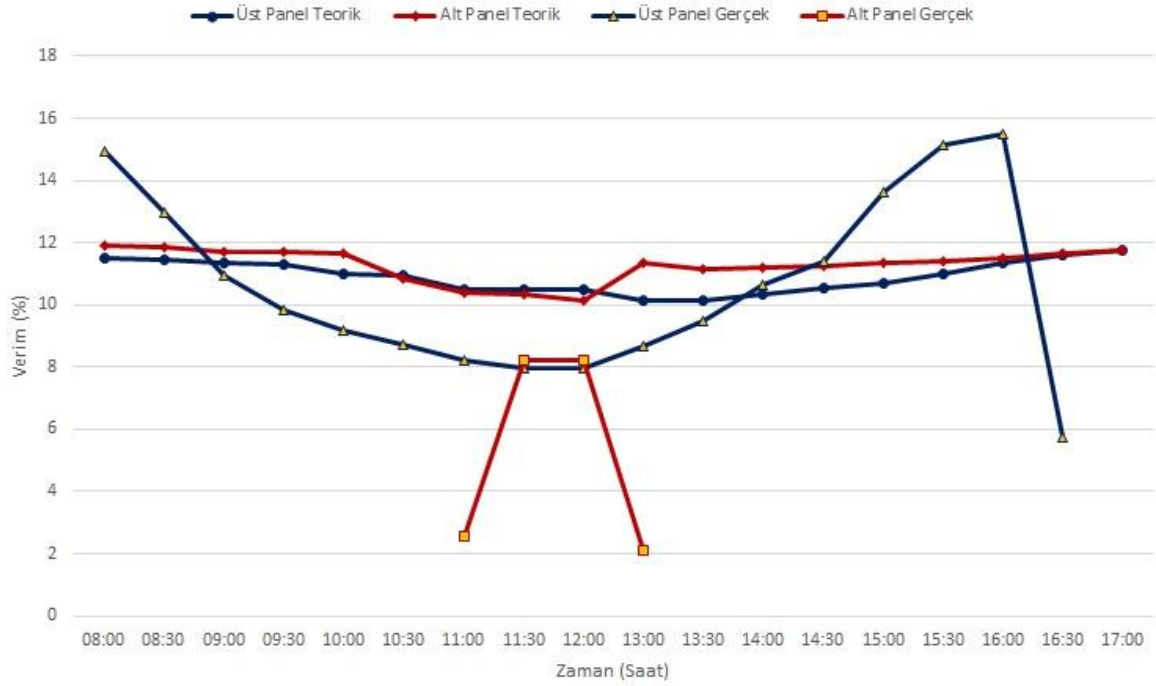
Şekil 5.20. ve 5.21.'de üst panelin sabit ve hareketli durumda ürettiği enerji miktarları görülmektedir. Üst panel 1.durumda (iki ayna etkin-güneş takip sistemi aktif) ürettiği toplam enerji 2382 Wh iken 2.durumda (iki ayna etkin-güneş takip sistemi pasif) ürettiği toplam enerji 2120 Wh'dır. Güneş takip sistemi aktif iken üst panelde üretilen enerji miktarı sabit duruma göre %12,3 daha fazladır.

Verim Analizi

Tablo 5.2. Alt ve üst panelin yüzey sıcaklıklarına göre teorik ile deneysel çalışma gerçek verimi (2.Durum)

Saat	Panel Yüzey Sıcaklıkları (°C)		Teorik Verim (%)		Deneysel Çalışma Gerçek Verimi (%)	
	Üst Panel	Alt Panel	Üst Panel	Alt Panel	Üst Panel	Alt Panel
08.00	25,8	18,2	11,5009	11,8957	14,9171	-
08.30	27,2	19,4	11,4282	11,8333	12,9504	-
09.00	28,7	22,1	11,3503	11,6931	10,9316	-
09.30	29,6	21,6	11,3035	11,7191	9,8270	-
10.00	35,2	22,7	11,0127	11,6619	9,1607	-
10.30	36,4	38,5	10,9503	10,8412	8,7275	-
11.00	45,5	47,2	10,4777	10,3894	8,2292	2,5458
11.30	45,0	48,2	10,5036	10,3374	7,9611	8,2070
12.00	45,6	51,6	10,4725	10,1608	7,9757	8,2367
13.00	52,3	28,3	10,1245	11,3710	8,6725	2,0842
13.30	51,7	32,2	10,1556	11,1685	9,5032	-
14.00	47,8	31,6	10,3582	11,1996	10,6323	-
14.30	44,7	30,9	10,5192	11,2360	11,4046	-
15.00	41,2	28,3	10,7010	11,3710	13,6177	-
15.30	35,1	27,9	11,0178	11,3918	15,1175	-
16.00	28,5	25,5	11,3607	11,5165	15,5158	-
16.30	23,4	22,4	11,6256	11,6775	5,7575	-
17.00	21,2	20,9	11,7398	11,7554	-	-

Tablo 5.2.'de alt ve üst panelin 14.10.2017 tarihli verileri ve bu verilere göre teorik ve deneysel çalışma gerçek verimleri yer almaktadır. Teorik verim sadece yüzey sıcaklığına bağlı olduğundan iki panel içinde hesaplama yapılmıştır. Ancak gerçek verim alınan verilere bağlı olduğundan üretim olmadığı durumlarda hesaplama yapılamamıştır.



Şekil 5.22. Alt-üst panel hesaplanan(teorik) ve deneysel (gerçek) verimlerinin zamana göre değişimi (2.Durum)

Şekil 5.22.'de en sıcak zaman dilimi olan öğle saatlerinde, verimde azalma görülmektedir. Bu durumun paneldeki ısınmadan kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Deneysel çalışma veriminin, ani yükselmesi ve bir süre sonra ani düşmesinin, güneşin hareketine bağlı olarak, aynalardan yansıyan ışınların önce panel üzerindeki gölgeyi azaltıp tamamen paneli kaplaması ve daha sonra yansıyan ışınların panelden uzaklaşmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır (Şekil 5.22.).

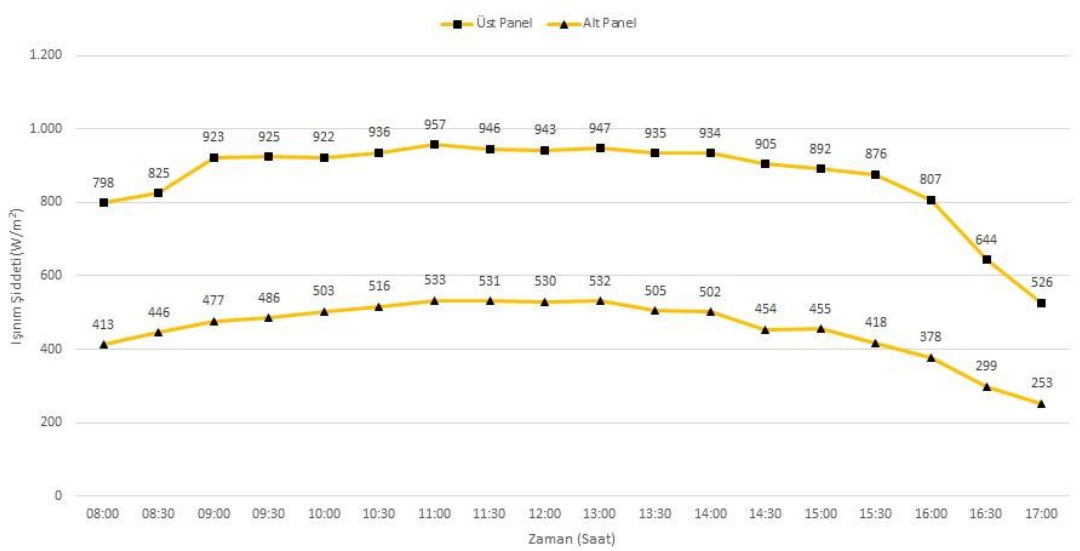
5.3. Tek Ayna Etkin ve Güneş Takip Sistemi Aktif (3.Durum)

Sistem bu durumda iken 16.10.2017-23.10.2017 tarihleri arasında 6 gün boyunca 30 dakikalık aralıklarla veri alınmıştır. Bu durumda alınan veriler Ekler-3 kısmında tablolar halinde verilmiştir. Alınan veriler; zenit açısı (ψ), azimut açısı (γ), çevre sıcaklığı (T_c), panel çevresi sıcaklığı ($T_{pç}$), panel yüzey sıcaklığı (T_{pv}), üst panele dik gelen anlık güneş ışınlamı ($G_{üst}$), alt panele dik gelen anlık güneş ışınlamı (G_{alt}), akım (A), gerilim (V), anlık güç (E_{pv}) ve üretilen enerji (E)'dir.



Şekil 5.23. Tek ayna etkin ve takip sistemi pasif (3.Durum: Sağdaki ayna paneli görmeyecek durumda)

Şekil 5.23.'de görüldüğü gibi sistem Güneşe yönelmiş vaziyette dururken alt panele sadece soldaki ayna Güneş'ten gelen ışınları yansıtmaktadır. Sağdaki ayna ise konumu değiştirildiğinden Güneş'ten gelen ışınları alt panelden bağımsız bir yere yansıtmaktadır. Güneş takip sistemi aktif iken tek aynanın devre dışı bırakılmasıyla alt panel verileri gözlemlenmiştir.



Şekil 5.24. Alt ve üst panele dik gelen ışınlm miktarı (3.Durum)

Şekil 5.24.'de tek aynanın etkin ve güneş takip sisteminin aktif olduğu durumda alt ve üst panele dik gelen ışınlam miktarının zamana göre değişimi verilmiştir.

Teorik olarak bir aynadan alt panele yansıyan ışınlam miktarı;

$$G_{ya} = G \cdot \rho \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) \quad (5.4)$$

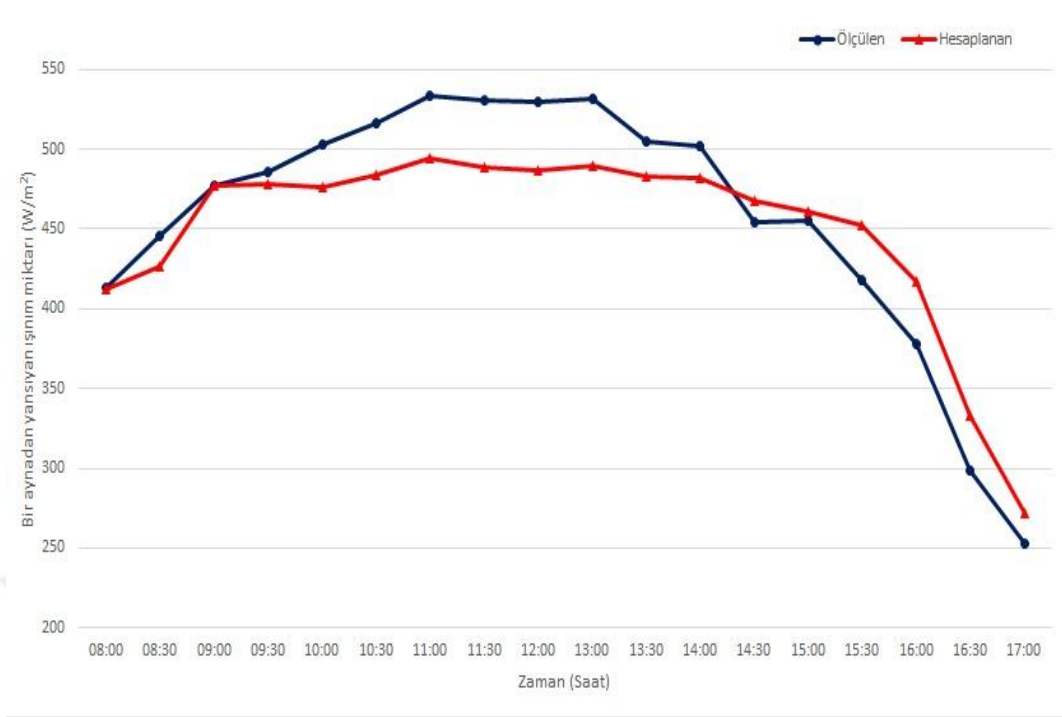
Elde edilen deney verileri denklem 5.1'de yerine konularak alt panele, bir aynadan etkiyen ışınlam miktarı teorik olarak hesaplanabilir. 07.10.2017 tarihinde 08.00 deney verileri için yansıyan ışınlam miktarı aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$G_{ya} = 798(W/m^2) \cdot 0,95 \cdot \cos(25,4) \cdot \cos(53) \quad (5.5)$$

$$G_{ya} = 412,13 W/m^2$$

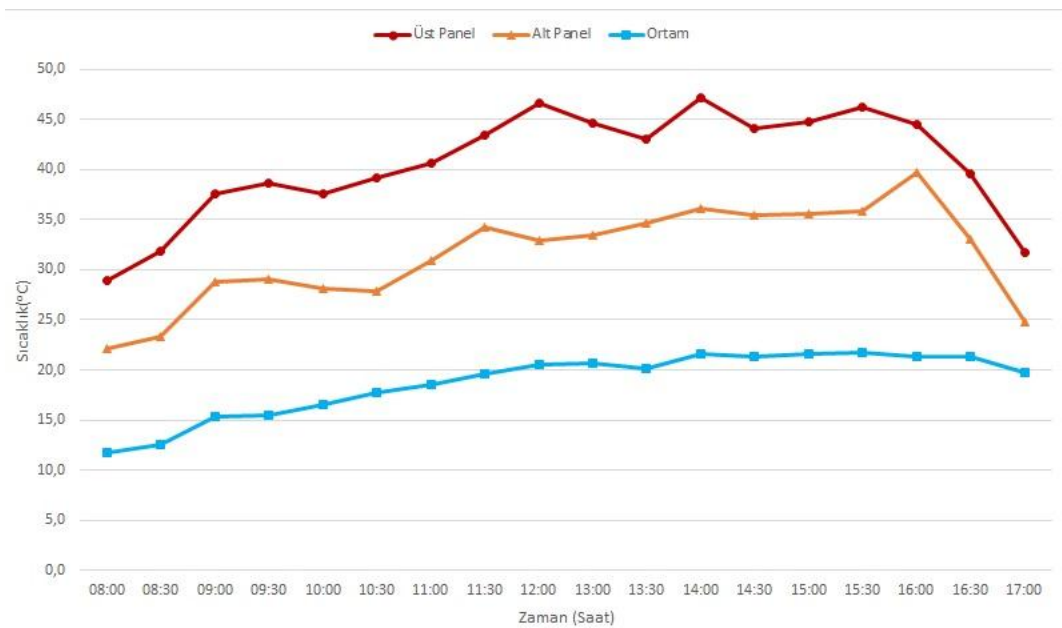
Tablo 5.3. Alt panele yansıyan ışınlamın ölçülen ve hesaplanan değerleri ile üst panele doğrudan gelen ışınlam değerleri

Üst Panel Ölçülen Işınlam Değeri (W/m ²)	Alt Panel Ölçülen Işınlam Değeri (Yansıyan) (W/m ²)	Alt Panel Hesaplanan Işınlam Değeri (Yansıyan) (W/m ²)
798	413	412,13
825	446	426,08
923	477	476,69
925	486	477,72
922	503	476,17
936	516	483,41
957	533	494,25
946	531	488,57
943	530	487,02
947	532	489,09
935	505	482,89
934	502	482,37
905	454	467,40
892	455	460,68
876	418	452,42
807	378	416,78
644	299	332,60
526	253	271,66

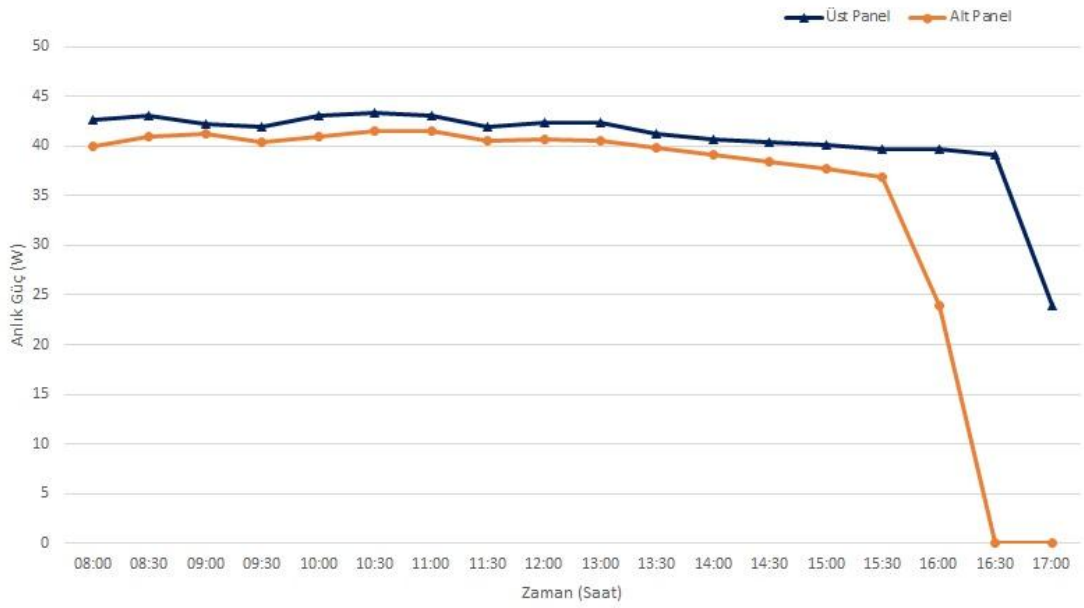


Şekil 5.25. Bir aynadan alt panele yansıyan ışınım miktarının ölçülen ve hesaplanan değerlerinin zaman göre değişimi

Şekil 5.25’de bir aynadan (reflektör) alt panele yansıyan ışınların ölçülen ve hesaplanan değerlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi ölçülen ve hesaplanan değerler birbirine yakındır. Aradaki fark ise ölçüm cihazının hassasiyetine ve ölçüm manuel (elle) yapıldığından ölçüm hatasına bağlı olabilir.

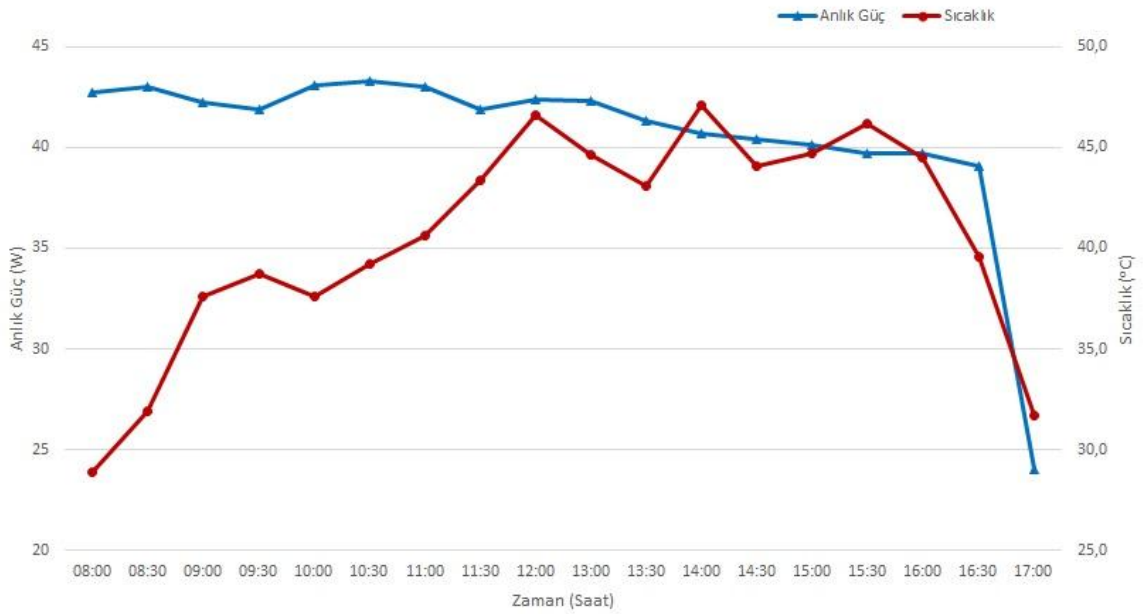


Şekil 5.26. Alt panel, üst panel ve çevre sıcaklıklarının zamana göre değişimi (3.Durum)

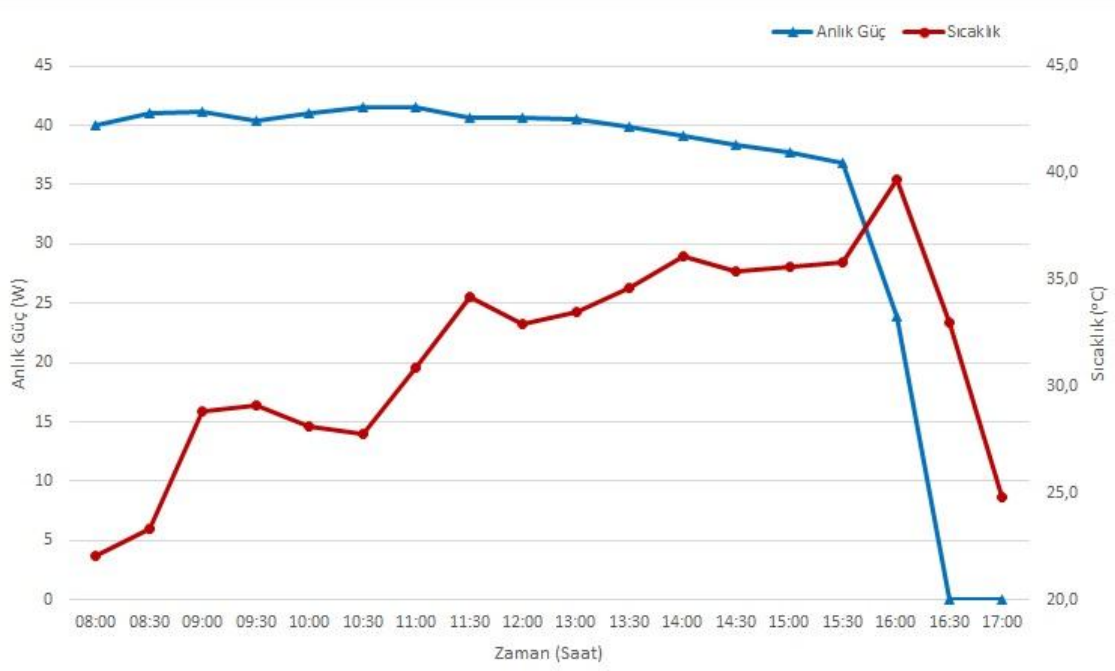


Şekil 5.27. Alt ve üst panelin anlık güç miktarları (3.Durum)

Şekil 5.27.'de alt ve üst panel anlık güç değerlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Saat 15.30'dan sonra alt panel üzerinde kısmi gölgelenme olduğundan anlık üretimi azalmıştır. Saat 16.30'da ise üretim tamamen durmuştur. Üst panelde ise 16.30'dan sonra kısmi gölgelenmeden dolayı üretim azalmıştır.

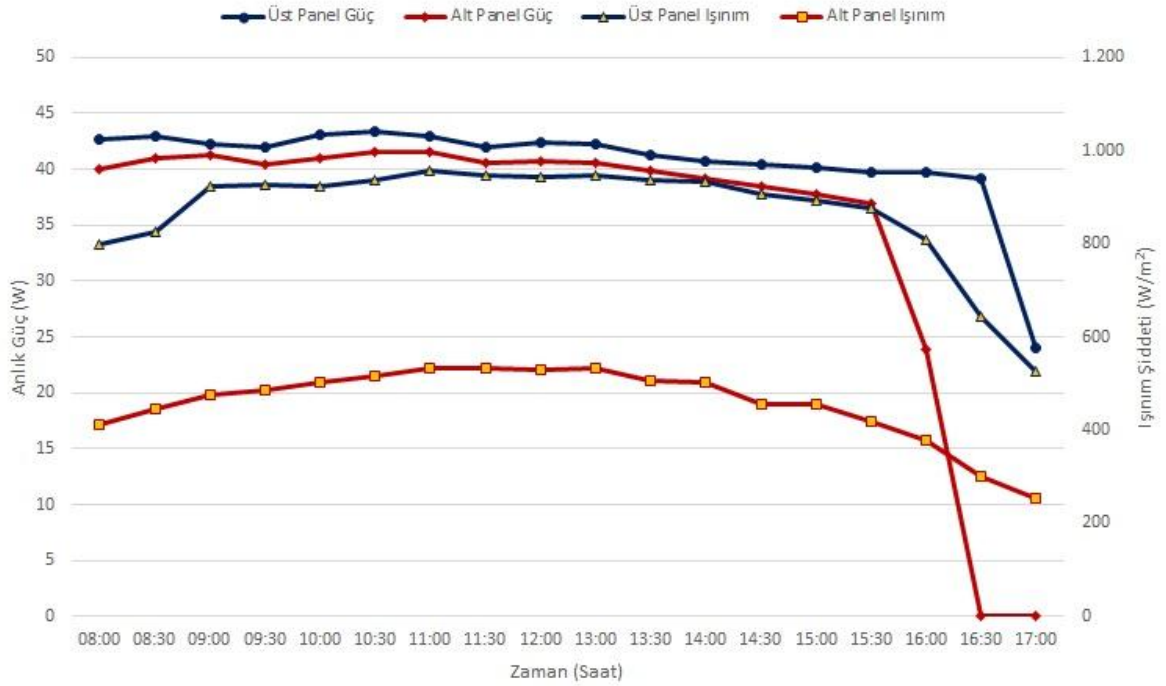


Şekil 5.28. Üst panel güç ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (3.Durum)

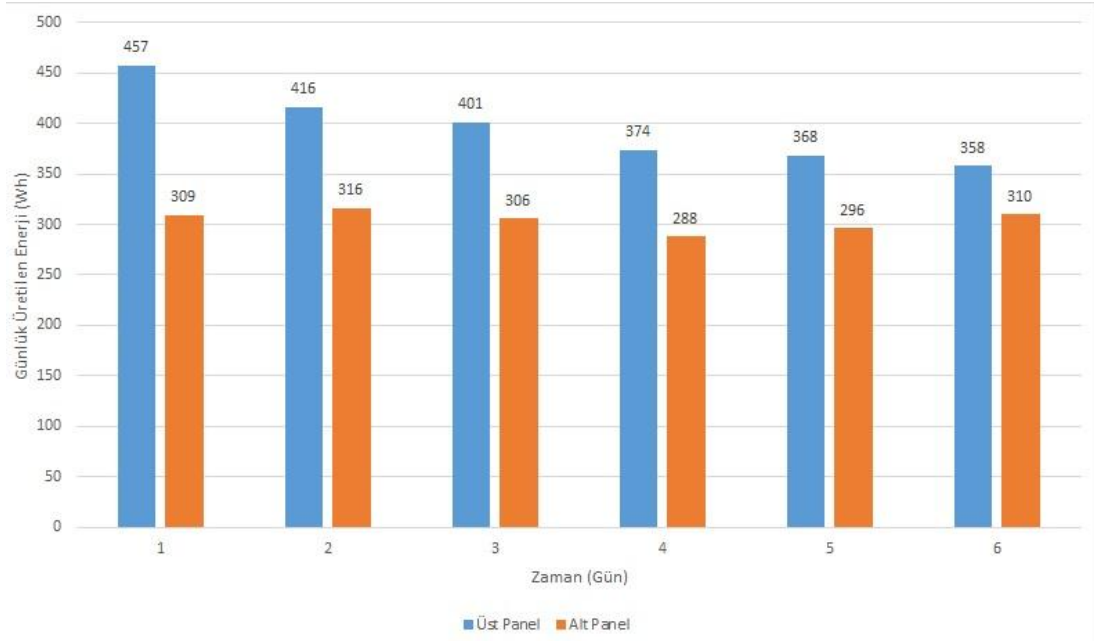


Şekil 5.29. Alt panel güç ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi (3.Durum)

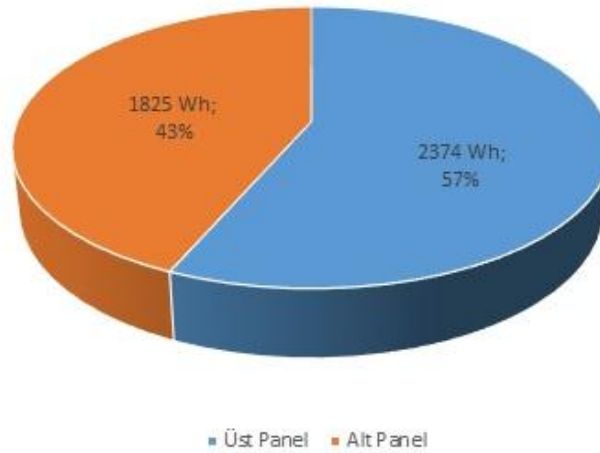
Şekil 5.28. ve 5.29.'da da görüldüğü gibi sıcaklık paneli olumsuz etkilemektedir. Sıcaklık arttıkça anlık güç miktarı azalmıştır.



Şekil 5.30. Alt-üst panel güç ve ısıtım değerlerinin zamana göre değişimi (3.Durum)



Şekil 5.31. Alt ve üst panelin ürettiği günlük enerji miktarı (3.Durum)



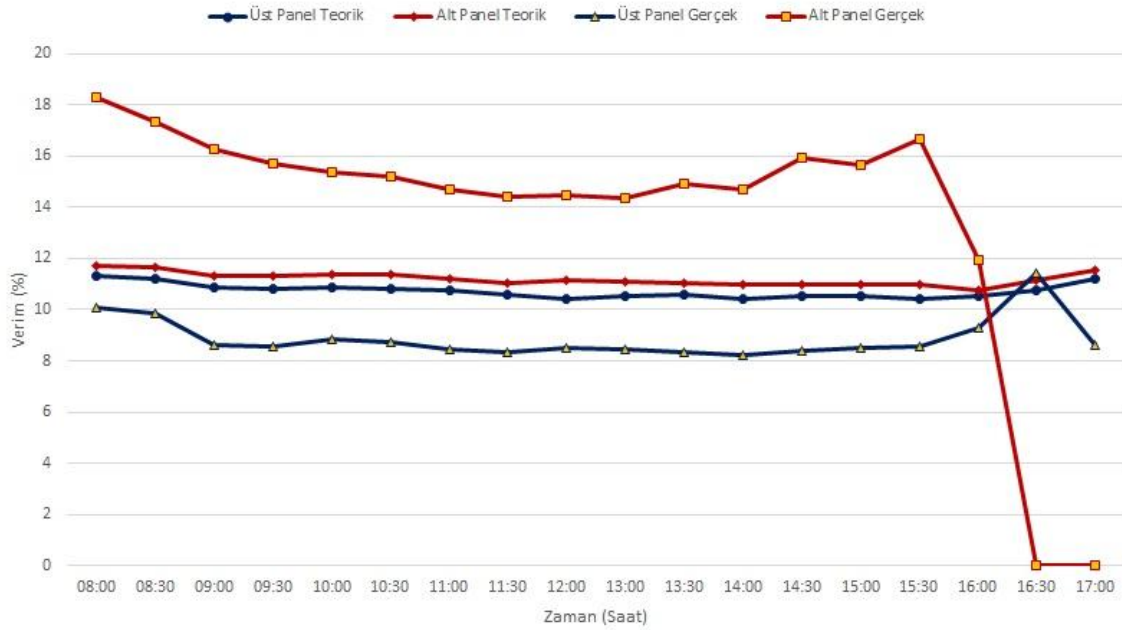
Şekil 5.32. Alt ve üst panelin ürettiği toplam enerji miktarı (3.Durum)

Şekil 5.32.'de görüldüğü gibi tek ayna etkin ve takip sistemi aktif iken üst panel 2374 Wh, alt panel ise 1825 Wh enerji üretmiştir. Bu durumda üst panel %30,08 daha fazla enerji üretmiştir.

Verim Analizi

Tablo 5.4. Alt ve üst panelin yüzey sıcaklıklarına göre teorik ile deneysel çalışma gerçek verimi (3.Durum)

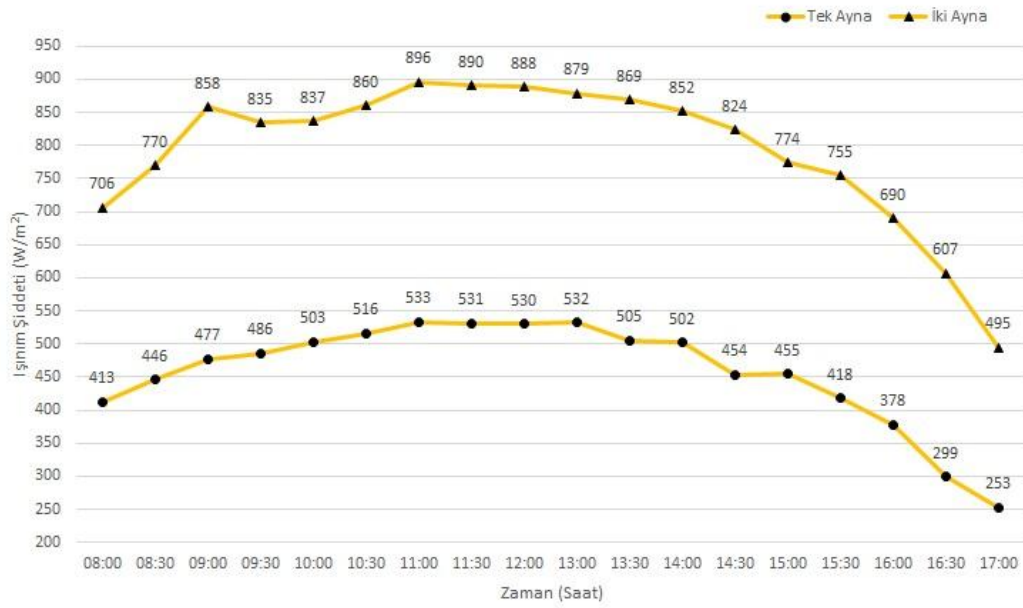
Saat	Panel Yüzey Sıcaklıkları (°C)		Teorik Verim (%)		Deneysel Çalışma Gerçek Verimi (%)	
	Üst Panel	Alt Panel	Üst Panel	Alt Panel	Üst Panel	Alt Panel
08.00	28,9	22,1	11,3399	11,6931	10,0959	18,2740
08.30	31,9	23,3	11,1841	11,6308	9,8341	17,3449
09.00	37,6	28,8	10,8880	11,3451	8,6265	16,2968
09.30	38,7	29,1	10,8309	11,3295	8,5466	15,6844
10.00	37,6	28,1	10,8880	11,3814	8,8200	15,3794
10.30	39,2	27,8	10,8049	11,3970	8,7284	15,1747
11.00	40,6	30,9	10,7322	11,2360	8,4777	14,6907
11.30	43,4	34,2	10,5867	11,0646	8,3569	14,4263
12.00	46,6	32,9	10,4205	11,1321	8,4835	14,4891
13.00	44,6	33,5	10,5244	11,1010	8,4278	14,3637
13.30	43,1	34,6	10,6023	11,0438	8,3341	14,9075
14.00	47,1	36,1	10,3946	10,9659	8,2218	14,6959
14.30	44,1	35,4	10,5504	11,0023	8,4228	15,9587
15.00	44,7	35,6	10,5192	10,9919	8,4821	15,6334
15.30	46,2	35,8	10,4413	10,9815	8,5508	16,6561
16.00	44,5	39,7	10,5296	10,7789	9,2819	11,9297
16.30	39,6	33,0	10,7841	11,1269	11,4555	0
17.00	31,7	24,8	11,1944	11,5528	8,6089	0



Şekil 5.33. Alt-üst panel hesaplanan(teorik) ve deneysel (gerçek) verimlerinin zamana göre değişimi (3.Durum)

Şekil 5.33.'de verim değerlerinin zaman göre değişimi verilmiştir (Teorik verim $G = 1000 \text{ W/m}^2$ ışıınım değeri şartlarında, gerçek verim ise bir aynadan yansıyan ışıınım değeri şartlarına göre hesaplanmıştır). Şekilde görüldüğü gibi alt panel verim değerleri üst panelden yüksektir. Teorik olarak düşünülürse alt panel yüzey sıcaklığı üst panele göre daha düşük olduğundan alt panel verimi daha yüksek olacaktır. Pratikte ise sıcaklık, panelin anlık gücü, ışıınım miktarı ve panel yüzey alanı gibi parametreler göz önünde bulundurulduğunda yine alt panel verimi üst panele göre daha yüksek olacaktır.

5.4. Tek ve Çift Aynanın Karşılaştırılması



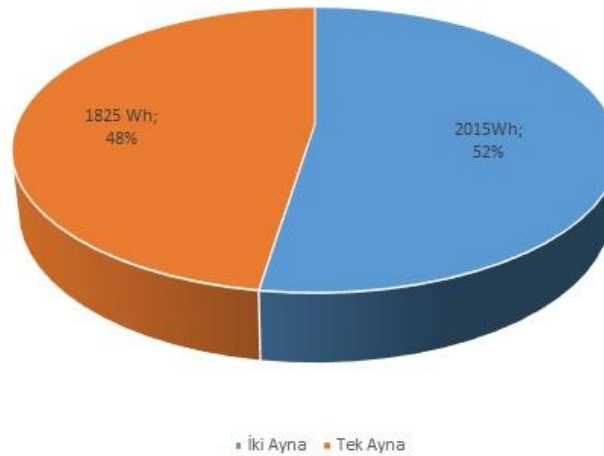
Şekil 5.34. Tek ve çift aynanın alt panele yansıttığı ışıınım miktarı

Şekil 5.34.'de tek ve çift aynanın alt panel üzerindeki ışıınım etkisinin zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi sistemde iki ayna etkin iken alt panele düşen ışıınım miktarı daha fazladır. Tek ayna ve çift aynanın alt panel üzerindeki etkisi farklı günlerde gözlemlendiğinden lineer artış söz konusu değildir. Yani teorik olarak çift aynanın alt panel yüzeyine bıraktığı ışıınım miktarı tek aynanın bıraktığı ışıınım miktarının iki katı olması gerekir. Fakat değerler farklı günlere ait olduğundan bu durumdan söz edilemez.



Şekil 5.35. Tek ve çift aynanın alt panel yüzey sıcaklığına etkisi

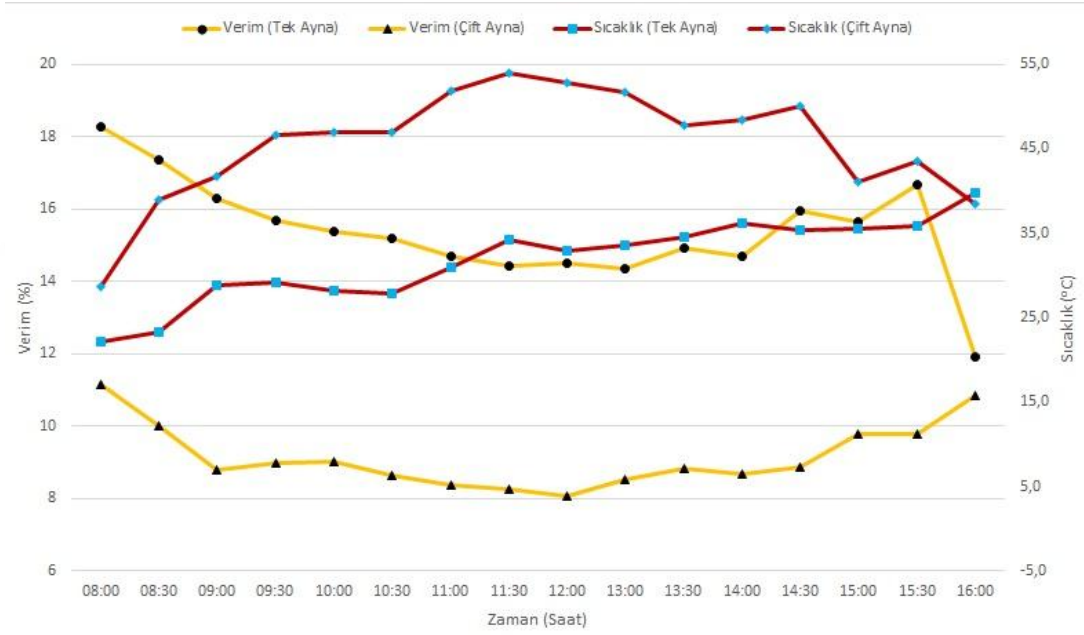
Şekil 5.35.'de de görüldüğü gibi sistemde iki ayna etkin durumdayken alt panel yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri daha yüksektir. Bunun sebebi iki ayna etkinken Güneş'ten gelen ışık alt panele iki kat yoğunlaştırılmasıdır. Tek aynada ise bir kat yoğunlaştırma söz konusudur.



Şekil 5.36. Tek ve çift aynanın etkisiyle alt panelde üretilen toplam enerji miktarı

Şekil 5.36.'da alt panelin tek ve çift ayna durumuna göre ürettiği toplam enerji verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi sistemde iki ayna etkinken üretilen enerji 2015 Wh, tek ayna etkinken üretilen enerji 1825 Wh'dır. Yani çift ayna etkinken alt panelde üretilen

enerji miktarı, tek ayna etkin olduğunda alt panelde üretilen enerji miktarından %10,41 daha fazladır. Teorik olarak düşünülürse iki aynadan yansıyan ışınlarla üretilen enerji miktarı, tek aynadan yansıyan ışınlarla üretilen enerji miktarının iki katı olmaktadır. Pratikte ise fotovoltaik panel performansı sıcaklıkla ters orantılı olduğundan %89,59'luk bir kayıp söz konusudur.



Şekil 5.37. Tek ve çift aynanın etkisiyle alt panel verim ve sıcaklık değerlerinin zamana göre değişimi

Şekil 5.37.'de tek ve çift aynanın etkin olma durumuna göre alt panel yüzeyinde oluşan sıcaklık değerleri ve alt panel deneysel çalışma gerçek verim değerlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi iki ayna etkinden panel verimi daha düşüktür. Bunun sebebi daha önce de belirtildiği gibi iki kat yoğunlaştırmadan dolayı yüzeyde yüksek sıcaklık oluşmaktadır ve bundan dolayı da panel veriminde azalma olmuştur. Yine sıcaklıkla panel veriminin ters orantılı olduğunu yukarıdaki şekilde görmek mümkündür.

6. TARTIŞMA

Şekil 4.7.'de tasarımı ve montajı yapılmış sistemin düzenek görünümü şekil 4.6.'da verilmiştir. Kurulan düzenekte 02.10.2017-23.10.2017 tarihleri arasında 30 dakika süre aralıklarında veriler alınmıştır. Sistemde, panel verileri (akım, gerilim, anlık güç ve üretilen enerji), sıcaklık verileri (panel yüzeyi sıcaklığı, panel çevresi sıcaklığı ve ortam sıcaklığı) ve konum verileri (zenit ve azimut açısı) olmak üzere üç ana veri bilgisi manuel olarak 30 dakikalık aralıklarla alınmıştır. Bu veriler 6 günlük periyotlar şeklinde sistemin 3 farklı durumu için alınmıştır. Bunlar;

- ✓ 1. Durum: İki ayna etkin ve güneş takip sistemi aktif
- ✓ 2. Durum: İki ayna etkin ve güneş takip sistemi pasiftir
- ✓ 3. Durum: Bir ayna etkin ve güneş takip sistemi aktiftir

Olumsuz hava şartları ve diğer nedenlerden dolayı bazı tarihlerde veri alınamamıştır. Ayrıca düzenekte her biri bir panelde üretilen enerjiyle beslenen iki adet ampul kullanılmıştır. Bu ampuller 60W gücünde olup DC enerjiyle çalışmaktadır. Sistemden akım çekmeleri amacıyla kullanılmıştır.

Sistemin 1. durumunda iki ayna etkin ve güneş takip sistemi aktif olup bu durum için 6 gün boyunca veriler alınmıştır. Bulgular kısmında sistemin 1. durumu için verilen grafikler 07.10.2017 tarihinde alınan verilerden faydalanılarak oluşturulmuştur. İki aynanın etkili olduğu bu durum için alt ve üst panel, verim, sıcaklık, anlık güç, üretilen enerji, ışıyım miktarı yönünden karşılaştırılmıştır. Bu durumda alınan veriler EK-1 kısmında tablolar halinde verilmiştir. Tablolarda T_c değerinden sonra ikiye bölünen satırın üst kısmı üst panel, alt kısmı ise alt panel verilerini göstermektedir. Bu durumun sonunda alt panelde 2015 Wh, üst panelde ise 2382 Wh olmak üzere sistemde toplam 4397 Wh DC enerji üretilmiştir.

Sistemin 2. durumunda iki ayna etkin ve güneş takip sistemi pasiftir. Yani sistem güneşe yönlendirilmiş olup, panel eğim açısı ise Elazığ ili enlem değerine ve Ekim ayına göre yatayla 49° olacak şekilde ayarlanıp sabitlenmiştir. Bu şekilde sistemden 6 gün boyunca veriler alınmıştır. Bulgular kısmında sistemin 2. durumu için verilen grafikler 14.10.2017 tarihinde alınan verilerden faydalanılarak oluşturulmuştur. İki aynanın etkili ve sistemin sabit olduğu bu durum için alt ve üst panelin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca

1. durumda hareketli olan sistemle 2. durumda sabit olan sisteminde karşılaştırılması yapılmıştır. Bu durumda alınan veriler EK-2 kısmında tablolar halinde verilmiştir. Tablolarda T_c değerinden sonra ikiye bölünen satırın üst kısmı üst panel, alt kısmı ise alt panel verilerini göstermektedir. Bu durumun sonunda alt panelde 303 Wh, üst panelde ise 2120 Wh olmak üzere sistemde toplam 2423 Wh DC enerji üretilmiştir.

Sistemin 3. durumunda ise tek ayna etkin ve güneş takip sistemi aktiftir. Bu şekilde de sistemden 6 gün boyunca veriler alınmıştır. Yani bir ayna devre dışı bırakılarak bir aynanın panel üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Bulgular kısmında sistemin 3. durumu için verilen grafikler 18.10.2017 tarihinde alınan verilerden faydalanılarak oluşturulmuştur. Sistemin bu durumu için hem alt ve üst panelin karşılaştırılması hem de tek ve çift aynanın alt panel üzerindeki etkisinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu durumda alınan veriler tablolar halinde EK-3 kısmında verilmiştir. Tablolarda T_c değerinden sonra ikiye bölünen satırın üst kısmı üst panel, alt kısmı ise alt panel verilerini göstermektedir. Bu durumun sonunda alt panelde 1825 Wh, üst panelde ise 2374 Wh olmak üzere sistemde toplam 4199 Wh DC enerji üretilmiştir.

Sistemin her bir durumu için panellerin ürettiği toplam enerji miktarının hesabı ve verim analizi yapılmıştır. Sistemin 1. durumu için iki kat yoğunlaştırma olmasına rağmen üst panelde üretilen toplam enerjinin alt panele göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Verim yönünden sistem incelenecek olursa, alt panel veriminin üst panel verimine göre daha yüksek olduğu ve her iki panel veriminin de öğle saatlerinde en düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. Hareketli sistemde üretilen enerjinin sabit sisteme göre daha yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur.

3. Durumda tek aynanın etkili olduğu alt panel veriminin, üst panel veriminden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca tek aynalı alt panel veriminin, çift aynalı alt panel veriminden de daha yüksek olduğu görülmüştür. Deney süresince alt panelden 4143Wh, üst panelden ise 6876 Wh olmak üzere toplamda 11109 Wh DC enerji üretilmiştir.

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yansıyan ışınının fotovoltaik panel üzerindeki etkisi incelenmiştir. Güneşten gelen ışının bir ve iki kat yoğunlaştırılmasının etkileri gözlemlenmiştir. Sabit sistem ile hareketli sistemin kıyaslaması yapılmıştır. Alt ve üst panel için detaylı verim analizine yer verilmiştir. Her iki panel için de, teorik ve gerçek verim değerleri hesaplanıp karşılaştırılması yapılmıştır. Alınan veriler sonucunda panel verimini etkileyen parametreler belirtilmiştir. Sıcaklığın panel üzerindeki olumsuz etkileri grafiklerle belirtilmiştir. Panele etkiyen ışınım miktarı öğle saatlerinde en yüksek değerlerini almasına karşılık, panel veriminin öğle saatlerinde en düşük seviyelerde seyrettiği görülmüştür. İki kat yoğunlaştırmanın panel üzerindeki olumsuz etkileri belirtilmiştir.

İki ayna ile üretilen enerjinin bir ayna ile üretilen enerjiden % 10,41 daha fazla olduğu görülmüştür. % 89,59'luk kaybın ise panel yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıktan kaynaklandığı görülmüştür. Ekim ayı için hareketli sistemin sabit sisteme göre %12,3 daha fazla verimle çalıştığı görülmüştür. Gölgelemenin panel üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kapalı havalarda zayıf ışınım şiddetine rağmen üst panel enerji üretirken ışınların dağınık gelmesinden dolayı alt panelde enerji üretiminin olmadığı görülmüştür. Deney süresince sistemden toplamda, 11109 Wh DC enerji üretilmiştir.

8. ÖNERİLER

1. Düzlemsel aynalardan yansıyan ışınların hem panele daha dik açıyla gelebilmesi hem de panel üzerindeki gölgelenmenin en aza indirilebilmesi için sistem tasarımında iyileştirme yapıp panel performansı artırılabilir.
2. Uygun soğutma sistemi eklenmesiyle panel sıcaklıkları düşürölüp, hem üst panel hem de alt panel verimi artırılabilir. Özellikle panel kasa çerçevesinin sıcaklıktan etkilenmeyen bir malzemedən seçilmesi verimi etkileyebilir. Bu şartlarda, bir ve iki kat yoğunlaştırma yapılan panel verimleri yeniden incelenebilir.
3. Alınan veriler arasına rüzgâr hızı da eklenip, bu parametrenin panel üzerindeki etkileri incelenebilir. Sistem güvenliği açısından yüksek değeri istenmeyen bir parametre olsa da, sistemi soğutmasından dolayı verim artırıcı bir parametredir. İki durumu da göz önünde bulundurup panel için optimum rüzgâr hızı belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. **Keskin Y.E.**, (2014), Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması; Yüksek Lisans Tezi; Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [2]. **Ceylan, İ., Gürel, A. E., Demircan, H. and Aksu, B.**, (2014), "Cooling of photovoltaic module with temperature controlled solar collector", *Energy and Buildings*, 72: 96-101.
- [3]. **Mishra, R. K. and Tiwari, G. N.**, (2013), "Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode", *Solar Energy*, 90: 58-67.
- [4]. **Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T. and Ganesh, M.**, (2013), "Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures", *Energy Conversion and Management*, 71: 43-50.
- [5]. **Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P. and Rehman, S.**, (2013), "Performance Evaluation Of a PV Module By Back Surface Water Cooling For Hot Climatic Conditions", *Energy*, 59: 445-453.
- [6]. **Agrawal, S., Tiwari, G. N. and Pandey, H. D.**, (2012), "Indoor Experimental Analysis Of Glazed Hybrid Photovoltaic Thermal Tiles Aircollector Connected in Series", *Energy and Buildings*, 53: 145-151.
- [7]. **Teo, H. G., Lee, P. S., and Hawlader, M. N. A.**, (2012), "An Active Cooling System for Photovoltaic Modules", *Applied Energy*, 90: 309-315.
- [8]. **Agroui, K.** (2012), "Indoor and Outdoor Characterizations of Photovoltaic Module Based on Multicrystalline Solar Cells", *Energy Procedia*, 18: 857-866.
- [9]. **Boz, O.**, (2011), Alternatif Enerji Kaynakları ve Fotovoltaik Güneş Pillerinin İncelenmesi; Yüksek Lisans Tezi; Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir 18-20.
- [10]. **Gao, L., Dougal, R. A., Liu, S. and Lotova, A. P.**, (2009), "Solar PV system to address partial and rapidly fluctuating shadow conditions" *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 56: 1548-1556.
- [11]. **Solanki, S. C., Dubey, S. and Tiwari, A.**, (2009), "Indoor Simulation and Testing of Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Collectors", *Applied Energy*, 86: 2421-2428.
- [12]. **Öztürk E.**, (2014), Fotovoltaik Panellerin Verimine Modül Sıcaklığının Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması; Yüksek Lisans Tezi; Karabük Üniversitesi, Karabük.
- [13]. **Ünal O.**, (2006), Fotovoltaik etki ile güneş pili işleminin temel ilkeleri incelenmesi; Yüksek Lisans Tezi; Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [14]. **Kenny, R P., Loannides, A., Müllejans, H., Zaaiman, W. and Dunlop, E. D.**, (2006), "Performance of thin film PV modules", *Thin Solid Films*, 511: 663-672.
- [15]. **Küpeli AÖ.**, (2005), Güneş Pilleri ve Verimleri; Yüksek Lisans Tezi; Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [16]. **Batman, M. A.**, (2001), Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi artırıcı yeni bir yöntem; Doktora Tezi; İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- [17]. **Beyoğlu M.F.**, (2011), Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi ile Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması; Yüksek Lisans Tezi; Balıkesir Üniversitesi. Balıkesir.
- [18]. http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/alternatif_enerji/alt_ener_kay_ders_notlari.pdf, 10 Haziran 2017.
- [19]. **Borand B.**, (1997), Mevcut Binalarda Güneş Enerjisinden Yararlanmak İçin İyileştirme Önerileri; Yüksek Lisans Tezi; İ.T.Ü., İstanbul.
- [20]. **Engin R.**, (1995), Güneş Pilleri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fizik Bölümü Yayınları no:3 s:151, Van..
- [21]. **Bilgin M.**, (2013), Fotovoltaik Panellerin Verimine Panel Yüzey Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi; Yüksek Lisans Tezi; Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [22]. **Yılmaz M.**, (2013), Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi; Doktora Tezi; Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- [23]. **Boyle G.**, (1996), Renewable Energy, Powerfor a Sustainable Future, 1sted.,The Open University Pres, New York.
- [24]. **Bilgin Z.**, (2006), Güneş Takip Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi; Yüksek Lisans Tezi; Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [25]. **Kaya A.**, (2004), Güneş Enerjisiyle Isıtma Soğutmanın Ticari Uygulamaları. İş Enerji. s:3.
- [26]. **Güçlüler D.**, (2010), Güneş Enerji Santrali Kurulacak Alanların CBS Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemiyle Belirlenmesi; Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [27]. **Ateş M.B., Demir H., Üresin E., Tunç Ş., Erdi H.**, (2009), Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi.
- [28]. **Kalaycı D.**, (2012), Güneş Takip Sistemleri Tasarımı; Yüksek Lisans Tezi; Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- [29]. **Mutluay B.**, (2016), Bir Fotovoltaik Güç Santrali Tasarımının Sistem Simülasyonu ve Teknoekonomik Fizibilitesi; Yüksek Lisans Tezi; Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [30]. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, 16 Haziran 2017.
- [31]. **Durak M.**, (2009), 1.Türkiye Güneş Enerji Kursu, TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- [32]. **Lindberg, V., Maki, J.**, (2010). SKF Dual Axis Solar Tracker - From Concept To Product. Y. Lisans Tezi, C.U.T, Gothenburg, Sweden, 5-30.
- [33]. **Altın, V.**, Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi, Mimar ve Mühendis Dergisi, 33 (2004) 28-31.
- [34]. <http://www.mmo.org.tr/index.php>, 18 Haziran 2017.
- [35]. **Bedeloğlu A.Ç., Demir A., Bozkurt Y.**, (2010), Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller.
- [36]. **Fraas, L., Partain, L.**, (2010), Solar Cells And Their Applications, Second Edition, A John Wiley and Sons, Inc. Puplication, Hoboken, New Jersey.
- [37]. **Tull, B.**, (2001), Photovoltaic Cells; Science and Materials.

- [38]. **Lechner, N.**, (2009), Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, John Wiley and Sons.
- [39]. http://www.eere.energy.gov/solar/solar_time_2000.html, 13 Temmuz 2017.
- [40]. **Altın M.**, (2005), Research On The Architectural Use Of Photovoltaic(PV) Components in Turkey From The Viewpoint Of Building Shape; Doktora Tezi; Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [41]. **Prasad, D., Snow, M.**, (2005), Designing With Solar Power; Images Publishing.
- [42]. **Thomas, R., Fordham, M., and Fordham, P.**, (2001), Photovoltaic and Architecture; Spon Pres.
- [43]. **Acarman, T.**, (1996), Güneş Pillerinden Şebekeye Enerji Aktarılmasının Analizi ve Tasarımı; Yüksek Lisans Tezi; İ.T.U., İstanbul.
- [44]. **Okyay, Y.**, (2006), Kütahya Koşullarında Fotovoltaik Sistemin Deneysel İncelenmesi ve Ekonomik Analizi; Yüksek Lisans Tezi; Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- [45]. **Çetinkaya H. B.**, (2001). Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 105915.
- [46]. **Umut İ.**, (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Elektrik Enerjisine Dönüştürmede Kullanılan Yöntemler Ve Örnek Uygulamalar; Yüksek Lisans Tezi; Trakya Üniversitesi, Edirne.
- [47]. **Kutlu, S.**, (2002). “Güneş Tarlası ile Elektrik Enerjisi Üretimi Ve SDÜ Kampüs Alanında Bir Uygulama Analizi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
- [48]. **Kıyanççık E.**, (2013), Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin PVS² Paket Programının Gerçekleştirilmesi; Yüksek Lisans Tezi; Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [49]. http://www.emo.org.tr/ekler/e05d6f828574fbc_ek.pdf?dergi=167, 15 Temmuz 2017.
- [50]. **The German Solar Energy Society** (2008), Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide For Installers, Architects and Engineers, London; Sterling, VA: Earthscan.
- [51]. <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik/gunes-pili-nedir-5666/>, 17 Temmuz 2017.
- [52]. **Bubbenzer A. Luther J.** (2003). Photovoltaics Guide Book for Decision Makers; Springer.
- [53]. **Karamanav M.**, (2007), Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri; Yüksek Lisans Tezi; Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [54]. **Çataklı M.**, (2012). Fotovoltaik Sistemler, İstanbul.
- [55]. **Sandia National Laboratories**, (1995), Stand Alone Photovoltaic Systems A Handbook of Recommended Design Practices.
- [56]. http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=12161, 20 Temmuz 2017.
- [57]. **Karaca C.**, (2012). Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Sistemi Tasarımı; Yüksek Lisans Tezi; Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [58]. http://www.energydesignresources.com/media/1756/EDR_DesignBriefs_integ_photovoltaics.pdf, 23 Temmuz 2017.
- [59]. <http://www.solaredge.com/articles/pv-system-shading>, 25 Temmuz 2017.

- [60]. [https://www.yenienerji.info/teknik/gunes-enerjisi-santrallerinde-panel-kirliligi-ve](https://www.yenienerji.info/teknik/gunes-enerjisi-santrallerinde-panel-kirliligi-ve-temizligi) panel-temizligi, 29 Temmuz 2017.
- [61]. **Acar C., Kılınçdemir. İ.**, Pdf.
- [62]. **U.S. Census Bureau** , (2004). “International Population Reports WP/02”, Global Population Profile: 2002, U.S. Government Printing Office, 11.
- [63]. <http://bidiskop-buyutec.blogspot.com.tr/2013/06/gok-bilim-rehberi-9a-gokyuzu-gozleminin.html>, 3 Ağustos 2017.
- [64]. <http://www.gunessistemleri.com/sistemler.php>, 3 Ağustos 2017.
- [65]. <http://csp-world.com/news/20131030/001241/molten-salt-fresnel-csp-technology-novatec-solar>, 5 Ağustos 2017.
- [66]. <http://solimpeksgunesspaneli.com/>, 5 Ağustos 2017.
- [67]. <http://www.mahmutselekoglu.com.tr/gunes-enerjisinden-elektrik-uretimine-genel-bir-bakis-ve-bir-uyg.html>, 10 Ağustos 2017.
- [68]. <https://m.tr.dhgate.com/product/1000w-inverter-prices-grid-tie-solarinverter/376274337.html>, 10 Ağustos 2017.
- [69]. <http://www.solarbaba.com/sma/sma-solar-dan-merkezi-inverter-cozumleri>, 12 Ağustos 2017.
- [70]. <http://www.olio.lt/>, 12 Ağustos 2017.
- [71]. <http://www.aeconversion.de/en/micro-inverter-technology.html>, 13 Ağustos 2017.
- [72]. <http://revosolar.com/solar-shop/andorra/en/47-revex-3kw.html>, 14 Ağustos 2017.
- [73]. http://www.elektronikus.pl/index.php?route=product/product&product_id=19265, 18 Ağustos 2017.
- [74]. **Çekinir S.**, (2012), Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi ve Benzetimi; Yüksek Lisans Tezi; Ege Üniversitesi, İzmir.
- [75]. **Kılıç A., Öztürk A.**, Güneş Enerjisi Kitabı.
- [76]. http://www.robotiksistem.com/gunes_pilleri_nedir.html, 22 Ağustos 2017.
- [77]. **Abuşka M.**, “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları” Ders Notları.
- [78]. **Zan B.**, (2006), Bir Fotovoltaik Sistemden Optimal Gücün Sağlanması; Yüksek Lisans Tezi; Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- [79]. **Akbarzadeh A., Wadowski T.**, (1995), Heat Pipe-Based Cooling Systems For Photovoltaic Cells Under Concentrated Solar Radiation.
- [80]. **Koç S., Çevik U.**, Üç Boyutlu Cisimlerin Görüntü Algoritmaları İçin Bir Aydınlatma Modeli, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep.

EKLER

EK-1 Güneş takip sisteminden 1.durum şartları için alınan veriler

Tablo E1.1. Sistem 1.durum şartlarında iken 02.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:02.10.2017, Parçalı bulutlu İki ayna etkin-Takip sistemi aktif (1.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{pc} (°C)	T_{pv} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	74	63	17,9	29,5	35,7	2,21	19,56	43,2	0	866
				19,8	29,2	2,20	19,67	43,3	0	
08.30	69	61	18,2	26,8	33,2	1,28	12,48	16,0	9	487
				19,1	27,4	1,32	12,57	16,6	9	
09.00	65	54	19,8	33,5	43,3	2,09	16,58	34,6	24	723
				24,2	36,1	2,10	16,62	34,9	14	
09.30	61	47	20	31,0	36,1	2,25	20,27	45,5	40	936
				25,7	31,4	2,24	20,34	45,6	25	
10.00	57	40	21,1	35,3	44,2	2,20	19,84	44,1	61	950
				28,5	38,6	2,20	19,72	43,3	46	
10.30	54	32	21,8	36,3	46,7	2,18	19,66	43,4	83	1058
				27,4	38,2	2,19	19,65	43,2	67	
11.00	52	26	21,9	35,9	45,8	2,20	19,54	42,9	103	1004
				27,2	37,2	2,19	19,54	42,8	88	
11.30	51	16	23,7	36,6	45,5	2,13	18,19	39,0	124	1007
				30,7	37,1	2,17	19,14	42,8	109	
12.00	50	1	24,6	41,7	52,5	2,15	19,17	40,7	144	1080
				33,9	44,7	2,17	19,32	41,9	128	
13.00	48	-18	20,8	22,3	23,8	-	-	-	-	-
				21,5	23,4	-	-	-	-	-
13.30	49	-28	23	31,9	37,9	2,21	20,97	46,4	178	1010
				24,2	31,6	2,26	20,72	46,8	157	
14.00	50	-39	22,3	31,1	40,4	2,20	19,7	43,3	198	950
				25,5	36,9	2,22	19,93	44,2	172	
14.30	56	-50	21,6	32,3	42,2	2,20	19,54	42,9	219	903
				25,0	36,5	2,20	19,72	43,3	191	
15.00	59	-56	21,6	32,6	41,0	2,20	19,56	43,0	238	892
				26,7	39,8	2,20	19,73	43,4	210	
15.30	64	-62	20,7	31,8	40,3	2,18	19,41	42,3	259	864
				24,1	38,8	2,19	19,57	42,8	232	
16.00	69	-69	22	32,4	40,5	2,18	19,42	42,3	281	815
				25,3	37,7	2,19	19,44	42,5	254	
16.30	74	-73	20,1	26,3	31,1	2,24	19,88	44,5	301	718
				22,1	30,2	2,15	18,87	40,5	273	
17.00	81	-77	18,4	21,0	24,2	-	-	-	-	30
				19,6	23,1	-	-	-	-	

Tablo E1.2. Sistem 1.durum şartlarında iken 04.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:04.10.2017,Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi aktif (1.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_C (°C)	T_{PC} (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
06.30	85	82	8	7,5	8,4	1,40	8,23	11,5	322	248
				7,9	8,0	-	-	-	-	
07.00	82	77	10,5	14,1	17,1	2,21	19,50	43,0	334	675
				10,8	12,2	-	-	-	-	
07.30	78	72	12,4	21,3	26,1	2,24	19,98	44,7	356	804
				13,7	18,3	-	-	-	-	
08.00	72	66	12,5	24,1	31,0	2,23	20,03	44,6	380	866
				14,9	28,9	2,22	20,11	44,6	290	
08.30	68	61	13,1	24,6	31,7	2,24	20,14	45,1	402	912
				19,0	29,9	2,22	20,16	44,7	312	
09.00	65	56	12,9	24,0	32,7	2,24	20,06	44,9	424	944
				17,8	30,5	2,22	20,04	44,4	332	
09.30	61	49	15,7	28,5	38,1	2,20	19,78	43,5	445	972
				23,9	37,6	2,20	19,77	43,4	353	
10.00	57	42	15,7	28,1	37,1	2,22	19,95	44,2	466	963
				20,4	33,1	2,20	19,86	43,6	375	
10.30	55	36	16,7	32,3	43,6	2,19	19,50	42,7	487	967
				19,8	41,2	2,18	19,45	42,4	397	
11.00	52	25	19,1	34,0	43,3	2,21	19,68	43,4	507	977
				28,6	41,9	2,19	19,69	43,1	417	
11.30	50	14	18,8	32,3	43,2	2,19	19,39	42,4	529	984
				26,8	42,7	2,18	19,42	42,3	439	
12.00	47	4	19,5	33,3	43,3	2,18	19,48	42,4	550	983
				28,0	42,7	2,19	19,52	42,7	459	
13.00	49	-19	20,5	36,6	47,7	2,18	19,24	41,9	594	970
				29,4	46,0	2,18	19,36	42,2	504	
13.30	50	-28	21	37,8	49,5	2,15	18,93	40,6	614	960
				34,6	43,1	2,17	19,15	41,5	524	
14.00	51	-39	22	33,8	45,2	2,13	19,07	40,6	634	959
				27,7	40,1	2,17	19,26	41,7	545	
14.30	55	-48	21,5	37,7	48,1	2,19	18,80	41,1	654	930
				26,3	46,3	2,15	18,93	40,7	565	
15.00	59	-55	20,5	32,9	44,6	2,14	18,90	40,4	675	927
				26,3	42,4	2,15	19,03	40,9	586	
15.30	64	-62	22,1	35,5	46,1	2,15	18,73	40,2	695	917
				28,2	46,5	2,14	18,86	40,3	607	
16.00	68	-68	20,7	34,4	44,9	2,15	18,82	40,4	715	897
				25,7	43,3	2,15	18,93	40,6	627	
16.30	72	-73	20,3	32,4	41,2	2,18	19,00	41,4	735	817
				22,8	37,1	2,15	18,95	40,7	647	
17.00	79	-77	20,2	29,7	36,6	2,18	18,91	41,2	755	710
				22,5	28,9	-	-	-	-	

Tablo E1.3. Sistem 1.durum şartlarında iken 05.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:05.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi aktif (1.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{PC} (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
06.30	84	82	8,2	10,2	14,7	1,57	10,28	16,1	765	459
				7,8	8,2	-	-	-	-	
07.00	81	76	10,3	17,2	21,9	2,18	19,02	41,4	777	694
				11,0	14,3	-	-	-	-	
07.30	77	72	13,9	25,8	32,8	2,18	19,06	41,5	797	817
				14,8	20,4	-	-	-	-	
08.00	72	66	14,9	28,7	37,3	2,16	18,87	40,7	817	868
				16,4	34,6	2,17	19,22	41,7	664	
08.30	69	61	16,4	32,0	42,9	2,16	18,91	40,8	838	910
				27,8	39,8	2,17	19,25	41,8	686	
09.00	66	55	15,9	32,2	42,6	2,15	18,81	40,4	860	970
				25,9	43,3	2,16	19,04	41,1	708	
09.30	62	50	16,1	28,8	38,4	2,18	19,21	41,8	881	958
				25,2	39,2	2,19	19,40	42,2	729	
10.00	58	42	16,8	28,7	38,5	2,18	19,33	42,1	901	967
				25,2	40,2	2,19	19,50	42,5	749	
10.30	55	34	18,4	29,0	39,2	2,20	19,58	43,0	923	971
				27,7	44,2	2,19	19,68	43,0	771	
11.00	52	25	18,7	31,4	41,5	2,20	19,23	42,4	943	980
				28,4	43,2	2,17	19,33	41,9	792	
11.30	50	14	19,9	35,6	46,4	2,16	18,94	40,9	964	968
				31,5	49,2	2,14	19,91	40,4	812	
12.00	50	4	20,8	37,7	48,9	2,13	18,82	40,0	983	966
				31,6	47,4	2,14	18,84	40,3	832	
13.00	50	-20	21,4	42,3	53,7	2,13	18,52	39,4	1024	969
				31,5	48,1	2,13	18,66	39,7	872	
13.30	50	-29	21,2	37,6	47,8	2,11	18,72	39,4	1044	968
				31,2	50,8	2,14	18,83	40,2	892	
14.00	50	-38	23,0	40,4	51,0	2,13	18,48	39,3	1063	955
				28,9	51,4	2,13	18,69	39,9	911	
14.30	54	-48	19,7	33,5	44,6	2,12	18,51	39,2	1083	945
				23,0	45,7	2,13	18,59	39,5	931	
15.00	58	-56	21,8	38,5	50,3	2,10	18,54	38,9	1104	949
				30,5	47,0	2,14	18,73	40,0	952	
15.30	63	-63	23,2	40,7	50,9	2,13	18,31	39,0	1123	925
				27,4	50,4	2,12	18,40	39,0	973	
16.00	68	-69	21,7	36,6	47,2	2,13	18,49	39,3	1143	892
				28,1	45,7	2,13	18,61	39,6	993	
16.30	72	-74	21,2	36,5	46,4	2,13	18,31	39,0	1162	835
				27,0	43,6	2,11	18,25	38,5	1011	
17.00	78	-78	20,8	33,6	39,6	2,14	18,39	39,3	1182	703
				23,0	32,0	-	-	-	-	

Tablo E1.4. Sistem 1.durum şartlarında iken 06.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:06.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi aktif (1.Durum)										
Saat	ψ	γ	T _Ç (°C)	T _{PÇ} (°C)	T _{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
06.30	85	79	7,1	10,2	13,8	1,23	11,36	13,9	1183	418
				7,9	8,1	-	-	-	-	
07.00	81	74	10,3	16,3	19,9	2,10	17,94	37,6	1197	580
				10,7	13,1	-	-	-	-	
07.30	78	69	13,6	26,2	31,6	2,18	18,94	41,2	1218	744
				14,7	19,3	-	-	-	-	
08.00	73	64	13,6	29,6	38,4	2,15	18,72	40,2	1237	830
				16,3	33,1	2,18	19,12	41,2	1028	
08.30	70	58	16,4	31,9	43,7	2,14	18,52	39,6	1257	942
				26,9	41,8	2,13	18,74	39,9	1048	
09.00	66	54	18,1	35,0	44,7	2,13	18,53	39,4	1278	927
				27,8	44,6	2,13	19,71	39,8	1069	
09.30	62	47	18,4	34,0	45,0	2,16	18,73	40,4	1297	930
				28,6	46,3	2,11	18,90	39,9	1089	
10.00	58	42	19,8	37,5	47,7	2,17	18,72	40,6	1318	926
				29,0	45,3	2,14	18,81	40,2	1110	
10.30	55	34	20,9	37,8	47,6	2,19	18,53	39,8	1337	930
				34,6	50,9	2,13	18,65	39,7	1129	
11.00	53	24	21,2	33,2	44,6	2,15	18,74	40,2	1357	934
				33,8	50,4	2,14	18,81	40,2	1149	
11.30	51	14	22,4	34,7	45,3	2,16	19,18	41,4	1378	946
				29,9	49,3	2,15	19,02	40,9	1169	
12.00	48	3	22,5	36,6	49,2	2,15	18,60	39,9	1398	931
				33,9	50,0	2,13	18,67	39,7	1190	
13.00	48	-20	22,3	35,6	45,4	2,12	18,51	39,2	1438	945
				31,9	47,9	2,13	19,58	39,5	1229	
13.30	48	-23	24,3	42,4	53,0	2,13	18,39	39,1	1457	956
				30,1	53,5	2,12	18,54	39,3	1249	
14.00	50	-32	25,4	40,9	50,9	2,12	18,41	39,0	1475	935
				31,1	56,5	2,12	18,26	38,7	1267	
14.30	54	-39	24,9	41,2	53,2	2,09	18,19	38,0	1494	932
				28,9	50,1	2,11	18,36	38,7	1286	
15.00	58	-48	25,2	41,7	53,3	2,11	18,11	38,2	1513	922
				32,3	51,5	2,10	18,26	38,3	1306	
15.30	63	-56	22,6	39,2	48,4	2,12	18,18	38,5	1533	887
				25,4	47,7	2,11	18,22	38,6	1325	
16.00	68	-63	22,1	38,8	46,3	2,15	18,57	39,9	1552	838
				27,9	48,2	2,12	18,56	39,3	1344	
16.30	72	-70	22,0	34,9	42,9	2,14	18,46	39,5	1571	779
				25,3	42,9	2,14	18,36	38,9	1363	
17.00	78	-76	21,9	34,8	38,1	2,13	18,12	38,5	1591	614
				24,9	31,8	-	-	-	-	

Tablo E1.5. Sistem 1.durum şartlarında iken 07.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:07.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi aktif (1.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{Pc} (°C)	T_{pv} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	74	68	14,6	25,6	34,9	2,16	18,80	40,6	1641	792
				20,4	28,7	2,19	19,08	41,8	1377	706
08.30	71	60	16,0	32,5	41,6	2,15	18,98	39,9	1661	854
				25,8	39,0	2,15	18,98	40,8	1398	770
09.00	67	55	16,4	35,1	45,5	2,13	18,39	39,1	1681	953
				26,0	41,7	2,13	18,74	39,9	1418	858
09.30	63	47	19,5	35,8	46,6	2,15	18,55	39,8	1700	928
				32,3	46,7	2,13	18,70	39,8	1438	835
10.00	59	41	20,6	37,6	48,1	2,15	18,58	39,9	1721	927
				31,7	46,9	2,15	18,65	40,0	1459	837
10.30	55	33	21,6	36,8	48,3	2,13	18,51	39,4	1740	930
				32,1	46,9	2,12	18,55	39,3	1478	860
11.00	53	24	21,7	35,9	47,5	2,15	18,60	39,9	1760	950
				33,4	51,8	2,13	18,66	39,7	1497	896
11.30	51	15	24,4	38,1	48,7	2,13	18,42	39,2	1779	948
				37,2	53,9	2,12	18,43	39,0	1516	890
12.00	50	2	25,0	39,6	50,8	2,10	18,18	38,1	1799	947
				36,4	52,9	2,10	18,07	37,9	1536	888
13.00	50	-18	25,1	37,5	47,0	2,15	18,60	39,9	1838	942
				32,4	51,6	2,12	18,66	39,7	1575	879
13.30	50	-30	25,2	36,8	45,7	2,15	18,73	40,2	1858	939
				33,7	47,7	2,15	18,93	40,6	1595	869
14.00	51	-38	23,5	39,1	50,4	2,10	18,31	38,4	1878	927
				31,4	48,4	2,12	18,45	39,1	1615	852
14.30	55	-48	25,1	39,4	48,5	2,12	18,29	38,7	1898	913
				29,3	50,0	2,11	18,36	38,7	1635	824
15.00	59	-57	23,1	36,3	44,9	2,15	18,73	40,2	1917	891
				25,8	41,1	2,14	18,75	40,1	1654	774
15.30	63	-63	24,1	38,5	47,1	2,12	18,50	39,2	1936	862
				26,5	43,5	2,12	18,49	39,1	1673	755
16.00	69	-68	22,9	36,1	44,0	2,15	18,75	40,3	1956	801
				26,2	38,4	2,13	18,66	39,7	1692	690
16.30	71	-71	24,2	36,1	43,7	2,13	18,37	39,1	1976	717
				28,5	44,7	1,84	14,28	26,4	1709	607
17.00	77	-78	22,1	30,8	35,2	2,10	17,98	37,7	1994	579
				23,9	29,8	-	-	-	-	495

Tablo E1.6. Sistem 1.durum şartlarında iken 08.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:08.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi aktif (1.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_C (°C)	T_{PC} (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	71	64	13,9	23,7	31,2	2,18	19,02	41,4	2033	703
				19,3	24,7	2,19	19,17	42,0	1713	578
08.30	70	58	15,6	29,9	37,8	2,14	18,45	39,4	2053	764
				23,7	35,8	2,14	18,87	40,3	1734	620
09.00	68	54	18,4	31,4	40,6	2,14	18,63	39,8	2072	819
				25,4	37,6	2,14	18,91	40,4	1754	697
09.30	63	48	18,9	33,6	42,8	2,14	18,69	39,9	2092	846
				27,6	40,7	2,14	18,85	40,3	1774	723
10.00	59	40	19,8	33,0	46,7	2,16	18,69	40,3	2112	848
				27,4	40,8	2,14	18,85	40,3	1794	744
10.30	55	32	20,8	36,3	46,7	2,15	18,63	40,0	2132	861
				27,8	42,5	2,13	18,68	39,7	1814	755
11.00	53	24	21,8	34,6	45,0	2,15	18,65	40,0	2152	879
				32,5	45,6	2,12	18,65	39,5	1834	782
11.30	51	13	23,5	35,4	45,0	2,17	18,74	40,6	2172	884
				34,3	49,0	2,14	18,74	40,1	1853	785
12.00	50	4	24,5	39,2	48,2	2,12	18,44	39,0	2191	888
				33,7	51,2	2,12	18,45	39,1	1872	783
13.00	50	-15	24,7	40,4	50,7	2,12	18,39	38,9	2231	887
				34,6	51,8	2,11	18,38	38,7	1912	794
13.30	51	-25	24,9	37,5	47,4	2,14	18,66	39,9	2251	881
				32,3	48,3	2,13	18,69	39,8	1932	769
14.00	51	-33	25,9	35,0	42,7	2,14	18,87	40,3	2271	929
				29,6	45,8	2,15	18,97	40,7	1953	775
14.30	52	-41	25,7	36,3	43,6	2,14	18,86	40,3	2291	898
				29,3	44,4	2,15	18,87	40,5	1974	745
15.00	56	-48	25,7	36,7	44,9	2,13	18,70	39,8	2311	840
				29,8	42,3	2,12	18,51	39,2	1990	682
15.30	60	-56	24,7	33,8	40,3	2,18	19,03	41,4	2331	790
				27,6	37,7	1,75	12,90	22,5	2007	400
16.00	63	-64	24,6	29,8	32,6	1,42	8,83	12,5	2353	179
				26,7	33,3	-	-	-	-	98
16.30	70	-77	24,2	29,9	34,5	2,17	18,85	40,9	2365	590
				26,3	41,4	1,37	8,16	11,1	2015	498
17.00	78	-73	23,5	27,7	30,9	1,88	14,45	27,1	2382	406
				25,0	29,5	-	-	-	-	318

EK-2 Güneş takip sisteminden 2.durum şartları için alınan veriler

Tablo E2.1. Sistem 2.durum şartlarında iken 10.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih: 10.10.2017, Parçalı bulutlu İki ayna etkin-Takip sistemi pasif (2.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{Pc} (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
07.00	49	0	10,9	9,1	9,3	-	-	-	-	156
				10,4	10,5	-	-	-	-	-
07.30	49	0	13,7	13,2	13,3	-	-	-	-	66
				14,1	14,7	-	-	-	-	-
08.00	49	0	14,2	14,9	16,6	1,55	10,24	15,8	2495	198
				15,6	16,2	-	-	-	-	-
08.30	49	0	14,5	17,1	18,4	1,97	15,72	30,9	2506	521
				16,3	16,9	-	-	-	-	-
09.00	49	0	15,0	18,0	20,8	1,44	8,81	12,6	2515	218
				17,1	18,3	-	-	-	-	-
09.30	49	0	14,5	19,9	22,5	-	-	-	-	38
				19,6	19,1	-	-	-	-	-
10.00	49	0	15,7	20,1	22,9	-	-	-	-	-
				19,9	20,0	-	-	-	-	-
10.30	49	0	16,7	20,3	23,3	1,88	13,72	25,7	2546	423
				20,4	20,3	-	-	-	-	-
11.00	49	0	18,9	21,8	24,6	2,22	19,61	43,5	2562	980
				22,4	23,5	1,45	9,06	13,1	2024	878
11.30	49	0	20,5	28,2	37,0	1,93	15,27	29,4	2577	398
				19,8	34,4	-	-	-	-	-
12.00	49	0	21,6	40,9	51,1	2,15	18,71	40,2	2596	961
				35,6	41,9	2,14	18,78	40,1	2045	903
13.00	49	0	22,7	32,4	42,1	2,19	19,92	42,0	2636	854
				28,8	39,5	-	-	-	-	-
13.30	49	0	23,8	33,5	40,6	2,19	19,28	42,2	2657	780
				28,9	30,0	-	-	-	-	-
14.00	49	0	23,3	33,1	38,4	2,20	19,51	42,9	2673	745
				30,7	30,8	-	-	-	-	-
14.30	49	0	21,6	25,2	27,2	2,20	19,47	42,6	2678	623
				23,3	26,3	-	-	-	-	-
15.00	49	0	21,0	22,1	23,3	-	-	-	-	-
				21,8	23,0	-	-	-	-	-
15.30	49	0	-	-	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-	-
16.00	49	0	-	-	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-	-
16.30	49	0	-	-	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-	-
17.00	49	0	-	-	-	-	-	-	-	-
				-	-	-	-	-	-	-

Tablo E2.2. Sistem 2.durum şartlarında iken 11.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih: 11.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi pasif (2.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{pc} (°C)	T_{pv} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
07.00	49	0	8,1	6,5	6,6	-	-	-	-	215
				8,2	8,3	-	-	-	-	-
07.30	49	0	11,8	11,3	11,6	1,64	11,29	18,5	2682	360
				11,9	12,5	-	-	-	-	-
08.00	49	0	13,8	16,1	18,9	2,15	18,75	40,3	2698	495
				14,2	15,5	-	-	-	-	-
08.30	49	0	15,9	21,2	25,7	2,20	19,60	43,1	2717	575
				14,9	16,2	-	-	-	-	-
09.00	49	0	14,2	22,1	27,1	2,21	19,74	43,6	2740	687
				15,3	17,2	-	-	-	-	-
09.30	49	0	14,0	23,0	28,3	2,22	19,81	44,0	2762	753
				16,0	17,5	-	-	-	-	-
10.00	49	0	15,9	26,1	32,2	2,22	19,80	43,9	2784	819
				16,2	18,4	-	-	-	-	-
10.30	49	0	17,1	29,0	37,3	2,21	19,71	43,5	2806	869
				19,4	33,2	-	-	-	-	-
11.00	49	0	17,2	30,6	39,8	2,19	19,38	42,4	2828	902
				20,3	39,0	1,44	9,04	13,0	2070	-
11.30	49	0	18,9	34,3	42,2	2,18	19,28	42,2	2849	920
				21,2	42,2	2,17	19,34	41,9	2086	-
12.00	49	0	19,7	34,8	43,5	2,18	19,13	41,7	2871	910
				23,4	41,7	2,15	19,06	40,9	2108	-
13.00	49	0	23,4	38,3	47,2	2,13	19,48	41,5	2912	865
				24,4	26,4	-	-	-	-	-
13.30	49	0	22,6	37,7	47,6	2,10	19,18	40,3	2934	823
				24,5	27,8	-	-	-	-	-
14.00	49	0	21,9	35,8	43,8	2,09	19,38	40,5	2955	747
				27,1	28,8	-	-	-	-	-
14.30	49	0	20,8	30,5	38,0	2,18	19,21	41,8	2977	669
				27,2	27,3	-	-	-	-	-
15.00	49	0	22,3	32,0	38,1	2,19	19,35	42,3	2998	583
				27,5	26,4	-	-	-	-	-
15.30	49	0	21,3	27,6	32,5	2,17	18,97	40,9	3019	509
				26,9	24,1	-	-	-	-	-
16.00	49	0	22,3	24,7	28,5	2,08	17,53	36,4	3035	414
				23,1	23,2	-	-	-	-	-
16.30	49	0	21,9	23,3	26,3	1,39	8,29	11,3	3047	290
				22,0	22,5	-	-	-	-	-
17.00	49	0	20,3	22,0	23,2	-	-	-	-	42
				21,1	21,7	-	-	-	-	-

Tablo E2.3. Sistem 2.durum şartlarında iken 12.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:12.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi pasif (2.Durum)										
Saat	Ψ	γ	T_C (°C)	T_{PV} (°C)	T_{PC} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	49	0	10,2	14,9	16,8	2,13	18,69	39,8	3058	512
				14,4	13,3	-	-	-	-	-
08.30	49	0	11,3	17,5	23,1	2,19	19,44	42,5	3079	615
				13,7	12,8	-	-	-	-	-
09.00	49	0	15,0	23,1	27,8	2,21	19,76	43,6	3100	723
				16,2	19,0	-	-	-	-	-
09.30	49	0	13,5	20,8	26,4	2,22	19,86	44,1	3123	799
				15,9	17,7	-	-	-	-	-
10.00	49	0	13,6	22,6	29,1	2,21	19,82	43,8	3145	859
				16,8	17,4	-	-	-	-	-
10.30	49	0	17,8	31,2	41,0	2,20	19,66	43,2	3167	901
				20,2	33,7	1,46	9,27	13,5	2127	810
11.00	49	0	18,4	32,8	42,1	2,20	19,51	42,9	3188	915
				20,7	41,2	1,45	9,20	13,3	2131	849
11.30	49	0	19,5	37,7	48,2	2,17	19,05	41,3	3209	923
				21,3	42,6	2,15	19,11	41,0	2149	854
12.00	49	0	19,6	38,8	51,1	2,17	19,02	41,2	3230	924
				20,2	41,6	2,14	19,04	40,7	2169	869
13.00	49	0	20,4	35,6	46,5	2,19	19,38	42,4	3272	847
				20,4	25,6	-	-	-	-	-
13.30	49	0	22,1	34,9	44,4	2,20	19,49	42,8	3292	810
				22,1	26,1	-	-	-	-	-
14.00	49	0	22,8	37,5	47,2	2,18	19,22	41,8	3313	756
				22,8	29,0	-	-	-	-	-
14.30	49	0	23,4	34,3	41,1	2,18	19,27	42,0	3334	684
				23,4	28,1	-	-	-	-	-
15.00	49	0	23,9	32,7	39,2	2,19	19,37	42,4	3355	591
				23,9	27,2	-	-	-	-	-
15.30	49	0	21,5	27,9	33,2	2,15	18,78	40,3	3377	478
				21,5	25,2	-	-	-	-	-
16.00	49	0	20,1	23,4	27,6	2,04	17,03	34,7	3393	395
				20,1	22,6	-	-	-	-	-
16.30	49	0	18,7	23,0	25,8	1,22	6,49	7,9	3402	267
				18,7	23,4	-	-	-	-	-
17.00	49	0	18,1	20,3	21,7	-	-	-	-	167
				18,1	20,9	-	-	-	-	-

Tablo E2.4. Sistem 2.durum şartlarında iken 13.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:13.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi pasif (2.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_C (°C)	T_{PC} (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	49	0	14,9	21,6	25,5	2,11	19,12	41,4	3424	525
				-	-	-	-	-	-	-
08.30	49	0	14,9	22,6	27,1	2,19	19,47	42,6	3444	629
				-	-	-	-	-	-	-
09.00	49	0	16,3	23,1	28,4	2,22	19,86	44,0	3467	735
				-	-	-	-	-	-	-
09.30	49	0	16,4	22,4	28,8	2,23	19,93	44,4	3489	798
				-	-	-	-	-	-	-
10.00	49	0	17,0	27,3	33,6	2,21	19,78	43,7	3510	850
				-	-	-	-	-	-	-
10.30	49	0	18,3	32,9	42,3	2,22	19,81	43,9	3533	903
				24,6	33,6	-	-	-	-	-
11.00	49	0	19,3	33,4	43,1	2,21	19,71	43,5	3554	924
				27,2	37,0	1,46	9,39	13,7	2198	876
11.30	49	0	20,9	35,5	46,5	2,17	19,06	41,3	3576	934
				33,8	39,7	2,15	19,17	41,2	2214	902
12.00	49	0	20,4	37,9	49,7	2,07	18,93	39,2	3597	924
				37,3	42,3	2,11	19,02	40,1	2235	914
13.00	49	0	24,4	37,1	46,0	2,16	18,85	40,7	3639	873
				29,3	29,3	-	-	-	-	-
13.30	49	0	24,2	34,3	43,5	2,18	19,14	41,7	3659	811
				29,1	30,8	-	-	-	-	-
14.00	49	0	24,0	37,6	46,4	2,18	19,22	41,8	3681	740
				28,6	29,7	-	-	-	-	-
14.30	49	0	22,2	32,8	39,3	2,18	19,21	41,8	3701	679
				26,4	27,1	-	-	-	-	-
15.00	49	0	23,3	33,6	39,9	2,18	19,18	41,8	3721	592
				26,8	27,8	-	-	-	-	-
15.30	49	0	23,2	29,1	34,5	2,14	18,69	40,0	3741	487
				26,2	26,9	-	-	-	-	-
16.00	49	0	23,1	27,1	31,5	2,04	16,98	34,6	3759	406
				25,3	26,2	-	-	-	-	-
16.30	49	0	22,6	24,6	27,3	1,30	7,39	9,6	3770	286
				24,1	24,2	-	-	-	-	-
17.00	49	0	20,7	22,0	24,2	-	-	-	-	29
				21,4	21,6	-	-	-	-	-

Tablo E2.5. Sistem 2.durum şartlarında iken 14.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:14.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi pasif (2.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_C (°C)	$T_{PÇ}$ (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	49	0	14,8	22,1	25,8	2,10	19,23	40,4	3792	511
				17,8	18,2	-	-	-	-	-
08.30	49	0	15,1	23,4	27,2	2,16	19,36	41,8	3813	609
				18	19,4	-	-	-	-	-
09.00	49	0	15,4	23,6	28,7	2,20	19,43	42,7	3835	737
				18,2	22,1	-	-	-	-	-
09.30	49	0	15,6	23,7	29,6	2,19	19,41	42,5	3855	816
				18,7	21,6	-	-	-	-	-
10.00	49	0	16,4	28,8	35,2	2,18	19,23	41,9	3876	863
				20,6	22,7	-	-	-	-	-
10.30	49	0	18,2	28,5	36,4	2,18	19,28	42,0	3896	908
				25,1	38,5	-	-	-	-	-
11.00	49	0	20,4	36,8	45,5	2,15	18,78	40,3	3916	924
				31,9	47,2	1,42	8,79	12,4	2262	919
11.30	49	0	21,2	33,9	45,0	2,15	18,65	40,0	3937	948
				39,0	48,2	2,12	18,78	39,8	2276	915
12.00	49	0	21,5	34,3	45,6	2,15	18,73	40,2	3957	951
				44,0	51,6	2,13	18,76	39,9	2295	914
13.00	49	0	24,2	40,2	52,3	2,17	18,91	41,0	3996	892
				27,3	28,3	1,25	7,40	9,5	2318	860
13.30	49	0	26,4	41,7	51,7	2,17	19,00	41,2	4017	818
				30,2	32,2	-	-	-	-	-
14.00	49	0	26,2	39,0	47,8	2,18	19,17	41,7	4037	740
				30,0	31,6	-	-	-	-	-
14.30	49	0	25,3	36,7	44,7	2,16	18,91	40,8	4058	675
				29,5	30,9	-	-	-	-	-
15.00	49	0	24	34,3	41,2	2,18	19,05	41,5	4078	575
				27,0	28,3	-	-	-	-	-
15.30	49	0	22,7	29,5	35,1	2,13	18,40	39,1	4099	488
				24,4	27,9	-	-	-	-	-
16.00	49	0	22	24,9	28,5	1,99	16,29	32,4	4116	394
				24,6	25,5	-	-	-	-	-
16.30	49	0	21,8	21,1	23,4	1,23	6,80	8,3	4125	272
				21,8	22,4	-	-	-	-	-
17.00	49	0	19,9	20,1	21,2	-	-	-	-	42
				20,6	20,9	-	-	-	-	-

Tablo E2.6. Sistem 2.durum şartlarında iken 15.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:15.10.2017, Güneşli İki ayna etkin-Takip sistemi pasif (2.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_C (°C)	T_{PC} (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	49	0	14,6	21,7	24,9	2,09	19,32	40,3	4147	532
				14,9	17,8	-	-	-	-	-
08.30	49	0	15,0	22,9	26,8	2,18	19,47	42,2	4168	603
				15,7	19,5	-	-	-	-	-
09.00	49	0	15,3	23,3	29,0	2,23	19,96	44,5	4188	743
				16,5	19,9	-	-	-	-	-
09.30	49	0	15,4	22,1	27,8	2,23	19,91	44,3	4209	825
				16,1	19,3	-	-	-	-	-
10.00	49	0	15,6	24,5	31,3	2,24	20,14	45,1	4231	882
				16,3	17,8	-	-	-	-	-
10.30	49	0	18,4	28,7	36,5	2,23	20,08	44,7	4253	926
				21,4	31,2	-	-	-	-	-
11.00	49	0	18,7	30,7	38,6	2,23	19,93	44,4	4276	948
				24,6	33,4	1,46	9,42	13,7	2324	913
11.30	49	0	19,4	31,5	39,2	2,23	19,90	44,3	4298	965
				29,7	37,4	2,20	19,92	43,8	2341	930
12.00	49	0	20,3	33,9	43,7	2,21	19,70	43,5	4320	962
				32,4	36,3	2,18	19,68	42,9	2362	967
13.00	49	0	20,9	32,7	41,8	2,23	19,80	44,1	4363	945
				22,8	23,9	1,29	7,46	9,6	2385	893
13.30	49	0	21,1	32,6	40,1	2,23	19,92	44,4	4385	822
				24,4	25,0	-	-	-	-	-
14.00	49	0	21,9	32,4	40,9	2,22	19,79	43,9	4407	781
				24,4	25,0	-	-	-	-	-
14.30	49	0	22,0	31,9	38,9	2,21	19,69	43,5	4429	723
				24,3	25,2	-	-	-	-	-
15.00	49	0	19,3	27,7	34,0	2,21	19,60	43,3	4452	605
				21,7	23,0	-	-	-	-	-
15.30	49	0	19,1	27,6	32,3	2,18	19,07	41,5	4473	522
				23,2	24,2	-	-	-	-	-
16.00	49	0	18,7	24,0	27,6	2,01	16,60	33,3	4492	406
				22,5	23,2	-	-	-	-	-
16.30	49	0	18,2	22,5	24,9	1,34	7,80	10,4	4502	248
				21,9	22,1	-	-	-	-	-
17.00	49	0	17,4	21,0	21,7	-	-	-	-	32
				17,4	20,2	-	-	-	-	-

EK-3 Güneş takip sisteminden 3.durum şartları için alınan veriler

Tablo E3.1. Sistem 3.durum şartlarında iken 16.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih: 16.10.2017, Parçalı bulutlu Tek ayna etkin-Takip sistemi aktif (3.Durum)										
Saat	ψ	γ	$T_{\text{Ç}}$ (°C)	$T_{\text{PÇ}}$ (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	75	63	11,6	21,7	28,7	2,21	19,68	43,4	4564	827
				14,7	17,9	2,14	19,02	40,7	2376	418
08.30	71	57	13,0	22,9	29,4	2,22	19,97	44,3	4585	850
				17,3	19,6	2,17	19,53	42,3	2397	442
09.00	66	52	14,4	24,7	32,0	2,21	19,86	43,8	4606	868
				20,1	22,7	2,17	19,52	42,3	2417	464
09.30	62	46	15,1	24,9	31,6	2,21	20,05	44,3	4628	882
				20,5	23,1	2,18	19,62	42,7	2436	485
10.00	56	38	16,8	28,5	36,2	2,23	19,91	44,3	4650	896
				23,4	27,6	2,17	19,47	42,2	2455	498
10.30	54	30	16,5	27,1	34,2	2,23	19,97	44,5	4672	865
				23,8	25,3	2,17	19,44	42,1	2476	478
11.00	50	22	17,3	27,0	33,9	2,23	20,23	45,1	4694	854
				20,0	23,6	2,17	19,60	42,5	2492	485
11.30	49	11	18,4	27,5	34,9	2,22	19,93	44,2	4717	849
				22,9	24,8	2,14	19,09	40,8	2513	468
12.00	49	2	18,6	26,6	33,8	2,25	20,13	45,3	4739	868
				23,2	24,2	2,17	19,54	42,4	2536	502
13.00	49	-20	18,8	25,0	30,2	2,26	20,37	46,0	4784	821
				19,5	22,1	2,15	19,16	41,1	2574	456
13.30	51	-28	18,9	26,8	33,2	2,24	20,01	44,8	4806	929
				20,6	23,3	2,14	18,96	40,5	2595	522
14.00	54	-37	18,9	28,0	35,3	2,22	20,22	44,8	4829	931
				20,5	24,7	2,18	19,65	42,8	2616	532
14.30	57	-46	19,2	27,4	35,1	2,23	19,92	44,4	4852	770
				22,7	27,6	2,15	19,13	41,1	2637	438
15.00	61	-53	18,6	27,8	34,2	2,21	20,11	44,4	4873	820
				19,4	25,7	2,14	19,05	40,7	2656	418
15.30	66	-60	17,8	26,0	31,6	2,21	20,02	44,2	4895	766
				20,4	24,7	2,09	18,18	37,9	2676	380
16.00	71	-67	17,6	24,2	29,2	2,23	19,91	44,3	4917	772
				19,9	24,0	1,99	16,42	32,6	2694	385
16.30	75	-72	17,5	24,5	30,6	2,20	19,79	43,5	4939	734
				20,7	26,6	-	-	-	-	361
17.00	82	-78	16,9	22,5	26,6	2,15	19,38	41,6	4959	618
				18,5	20,4	-	-	-	-	308

Tablo E3.2. Sistem 3.durum şartlarında iken 17.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:17.10.2017, Güneşli Tek ayna etkin-Takip sistemi aktif (3.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{pc} (°C)	T_{pv} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	73	64	10,8	24,1	33,4	2,17	19,49	42,3	5002	813
				19,2	21,4	2,13	19,01	40,5	2699	409
08.30	68	55	11,3	26,2	36,4	2,19	19,58	42,8	5023	867
				19,7	23,2	2,15	19,10	41,0	2719	452
09.00	64	50	14,3	27,8	37,9	2,18	19,28	42,0	5044	933
				20,8	29,0	2,14	18,88	40,4	2737	492
09.30	59	44	14,4	30,6	40,0	2,16	19,19	41,4	5064	935
				27,1	31,8	2,13	18,87	40,1	2757	503
10.00	55	37	15,0	32,0	42,2	2,19	19,48	42,6	5087	943
				24,1	29,0	2,15	19,15	41,1	2777	510
10.30	52	29	16,4	35,4	45,8	2,17	19,20	41,6	5109	931
				25,5	33,0	2,14	18,96	40,5	2797	516
11.00	51	23	16,1	29,7	40,9	2,20	19,60	43,1	5129	980
				26,6	31,3	2,16	19,24	41,5	2815	549
11.30	50	11	18,7	32,2	43,3	2,18	19,41	42,3	5150	955
				27,6	32,6	2,15	19,05	40,9	2835	552
12.00	48	0	18,8	32,7	43,1	2,18	19,52	42,5	5171	959
				26,0	29,0	2,15	19,12	41,1	2855	541
13.00	49	-20	18,9	33,0	43,4	2,16	19,28	41,6	5215	939
				25,3	33,6	2,14	18,93	40,5	2897	541
13.30	51	-28	19,3	34,9	45,3	2,15	19,14	41,1	5235	943
				26,4	35,7	2,14	18,79	40,2	2916	526
14.00	54	-38	19,7	35,2	45,2	2,16	19,23	41,5	5255	932
				25,8	34,1	2,14	18,81	40,2	2935	514
14.30	58	-46	20,7	34,5	45,4	2,15	19,18	41,2	5275	962
				26,2	35,0	2,13	18,75	39,9	2955	520
15.00	62	-52	20,1	32,9	43,5	2,19	19,37	42,4	5295	914
				25,6	33,8	2,12	18,63	39,4	2974	481
15.30	66	-62	19,9	34,4	44,1	2,14	19,02	40,7	5315	900
				25,4	33,6	2,10	18,30	38,4	2992	445
16.00	71	-66	19,8	34,0	43,8	2,14	19,03	40,7	5335	840
				25,5	33,4	2,07	17,80	36,8	3010	414
16.30	78	-69	19,6	31,7	39,7	2,17	18,93	41,0	5355	768
				24,7	35,2	-	-	-	-	364
17.00	83	-73	18,7	27,3	32,7	2,13	18,38	39,1	5375	608
				20,9	23,2	-	-	-	-	295

Tablo E3.3. Sistem 3.durum şartlarında iken 18.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:18.10.2017, Güneşli Tek ayna etkin-Takip sistemi aktif (3.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{pc} (°C)	T_{pv} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	75	59	11,7	23,0	28,9	2,19	19,49	42,7	5408	798
				16,2	22,1	2,11	18,99	40,0	3010	413
08.30	71	53	12,6	24,6	31,9	2,20	19,57	43,0	5429	825
				19,4	23,3	2,15	19,09	41,0	3023	446
09.00	64	51	15,3	28,6	37,6	2,18	19,36	42,2	5451	923
				20,7	28,8	2,15	19,18	41,2	3042	477
09.30	60	45	15,5	30,0	38,7	2,17	19,35	41,9	5472	925
				24,9	29,1	2,14	18,90	40,4	3061	486
10.00	59	38	16,6	28,9	37,6	2,20	19,60	43,1	5493	922
				23,8	28,1	2,15	19,08	41,0	3081	503
10.30	56	30	17,8	30,3	39,2	2,20	19,70	43,3	5515	936
				23,9	27,8	2,16	19,22	41,5	3102	516
11.00	50	20	18,6	31,4	40,6	2,19	19,66	43,0	5537	957
				24,2	30,9	2,16	19,24	41,5	3122	533
11.30	49	11	19,6	33,5	43,4	2,16	19,41	41,9	5557	946
				28,5	34,2	2,14	19,01	40,6	3142	946
12.00	48	1	20,6	36,2	46,6	2,18	19,47	42,4	5579	943
				28,8	32,9	2,14	19,06	40,7	3162	530
13.00	50	-17	20,7	35,2	44,6	2,18	19,42	42,3	5620	947
				26,8	33,5	2,14	18,96	40,5	3202	532
13.30	52	-28	20,2	34,0	43,1	2,15	19,23	41,3	5641	935
				26,3	34,6	2,13	18,74	39,9	3222	505
14.00	54	-36	21,6	36,5	47,1	2,15	18,94	40,7	5660	934
				28,7	36,1	2,12	18,45	39,1	3241	502
14.30	58	-47	21,3	34,7	44,1	2,14	18,91	40,4	5680	905
				27,4	35,4	2,10	18,31	38,4	3261	454
15.00	61	-54	21,6	34,4	44,7	2,14	18,77	40,1	5699	892
				28,6	35,6	2,09	18,05	37,7	3280	455
15.30	66	-59	21,7	37,8	46,2	2,11	18,84	39,7	5718	876
				27,5	35,8	2,07	17,83	36,9	3298	418
16.00	71	-67	21,4	35,9	44,5	2,13	18,64	39,7	5738	807
				27,2	39,7	1,78	13,47	23,9	3316	378
16.30	78	-70	21,3	31,5	39,6	2,12	18,46	39,1	5758	644
				26,1	33,0	-	-	-	-	299
17.00	82	-73	19,7	27,1	31,7	1,79	13,43	24,0	5776	526
				22,2	24,8	-	-	-	-	253

Tablo E3.4. Sistem 3.durum şartlarında iken 19.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

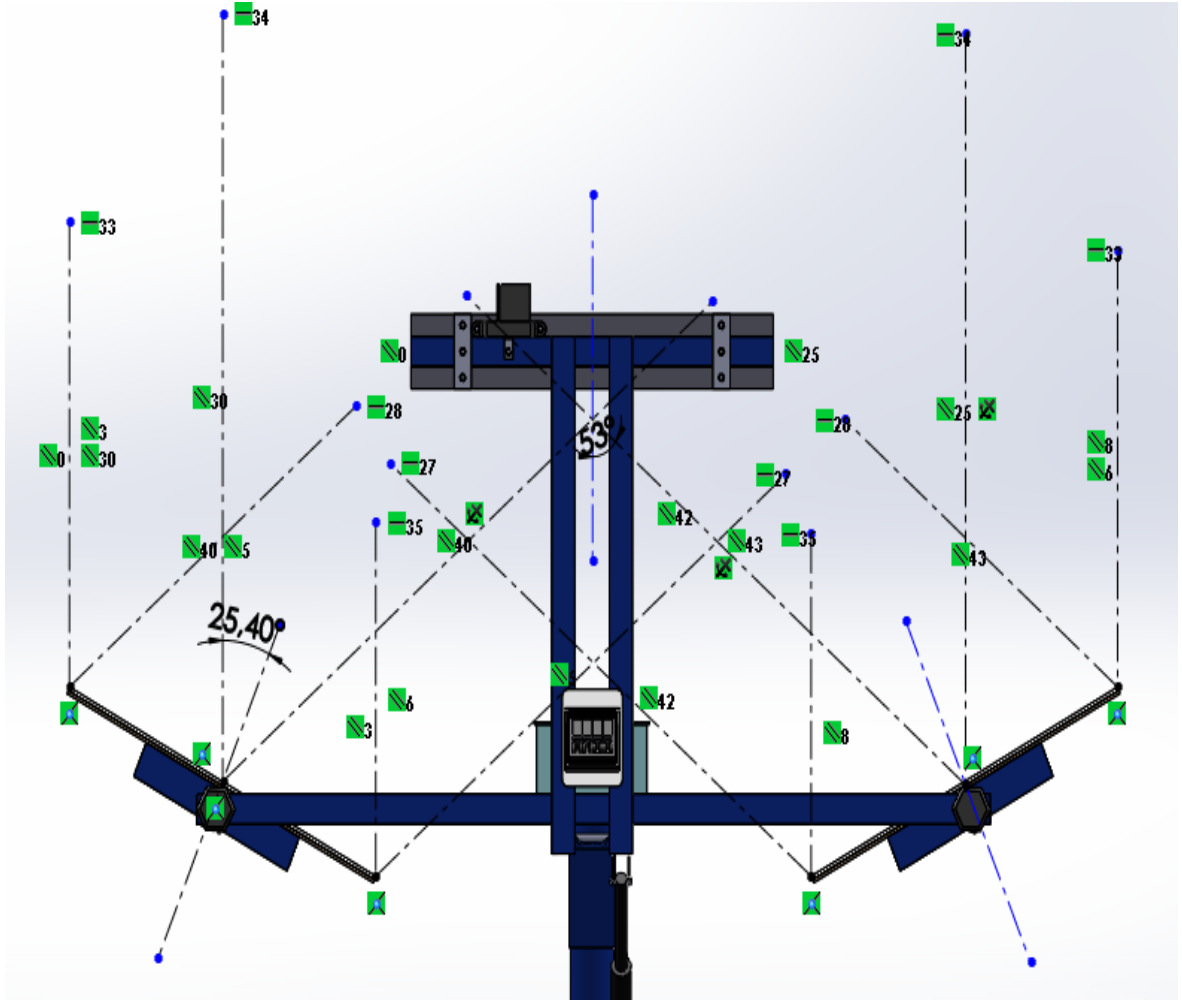
Tarih:19.20.2017, Güneşli Tek ayna etkin-Takip sistemi aktif (3.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{pc} (°C)	T_{pv} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	72	59	14,3	23,7	29,2	2,04	18,43	37,6	5798	603
				19,1	24,1	1,89	15,81	29,9	3320	296
08.30	69	54	15,1	26,5	34,3	2,14	18,83	40,2	5816	747
				20,7	27,4	1,96	15,95	31,2	3338	373
09.00	65	48	16,3	28,8	37,9	2,15	18,81	40,4	5836	803
				22,9	30,7	2,00	16,59	33,1	3357	410
09.30	61	44	16,9	31,7	41,9	2,13	18,78	40,0	5856	851
				24,2	33,6	2,09	18,04	37,7	3375	456
10.00	56	36	19,3	31,1	41,6	2,15	18,73	40,2	5876	867
				27,0	35,6	2,10	18,22	38,2	3393	462
10.30	52	28	19,8	33,4	42,6	2,18	19,44	42,3	5895	887
				26,8	31,1	2,13	18,72	39,8	3411	480
11.00	50	19	20,4	35,4	45,5	2,18	19,32	42,1	5916	899
				25,2	32,4	2,13	18,74	39,9	3430	510
11.30	49	9	20,7	36,8	47,9	2,16	19,15	41,4	5937	913
				28,8	34,2	2,13	18,72	39,8	3451	513
12.00	48	1	21,2	35,6	46,6	2,17	19,27	41,8	5958	912
				29,3	33,8	2,13	18,79	40,0	3470	515
13.00	51	-19	20,2	36,4	48,1	2,18	19,16	41,7	6000	905
				26,3	32,5	2,12	18,65	39,5	3510	505
13.30	52	-26	21,4	38,2	49,1	2,14	19,03	40,7	6020	904
				26,6	33,6	2,12	18,50	39,2	3527	497
14.00	56	-40	23,4	38,3	47,5	2,13	18,72	39,8	6041	908
				30,1	42,7	2,09	17,89	37,3	3547	478
14.30	61	-48	23,0	35,1	45,0	2,13	18,93	40,3	6061	867
				28,4	36,0	1,91	15,32	29,2	3565	456
15.00	64	-51	22,8	37,0	46,2	2,08	18,53	38,5	6080	844
				29,2	37,6	2,04	17,16	35,0	3582	444
15.30	67	-59	24,1	37,4	44,7	2,13	18,58	39,5	6100	909
				34,4	44,0	2,02	16,74	33,8	3595	382
16.00	72	-63	23,0	36,0	44,2	2,13	18,53	39,4	6120	752
				28,5	43,4	1,43	8,82	12,6	3604	366
16.30	79	-68	21,4	32,7	38,9	2,12	18,4	39,0	6138	571
				25,9	39,9	-	-	-	-	317
17.00	82	-72	19,8	25,9	30,0	1,42	8,8	12,4	6150	457
				21,4	30,8	-	-	-	-	221

Tablo E3.5. Sistem 3.durum şartlarında iken 20.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:20.10.2017, Güneşli Tek ayna etkin, Takip sistemi aktif (3.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{PC} (°C)	T_{PV} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	76	60	14,1	25,4	32,3	2,12	18,89	40,0	6174	672
				19,2	23,9	2,02	18,29	36,9	3610	291
08.30	71	55	14,6	28,6	36,8	2,15	18,99	40,8	6194	806
				22,0	27,7	2,11	18,41	38,8	3627	412
09.00	65	51	15,6	30,8	41,3	2,14	18,86	40,3	6214	861
				22,6	30,6	2,12	18,63	39,4	3647	491
09.30	60	45	17,2	31,6	42,6	2,13	18,83	40,1	6234	899
				28,6	33,5	2,12	18,65	39,5	3664	516
10.00	57	38	18,4	35,5	45,8	2,13	18,78	40,0	6254	910
				28,9	35,8	2,13	18,68	39,7	3684	535
10.30	54	42	18,5	31,3	42,8	2,15	18,89	40,6	6273	913
				31,8	36,2	2,13	18,75	39,9	3702	539
11.00	51	30	20,5	37,8	48,3	2,13	18,67	39,7	6293	920
				28,7	39,3	2,12	18,49	39,1	3721	559
11.30	50	21	20,6	37,6	48,0	2,13	18,70	39,8	6313	925
				32,7	39,0	2,12	18,51	39,2	3740	574
12.00	48	1	23,3	41,4	53,6	2,12	18,61	39,4	6333	933
				35,1	40,3	2,11	18,44	38,9	3759	576
13.00	51	-19	23,5	40,8	51,6	2,15	18,61	40,0	6372	932
				33,3	40,7	2,12	18,44	39,0	3798	562
13.30	53	-30	24,5	40,2	51,9	2,14	18,72	40,0	6392	923
				29,6	38,4	2,12	18,57	39,3	3817	553
14.00	55	-38	22,5	36,7	48,2	2,16	18,91	40,8	6412	918
				27,9	33,9	2,13	18,66	39,7	3836	532
14.30	60	-46	22,6	36,5	47,9	2,17	18,97	41,1	6433	903
				28,3	35,2	2,12	18,61	39,4	3856	507
15.00	63	-54	22,7	36,3	47,7	2,10	18,78	39,4	6453	884
				28,6	37,3	2,10	18,21	38,2	3876	487
15.30	67	-63	23,2	35,3	45,0	2,13	18,75	39,9	6473	854
				28,6	36,6	2,07	17,73	36,7	3890	443
16.00	71	-66	22,8	34,9	43,4	2,15	18,81	40,4	6493	746
				28,0	42,2	1,45	8,97	13,0	3900	397
16.30	77	-69	22,2	34,5	41,7	2,13	18,62	39,6	6511	709
				27,6	41,2	-	-	-	-	361
17.00	83	-72	20,7	27,4	36,9	1,45	9,07	13,1	6518	481
				22,8	25,3	-	-	-	-	239

Tablo E3.6. Sistem 3.durum şartlarında iken 23.10.2017 tarihinde 30 dakikalık aralıklarla alınan veriler

Tarih:23.10.2017, Güneşli Tek ayna etkin-Takip sistemi aktif (3.Durum)										
Saat	ψ	γ	T_c (°C)	T_{Pc} (°C)	T_{Pv} (°C)	Akım (A)	Gerilim (V)	Anlık Güç (W)	Enerji (Wh)	Işınım Şiddeti (W/m ²)
08.00	74	57	13,7	26,1	33,1	2,14	19,01	40,7	6536	647
				18,9	25,3	2,09	18,21	38,0	3905	312
08.30	69	51	14,1	29,6	37,0	2,15	19,08	41,0	6556	791
				21,0	29,4	2,11	18,36	38,7	3925	407
09.00	65	48	15,0	31,3	41,3	2,14	18,79	40,2	6576	882
				26,6	31,0	2,11	18,50	39,0	3944	482
09.30	60	45	17,3	30,7	42,5	2,14	18,80	40,2	6596	940
				28,1	32,9	2,12	18,65	39,5	3963	530
10.00	56	36	17,4	32,2	42,7	2,11	18,34	38,6	6617	862
				28,4	32,5	2,05	17,50	35,8	3983	497
10.30	53	29	17,9	32,4	42,9	2,14	18,93	40,5	6636	892
				30,5	35,5	2,13	18,78	40,0	4001	512
11.00	51	19	18,9	33,3	43,7	2,13	18,85	40,1	6656	897
				29,8	37,6	2,12	18,69	39,6	4020	522
11.30	50	9	20,1	34,6	45,0	2,13	18,77	39,9	6676	901
				29,3	39,4	2,12	18,58	39,3	4040	545
12.00	49	2	21,4	34,7	44,8	2,13	18,88	40,2	6696	913
				29,9	40,2	2,13	18,68	39,7	4059	553
13.00	51	-18	23,6	37,2	47,7	2,14	18,71	40,0	6736	919
				31,7	42,2	2,12	18,41	39,0	4098	539
13.30	53	-28	23,4	37,7	47,2	2,13	18,79	39,9	6756	906
				31,9	42,3	2,11	18,37	38,7	4117	518
14.00	56	-36	22,9	35,3	44,8	2,13	18,95	40,3	6776	896
				31,1	41,8	2,12	18,47	39,1	4136	510
14.30	60	-48	23,2	35,3	44,4	2,17	18,78	40,7	6796	870
				30,0	38,9	2,05	18,16	37,9	4154	480
15.00	63	-53	22,3	34,2	44,3	2,14	18,82	40,2	6816	855
				28,1	36,5	2,08	18,03	37,6	4172	459
15.30	68	-60	22,0	34,2	41,7	2,14	19,02	40,7	6837	802
				27,9	35,1	2,07	17,79	36,8	4191	412
16.00	71	-64	22,2	32,8	40,1	2,11	18,88	39,8	6857	738
				27,1	33,2	1,61	11,06	17,8	4210	367
16.30	76	-66	21,4	28,9	34,8	2,13	18,56	39,5	6876	604
				25,4	31,0	-	-	-	-	299
17.00	81	-71	19,7	21,0	23,7	-	-	-	-	118
				21,3	22,7	-	-	-	-	16



Şekil E1.1. Işınlrın yansıma açıları

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet TURMUŞ, 5 Mart 1993 yılında Elazığ’ da doğdu. 2011 yılında Elazığ Balakgazi Lisesi’nden mezun oldu. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Lisans Programını 2011-2015 yılları arasında tamamladı. 2015 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başlamıştır.

E-mail: ahmetturmus23@hotmail.com

