



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BATMAN'IN İKLİM ŞARTLARINDA AMORF SİLİSYUM PV
SİSTEMİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ**

Süleyman AKÇAY

**Temmuz-2024
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BATMAN'IN İKLİM ŞARTLARINDA AMORF SİLİSYUM PV
SİSTEMİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ**

Süleyman AKÇAY

**Danışman
Prof. Dr. Osman PAKMA**

**Temmuz-2024
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Süleyman AKÇAY tarafından hazırlanan “Batman’ın İklim Şartlarında Amorf Silisyum PV Sisteminin Performans Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 02/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Fizik Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

.....

Danışman

Prof. Dr. Osman PAKMA

.....

Üye

Doç. Dr. Şadan ÖZDEN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Süleyman AKÇAY

Tarih: 02.07.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATMAN'IN İKLİM ŞARTLARINDA AMORF SİLİSYUM PV SİSTEMİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

Süleyman AKÇAY

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Osman PAKMA

2024, 94 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Osman PAKMA

Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Doç. Dr. Şadan ÖZDEN

Bu tez çalışmasında Batman ilinde kurulu ince film amorf silisyum modüllerinden oluşan 2,160 kWp güce sahip fotovoltaik sistemin (PV) 2014-2023 yılları arasında aylık toplam üretilen güç miktarları karşılaştırılarak performans değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 2014-2023 yılları arasında Batman ili için anlık yatay yüzeye gelen güneş ışınım ve ortam sıcaklık değerleri de ölçülmüştür. Ölçülmüş olan ışınım ve sıcaklık değerleri, sistemin teknik değerleri de dikkate alınarak yazılım yardımıyla simüle edilmiştir. Simüle edilen çıktı değerleri PV sistemin ürettiği güç değerleri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca üretilen güç değerleri 2014-2023 yılları arasında performans analizleri yapılarak yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Amorf Silisyum, Batman, Fotovoltaik, Güneş ışınımı, Sıcaklık

ABSTRACT

MS THESIS

PERFORMANCE EVALUATION OF AMORPHOUS SILICON PV SYSTEM IN BATMAN'S CLIMATE CONDITIONS

Süleyman AKÇAY

Batman University Graduate Education Institute

Physical Department of Science

Advisor: Prof. Dr. Osman PAKMA

2024, 94 Pages

Jury

Prof. Dr. Osman PAKMA

Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ

Doç. Dr. Şadan ÖZDEN

In this thesis study, it is aimed to evaluate the performance of the photovoltaic system (PV) with a power of 2,160 kWp, consisting of thin film amorphous silicon modules installed in Batman province, by comparing the total monthly generated power amounts between 2014 and 2023. Instant horizontal surface solar radiation and ambient temperature values were also measured for Batman province between 2014 and 2024. The measured radiation and temperature values were simulated with the help of software, taking into account the technical values of the system. Simulated output values were compared with the power values produced by the PV system. In addition, the generated power values were interpreted by performing performance analyzes between 2014 and 2023.

Keywords: Amorphous Silicon, Batman, Photovoltaic, Solar radiation, Temperature

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde yardımlarını benden esirgemeyen, Batman Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Osman PAKMA danışmanlığında tamamlanarak Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne tez çalışması olarak sunulmuştur. Çalışmalarım süresince bana verdiği destekten dolayı başta danışman hocam Prof. Dr. Osman PAKMA olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında kullanılan sistem 2012 yılında Batman Temiz ve Yenilenebilir Enerji Derneği'nin Dicle Kalkınma Ajansı'ndan (DİKA) sağlamış olduğu “Batman İlinde Kurulu Değişik Güneş Enerjisi Modüllerinin Performans Karşılaştırması” isimli ve DİKA-2011- DFD/45 nolu projesi ile kurulmuştur. Bu nedenle Dicle Kalkınma Ajansına, Batman Temiz ve Yenilenebilir Enerji Derneğine ve ayrıca sistem kurulumu yapan Sunset firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Aldığım kararları her zaman destekleyen, çalışmam boyunca bana yardımcı olan, benim için çok değerli Hülya MAMAŞ'a çok teşekkür ederim.

Süleyman AKÇAY
BATMAN-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	4
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
2.2. Güneş Enerjisi	5
2.2.1. Güneş enerjisi kapasitesi	7
2.2.2. Güneş geometrisi açıları	8
2.2.3. Güneş ışınımı	13
2.3. Güneş Enerjisinden Yararlanma	15
2.3.1. Termal sistemler	15
2.3.2. Enerji sistemleri	16
2.4. Fotovoltaik Sistemler	18
2.4.1. Şebekeden bağımsız sistemler (Ada sistemler)	18
2.4.2. Şebeke bağlantılı sistemler	19
2.4.3. Hibrit güneş enerji sistemleri	20
2.5. Fotovoltaik Sistem Elemanları	21
2.5.1. Fotovoltaik Modüller	21
2.5.1.1. Fotovoltaik hücre türleri	22
2.5.2. Eviriciler	23
2.5.3. Akü	25
2.5.4. Sistem kabloları	26
2.5.5. Yönetim ve gözlem	27
2.6. Amorf Silisyum (a-Si) Fotovoltaik Hücreler	29
2.7. Fotovoltaik Hücrelerde Elektriksel Değişkenler	32
2.8. Fotovoltaik Sistemlerde Verimi Etkileyen Parametreler	36
2.8.1. Çevresel şart kayıpları	38
2.8.1.1. Işınım kayıpları	38
2.8.1.2. Gölgeleme kayıpları	39
2.8.1.4. Spektrum kayıpları	40
2.8.1.5. Tozlanma ve karlanma kayıpları	40
2.8.2. Sistem kayıpları	41
2.8.2.1. Sıcaklık kayıpları	41
2.8.2.2. Kablo kayıpları	42
2.8.2.3. Teknik kayıplar	42
2.8.2.4. Uyumsuzluk kayıpları	43
2.8.2.5. Evirici kayıpları	43

2.9. Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Performans Değerlendirme	44
2.10. Ülkemizde PV Sistem Kurulum Sürecinde Yasal Süreçler	47
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
3.1. Işınım Ve Sıcaklık Ölçüm Sistemi.....	50
3.1.1. Piranometre	51
3.1.2. Sıcaklık ve nem sensörü	52
3.2. PVsyst Paket Yazılımı	53
3.3. Fotovoltaik (PV) Sistem	54
3.3.1. a-Si PV modüller	54
3.3.2. Evirici.....	55
3.3.3. Veri kaydetme.....	57
3.3.4. Tasarım	58
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	61
4.1. Güneş Işınım Şiddeti ve Sıcaklık Değerleri.....	61
4.2. Simülasyon Analizleri.....	65
4.3. Sistem Sonuçları	67
4.4. Performans Değerlendirmeleri.....	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER

ŞEKİL NO	ŞEKİLLER	SAYFA NO
Şekil 2.1.	Yıllara göre kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları oranı	4
Şekil 2.2.	Güneş ışıınım spektrumu	5
Şekil 2.3.	Dünya güneş ışıma potansiyeli	6
Şekil 2.4.	Enlem açısı(ϕ), Deklinasyon açısı(δ), Saat açısı(ω)	9
Şekil 2.5.	Zenit açısı(ψ) ve Güneş yükseklik açısı(α)	11
Şekil 2.6.	(a)yüzey azimut açısı, (b)Güneş azimut açısı	12
Şekil 2.7.	Bir dizi halinde yerleştirilmiş güneş panelleri arası mesafe	13
Şekil 2.8.	Güneşten gelen ışınların havakürede aldıkları yollar	14
Şekil 2.9.	Güneş su ısıtma sistemleri	16
Şekil 2.10.	Batman ili, Kozluk ilçesi 9,3'lük MW gücüne sahip PV sistem	17
Şekil 2.11.	(a)PV hücre, (b)modül, (c)güneş paneli	18
Şekil 2.12.	Şebekeden bağımsız PV sistem	19
Şekil 2.13.	Şebekeye bağlı PV sistem	20
Şekil 2.14.	Hibrit enerji santrali örneği	21
Şekil 2.15.	Fotovoltaik güneş hücre tipleri	23
Şekil 2.16.	PV panellerine bağlanan evirici	24
Şekil 2.17.	(a)Standart akü, (b)Seri bağlı aküler	25
Şekil 2.18.	Modüller arası bağlantı kabloları	26
Şekil 2.19.	Doğru akım taşıyan kablolar	27
Şekil 2.20.	Lokal gözlem arası	28
Şekil 2.21.	Genel gözlem aracı	28
Şekil 2.22.	Uzaktan gözlem sistemi	29
Şekil 2.23.	a-Si güneş hücresi yapısı	31
Şekil 2.24.	PV güneş hücrelerinin yıllara göre verimlilikleri	32
Şekil 2.25.	STC altında kristal silisyum PV hücre ile a-Si PV hücresinin I-V karakteristik grafiği	34
Şekil 2.26.	Güneşten gelen ışıınım değeri şiddeti ile kısa devre akımı ve açık devre gerilimi karşılaştırılması	34
Şekil 2.27.	PV hücre doluluk faktörü gösterimi	35
Şekil 2.28.	PV sistem kayıpları	37
Şekil 2.29.	Modüller üzerinde gölgelenmeye örnek	39
Şekil 2.30.	Ülkemizde PV sistemler üzerine pazar çeşitleri	48
Şekil 2.31.	GES proje uygulama süreci	49
Şekil 3.1.	Işınım ve sıcaklık veri alma sistemi	50
Şekil 3.2.	Kipp&Zonen(CMP11) piranometre dizaynı	51
Şekil 3.3.	A-B Termo-çifti	52
Şekil 3.4.	HMP60 Vaisala sıcaklık-nem sensörü ve sıcaklık kalkanı	53
Şekil 3.5.	PVsyst V6,39 paket yazılımın giriş arayüzü	53
Şekil 3.6.	Batman Gültepe Simya Koleji çatısındaki PV sistemimiz	54
Şekil 3.7.	a-Si teknolojisine sahip PV sistemde kullanılan Sunset	56

	firmasına ait SunString 5000 eviricisi	
Şekil 3.8.	Modüllerden elde edilen verileri kayıt altına alan SUNlog XL cihazı	57
Şekil 3.9.	İnce filim a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimiz	58
Şekil 3.10.	Kablo bağlantı kutusu	59
Şekil 3.11.	İnce filim a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimizin tasarımı	60
Şekil 4.1.	Ölçülmüş güneş ışıınım ve ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak, PVsyst 7.4 yazılımı ile 2014-2023 yılları arasında simüle edilerek hesaplanmış toplam enerji değerleri	65
Şekil 4.2.	PVsyst 7.4 yazılımı ile analiz edilerek hesaplanmış 2023 yılına ait sistemimizin enerji kayıpları	66
Şekil 4.3.	2014-2023 yılları arasında ölçülmüş a-Si PV sistemimizin ürettiği toplam enerji değerleri	68
Şekil 4.4.	Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modül teknolojisinden oluşan sistemimizin 2014-2023 yılları arasında simüle edilmiş ve gerçekte üretilen enerji değerleri	68
Şekil 4.5.	Yıllara göre günlük ölçülmüş yatay ve hesaplanan eğimli yüzeye (30°) gelen ışıınım değerleri	71
Şekil 4.6.	Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimizin 2014-2023 yılları arasında ürettiği yıllık toplam güç miktarları ve ortalama günlük sıcaklık değerleri	72
Şekil 4.7.	Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimizin 2014-2023 yılları arasında ürettiği günlük toplam güç miktarları ve ortalama günlük sıcaklık değerleri	72
Şekil 4.8.	Yıllara göre PV sistemimizin analizlenmiş Y_f ve Y_R değerleri	74
Şekil 4.9.	Yıllara göre PV sistemimizin performans oranları	74

ÇİZELGE NO	ÇİZELGELER	SAYFA NO
Çizelge 1.1	Türkiye’de 2024 yılı ocak ayı itibari ile lisanslı kurulu gücün kaynak bazında dağılımı	1
Çizelge 3.1.	Kipp&Zonen(CMP11) piranometresinin teknik özellikleri	52
Çizelge 3.2.	a-Si modüllerin standart test koşullarında(STC) teknik verileri	55
Çizelge 3.3.	SunString 5000 eviricinin DC ve AC akımlar altında çalışma verileri	56
Çizelge 4.1.	Batman ilinde 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışıyım şiddeti değerleri	62
Çizelge 4.2.	Batman ilinde 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş ortalama sıcaklık değerleri	63
Çizelge 4.3.	Batman ilinde 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışıyım şiddeti değerlerinin 30° eğime göre şiddet değerleri	64
Çizelge 4.4.	Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimizin verimlilik oranları (%)	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

a-Si	:	Amorf Silisyum
AC	:	Alternatif Akım
AM	:	Hava Kütlesi
Ah	:	Amper Saat
Cos	:	Kosinüs
cm	:	Santimetre
DC	:	Doğru Akım
DMT	:	Dünya Meteoroloji Teşkilatı
E _{şebeke}	:	PV modülü ile şebeke verilen enerji
E _g	:	Yasak Enerji Aralığı
FF	:	Doluluk Faktörü
G	:	Global Işınlım
G _{sc}	:	Güneş Sabiti
GES	:	Güneş Enerji Sabiti
H _β	:	Eğimli yüzey üzerinde birim alana gelen ışınlım enerjisi
I	:	Devre üzerine düşen akım
J	:	Joule, Enerji birimi
K	:	Kelvin, Enerji birimi
kWh	:	Kilo watt saat
MW	:	Mega Watt
N _{OCT}	:	Nominal çalışma koşullarında hücre sıcaklığı
PV	:	Fotovoltaik (Photovoltaic)
PO	:	Performans oranı
R _p	:	Paralel Direnç
R _s	:	Seri Direnç
STC	:	Standart Test Koşulları Altında
Sin	:	Sinüs
T	:	Sıcaklık
T _{atm}	:	Atmosferin geçirgenliği
V	:	Devre üzerine düşen Voltaj
V _{OC}	:	Güneş Hücresi Açık Devre Gerilimi
W _{p,e}	:	Fotovoltaik Örgünün STC altındaki kurulu güç değeri
WRC	:	Dünya ışınlım merkezi
W _p	:	Maksimum güç
W	:	Güç
ρ	:	Albedo katsayısı
ϕ	:	Enlem açısı
ω	:	Saat açısı
δ	:	Denklinasyon açısı
ψ	:	Güneş azimuth açısı
α	:	Güneş yükseklik açısı
ϕ_z	:	Güneş zenit açısı
γ_s	:	Yüzey azimuth açısı
α_s	:	Güneşin azimuth açısı
β	:	Yüzey eğim açısı
I _{sc}	:	Güneş hücresi kısa devre akımı
η	:	Verimlilik

η_{ref}	:	STC altında maksimum güneş hücresi verimliliği
G_{STC}	:	STC altında tanımlanan ışıınım gücü (1000W/m ²)
P_{SVS}	:	Sistem çıkış gücü
β	:	Modüllerin eğim açısı
μm	:	Mikro metre
U_D	:	Diyot gerilimi
U	:	Fotovoltaik hücre bağlantı gerilimi
I_D	:	Diyot akımı
m	:	Diyot faktörü
s	:	İşınım katsayısı
η_η	:	Anma verimi
U_L	:	Kayıp katsayı
$^{\circ}C$	:	Santigrad
T_α	:	Modül soğurma katsayısı
T_α	:	Ortam Sıcaklığı
Y_f	:	Sistem enerji üretimi
m/s	:	Rüzgar hızı
$H_{\beta,g}$	:	PV örgü üzerine birim alana düşen günlük ışıınım enerjisi
$\eta_{sys,\alpha}$	:	Aylık ortalama günlük sistem verimliliği

1. GİRİŞ

Enerji insanlık tarihi boyunca sürekli gündemi meşgul eden ilk arayış olmuştur. İnsanlar öncelikle yaşamlarını devam ettirmek için besin yoluyla enerji elde ederken zamanla değişen ihtiyaçlar doğrultusunda enerji kaynakları çeşitlenmiştir. Günümüz dünyasında ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı (% 79) fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (Haydaroğlu ve Gümüş, 2016). Fosil yakıtların zaman içerisinde tükenebileceği öngörüsü ve çevreye verdikleri zararların anlaşılmaya başlanmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme gündeme gelmiştir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun (EPDK) Ocak 2024 raporuna göre ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynakların kurulu gücü oranları çizelge 1.1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde Türkiye’de enerji kaynağı olarak büyük ölçüde (% 44) hala fosil yakıtların kullanıldığı görülmektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye’de 2024 yılı ocak ayı itibarı ile lisanslı kurulu gücün kaynak bazında dağılımı

KAYNAK	SANTRAL ADEDİ	KURULU GÜÇ (MW)	YÜZDE (%)
Akarsu	642	8,314	7,7
Asfaltit Kömür	1	405	0,3
Atık Isı	165	333	0,3
Barajlı	100	23,650	22
Biyokütle	89	2,072	1,9
Doğalgaz	322	25,388	23,7
Fuel Oil	1	260	0,2
Güneş	10,043	11,707	10,9
İthal Kömür	1	10,374	9,6
Jeotermal	15	1,691	1,5
Linyit	258	10,194	9,5
LNG	2	2	0
Motorin	1	1	0
Nafta	5	5	0
Rüzgar	97	11,803	11
Taşkömür	841	841	0,7
Toplam	10,735	107,041	100

Ülkemizde büyük oranda yenilenebilir enerji kaynağı mevcuttur. Bunların en başında rüzgâr ve güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi temiz, erişilebilirliği ve sınırsız olması ile ön plana çıkmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı verilerine göre ülkemizde Güneydoğu Anadolu bölgesi güneş enerjisi bakımından en yüksek potansiyele sahip bölgelerdendir. Aynı verilere bu bölge $1460 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ güneş radyasyonu ile ortalama 2993 saat/yıl güneşlenme oranı ile ülkemizin en zengin bölgesidir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Bu bakımından bölgemize güneş enerji santrallerinin kurulması ve geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır,

Günümüzde enerji ile ilgili neredeyse çoğu araştırma artık güneşten daha verimli enerji elde etme ve güneş hücrelerini geliştirme üzerine yapılmaktadır. Güneşten gelen ışınların yarıiletken bir yüzeyden elektron kopartarak elektrik akımı oluşturduğu aygıtlara fotovoltaiik (PV) hücre denir. Tarihte ilk defa 1954 senesinde silisyum p-n ekleminden ilk fotovoltaiik güneş hücresi üretilmiştir. O tarihlerde ölçülen verimin % 6 civarlarında olduğu gözlenmiştir. Daha sonra konu bilim insanların ilgisi çekmiş ve birçok araştırma yapılmıştır. Güneş hücresi günümüze kadar çeşitli yapılandırmalar geçirerek tekli kristal-Si, çoklu kristal-Si ve ince film hücreler şeklinde üretilir hale gelmiştir (Hegedus ve Luque, 2003).

İnce film güneş hücrelerinden olan amorf silisyum (a-Si) PV hücreler, güneş enerjisi dönüşümü alanında önemli bir gelişme olarak ortaya çıkmış olup, geleneksel kristal güneş hücrelerine göre belirgin avantajlar sunmaktadır. a-Si güneş hücrelerinin kökenleri, araştırmacıların kristal silisyumun sert yapısını ve üretim maliyetini aşmak amacıyla 1970'lerde alternatif malzemeleri keşfetmeye başladığı döneme kadar uzanmaktadır. a-Si güneş hücrelerinin üretim süreci, amorf silisyumun ince tabakalar haline getirilerek, cam veya plastik gibi esnek malzemelerin üzerine kaplanmasıyla elde edilir. Bu ince film yaklaşımı, hafif ve esnek güneş panellerinin oluşturulmasını kolaylaştırarak PV teknolojinin potansiyel uygulama alanlarını genişletir. a-Si güneş hücrelerinin esnekliği, onların kavisli yapılar veya esnek elektronik cihazlar gibi geleneksel olmayan yüzeylere entegre edilmesine olanak tanır, bu da onları çeşitli ortamlara son derece uygun hale getirir.

a-Si PV hücrelerinin temel bir avantajı da, spektral duyarlılıkta yatar ve bu da onlara geleneksel kristal silisyum hücrelere kıyasla daha geniş bir spektrumda güneş ışığını yakalama yeteneği sağlar. Bu özellik, a-Si güneş hücrelerini düşük ışık koşullarında daha verimli hale getirir, bulutlu günlerde veya gölgeli ortamlarda performanslarını arttırır. Ancak a-Si teknolojisinin erken sürümlerinde, özellikle

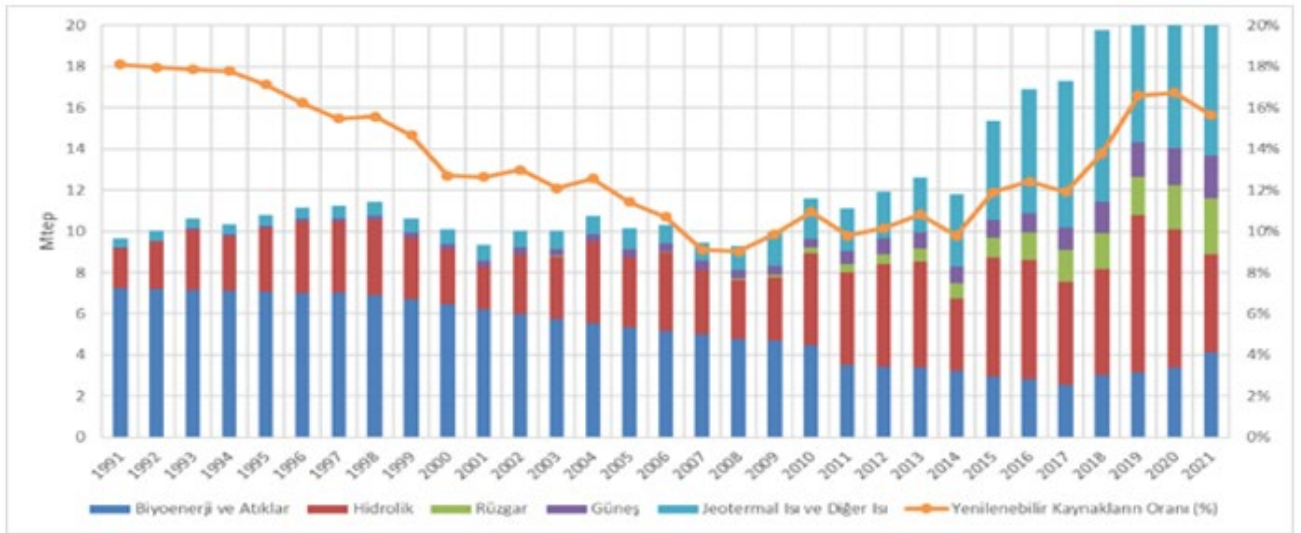
Staebler-Wronski etkisi (amorf silisyumun düzensiz yapısından kaynaklanan ışığa maruz kaldıkça elektriksel özelliklerinin değişimi olarak tanımlanan etki) nedeniyle zaman içinde verimlilik ve kararlılıkta bir azalma meydana geldiği görülmüştür (Şağban, 2014). Araştırmacılar yıllar boyunca bu zorlukları özenle ele aldılar ve a-Si güneş hücrelerinin verimliliğini ve kararlılığını artırmak için malzeme bilimi ve cihaz mühendisliğinde yenilikler uyguladılar. Farklı yarıiletken malzemelerin katmanlarını içererek ışık emilimini ve genel performansı artırmaya yönelik çalışmalar yapıldı. Ayrıca Staebler-Wronski etkisini hafifletmeye yönelik çeşitli tekniklerin geliştirilmesi, hidrojenasyon ve alaşım malzemelerinin kullanımı gibi a-Si PV hücrelerin uzun ömürlülüğüne ve güvenilirliğine katkıda bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında; Batman ilinde 2,2 kWp güce sahip ince film amorf silisyum (a-Si) teknolojisine sahip PV modüllerden oluşan sistemin 2014-2023 yılları arasındaki performansı değerlendirilmiştir. 2014-2023 yılları arasında Batman ilinde anlık güneş ışıınımı ve sıcaklık değerleri de ölçülmüş. Ölçülmüş değerler ve a-Si PV modüllerden oluşan sistemimizin çıkış değerlerinin de analizleri yapılarak; sistemimizin performans değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar yorumlanarak, Batman ili için ince film a-Si PV modüllerin kullanılabilirliği yorumlanmıştır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

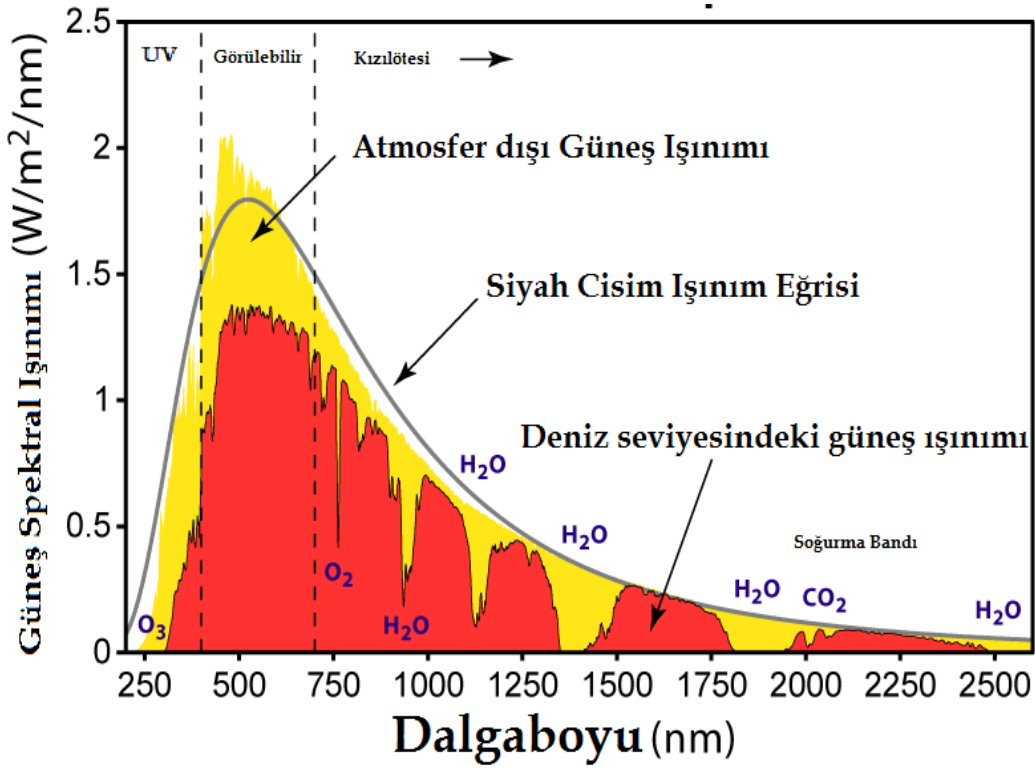
Günlük yaşamda bütün faaliyetlerimiz enerji ile yapılmaktadır. Kaynağına göre enerjiler iki şekilde ele alınır. Bunlardan ilki yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Bu tür kaynaklarda doğanın daha önce depoladığı enerjilerin kullanılması söz konusudur. Bunların belirli bir kapasitesinin olması yanında birde çevreye oldukça zararlı etkileri vardır. Bunlardan en yaygın olanları petrol ve türevleri, kömür ve türevleri ile doğalgaz olarak sıralanabilir. Bir diğer kullanılan enerji türleri ise yenilenebilir enerjilerdir. Bunların çevre üzerinde oldukça az zararı olmasının yanında bitmeyen, tükenmeyen enerjiler olarak ta ifade edilebilirler. Bunların başlıcaları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji ve dalga enerjisi gibi sıralanabilir. Bu yenilenebilir enerjilerin kullanımı ülkemizde ve dünyada giderek yaygınlaşmaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranlarının yıllar içerisindeki değişimi Mtep birimine göre verilmiştir (Mtep bir ton ham petrolün yanması ile açığa çıkan enerji birimidir, Yaklaşık değeri 10 milyon kcal dir).



Şekil 2.1. Yıllara göre kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları oranı (Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari>,2023)

2.2. Güneş Enerjisi

Güneş evrende sonsuz sayılabilecek yıldızlar içerisinde orta ölçekli bir yıldızdır. Diğer tüm yıldızlar gibi etrafına sürekli ışık ve bununla beraber ısı yayar. Bu enerjinin kaynağı güneşin yapısını oluşturan hidrojen (H) ve Helyum (He) elementlerinden oluşmaktadır. Güneş yapısı itibari ile % 81,76 oranında H, % 18,17 He atomlarından oluşmaktadır. Güneşte oluşan büyük füsyon tepkimeleri ile her saniyede daha küçük çekirdekli 564 milyon ton H atomları birleşerek, daha büyük çekirdekli 560 milyon ton He atomlarına dönüşmektedir. Bunun sonucunda her saniyede $3,87 \times 10^{26}$ j enerji açığa çıkmaktadır. Bu muazzam büyüklükteki enerji radyasyonla uzaya yayılmaktadır. Bu enerjiden sadece çok küçük bir kısmı olan 2,2 milyarda biri dünyaya ulaşmaktadır. Dünyaya ulaşan bu küçük enerji bile dünyada bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katına eşittir (Öztürker, 2016). Şekil 2.2’de güneş ışınımının spektrumu gösterilmiştir.

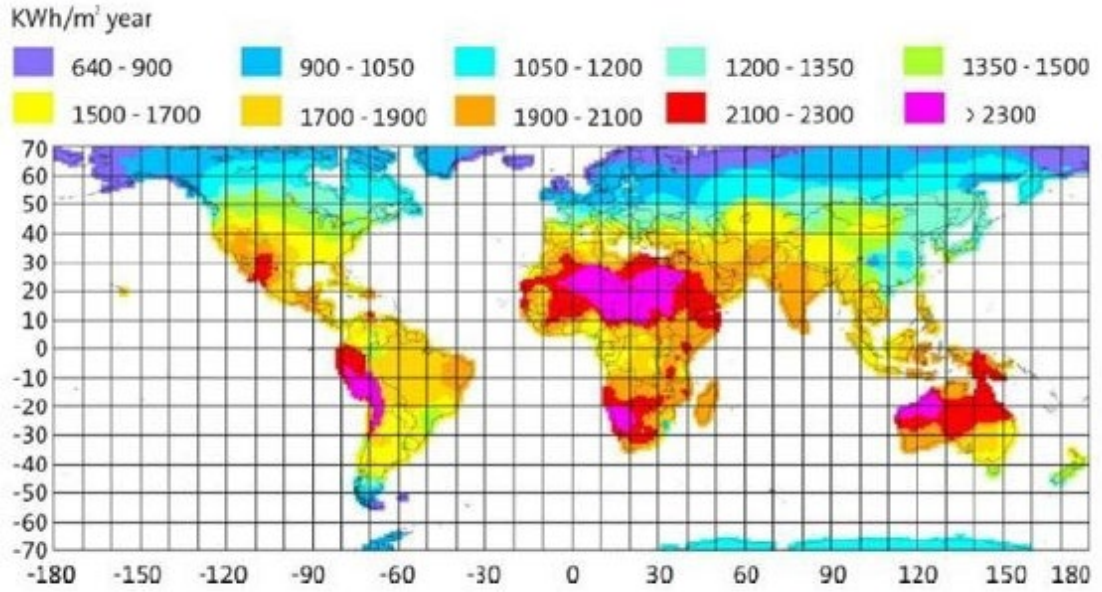


Şekil 2.2. Güneş ışınım spektrumu

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi güneş siyah cisim ışıma spektrumuna 5800 K sıcaklığında sahip olmaktadır. Bu ışınımın yaydığı ışıma enerjisi 4×10^{23} KW kadardır. Bunu daha anlaşılır bir biçimde ifade edecek olursak günlük yaşamda kullanılan 200

Watt güç elektrik tüketen bir lambanın 200000 milyar katı büyüklüğünde bir ışıyım gücüne denk gelir. Güneşin genel olarak enerjisini her yöne homojen olarak yaydığını ifade edebiliriz. Bu bakımdan metre kareye düşen güç 1000 W/m^2 kadardır. Güneşten dünyaya ulaşan ışınların spektral dağılımı, atmosfer dışında oluşan dağılım ile atmosferdeki bileşenlerin bir sonucudur. Bu spektral ışınların dağılımı fotovoltaiik (PV) hücrelerin seçiminde önemli bir rol oynar.

Güneş sabiti (G_{sc}) ışınların güneşten çıktıktan sonra atmosfere ulaşmadan önce birim alana dikey gelen bütün dalga boylarındaki ışıyımın enerjisini temsil eden bir değerdir. NASA yaptığı çalışmalar neticesinde $G_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$ olarak açıklamıştır. Aynı zamanda bu sayı 1971 yılından sonra güneş ışıyım sabiti olarak kabul edilmiştir. Bundan farklı olarak $G_{sc}=1367 \text{ W/m}^2$ değerini başka bir kurum olan dünya ışıyım merkezi (WRC) sabit kabul eder (Öztürker, 2016).



Şekil 2.3. Dünya güneş ışıyım potansiyeli

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere güneş ışıyımının dünya üzerindeki dağılımı oldukça çeşitlilik arz eder. Güneşten yayılan ışıyımlar dünyaya doğrudan iletilmez. Dünyanın güneşe olan mesafesinden dolayı gelen ışıyım miktarında azalma gözlenir. Aynı zamanda atmosfer içinde de hava tanecikleri ile çarpışmalardan oluşan sürtünme nedeni ile ışıyım miktarında birtakım kayıplar yaşanır. Bunun yanında çarpışmalardan kaynaklı uzaya geri yansıyan ışıyımlarda olmaktadır. Bütün bunlardan sonra yeryüzüne yerleştirilen güneş hücrelerine ulaşan ışıyımın bir kısmı panelin kendi yansıtıcı özeliğinden geldiği ortama geri döner. Buraya kadar ulaşabilen ışıyımın bir kısmı

hücrelerin kendi özeliğinden kaynaklı olmak üzere sistemin alt tabakasından çıkar. Görüldüğü üzere güneşten yola çıkarak gelen ışıının miktarının büyük bir kısmında kayıp yaşanır, bu nedenle çok küçük bir miktardan faydalanabilmekteyiz.

Güneşten dünyaya ulaşan ışınlardan tekrar uzaya doğru geri yansıyan ışınlara albedo(ρ) denir. Bu değer PV hücreler için oldukça önemlidir. Hücrelerin türüne göre 0,2 ile 0,8 değerleri arasında olabilir (Öztürker, 2016). Son yıllarda artan enerji ihtiyacına paralel olarak güneş enerji sistemleri oldukça popülerlik kazanmıştır ve geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bunun en önemli nedenlerinden biri dünyayı kirletmeyen ve bitmeyen bir enerji olmasından kaynaklanır.

2.2.1. Güneş enerjisi kapasitesi

Güneş enerjisi konusunda yapılan çalışmaların hız kazanması, verimlilik çalışmalarını gündeme getirmiştir. Bu enerjiden olabildiğince en iyi şekilde faydalanmak için güneş hücrelerinin bütün özelliklerinin detaylı bilinmesi gerekmektedir. Aynı zamanda tesisin kurulacağı yerin güneş ışıının miktarının detaylı analizi yapılmalıdır.

Güneş modülleri kurulmadan önce bölgenin enerji kapasitesi göz önünde bulundurularak, yerin meteorolojik yapısına göre ön görülen bir plan hazırlanır. Ancak gerçek veriler ile hazırlanan plan aynı sonucu vermeyecektir. Bundan dolayı elde edilecek verilerin gerçek veriler ile örtüşebilmesi için Dünya Meteoroloji Teşkilatı (DMT) güneş hücrelerinin hava olayları değişkenleri, ölçüm tekniklerini ve hesaplamalarda kullanılması gereken değerlere bir standart getirmiştir. Bunlar güneş hücrelerinin güneşlenme aralığı, doğrudan ve yayınık ışıma aralığı, albedo(ρ) ile güneşten çıktıktan sonra ışınların sisteme varıncaya kadar bütün güneş ışıma değişkenleri tespit ederek bu sonuçları ortaya koymuştur.

İşınımın en küçük yapı birimi W/m^2 kabul edilir ve standart test şartlarına (STC) göre hesaplanan değer, deniz seviyesinde yaz mevsiminde güneşin en dik geldiği zamanda dünyaya gelen ışıma kapasitesi $1000 W/m^2$ olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu değer “tam güneş” şeklinde ifade edilebilir.

Uzaya yayılan dünyaya ulaşmayan güneş ışıması ile dünyaya gelen toplam güneş ışıması arasındaki fark atmosferik şeffaflık değerini yansıtır. Aynı zamanda berraklık indeksi olarak tanımlanır. Berraklık indeksi hem güneşin havada aldığı yolu hem de hava içindeki gaz oranları ile alakalı bir kavramdır. Güneş enerji sistemleri için

tespit edilen yerin detaylı analizinde berraklık indeksi önemli bilgi kaynağıdır. Güneş modüllerinin yere yapacağı açıyı tespit etmek için modül yüzeyinde oluşacak ışıma düzeyi meteorolojik verilerden yola çıkarak bulunur.

Güneş hücrelerinden en yüksek verimi alabilmek için ışıının süresi ile aralığını, hava olayları ile iklim şartlarını ve seçilen yerin konumunun iyi tespit edilmesi önemlidir. Güneş hücrelerinin büyüklüğünü ayarlama, üreteceği enerjiyi tespit etmede, gölgelenme düzeyinin tespit edilmesinde ve yatay düzleme göre yapacağı açıyı tespit etmede günlük ya da saatlik güneş ışıma ölçümleri baz alınır.

PV hücre çalışmalarında ışıma ölçme yöntemleri çeşitlilik arz etmektedir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- ✓ Bir ay boyunca her gün hesaplanan güneşlenme verilerin ortalaması ve yıllık değişimi
- ✓ Bir ay boyunca her gün hesaplanan küresel toplam ışıma ortalaması ve yıllık değişimi
- ✓ Bir ay boyunca her gün hesaplanan yayınlık ışıma ortalaması ve yıllık değişimi
- ✓ Bir ay boyunca her gün hesaplanan doğrudan gelen ışıının ortalaması ve yıllık değişimi (Öztürker, 2016)

2.2.2. Güneş geometrisi açıları

Güneş modüllerinin yerleştirilmesi çalışmalarında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta modülün yüzey ile yapacağı açıdır. Bu açı güneş ışıınımları büyüklüğünün belirlenmesi ve yapılacak çalışmalar sonucunda istenilen verilerin alınmasında rol oynayıcı en önemli faktördür. Seçilen yerin konumuna göre güneş ışıının miktarı farklılık arz edebilir. Bundan dolayı güneş ışıının büyüklüğünün tespit edilmesinde saat açısı (ω), deklinasyon açısı (δ), buluşu yerin enleminin açısı (ϕ) gibi temel değişkenlerin bulunması gerekir. Şekil 2.4'te üç açı beraber verilmiştir.

Deklinasyon açısı(δ): Güneş ışıınları araştırmalarında en önemli açıdır. Yeryüzüne ulaşan ışıınların en büyük enlem olan ekvator doğrusu ile yaptığı açıya denir. Bu açıyı bulmak için öncelikle güneş kürenin merkezinden yerküre merkezine bir doğru çizilir. Daha sonra yerkürenin merkezinden ekvatora bir doğru çizilir. Bu iki doğru arasında kalan açı bize deklinasyon açısını (δ) verir. Deklinasyon açısı değeri bir yıl

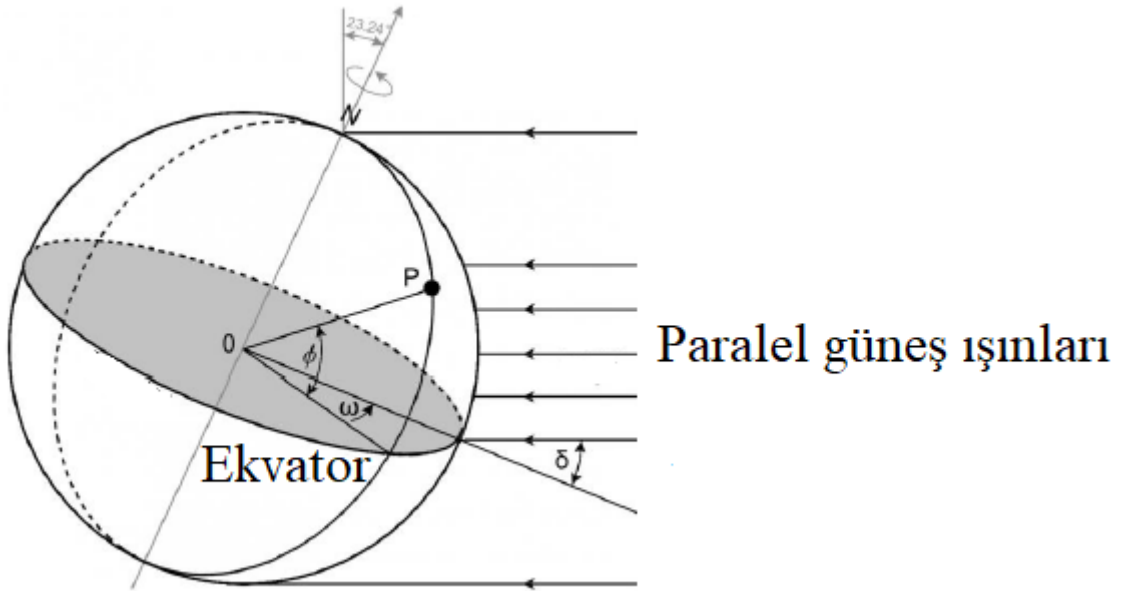
içerisinde farklı değerler almaktadır. Bu açı $22,5^\circ$ ile $-23,5^\circ$ arasında değişir. Deklinasyon açısı eşitlik (2.1) ile hesaplanabilir.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (2.1)$$

Gün sayısı n sembolü ile ifade edildiğinden 1-365 arasında bir değer alır. Aynı zamanda deklinasyon sayısının birimi diğer açılarda olduğu gibi derecedir.

Enlem açısı (ϕ): Dünya yüzeyindeki herhangi bir konumu yerkürenin merkezi ile birleştiren doğru ile yerkürenin ekvator düzlemiyle birleştiren açıdır.

Saat açısı (ω): İstenilen yerin meridyeni (boylamı) ile güneş ışınlarının düştüğü meridyenin ortasında kalan değeri ifade eder. Belirlenen konumun gündüz vakti güneşin en dik açı ile geldiği zaman olan diğer bir ifade ile yerel saatin 12:00 olduğu an ile belirlenen saat arasındaki saat farkının on beş katı alınarak hesaplanır. Bulunan bu değer için birim değer olan 15° meridyen farkın 1 saate denk gelir. Öğle vaktinden önce negatif (-), öğle vaktinden sonra pozitif (+) değer kabul edilir. Şekil 2.4'te enlem açısı, Deklinasyon açısı ve saat açısı verilmiştir.



Şekil 2.4. Enlem açısı (ϕ), Deklinasyon açısı (δ), Saat açısı (ω)

Deklinasyon açısı, enlem açısı ve saat açısı gibi önemli veriler elde edilebilen açılara ek olarak güneş hücrelerin verimliliğini en iyi şekilde ayarlayabilmek için farklı açılardan

da yararlanılır. Bu açılardan bazıları şunlardır: Güneş yükseklik açısı (α), Zenit açısı (Ψ), Azimut açıları, Güneş geliş açısı (θ) ile eğim açısı (β)'dır.

Zenit açısı (Ψ): Şekil 2.5'te verildiği gibi güneşten yeryüzüne ulaşan ışınlar ile bu ışınların yüzeyinin normali ile yaptığı açıdır. Günde iki defa güneşin doğuşu ile batışında 90° olur. Güneş ışınları normal üzerinden en dik hali ile geldiği anda ise 0° değerini alır. Bu açı diğer açılar yardımı ile eşitlik (2.2) ile hesaplanabilir.

$$\cos(\psi) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\delta)\cos(\omega) \quad (2.2)$$

φ = Enlem açısı

ω = Saat açısı

δ = Deklinasyon açısı

ψ = Zenit açısı

Güneş Yükseklik açısı (α): Güneşten yeryüzüne ulaşan güneş ışınları ile yeryüzü düzlemi ile yapılan yatay açıdır. Şekil 2.5' te bu açı gösterilmiştir. Bu açı ile zenit açısının toplamı ile 90° verir. Bu açı eşitlik (2.3) ile hesaplanabilir.

$$\psi = 90 - \alpha \quad (2.3)$$

α : Güneş yükseklik açısı

ψ = Zenit açısı

Bu açı en büyük derecesini güneş ışınlarının dünyaya en dik düştüğü yerel saat 12:00 olan öğle vakitlerinde alır. Bu açı eşitlik (2.4) ile hesaplanabilir.

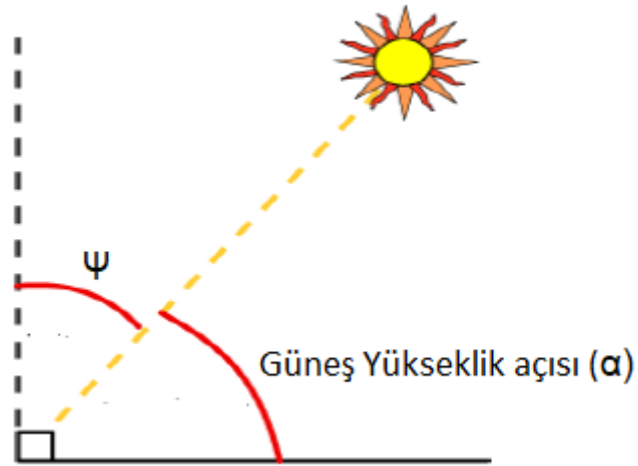
$$\alpha = \sin^{-1} [\cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(\omega) + \sin(\delta)\sin(\varphi)] \quad (2.4)$$

δ = Deklinasyon açısı

α = Yükseklik açısı

φ = Enlem açısı

ω = Saat açısı



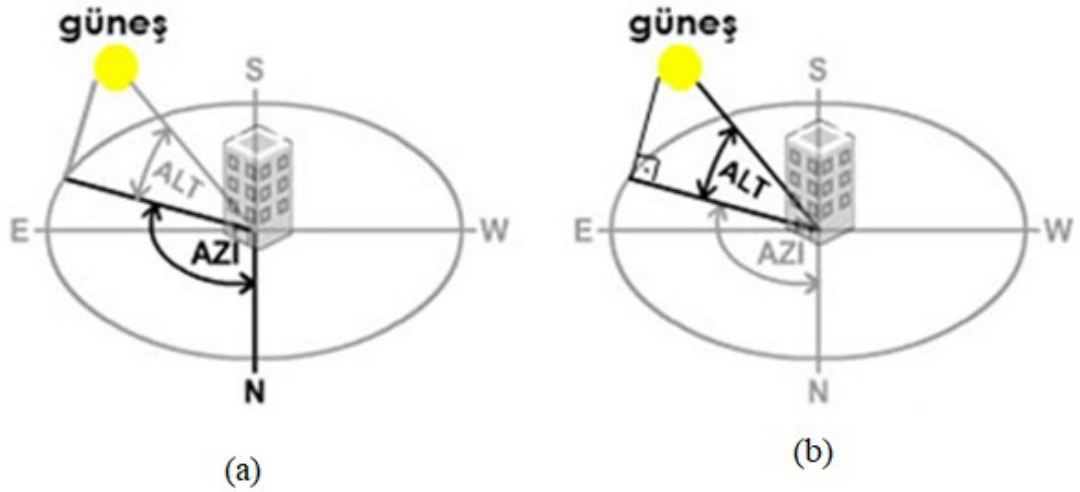
Şekil 2.5. Zenit açısı (ψ) ve Güneş yükseklik açısı (α)

Azimut açıları: Şekil 2.6’da verildiği gibi yüzey azimut açısı ile Güneş azimut açısı olmak üzere iki çeşidi vardır.

Güneş azimut açısı (γ_s): Güneşin merkezi ile dünya merkezini birleştiren doğrunun yatay düzlemdeki izdüşümü ile kuzeyden gelip güneye devam eden doğru arasında kalan bölgenin açısıdır. Güneş azimut açısı eşitlik (2.5) ile hesaplanabilir.

$$\gamma = \sin^{-1} [\cos(\delta) \sin(\omega) / \cos(\alpha)] \quad (2.5)$$

Yüzey azimut açısı: Şekil 2.6(a)’ da verildiği gibi yerküre yüzeyinden geçen normalin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır. Bu açı güneyde 0° , doğu tarafına doğru negatif (-), batı tarafında ise pozitif (+) değerler alır.



Şekil 2.6. (a) Yüzey azimut açısı, (b) Güneş azimut açısı

Güneş geliş açısı (θ): Güneşten yayılan ışınlar ile yeryüzüne geldiği noktanın yüzeyinin normali ile yaptığı açıdır. Güneş ışınları yüzeyin normalin üzerinden gelirse bu açı sıfır değeri alır. Güneş ışınları yatay bir şekilde gelirse bu açı 90^0 değerini alır. Geliş açısı eşitlik (2.6) ile hesaplanabilir.

$$\theta = \cos^{-1} [\cos(\delta) \cos(\varphi - \beta) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi - \beta)] \quad (2.6)$$

β = Dikkate alınan yüzeyin yatay düzlemle yaptığı eğim açısı

γ = Azimut açısı

ω = Saat açısı

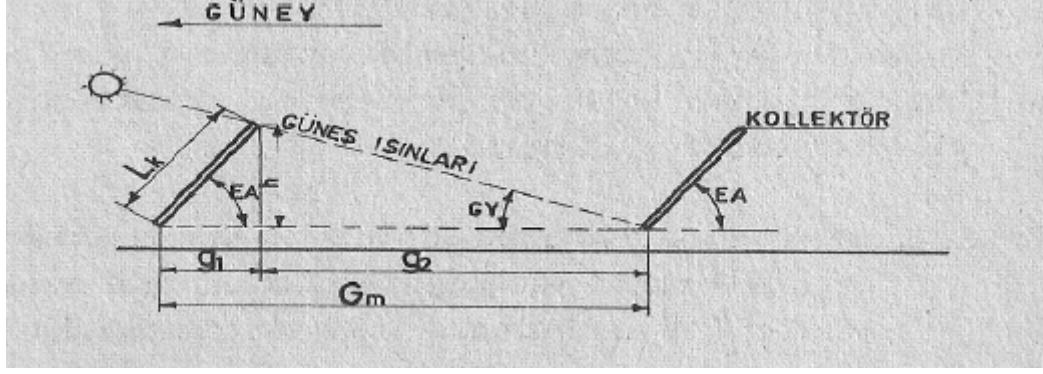
φ = Enlem açısı

δ = Deklinasyon açısı

Eğim açısı (β): Güneş panellerinin yeryüzü ile yaptığı açıdır. Bu açı 180^0 ile sıfır derece arasında bir değer alabilir.

Güneş modülleri arası genişlik mesafesi (GM): Peşi sıra bir yere kurulacak güneş modülleri arasında olması gereken en az mesafeyi temsil eder. Geniş bir alanda birden fazla birbirini takip eden güneş modülleri yerleştirilirken bu modüllerin birbirinden etkilenmeden iyi bir şekilde güneşten faydalanmaları için aynı zamanda araziye ya da modüllerin kurulacağı yerin modül sayısı açısından daha iyi değerlendirilmesi için modüller arasındaki bu mesafenin çok iyi ayarlanması gerekir.

Genişlik mesafesi genel olarak güneş modülleri eğim açısının (L_k) yaklaşık 3 ile çarpılması ile bulunur. Bu genel kurala göre enlem derecesinin 40 olması ve aynı zamanda modül eğim açısının 15° fazla olması gerekir. Şekil 2.7’de modüller arası mesafe gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Bir dizi halinde yerleştirilmiş güneş modülleri arası mesafe

Güneş modülleri arası mesafe eşitlik (2.7) ile hesaplanabilir.

$$GM = Lk [\sin(EA) / \tan(GY) + \cos(EA)] \quad (2.7)$$

L_k : Modül eğim doğrultusu ölçüsü

GM : Modüldizileri arasında bırakılması gereken mesafe

GY : Dizi halindeki modüllerin güneşi direkt görmeye başladıkları güneş yükseklik açısı,

EA : Modüllerin yatay düzlemle yaptıkları açı (eğim açısı)

2.2.3. Güneş ışıını

Güneşten yerküreye ulaşan ışıını 5800 K° sıcaklığında siyah cisim ışıınıdır. Yerkürenin etrafını saran hava kürenin ışıını soğurması siyah cisim olayı ile eşdeğerlilik gösterir ve aynı zamanda izotropik bir şekilde oluşur. Güneşten yerküreye gelen ışıınların yüzeyin normaline en dik geldikleri zamanda yoğunlukları 1353 kW/m^2 kadardır. Bu sayı ayrıca güneş sabiti olarak adlandırılır. Atmosfer ile ışıını arasındaki ilişkiyi tespit etmek için yapılan ölçümlerden elde edilen veriler AM0 şeklinde ifade edilmiştir. Hava kütlesi (AM) değeri güneşten yayılan ışıınıların hava küre içerisinde

oluşturdukları yoğunlukları ile spektral ölçüsünü ifade eden bir değerdir ve bu değer bulanabilir bir değerdir (Öztürker, 2016).

Hava kütlesi (AM) sayısı şekilde olduğu gibi hesaplanabilir. Bu değer PV hücrelerin performanslarını analiz edebilmek için bulunur. 1 KW/m² güç yoğunluğu standartlaştırılarak edilen AM 1,5 ($\theta=48,2^\circ$) spektrumudur. Şekil 2.8'de güneş ışınlarının hava kürede aldıkları yollar gösterilmiştir. AM değeri eşitlik (2.8) ile hesaplanabilir.

$$HavaKütlesi(AM) = \frac{l}{l'} = \frac{1}{\cos \theta} \quad (2.8)$$

l = Güneşten dik gelen ışınların atmosferde aldıkları uzunluk

l' = Güneşten belirli bir açı ile gelen ışınların atmosferde aldıkları uzunluk



Şekil 2.8. Güneşten gelen ışınların havakürede aldıkları yollar

Güneşten yayılan ışınlar birer elektromanyetik dalgadır. Ancak görünür bölge ışımasını yanında kızıl ötesi ve mor ötesi ışıınımda yapar. Güneşin ürettiği ışıının yarısına yakını (% 48) görünür bölge ışıınımlı, geri kalanın büyük çoğunluğu (% 45) kızılötesi ışıınımlı olurken, küçük bir kısmı (% 6) mor ötesi ışıınımlı olarak yayılır. Güneşten yayılan bu ışıının yerküreye ne kadarının düşeceği ışınların geçtiği bölgenin havaküresi özelliklerine bağlıdır ve bu miktar hava kütlesi değeri ile ifade edilir.

2.3. Güneş Enerjisinden Yararlanma

Çağımızın en önemli ihtiyacı olan enerji konusu gittikçe daha da önemli bir hal almaya başladı. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile enerji elde etme yöntemleri çeşitlendirilmiştir. Bu araştırmaların büyük bir kısmı temiz bir gelecek vaat eden güneş enerjisi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bütün bunlar sonucunda şu aşamada güneş enerjisinden iki şekilde faydalanılabilmektedir. Bunlardan ilki basit bir çalışma prensibi olan güneş ısıtma sistemleridir. Bu sistemlerde özelliklere çatılara konulan güneş su ısıtma panelleri ile ışığın soğrulması sonucu su doğrudan ısıtılır ve ihtiyaç olan yerlere dağıtılır. İkinci yöntem daha karmaşık çalışma prensiplerine dayanan PV güneş hücreleri aracılığı ile güneş enerjisinden elektrik eldesidir. Su ısıtma sistemleri daha çok hane halkı sıcak su ihtiyacını gidermek için kullanılırken, PV hücreler evlerden işletmelere, fabrikalara ve daha birçok alanda elektrik ihtiyacını karşılamayı amaçlamaktadır.

2.3.1. Termal sistemler

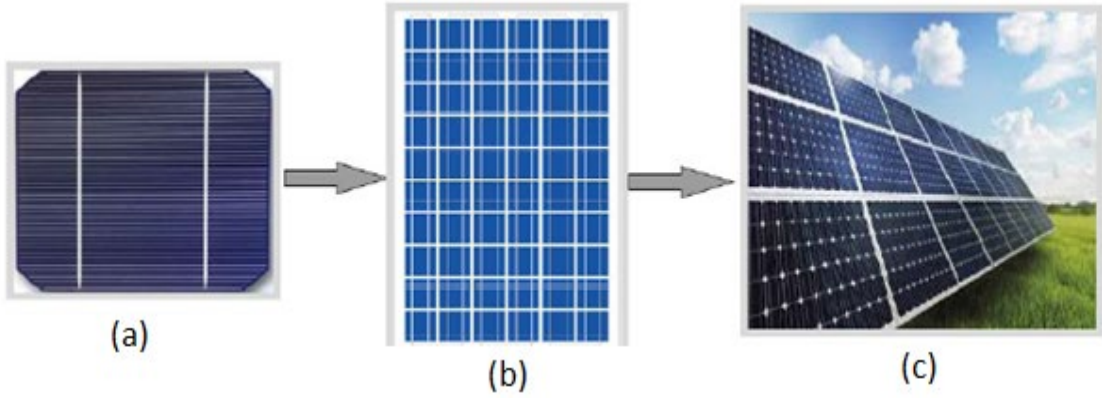
PV hücrelere göre daha ilkel olan güneş su ısıtma sistemleri çevreci bir uygulama ile su veya çok verimli olmamakla beraber havayı ısıtmak için kullanılır. Konum olarak binaların çatısına, balkonlara veya güneş ışınımını en iyi alabilecek yerlere yerleştirilebilir. İklim şartları elverdiği sürece ve uygun açı kullanıldığı takdirde su yaklaşık olarak 70 C° sıcaklığa kadar çıkabilir. Güneş su ısıtma sistemlerinde anlık olarak sıcak sudan faydalanılacağı gibi sıcak suyu depolama imkânına da sahiptir. Su ısındıkça özkütlesi azalacağından su kendiliğinden yukarıya doğru çıkarak depolama tanklarına aktarılır. Soğuk su kaynağı sürekli ısınıp yer değiştiren sıcak suyun yerini alıp döngüsel bir sistem oluşturur. Güneş ışınlarının geliş dikliği artıkça suyun sıcaklığı ve dolaşım hızı da artacaktır. Şekil 2.9'da güneş su ısıtma sistemlerinin bir kesiti ve çatılara monte edilmiş biçimi gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Batman ili, Kozluk ilçesi 9,3 MW gücüne sahip PV sistem

PV güneş hücreleri arge çalışmaları sayesinde artık neredeyse her yere kolaylıkla kurulabilecek bir duruma gelmiştir. Kolay kurulum, basit bakım gerektiren bu hücrelere her geçen gün talep artmaktadır. Günümüzde üretilen PV güneş hücrelerinin ömürleri yaklaşık olarak 20-25 yıl gibi uzun sayılabilecek bir zamana tekabül eder. Ayrıca birkaç yılda maliyetini çıkardığı için yatırımcıların yeni gözdesi haline gelmiştir.

PV modüllerinin en basit temel birimi PV hücrelerdir. Kristalli PV hücrelerin geometrik şekli daha çok kare şeklinde olmakla beraber, dikdörtgen veya daire olabilir. Amacına göre büyüklükleri değişir, genellikle 100,156 ya da 243 cm² alanına sahip yapılır. Kesitleri 0,2-0,4 nm arasında değişiklik gösterir. Bu hücrelerden bir tanesine güneş ışınımı ulaştığında hücrenin iki kontak ucu arasında 0,7 V büyüklüğünde bir potansiyel fark oluşur, oluşan bu potansiyel doğru akım (DC) potansiyelidir. Bir hücrenin ürettiği bu potansiyel fark değeri herhangi bir sistemin elektrik ihtiyacını karşılamak için yetersiz kalır, bundan dolayı bir hücre diğer başka PV hücreler ile amacına göre seri ya da paralel bağlanarak daha büyük değerlerde potansiyel fark oluşturulur. Birden fazla PV hücrenin seri ya da paralel bağlanarak oluşturulan yapıya modül denir. Her bir modülde yüz civarında hücre bir araya getirilir. Daha büyük bir akım sağlayabilmek için modüllerde bir araya getirilerek güneş paneli elde edilir. Şekil 2.11’de PV hücrelerin hücreden modül oluşumuna kadar süreçleri gösterilmiştir.



Şekil 2.11. (a) PV hücre, (b) modül, (c) güneş paneli

Güneş hücrelerinden elde edilen elektrik doğru akımdır (DC). İhtiyaca göre alternatif akıma dönüştürmek için eviriciler kullanılır. Güneşten elde edilecek elektriğin kullanım amacına göre güneş panelleri şebekeden bağımsız sistemler (ada sistemleri), şebekeyle bağlantılı modüller ve hibrit modüller (karma) olarak üç şekilde bağlanabilir.

2.4. Fotovoltaik Sistemler

2.4.1. Şebekeden bağımsız sistemler (Ada sistemler)

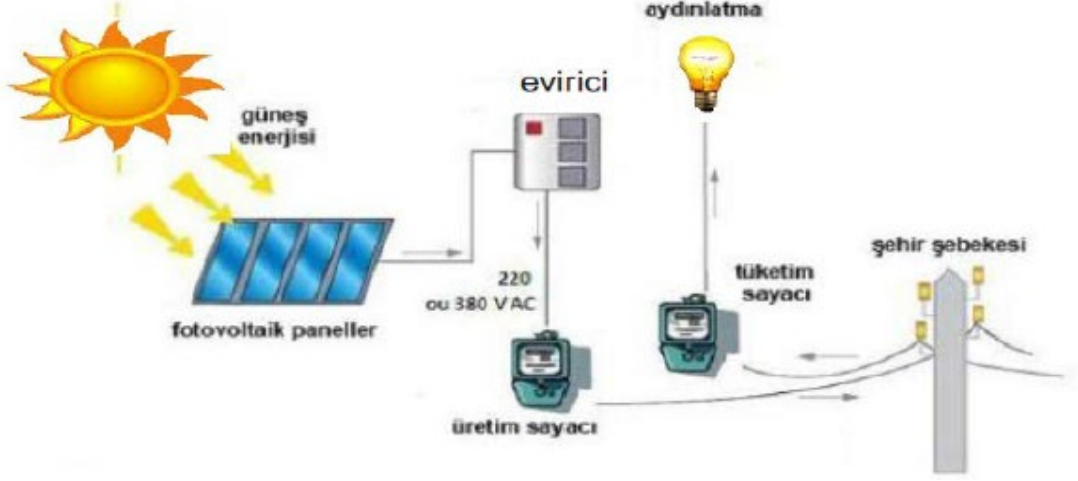
Güneş enerjisinden elde edilen elektriğin devlete ait şebekelere verilmeden, şebeke bağlantısı olmadan istenilen yerde bağımsız olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemler şehir merkezinde olabileceği gibi elektrik şebekesinin ulaşmadığı köyler, bağ evleri, tarlalar gibi yerlerde işlevsel olarak kullanılabilir. Geceleri ya da güneş ışınlarının çok az geldiği zamanlarda elektriksiz kalmamak için bu panellerin çalıştığı zaman aralıklarında fazla akımı depolamaları için aküler kullanılır. Panelin kurulduğu yerde ihtiyaç duyulan akım alternatif akım (AC) ise sistemde eviriciler kullanılarak ihtiyaç giderilir. Doğru akıma ihtiyaç duyulursa eviricilerin kullanılmasına gerek kalmaz, Şekil 2.12’de şebekeden bağımsız PV sistem gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Şebekeden bağımsız PV sistem

2.4.2. Şebeke bağlantılı sistemler

PV sistemlerden direk olarak elektrik şebekesine bağlı olan sistemlerdir. Bu sistemlerde iki avantajdan söz edilebilir. Bunlardan ilki güneş ışığının yetersiz olduğu durumlarda elektrik enerjisi ihtiyacının şebekeden sağlanıyor olmasıdır. İkincisi güneş ışınlarının daha çok yoğunlaştığı zamanlarda fazla üretilen elektriği şebekeye verip ekonomik olarak kazanç elde edilmesidir. Bu çift yönlü elektrik enerjisi aktarımını sağlamak için daha çok bileşe ihtiyaç duyulur. DC kesiciler, DC ve AC birbirine dönüştürmek için gereken eviriciler, her iki yönde elektriği hesaplayacak elektrik sayaçları başlıcalarıdır. Şekil 2.13'te şebeke bağlantılı sistemler gösterilmiştir.

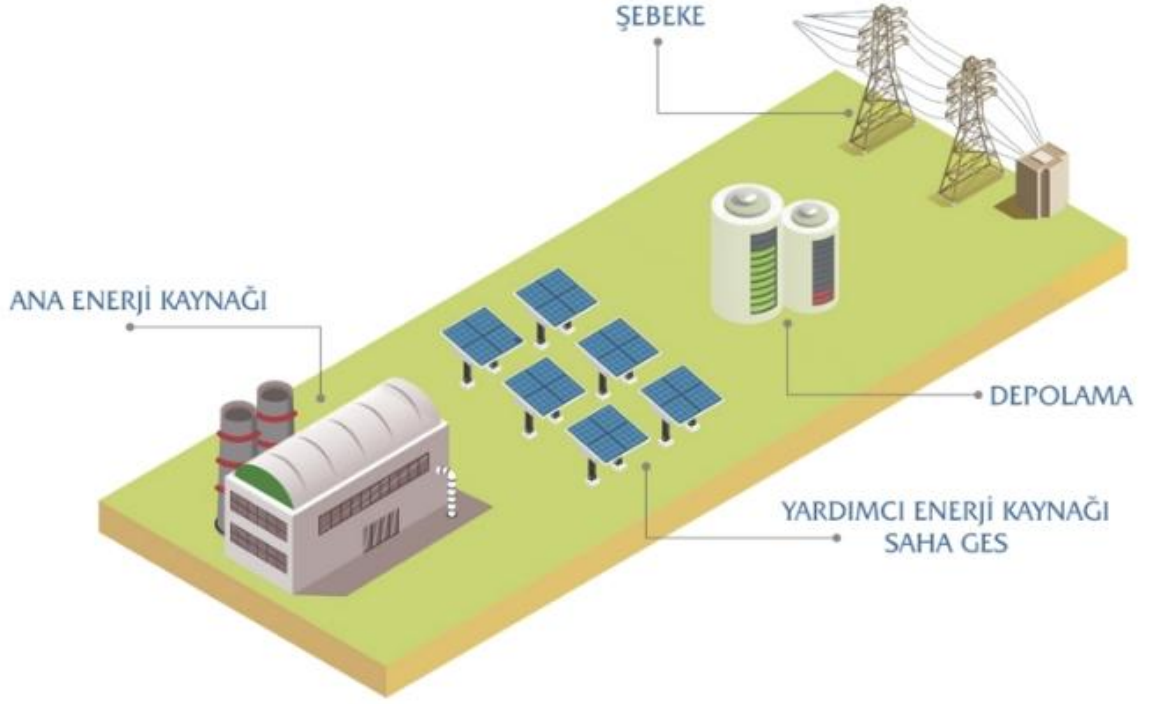


Şekil 2.13. Şebekeye bağlı PV sistem

Devletler PV sistemlerin yaygınlaştırılmasını arttırmak için çeşitli teşvik programları başlatmışlardır. Bu devletler içerisinde özellikle Avrupa ülkeleri ve Japonya ön plana çıkmıştır. Almanya’da şebekeye aktarılan her kWh başına teşvik ücretleri verilmeye başlanmıştır. Japonya bu konuda bir adım ileri giderek güneş enerjisi sistemi kuran konutlara maliyetlerinin üçte biri oranında destek sunmuştur. Aynı zamanda şebekeye aktarılan her kWh enerji başına teşvik edici ücretler ödenmiştir (Hegedus ve Luque, 2003).

2.4.3. Hibrit güneş enerji sistemleri

Hibrit sistemler güneş enerjisi yanında diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile ortak çalışan sistemlerdir. Bu sistemde PV modüllerin yanı sıra çevre şartlarına göre bulunabilecek enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji ile çalışabilen sistemler hibrit sistemlere örnek teşkil eder. Şekil 2.14’te hibrit güneş enerji sistemine örnek görebilirsiniz.



Şekil 2.14. Hibrit enerji santrali örneği

2.5. Fotovoltaik Sistem Elemanları

PV sistemlerin kurulumunda panellerin yapısında ana ve ara elman olarak yer alan bütün bileşenlerin analiz edilmesi gerekir. PV panellerin örgü yapıları, kontrol üniteleri, eviriciler, depolama elemanları, aküler ve elektronik yük üniteleri sistemin unsurlarıdır. Bu sistemlerin verimli çalışabilmesi için bütün unsurların beraber çalışıp denge halinde işlemesi gerekir.

2.5.1. Fotovoltaik Modüller

Yarıiletken teknolojisinin en güzel örneklerinden olan fotovoltaik hücreler üzerine düşen güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. PV hücreler, yapılarındaki yarıiletken malzemelerin elektriksel ve optiksel değişkenleri sayesinde enerji dönüşümü yapabilen devre elemanlarıdır. Güneş hücrelerinin bilimsel temelleri Einstein tarafından açıklığa kavuşturulan fotoelektrik olaya dayanır. Güneşten yeryüzüne ulaşan ışınlar yarıiletken malzemeden yapılan PV hücrelerin üzerine

düştüğünde enerjisi yeten fotonlar devrede elektron-boşluk mekanizmasını etkileyerek devreye enerji akışı olmasını sağlarlar.

2.5.1.1. Fotovoltaik hücre türleri

Birçok farklı PV hücre güneş pil tipi mevcuttur. Şekil 2.15’de mevcut PV güneş hücre tipleri verilmiştir, ancak en yaygın olanları aşağıda sıralanmıştır.

Silikon Tabanlı Güneş Hücreleri:

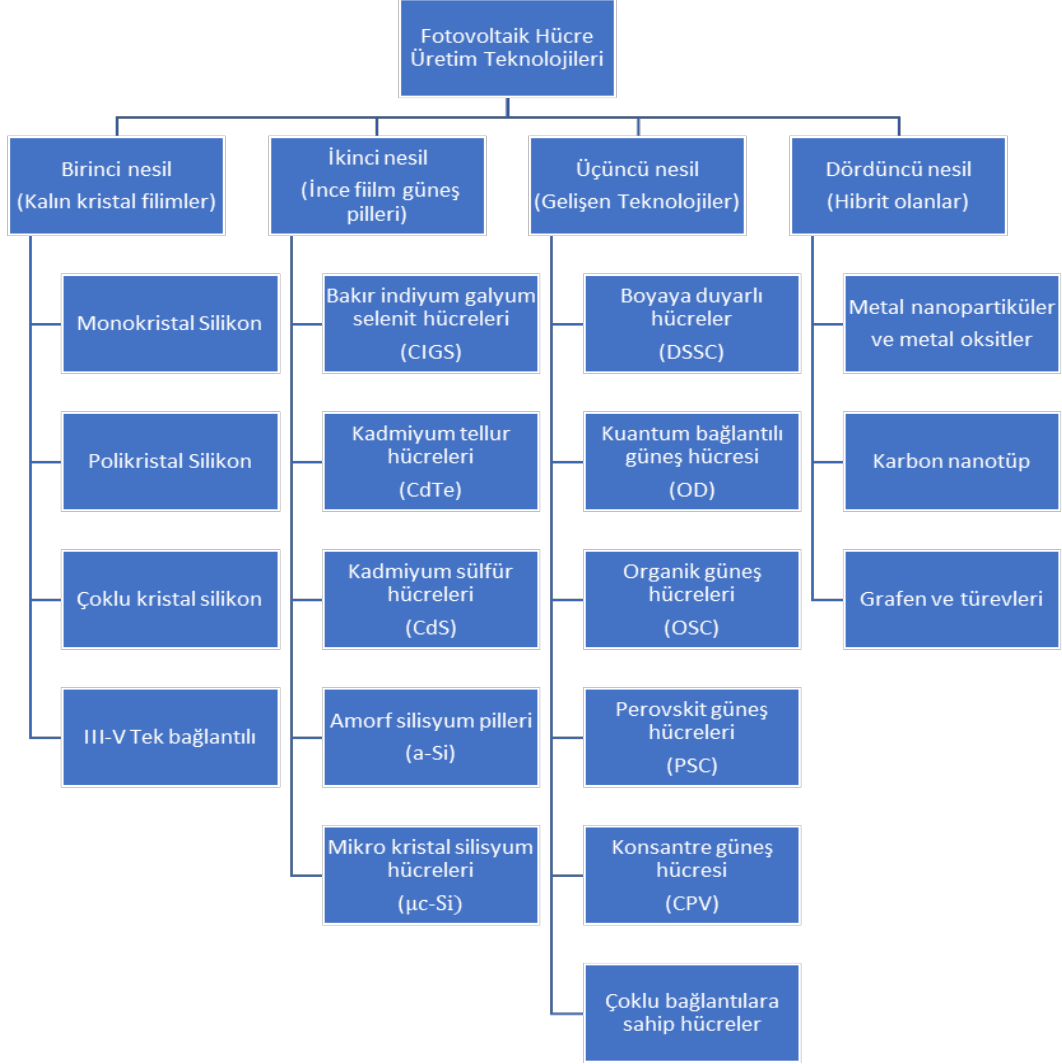
- *Kristal Silisyum (c-Si) Güneş Hücreleri:* Kristal silisyum güneş hücreleri, silisyum kristallerin tekli kristal veya çoklu kristal yapıda düzenlenmesiyle oluşturulur. Tekli kristal silisyum hücreler, daha yüksek verimlilik sağlar ancak maliyetleri daha yüksektir. Çoklu silisyum hücreler ise daha düşük maliyetlidir ancak bir miktar verimlilik kaybı yaşanabilir.
- *İnce Film Silisyum (a-Si, μ c-Si) Güneş Hücreleri:* İnce film silisyum güneş hücreleri, silisyum tabakaların çok ince bir tabaka halinde bir yüzeye uygulanmasıyla oluşturulur. Amorf silisyum (a-Si) ve mikrokristalin silisyum (μ c-Si) gibi farklı silisyum yapıları kullanılabilir. İnce film silisyum hücreler, daha esnek ve daha hafiftirler, ancak genellikle kristal silisyum hücrelerine göre daha düşük verimliliğe sahiptirler.

İnorganik İnce Film Güneş Hücreleri:

- *Kadmiyum Tellür (CdTe) Güneş Hücreleri:* CdTe güneş hücreleri, kadmiyum tellür ve ince bir katman halinde bir arka metal elektrot içeren bir alttaş üzerine yapılan ince bir film tabakasıyla oluşturulur. CdTe güneş hücreleri, ticari olarak mevcut olan en düşük maliyetli güneş hücrelerinden biridir.
- *CIGS Güneş Hücreleri:* CIGS güneş hücreleri, bakır, indiyum, galyum ve selenyum elementlerinden oluşan ince bir film tabakası ile oluşturulur. CIGS güneş hücreleri, yüksek verimlilik potansiyeline sahiptirler ve ince film güneş hücreleri arasında önemli bir yer tutarlar.

Organik Fotovoltaik (OPV) Güneş Hücreleri:

- *Organik PV güneş hücreleri:* Organik polimerler veya organik küçük moleküller gibi karbon bazlı malzemeler kullanılarak üretilir. OPV hücreleri, esnek ve hafif olmaları nedeniyle esnek elektronik cihazlar için ideal bir seçenek olabilirler. Ancak, genellikle düşük verimlilikle sınırlıdır.

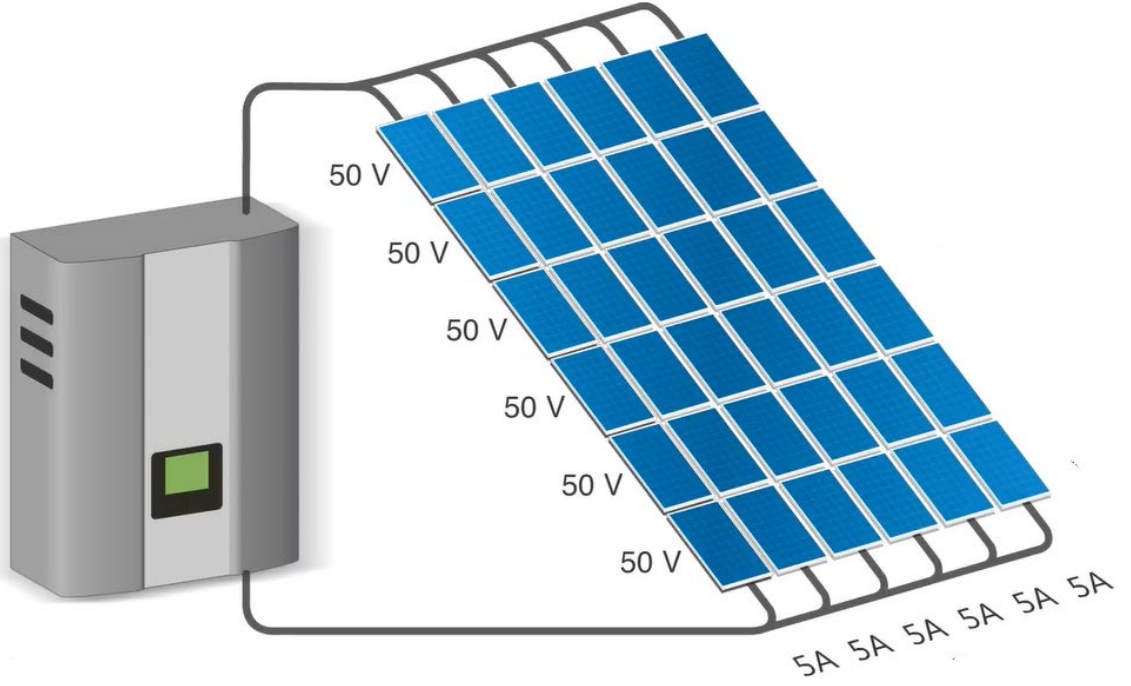


Şekil 2.15. Fotovoltaik güneş hücre tipleri (Pastuszak& Wegierek, 2022)

2.5.2. Eviriciler

PV hücreler tarafından üretilen elektrik enerjisi doğru akımdır (DC). Şehir merkezlerinde ve konutlarda kullanılan elektrik enerjisi ise genellikle alternatif akımdır (AC). Güneş modüllerinden üretilen doğru akımı alternatif akıma çeviren elemanlara

evirici denir. Amacına göre birden fazla evirici türü vardır. Eviriciler çıkış sinyaline göre sınıflandırılır. Bunlar Sinüs dalga çıkışlı eviriciler, kare dalga çıkışlı eviriciler, sinüs benzeşimli dalga çıkışlı eviriciler ve tam sinüs dalga çıkışlı eviriciler olarak sıralanabilir. PV sistemlerinde en çok tercih edilen evirici sinüs dalga çıkışlı olan eviricidir. Şekil 2.16’da bir sinüs dalga eviricisi görülmektedir.



Şekil 2.16. PV panellerine bağlanan bir evirici

Elektrik şebeke hatları ile konutlarda kullanılan elektrik gerilimi tam sinüs dalgalı elektrik gerilimidir. Bundan dolayı tam sinüs dalga çıkışlı evirici dışındaki eviricilerin şebeke ile bağlantısı olmayan güneş panellerinde kullanılması daha uygun olacaktır.

Elektrik enerjisi ihtiyacı çok olan yerlerde bir tane evirici istenilen verimi sağlayamaz. Bundan dolayı büyük MW enerji gerektiren yerlerde kapasiteye göre dönüşüm sağlayacak kadar evirici kullanılmalıdır. Bu eviriciler birbirine paralel bağlanmalıdır. Aynı zamanda birçok eviricinin kullanıldığı yerlerde üç fazlı evirici tercih edilmelidir.

2.5.3. Akü

PV sistemlerinin çalışma aralığı güneşin doğuş-batış saatleriyle sınırlıdır. Bundan dolayı akşam vakitlerinde özellikle ortak yaşam merkezlerinden uzak bölgelerde alternatif enerji kaynağı olmayan durumlar için aküler hayati önem taşır. Aküler gündüz vakti güneş panellerinin ihtiyaç fazlası olarak ürettiği elektriği depolayan aygıtlardır. Günümüzde amacına ve özelliklerine göre birçok akü çeşidi bulunur. Bunlar genelde AGM (Absorbed Glass Mat Sealed Lead Acid), kuru tip akü, ve GEL (Gelled Electrolyte Sealed Lead Acid) olarak sınıflandırılabilir. Güneş panellerinde genellikle kuru tip akü kullanılır. Bu sistemlerde sistemin büyüklüğü ve ürettiği enerji büyüklüğüne göre birden fazla akü kullanılabilir. Amacına göre paralel ya da seri olabilirler. Akülerin enerji depolama kapasitesi Amper-Saat (Ah) birimi olarak ifade edilir. Aküler günümüzde ekonomik olarak sistemi zorlayacak kapasitede bir elemandır. Çok büyük sistemlerde maliyet açısından sistemin ana kalemleri haline gelebilirler. Bundan dolayı olabilecek en uygun ve en verimli aküler seçilmeli, akülerin çalışma prensiplerine çok iyi bir şekilde dikkat edilmelidir. Bunlardan en önemlisi aküler kullanıldıktan sonra % 50 kapasitesinin altına düşmedikçe şarj edilmemelidir. Ayrıca aküler diğer sistem elemanları ile uyum içinde olmalıdır. Şekil 2.17’de akü çeşitleri verilmiştir.



(a)



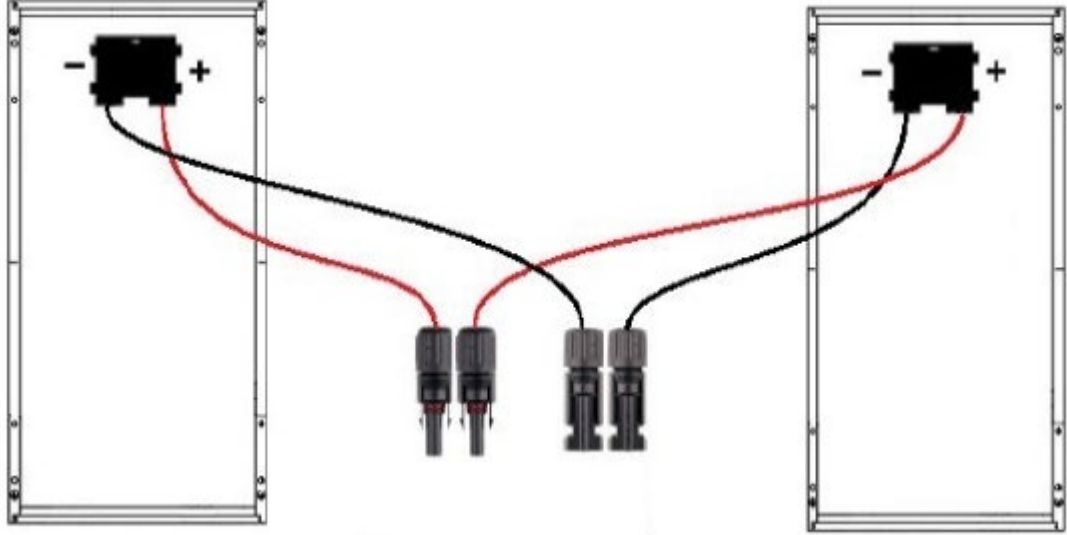
(b)

Şekil 2.17. (a) Standart akü, (b) Seri bağlı aküler

2.5.4. Sistem kabloları

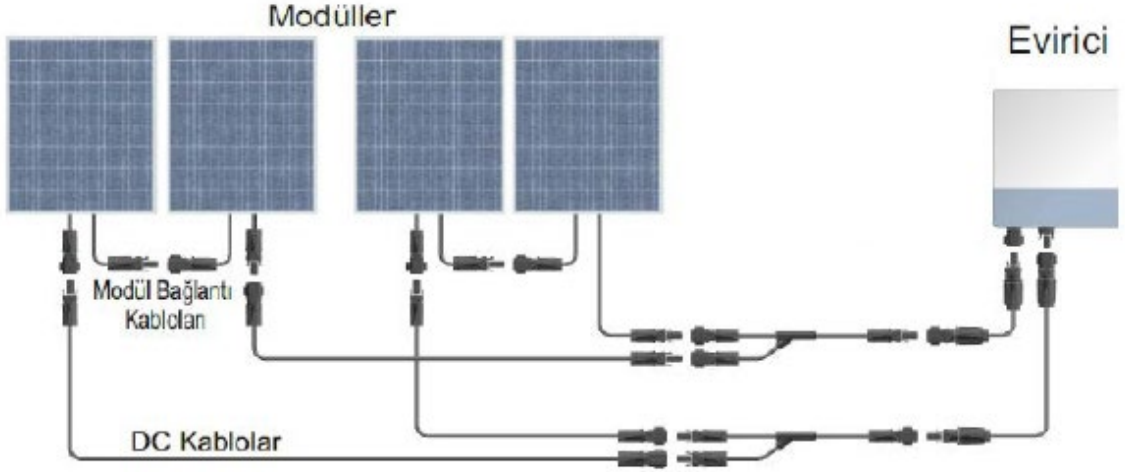
Bütün elektrik devlerinde olduğu gibi PV sistemlerinin en önemli elamanlarından birisi kablolardır. PV sistemleri uzun soluklu sistemlerdir. Bu sistemlerin uzun bir dönem maliyet artırmadan çalışabilmesinin bir faktörü de uygun ve kaliteli kablolardır. PV sistemlerinde amacına uygun üç çeşit kablo bulunmaktadır. Panellerin birbiri ile bağlanmasını sağlayan paneller arası kablolar, panellerden eviricilere doğru giden akıma uygun DC kabloları, doğru akımı alternatif akıma çeviren eviriciler ile şebeke arasındaki bağlantısı sağlayan AC kablolardır.

Bu kablolardan en önemli olanı paneller arası kablolardır. Paneller birbirine çok yakın mesafedeler bundan dolayı kısa devre oluşumlarını engellemek için kabloların artı ucu ile eksi ucu birbirinden ayrı olacak şekilde bağlanır. Bu kablolar kırmızı ve siyah renklidir. Kabloların dezenformasyonlarını engellemek için yüksek sıcaklıktan, yüksek enerjili ışıklardan ve mevsimsel değişkenlerden korunması gerekir. Şekil 2.18’de PV sistemlerinde kullanılan kablolar gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Modüller arası bağlantı kabloları

PV sistemlerinde, paneller ile eviriciler arası DC akımı taşıyan kablolar kullanılır. Bu DC bağlantı kablolarının en belirgin niteliği topraklama özeliğinin bulunması ve kısa devre olayını engellemelidir. Şekil 2.19’da PV sistemlerinde güneş panelleri ile doğru akım taşıyan kablolar gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Doğru akım taşıyan kablolar

Üretilen alternatif akımı eviricilerden taşıyıp şehir hatlarına taşıyan AC kablolarıdır. Tek ve çokfazlı evirici türüne göre kablo türü değişmektedir.

2.5.5. Yönetim ve gözlem

PV sistemleri internet ve teknoloji ile entegre edilerek istenilen yerden her daim gözlenerek yönlendirme yapılabilir. Özellikle ticari amaçla yapılan güneş panellerinin kurulduğu alanlar yaşam merkezlerinden uzak alanlara kurulmaktadır. Bu açıdan uzaktan gözlem ve kontrol edilebilme büyük avantaj sağlar. Özellikle sistemde yaşanan teknolojik veya mekanik bir aksaklık sırasında sorun çok büyümeden eksiklikler tespit edilip anında destek ekibi gönderilip sorun çözülebilir. Bütün bu gözlemler eviriciler ile bağlantılı ekranlardan takip edileceği gibi sanal olarak mobil cihazlardan istenilen yerden takip edilebilir. Bu takip cihazları panellerin sıcaklığını, mekânın sıcaklığını, güneşin anlık ışıyım miktarını, rüzgâr şiddetini, panellerin kurulduğu yerin anlık hava durumunu, panellerden elde edilen elektrik değerini, panellerin verim değeri gibi birçok değişkeni bir arada analiz edebilmeyi sağlar.

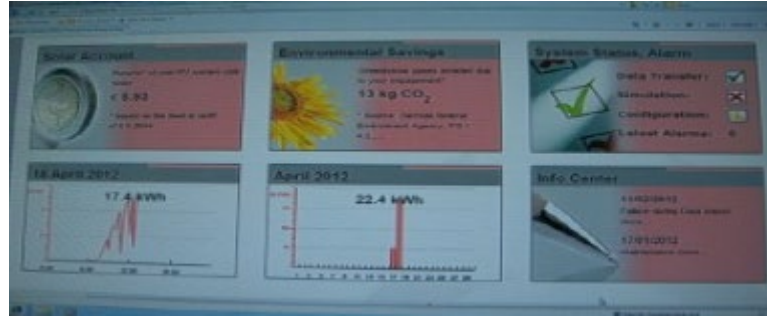
Panellerin gözlenmesi ve değerlendirilmesi birkaç farklı yol ile yapılabilmektedir:

Lokal gözleme: Evirici ile entegre edilen LCD ekranlar üzerinde oluşan bilgilerin sanal olarak RS232 aracılığı ile mobil cihazlarından kontrol edilebilmesidir. Şekil 2.20’de lokal bir gözlem aracı gösterilmiştir.



Şekil 2.20. Lokal gözlem aracı

Genel gözleme araçları: Panellerin kurulduğu yerde herkesin görebileceği büyüklükte bütün bilgilerin anlık olarak yer alacağı büyük ekranlardan yapılan gözlemlemedir. RS 232 ile bilgisayar bağlantısı sağlanarak projektör veya başka bir ekran ile bu bilgiler paylaşılabılır. Şekil 2.21’de PV sistemlerinde genel gözlem ekranı verilmiştir.



Şekil 2.21. Genel gözlem ekranı

Uzaktan gözleme ve kontrol: Eviriciler ile uzaktan kontrol arası bağlantı RS483 aracılığı ile yapılabilir. 1 km ve daha uzak uzunluklardan gözleme imkânı yapılabilir. Ayrıca birçok evirici kullanılan sistemde eviriciler arası bilgi iletişimi sağlanabilir. Bu bilgiler bütün mobil cihazlara gönderilebileceği gibi kısa ileti şeklinde telefonlara yollanabilmektedir. İstenildiğinde faks cihazı ile de bağlantı kurulabilir. Şekil 2.22’te güneş enerji sistemlerinde uzaktan gözleme sistemi verilmiştir.



Şekil 2.22. Uzaktan gözlemlenebilir sistemi

2.6. Amorf Silisyum (a-Si) Fotovoltaik Hücreler

Amorf silisyum (a-Si) PV hücreler, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren ince film güneş pili teknolojisinin bir alt dalını oluştururlar. Bu hücreler, amorf silisyum (a-Si) adı verilen bir silisyum formundan yapılmış ince film tabakalarından oluşur. Amorf silisyum, kristal yapıdaki silisyumun aksine, düzensiz bir atomik yapıya sahiptir. Bu düzensiz yapı, malzemenin optik ve elektriksel özelliklerini değiştirir ve PV uygulamalarda kullanılabilir hale getirir.

a-Si ince film güneş hücreleri bir çok araştırmacı tarafından uzun bir süredir çalışılmaktadır. a-Si PV teknolojisinin gelişiminde bazı önemli figürler ve kilometre taşlarına kısa bir genel bakış şöyledir:

Chapin, Fuller ve Pearson (1954): PV alanında öncüler olarak kabul edilen Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson, Bell Labs'te ilk pratik silisyum güneş hücresini geliştirdiler. Bu hücre, amorf değilse de, sonraki ilerlemelerin temelini oluşturdu.

Stan Ovshinsky (1950'lerin sonları-1990'lar): Ovshinsky, çeşitli alanlarda önemli katkılarda bulunan verimli bir mucit ve araştırmacıydı. Bu çalışmalar arasında a-Si güneş hücreleri de vardı. 1950'lerin sonlarında, güneş enerjisi uygulamaları için amorf malzemeleri araştırmaya başladı ve 1960'ta Enerji Dönüşüm Cihazları (ECD) kuruldu. ECD daha sonra a-Si esaslı PV teknolojiyi geliştirdi ve ticarileştirdi.

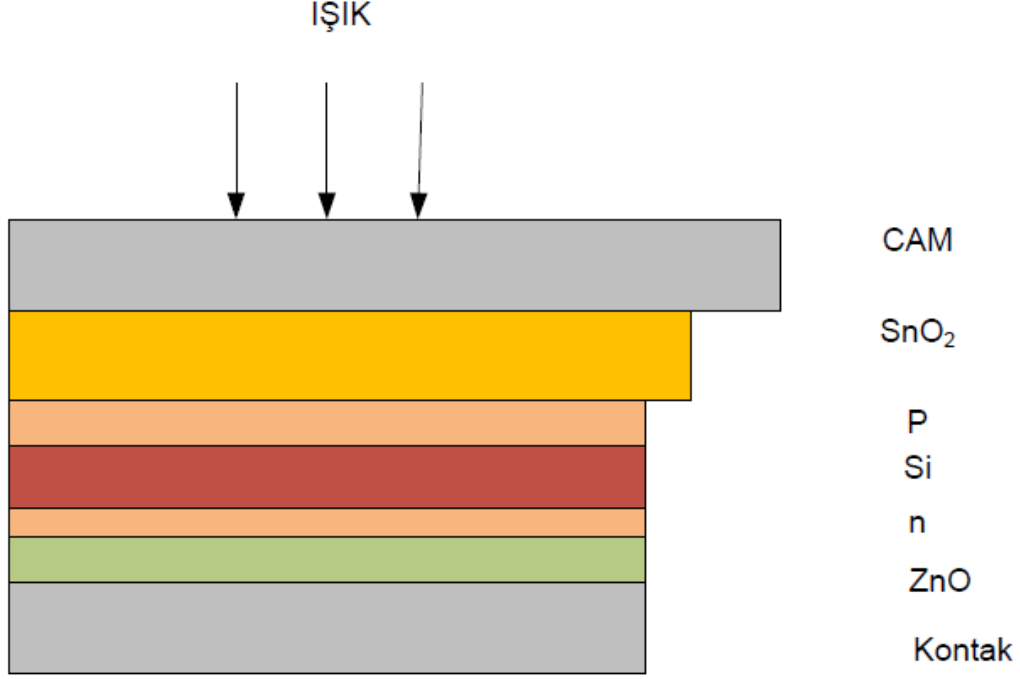
Sharp Corporation (erken 1980'ler-günümüz): Japon elektronik üreticisi Sharp Corporation, ticari kullanım için a-Si güneş hücre teknolojisini ilerletmede önemli bir rol oynadı. Erken 1980'lerde a-Si güneş hücreleri üretmeye başladılar ve yıllar içinde üretim kapasitelerini iyileştirmeye ve genişletmeye devam ettiler.

Yukarıda bahsedilen kişilerin ve şirketlerin yanı sıra, dünya çapında birçok araştırma kurumu ve şirket, a-Si PV teknolojisine katkıda bulunmuştur. Bunlar, güneş enerjisi araştırma ve geliştirmeye uğraşan üniversiteler, devlet araştırma laboratuvarları ve özel şirketlerdir. Yıllar içinde, araştırmacılar ve mühendisler, amorf silisyum güneş hücrelerinin verimliliğini, dayanıklılığını ve maliyet etkinliğini artırmak için önemli ilerlemeler kaydettiler, ancak düşük verimlilik, zamanla bozulma ve diğer ince film teknolojilerinden rekabet gibi zorluklar daha fazla araştırma ve geliştirme için odaklanılması gereken alanlardır.

a-Si güneş hücreleri, ince film güneş hücreleri sınıfına aittir ve genellikle silisyum gibi yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilir. Bu tip güneş hücrelerinde, geleneksel kristal silisyum güneş hücrelerine kıyasla daha ince bir tabaka kullanılır ve bu da üretim maliyetlerini düşürürken, daha esnek uygulamalar için de olanak sağlar. a-Si güneş hücrelerinin genel olarak elde edilişi şu şekilde sıralanabilir:

- *Hazırlık:* a-Si güneş hücrelerinin üretim süreci, silisyumun ince bir film tabakasına dönüştürülmesini içerir. Bu, silisyumun gaz fazından katı fazına dönüştürülmesini içeren kimyasal bir süreç gerektirir.
- *Silisyum Depolama:* Silisyum filmi, bir alttaş üzerine çeşitli yöntemlerle (genellikle buharlaştırma, saçtırma veya kimyasal buhar biriktirme) uygulanır. Bu, silisyumun alttaş üzerinde ince bir tabaka halinde biriktirilmesini sağlar.
- *Amorf Silisyum Oluşturma:* Bu işlemde, silisyum tabakası, kristal yapı yerine düzensiz bir yapıya sahip olacak şekilde özel bir şekilde işlenir. Bu, amorf (düzensiz) silisyum yapısının oluşturulmasını sağlar.
- *Elektrotların Eklenmesi:* Güneş hücresinin elektrik üretme yeteneğini sağlamak için, amorf silisyum tabakasına iletken elektrotlar eklenir. Bu elektrotlar, üretilen elektriği toplamak ve harici bir devreye aktarmak için kullanılır.
- *Koruyucu Kaplama:* Güneş hücresini dış etkenlerden korumak ve dayanıklılığını artırmak için genellikle koruyucu bir kaplama uygulanır. Bu kaplama, hava koşullarına, çizilmelere ve diğer zararlı etkilere karşı koruma sağlar.
- *Test ve Paketleme:* Son olarak, üretilen güneş hücresi kalite kontrol testlerinden geçirilir ve ardından paketlenir. Bu adım, ürünün piyasaya sunulmadan önce kalitesini ve performansını sağlamak için önemlidir.

Amorf silisyum güneş hücresi üretim süreci oldukça karmaşıktır ve yüksek hassasiyet gerektirir. Ancak, bu teknolojinin kullanımı, güneş enerjisi üretiminde daha esnek ve maliyet etkin seçenekler sunar. Şekil 2.23'de a-Si güneş hücresinin yapısı verilmiştir.

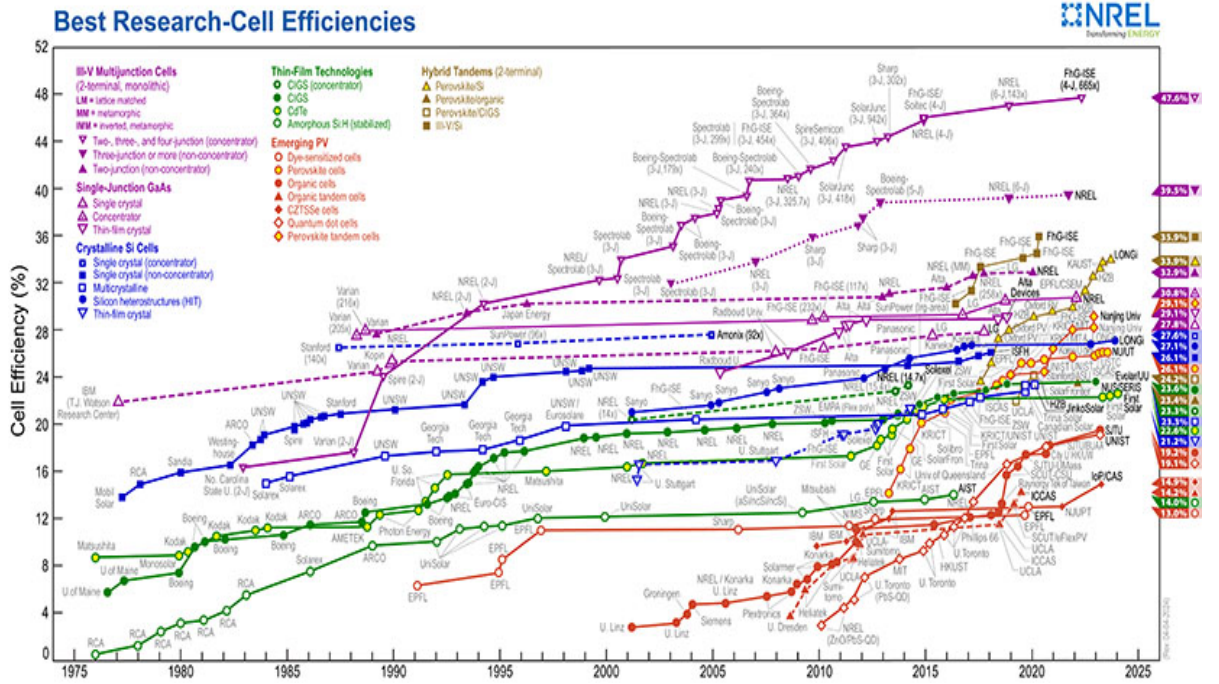


Şekil 2.23. a-Si güneş hücresi yapısı (Ardağ, 2012)

a-Si PV hücreler, geleneksel kristalli silisyum hücrelere kıyasla farklı performans özelliklerine sahiptir. Genel olarak a-Si PV hücrelerin performans değerleri ve verimlilikleri ile ilgili şu parametrelere bakılır:

- *Verimlilik:* a-Si PV hücrelerin dönüşüm verimliliği genellikle % 7 ile % 10 arasında değişmektedir. Bu, güneş ışığını elektrığe dönüştürme yetenekleri anlamına gelir. Şekil 2.24’de çeşitli PV güneş hücrelerin yıllara göre verimlilikleri verilmiştir.
- *Spektral Tepki:* a-Si PV hücreler, geleneksel kristalli silisyum hücrelere kıyasla daha geniş bir spektral tepki aralığına sahiptir. Bu, daha az güneş ışığına maruz kaldıklarında bile daha iyi performans gösterebilecekleri anlamına gelir.
- *Düşük Işık Koşullarında Performans:* a-Si PV hücreler, düşük ışık koşullarında da iyi performans gösterebilirler. Bu, özellikle bulutlu günler veya gün batımı/gündoğumu gibi zamanlarda faydalı olabilir.
- *Yüksek Sıcaklık Performansı:* Yüksek sıcaklık altında, a-Si PV hücrelerin performansı genellikle daha iyi olabilir. Bu, bazı diğer PV teknolojilerin performansının düşebileceği koşullarda avantaj sağlar.

- *Maliyet ve Üretim Kolaylığı:* a-Si PV hücreler, üretim süreçlerinde geleneksel silisyum hücrelere kıyasla daha az malzeme kullanımı gerektirir ve üretimde daha esnek bir şekilde kullanılabilirler. Bu da maliyet etkinliği ve üretim kolaylığı sağlar, ancak a-Si PV hücrelerin dezavantajları da vardır. Örneğin, kristalli silisyum hücrelere kıyasla genellikle daha düşük dönüşüm verimliliğine sahiptirler ve zamanla performanslarında yavaş bir düşüş gözlemlenebilir. Bununla birlikte, sürekli olarak geliştirilen yeni teknolojilerle bu dezavantajlar azalmaktadır.



Şekil 2.24. PV güneş hücrelerinin yıllara göre verimlilikleri (Pastuszak ve Wegierek, 2022)

2.7. Fotovoltaik Hücrelerde Elektriksel Değişkenler

PV sistemleri oldukça temiz ve yenilenebilir bir enerjidir, ancak verimli bir şekilde çalışması için sistemlerin olabilecek en iyi şekilde planlanması ve bunların uygulanması gerekir. Bunun içinde dikkat edilmesi gereken önemli değişkenler vardır. Bunlardan en önemlileri sistemin elektriksel ve yapısal değişkenleridir.

PV sisteminde modüllerin tasarlanmasında ve proje aşamasında dikkat edilmesi gereken bazı değişkenler şunlardır:

Çalışma Voltajı (MPP Voltajı): Gerekli alt yapı sağlandığı takdirde sistemden elde edilecek en büyük voltaj değeridir.

Çalışma Akımı (MPP Akımı): Gerekli alt yapı sağlandığı takdirde sistemden elde edilecek en iyi akım değeridir.

NOCT (Nominal Çalışma Koşullarında Hücre Isısı): Uygun çalışma sıcaklığı değeri 800W/m^2 , ortam sıcaklığı $20\text{ }^\circ\text{C}$, rüzgâr hızı 1 m/s olarak hesaplanmıştır.

Fotovoltaik hücre verimliliği: Verimlilik, bir PV güneş hücresi üzerine gelen güneş ışınlam değeri ile hücre tarafından soğrulan ışınlam değeri arasındaki oranı temsil eder.

Fotovoltaik modül verimliliği: Verimlilik, bir PV güneş modülü üzerine gelen güneş ışınlam değeri ile modül tarafından soğrulan ışınlam değeri arasındaki oranı temsil eder.

Nominal ve Optimal Çıkış (W_{Optimal}): Kabul edilen koşullarda PV modüllerinden elde edilen güç (STC) W_p (Watt peak) olarak ifade edilir.

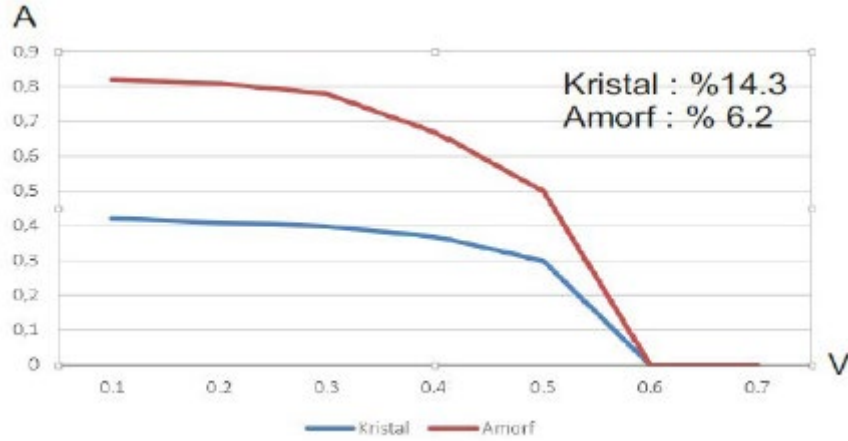
Performans Toleransı: Uygun çıkıştaki en büyük hedeften sapmayı gösterir, bu sayı genel olarak $\% 0$, $\% 2,5$, $\% 5$, $\% 10$ değerlerinden birini aldığı saptanmıştır.

Açık devre voltajı (V_{oc}): Yeterli koşullarda hesaplanan anlık devre voltajını gösterir.

Kısa devre akımı (I_{sc}): Yeterli koşullarda hesaplanan kısa devre akımını gösterir.

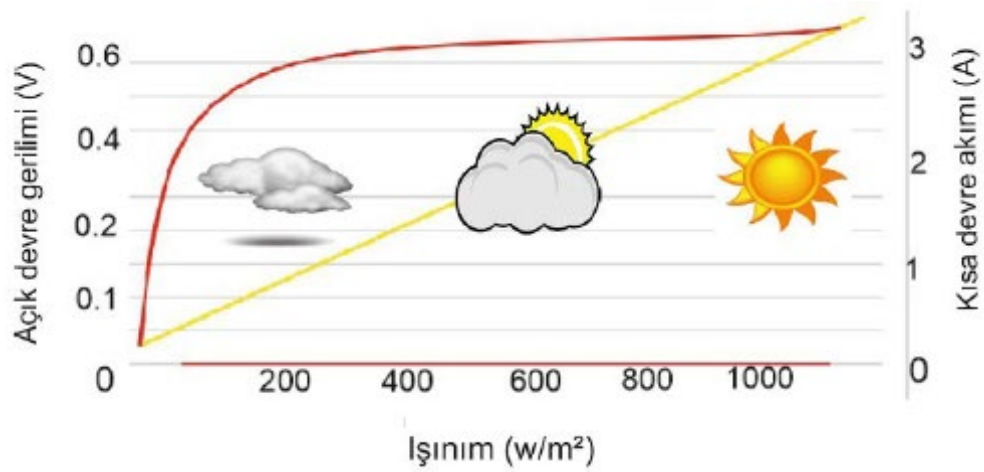
PV enerji sistemlerinde performans değerlendirmesi ile verimlilik bilgilerini elde etmek sistemin ekonomik değeri için son derece önemlidir. Ana sistemin bu değerlerini hesaplamak için sistemin en küçük bileşeni olan PV hücrelerin karakteristik akım-gerilim ($I-V$) özelliklerinin bilinmesi gerekir. Herhangi bir PV hücre üzerinde güneş ışığı soğrulduğu anda hücrenin iki ucu arasında $0,7\text{ V}$ bir potansiyel fark oluşur. Hücrenin her iki ucuna kısa devre yapacak şekilde bir ampermetre bağlanırsa hücrenin ortaya çıkardığı bu potansiyel fark değişir ve bu potansiyel fark ölçülebilir. Herhangi bir PV hücrenin karakteristik özelliklerini hesaplamak için bir reosta, bir ampermetre ve bir voltmetre cihazının kullanılması yeterlidir.

a-Si PV hücrelerin karakteristik özellikleri ile kristal silisyum PV hücrelerin karakteristik özellikleri farklılaşmaktadır. Kristal silisyum PV hücrelerin MPP noktası $0,7\text{ V}$ değerine sahip iken a-Si PV hücrelerin MPP noktası $0,3-0,4\text{ V}$ değerine sahiptir. Bundan dolayı a-Si PV hücrelerde verimlilik daha düşüktür. Bu verim dezavantajının giderilebilmesi için daha çok a-Si PV güneş hücresinin kullanılması gerekir. Şekil 2.25’de STC şartı altında kristal silisyum PV hücre ile a-Si PV hücresinin $I-V$ karakteristik grafiği verilmiştir.



Şekil 2.25. STC altında kristal silisyum PV hücre ile a-Si PV hücresinin I - V karakteristik grafiği

Güneş ışınım şiddeti ile kısa devre akımı şiddeti doğru orantılıdır. Güneş ışınım şiddeti kaç kat artarsa kısa devre akımı şiddeti o oranda artacaktır. Ancak açık devre gerilimi değeri güneş ışınım şiddetinden ihmal edilecek kadar küçük bir oranda etkilendir. Şekil 2.26'da güneşten gelen ışınım değeri şiddeti ile kısa devre akımı ve açık devre gerilim karşılaştırılması görülmektedir.

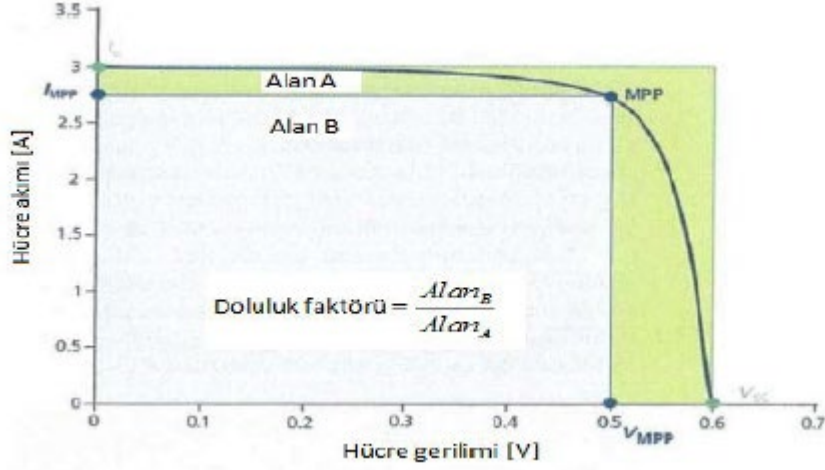


Şekil 2.26. Güneşten gelen ışınım değeri şiddeti ile kısa devre akımı ve açık devre gerilimi karşılaştırılması

PV hücrelerin bir diğer önemsenen değeri de doluluk faktörüdür (FF). Bu faktör PV hücrenin kalitesini ifade eder. Doluluk faktörü, MPP değerinin kısa devre akımı ile açık devre gerilimi çarpımının maksimum güce oranıdır, eşitlik (2.9) ile hesaplanabilir.

$$FF = \frac{U_{MPP} * I_{MPP}}{U_L * I_K} = \frac{P_{MPP}}{U_L * I_K} \quad (2.9)$$

Doluluk faktörü amorf yapılı PV hücrelerde 0,47-0,72 aralığında değer alır. Doluluk faktörü şekil 2.27’de görüldüğü gibi B alanının A alanına oranı olarak ifade edilebilir.



Şekil 2.27. PV hücrelerin doluluk faktörü gösterimi

PV sistemlerde modüllerin en önemli parametresi verimdir. Dolayısı ile verimin hesaplanması çok önemlidir. PV hücresinin verimi (η), hücreden elde edilen enerjinin soğrulan güneş enerjisine oranlanması ile elde edilir. Verim; en büyük güç değeri, güneş ışıını (E) ve hücre yüzey alanı (A) ile (2.10) eşitliğinde olduğu gibi hesaplanır.

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{A * E} = \frac{FF * U_L * I_K}{A * E} \quad (2.10)$$

Güneş enerji sisteminden elde edilen bilgiler ışığında verim için standart test koşulları (2.11) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$\eta_{\eta} = \eta_{STC} \quad (2.11)$$

Güneş hücresinin anma verimi eşitlik (2.12) gibi hesaplanır.

$$\eta = \frac{P_{mpp(STC)}}{A * 1.000W / m^2} \quad (2.12)$$

Güneş hücresinin verimi, ortam sıcaklığına ve güneşten soğrulan ışıyım miktarına bağılı olarak hesaplanır. Ayrıca verim anma veriminden verim farkı çıkarılarak (2.13) eşitliğı ile hesaplanır.

$$\eta = \eta_{\eta} - \Delta\eta \quad (2.13)$$

2.8. Fotovoltaik Sistemlerde Verimi Etkileyen Parametreler

Özelikle büyük ölçekli PV sistem kurulumu genel olarak yatırım amaçlı olup ekonomik kaygı üst düzeydedir. Bu amaçla sistemin verimli çalışma zamanı içerisinde yapılan yatırımları karşılaması ve finansal açıdan kazanç elde edilmesi beklenir. Günümüzde sistemlerin verimli çalışma aralığı ortalama 20 yıllı kapsamaktadır. Bu anlamda sistemde çok küçük miktardaki değişkenlerin oluşturduğu kayıplar 20 yıllık süre baz alındığında toplamda büyük bir kayıp söz konusu olmaktadır. PV sistem kayıpları, sistemin proje tasarımı, sistemde kullanılan bütün malzemeler, işçiliğın kalitesi, çevresel etmenler gibi birçok parametre tarafından etkilenir. Bu anlamda sistem kurgulanırken en ayrıntılı değerlendirme yapılmalıdır.

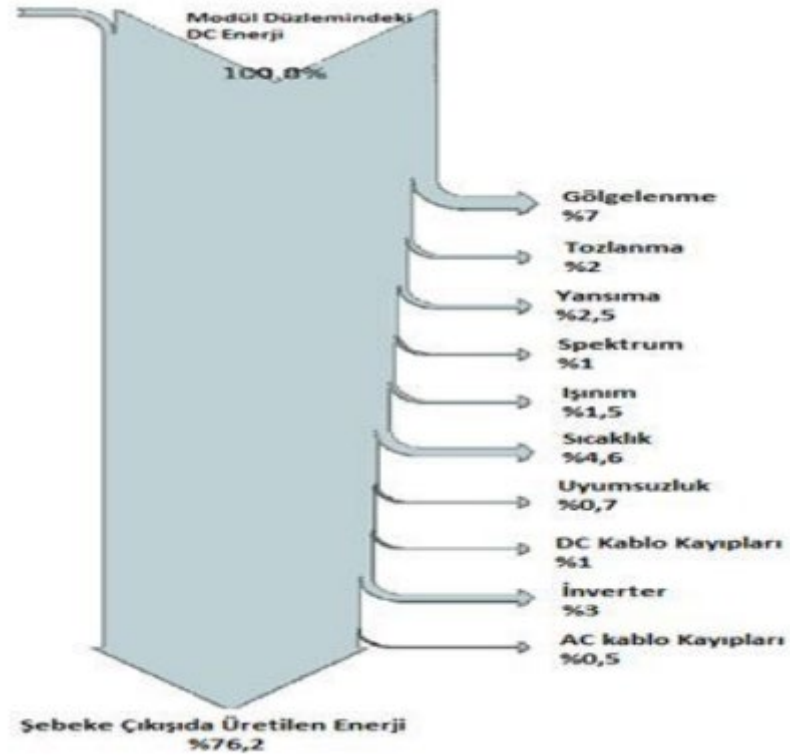
PV sistemlerde üretilen enerjinin verimliliğı birçok etkene bağılıdır. Sistem bileşenlerinin nominal karakteristik değerleri, sistem konfigürasyonu, sistemin bulunduğu coğrafi alan koşulları, sistem çevresinde bulunan gölgelenmeye neden olabilecek yapılar ve sistemin çalışma esnasında oluşabilecek elektronik arızalar gibi sorunlar sistemin enerji üretiminde kayıplara neden olup, sistemin verimliliğine etki eder (Pakma, 2018). Bu sistemlerin verimliliğini değerlendirmekte kullanılan en yaygın yöntem, güneş enerji sistemleri performans oranı (PO)'dır. Bu oran gerçekte güneş pillerinin ürettiğı en yüksek enerji ile sistemin tasarım aşamasında hedeflediğı enerjinin oranını ifade eder. Aynı zamanda bu oran güneş yönelimi ve güneş ışıyımından etkilenmediğı için diğere güneş pillerinin karşılaştırılmasına olanak sağlar. PO oranı eşitlik (2.14) ve eşitlik (2.15) ile hesaplanabilir.

$$PO = \frac{\text{Üretilen enerji (Şebeke çıkışı)}}{\text{Referans enerji}} \quad (2.14)$$

$$PO = \frac{\text{Üretilen enerji (Şebeke çıkışı)}}{\text{Işınım} * \text{Sistem Alanı} * \text{STK'daki Modül Verimi}} \quad (2.15)$$

Normal bir AC şehir şebekesine bağlı olan bir PV sistemin enerji oranı (PO), sistemin AC çıkışından üretilen enerjinin Standart Test Koşulları (STK-1000W/m², 25°C, Air Mass AM 1,5) altında sistem tarafından üretilen enerjiye oranıdır, PV sistemlerde şebeke çıkışından alınan modül enerjisi, STK şartları altında modüller tarafından üretilen enerji sistem kayıpları çıkarılarak bulunabilir. Sistem kayıpları azaldıkça PO o kadar büyük olacaktır.

PV enerji sistemlerinde hedeflenen enerjiyi düşüren birçok etken vardır. Bunlar çevre sıcaklığı, modülleri kaplayan tozlar ya da karlanma, gölgelenme, AC ve DC kablo kayıpları gibi birçok unsur neden olmaktadır. Sisteme etki eden kayıplar şekil 2.28'de gösterilmiştir.



Şekil 2.28. PV sistem kayıpları

2.8.1. Çevresel şart kayıpları

2.8.1.1. Işınım kayıpları

Gerçek koşullarda modül üzerine düşen güneş ışıınım miktarı ile daha önce PV sistem tasarımında öngörülen güneş ışıınım miktarı aynı olmamaktadır. Bu iki miktar arasındaki fark ışıınım kayıpları olarak ifade edilir.

PV sistem kurulum aşamasında iken hangi modülün daha faydalı olacağını belirlemek için modülün teknik broşürleri incelenir. Bu broşürlerde modüllerin standart test koşulları altında çıkış gücü (Watt Peak, W_p), güç sıcaklık katsayısı ($\gamma_{P_{mpp}}$), STC verimi (η_{STC}), kısa devre akımı (I_{SC}) ve açık devre gerilimi (V_{OC}) gibi değerleri göstermektedir. Gerçek yaşamdaki modüllere ulaşan güneş ışıınım miktarı ile standart test koşullarındaki değerler değişkenlik göstereceği için daha az olan ışıınım değerleri gerçek değerlendirme için önemli bir veri sunar. Bu değerler; normalize edilmiş, izafi ışıınıma bağlı verim, hücre sıcaklığı ($T_{modül} = 25^\circ C$) ve spektrumun (AM 1,5) STC’da sabit tutulduğu durumlarda ışıınımların değiştirilmesi eşitlik (2.16) ve eşitlik (2.17) ile hesaplanabilir.

$$\eta_{rel(G)} = \frac{\eta_G}{\eta_{(GSTC)}} \quad (2.16)$$

$$\eta_{(G)} = \frac{P_G}{G * A_{PV}} \quad (2.17)$$

G = Işınım

A_{PV} = Modül Alanı

P_G = G ışıınım değerindeki güç çıkışı

G değeri yerine G_{STC} yazılırsa STC’daki sonuç ortaya çıkar. A_{PV} değeri bütün sistemler için aynı değeri ifade edeceğinden değerler sadeleşir ve eşitlik (2.18) ile gösterildiği gibi bulunur.

$$\eta_{rel(G)} = \frac{P_G / G}{P_{(GSTC)} / G_{(STC)}} = \frac{P_G}{G_{(\eta_{STC})}} \quad (2.18)$$

2.8.1.2. Gölgeleme kayıpları

PV sistemlerinden elde edilecek verim, modüller üzerine düşen güneş ışınım miktarına göre farklılık arz edebilir. Bu farklılığı artıracak bir etkende gölgeleme kayıplarıdır. Modül üzerindeki kısımlardan gölgelenen bölge ile gölge düşmeyen bölge arasındaki verim farklı bize gölgeleme kayıplarını verir. Bölgenin değişen arazi koşullarına göre sistemin kurulduğu alanın etrafını kaplayan dağ ya da büyük çevresel anıtların meydana getirdiği gölgeleme ufuk gölgelemesi olarak ifade edilir ve bütün modülü etkiler. Büyük bir alana kurulmuş birçok modülden oluşan büyük sistemlerde ardı ardına gelen modüllerin gölgeleri birbirinin üzerine düşebilir. Bu modül sırası gölgelemesi olarak adlandırılır. Bu gölgelemeye has olarak direk düşen güneş ışınım engellenmesi yanında difüz ışınımında oluşacak kayıpta hesaplanmalıdır.

Bütün güneş enerji sistemlerinde gölgeleme verim için çok önemli bir göstergedir. Ancak gölge seviyesi yıl içinde dünyanın güneş etrafında dolanmasından etkilendiği için gölge büyüklüğü değişmektedir. Bundan dolayı gölgeleme kayıpları için kesin bir veri elde etmek mümkün değildir. PV sistem kurulumlarında gölgeleme konusuna büyük önem verilmiştir, çünkü sistem üzerine küçük bir yere dahi gölge düşmesi sistemin toplam verimini büyük ölçüde değiştirir. Şekil 2.28’te görüldüğü gibi sistem modülleri üzerinde gölgeleme görülmektedir.



Şekil 2.29. Modüller üzerinde gölgelemeye örnek

2.8.1.3. Yansıma kayıpları

Güneş ışınları üzerine düştüğü PV modülleri tarafından soğrulur. Ancak ışınların bir kısmı soğrulmadan geldiği ortama geri yansır. Yansıyan bu ışınım miktarı yansıma kayıpları olarak ifade edilir. Yansıma kayıpları modüllerde kullanılan malzemelerin kalitesine ve malzemenin yansıtıcı özeliğine, bölgedeki ışınım miktarına göre değişir. Kristal yapılu güneş hücreleri, amorf yapılu güneş hücrelerine göre ışığı daha az emer. Kullanılacak yere göre bu özellik göz önünde bulundurulmalıdır. Yansıma oranını azaltmak için PV modülleri çeşitli katmanlardan elde edilir. PV modülleri üzerindeki cam soğrulmayı artırmak için temperli bir yapıda üretilir. Ayrıca yansımayı azaltmak için yansıma engelleyici kaplama malzeme kullanılır. PV sistemlerinde yansıyan, enerjiye dönüşmeyen ışığın miktarı modül ile güneş arasındaki açıya ve modülün eğim durumuna bağlıdır.

2.8.1.4. Spektrum kayıpları

PV modüller fabrikasyon aşamasında ve üretildikten sonra yapılan testlerde standart test koşullarına (STC) tabi tutulur. Bu değerler firmalar tarafından kayıt altına alınıp tüketicileri bilgilendirmek için tanıtım broşürlerine eklenir, ancak firmaların test etiketleri anlar o zaman için geçerlidir. Yıl içerisinde güneşin yaydığı ışık spektrumu değişkenlik gösterir. Bu değerler arasında oluşanlar spektrum kayıpları şeklinde ifade edilir.

2.8.1.5. Tozlanma ve karlanma kayıpları

PV modüller çevresel faktörlerden çok etkilenir. Çevrenin iklimi, yağışlar ya da çevrenin toz yapma gücü modüllerin üzerinde istenmeyen birikintilerin oluşmasına neden olur. Bu birikim ve kirlilik soğrulan güneş ışınım miktarını dolayısı ile verimi etkilemektedir. Temizlenmediği takdirde verimlilik % 80'nin altına bile düşebilir, Birkaç modülden oluşan sistemlerde temizlenme konusu sorun teşkil etmemekteyken büyük ölçekli güneş enerji sistemlerinde panellerin üzerinde biriken kirliliğin temizliği büyük sorun oluşturmaktadır.

Kar yağışının çok yoğun yaşandığı bölgelerde kardan dolayı PV sistemlerde büyük kayıplar yaşanır. Özellikle yenilenebilir enerji yatırımlarına ağırlık veren Avrupa

ölkeleri için kış mevsimi ve özellikle kar yağışları PV modüller için ciddi sorun teşkil etmektedir. Bundan dolayı çeşitli çözüm arayışına girmişlerdir. Bunların en başında kar fırtınası ve kar haritaları Avrupa genelinde çıkarılmaya başlanmıştır. Kardan dolayı oluşabilecek kayıpların hesaplanması kar haritaları ile yeryüzü ile 0 derece ile yerleştirilen güneş modülleri yardımı ile hesaplanabilir, Ancak eğimli yüzeyler için kesin bir kayıp değeri tespit edilememektedir. Kar yağışlarının çok etkili olduğu yerlerde yeryüzü ile 0 derece açı bulunan modüllerde % 1, çatı sistemlerinde % 2 kardan dolayı kayıp olduğu görülmüştür.

2.8.2. Sistem kayıpları

2.8.2.1. Sıcaklık kayıpları

PV sistemin sıcaklığı artıkcı modüllerden elde edilecek enerji azalır. Bu ilişki ters orantılıdır. Aynı zamanda ortamın sıcaklığı arttığı zaman modülün sıcaklığı da artar buda modülden elde edilecek enerji verimini azaltır ve kayıplar oluşturur. PV hücrelerinin sıcaklığı; 20°C hava sıcaklığı, 800W/m² ve 1 m/s rüzgar hızı koşullarında hücre nominal sıcaklığı (Nominal Operating Cell Temperature NoCT) olarak isimlendirilir. Modül broşürlerinde bilgilendirme yapılırken bu sıcaklık değeriinden daha az koşullar için özellikler sıralanır. STC’da hücre sıcaklığını tespit etmek için eşitlik (2.19) kullanılabilir.

$$\frac{T_a}{U_L} = \frac{T_{c,NoCT} - T_a}{G_{T,NoCT}} = \frac{P_G}{G_{(\eta_{STC})}} \quad (2.19)$$

T_a = NoCT koşullar için ortam sıcaklığı

T_a = Modül Soğurma Katsayısı

U_L = Kayıp Katsayısı

$T_{c,NoCT}$ = Modül broşüründe belirtilen NoCT değeri

$G_{T,NoCT}$ = NoCT koşulları için ışıınım değeri (800W/m²)

Soğurma değeri, modül tarafından soğrulan ışıınının modül üzerine düşen bütün ışıınım oranı şeklinde yazılır. Yukarıda ifade edildiği gibi sıcaklığı tespit edilen bir yer için modülün sıcaklığı eşitlik (2.20) ile bulunabilir.

$$T_c = T_a + (G_t * \frac{T_a}{U_L}) * (1 - \frac{U}{T_a}) \quad (2.20)$$

T_c = Modül Sıcaklığı

G_t = Işınım değeri (1000W/m²)

T_a = Ortam sıcaklığı

U = Hücre verimi

Bulunan hücre sıcaklığıyla beraber modüller üzerinde sıcaklıktan kaynaklanan kayıplar eşitlik (2.21) ile tespit edilebilir.

$$\%Kayıp = (T_c - T_{Ref}) * Sıcaklık katsayısı \quad (2.21)$$

T_c = Modül Sıcaklığı

T_{Ref} = Hücre referans

Sıcaklık katsayısı = Modülün sıcaklık katsayısı

2.8.2.2. Kablo kayıpları

PV sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biri kablolardır. Kabloların direnci olduğu için sistemin ürettiği enerjiyi hedefe ulaştırmada kayıplar yaşanır. Bu kayıplar kablo kayıpları olarak ifade edilir. Kablo seçimi yapılırken kayıplar en aza indirilecek seçimler yapılmalıdır. Sistemde kablo seçimi öncelikle amacına göre kullanılacak alternatif akım veya doğru akıma göre değişkenlik gösterir. Bunun yanında kablonun uzunluğu, kesit alanı ve kablonun yapıldığı maddenin cinsi kablo kayıpları üzerinde etkili olacaktır. Genel olarak kablo kayıpları sistemlerin büyüklüğüne bağlı olarak % 1 ile % 3 arasında değişkenlik gösterir.

2.8.2.3. Teknik kayıplar

PV sistemlerinde tasarım ve test aşamasında öngörülen enerji hedefleri ile sahada gerçek zamanlı veriler çoğu zaman örtüşmemektedir. Tasarımı yapılan modüller çok kısıtlayıcı koşullar altında teste tabi tutuldukları için gerçek koşullarda çeşitli

aksaklıklardan kaynaklanan kayıplar yaşanması muhtemeldir. Bunun en önemli nedeni modüllerin gerçek performans değerlerinin sabit olmaması birçok değişkenden etkilenmesidir.

2.8.2.4. Uyumsuzluk kayıpları

PV sistemlerinde amacına göre modüller seri ya da paralel bağlanabilir. Ancak teker teker modüllerin ürettiği enerji toplamı modüllerden çıkan enerji toplamından azdır. Bu enerji kayıpları uyumsuzluk kayıpları olarak ifade edilir. Aynı zamanda sistemde farklı türde PV modülleri kullanılması, farklı kabloların kullanılması gibi çeşitli farklılıklar uyumsuzluk kayıpları olarak sisteme yansır.

2.8.2.5. Evirici kayıpları

Fotovoltaik enerji sistemlerinde alana kurulan panellerden DC akım elde edilir. Ancak şehir şebekesine bağlanmak için AC akıma dönüştürme ihtiyacı vardır. DC ile AC arasında dönüştürme yapan evirici kullanılması çeşitli enerji kayıplarına yol açar. Eviriciler bekleme durumunda aktifken verim grafiğinden DC-AC kayıpları hesaplanabilir.

AC-DC enerji dönüşümü verimliliği için ağırlıklı verim ile Avrupa verimliliği gibi ölçme yöntemlerinden faydalanılır. Eviricilerde meydana gelen kayıpların birçok nedeni vardır. Bunlar yarıiletken malzemeler, kapasitör, manyetik elementler, iletim ve anahtarlama gibi etmenlerdir.

Günlük yaşamda transformatörsüz şebeke bağlantılı sistemlerde kullanılan eviricilerin DC max verimi % 98 dolayındadır. Kendi çalışmalarımızda yararlandığımız evirici Sunstring 5000 eviricide % 96 kapasite ile verim alınabilmektedir. Eviriciler 150 V alternatif gerilim değeri için % 0,3-% 1 civarında enerji düşüşleri gözlenir.

Eviricilerde birçok türde kayıp yaşanmaktadır. Bunlardan önemli bir tanesi de güç düşüklüğünden ortaya çıkan kayıplardır. STC'da modül güç ile evirici AC oranı evirici verimini değiştirir ve istenilen enerjinin şebekeye ulaşmasını engeller. AC ve DC giriş güçleri kıyaslandığında AC çıkış gücüne sahip eviricilerin yüksek verimle çalışma oranları daha fazladır. Gücü daha az olan evirici kullanmak sıcaklığın artmasına ve bu şekilde kayıpların daha çok artmasına sebep olur.

2.9. Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Performans Değerlendirme

Şehir şebekesine bağlı PV sistemlerinin enerji verimini yorumlamak için, sistemden elde edilen veriler üzerinden analizler yapılarak PV sistemlerinin enerji performans değerleri STC değişkenleri altında standartlaştırılır. Bu veriler; standartlaştırılmış örgü yüzeyine gelen ışıınım enerji miktarı (Y_R : referanceyield), standartlaştırılmış PV sistemlerin enerji üretimi (Y_f : final yield) ve PV sistem performans oranı (PR: perfomancerating) olarak ifade edilebilir. Bu değişkenlerden elde edilen değerler ışıığında saatlik-günlük değer karşılaştırması, günlük-aylık değer karşılaştırılması, aylık-yıllık değer karşılaştırılması yapılabilir.

Şehir şebekesine bağlı PV sistemleri için Y_R , standartlaştırılmış örgü yüzeyinin birim alanına gelen ışıınım kapasitesi (kW-saat/m^2) STC değişkenleri ile kabul edilmiş birim alandaki ışıınım düzeyinin oranıdır. Eşitlik (2.22)'deki gibi hesaplanabilir.

$$Y_R = \frac{H_\beta}{G_{STC}} \quad (2.22)$$

H_β = Eğimli yüzey üzerinde birim alana düşen güneş ışıınım enerjisi

$G_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$

Y_R = Birimi kW-saat/kW_P

Y_f , PV sistemin standartlaştırılmış enerji değeri, sistem tarafından üretilen enerjinin eviricilerle alternatif akıma dönüşümü sağlandıktan sonra elde edilen enerji miktarı, STC şartları ile PV sisteminin örgülerin kurulu güç değerine oranı ile elde edilir. Bunun için eşitlik (2.23) kullanılabilir.

$$Y_f = \frac{E_{\text{şebeke}}}{W_{p,e}} \quad (2.23)$$

$E_{\text{şebeke}}$ = Eviricilerden çıkan alternatif enerji miktarı

$W_{p,e}$ = STC koşullarındaki enerji

Y_f = Birimi kW-saat/kW_P

PR, standartlaştırılmış PV enerji sistemlerinde üretilen enerjinin, standartlaştırılmış güneş enerji sistemi yüzeyine düşen ışınlam değeri oranını ile bulunur. Bu değeri değişik alanlarda, farklı tarihlerde üretim yapan PV enerji sistemlerinin verimini karşılaştırmak için yararlanılan bir değerdir. Bu değeri eşitlik (2.24) ile hesaplanabilir.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} \quad (2.24)$$

Ayrıca bu ifade güncel olarak bir alanda üretim yapan PV enerji sisteminin ürettiği enerji ile ideal koşullarda üretim yapan test sistemlerinin ürettiği enerjiyi karşılaştırmak için kullanılır. Beklenen değerden daha düşük verim değeri, PV sistem modüllerinin gölgelenmesi ve diğer başka teknik hatalar nedeniyle olmaktadır. Bu hatalar; evirici verimi düşüklüğü, yeterli soğutma sistemi eksikliği gibi başlıca verimi düşüren hatalardır. PV güneş enerjisi sistemleri verimliliği yorumlanırken veriler anlık, günlük, aylık ve yıllık olarak incelenir,

PV sistemlerin anlık verimi (η_{sys}), sistemin ürettiği toplam gücün sistem üzerine gelen toplam ışınlamaya oranıdır eşitlik (2.25) ile hesaplanabilir.

$$\eta_{sys} = \frac{P_{sys}}{G_{\beta} \chi A_{pv\text{örgü}}} \quad (2.25)$$

P_{sys} = PV sistem tarafından şehir şebekesine verilen toplam güç (W)

G_{β} = Eğimli yüzeye birim zamanda düşen güneş ışınlam (W/m^2)

$A_{pv\text{örgü}}$ = PV sistemin toplam yüzey alanı (m^2)

PV sistemlerin günlük ya da istenilen zamanda istenilen verimi (η_{sys}), belirtilen zaman aralığında sistemin ürettiği toplam gücün sistem üzerine gelen toplam ışınlamaya oranıdır. Bu oran eşitlik (2.26) ile hesaplanabilir.

$$\eta_{sys} = \frac{E_{sys.g}}{H_{\beta.g} \chi A_{pv\text{örgü}}} \quad (2.26)$$

$E_{sys,g}$ = PV sistem tarafından şehir şebekesine belirtilen zaman aralığında verilen toplam güç (kw-h)

$H_{B,g}$ = Toplam panel yüzeyine belirtilen zaman aralığında birim zamanda düşen güneş ışıınım (kW-h/m²)

$A_{pvörgü}$ = PV sistemin toplam yüzey alanı (m²)

Her ayın sonunda ortalama günlük verim ($\eta_{sys,a}$) eşitlik (2.27) ile hesaplanabilir.

$$\eta_{sys,a} = \sum_{d=1}^D \eta_{sys,g} / D \quad (2.27)$$

D = İncelenen ay için toplam gün sayısı

Ay sonunda şehir şebekesine verilen günlük ortalama enerji ($E_{sys,a}$) eşitlik (2.28) ile hesaplanabilir.

$$E_{sys,a} = \sum_{d=1}^D E_{sys,g} / D \quad (2.28)$$

$E_{sys,a}$ = PV sistem tarafından şehir şebekesine belirtilen zaman aralığında verilen toplam güç (kw-h)

Günlük performans oranı (PR_g) eşitlik (2.29) ile hesaplanabilir.

$$PR_g = \frac{Y_{f.g}}{Y_{R.g}} \quad (2.29)$$

Belirtilen ay için günlük ortalama değeri eşitlik (2.30) ile hesaplanabilir.

$$PR_a = \sum_{d=1}^D \frac{PR_g}{D} \quad (2.30)$$

Standartlaştırılmış sistem enerji üretimi (PR_g) eşitlik (2.31) ile hesaplanabilir.

$$Y_{fg} = \frac{E_{sys.g}}{W_{p.e}} \quad (2.31)$$

Belirtilen ay için günlük ortalama değeri eşitlik (2.32) ile hesaplanabilir.

$$Y_{fa} = \sum_{d=1}^D \frac{Y_{f.g}}{D} \quad (2.32)$$

Standartlaştırılmış sistem yüzeyine inen güneş ışıyım enerjisi (PR_g) eşitlik (2.33) ile hesaplanabilir.

$$Y_{Rg} = \frac{H_{\beta.g}}{G_{stc}} \quad (2.33)$$

Belirtilen ay için günlük ortalama değeri eşitlik (2.34) ile hesaplanabilir.

$$Y_{Ra} = \sum_{d=1}^D \frac{Y_{R.g}}{D} \quad (2.34)$$

PV sistemleri güç karşılaştırılmasında dünyada kabul görmüş en yaygın değişken standartlaştırılmış yıllık sistem enerji üretimi ($Y_{f.y}$) eşitlik (2.35) ile hesaplanabilir.

$$Y_{f.y} = \sum_{d=1}^D Y_{f.g} \quad (2.35)$$

2.10. Ülkemizde PV Sistem Kurulum Sürecinde Yasal Süreçler

Tüm dünyada olduğu gibi yenilenebilir enerjilere yatırım furyası ülkemizde de takip edilmektedir. Bu enerjilerden en çok rağbet göreni kuşkusuz güneş enerji sistemleridir. Devletimizin güneş enerji sistemleri için yasal zemin oluşturması, üretici olacak kişilere serbest piyasa ile rekabet edebilecek fırsatlar sunması bu konunun daha çok gündeme gelmesini sağlamış ve yatırımcıların ilgisini bu alana kaydırmıştır. Bundan dolayı ülkemizin birçok yerinde ciddi yatırım gerektiren büyük güneş enerji sistemleri açılmaya başlanmıştır. Bu alanda üreticileri teşvik edecek birçok lisanlı ve lisanssız şirket ortaya çıkmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) 2023

verilerine göre rüzgâr ve güneş enerjisi bazında toplam 5034 başvuru yapılmış olup, bu başvurulardan 155325,12 MWm kurulu gücünde 3351 güneş enerjisine dayalı depolamalı elektrik üretim tesisinin yapılmışına izin verilmiştir. Şekil 2.29’da ülkemizde PV sistemler üzerine pazar çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.30. Ülkemizde PV sistemler üzerine pazar çeşitleri

Ülkemizde güneş enerji sistemleri ile ilgili yasal bağlayıcı olan mevzuatlar şunlardır:

- Elektrik piyasası lisans yönetmeliği
- 6446 sayılı elektrik piyasası kanunu
- 5346 sayılı YEK kanunu
- İlgili EPDK Kurulu kararları
- GES başvuruların yönelik yarışma yönetmeliği
- Lisansız Elektrik Üretimi Yönetmeliği

Güneş enerji sistemleri (GES) kurulum aşamasında baştan sona doğru dikkatli bir şekilde her aşama projelendirilmelidir. GES kurulumu için en önemli seçim alan seçimidir. Öncelikle kurulacak alan tarım arazisi olmamalı, orman veya çeşitli hayvanları barındıran biyoçeşitliliği zengin alanlardan uzak kurulmalıdır. Bir Mw enerji başına 20 dönüm arazi seçilmeli, yılda toplam yeryüzüne gelen güneş ışınlam miktarı

1620 kWh/m² fazla olması gerekir. Tercih edilen yerin malzemelerin montajına elverişli olması aynı zamanda mülkiyet sorunlarının hal edilmiş olması gerekir. Sistem proje taslağı oluşturulurken Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından onaylanmış meteorolojik ölçüm istasyonu kurulmalıdır ve en az altı ay ve bir yıllık ölçüm verileri elde edilmelidir. Şayet arazi yakınında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün istasyonu var ise, gerekli veriler temin edilmelidir. Şekil 2.30'da GES proje uygulama aşamaları verilmiştir.

Güneş Enerji Santrali (GES) Proje Süreci



Şekil 2.31. GES proje uygulama süreci

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Işınım Ve Sıcaklık Ölçüm Sistemi

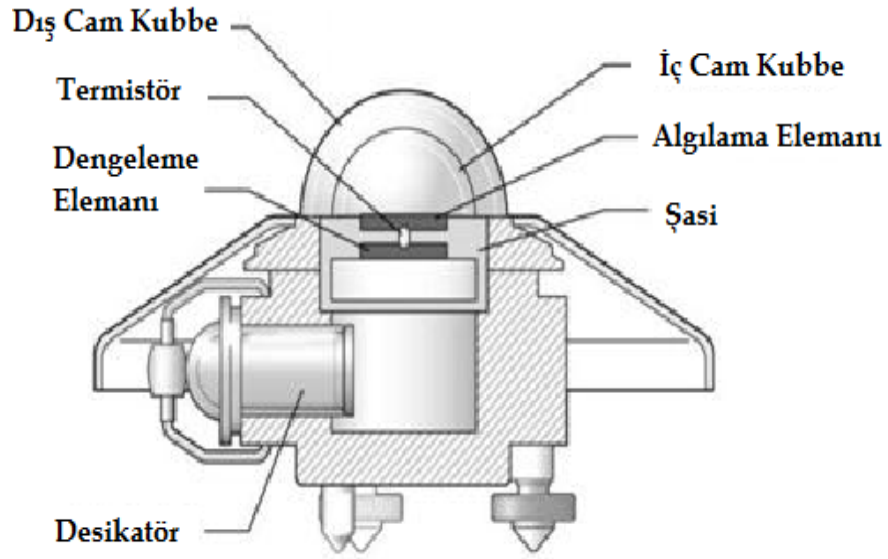
Batman ilinde 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş güneş ışıınım ve sıcaklık değerleri Batman Üniversitesinde yer alan sistemimiz ile gerçekleştirilmiştir. Sistem tüm gün değerleri beşer dakikalık süreler içerisinde kayıt altına alınarak gerçekleştirilmiştir. Sistemde anlık ışıınım değerleri piranometre, sıcaklık ölçümleri de sensör yardımıyla alınmıştır. Şekil 3.1’de sistemimiz görülmektedir.



Şekil 3.1. Işınım ve sıcaklık veri alma sistemi (Batman Üniversitesi)

3.1.1. Piranometre

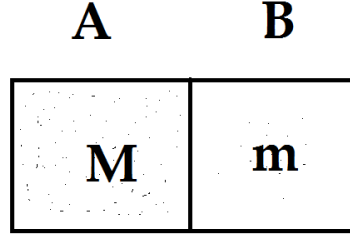
Sistemde anlık güneş ışıının şiddet değerleri Dünya Meteoroloji Teşkilat (WMO)'ın önermiş olduğu Kipp&Zonen firmasına ait CMP11 piranometresi ile elde edilmiştir. Şekil 3.2'de Kipp&Zonen (CMP11) piranometre cihazının yapısı görülmektedir. Anlık değerler güneş hücresi destekli batarya vasıtasıyla veri depolama aygıtı olan CR800 dataloggera bağlanarak alınmıştır. Tüm alınan veriler belli aralıklarla RS232 arayüzüne sahip bilgisayar ile ortama aktarılmıştır. Çizelge 3.1'de Kipp&Zonen (CMP11) piranometre cihazının teknik verileri görülmektedir.



Şekil 3.2. Kipp&Zonen (CMP11) piranometre dizaynı

Piranometre termopile dayanan ve üstündeki yarı küreye gelen güneş ışıının ölçen araçtır. Buna göre, termopil yüzeyine gelen güneş ışıınınla ısınır ve meydana gelen elektriksel potansiyel farkıyla da ölçüm gerçekleşir. Şekil 3.3'teki gibi A ve B termo-elektrik çiftinin elektromotor kuvveti, bu iki metalin elektron yoğunluğunun farklı olmasından dolayı meydana gelir ve sıcaklığa bağlıdır. Buna göre A-B metal çiftinin cm^3 başına düşen serbest elektron sayısı M ve m olsun. A-B metal çiftinin teması durumunda birbirinden elektron geçecektir. Eğer M, m'den büyükse A'dan B'ye daha çok elektron geçecektir. B'in negatif yüklenmesinden ve negatif yük fazlalığı nedeniyle diğer tarafa geçmek isteyen elektronlara etki eden kuvvet, elektronların hızlarını gittikçe yavaşlatacaktır. Denge durumunda A elektron kaybedeceğinden pozitif ve B elektron kazanacağından negatif olacaktır. Bu şekilde A-B metal çifti arasında bir

potansiyel fark oluşacaktır (Masalcı, 2000). Oluşan bu potansiyel fark aynı zamanda soğrulan güneş ışınım şiddetinin bir ölçüsüdür.



Şekil 3.3. A-B Thermo-çifti

Çizelge 3.1. Kipp&Zonen CMP11 piranometresinin teknik özellikleri

Spektrum aralığı	305-2800 nm (50% nokta)
Duyarlılık	4-6 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Empedans	700-1500 Ω
Tepki zamanı (95%)	15 saniye
Yüzdesel sapma	$< \pm 0.6 \%$ ($< 1000 \text{ W}/\text{m}^2$)
Sıcaklığa duyarlılık	$< \pm 1 \%$ (- 10 dan 40 $^{\circ}\text{C}$)
Doğrudan hata	$< \pm 10 \text{ W}/\text{m}^2$ (1000 W/m^2 ışınımında)
Çalışma sıcaklığı	-40 $^{\circ}\text{C}$ den 80 $^{\circ}\text{C}$
Ağırlık	850 gram
Kablo uzunluğu	10 m
Boyutlar	150.0 mm x 91.5 mm

3.1.2. Sıcaklık ve nem sensörü

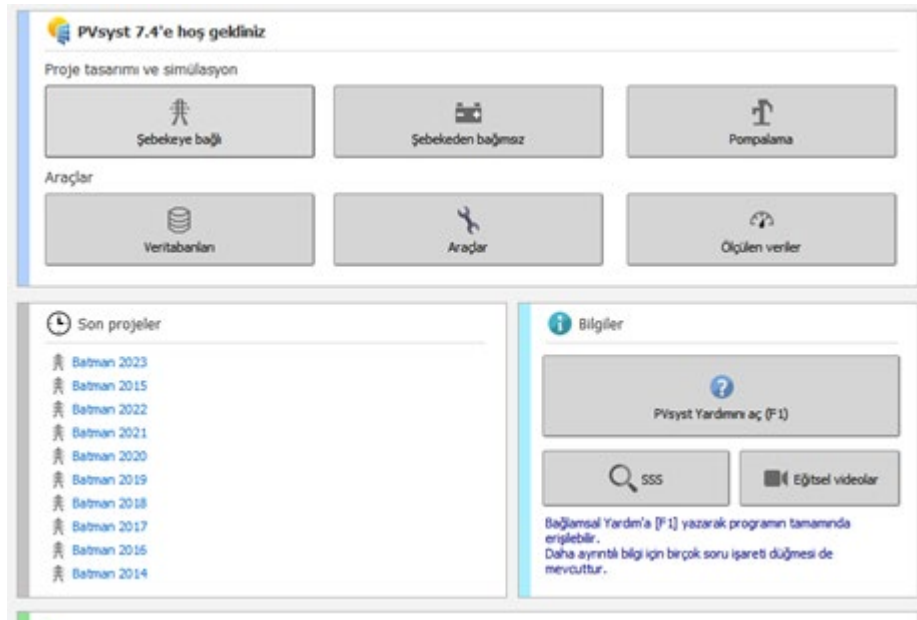
Batman ili için 2014-2023 yılları arasında ölçülen sıcaklık değerleri HMP60 Vaisala INTERCAP sıcaklık ve nem sensörü vasıtasıyla beşer dakikalık periyotlar ile ölçülmüştür (Şekil 3.4). Hassas ölçümler için sensörleri saran sıcaklık kalkanı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. HMP60 Vaisala sıcaklık-nem sensörü ve sıcaklık kalkanı

3.2. PVsyst Paket Yazılımı

PVsyst V7.4 paket yazılımı, fotovoltaik (PV) sistemler kurulmadan önce benzeşim yolu ile bilgi amaçlı veri sunan ücretli bir paket yazılımdır. Şekil 3.5’de PVsyst V7.4 paket yazılımının ara yüzü görülmektedir.



Şekil 3.5. PVsyst V7.4 paket yazılımının giriş arayüzü

3.3. Fotovoltaik (PV) Sistem

2012 yılında Dicle Kalkınma Ajansı katkılarıyla kurulmuş olan fotovoltaik sistemimiz Şekil 3.6'ta görüldüğü gibi tekli kristal Si, çoklu kristal Si ve ince film amorf Si teknolojilerine sahip, her biri 2,2 kWp olan toplamda anlık 6,6 kWp güce sahip modüllerden meydana gelmektedir. Sistemiz Batman ilinde yer alan, şu an ismi Batman Gültepe Simya Koleji olan okulun çatısında (enlem: 37,921; boylam: 41,144) yer almaktadır.



Şekil 3.6. Batman Gültepe Simya Koleji çatısındaki PV sistemimiz

3.3.1. a-Si PV modüller

Çalışmamızın konusunu oluşturan ince film amorf silisyum modüller sistemimizde 24 adet bulunmaktadır. Alman menşeli Sunset firmasına ait SunOne As

90 kodlu a-Si modüllerin standart test koşullarındaki teknik verileri çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. a-Si modüllerin standart test koşullarında (STC) teknik verileri

Üretici Firma	Sunset
Kod	SunOne As 90
Teknoloji	İnce film amorf silisyum
Maksimum güç noktası $P_{max}(W)$	90
Maksimum güç noktasındaki akım $I_{mpp}(I)$	0,91
Maksimum güç noktasındaki gerilim $V_{mpp}(V)$	102
Kısa devre akımı $I_{sc}(A)$	1,15
Açık devre gerilim $V_{oc}(V)$	137
NOCT($^{\circ}C$)	50
Alan (m^2)	1,43
$\beta(\%/^{\circ}C)$	-0,34
$\alpha(\%/^{\circ}C)$	+0,04
$\gamma(\%/^{\circ}C)$	-0,02

3.3.2. Evirici

2,2 kWp güce sahip a-Si modüllerden oluşan PV sistemimizde üretilen gücün DC-AC dönüşümünü gerçekleştiren eviricimiz Sunset firmasına ait SunString 5000 modelidir (Şekil 3.7). Sistemde kullandığımız eviricinin bünyesinde:

- AC ve DC tarafında aşırı gerilim yakalayıcı
- 1-fazlı şebeke kontrolü
- Sıcaklık kontrolü
- Şebeke arızalarından korumak için EMW filtresi

bulunmaktadır.



Şekil 3.7. a-Si teknolojiye sahip PV sistemde kullanılan Sunset firmasına ait SunString 5000 eviricisi

Çizelge 3.3'te SunString 5000 eviricisine ait AC ve DC altındaki teknik verileri verilmiştir.

Çizelge 3.3. SunString 5000 eviricinin DC ve AC akımlar altında çalışma verileri

DC Akım Verileri		AC Akım Verileri	
Nominal Güç	500 W	Nominal Güç	4600 W
Minimum Çalışma Gerilimi	125 V	Minimum Performans	5060 W
Maksimum Çalışma Gerilimi	400 V	Çıkış Gerilimi	190-264 V
Tahrip Sınırı	500 V	Şebeke Frekansı	50 Hz
Maksimum Akım	43 A	Maksimum Şebeke Akımı	22 A
Minimum Önerilen Kablo Kesiti	4 mm	Nominal Performansta Klirr Faktörü	% 3
Gündüz Enerji Sarfıyatı	5 W	Maksimum Verimlilik	% 94,5
Gece Enerji Sarfıyatı	0 W	Euro Verimlilik	% 93,3

3.3.3. Veri kaydetme

Sistemin ürettiği güç değerleri 15'er dk süreler içerisinde Sunset firmasına ait SUNlog XL dataloggeri ile kaydedilmiştir (Şekil 3.8). SUNlog XL veri kaydedicisinin özellikleri:

- İşletme programı için 8 bit mikro kontrolör
- 128 Kbyte EEPROM (tamponlanmış)
- Veriler için 128 kbyte Ram (temel donanım)
- Çip üzerinde 8*10 – bit A/D dönüştürücü
- Tam zamanlı saat
- 2 seri kesit yeri RS232 portu
- 8 Analog giriş
- DIN 43 864'e göre SO kesit yeri olan 2 impuls girişi
- 0(4) – 20 mA aktif veya pasif bağlantı girişi



Şekil 3.8. Modüllerden elde edilen verileri kayıt altına alan SUNlog XL cihazı

Cihaz çalışır olduğu her an için aşağıdaki verileri kayıt altına almıştır:

- Sistem üzerinden şebekeye aktarılan güç (W)
- Sistemin aktif olduğu andan itibaren ürettiği toplam enerji miktarı (Wh)
- Aylık üretilen toplam güç (kWh)
- Anlık üretilen toplam güç (kWh)

3.3.4. Tasarım

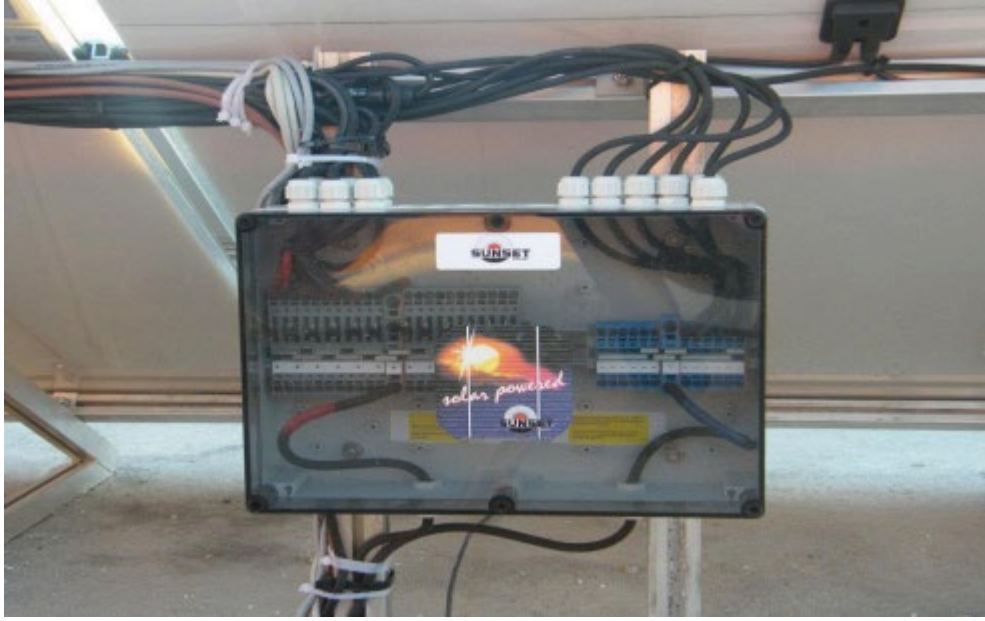
İnce film a-Si modüllerden oluşan PV sistemimiz (Şekil 3.9); 24 adet Sunset SunOne AS 90 modüllerden, üçerli seri halinde 8 adet dizi oluşturularak 2,160 kWp gücünde örgü elde edilmiştir.



Şekil 3.9. İnce film a-Si modüllerden oluşan PV sistemimiz

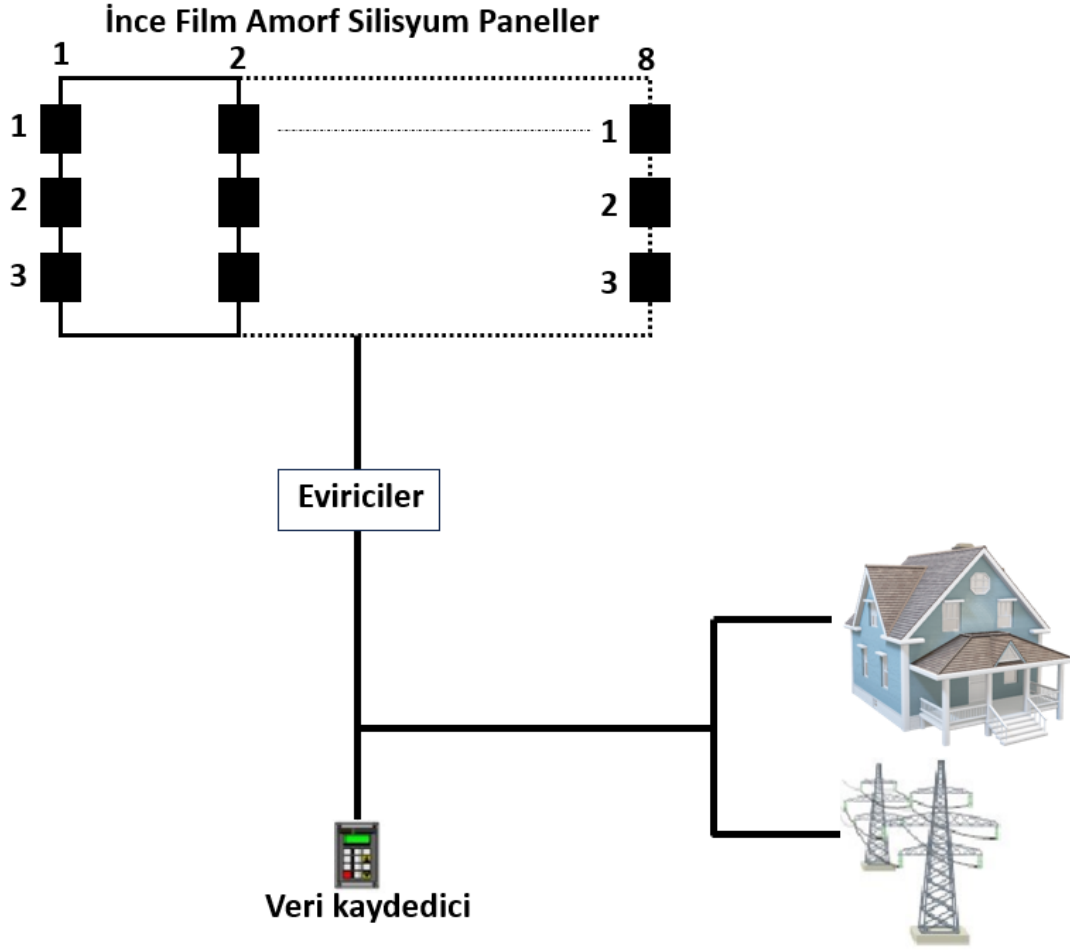
İnce film a-Si modüllerden oluşan PV sistemimiz için 5000 W'lık evirici tercih edilmiştir. Evirici tercihiinde ısı, nem ve benzeri olumsuz çevre şartlarından korunmak için evirici binanın bodrum katında Alternatif Akım panolarının hemen yanına kurulmuştur. Alternatif Akımı taşıyan kablolar $3 \times 4 \text{ mm}^2$ antigron kablo ile ana elektrik panosuna eklenmiştir. Elektronik cihazları korumak için Alternatif Akım kablolarına birer tane 25 Akımlık sigorta bağlanmıştır. Seçilen eviriciler en yüksek kapasite ile çalışması hedeflenmiş olup % 96'lık performansa kadar çıkabilecek duruma gelmesi için alüminyum soğutucu kasa tercih edilmiştir.

İnce film a-Si modüller 30 derecelik açı ile çatıya monte edilmiştir. Bu modüllerin doğru gerilimleri büyük olduğundan üçerli seri bağlanarak juntenbox kutusuna sabitlenmiştir. Ayrıca bu kutudan 6 mm kara solar kablolarla sistemin eviriciler ile birleştirilmiştir. Tercih edilen Doğru Akım kabloları RNF 07F Solar 6 m² çift izoleli 200 °C sıcaklığa dayanabilen alüminyum kablolardır. Bu kablolar bağlantı arasındaki mesafe artışında ısı ve enerji kaybını en aza indirir. Bu sistemde bir hat için 80 metrede bir kablo kullanılmıştır. Şekil 3.10’da kablo bağlantı kutusu verilmiştir.



Şekil 3.10. Kablo bağlantı kutusu

Elektronik cihazların etkilenmemesi için binanın topraklama sisteminden bağımsız olarak sistemin kendine ait topraklaması yapılmıştır. Tercih ettiğimiz eviriciler %96 performans ile çalışmaktadır. SunString 5000 model eviriciler gece saatlerinde kapatılmış olup alternatif bir kapatıcıya gerek duyulmamıştır. Tez çalışmamızda kullandığımız veriler Ocak 2014 ile Aralık 2023 aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.11’de ince film a-Si modüllerden oluşan PV sistemimizin tasarımı verilmiştir.



Şekil 3.11. İnce film a-Si modüllerden oluşan PV sistemimizin tasarımı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. Güneş Işınım Şiddeti ve Sıcaklık Değerleri

Batman ilinde Batman Üniversitesi Batı Raman Kampüsünün (37.79 enlem; 41.06 boylam) 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş; güneş ışıınım şiddeti ve sıcaklık değerleri teorik hesaplamalar için kullanılmıştır. Çizelge 4.1 ve 4.2’de piranometre ve sıcaklık sensörü vasıtalarıyla 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışıınım şiddeti ve aylık ortalama günlük sıcaklık değerleri verilmiştir.

Kurulu sistemimizde yer alan a-Si modüllerimiz 30° eğimli olarak sabitlenmiştir. Bu nedenle ölçülmüş yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışıınım şiddeti değerleri 30° eğim durumuna göre tekrar hesaplanarak çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Batman ilinde 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışınlam şiddeti değerleri (kWh/m².gün)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
OCAK	48,52	57,85	57,72	65,71	62,75	60,26	63,47	73,04	56,95	69,92
ŞUBAT	94,63	66,38	88,78	82,52	78,25	84,72	71,58	94,66	94,69	63,59
MART	120,56	114,25	129,97	119,55	110,18	110,40	109,54	129,50	107,15	100,96
NİSAN	166,85	178,25	185,51	174,52	187,1	146,43	164,21	184,21	178,65	160,42
MAYIS	200,58	218,88	204,70	210,25	202,54	224,65	213,01	236,54	215,89	217,55
HAZİRAN	230,62	231,71	234,75	236,45	241,57	236,62	242,67	257,61	243,21	247,25
TEMMUZ	236,09	248,77	244,45	249,45	251,48	255,02	237,51	250,71	256,74	248,54
AĞUSTOS	207,89	227,89	209,18	224,44	211,54	227,53	224,37	218,70	228,03	223,58
EYLÜL	160,21	166,40	174,40	170,12	174,62	184,50	173,68	187,21	182,67	178,14
EKİM	113,03	110,94	133,89	124,45	124,88	133,62	139,26	134,68	122,99	121,25
KASIM	67,98	90,07	93,06	82,25	87,52	95,74	74,75	76,46	67,55	87,54
ARALIK	40,04	77,41	53,27	52,55	41,62	46,85	56,72	57,90	58,46	67,25

Çizelge 4.2. Batman ilinde 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş ortalama sıcaklık değerleri (°C)

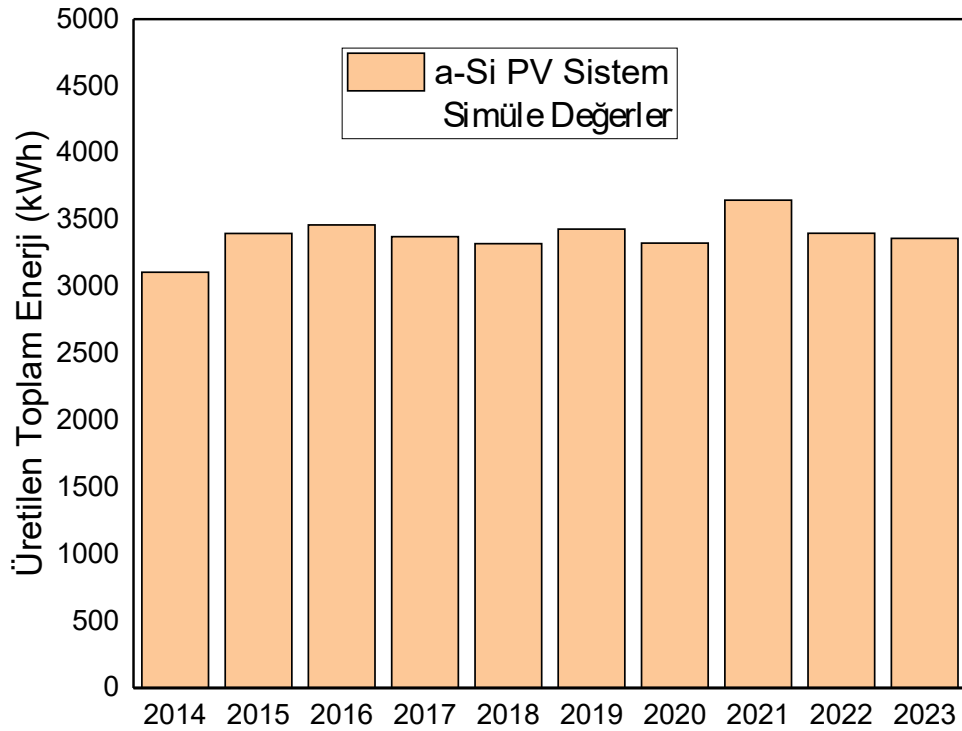
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
OCAK	2,8	3,2	1,8	2,6	3,8	5,1	4,4	5,3	4,5	4,8
ŞUBAT	6,3	5,1	8,8	7,2	8,4	6,4	4,5	8,2	9,2	3,1
MART	10,7	10,6	11,1	11,3	15,5	9,1	11,9	9,7	7,7	14,3
NİSAN	15,3	14,9	16,6	15,8	17	12,9	14,7	17,8	19,5	16,9
MAYIS	20,3	20,7	20,9	20,1	18,2	21,8	20,5	24,4	20,7	21,2
HAZİRAN	28,2	27,6	27,2	27,9	27,6	29,8	27,2	28,5	30,2	29,6
TEMMUZ	33,2	32,2	31,8	32,4	31,9	30,6	31,7	32,6	33,1	33,3
AĞUSTOS	33,1	32	32,9	32,1	32,3	31,7	30,4	31,8	33,5	32,8
EYLÜL	28,8	28,8	25,6	26,9	27,7	26,4	28,7	26,2	28,8	28,9
EKİM	21,7	20,2	20,2	21,2	20,8	21,2	21,1	20,7	22,3	22,9
KASIM	11,8	11,2	9,7	11,2	10,9	11,3	12	13,4	12,4	12,7
ARALIK	6,5	4,8	3,8	5,6	8	8,3	5,7	6,1	7,6	8,3

Çizelge 4.3. Batman ilinde 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş yatay yüzeye gelen aylık ortalama günlük güneş ışıma şiddeti değerlerinin 30° eğime göre şiddet değerleri (kWh/m².gün)

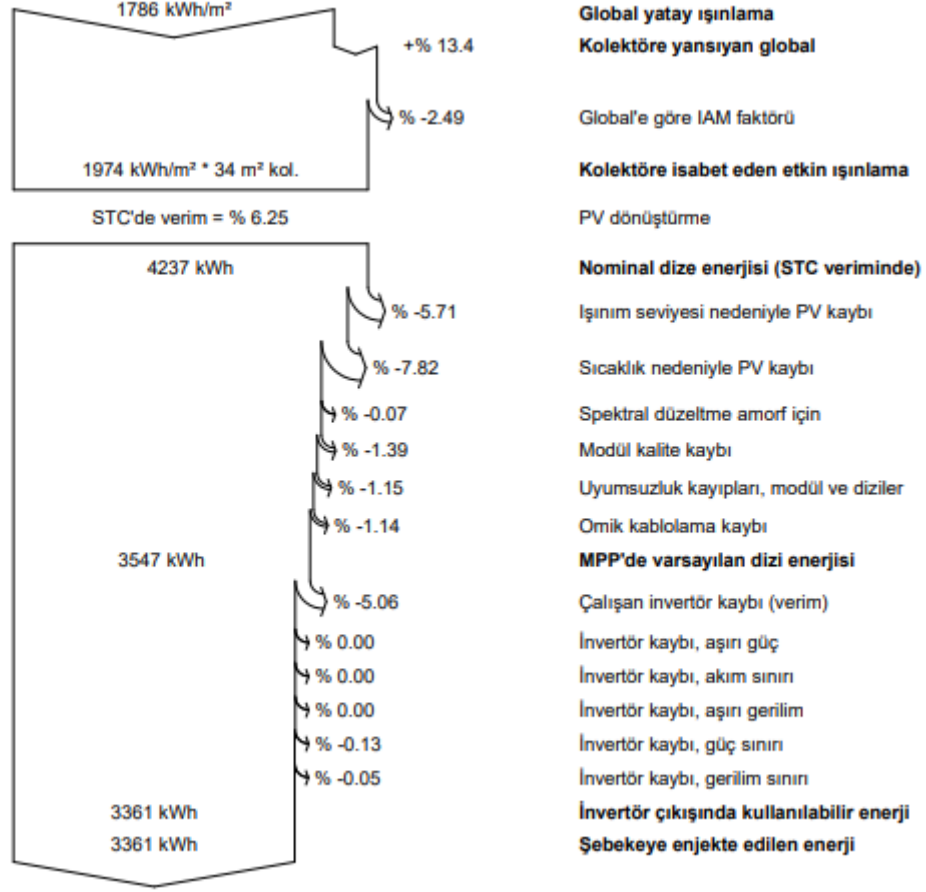
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
OCAK	69,1	87,7	87,5	99,9	92,5	88,4	94	116,5	85,9	108,2
ŞUBAT	134,5	84,8	122	111,6	103,7	117,9	93,8	133,5	134,6	79,1
MART	143,1	132,7	156,4	140,3	128,5	131,1	126,9	157,1	124,3	117,4
NİSAN	180	195,4	203,7	189,7	205,7	156,8	177	201,9	195,1	172,1
MAYIS	198	216,5	201,8	206,3	199,4	222	209,8	233,8	213	215
HAZİRAN	216,9	217,2	220,1	221,4	226,2	222	226,8	239,6	227,5	230,9
TEMMUZ	226,7	237,7	234,4	238,6	240,4	243,5	226,6	239,8	245,4	237,5
AĞUSTOS	217,4	239,8	218,7	235,8	221,6	239,4	235,7	229,4	239,3	235,1
EYLÜL	187,7	197,8	208,2	200,7	208,9	222,3	208,1	225,8	220,1	213,9
EKİM	149,6	147,6	186,9	169,4	171,8	186,3	197	188,7	165,9	163,3
KASIM	98,5	144,3	151,5	130,6	138,4	156,2	111,9	119	99	140
ARALIK	56,1	135,5	79,5	78,8	58,9	67,8	87,2	92,4	93,3	112,2

4.2. Simülasyon Analizleri

PVsyst 7.4 yazılımı ile a-Si modüllerden oluşmuş sistemimiz simüle edilerek çıktı değerleri elde edilmiştir. Yazılım arayüzüne PV sistemimizi oluşturan a-Si teknolojisine sahip SunOne AS 90 modülümüzün teknik değerleri aktarılmıştır. Yine aynı şekilde sistem elemanlarımızdan SunString 5000 eviricimizin teknik değer aktarımı da gerçekleştirilmiştir. Sistem kurulumuzda olduğu gibi modüller üçerli seri halinde 8 adet dizi oluşturularak 2,160 kWp gücünde örgü elde edilmiştir. Şekil 4.1’de ölçülmüş güneş ışınım ve ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak, PVsyst 7.4 yazılımı ile 2014-2023 yılları arasında sistemimizin üretebileceği toplam enerji miktarı değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi sistemimizin yıllık üretebileceği beklenen toplam enerji miktarı değeri 3108,2 kWh ile 3647 kWh arasında değişmektedir.



Şekil 4.1. Ölçülmüş güneş ışınım ve ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak, PVsyst 7.4 yazılımı ile 2014-2023 yılları arasında simüle edilerek hesaplanmış toplam enerji değerleri



Şekil 4.2. PVsyst 7.4 yazılımı ile analiz edilerek hesaplanmış 2023 yılına ait sistemimizin enerji kayıpları

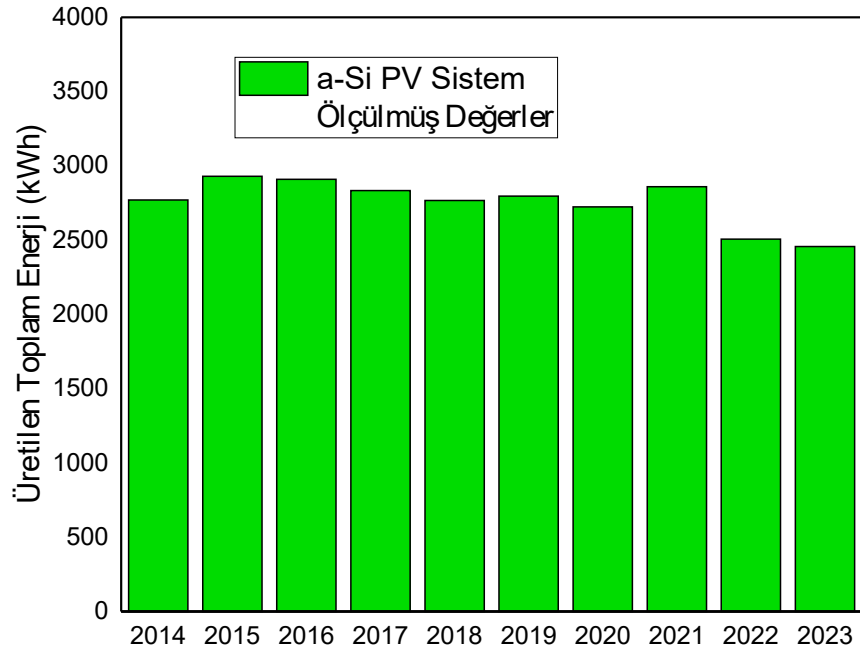
Şekil 4.1'de PVsyst 7.4 yazılımı ile analiz edilerek hesaplanmış çıktı değerleri kayıplar göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi PVsyst 7.4 yazılımı analiz edilerek hesaplanmış 2023 yılına ait sistemimizin enerji kayıpları:

- Globale göre IAM faktörü
- Işınım seviyesi nedeniyle PV kaybı
- Sıcaklık nedeniyle PV kaybı
- Amorf için spektral düzeltme
- Modül kalite kaybı
- Modül ve dizilerde uyumsuzluk kayıpları
- Omik kablolama kaybı
- Çalışan evirici kaybı (verim)
- Evirici kaybı (güç sınırı)
- Evirici kaybı (gerilim sınırı)

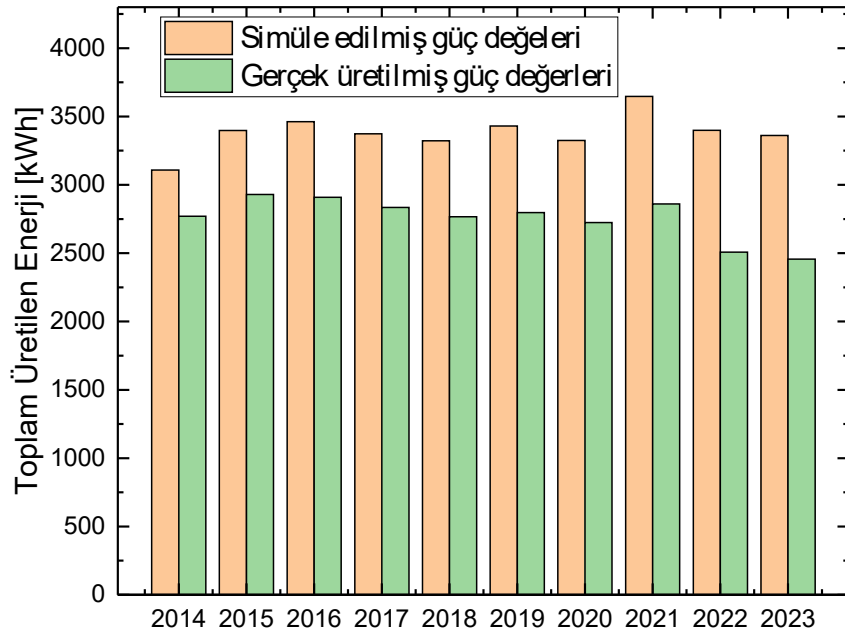
faktörleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Görüldüğü gibi sistemimizin 2023 yılına ait üretmesi gereken enerji değeri 4237 kWh olması gerekirken; yaklaşık % 23 gibi kayıplar da göz önüne alınarak 3361 kWh olarak analiz edilmiştir.

4.3. Sistem Sonuçları

Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modül teknolojisinden oluşan sistemimizin 2014-2023 yılları arasında ölçülen aylık güç değerleri şekil 4.3'te verilmiştir. Görüldüğü gibi yıllara göre üretilen güç değeri 2456,9-2934,2 kWh arasında değişmektedir. Şekil 4.4'de 2014-2023 yılları arasında simüle edilmiş ve ölçülmüş değerler birlikte verilmiştir. Şekil 4.4 dikkatlice incelenirse, yıllık simüle edilmiş ve ölçülmüş gerçek güç değerleri arasında fark vardır. Bunun nedeni simüle edilmiş değerleri ilave olarak daha fazla kayıpların yaşanmasıdır. Örneğin sistemimizde kullanılan kablo uzunlukların fazla olması, belli günlerde modül yüzeylerin kirli olması ve ortam gölgelemelerinin farklı olması gibi etmenleri sıralayabiliriz. Dikkat çeken önemli bir diğer husus ise son yıllarda aradaki farkın belirli bir şekilde artmasıdır. Bunun nedeni de belli süre geçtikçe modülümüz yaşlanmaktadır. Yazılım ile gerçekleştirilen işlemlerde bu husus dikkate alınmamaktadır.



Şekil 4.3. 2014-2023 yılları arasında ölçülmüş a-Si PV sistemimizin ürettiği toplam enerji değerleri



Şekil 4.4. Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modül teknolojisiinden oluşan sistemimizin 2014-2023 yılları arasında simüle edilmiş ve gerçekte üretilen enerji değerleri

4.4. Performans Değerlendirmeleri

Aylık üretilen enerji denklemi;

$$E_{AC,m} = \int_0^{t_s} P_{AC} \cdot dt \quad (4.1)$$

ile verilir. Burada t_s entegrasyon süresi, dt zaman ve P_{AC} sistemin AC elektrik gücü değeridir (Başoğlu ve ark., 2015). Anlık sistem verimliliği ($n_{syst,inst}$) önemli bir parametredir. PV modüllerin boyutuna bağlı bir metrekarelik alan için güç dönüşüm verimi, AC güç (P_{AC}) ve güneş ışıınım (G_{opt}) şiddeti şeklinde

$$n_{syst,inst} = \frac{P_{AC,inst}}{S \times G_{opt}} (\%) \quad (4.2)$$

şeklinde verilir. $P_{AC,inst}$ evirici çıkış gücü, G_{opt} anlık güneş ışıınım şiddeti değeri (W/m^2) ve S amorf modül dizilerinin alanını vermektedir (m^2). Sistem verimini ayrıca sistem tarafından aylık süreler için PV yüzey oranına yansıyan radyasyon ışıınıma göre üretilen enerji şeklinde de yazabiliriz.

$$n_{syst,m} = \frac{E_{AC,m}}{S \times G_{opt,m}} (\%) \quad (4.3)$$

Burada da $E_{AC,m}$ sistem tarafından şebekeye aktarılan aylık güç miktarını ve $G_{opt,m}$ panel yüzeyine yansıyan aylık ışıınım miktarını vermektedir (kWh/m^2).

Şebekeye bağlı PV sistemimiz için Y_R (reference yield), normalize edilmiş örgü yüzeyinin birim alanına düşen ışıınım enerjisinin G_{opt} (kWh/m^2), tanımlı olan STC koşullarında birim alandaki ışıınıma G_{STC} (W/m^2) normalize edilmesi olarak tanımlanır (Kymakis ve ark., 2009):

$$Y_R = \frac{G_{opt}}{G_{STC}} \quad (4.4)$$

Bu ifadenin birimi “ kWh/kWp ” dir. Normalize edilmiş PV sistemimizin enerji üretimi Y_f ise, PV örgülerden elde edilen enerjinin evirici tarafından AC enerjiye dönüştürülmesinden sonra çıkan enerji değerin E_{AC} , STC koşulları altında verilen PV örgülerin kurulu güç değerine P_{STC} normalize edilmesi ile hesaplanır (Theristis ve ark., 2008):

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_{STC}} \quad (4.5)$$

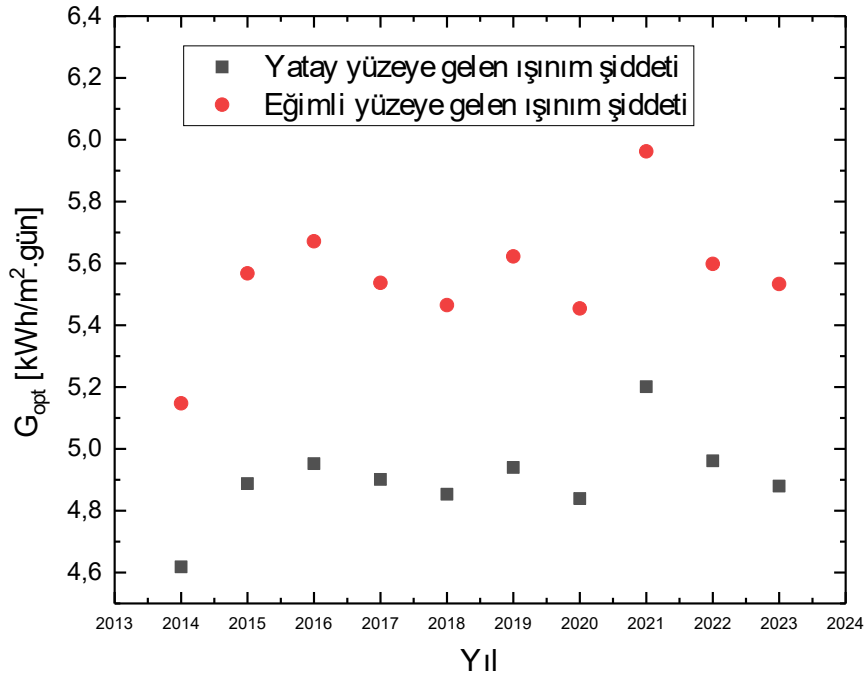
Yine aynı şekilde bu ifadedeki normalize edilmiş sistem enerji üretiminin birimi “ kWh/kWp ” dir. Normalize edilmiş PV sistemimizin enerji üretiminin, normalize edilmiş PV örgü yüzeyi üzerine düşen ışınlam enerjisine oranı olarak tanımlanan sistem performans oranı PR (Kymakes ve ark., 2009; Ayompe ve ark., 2011; Adaramola ve Vagnes, 2015; ; Theristis ve ark., 2018);

$$PR = \frac{Y_f}{Y_R} (\%) \quad (4.6)$$

ile ifade edilir.

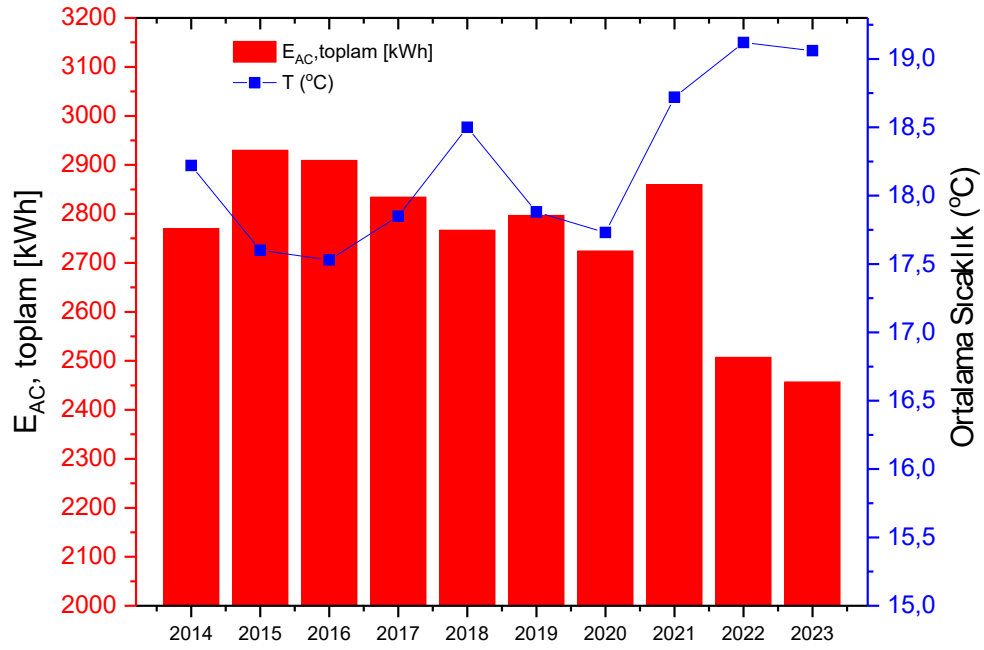
Batman ilinde kurulu 2,160 kWp güç değerine sahip a-Si modüllerinden oluşan sistemimizin 2014-2023 yılları arasındaki sistem performansını analiz etmek ve değerlendirmek için bazı önemli parametreler bu süre zarfında toplanan veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu parametreler; PV sistemimizin ürettiği toplam enerji E_{AC} , aylık ve yıllık sistem verimliliği $n_{sys,m} - n_{sys,y}$, performans oranı PR ve IEC 61724:1998 standartlarında tanımlanan kapasite faktörü CF vs.

Şekil 4.5’te yıllara göre günlük ölçülmüş yatay ve hesaplanan eğimli yüzeye (30°) gelen ışınlam değerleri verilmiştir. Buna göre 2013-2024 yılları arasında ölçülmüş günlük yatay düzleme gelen toplam ışınlam miktarı $4,61 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ ile $5,20 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ arasında, hesaplanan 30° eğimli yüzeye gelen toplam ışınlam miktarı da $5,14 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ ile $5,96 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ olarak bulunmuştur.

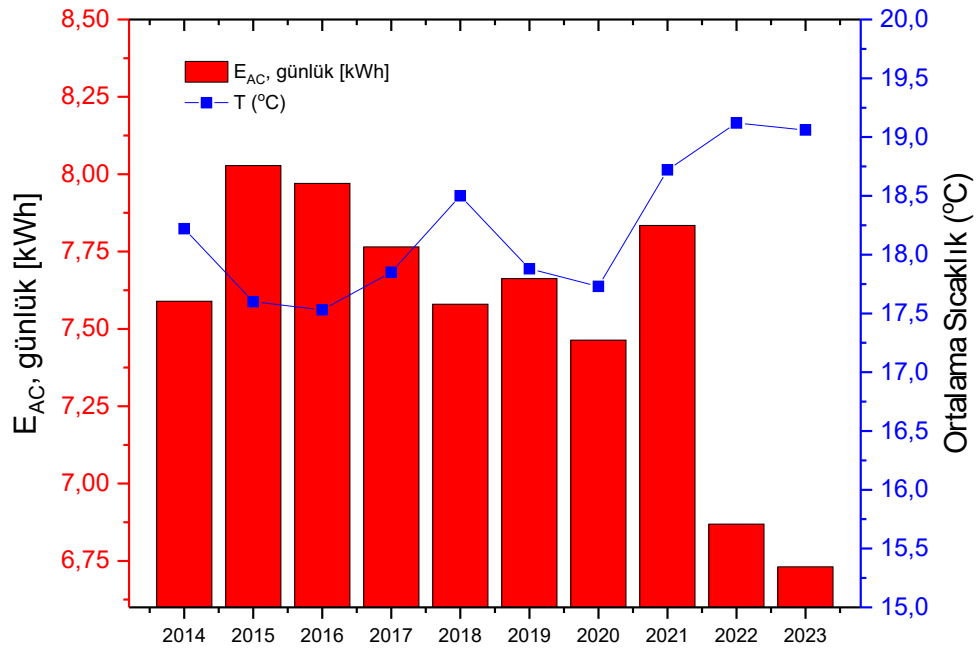


Şekil 4.5. Yıllara göre günlük ölçülmüş yatay ve hesaplanan eğimli yüzeye (30°) gelen ışınlm değerleri

Şekil 4.6’da 2014-2023 yılları arasında sistemimizde evirici tarafından ölçülmüş aylık toplam güç değerleri ve ortalama günlük sıcaklık değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, ilk yıllarda ortalama günlük sıcaklık değerleri düşük değerde iken sistemimizin ürettiği toplam güç miktarı daha yüksek çıkmıştır. Son yıllarda ise ortalama günlük ortam sıcaklığının arttığı görülmektedir. Yine son iki yılda sistemimizin ürettiği toplam enerji miktarında düşüş gerçekleşmiştir. Tabi bunda sadece ortam sıcaklığı değil, yıllar geçtikçe modüllerimizde yaşlanmaya tabi olarak verimlilik düşmesi gerçekleşmiştir.



Şekil 4.6. Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimizin 2014-2023 yılları arasında ürettiği yıllık toplam güç miktarları ve ortalama günlük sıcaklık değerleri

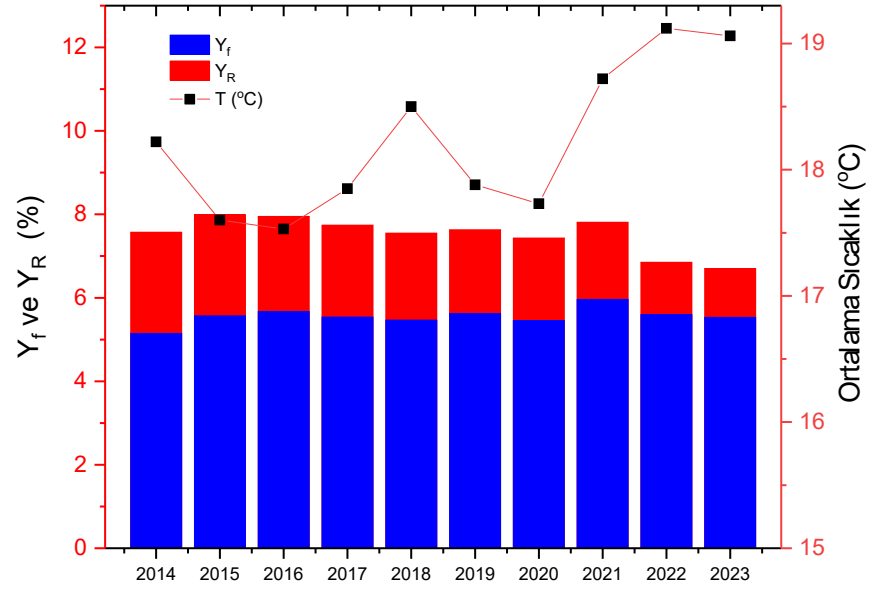


Şekil 4.7. Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimizin 2014-2023 yılları arasında ürettiği günlük toplam güç miktarları ve ortalama günlük sıcaklık değerleri

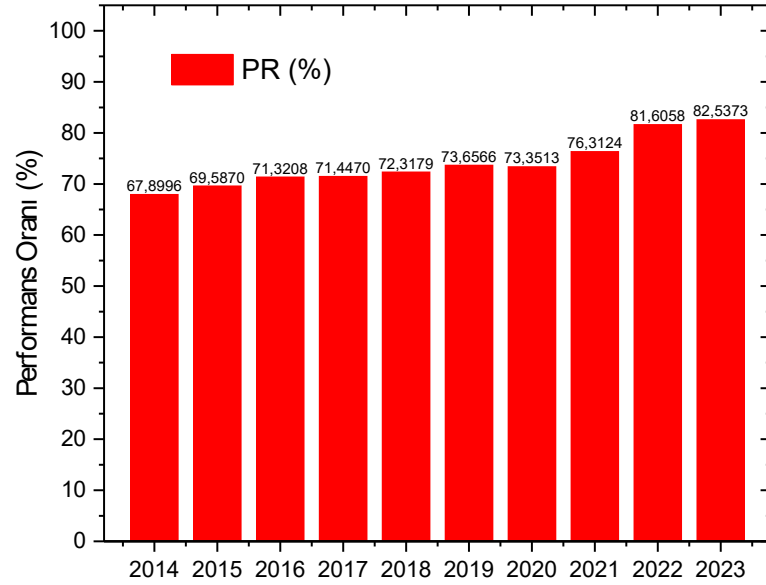
Çizelge 4.4'te PV sistemimizin 2014-2023 yılları arasındaki aylık toplam üretilen güç değerleri dikkate alınarak eşitlik (4.3) vasıtasıyla verimlilik oranları hesaplanmıştır. a-Si modüllerimizin verimlilik oranları % 6,25 oranlarında olmasına rağmen çıktılardan hesapladığımız verim oranları % 3,20-5,13 arasında değişmektedir. Yine aylara ve yıllara göre incelenirse, son iki yılda verimde düşme yaşanmıştır. Şekil 4.7'ta analizlenmiş Y_f ve Y_R değerleri verilmiştir. Analizlenen bu değerler yardımıyla a-Si modüllerden oluşmuş PV sistemimizin 2014-2023 yıllarına ait performans oran değerlendirmeleri şekil 4.8'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Batman ilinde 2,160 kWp güce sahip a-Si modüllerinden oluşan PV sistemimizin verimlilik oranları (%)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
OCAK	4,78	4,28	4,33	4,25	4,48	3,64	4,21	4,47	3,43	3,93
ŞUBAT	4,59	4,32	4,63	4,83	4,56	4,16	4,19	4,24	4,01	4,74
MART	4,53	4,86	4,49	4,53	4,55	4,34	4,35	4,34	4,27	3,62
NİSAN	4,59	4,61	4,45	4,37	4,07	4,44	4,61	3,96	3,91	3,80
MAYIS	4,64	4,47	4,23	4,22	4,12	3,79	3,72	4,19	3,63	4,14
HAZİRAN	4,66	4,67	4,70	4,52	4,55	4,44	4,32	4,24	4,17	3,95
TEMMUZ	4,85	4,78	4,50	4,55	4,58	4,79	4,72	4,67	4,04	4,06
AĞUSTOS	4,93	4,93	4,98	4,66	4,71	4,75	4,57	4,37	4,23	4,13
EYLÜL	4,57	4,64	4,56	4,41	4,64	4,71	4,69	4,16	3,75	3,72
EKİM	5,02	5,13	4,35	4,71	4,50	4,19	3,85	3,68	4,08	3,90
KASIM	5,03	4,15	4,07	4,47	4,08	3,99	4,81	4,24	3,72	3,25
ARALIK	4,51	3,91	4,53	4,20	4,29	4,52	4,52	3,69	3,33	3,29



Şekil 4.8. Yıllara göre PV sistemimizin analizlenmiş Y_f ve Y_R değerleri



Şekil 4.9. Yıllara göre PV sistemimizin performans oranları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Batman ilinde kurulu amorf silisyum modüllerinden oluşan 2,160 kWp kurulu güce sahip fotovoltaik (PV) sistemin 2014-2023 yılları arasındaki aylık toplam güç üretimleri karşılaştırılarak sistemin performans değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 2014-2023 yılları arasında Batman ilinde anlık olarak piranometre vasıtasıyla yatay düzleme gelen güneş ışınımı şiddeti ve sıcaklık sensörü vasıtasıyla da ortam sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Yatay düzleme gelen ışınım değerleri kurulu modüllerimizin eğim açısı olan 30° kullanılarak eğimli düzlem için güneş ışınım değerleri düzenlenmiştir. Buna göre 2013-2024 yılları arasında ölçülmüş günlük yatay düzleme gelen toplam ışınım miktarı $4,61 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ ile $5,20 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ arasında, hesaplanan 30° eğimli yüzeye gelen toplam ışınım miktarı da $5,14 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ ile $5,96 \text{ kWh/m}^2.\text{gün}$ olarak bulunmuştur.

Değerlendirmemizin ilk aşaması PvSyst 7.40 yazılı kullanılarak eldeki veriler yardımıyla simülasyon çalışmasından oluşmuştur. Kurulu PV sistemimizdeki SunOne AS 90 modül ve Sunstring 5000 evirici teknik özellikleri yazılıma entegre edilmiştir. Kurulu sistemimizde olduğu gibi diziler oluşturulmuş ve ölçülmüş olan güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerleri de yazılıma entegre edilerek sistemin 2014-2023 yılları arasında üretebileceği aylık toplam güç değerleri simüle edilmiştir. Sistemimizin yıllık üretebileceği beklenen toplam enerji miktarı değeri $3108,2 \text{ kWh}$ ile 3647 kWh arasında değişmektedir. Pvsyst 7.4 yazılımı ile analiz edilerek hesaplanmış çıktı değerleri; ışınım seviyesi nedeniyle kayıp, sıcaklık nedeniyle kayıp, spektral düzeltme, modül kalite kaybı, modül ve dizilerde uyumsuzluk kayıpları, omik kablolama kaybı, çalışan evirici kaybı (verim) gibi etmenler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yazılımımız yaklaşık % 23 gibi kayıpları göz önüne alarak analizi gerçekleştirmiştir.

PV sistemimizin yıllara göre üretilen güç değerleri ise $2456,9\text{-}2934,2 \text{ kWh}$ arasında değişmektedir. Yıllık simüle edilmiş değerler ile ölçülmüş gerçek güç değerleri arasında farklar göze çarpmaktadır. Bunun nedenini de simüle edilmiş değerlere ilave olarak daha fazla kayıpların yaşanmasıdır. Örneğin sistemimizde kullanılan kablo uzunlukların fazla olması, belli günlerde modül yüzeylerin kirli olması ve ortam gölgelemelerinin farklı olması gibi etmenleri sıralayabiliriz. Bir diğer önemli husus ise modüllerimizin gerçekte her yıl yaşlanmasına bağlı olarak verimliliğinde düşme meydana gelecek olmasıdır. Amorf silisyum (a-Si) modülleri ticari olarak ilk kez ortaya

çıktığında, ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı (NREL) bozulma raporlamasını sundu. Bu bozulma oranı % 1,0/yıl'dan oldukça yüksekti (Hacke ve ark., 2012). Diğer raporlamalarda da küçük (<10 kWp) PV kurulumlarında bozulmalar tespit edildi ve bunun yıllık bozulma oranlarının % 0,8 ile % 1,25/yıl olduğu raporlandı (Jordan ve ark., 2015; Halwachs ve ark., 2019). Bununla birlikte bozulma oranlarla ilgili ülkeler ve kıtalar bazında da çeşitli raporlamalar yapılmıştır. Avrupa'da; İspanya ve İtalya'daki yıllık bozulma oranının % 0,8 ve % 1,1/yıl (Manganiello ve ark., 2015; Kichou ve ark., 2016; Mir-Artigues ve ark., 2018), Almanya'da % 0,5 ile % 0,7/yıl arasında (Quansah ve ark., 2017; Camus ve ark., 2019), Yunanistan'da % 0,9 ile % 1,13/yıl arasında (Naxakis ve ark., 2017) ve son olarak Polonya'da % 0,9/yıl'dan (Pietruszko ve ark., 2009) olduğu raporlanmıştır. PV sistemimizin ürettiği yıllık güç değerleri dikkate alınırsa son yıllarda düşüş olduğu görülmektedir. Bu da modüllerdeki yaşlanma ile açıklanabilir. Çünkü ışınlam, sıcaklık ve üretilen güç değerleri birlikte yorumlanırsa, ancak modüllerin yaşlanmasıyla bozulmanın olduğu görülecektir.

Kurulu sistemimizin ayrıca 2014-2023 yılları arasındaki sistem performansını analiz etmek ve değerlendirmek için sistemimizin ürettiği toplam enerji E_{AC} , aylık ve yıllık sistem verimliliği $n_{sys,m} - n_{sys,y}$ ve performans oranı PR gibi faktörler de analiz edilmiştir. PV sistemimizin 2014-2023 yılları arasındaki aylık toplam üretilen güç değerleri dikkate alınarak eşitlik (4.3) vasıtasıyla verimlilik oranları hesaplanmıştır. a-Si modüllerimizin verimlilik oranları % 6,25 oranlarında olmasına rağmen çıktılardan hesapladığımız verim oranları % 3,20-5,13 arasında değiştiği gözlenmiştir. Yine aylara ve yıllara göre incelenirse, son iki yılda verimde düşme yaşanmıştır. Bu da modüllerde bozulmaların arttığı, yani yaşlanmaların olduğunu göstermektedir. Yine analizlenmiş Y_f ve Y_R değerleri hesaplanmıştır. verilmiştir. Analizlenen bu değerler yardımıyla a-Si modüllerden oluşmuş PV sistemimizin 2014-2023 yıllarına ait performans oran değerlendirmeleri şekil 4.7'te verilmiştir. Performans oran değerlerinin % 67-81 arasında değiştiği görülmektedir.

Sonuç olarak sistemimizin performans değerlendirmesi yapmış olmamıza rağmen bazı eksikliklerimiz mevcuttur. Buna göre:

- Bu çalışmada gerçekleştirilen analiz sistem düzeyinde kalmıştır ve bireysel bileşenlerin performansı dahil, DC güç çıktılarının da dikkate alınması yararlı olacaktır. Yani her bir bileşenin sistemin genel performansı üzerindeki etkisini analiz etmek yararlı olacaktır.

- Piranometremizin ve sıcaklık sensörümüzün bulunduğu konum farklılıklara sebep olabilir. Bir diğer nokta modül sıcaklıklarını çalışmamıza dahil etmedik. Bundan sonraki süreçte bu değerleri de analizlere dahil ederek çıktıları yorumlayabiliriz.

KAYNAKLAR

- Ardağ, Yasin., 2012, Güneş pili karakteristiklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 15.
- Camus, C.; Adegbenro, A.; Ermer, J.; Suryaprakash, V.; Hauch, J.; Brabec, C.J., 2019, Influence of pre-existing damages on the degradation behavior of crystalline silicon photovoltaic modules, *J. Renew. Sustain. Energy*, 10, 021004. [CrossRef]
- E. Kymakis, S. Kalykakis, et T. M. Papazoglou, 2009, Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete, *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no 3, p. 433-438.
- Hacke, P.; Smith, R.; Terwilliger, K.; Glick, S.; Jordan, D.; Johnston, S.; Kempe, M.; Kurtz, S., 2012, Testing and analysis for lifetime prediction of crystalline silicon PV modules undergoing degradation by system voltage stress, *In Proceedings of the IEEE 38th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) PART 2*, Austin, TX, USA, 3–8, pp. 1–8.
- Halwachs, M.; Neumaier, L.; Vollert, N.; Maul, L.; Dimitriadis, S.; Voronko, Y.; Eder, G.C.; Omazic, A.; Mühleisen, W.; Hirschl, C., 2019, Statistical evaluation of PV system performance and failure data among different climate zones, *Renew. Energy*, 139, 1040–1060. [CrossRef]
- Haydaroğlu, C.& Gümüş, B., 2016, Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(3), 492.
- Hegedus S. S., Luque A., 2003. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Status, Trends, Challenges and Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics, Institute of Energy Conversion, *University of Delaware, Newark, Delaware, USA*, 11-15.
- Jordan, D.C.; Sekulic, B.; Marion, B.; Kurtz, S.R., 2015, Performance and aging of a 20-year-old silicon PV system. *IEEE J. Photovolt.*, 5, 744–751. [CrossRef]
- L. M. Ayompe, A. Duffy, S. J. McCormack, et M. Conlon, 2011, Measured performance of a 1.72kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland, *Energy Convers. Manag.*, vol. 52, no 2, p. 816-825.
- Kichou, S.; Abaslioglu, E.; Silvestre, S.; Nofuentes, G.; Torres-Ramírez, M., 2016, Chouder, A. Study of degradation and evaluation of model parameters of micromorph silicon photovoltaic modules under outdoor long term exposure in Jaén, Spain. *Energy Convers. Manag.*, 120, 109–119. [CrossRef]
- M. S. Adaramola et E. E. T. Vågnes, 2015, Preliminary assessment of a small-scale rooftop PV-grid tied in Norwegian climatic conditions, *Energy Convers. Manag.*, vol. 90, p. 458-465.

M. Theristis, V. Venizelou, G. Makrides, et G. E. Georghiou, 2018, Chapter II-1-B - Energy Yield in Photovoltaic Systems, in *McEvoy's Handbook of Photovoltaics (Third Edition)*, S. A. Kalogirou, Éd. Academic Press, p. 671-713

Manganiello, P.; Balato, M.; Vitelli, M. A, 2015, Survey on mismatching and aging of PV modules: The closed loop. *IEEE Trans. Ind. Electron*, 62, 7276–7286. [CrossRef]

Mir-Artigues, P.; Cerdá, E.; Del Río, P., 2018, Analysing the economic impact of the new renewable electricity support scheme on solar PV plants in Spain. *Energy Policy*, 114, 323–331. [CrossRef]

Naxakis, I.; Christodoulou, C.; Perraki, V.; Pyrgioti, E., 2017, Degradation effects on single crystalline silicon photovoltaic modules subjected to high impulse-voltages, *IET Sci. Meas. Technol.*, 11, 563–570. [CrossRef]

Öztürker, H., 2016, Batman'da farklı teknolojilere sahip fotovoltaiik modüllerin performans karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü*, Batman, 5-11.

Pakma, O., 2018, Batman ilindeki ince film a-Si teknolojili fotovoltaiik sistemin performans değerlendirmesi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (1), 236.

Pastuszak, J., Wegierek, P., 2022, Photovoltaic Cell Generations and Current Research Directions for Their Development, *Materials*, 15 (5542), 3-4.

Pietruszko, S.M.; Fetlinski, B.; Bialecki, M., 2009, Analysis of the performance of grid connected photovoltaic system. In *Proceedings of the 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Philadelphia, PA, USA, 7–12; pp. 48–51

Şağban, M., 2014, Pürüzlü cam üzerine büyütülmüş n-tipi mikrokristal silisyum malzemelerde saf su ve ışık ile yaratılan metastabilite etkilerinin foto iletkenlik yöntemleri ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 2.

Varınca, K.B.& Gönüllü, M.T., 2006. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, ss.273.

Quansah, D.; Adaramola, M.; Takyi, G.; Edwin, I., 2017, Reliability and degradation of solar PV modules—case study of 19-year-old polycrystalline modules in Ghana. *Technologies*, 5, 22. [CrossRef]

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Süleyman AKÇAY
Uyruğu : T.C

EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
Üniversite	Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi	2010
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi Devam Ediyor	
Doktora		

İŞ DENEYİMLERİ

Kurum	Görevi	Yıl
Midyat Kız Anadolu İmamhatip Lisesi	Öğretmen	2011

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

YAYINLAR