



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

**10 KW'LIK ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMİN
MODELLENMESİ VE GERÇEK ÜRETİM VERİLERİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BARIŞ ALAÇAM

AĞUSTOS

BARIŞ ALAÇAM

**YENİLENEBİLİR ENERJİ VE
UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

AĞUSTOS 2022

**10 KW’LIK ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMİN MODELLENMESİ
VE GERÇEK ÜRETİM VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Barış ALAÇAM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ VE UYGULAMALARI ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Hatice VURAL

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2022

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Barış ALAÇAM tarafından hazırlanan “10 kW’lık Çatı Tipi Fotovoltaik Bir Sistemin Modellenmesi Ve Gerçek Üretim Verileri İle Karşılaştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hatice VURAL

Elektronik Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan: Doç. Dr. Ömer TAMER

Atom ve Molekül Fizik Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Merve ŞEN KURT

Elektrik Makineleri Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 29/08/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bariş ALAÇAM

25.07.2022

10 KW’LIK ÇATI TİPİ FOTOVOLTAİK BİR SİSTEMİN MODELLENMESİ VE
GERÇEK ÜRETİM VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisan Tezi)

Barış ALAÇAM

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Amasya ili Gümüşhacıköy ilçesinde bulunan bir okul yemekhane çatısı üzerine kurulmuş olan 10 kWp kurulu güce sahip bir fotovoltaik sistem, PVsyst V7.1.0 DEMO yazılımı ve PVSOL Premium 2022 DEMO yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Sistemin gerçek elektrik üretim verileri ile kullanılan yazılımlardan hesaplanan üretim verileri karşılaştırılmıştır. 2021 yılı için bu fotovoltaik sistemin gerçek toplam elektrik üretim değeri 12 473 kWh olarak belirlenirken, bu değer PVsyst yazılımı kullanarak 12 912 kWh ve PVSOL yazılımı kullanarak 13 556 kWh olarak elde edilmiştir. PVsyst yazılımı ile tahmin edilen üretim değeri ile gerçek üretim değeri arasında % 3,40 fark oluşurken, PVSOL ile yapılan simülasyon sonucu tahmin edilen üretim değeri ile sistemin gerçek üretim değeri arasında %7,99 fark olduğu belirlenmiştir. Sistemin PVSOL Premium 2022 DEMO yazılımı kullanılarak yapılan analiz sonuçları ile PVsyst V7.1.0 DEMO yazılımından elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında iki farklı simülasyon yazılımı ile yapılan üretim tahminlerinden PVsyst yazılımının gerçek üretim değerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Her iki yazılımda da fotovoltaik sistemin 2021 yılında ürettiği gerçek elektrik değerinden daha fazla üretim değeri öngörülmüştür. Ayrıca bu çalışmada yazılımlardan elde edilen sonuçlar ile gerçek üretim verileri arasındaki farklılıkların nedenleri tartışılmıştır.

Sayfa Adedi : 99
Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik Sistem, Güneş Enerjisi, PVsyst, PVSOL, Simülasyon
Danışman : Doç. Dr. Hatice VURAL

MODELING OF A 10 KW ROOFTOP PHOTOVOLTAIC SYSTEM AND
COMPARISON WITH REAL PRODUCTION DATA

(M. Sc. Thesis)

Bariş ALAÇAM

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2022

ABSTRACT

In this thesis, a photovoltaic system with an installed power of 10 kWp, which was built on the roof of a school cafeteria in Gümüşhacıköy district of Amasya, was modeled using the PVsyst V7.1.0 DEMO software and PVSOL Premium 2022 DEMO software. The real-life data of the system and the production data calculated from the software used were compared. While the actual total electricity production data of this photovoltaic system for 2021 was determined as 12 473 kWh, this value was obtained as 12 912 kWh using PVsyst software and 13 556 kWh using PVSOL software. While there was a 3.40% difference between the estimated production value and the actual production value with the PVsyst software, it was determined that there was a 7.99% difference between the estimated production value and the actual production value of the system as a result of the simulation made with PVSOL. In addition, the analysis results of the system using the PVSOL Premium 2022 DEMO software were compared with the results obtained from the PVsyst V7.1.0 DEMO software. From the production estimates made with two different simulation software, it was seen that the PVsyst software gave results closer to the real-life data. In both software, the production value is more than the real electricity produced by the photovoltaic system in 2021. In addition, the reasons for the differences between the results obtained from the software and the real-life data are discussed.

Page Number : 99
Key Words : Photovoltaic System, Solar Energy, PVsyst, PVSOL, Simulation
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hatice VURAL

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca beni destekleyen, yönlendiren ve tez yazımı sırasında bana zaman ayırarak yardımını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Hatice VURAL' a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmam boyunca benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, manevi destek ve sabır ile yaklaşan çok sevdiğim eşim Neriman ALAÇAM ve çocuklarıma şükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiv
HARİTALAR DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER	3
2.1. Literatür Taraması	3
2.2. Yenilenebilir Enerji	11
2.2.1.Yenilenebilir enerji kaynakları.....	11
2.2.2.Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli	11
2.2.3. Fotovoltaik sistemler.....	15
2.2.4. Güneş pillerinin yapısı ve çalışma prensibi.....	15
2.2.5. Güneş pili çeşitleri.....	16
2.2.5.1. Kristal silisyum güneş pilleri	16
2.2.5.2. İnce film fotovoltaik hücreler	17
2.2.6. PV panellerin verimlerinin karşılaştırılması.....	19
2.3. Güneş Enerjisi Sistemleri	21
2.3.1. Şebekeye bağlı olup olmadığına göre güneş enerji santralleri.....	21

	Sayfa
2.3.1.1. Off grid (şebekeden bağımsız) sistemler.....	21
2.3.1.2. On grid (şebekeye bağlı) sistemler	23
2.3.2. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan ekipmanlar	23
2.3.2.1. Güneş panelleri (PV Paneller).....	24
2.3.2.2. İnverterler	24
2.3.2.3. Solar kablolar	26
2.3.2.4. Çift yönlü sayaç.....	26
2.3.2.5. Uzaktan izleme ünitesi	27
2.3.2.6. Akü ve batarya grubu	27
2.3.2.7. Akü şarj regülatörü	28
2.4. Fotovoltaik Santrallerin Verimini Etkileyen Unsurlar ve Kayıplar	29
2.4.1. Güneş ışıınımı faktörü	29
2.4.2. Panel yerleşim açısı ve yönü	30
2.4.3. Sıcaklık ve havalandırma	32
2.4.4. Gölgeleme	33
2.4.5. Panel kirlenme ve tozlanması.....	35
2.4.6. Yansıma Kayıpları	35
2.4.7. Uyumsuzluk kayıpları	36
2.4.8. İnverter kayıpları	37
2.4.9. Kablo Kayıpları	38
2.5. Binalarda Güneş Enerji Uygulamaları.....	38
2.5.1. PV panellerin bina cephelerinde kullanımı	41
2.5.1.1. PV panellerin bina cephelerinde perde duvar olarak kullanımı. ..	42
2.5.1.2. PV panellerin bina cephelerinde giydirme duvar olarak kullanım	42

	Sayfa
2.5.2. PV panellerin gölgeleme elemanı olarak kullanımı.....	45
2.5.2.1. PV panellerin bina cephelerinde gölgeleme elemanı olarak kullanımı	45
2.5.2.2. PV panellerin bina çatılarında gölgeleme elemanı olarak kullanımı	47
2.5.3. PV panellerin bina çatılarında kullanımı.....	47
2.5.3.1. PV panellerin düz çatılarda kullanımı.....	49
2.5.3.2. PV Panellerin eğimli çatılarda kullanımı.....	50
2.5.3.3. PV Panellerin şet (testere dişli) çatılarda kullanımı.....	51
2.5.3.4. PV panellerin eğrisel (kavisli) çatılarda kullanımı.....	51
2.5.3.5. PV panellerin atrium çatılarda kullanımı	52
2.5.3.6. Güneş pillerinin solar kiremit olarak kullanımı	53
2.5.3.7. Güneş pillerinin şingıl (shingle) çatılarda kullanımı.....	54
2.5.3.8. Solar Halı (solar roll) güneş pillerinin çatılarda kullanımı	54
3. MATERYAL VE METOT.....	55
3.1. Amasya İli Güneş Enerji Potansiyeli.....	55
3.2. PVsyst V7.1.0 Yazılımı	58
3.3. PVsyst Yazılımı ile Okul Çatısı Üzerine Kurulu 10 kWp' lik Güneş Enerji Sisteminin Tasarımı	58
3.3.1. Çatı üzerine kurulmuş olan fotovoltaik sistemin özellikleri.....	58
3.3.2. Çatı üzerine kurulu fotovoltaik sisteminin PVsyst yazılımı ile tasarımı..	60
3.3.2.1. Panel yerleşimi ve yakın gölge analizi.....	67
3.3.3. PVsyst yazılımı ile yapılan tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi.....	68
3.4. PVSOL Premium 2022 Yazılımı	72
3.4.1. PVSOL yazılımı ile fotovoltaik sistemin tasarımı	72
3.4.2. PVSOL programı ile yapılan tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi.....	74

	Sayfa
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	76
5. SONUÇ.....	84
KAYNAKLAR.....	86
EKLER	92
EK-1. İzin talep dilekçesi	93
EK-2. İzin talep oluru	94
EK-3. GES’ te kullanılan PV panele ait katalog.....	95
Ek-4. GES’ te kullanılan İnvertere ait katalog.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye bölgelere göre güneş radyasyon değerleri ve ortalama güneşlenme süreleri	14
Çizelge 2.2. PV panellerin karşılaştırılması.....	20
Çizelge 2.3. Fotovoltaik sistemlerin bina çatılarında kullanımı	48
Çizelge 3.1. Değişik panel eğim ve azimut açısının optimum duruma göre kayıp oranları	63
Çizelge 3.2. Sistemde kullanılan inverterin özellikleri	66
Çizelge 3.3. PVsyst P50-P75-P90 tahmini üretim sonuçları	68
Çizelge 3.4. Gölgelemenin üretilebilecek enerji miktarları üzerindeki etkisi	69
Çizelge 3.5. Panel montaj şekline göre PVsyst üretim değerleri.....	71
Çizelge 3.6. PVSOL programı ile ulaşılan tahmini üretim sonuçları	74
Çizelge 3.7. PVSOL simülasyon sonuçları.....	74
Çizelge 4.1. Okulun aylara göre elektrik tüketimi.....	77
Çizelge 4.2. Fotovoltaik sistemin gerçek üretim verileri ile simülasyon sonuçlarının aylık olarak karşılaştırılması	79
Çizelge 4.3. Fotovoltaik sistemin gerçek üretim verileri ile PVsyst ve PVSOL simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması	80
Çizelge 4.4. PVsyst olasılık sonuçlarının gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması ...	82
Çizelge 4.5. PVSOL olasılık sonuçlarının gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması..	82
Çizelge 4.6. PVsyst ile yapılan değişik panel eğimi ve azimut açısı simülasyon Sonuçlar.....	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Şubat 2022 yılı itibariyle Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü	1
Şekil 2.1. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün)	13
Şekil 2.2. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat).....	13
Şekil 2.3. Türkiye pv tipi-alan-üretilebilecek enerji (kWh-Yıl)	14
Şekil 2.4. Güneş pili yapısı	16
Şekil 2.5. Güneş pili çeşitlerinin verimlilik oranları.....	19
Şekil 2.6. PV panel gücünün yıllara göre değişimi	20
Şekil 2.7. Panel tiplerine göre alan gereksinimleri	21
Şekil 2.8. Off grid sistem şekli	22
Şekil 2.9. On grid GES sistem şekli	23
Şekil 2.10. PV panel açıları	31
Şekil 2.11. Farklı hücre sıcaklıklarında akım (A) - gerilim (V) eğrisi	32
Şekil 2.12. Bypass diyotları	34
Şekil 2.13. PV panel yapısı.....	36
Şekil 2.14. Güneş pili I-V eğrisi	38
Şekil 2.15. Türkiye’ de güneş enerjisi için değerlendirilebilecek çatı alanları.....	39
Şekil 2.16. Türkiye çatı üstü FV sistemlerin teorik ve teknik potansiyeli.....	40
Şekil 2.17. PV panellerin giydirme cephe sistemlerinde kullanımı	43
Şekil 2.18. PV panellerin giydirme cephe sistemlerinde kullanım çeşitleri	44
Şekil 2.19. Eğimi uygun olmayan çatıya PV paneller için ek konstrüksiyon örneği ...	50
Şekil 2.20. Şet çatı şekli.....	51
Şekil 3.1. Amasya merkez ve ilçelerinin yıllık ortalama güneşlenme süreleri (Saat)	56

Şekil	Sayfa
Şekil 3.2. Gümüşhacıköy global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün).....	56
Şekil 3.3. Gümüşhacıköy güneşlenme süreleri (Saat)	57
Şekil 3.4. Fotovoltaik panel çeşitlerinin enerji yoğunluklarının karşılaştırılması (kWh/Yıl).....	57
Şekil 3.5. Azimut açısı diyagramı	59
Şekil 3.6. Fotovoltaik sistemin kurulu olduğu yerin interaktif harita üzerinden bulunması.....	60
Şekil 3.7. GEPA ve Meteonorm 7.3 global yatay ışınlama verilerinin karşılaştırılması.....	61
Şekil 3.8. Kullanılan PV panelin özellikleri	63
Şekil 3.9. Kullanılan PV panelin etiketi	64
Şekil 3.10. PVSyst ile yapılan tasarımın aylık tahmini üretim miktarları.....	69
Şekil 3.11. PVSyst ile yapılan tasarımın kayıp diyagramı	70
Şekil 3.12. Gölgeleme etkisi olmadan PVSOL programı ile bulunan üretim sonuçları.	73
Şekil 3.13. Gölgeleme etkisi dahil edilerek PVSOL programı ile bulunan sonuç	73
Şekil 3.14. PVSOL Tasarım Sonucu Bulunan Aylık Üretim Miktarları	75
Şekil 4.1. Gerçek Üretim ve Tüketim Verilerinin Karşılaştırılması	78

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Solar sistemlerde kullanılan çeşitli inverterler	25
Resim 2.2. Çeşitli çift yönlü 3 fazlı sayaçlar	26
Resim 2.3. İnvertere bağlı modem ve sayaca bağlı uzaktan izleme cihazı	27
Resim 2.4. PV panellerin perde duvar olarak kullanımı	42
Resim 2.5. PV panellerin sabit gölgeleme elemanı olarak kullanımı Almanya, Vauban	45
Resim 2.6. PV panellerin hareketli gölgeleme elemanı olarak kullanımı, St Nicholas College, Malta.....	46
Resim 2.7. PV panellerin pencere panjuru olarak kullanımı, Wisconsin, ABD	46
Resim 2.8. PV panellerin bina çatılarında gölgeleme elemanı olarak kullanımı.....	47
Resim 2.9. PV panellerin düz çatılarda kullanımı	50
Resim 2.10. PV panellerin şet çatı üzerine uygulanması.....	51
Resim 2.11. İnce film PV panellerin kavisli çatı üzerine uygulanması	52
Resim 2.12. PV panellerin atrium çatı üzerine uygulanması, Porta Susa istasyonu, Torino ,İtalya.....	52
Resim 2.13. Solar kiremitlerin çatı üzerine uygulanması	53
Resim 2.14. Bluesun Solar Firmasının ürettiği güneş kiremidi	53
Resim 2.15. Şıngıl güneş pillerin şıngıl çatılarda kullanımı	54
Resim 2.16. Çatılarda solar halı kullanımı.....	54
Resim 3.1. PV Panellerin 2 zincir halinde çatı üzerine montajı	59

HARİTALAR DİZİNİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası (GEPA)	12
Harita 2.2. Global güneş radyasyon dağılımı	29
Harita 3.1. Amasya güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA).....	55



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

\$	Dolar
°C	Santigrat derece
kW	Kilowatt
kWp	Kilowatt peak
kWh	Kilowattsaat
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
kWh / m ²	KiloWatt saat / metrekare
m ²	Metre kare
m ³	Metre küp

Kısaltmalar

Açıklama

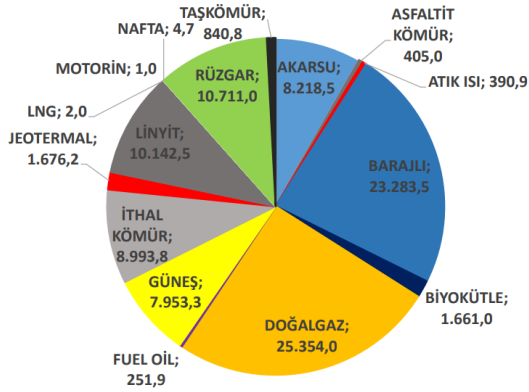
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
PV	Photovoltaic
FV	Fotovoltaik
GES	Güneş Enerji Santrali
CdTe	Kadmiyum tellür
CdS	Kadmiyum sülfid
CuInSe ₂	Bakır indiyum diselenid
CPV	Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemi

DC	Direct Current (Doğru akım)
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
AC	Alternating Current (Alternatif akım)
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takipçi
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
CdTe	Kadmiyum tellür
CdS	Kadmiyum sülfid
CuInSe ₂	Bakır indiyum diselenid
DC	Direct Current (Doğru akım)
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
AC	Alternating Current (Alternatif akım)
OKA	Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı
STC	Standart Test Koşullar
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
CPV	Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemi
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

1. GİRİŞ

Günümüz şartlarında fosil kaynakların sınırlı olması, coğrafi olarak sadece belirli bölgelerde rezervlerinin bulunması, ekonomik olarak pahalılığı, arz güvenliği, ülkeler arasında yaptırım aracı olarak kullanılması ve çevreye olan olumsuz etkilerinden dolayı ülkeler elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir.

Dünyada olduğu gibi Türkiye'nin de artan nüfusu ile birlikte artan enerji ihtiyacı yenilenebilir enerjiye olan talebini arttırmaktadır. Enerjide dışa bağımlılık oranını ve enerji ithalatını azaltabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması konusunda çalışmalar artarak devam etmektedir. Türkiye önemli miktarda yenilenebilir enerji kaynaklara sahiptir (rüzgar, güneş, su, jeotermal vb) ve bu kaynakların optimum bir şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Bu doğal kaynakların farkında olan Türkiye'nin yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimindeki üretim payı sürekli olarak artmaktadır. 2009 yılında rüzgar, güneş ve jeotermal enerjiden elde edilen elektrik enerjisi oldukça az iken, 2022 yılı Şubat Ayı verilerine göre toplam bu üç enerji kaynağından elde edilen elektrik enerjisi 20 340,5 MW seviyesine yükselmiştir.



Şekil 1.1. Şubat 2022 yılı itibarıyla Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü (MW) (TEİAŞ, 2021)

2022 Şubat ayı TEİAŞ verilerine göre Türkiye'nin kurulu gücü 99 890,1 MW' a ulaşmıştır. Bu kurulu gücün %53,56'sı fosil olmayan enerji kaynaklarından elde edilmiştir. Bu yenilenebilir enerjinin yaklaşık %18,68'lik kısmı ise güneş ve rüzgar enerjisinden sağlanmaktadır (Şekil 1.1) (TEİAŞ, 2021).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, enerjide dışa bağımlılığın ve enerji ithalatının azaltılması ve arz güvenliğini sağlanması amacı ile yenilenebilir enerji yatırımları devlet tarafından desteklenmektedir. Bu amaca yönelik birçok kanun ve yönetmelikler çıkarılmıştır. Bu destekleme mekanizmalarından yararlanarak birçok yenilenebilir enerji santrali kurulmuş ve kurulmaya devam etmektedir. Bu enerji kaynaklarından en önemlilerinden birisi güneş enerjisidir. Türkiye’de güneş enerji potansiyelinin yüksek olması, kurulumunun kolay olması, arazi ve çatı üzerine kolaylıkla uygulanabilmesi, küçük veya büyük ölçekte kurulabilmesi ve çevreye etkisinin en az düzeyde olması sebebiyle güneş enerjisi yaygın olarak tercih edilmektedir.

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre güneş takip sistemli santraller hariç güneş enerji santrallerinin hareketli parçaları bulunmadığı için bakımları kolaydır. İlk kurulum maliyetinden sonra çok az maliyetle uzun yıllar boyunca çalışabilirler. Genelde panel ömürleri 25 yıldan fazladır (Başay, Eken ve Yılmaz, 2019). Güneş enerji santralleri genelde yaklaşık 5-10 yıl içerisinde kendisini amorti edebilmektedir. Güneş panellerinin çatı üzerine monte edilebilmesi, kurulum için arazi masrafı olmadığı için yatırımın geri dönüş süresini daha da kısaltmaktadır.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) 12 Mart 2022 tarihli ve 31776 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 10 Mart 2022 tarih ve 10832 numaralı aldığı karar ile çatı ve cephe uygulamalı alanlarda Lisansız elektrik bağlantı gücü kapasitesi 10 kW’tan 25 kW’ ta çıkarılmıştır (EPDK, 2022). Böylelikle üzerinde fotovoltaik panel bulunmayan konut, bina, iş yeri, hastane ve sanayi üretim tesisleri gibi yerlerin çatıları elektrik üretimi için kullanılacak ve ihtiyaç fazlası elektrik şebekeye verilebilecektir. Bu durum Türkiye kurulu gücü içerisindeki güneş enerji üretim payını arttıracak ve enerji ithalatımızın düşmesine neden olacaktır.

Bu tez çalışmasında PVsyst ve PVSOL simülasyon yazılımı kullanılarak Amasya ili Gümüşhacıköy ilçesinde bulunan bir okulun yemekhane çatısı üzerine kurulu olan 10 kWp kurulu güce sahip şebeke bağlantılı (On grid) fotovoltaik (FV) sistem tasarımı yapıp simülasyon sonuçları ile gerçek üretim verileri karşılaştırılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Literatür Taraması

Bu tez çalışmasının konusuyla ilgili daha önce yapılmış olan çalışmaların literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

“Muğla Üniversitesinde Kurulu Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Performans Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Tozlu, Muğla Üniversitesi kampüsünde bulunan “Türk Evi” öğrenci kafeterya çatısına yerleştirilmiş her biri 120 Wp güce sahip toplamda 214 adet PV-MF120 EA2 tipi polikristal FV panelden oluşan ve toplamda 25,6 kWp kurulu güce sahip fotovoltaik sistemi incelemiştir. Gerçekte fotovoltaik sistemin ürettiği yıllık enerji miktarı 35 640 kW-saat/yıl olup, FV sistem tarafından şehir şebekesine aktarılan günlük ortalama enerji miktarı 97,64 kW-saat/gün’dür. Yapılan simülasyon çalışmasında sistemin yıllık enerji üretimi 36 393 kW-saat/yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, simülasyon programının gerçek elektrik üretim verisinden daha fazla enerji üretimi hesapladığı ve simülasyon hesaplamaları ile gerçekte üretilen enerji miktarının farkının az olduğu belirtilmiştir (Tozlu, 2010).

“Türkiye’nin Farklı Bölgelerinde Kurulacak Fotovoltaik Santrallerin Teknik ve Ekonomik Açından İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezi kapsamında Eyigün, Türkiye’nin 7 farklı bölgesinde her bölge için merkezi evirici kristal modül, dağıtılmış evirici kristal modül, merkezi evirici ince film, dağıtılmış evirici ince film FV santrallerinin PVsyst programı ile simülasyonunu yaparak yıllık enerji üretim miktarları ve performans oranlarını hesaplamıştır. Çalışmada İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Akdeniz bölgesinde kurulacak FV santrallerin yıllık kWp/kWh enerji üretimlerinin en yüksek değerde olduğu, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde kurulacak FV santrallerin ise performans oranlarının yüksek, ancak kWp/kWh enerji üretim değerlerinin düşük olacağı sonucuna varılmıştır (Eyigün, 2010).

“Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma Ve Uygulama Çiftliği’nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları” adlı doktora tezinde Yalçın, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma ve

Uygulama Çiftliği'nin güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve güneş enerjisinden yararlanabilme olanaklarını belirlemek için PVsyst yazılımın kullanmıştır. Teorik, saha ve teknik güneş enerjisi potansiyelini belirlemiş, saatlik detayda yıllık elektrik tüketim veri seti oluşturmuş ve elektrik tüketiminin 2 farklı işletim tipinde ve 3 farklı fotovoltaiik yapıda simülasyonunu yaparak fotovoltaiik güç elektriği sistemleriyle karşılanma durumunu değerlendirmiştir. Fotovoltaiik sistemin şebeke bağlantılı olup olmadığı, kullanılan PV panellerin monokristal ve polikristal olarak kullanıldığı durumları simüle ederek karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, bölgenin yıllık toplam güneşlenme süresi 2607 saat ve saha güneş enerjisi potansiyeli 1 743 kWh/m² olarak hesaplamıştır. Yıllık toplam teorik güneş enerjisi potansiyelinin 2 918 kWh/m² olan bu tarımsal işletmede, yatayda tam güneye bakan ve dikeyde 15 derece açıyla yerleştirilen fotovoltaiik panellerle kurulacak bir güneş enerji santralinin teknik güneş enerjisi potansiyeli 1 891 kWh/m²/yıl olarak bulunmuştur. Şebeke bağlantılı FV sistem simülasyonunda tek kristalli silisyum yapıda FV modül kullanımı performans oranı %85 ve elektrik birim maliyet 0.20 €/kWh olarak hesaplanmıştır. Bağımsız FV sistem simülasyonunda tek kristalli silisyum yapıda FV modül kullanımı performans oranı %65 ve birim maliyet 0.28 €/kWh olarak belirtilmiştir (Yalçın,2010).

“Bir Fotovoltaiik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW’lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Girgin, Karaman bölgesinde kurulması planlanan 5 MW gücünde 36 farklı fotovoltaiik sistemin enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, uygulamada kullanılan altı farklı fotovoltaiik panel çeşidi, sabit- tek eksen- çift eksen solar takip sistemli üç farklı montaj yapısı tipi ve iki farklı evirici modeli için enerji üretimi incelemesi gerçekleştirmiştir. Enerji üretimi incelemesi için PVsyst programı simülasyon amaçlı olarak kullanılmış olup meteorolojik veriler için 4 farklı meteorolojik kaynak verisinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak, enerji ve ekonomik analizleri gerçekleştirilen sistemler karşılaştırılmış, karşılaştırma yapılan sistemler için amortisman sürelerinin 3-6 yıl arasında değiştiği ve genel olarak ortalama geri dönüş süresinin 4 yıl olduğu sonucuna varılmıştır. Karaman bölgesi için en verimli sistemin sabit montaj yapılı, kadmiyum tellür güneş panelinin kullanıldığı fotovoltaiik sistem olduğu sonucuna varmıştır (Girgin, 2011).

“Batman’da 1 MW’lık Fotovoltaiik Enerji Sisteminin Tasarlanması” adlı yüksek lisans tezinde Pakma, Batman ilinde 1 MWp’lik fotovoltaiik elektrik enerjisi santrali için 2015 yılı

ölçülmüş yıllık güneş ışınlamı verileri ve PVsyst V6.39 paket programı kullanılarak ön tasarım ve proje tasarımı yaparak gerçekleştirilen sistemden elde edilecek performans değerlerinin analizini yapmıştır. Yapılan analizler neticesinde aylara göre modül eğiminin optimizasyonunun sistem performansını arttırdığı belirlenmiştir. PVsyst yazılımı ile Batman Üniversitesi Batı Raman kampüsü yanındaki 9524 m²'lik arazide kurulması öngörülen 1 MW'lık güce sahip, 30° eğimli ve polikristal silisyum PV panellerin kullanıldığı sistemin ön tasarım sonucunda fotovoltaik sistemin yılda toplam 1520,1 MWh/yıl enerji üreteceği sonucuna varılmıştır (Pakma, 2010).

“Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Köçükgöze, PVSYST programı aracılığıyla Erzincan ilinde kurulması planlanan 50 kW kurulu gücünde şebeke bağlantılı bir fotovoltaik güneş enerji santralinin maliyet analizini yapmıştır. Teorik olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, tüm sistemin enerji ve performans analizi yapılmıştır. Kazanç ve kayıplar sonrası inverter çıkışındaki toplam enerji yani şebekeye aktarılan enerji yıllık 70 459 kWh olarak hesaplanmıştır. Sistemden elde edilen yıllık net gelir 8915,5 \$ olarak bulunmuş ve santralin toplam yatırım maliyeti 76 641 \$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ışığında santralin yatırım maliyetini geri ödeme süresi 9-10 yıl olarak hesaplanmıştır (Köçükgöze, 2016).

“Fotovoltaik Güç Santrallerinin Tekno-Ekonomik Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Çekirdek, Konya ili Selçuklu kasabasında ve Balıkesir ili Dursunbey kasabasında yer alan şebeke bağlantılı, 4186 adet 260 Wp gücünde CSUN260-60P polikristal fotovoltaik panel ve ABB/Trio 27.6 TL 27 600 W inverter özelliklerine sahip ve 0,883 MW gücündeki, PV panel ve inverterlerin kullanıldığı güneş enerji santrallerinin tasarım aşamalarını teknik ve ekonomik açıdan incelemiştir. Hesaplamalar, PVSyst yazılımı ve Meteonorm verileri kullanılarak sabit sistemler, tek ve çift eksenli güneş takip sistemleri için ayrı ayrı yapılmış ve kurulacak sistemlerin maliyetleri karşılaştırılarak, iç verim oranlarına ve geri dönüş sürelerine bakılarak yatırım yapmaya uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada, Konya'daki güneş potansiyelinin oldukça yüksek olduğu ve bu bölgede yapılan yatırımların geri dönüş sürelerinin de buna bağlı olarak Balıkesir'e göre daha kısa olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, yatırımın en elverişli çıktığı tasarım Konya ilinde yer alan tek eksenli takip sistemli tasarım olarak bulunmuştur (Çekirdek 2017).

“Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Haydaroğlu, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nde 1000 adet Viessmann Vitovolt 300 P250 polikristal PV panelin kullanıldığı ve 8 tane 30 kW ve bir tane de 10 kW’lık dokuz diziden (string) oluşan ve bu diziler için 8 tane de 30 kW ABB TRIO-27.6 TL-OUTD ve bir tane 10 kW ABB PVI-10-TL-OUTD harici tip inverter kullanılan 250 kWp’lık kurulu güce sahip 30°’lik eğim ve 0°’lik azimut açısına sahip 2015 aralık ayından beri üretim verileri kaydedilmekte olan güneş enerjisi santralinin gerçek değerlerine uygun olarak simülasyonu PVsyst V6.39 simülasyon yazılımını kullanarak hazırlamıştır. Yapılan bu analizle, güneşten elektrik enerjisi üretiminde verim üzerinde doğrudan etkili olan gölgelenme, PV panel kurulum açısı, panel verimliliği gibi parametrelerin üretilen enerji miktarına etkisi de belirlenmiştir. Ayrıca birbirinden farklı simülasyon programlarının sonuçları ile gerçek üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Santralden 2016 yılı boyunca gerçekte 385,86 MWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Simülasyon programlarında ise PVsyst ile 380,6 MWh, PVGIS ile 375,3 MWh, Sunny Desing Web simülasyon programı ile 406,1 MWh ve Bluesol programı ile 443,99 MWh elektrik enerjisi üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Simülasyon sonuçlarından da görüleceği gerçeğe en yakın sonuç 380,6 MWh ile PVsyst yazılımı ile elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda santralin amortisman süresi 5,86 yıl olarak bulunmuştur (Haydaroğlu, 2017).

“Türkiye’nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik ve Finansal Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Tekkale, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin ülkemizin çeşitli bölgelerindeki potansiyelini incelemiştir. Çalışmasında PVSyst programının veri doğruluğunun kontrolünü yapmış, bu hususta halihazırda üretime devam eden Çankırı, Uşak ve Kahramanmaraş illerinde bulunan farklı güç ve özelliklere sahip 3 adet güneş enerji santralinin gerçek elektrik üretim verileri aralık, ocak ve şubat ayları için PVSyst verileri ile karşılaştırmıştır. P50, P75 ve P90 belirsizliklerine göre üretim hesabı yapılmış, gerçek üretim verilerinin biraz daha yüksek olduğu ve P50 verileri arasında % 0,31, P75 verileri arasında %3,73 ve P90 verileri arasında %7,04 fark bulunduğu sonucuna varmıştır. Finans kuruluşlarının da sıklıkla kullandığı P75 belirsizlik ile yapılan analiz sonuçlarını finansal analiz için kullanmıştır. Çankırı ili için gerçek üretim verisi ile P75 belirsizlik analiz sonuçlarının % 4,03, Uşak ili için % 1,67, Kahramanmaraş ili için % 5,48 farklı olduğu görülmüştür. Yapılan tez çalışmasında farklı bölgelerde bulunan 8 ilin Ankara, Aydın, Antalya, Balıkesir, Edirne, Malatya, Şanlıurfa ve Van illeri için PVsyst yazılımı ile aynı komponentlerin kullanıldığı, 1140,48 kWp kurulu

güce sahip 25⁰ eğim ile yerleştirilmiş sabit güney yönlü PV panellerin üretim ve maliyet analizi yapılmıştır. Yatırım geri dönüş süresi, en yüksek ışıınım değerine sahip olan Şanlıurfa’da diğer 7 şehre göre daha hızlı olduğu sonucuna varmıştır (Tekkale, 2018).

“Güneş Panelleri İle Elektrik Üretiminin Teknik ve Ekonomik Analizi: Bursa Örneği” adlı yüksek lisans tezinde Biçen, Bursa ilinde tarım arazilerine ya da işletmelerine kurulacak 23 kW’lık bir fotovoltaik tesisin teknik ve ekonomik analizini gerçekleştirmiştir. MGM Osmangazi meteoroloji istasyonu ve BUÜ meteoroloji istasyonundan elde edilen 2016 ve 2017 yılı güneş radyasyon verileri kullanılarak, polikristal ve monokristal FV panellerden oluşan iki farklı güneş enerjisi tesisinden elde edilebilecek elektrik üretim değerleri karşılaştırılmıştır (Biçen, 2018).

“Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Programı Yardımı ile Performans Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Aksangör, Ankara ili merkezinde bulunan bir kampüse ait bazı binaların elektrik ihtiyacının bir FV sistem ile karşılanması durumunu incelemiştir. Sistem binaların çatı alanı ile sınırlandırılmış ve çatı üstlerine yapılacak panel yerleşimleri ile şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistem tasarlayarak bu sistemin PVsyst V6.7.8 programı yardımı ile performans analizini yapmıştır. Yerli bir monokristalin FV panel ve binaların uygun çatı alanı doğrultusunda, 2160 adet 280 W güçte FV panel ve yine yerli üreticiden temin edilebilecek 16 adet 32 kW ac güçte evirici kullanılmıştır. Sistemin kurulu gücü 604,8 kWh’tir. Sistemin şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı, 712 MWh olarak hesaplanmıştır. Sistemin performans oranı % 84,1 olarak bulunmuştur (Aksangör, 2019).

“Yozgat İlinde Bulunan Bir Ges Sisteminin Sayısal Ve Deneysel Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Yıldız, PVsyst 6.7.9 programı ile Yozgat ilinde bulunan 1 MW kurulu güce sahip şebekeye bağlantılı bir fotovoltaik sistemin tasarımı yaparak, gerçek üretim değerleri ile simülasyon sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sistemin ürettiği enerji miktarı 60,18 kWh/kWp/gün iken, şebekeye verdiği yıllık enerji miktarı ise 52,16 kWh/kWp/gün olarak hesaplanmıştır. Sistemin performans oranı da % 88,13 olarak bulunmuştur. Yapılan analizde, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim değerleri arasında yaklaşık % 0,15’lik bir fark olduğu saptanmıştır (Yıldız, 2019).

“Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Kınalı, Konya ve Karaman illerinde Mevlana Kalkınma Ajansı tarafından

desteklenen Güneş Enerjisi Üretim Tesislerinin gerçek tasarım modelleri ve üretim verileri, piyasada kullanılan simülasyon programları ile karşılaştırılarak yazılımların bölge ve ülkemizdeki performansını değerlendirmiştir. Piyasada yoğunlukla kullanılan PVSyst, PVSOL ve PVGIS simülasyon programlarının tasarım değerleri ile Konya’da üç adet, Karaman’da bir adet olmak üzere toplamda 4 adet 250 kW ile 1 MW arasında değişen güçlerde GES’in bir yıllık ürettiği gerçek enerji verileri karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda tüm sahalar için yıllık enerji üretim değeri, referans verimi, final verimi, kapasite faktörü ve performans oranı tahminlerinde en başarılı sonucu sırasıyla PVSOL yazılımı, PVGIS yazılımı ve dördüncü versiyonu sonrasında da PVSyst yazılımının verdiği görülmüştür (Kınalı, 2019).

“Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı İle Analizi” başlıklı çalışmada Demiryürek ve arkadaşları, Siirt ilinde, 200kWp kurulu güce sahip olan Lebit Enerji güneş santraline ait verileri PVsyst V6.67-TRİAL yazılımı karşılaştırarak analiz etmişlerdir. Bir yıllık gerçek üretim değerleri ile PVsyst programı ile elde edilen simülasyon değerlerini karşılaştırmışlar ve % 0.56’lık çok küçük bir hata payı ile programın geeği yansıttığı gözlemlemişlerdir. Yapılan analiz ve incelemeler neticesinde, düzenli toz ve kar temizliği yapılırsa, daha fazla enerji üretimi sağlanabileceği sonucuna ulaşmışlardır (Demiryürek, Arifoğlu ve Bolat, 2020).

“Pvsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu” başlıklı çalışmada Akcan vd., Batman ilinde bir okul çatısı üzerinde PVsyst Yazılımı ile 30 kW şebeke bağlantılı 34⁰ panel eğimi ve 0⁰ azimut açısına sahip tam güney yönüne bakan 300Wp polikristal FV panellerin kullanıldığı fotovoltaik sistemin modellemesi ve simülasyonunu yapmışlardır. Uygulanması düşünülen bu FV sistemin gerçekleştirilmesi durumunda ne gibi sonuçlarla karşılaşılacağını PVsyst simülasyon programı ile değerlendirmişlerdir. Simülasyon sonucunda okulda 35,31 MWh/yıl elektrik üretilebileceği ve üretilen 35,31 MWh/yıl enerji şebekeye satılarak okul için gelir elde edilmesi planlanmıştır. Sistemin tasarlandığı yerlerin enerji ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, sistemin bu ihtiyacın ne kadarını karşılayabileceği ve maliyet analizlerinin yapılabileceği sonucuna varılmıştır (Akcan, Kuncan ve Minaz, 2020).

“Şebeke Bağlantılı, Depolamalı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Performans Analizi Ve Verim Artırılması” doktora tezinde İşler, Kahramanmaraş ilinde bulunan güneş

enerji santrallerinde incelemeler ve saha çalışmaları yapmıştır. Şebeke bağlantılı, depolamalı fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinin analiz edilmesi için PVSYST, PVSOL, TRNSYS gibi yazılımları ile modellemeler yapmıştır. Kahramanmaraş'ta bulunan ve modellenen fotovoltaik santralin azimut açısı değişimi ile beraber ürettiği enerjinin değişimini incelemiş ve 0° azimut açısı değerinde 10 000 kWh değerinde fazla bir üretim gerçekleştirildiği görülürken, doğu-batı ekseninde bir 180° azimut açısı değerine konumlandırma yapıldığında üretim değeri yaklaşık 6000 kWh değerlerine kadar düştüğünü tespit etmiştir. En ideal fotovoltaik santralin 0° azimut açısı değerine sahip bir santral olacağı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca çalışmada, lokasyon olarak Baunatal, Almanya da kurulu 9,82 kWp gücünde depolamalı, şebeke bağlantılı hibrit fotovoltaik sistemin performans analizi yapılmıştır. 13.05.2016 tarihinde aktif enerji üretmeye başlayan sistem yıllık yaklaşık 8838 kWh elektrik enerjisi üretmektedir. Sistemde 42 adet 230 W Aleo marka solar panel, 6400 Wh SMA Lithium-Ion akü, 9 kW SMA Sunny Tripower 9000TL-20 inverter kullanılmıştır. 2017 yılı için enerji dengesi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 2017 yılı için şebekeden toplamda 2718,97 kWh'lik bir enerji çekildiği görülmüştür. Sistemin kendi içerisinde ise akü şarjı için 1747,59 kWh enerji harcadığı görülmüştür. Sistemin 2644,65 kWh doğrudan tüketim gerçekleştirdiği ve ayrıca şebekeye fazla ürettiği 4746,58 kWh enerji verdiği tespit edilmiştir. Tam olarak hibrit bir sistem gerçekleştirilmiştir (İşler, 2020).

“Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin Pvsyst Aracılığı İle Tasarım ve Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Çınaroğlu, Kilis ilinde bulunan Mısırcık köyünde 1040 kWh güç değerinde Akdemir GES, Karamelik Köyünde bulunan ve 1029 kWh güç değerinde Ataoğlu GES ve Çakallıpınar Köyünde bulunan 1000 kWh güç değerinde Geylan Enerji GES şebeke bağlantılı 3 farklı güneş enerjisi santralının 2018, 2019 ve 2020 yılları gerçek üretim verilerini aynı sistem özellikleri kullanılarak PVsyst 7.1. yazılımı ile tasarladığı sistem verileri ile karşılaştırmıştır. Yapılan analiz neticesinde santrallere ait kayıplar ve üretim verileri elde edilmiştir. Buna göre simülasyon programında sistemlerle aynı özelliklerde oluşturulan santrallerin 3 yıllık yapılan analizleri sonucunda ortalama; Akdemir GES için 1800,9 MWh, Ataoğlu GES için 1617,5 MWh ve Geylan Enerji GES için 1660,7 MWh enerji üretilebileceği bulunmuştur. 3 yıllık ortalama Akdemir GES için PVsyst % 8,15 daha fazla, Ataoğlu GES için PVsyst %1,34 daha fazla, Geylan Enerji GES için PVsyst % 4,41 daha fazla enerji üretilebileceği tahmin edilmiştir (Çınaroğlu, 2021).

“Gökçe Barajı Üzerine 2 MW Gücünde Yüzebileen Güneş Paneli Kurulumunun Analizi” adlı yüksek lisans tezinde Serim, Yalova ilinin tatlı su ihtiyacını karşılayan Gökçe Barajı’nın 32201 m² alanı üzerine kurulması tasarlanan 2 MW gücünde Yüzer Güneş Enerji Santrali (YGES)’nin analizini yapmıştır. Baraj üzerine tasarlanan sistemde 280W polikristal FV paneller 30° eğimle tam güney yönüne (azimut açısı 0 derece) bakacak şekilde ve paneller arası 2,05m mesafe olacak şekilde konumlandırılmıştır. Tasarımda panel yüzdürücü plastik bloklar 30° panel eğimini verecek şekilde dizayn edilmiştir. Esnek bağlantı sistemi ile yüzdürücü bloklar su altına sabitlenecek şekilde tasarım yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda PVsyst programında yapılan analizlerde performans oranı % 82,7 olarak hesaplanmıştır. Yapılan analiz çalışmasında Gökçe Barajı üzerine 2 MW gücünde bir YGES kurulması halinde yıllık 2562 MWh elektrik enerjisi üretileceği bu değerinde Yalova ilinin elektrik ihtiyacının % 0,32’lik kısmını karşılayacağı sonucuna varılmıştır (Serim, 2021).

“Samsun’daki Şebeke Bağlantılı Fotoelektrik Sistem Performansının Farklı Simülasyon Programları Kullanılarak Değerlendirilmesi Ve Karşılaştırılması: Yeşilyurt Demir Çelik MYO Örnek Olay İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezinde Homood, araştırmacılar için etkili bir yazılım tanımlama ve PV sistemin performans analizinin yanı sıra kurulacak projeler için bir ön fizibilite çalışması yapmak amacıyla piyasada yoğun olarak kullanılan PVSOL, PVsyst ve Solargis yazılımlarının etkinliği üzerine çalışma yapmıştır. Bu üç simülasyon aracı kullanarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi kampüsü çatısında 55 kW şebeke bağlantılı PV sistemin performans analizi üzerine bir vaka çalışması yapmıştır. Simülasyonun sonuçları ile PV sistemin gerçek verileri karşılaştırılarak en uygun ve en etkili yazılımı belirlenmeye çalışılmıştır. Çatı üzerine kurulu fotovoltaik sistemin yıllık ortalama gerçek enerji üretim değeri 58,56 MW ve performans oranı % 74,2 olduğu tespit edilmiştir. Gerçek performans oranı ile yapılan simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında PVSOL yazılımının % 76,8, Solargis yazılımının % 80,20 ve PVsyst yazılımının % 82,7 performans oranı verdiği görülmüştür. Santralin gerçek enerji üretim değerleri ile simülasyon sonucu üretilen değerler karşılaştırıldığında ise yıllık ortalama gerçek üretim değeri olan 58,56 MW değerine, PVSOL yazılımı ile 62,41 MW , PVsyst yazılımı ile 65,6 MW ve Solargis yazılımı ile 67,84 MW enerji üretebileceği sonucuna varmıştır. Toplanan veriler sonrasında PVSOL ve Solargis yazılımları, performans analizi için en iyi ve en uygun yazılım seçeneği olarak belirlenirken, PVsyst yazılımının ise kayıpları en aza indirmenin yanı sıra radyasyon dönüşüm faktörünün (TF) en yüksek değerini elde etmek için ideal eğim açısını belirlemek için başarılı bir yöntem sağladığı tespit edilmiştir (Homood, 2021).

2.2. Yenilenebilir Enerji

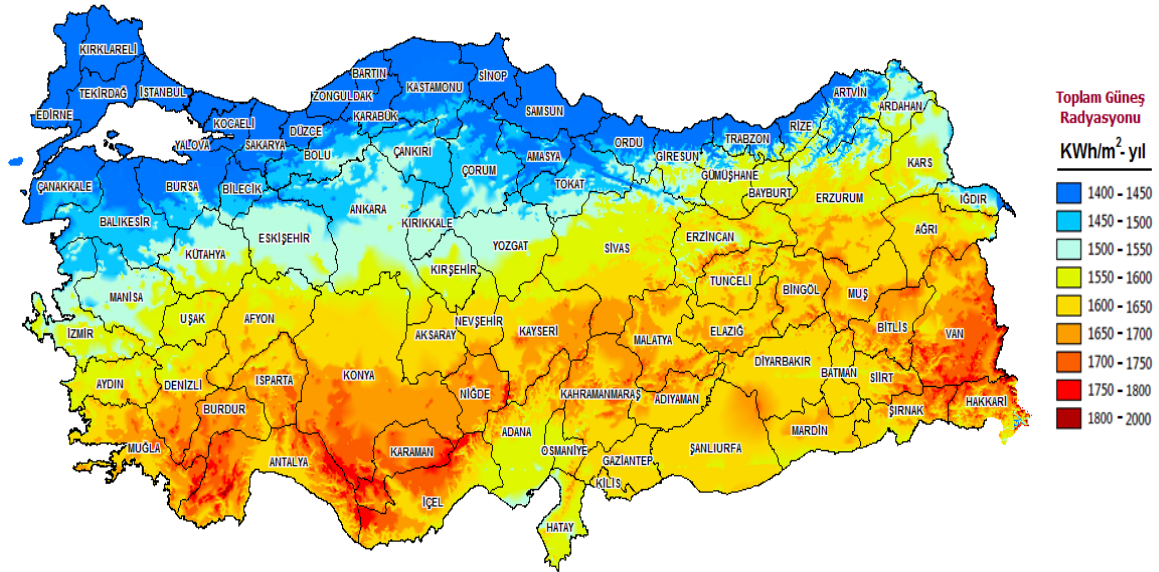
2.2.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Enerji kaynakları yenilenemez (tükenebilir) ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları sürdürülebilir değildir. Bu kaynaklar fosil kaynaklı petrol, doğal gaz, kömür, maden, hidrokarbon ve nükleer kaynaklardan elde edilmektedir. Fosil kaynakların yaygın olarak kullanımı ekosistemi ve iklimi olumsuz yönde etkilemektedir. Yoğun hava kirliliği ve küresel ısınmaya sebep olması günümüzde daha dikkat çekici hale gelmiştir. Fosil kaynakların jeolojik olarak sadece belirli bölgelerde çıkması, belirli ülkelerin elinde bulunması, stoklarının gün geçtikçe azalması, ekonomik olarak pahalılığı, taşınması ve arz güvenliğinin sağlama zorlukları gibi birçok dezavantajı bulunmaktadır (İnan, Akbulut ve Aslan, 2018). Hatta günümüzde görüldüğü gibi ülkeler petrol, doğal gaz ve nükleer enerjiyi tehdit ve yaptırım araçları olarak da kullanmaktadır. Bu sebeplerden dolayı fosil kaynaklara sahip olmayan ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına daha hızlı bir şekilde yönelmektedir. Yenilenebilir enerji sektörü, jeolojik olarak fosil kaynaklara sahip olmayan ülkelerin enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için büyük bir fırsat olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, hidroelektrik, biokütle, jeotermal, dalga, gelgit, hidrojen vb. tükenmeyen kaynaklardan oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji sürekli devamlılığı olan kaynaklardan oluşmaktadır. Bu kaynaklar kendileri tükenmeden başka enerjilere dönüşebilmekte ve çevreye olumsuz etkiler bırakmamaktadır (İnan ve diğerleri, 2018). Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması fosil kaynaklı enerji tüketimini azaltarak atmosfere salınan karbon emisyonunu azaltarak küresel ısınmanın azalmasına katkı sağlayacaktır.

2.2.2. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli

Türkiye, coğrafi konumu sebebiyle önemli bir güneş enerji potansiyeline sahiptir. Aşağıdaki güneş radyasyonu haritasından da görüleceği üzere ülkemizde güneye doğru gidildikçe güneş radyasyon oranının arttığı görülmektedir (Harita 2.1). Ülkemizin güney ve doğuda kalan illerinde güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve Konya, Karaman ve Antalya çevreleri oldukça yüksek güneş enerji potansiyeline sahiptir (YEGM, 2021).

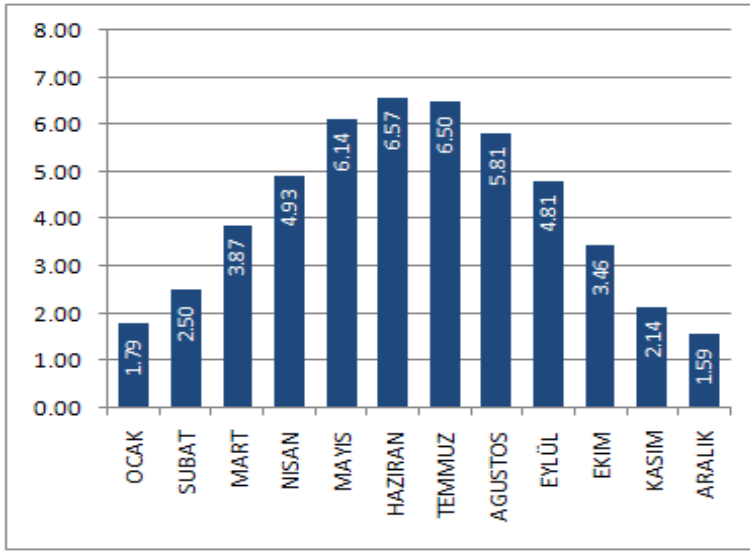


Harita 2.1. Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası (GEPA, 2021)

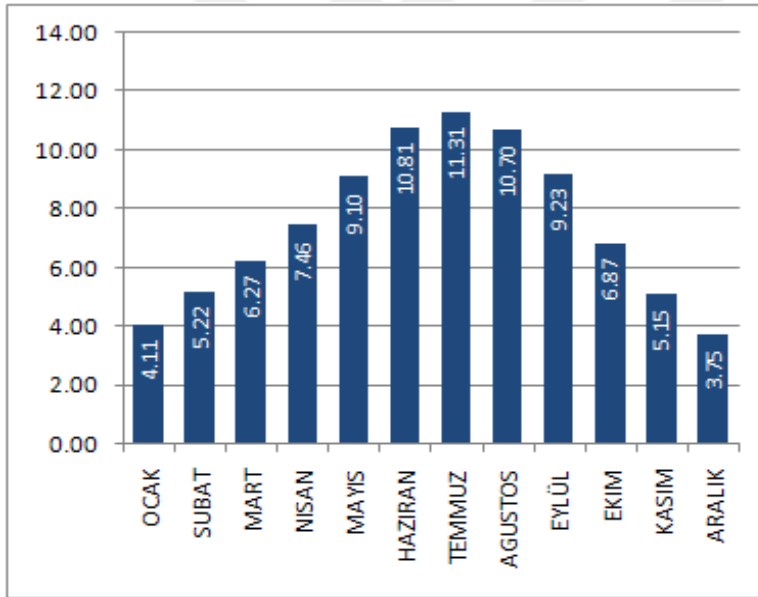
Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre ülkemizde güneşlenme süreleri ve ısıtım şiddetleri aşağıda özetlenmiştir.

- Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi = 2741,07 saat/yıl
- Ortalama günlük toplam güneşlenme süresi = 7,50 saat/gün
- Ortalama yıllık toplam ısıtım şiddeti = 1527,46 kWh/m²-yıl
- Ortalama günlük toplam ısıtım şiddeti = 4,18 kWh/m²-gün

Global radyasyon değerlerinin yaz aylarında arttığı Şekil 2.1'de görülmektedir. Türkiye için özellikle haziran, temmuz ve ağustos aylarında güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri maksimum değerlere çıkmaktadır (Şekil 2.2) Global radyasyon değerinin en yüksek olduğu ay haziran iken, güneşlenme süresinin en uzun olduğu ay temmuz ayıdır.

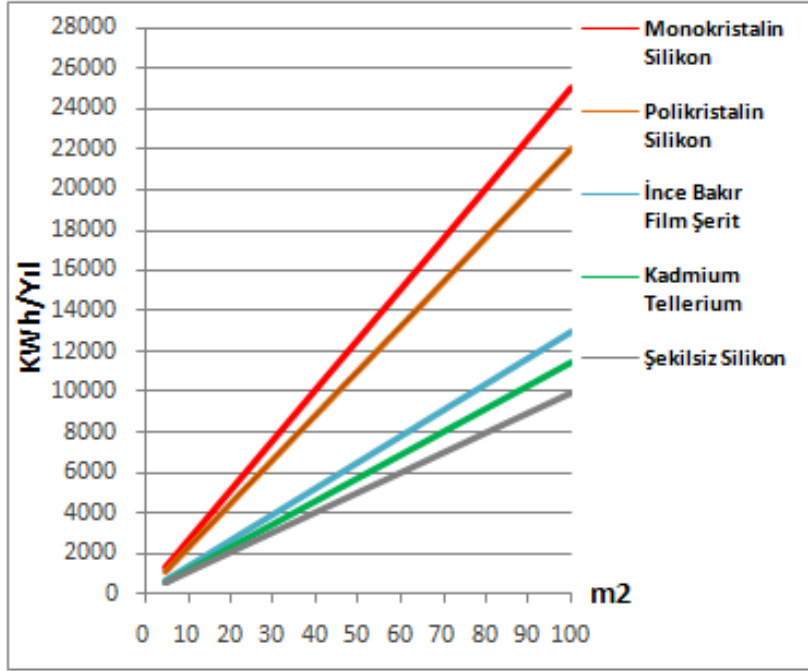


Şekil 2.1. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) (GEPA, 2021)



Şekil 2.2. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) (GEPA, 2021)

Türkiye’de kullanılacak panel tipi grafiğine bakıldığında kristal panellerden metrekare başına üretilebilecek enerji miktarının diğer panellere daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 2.3). Özellikle yüksek verimlerinden dolayı monokristal silikon panellerin metrekare başına en yüksek enerji üretme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Bu sebeple panel yerleşim alanı kısıtlı olan çatı uygulamaları gibi yerlerde metrekare başına yüksek verimlere sahip olan monokristal panellerin kullanımı daha avantajlı olacaktır.



Şekil 2.3. Türkiye PV tipi-alan-üretilebilecek enerji (kWh/Yıl) (GEPA, 2021)

Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasına göre yıllık güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyeli 380 milyar kWh olarak bulunmuştur. Çizelge 2.1’den görüleceği üzere Türkiye’nin en fazla güneş potansiyeli olan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesidir. En az güneş enerji potansiyeline sahip olan bölge ise Karadeniz bölgesidir.

Çizelge 2.1. Türkiye bölgelere göre güneş radyasyon değerleri ve ortalama güneşlenme Süreleri (GEPA, 2021)

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

2.2.3. Fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik sistemler elektrik enerjisi üretmek amacıyla başta güneş panelleri olmak üzere inverter, panolar, kablolar, montaj elemanları, sayaçlar, vb. bir çok ekipmanın bir araya getirilerek oluşturulan sistemli bir yapıdır. Önceleri uydu sistemleri ve uzay çalışmalarında kullanılan güneş pilleri daha sonraları yaygınlaşarak elektrik enerjisi üretiminde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde bir çok dünya ülkesi bu önemli enerji kaynağına çeşitli destekler ve teşvikler vererek bu sistemlerin gelişmesini sağlamaktadır. Türkiye’de de fotovoltaik sistemlerden elektrik enerjisi üretimini desteklemek için çeşitli kanun ve yönetmelikler çıkarılmıştır (Yalçın, 2010).

Fotovoltaik sistemler ürettiği elektrik enerjisini şebekeye verip vermediğine göre off grid (şebekeden bağımsız) ve on grid (şebeke bağlantılı) olarak ikiye ayrılmaktadır. On grid sistemler tamamen ürettiği enerjiyi şebekeye satmak amacıyla kurulabileceği gibi kendi ihtiyacını karşıladıktan sonra artan enerjiyi de şebekeye satmak amacıyla kurulabilmektedir. Off grid sistemler ise daha çok elektrik iletim hatlarının olmadığı yerlerde elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılırlar. Güneş enerji sistemleri açık araziler üzerine kurulabildiği gibi daha dar alanlar olan ve tarım arazilerine zarar vermeyecek şekilde bina çatı ve cephelerinde de kullanımı yaygınlaşmaktadır. Çatı ve cephe üzerinde kullanımın yaygınlaşması ile birlikte daha küçük alanlarda yüksek verim elde edebilmek için güneş pilleri üzerine yapılan araştırmalar da hız kazanmıştır (Yalçın, 2010).

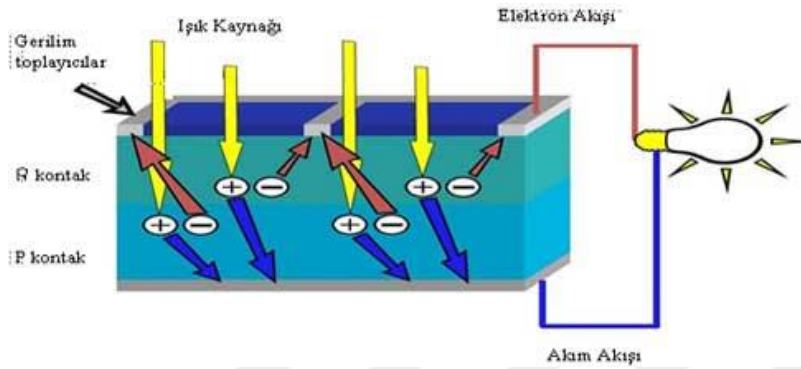
2.2.4. Güneş pillerinin yapısı ve çalışma prensibi

Güneş pilleri, fotovoltaik etkiden yararlanarak ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. Güneş pilleri (fotovoltaik pil), güneşten yüzeylerine gelen güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi yarı iletken maddelerden üretilirler (Bube, 1998).

Fotovoltaik pillerin yapısında, içeriğindeki elektron miktarları çok ve az olmak üzere sırasıyla p tipi yarı iletken madde ve n tipi yarı iletken maddeler bulunmaktadır. Fotovoltaik pillerin temel malzemesi olan silisyum gibi yarı iletken maddeler ile fosfor, alüminyum, indiyum, bor vb. maddeler katkılanarak n ya da p tipi yarı iletken malzemelere dönüştürülürler. Yarı iletken malzemenin n ya da p tipi olması eklenen maddeye bağlıdır.

Örneğin, silisyumdan n tipi yarı iletken malzeme elde etmek için silisyum, fosfor ile birleştirilirken, p tipi yarı iletken malzeme elde etmek için alüminyum, indiyum, galyum veya bor maddelerinden biri eklenmektedir (Koryürek, 2008).

Çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlardan oluşan n tipi ile çoğunluk yük taşıyıcıları boşluklardan (hole) oluşan p tipi yarı iletken yan yana getirilir. Güneş ışığı bu birleşim noktasına düşürülürse dış devreden Şekil.2.4 'te görüldüğü gibi bir akım geçebilmektedir (Kıyançıçek, 2013).



Şekil 2.4. Güneş pili yapısı (Günelan, 2022).

P-N tipi yarı iletken birleşiminde, elektronlar p tipi bölgeye geçerek birleşme yüzeyine yakın bölgelerde boşluk yük taşıyıcısındaki elektron eksikliğini tamamlayıp (-) iyonlar oluştururken n tipi bölgede de (+) iyon duvarı oluşacaktır. Dış etki olmazsa bu enerji duvarı akımın geçmesini engelleyecektir. Güneş ışığı bu bölgeye düşerse, yük taşıyıcı elektronlar çok az oranlarda olduğundan, muhtemelen bir değerlik (valans) elektrona enerjisini bırakacak ve onu p tipi bölgeye doğru itecektir. Dış devre akımı ise p'den n'ye doğru olacaktır. Bu şekilde güneş pilleri, belirli güneşlenme şartlarında, birim alan başına belirli bir akım ve gerilim üretirler. İstenilen miktarda bir enerji üretmek için birçok pili seri veya paralel olarak bağlamak gerekir. Bu şekilde güneş panelleri oluşturulur (Günkaya, 2001).

2.2.5. Güneş pili çeşitleri

2.2.5.1. Kristal silisyum güneş pilleri

Güneş pillerinde en çok kullanılan madde silisyumdur. Silikon güneş pillerinin çoğunluğu, tekli kristal ya da çoklu kristal silisyum tabaka olarak imal edilirler. Tekli kristal

(monokristal silikon) halindeki tabakalar tipik olarak daha iyi malzeme parametrelerine ve performans oranına sahiptir fakat fiyatları daha pahalıdır. Silisyum elementi doğada saf halde bulunmadığı için çeşitli ayrıştırma teknolojileri ile saflaştırılarak kullanılmaktadır. Bu durum üretim maliyetlerini arttırmaktadır (Uçar, 2018).

Monokristalin silisyum fotovoltaik hücrelerin malzeme özellikleri homojendir ve özelliklerini daha uzun süre koruyabilmektedir. Tek bir silikon kristalinden yapılmış güneş hücrelerine sahiptir. Piyasada yaygın olarak kullanılan en yüksek verimli güneş pili çeşididir. Laboratuvar ortamında verimleri % 26 civarlarında olan bu hücrelin ticari olarak piyasada kullanılanlarının verimi günümüzde % 20'nin üzerindedir. Bu tip hücreler, büyütüldükten sonra 200 mikron kalınlığa inceltiren monokristalin silisyum blokların tabakalar halinde bölünmesiyle elde edilirler (Kılıç, 2018).

Polikristal silisyum fotovoltaik hücreler, erimiş silisyumun kalıba dökülerek soğumaya bırakılmasıyla çok kristal silisyum üretilir daha sonra da ince levhalar halinde kesilirler. Dolayısıyla üretimleri tek kristalin üretimine göre çok daha kolay ve ucuzdur fakat silisyum kristallerin sınır bölgelerindeki iç dirençlerin meydana gelmesi nedeniyle verimleri monokristal pillere göre düşük ve ortalama % 16 civarındadır. Kare şeklinde ingot bloklardan kesildiği için modül oluşturulduğunda kapanmamış alan meydana gelmez (GAMA, MYO ders notları).

2.2.5.2. İnce film fotovoltaik hücreler

İnce film güneş panelleri cam, metal veya plastik geniş zeminler üzerine yarı iletken malzemelerin ince film şeklinde kaplanması ile elde edilir. Milimetrenin binde biri veya milyonda biri incelikte yapılabilirler. İnce film paneller uygulanan yüzeyin şeklini alarak esnek ve hafif hale gelir. Bu sebeple düz olmayan bina çatıları ve bina dış cephelerinde sıklıkla kullanılırlar. İnce film güneş panellerin laboratuvar ortamındaki verimi % 18' lere ulaşırken ticari amaçlı kullanılan modüllerde bu oran % 11-% 14 arasında değişmektedir. İnce film paneller güneş ışığını yüksek oranda absorbe eder, düşük ışık spektrumunda iyi performans göstermesine rağmen verimleri kullanım süresine göre hızlı bir şekilde düşer (Pickerel,2018). İnce film güneş pili üretimi kristal silikon güneş pillerine göre ucuzdur fakat kristal silikon güneş pillerine oranla verimleri düşüktür.

İnce film fotovoltaiik hücre yapımında yaygın olarak Amorf silikon (a-Si), Kadmiyum tellür (CdTe), Bakır indiyum selenid (CIS) ve Bakır indiyum galyumselenid (CIGS) kullanılmaktadır.

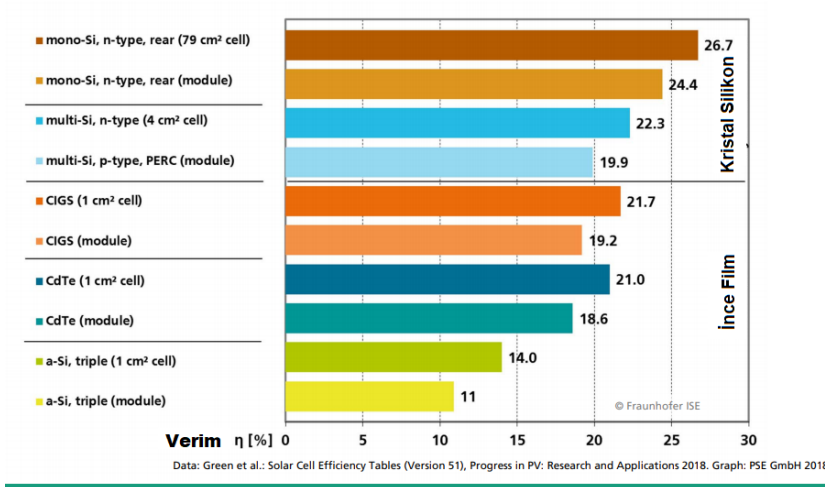
İnce film güneş pilleri içerisinde amorf silikon (a-Si) güneş pilleri en düşük verime sahiptir. P-N eklemi yerine P-İ-N yapısı bulunmaktadır. Bu madde silane gazından (SiH₄) 80- 200 derecede plazma destekli kimyasal çöktürme işlemiyle elde edilmektedir (GAMA, MYO ders notları). Laboratuvar ortamında verimleri % 14-% 16 olmasına rağmen piyasada kullanılan amorf silikon panellerin verimleri yaklaşık % 10 civarındadır. Güneş ışığını absorbe etme kapasiteleri yüksektir, bu nedenle güneş radyasyon değerleri yüksek olan ve sıcak yerlerde kullanımı uygundur.

Kadmiyum tellür (CdTe) güneş pillerinin verimleri amorf silikon pillere göre yüksektir. Güneş ışığını absorbe etme kapasiteleri yüksektir. Kadmiyum maddesinin zehirli toksik bir madde olmasından dolayı üretim sürecinde ve modüllerde meydana gelebilecek hasarlarda çevreye olabilecek olumsuz etkileri dikkate alınmalıdır.

Bakır indiyum galyum selenid (CIGS güneş pilleri, ince film güneş pilleri arasında en yüksek verime sahiptir. Laboratuvar verimleri %20'nin üzerinde olmasına rağmen piyasada kullanılan çeşitleri maksimum %14 verimlere ulaşabilmiştir. Kadmiyum gibi toksik maddeler içermezler (Pickerel, 2018).

Şekil 2.5'dan anlaşılacağı üzere monokristal güneş pillerinin verimleri diğer güneş pili çeşitlerine göre oldukça yüksektir. Fakat monokristal üretim sürecinin zor ve pahalı olması, yapısının esnek olmaması diğer güneş pillerinin de yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur.

Laboratuvar koşullarında güneş hücresi verimlerinin karşılaştırılması

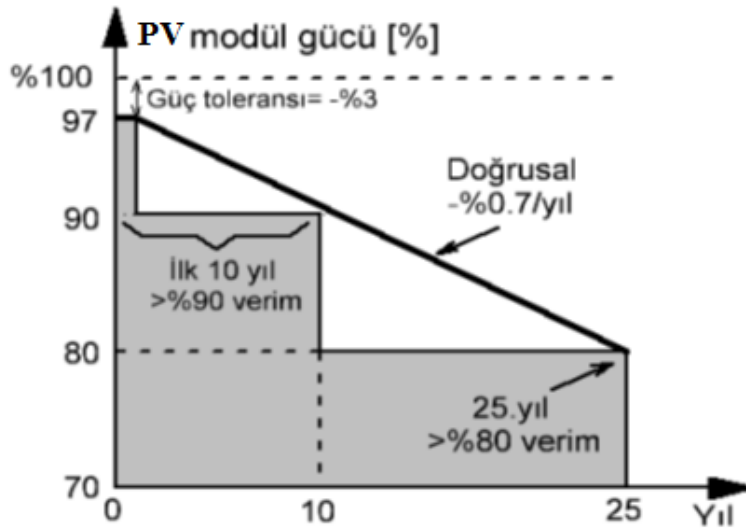


Fraunhofer
ISE

Şekil 2.5. Güneş pili çeşitlerinin verimlilik oranları (Pickerel, 2018)

2.2.6. PV panellerin verimlerinin karşılaştırılması

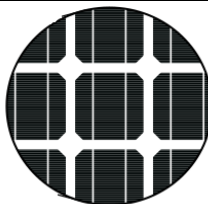
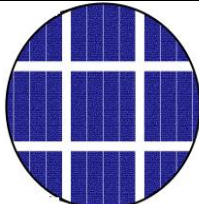
Güneş panelleri 36 veya daha çok güneş hücresinin seri bağlanmasıyla oluşturulur ve laminasyon tekniğiyle hermetik olarak paketlenerek dış ortamın bozucu etkilerinden uzun yıllar (~25 yıl) boyunca etkilenmemesi sağlanır. Bir PV sistemin ömrünü PV panellerin ömrü belirlediğinden mümkün olduğunca uzun ömürlü güneş panelleri tercih edilmelidir. Genel olarak çoğu üretici 25.yılda % 80 panel gücünü garanti etmektedir (Şekil 2.6). Birçok üretici firma panel gücündeki azalmayı doğrusal olarak ifade ederken bazı firmalar ise panel gücünde kullanım süresinin 10.yılında % 90 ve 25.yılında % 80 güç garantisi şeklinde kademeli düşüş olarak belirtmektedir. Diğer yandan PV panellerin güç toleransı $\pm$ %2,5 ile $\pm$ %5 arasında değişmektedir. Örneğin 300W'lık bir panelin güç toleransı % 3 ise gerçek gücü 291 W ile 309 W arasında değişebilmektedir. Bu durum bir PV sistemde uyumsuzluk (mismatch) kayıplarını arttıran bir etkendir ve dolayısıyla toleransı düşük olan panellerin kullanılması uygun olacaktır (Boztepe, 2017).



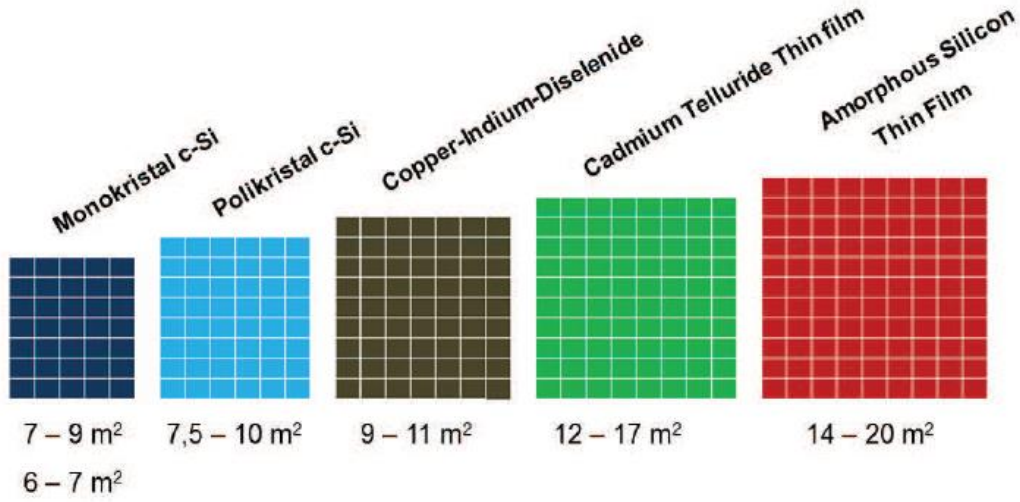
Şekil 2.6. PV panel gücünün yıllara göre değişimi (Boztepe, 2017)

PV paneller zorlu iklim koşullarına dayanabilecek nitelikte üretilmektedir. Genellikle yağmurdan etkilenmemektedir fakat büyük dolu taneli yağışlarda hasar alabilme ihtimalleri bulunmaktadır. Hava koşullarına uygun yapılmamış montaj konstrüksiyonu veya üretim hataları panellere zarar verebilir. Sürekli rüzgarlar ve oluşabilecek aşırı rüzgarlar düşünülerek panel yerleşimi ve konumlandırılması yapılmalıdır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. PV panellerin karşılaştırılması (Solarsena, 2022)

Özellikleri	MONOKRİSTAL SİLİKON GÜNEŞ PANELİ	POLİKRİSTAL SİLİKON GÜNEŞ PANELİ	İNCE FİLM GÜNEŞ PANELİ
			
Maliyet	Yüksek	Orta	Düşük
Verim	Yüksek % 17-% 24	Orta % 14- % 20	Düşük < %15
Ömür	Uzun > 25 yıl	Uzun > 25 yıl	Orta < 20 yıl
Ağırlık	Ağır	Ağır	Hafif

Şekil 2.7’den de anlaşılacağı üzere çatı ve cephe uygulamaları gibi dar alanlarda yüksek verim almak için monokristal silikon panellerin kullanımı uygun bir seçim olacaktır.



Şekil 2.7. Panel tiplerine göre alan gereksinimleri (Mastar, 2011)

2.3. Güneş Enerji Sistemleri

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretebilmek için çeşitli fotovoltaik santraller kurulmuştur. Bu santraller şebekeden bağımsız (off grid) ve şebekeye bağlı (on grid) olarak ikiye ayrılmaktadır.

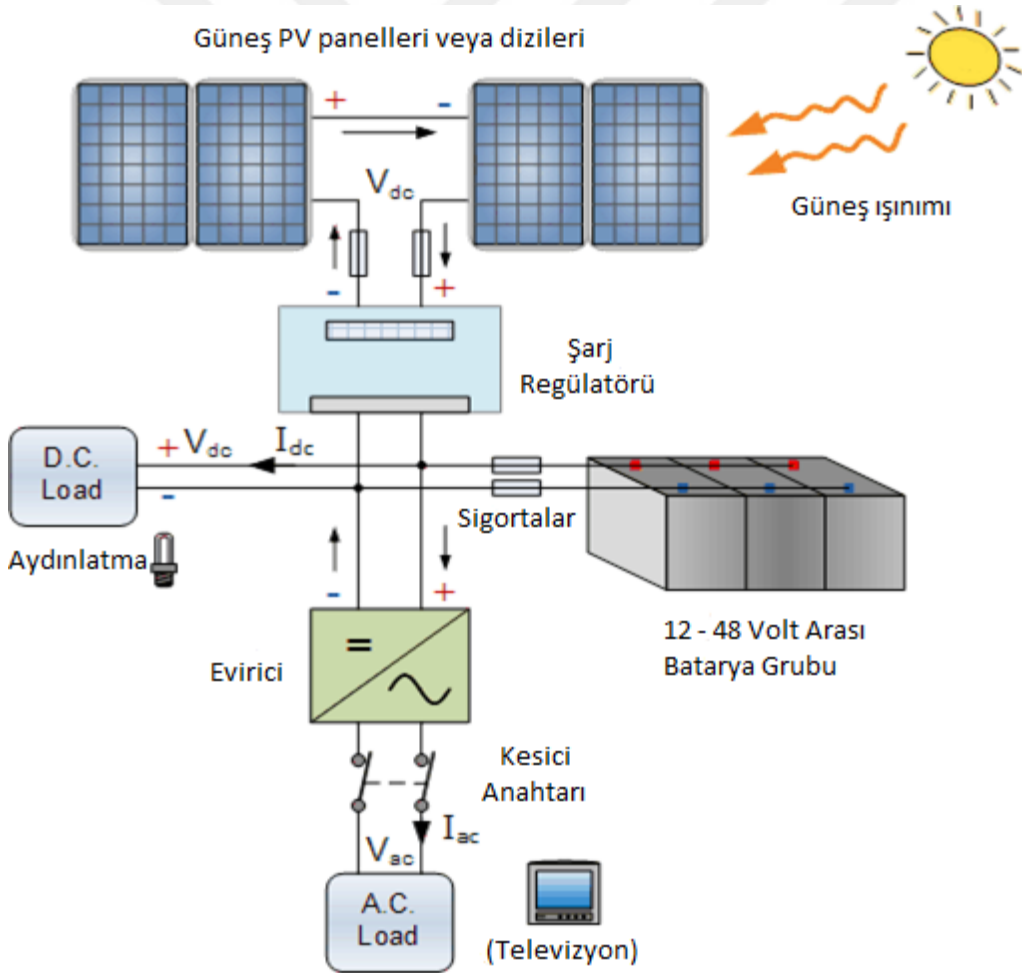
2.3.1. Şebekeye bağlı olup olmadığına göre güneş enerji santralleri

2.3.1.1. Off grid (şebekeden bağımsız) sistemler

Elektrik şebekesine elektrik enerjisi satmayan, ürettiği elektrik enerjisini kendisi kullanan sistemlerdir. Bu tip sistemler genelde bireysel kullanım için tasarlanıp, şebeke elektriğinin olmadığı yerlere elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kurulur. Bu sistemlerde gündüz üretilen elektrik enerjisinin gece de kullanılabilmesi için üretilen enerji akü veya batarya gruplarında depolanır. Bataryalarda depo edilen enerji, şayet alıcılar doğru akımla çalışıyorsa direk kullanıma sunulur ama alıcılar alternatif akımla çalışıyorsa inverter ile alternatif akıma çevrilerek alıcılara verilir (www.alternative-energy-tutorials.com). Daha çok, küçük evsel kullanım için tasarlanırlar. Bu sistemler elektrik iletim hatlarının bulunmadığı yayla evleri, bağ evleri ve tarla sulama sistemleri için oldukça avantajlıdır.

Off grid sistemlerde şebekeye enerji satılmadığı için sistemin büyüklüğü ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre belirlenir. Bu sistemlerin en önemli dezavantajı gece de elektrik enerjisi kullanılacaksa akü veya batarya grubuna ihtiyaç duymasındır. Akü ve bataryalar kurulum ve bakım masraflarını ciddi oranda artırmaktadır.

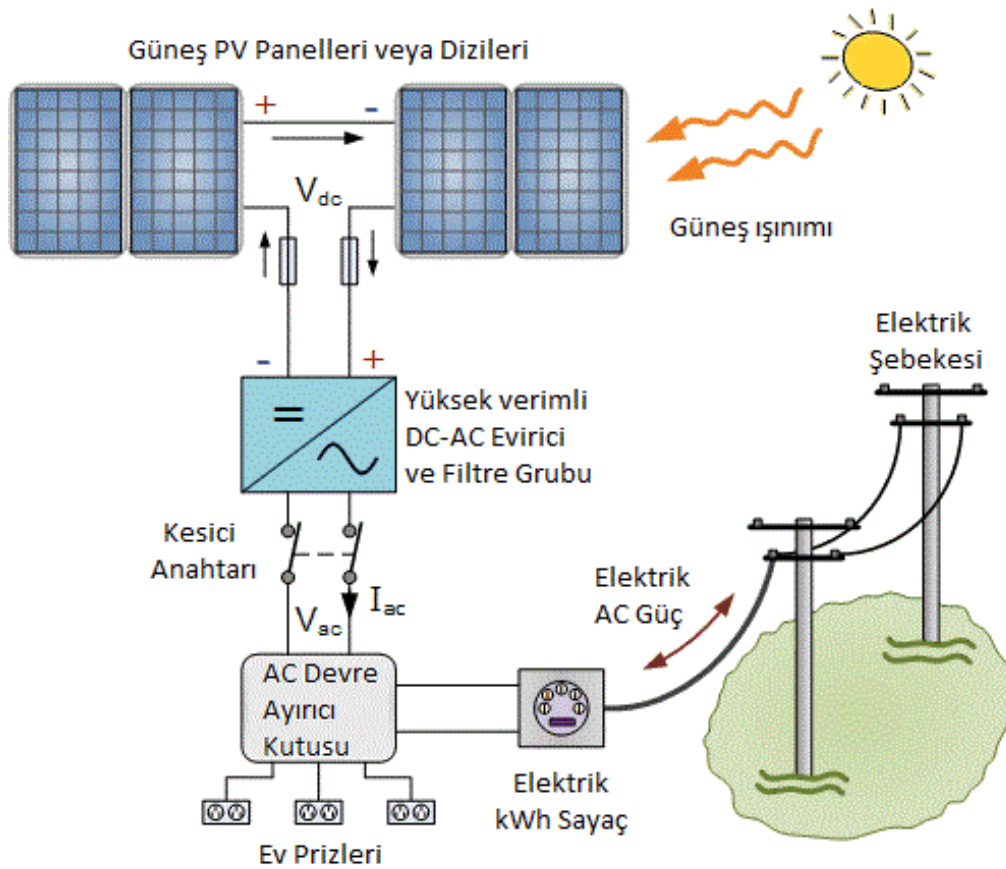
Off grid sistemler; güneş panelleri, şarj regülatörü, inverter ve akü grubundan oluşur. Yeni üretilen akıllı inverterlerin içerisinde şarj regülatörü bulunmakta ve ayrıca harici bir şarj regülatörüne gerek kalmamaktadır (Şekil 2.8). Off grid sistemlerde akü ve batarya kapasiteleri öz tüketimi sağlayacak büyüklükte hesaplanarak seçilmelidir (Kıyançıçek, 2013). Akü ve batarya gruplarının ömürleri genelde 4-10 yıl arasında değişmektedir. Bu durum off grid sistemlerin kurulum ve bakım maliyetlerini artırmaktadır.



Şekil 2.8. Off grid sistem şekli (Alternative Energy Tutorials, 2022)

2.3.1.2. On grid (şebekeye bağlı) sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler yüksek güçte tasarlanabileceği gibi, ihtiyacından fazla üretilen elektrik enerjisini şebekeye verebilecek olan küçük güçlü şekilde de tasarlanabilir (Şekil 2.9). Şebekeye bağlı sistemler akülere ihtiyaç duymazlar. Şebekeye bağımlı küçük kapasiteli evsel sistemler ihtiyaç fazlası elektriği şebekeye verirken ihtiyaç duyduğu zaman şebekeden de elektrik alabilir. İlk kurulum maliyetleri akü ve batarya grubu kullanılmadığı için aynı güçteki Off grid sistemlere nazaran azdır.



Şekil 2.9. On grid GES sistem şekli (Alternative Energy Tutorials, 2022)

2.3.2. Fotovoltaik sistemlerde kullanılan ekipmanlar

Güneş pili sistemleri uygulamanın özelliğine göre oluşturulur. On grid bir sistem; PV paneller, inverter, çift yönlü sayaç ve solar kablolardan oluşur. Off-grid sistemlerde ise bunlara ek olarak akü-batarya grubu ve akü şarj regülatörü de kullanılır.

2.3.2.1. Güneş panelleri (PV paneller)

Bir güneş enerji santralinin en önemli elemanı olan güneş panelleri, güneş enerjisini doğru akım elektrik enerjisine dönüştüren elemanıdır. Bu paneller ihtiyaç duyulan güce göre seri veya paralel bağlanarak güneş paneli dizisini oluştururlar. Günümüzde monokristal silikon bir güneş paneli güneşli bir havada saatte 500 W'ın üstünde elektrik enerjisi üretebilir. Elde edilen gerilimi artırmak için paneller seri olarak, akımı artırmak için ise paralel olarak bağlanabilirler. Bunun sonucunda güneş paneli dizisi elde edilir. Elektrik enerjisi ihtiyacına göre panel sayısı belirlenerek kurulum gerçekleştirilir (Küçükgoze, 2016).

Piyasada çoğunlukla kristal silikon paneller kullanılmaktadır. Verimlerinin yüksek olması ve uzun yıllar boyunca güç performanslarını koruyabilmeleri bu panelleri cazip hale getirmiştir. Verimlerinin kristal panellere göre düşük olmasına rağmen bina cephe kaplama ve kavisli çatılarda ise esnek yapısından ve montaj kolaylığından dolayı ince film paneller tercih edilmektedir.

2.3.2.2. İnverter (Evirici)

PV sistemlerdeki paneller doğru akım (DC) elektrik enerjisi üretirler. Üretilen DC gücü evlerde ve iş yerlerinde AC güç tüketen cihazlara bağlayabilmek için, alternatif akım (AC) formuna dönüştürmek gerekir. Bu DC gücü AC güce dönüştüren elektronik cihazlar inverter (evirici) olarak adlandırılırlar. Sistemin bir anda ne kadarlık güce ihtiyaç duyacağına, sistemin şebekeye bağlı olup olmayacağına göre kullanılacak evirici tipi ve boyutu değişeceğinden, sistem maliyeti de değişecektir. Piyasada kare dalga, sinüs dalga ve modüle edilmiş sinüs dalga çıkışlı, elektrikli cihazların ilk çalışma anlarında yüksek akım çekmesi durumunu karşılama oranları birbirinden farklı olan ve verimleri birbirinden farklı olan inverter tipleri mevcuttur (Resim 2.1). Bu nedenle, evirici seçiminde yukarıda belirtilen özelliklere dikkat etmek gerekir. İnverterlerin dönüştürme verimleri DC gücü AC güce dönüştürme oranlarıyla ifade edilir. İnverterlerin verimleri tipine göre değişmekle beraber genelde %90'dan fazladır (Küçükgoze, 2016).



Resim 2.1. Solar sistemlerde kullanılan çeşitli inverterler (Indiamart, 2022)

İnverterler şebeke bağlantılı olup olmamasına ve tek fazlı veya 3 fazlı olmasına göre adlandırılırlar. Şebeke bağlantılı inverterler; merkezi, dizi (string) ve mikro inverter olmak üzere üç çeşittir. Merkezi inverterler; büyük güçlü santrallerde kullanılan genelde güçleri MW olarak ifade edilen inverterlerdir. Dizi (string) inverterler; genelde panellerin diziler halinde ayrı ayrı elektrik üretmesini sağlamak amacıyla kullanılan inverterlerdir. Orta büyüklükteki arazi santrallerinde ve çatı uygulamalarında bu tip inverterler kullanılır. Mikro inverterler ise her panele ayrı ayrı monte edilen küçük güçlü inverterlerdir (Sağlam, 2018). Çatılardaki kısmı gölgelemeli paneller için sıklıkla kullanılmaktadır fakat her panel için ayrı bir mikro inverter kullanılması maliyeti artırmaktadır.

İnverter gücünün sistem gücüne göre seçilmesi gerekir. İnverter gücü sistemin toplam gücünün altında seçilmemelidir. PV panel güçlerinin inverter gücü ile uyumlu olması gerekir, uyumsuzluk arttıkça sistemdeki kayıplarda artacaktır (Boztepe, 2017).

On grid sistemlerde seçilecek inverter gücü PV panellerin toplam gücünün % 10'dan az olmamalıdır. PV paneller gibi inverterlerin de sıcaklık artışı ile verimleri düşer. Bu sebeple inverter kurulumu yapılırken inverterin rahatlıkla ısıyı dışarı atabilecek şekilde, havalandırılması kolay olan yerler tercih edilmelidir. İnverterlerin doğrudan güneş ışığı

almayan hava sirkülasyonun rahat bir şekilde yapıldığı yerlere montajının yapılması inverterlerin daha yüksek verimde çalışmasını sağlayacaktır.

2.3.2.3 Solar kablolar

PV sistem tasarımında göz önünde bulundurulması gereken bir bileşen de kablolardır. Sistemin kablolaması yapılırken, sistemde enerji kaybının en az düzeyde olması ve ileride olası elektrik kaçağı, kısa devre ve yangın gibi durumlarla karşılaşılmasını için, kabloların dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Kabloların yeterli güvenlik şartlarını sağlaması için yayınlanmış ulusal ve uluslararası standartlar mevcuttur. PV sistemlerde üretilen DC elektrik, kablolarla eviriciye kadar gelir ve eviriciden (inverter) binanın elektrik şebekesine verilir. PV sistemlerde kullanılacak kabloların güneş ışığına karşı dayanıklı olması gerekir. Kablolar seçilirken içinden geçecek akım miktarına göre bir kesit hesaplaması yapılır (Küçükgoze, 2016).

2.3.2.4. Çift yönlü sayaç

Çift yönlü sayaç, şebekeye verilen elektrik ile tüketim için şebekeden alınan elektriği kayıt altına alır, daha sonra mahsuplaşma yöntemi ile karşılaştırılır ve ay sonunda gelen elektrik faturası buna göre belirlenir (Resim 2.2). Ticari sistemlerde ise satılan elektriği hesaplar (Küçükgoze, 2016).



Resim 2.2. Çeşitli çift yönlü 3 fazlı sayaçlar (Köhler sayaç, 2022)

2.3.2.5. Uzaktan izleme ünitesi

Güneş panelleri tarafından üretilen enerji verileri, inverterler tarafından kayıt altına alınır bu veriler inverterlere bağlı bir modem tarafından internet bağlantısı olan her türlü bilgisayar, cep telefonu veya tablete gönderilebilir. Kullanılan programa göre veriler sayısal ve grafiksel olarak saatlik, günlük, haftalık, aylık ve toplam yıllık olarak kaydedilir. Günümüzde şirketler yapay zeka teknolojisini de kullanarak güneş enerji santral verilerini kaydederken bu verileri meteorolojik verilerle karşılaştırarak, santralin üretmesi gereken enerji miktarı ile ürettiği enerji miktarını karşılaştırıp santralde enerji kaybına sebep olan bir sorun olup olmadığını anlayabilmektedir (Küçükgoze, 2016).

Her bir PV panel dizisinin ürettiği enerji miktarı izlenerek dizi de bir sorun olup olmadığı anlaşılır ve buna göre müdahalede bulunulur. Elektrik Dağıtım şirketleri de her bir santralin üretim verilerini SCADA sistemleri ile izler ve kontrol eder (Resim 2.3). Dağıtım şirketleri çift yönlü sayaç üzerindeki verilere ulaşmak için çeşitli GPRS alt yapıyı uzaktan izleme cihazları kullanmaktadır (Küçükgoze, 2016).



Resim 2.3. İnvertere bağlı modem ve sayaca bağlı uzaktan izleme cihazı

2.3.2.6. Akü veya batarya grubu

Off-grid sistemlerde güneş ışığının yetersiz olduğu üretimin tüketimi karşılayamadığı, geceleri ve kapalı, karlı vb. günlerde kullanılmak üzere sistemde solar akü ve bataryalara ihtiyaç duyulur. Güneş panelleri, gün boyunca ürettiği elektrik enerjisini solar jel akü ve bataryalarda depolar. Daha sonra sistemin elektrik üretmediği zamanlarda kullanılmak üzere sisteme verir. Solar jel aküler diğer sulu akülerden farklı olarak daha fazla sayıda tekrar

tekrar deşarj ve şarj olacak şekilde tasarlanırlar. Sulu akülere göre enerji tutma kapasiteleri ve verimleri yüksektir. Bu aküler santralin hiç elektrik üretmediği zamanlarda tüketim ihtiyacını karşılayacak sayı ve bağlantıda bulundurulmalıdır. Sistem ihtiyacına göre seri veya paralel bağlantı yapılabilir.

2.3.2.7. Akü şarj regülatörü

Akü şarj kontrol cihazları PV panellerin ürettiği elektrik enerjisinin akım ve gerilimini ayarlayarak akülerin zarar görmeden verimli bir şekilde şarj olmasını sağlar. Diğer bir görevi ise panellerin elektrik üretmediği zamanlarda örneğin geceleri akülerden panellere elektrik geçişini engelleyerek hem panelin zarar görmesini hem de panellerin iç direncinden dolayı akülerin boşalmasını engellemektir. MPPT (Maximum Power Point Tracking, Maksimum Güç Noktası İzleyicisi)) ve PWM (Pulse Width Modulation, Darbe Genişlik Modülasyonu) şarj kontrol cihazı olmak üzere iki çeşidi vardır. Bu cihazlar harici olacak kullanılabileceği gibi mevcut durumda piyasadaki bir çok inverterin içerisinde dahili olarak mevcuttur (Leblebicioğlu, 2019).

PWM şarj kontrol cihazlarında, akünün şarj durumuna göre cihaz aküyü kısa veya uzun şarj darbeleri gönderir. Şayet akünün şarjı yüksek seviyede ise kısa darbe boyunda ve kısa aralıklı akım gönderir. Şayet akü boş ise darbe uzun ve sürekli olur. Fiyatları MPPT şarj kontrol cihazlarına göre az olmasına rağmen verimleri MPPT şarj cihazlarına göre düşüktür. Daha çok küçük boyutlu Off grid uygulamalarda tercih edilmektedir (Leblebicioğlu, 2019).

MPPT şarj kontrol cihazlarında, PV panellerde üretilen elektrik enerjisinin maksimum noktasını takip ederek üretilen elektrik enerjisini en optimum akım ve gerilim değerine dönüştürerek aküleri şarj eder. Akü veya bataryaların şarj seviyelerini sürekli kontrol ederek dolum yapar veya şarjı keser. MPPT şarj cihazları yüksek gerilimi akıma dönüştürebilir. Akımın artması akülerin daha kısa sürede şarj olmasını sağlar. Bu özelliği PWM şarj kontrol cihazına göre daha verimli çalışmasını sağlar. Fiyatları ve verimleri PWM cihazlara göre fazladır (Leblebicioğlu, 2019).

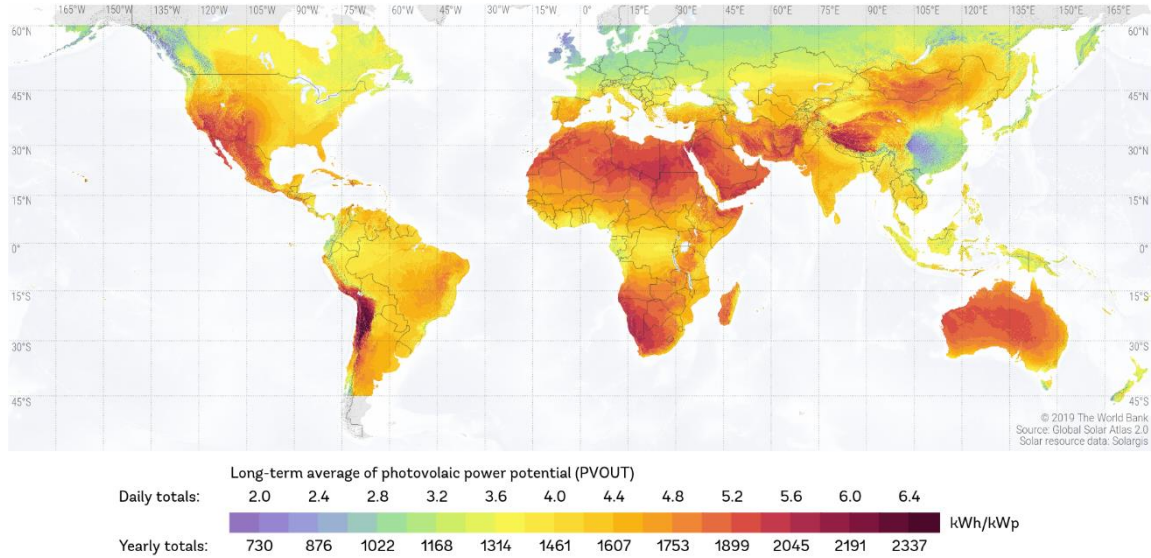
Şarj kontrol cihazları seçerken güneş panellerinin gücü ve akü kapasitelerine dikkat edilmelidir (Leblebicioğlu, 2019). Güneş panellerinin gücünü taşıyamayacak şekilde küçük

seçilen şarj kontrol cihazları çeşitli arıza, kısa devre, yangın ve akülerin zarar görmelerine sebebiyet verebilir.

2.4. Fotovoltaik Santrallerin Verimini Etkileyen Unsurlar ve Kayıplar

2.4.1 Güneş ışıınımmı faktörü

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin ışıınımmı değeri yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değeriindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferin bir miktar ışığı geri yansıtması ve dünyanın şeklinden dolayı $0\text{-}1100 \text{ W/m}^2$ değeri arasında değışmektedir (Harita 2.2). Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır (ETBK).



Harita 2.2. Global güneş radyasyon dağılımı (Global solar atlas, 2021)

Dünya yüzeyinde güneş ışınlarının dik geldiği bölgelerde güneş ışıınımmı değeri daha yüksektir. Bu sebeple dünyada ekvatora yakın bölgelerdeki ülkeler, Akdeniz bölgesinde bulunan ülkeler ve güney yarım kürede bulunan ülkelerin güneş ışıınımmı değeri daha yüksektir.

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ortalama yıllık toplam ışıınımmı şiddeti $1527,46 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ ve ortalama güneşlenme süresi ise günlük

yaklaşık 7,5 saattir. Türkiye’de özellikle güneyde bulunan illerimiz, Antalya, Konya ve Karaman gibi illerimiz yüksek güneş radyasyon değerlerine sahiptir.

Güneş ışıınım değerleri bulunan bölgenin coğrafi konumu, bulutluluk durumu, nem ve mevsime göre değişmektedir. Bu sebeple panel yerleşimi yapılırken bu durumlar göz önüne alınmalıdır.

2.4.2. Panel yerleşim açısı ve yönü

Güneşin konumu dünyada bulunan bir noktaya göre sürekli yer değiştirmektedir. Türkiye kuzey yarım kürede bulunduğu için PV panel yerleşimleri güneye bakacak şekilde yerleştirilmelidir. Panelin dikey eğimi ve azimut açısı fotovoltaik sistemin verimini direkt olarak etkilemektedir.

Azimut açısı güneşin yer yüzüne iz düşümünün boylama göre sapmasını gösterir. Şayet kuzey yarım kürede bir panel tam güney yönüne bakıyorsa azimut açısı ‘0’ derecedir. Azimut açısı güney ve batı arasında pozitif değerler alırken, güney ve doğu arasında negatif değerler almaktadır. Maksimum verim için kuzey yarım kürede azimut açısının 0^0 olarak ayarlanması gerekmektedir yani panelimizin tam olarak güney yönüne bakması gerekir. Panel açısı güneyden saptıkça PV sistemin de verimi düşecektir (Maleki, 2017)

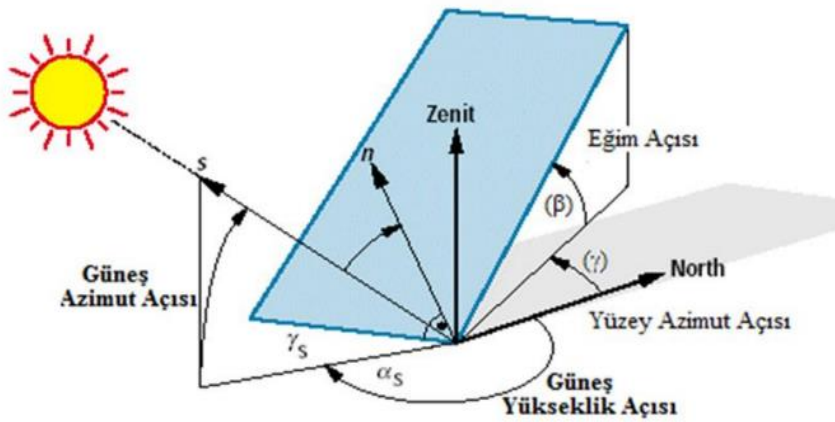
Güneşin gün içerisindeki konumu gün içerisinde sürekli değiştiği için güneş ışınlarından optimum olarak faydalanmak için panel yerleşim eğimi önemlidir. Güneş ışınları panel üzerine ne kadar dik açıyla gelirse verim de aynı oranla artar. Gün içerisinde güneş ışınlarının panel üzerine güneş batıncaya kadar dik açıyla gelebilmesini sağlamak amacıyla, solar takip sistemleri geliştirilmiştir. Fakat solar takip sistemlerinin maddi olarak pahalı olması ve her türlü arazi ve çatı üzerine uygulama zorluğu sebebiyle günümüzde hala fotovoltaik santrallerin sabit eğimli olarak montajı yaygın olarak yapılmaktadır. Bu sebeple ilk kurulum anında panel eğimlerinin maksimum verimi sağlayacak şekilde hesaplanarak kurulması gerekir.

Enlem herhangi bir noktanın ekvatora uzaklığının açı cinsinden değeridir. Her bir bölge ve şehrin de enlemleri farklıdır, bu sebeple PV panelleri yerleştireceğimiz bölgeye göre panellerin optimum eğim açısı da değişecektir. PV panellerin yaz veya kış mevsimlerinde,

mevsimlik duruma göre maksimum verimle çalışabilmesi için ilk kurulum anındaki açı ve eğim hesaplamaları doğru olarak yapılmalıdır (Umut, 2008).

Azimut açısı ve panel eğimi hesaplamaları için çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Şekil 2.10). Genelde simülasyon programları (PVsyst, PVSOL, PVGIS vb.) ile panellerin kurulacağı coğrafi bölge seçilerek azimut açısı ve panel eğim açısı kolaylıkla bulunabilmektedir.

Diğer yöntemler ise enleme göre matematiksel olarak yapılan hesaplama ve internet üzerinden coğrafi koordinatları kullanan yazılımlardır (Umut, 2008).



Şekil 2.10. PV panel açıları (Yılmaz, Karatutlu ve Kekeç, 2015).

Optimum eğim açısının matematiksel olarak hesaplamaları (Umut, 2008) :

$$\text{Bütün yıl için yaklaşık olarak optimum eğim açısı} = \text{enlem} \quad (1)$$

$$\text{Yaz mevsimi için optimum eğim açısı} = \text{enlem} - 10^\circ \quad (2)$$

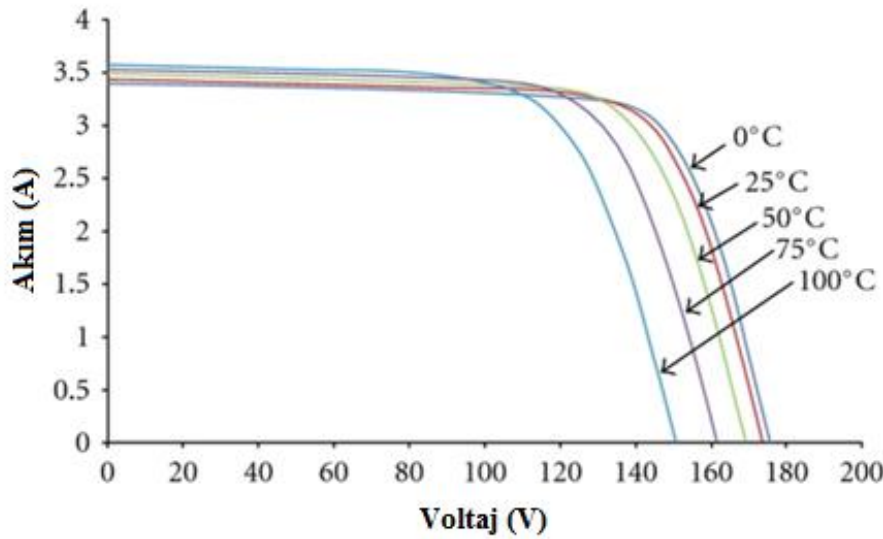
$$\text{Kış mevsimi için optimum eğim açısı} = \text{enlem} + 10^\circ \quad (3)$$

$$\text{Benzer şekilde yıllık optimum eğim açısı} = 0.9 \times \text{enlem} \quad (4)$$

Türkiye'nin matematik konumu; 26°- 45°doğu boylamları, 36°- 42° kuzey enlemleri arasında yer aldığı için PV panellerin kurulacağı bölgeye ve mevsimsel olarak iki kademeli (yaz-kış) çalışacağına göre sabit panel eğimleri genelde 25° – 45° derece arasında değişiklik göstermektedir.

2.4.3. Sıcaklık ve havalandırma

PV panellerin sıcaklık artışı ile verimleri düşmektedir (Şekil 2.11). Sıcaklık katsayısı bize PV panellerin sıcaklık ile performansının ne kadar düşeceğini gösterir. Üretici firmaların PV panellerin etiketinde bulunan maksimum gücü 25°C'deki test edilen gücüdür. Bu derecenin üzerindeki her derece için PV panelin verimi sıcaklık katsayısı ile orantılı olarak azalacaktır (Kurban, 2021).



Şekil 2.11. Farklı hücre sıcaklıklarında akım (A) - gerilim (V) eğrisi (Hui Wang, 2012)

Örneğin, bu tez çalışmasında kullanılan ELINPLUS 6612M-395 Monokristal PV panel - %0.376 /°C sıcaklık katsayısı sahiptir. Bu, durumda panel sıcaklığının 1 °C 'e artması, panel verimini % 0.376 oranında azaltacaktır. 20 °C'lik bir sıcaklık artışında PV panel verimi %7,52 oranında azalacaktır.

Yaz aylarında PV panel sıcaklıkları rahatlıkla 50 °C - 70 °C lere kadar ulaşabilmektedir.

Örneğin, kullandığımız panelin yazın 50 °C'ye ulaştığını düşünlüğünde;

$$50^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$25^{\circ}\text{C} \times \% (-0.376) = -\%9,4$$

$$-\%9,4 \times 395 \text{ W} = 37,13 \text{ W güç kaybı olacaktır (Nicklas, 2016).}$$

Genelde piyasa için üretilen paneller $\%-0.3/^{\circ}\text{C}$ ile $\%-0.5/^{\circ}\text{C}$ arasında sıcaklık katsayılarına sahiptir. Bu sebeple PV panel seçimi yapılırken en düşük sıcaklık katsayılı panellerin seçilmesine dikkat edilmelidir. İnce film panellerin sıcaklık katsayıları genelde kristal panellere göre daha düşüktür.

Sıcaklık ile verim kaybı sadece FV panellerle sınırlı olmayıp sıcaklık, inverter ve solar kabloları da etkilemektedir. Sıcaklık arttıkça inverterlerdeki güç kayıpları ve solar kablolardaki gerilim düşümleri artar (Nişancı, 2021).

Panel sıcaklığını düşük tutmak için panel ile montaj zemini arasında ve panellerin yan yana ve art arda diziliminde yeterli mesafe bırakarak temiz hava sirkülasyonunun sağlanması gerekir. Özellikle çatılara yapılan bütünleşik montaj şeklinde yeterli hava sirkülasyonun sağlanmaması yazın panel sıcaklığını aşırı derecede artırmaktadır, bu durum panel veriminin düşmesine ve çatıda yangın çıkma riskinin yükselmesine sebep olmaktadır.

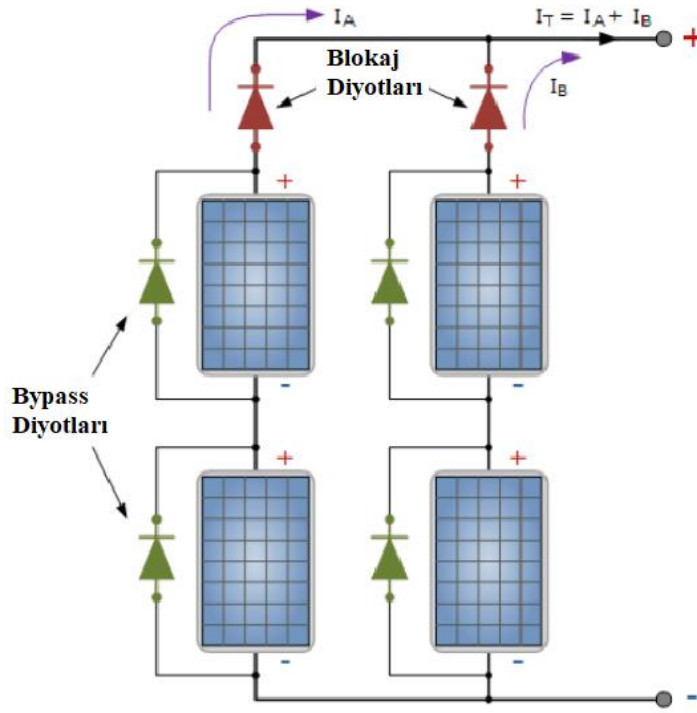
2.4.4. Gölgeleme

Panel etrafındaki nesnelerin panel üzerine güneş ışığı düşmesini kısmi veya tamamen engellemesini gölgeleme olarak adlandırabiliriz. Genelde panel üzerindeki gölgelemeyi arazi üzerine kurulu santrallerde; etrafta bulunan dağlar, tepeler, binalar, arka arkaya yerleştirilmiş PV panellerin birbirini gölgelemesi ve ağaçlar yaparken, çatı üzerine kurulu santrallerde diğer binalar, ağaçlar, bacalar, bina ek çıkıntıları vb. nesneler sebep olmaktadır. PV panellerin gölgeye maruz kalması panelin enerji üretimini kısmen veya tamamen engelleyecektir. Bu sebeple panel yerleşimi yapılırken diziler arası mesafe bırakmaya, ağaç, baca vb. nesnelerin konumlarına dikkat edilerek montaj yapılmadan önce simülasyon yazılımları ile gölgelendirme analizi yapılmasına dikkat edilmelidir.

Gölgelendirme analizinde özellikle PVSOL yazılımı ile her bir panel üzerine düşen gölgeleme oranları ayrı ayrı görülebilmektedir.

Panel üzerindeki gölgeleme etkisini azaltmak için Bypass diyotları kullanılmaktadır. Bypass diyotlarının amacı panelin hiç güç üretmemesi yerine az bir güç kaybıyla panelin güç üretimine devam etmesini sağlamaktır. Enerjinin gölge düşen veya enerji üretmeyen hücrenin etrafından dolaşmasını sağlayarak diğer hücrelerin elektrik üretmesine devam

etmesi sağlanır. Gölgeleme etkisini en aza indirmek için her güneş pili için ayrı bir baypas diyotu kullanmak gerekir fakat bu oldukça maliyetli olacaktır, bu sebeple genellikle küçük seri hücre grubu başına bir Bypass diyotu kullanılmaktadır. Şekil 2.12’de görüleceği gibi Bypass diyotu kullanılarak, hem enerji üretmeyen hücrenin yarı iletken bir direnç gibi çalışması ve enerji harcaması engellenmekte hem de akım akışının paralel bağlı bypass diyotlarla devam etmesi sağlanmaktadır (www.electronics-tutorials.ws)



Şekil 2.12. Bypass diyotları (Electronics Tutorials, 2022)

Panel üzerindeki gölgeleme kayıplarını azaltmak için alınacak önlemler aşağıda verilmiştir (Akkaş, 2018).

1. MPPT sayısı fazla olan inverter kullanılarak gölgeleme etkisinde kalan panelleri diğer panellerden farklı bir dizi olarak MPPT noktasına bağlamak gölgeleme etkisinden dolayı oluşacak güç kayıplarını azaltacaktır.
2. Modüller veya diziler için Bypass diyotları kullanmak. Bu durum maliyeti artırsa da gölgeleme etkisinden dolayı çıkış gücünün düşmesini engelleyecektir.

3. Her panel için ayrı bir DC optimizier kullanılarak gölgeleme etkisinde kalan panelin çıkış gücünü optimize etmek gölgeleme kayıplarını azaltacaktır. Bu sayede her bir panelin ürettiği elektrik enerjisi ayrı ayrı izlenebilir fakat bu durum ilk kurulum maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır.
4. Her panel için ayrı ayrı mikro inverter kullanmak gölgeleme etkisinden doğacak panel kayıplarını azaltacaktır. Fakat bu durum maliyetin önemli ölçüde artmasına sebep olacaktır.

2.4.5. Panel kirlenme ve tozlanması

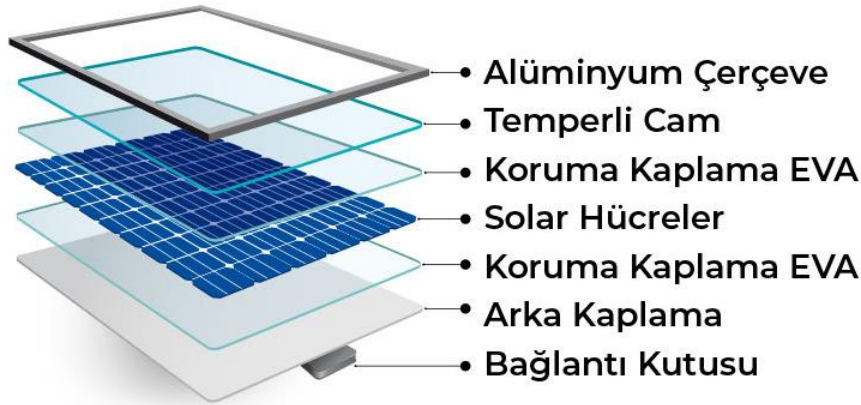
Panel üzerinde biriken toz, kir ve karlar panelin yeterince güneş ışığı almasını engelleyerek panel veriminin düşmesine sebep olacaktır. Özellikle çimento fabrikaları, kömür maden ocakları, yol kenarları, çöl bölgesi ve rüzgar erozyonunun bulunduğu bölgeler gibi, tozlanmanın yoğun olduğu yerlerde panellerin periyodik olarak temizlenmesi gerekir. Özellikle toz oranının yüksek olduğu bölgelerde 3-6 ay zaman diliminde panel üzerinde biriken toz ve kirlerin panel verimlerinde ciddi düşüslere sebep olduğu araştırmalarda görülmüştür (Keskin, 2019). Bu sebeple tozlanmanın yoğun olduğu bölgelerde PV panellerde toz sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörler sayesinde panel üzerindeki toz belirli bir seviyeye ulaşınca sisteme uyarı verilmekte ve gerekli temizleme işlemi yapılmaktadır.

Kış aylarında panel üzerindeki kar örtüsü panelin enerji üretmesini engelleyecektir. Bu nedenle kar yağışının yaşandığı aylarda panel üzerleri rutin olarak karlardan temizlenmeli veya otomatik kar temizleme sistemleri kurulmalıdır.

2.4.6. Yansıma kayıpları

Fotovoltaik panel üzerine gelen güneş ışığının bir kısmı fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilirken bir kısmı ise geri yansır. Bu yansımadan dolayı oluşan kayıplara yansıma kayıpları denilmektedir. Yansıma kayıplarını en aza indirmek için coğrafi bölgeye göre doğru özellikte PV panel kullanılmalıdır. İnce film paneller genelde silisyum panellere göre güneşten gelen ışığı daha fazla absorbe edebilme kapasitesine sahiptir (Deniz, 2013).

PV panellerde güneşten gelen ışığın maksimum olarak absorbe edilmesi ve yansımayı en aza indirmek için temperli solar camlar kullanılmaktadır (Şekil 2.13). Yine de bu camlardan bir miktar güneş ışığı atmosfere geri yansımaktadır. Solar hücreler de güneş ışığını maksimum seviyede absorbe edebilmesi için Yansıma Önleyici Kaplama (Anti – reflective coating) malzeme ile kaplanmaktadır (Deniz, 2013).



Şekil 2.13. PV panel yapısı (Solar Avm, 2022)

2.4.7. Uyumsuzluk kayıpları

PV modüller, birbirine seri ya da paralel bağlanarak diziler halinde inverter girişine gerekli akım ve gerilim oranına göre bağlanırlar. Fakat oluşan yapının DC gücü, güneş panellerinin tek tek güçlerinin toplamından daha azdır. Bu durumun sebepleri; statik uyumsuzluk, çevresel şartlar, panellerin üretim sırasındaki güç toleransları, panellerin zamanla eskimesi ve gölgelenme etkileridir (Deniz, 2013).

Uyumsuzluğun diğer biri sebebi ise bir PV dizisindeki modüllerin birbirlerinden farklı çalışma sıcaklıklarına, farklı ışınım alma değerlerine ve farklı gölgelenmeye maruz kalmasıdır. Yine aynı PV dizisindeki modül DC kabloları arasındaki farklı mesafeler ve kesit farklılıkları uyumsuzluk kayıplarına neden olmaktadır (Deniz, 2013).

Aynı dizide seri olarak birbirine bağlanan modüllerin güç toleransları arasındaki farklılıklar da uyumsuzluk kayıplarını arttırmaktadır. Almanya’da TUV Rheinland PV Certification Laboratory’den Werner Herrmann, uyumsuzluk kayıplarının modül güç toleransı ve modüllerin ön sıralama işlemine (pre-sorting) tabi tutulmasıyla ilgili araştırmasında; $\pm 5\%$

güç toleransına sahip modüller ön sıralama işlemine tabi tutulmadan birbirine bağlanmasıyla uyumsuzluk kayıplarının % 1 seviyesinde olduğu, PV modüllerin akım değerlerine göre sıralanması ile uyumsuzluk kayıplarının % 0,2 ye düştüğü sonucuna varmıştır (Deniz, 2013).

2.4.8. İnverter kayıpları

İnverter verimleri genellikle AC çıkış gücünün DC giriş gücüne oranlanması ile bulunmaktadır. Günümüz koşullarında solar sistemlerde kullanılan inverter verimleri üretici firma kataloglarına bakıldığı zaman % 98'lere kadar ulaşabilmektedir (Deniz, 2013).

Yalıtım trafosu kullanmayan inverterlerin, trafolu inverterlere göre trafo kayıpları olmadığı için biraz daha verimleri yüksek olacaktır.

Solar inverterler gerçek durumlarda test koşullarındaki gibi çalışmazlar. Üretici firmaların inverter kataloglarında gösterdikleri maksimum verim inverterin en ideal şeklinde ve çalışma geriliminde hesapladıkları verimdir. Örneğin normal çalışma gerilimi 600 V olan bir inverter gerçek koşullarda her zaman 600 V ile çalışmayacaktır. İnverter, bazen bulutlu ve kapalı günlerde bu değerin altında, güneşli günlerde de bu değerin üstünde giriş gerilimine maruz kalacaktır. Bu durumda inverter verimi de bu orana göre değişecektir.

İnverterlerin MPP (Maksimum Güç Noktası) izleme performansı güneş santrallerinde verimi etkileyen önemli bir unsurdur. İnverter, optimum çalışma gerilimi ve maksimum giriş akımına sahip olduğunda en yüksek verimde çalışmaktadır. PV panellerde üretilen ve invertere giren giriş gerilimi optimum değerlerden sapmışsa inverterin de verimi düşecektir. Bu sebeple en yüksek verimi bu maksimum güç noktasında yakalamak için MPPT algoritması kullanılmaktadır (Şahin ve Okumuş, 2013).

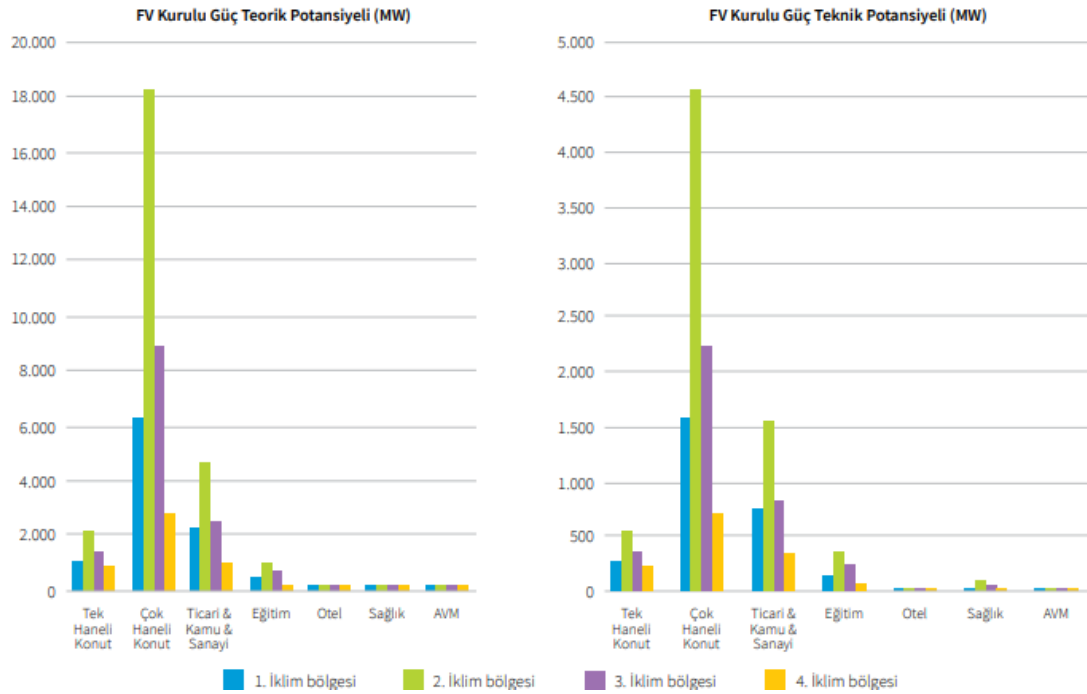
stadyumlar, tarımsal işletme çatıları, vb. gibi oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. Özellikle geniş yüzeyli çatılarda güneş enerjisi üretiminden mutlaka yararlanmak gerekir. Çatı GES uygulamalarının yatırım geri dönüşü, arazi uygulamalarına göre arazi kira ve satın alma maliyeti olmadığı için daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye’de 9,1 milyon adet bina bulunmakta olup bu miktarın yaklaşık %87’si konut nitelikli binalardır. Türkiye’de her yıl 100.000’den fazla yeni bina yapılmaktadır. Bu binaların çatı ve cephelerine önümüzdeki 10 yıl içinde toplam 2.000–4.000 MW seviyelerinde güneş modülü sistemlerinin kurulabileceği öngörülmektedir. Türkiye’de değerlendirilebilecek çatı alanları Şekil 2.15’ da verildiği gibi gruplandırılabilir (ETBK, 2022).



Şekil 2.15. Türkiye’de güneş enerjisi için değerlendirilebilecek çatı alanları (ETBK, 2022)

Shura Enerji Dönüşüm Merkezinin Nisan 2020 de yayınladığı “Binalarda çatı üstü güneş enerjisi potansiyeli - Türkiye’de çatı üstü güneş enerjisi sistemlerinin hayata geçmesi için finansman modelleri ve politikalar” raporuna göre Türkiye’de tüm güney yönüne bakan çatı alanlarının PV sistemler için kullanılması halinde teorik potansiyelinin 55 GW olduğu hesaplanmıştır (Şekil 2.16). Tüm uygun çatı alanı oranlarına göre hesaplama yapıldığında ise çatı üstü PV kapasitesi kurulumu için 14,9 GW’lık teknik potansiyel olduğu görülmüştür. 2020 yılı mevcut durumda 6 GW güneş enerjisi kapasitenin yaklaşık %15’i (0,9 GW) çatı üstü PV sistemlerle, çoğunlukla ticari, kamu ve sanayi binalarından sağlanmıştır (Acar, Sarı, ve Taranto, 2020).



Şekil 2.16. Türkiye çatı üstü PV sistemlerin teorik ve teknik potansiyeli (Acar vd., 2020)

Fotovoltaik sistemler bina üzerinde cephe ve çatı uygulamaları olarak ikiye ayrılmaktadır. Cephe uygulamalarında bina duvarları, yüzeyler ve camlardan faydalanılırken, çatı uygulamalarında PV paneller çatı üzerine monte edilmektedir.

Binalarda en çok güneş ışığı alan yüzeyin çatı olması ve binanın diğer bölümlerine göre yüksek ve performanslarını olumsuz etkileyen unsurların az olması nedenleriyle, PV panellerin daha verimli çalışabilmesi için yaygın olarak çatı yüzeylerinden faydalanılmaktadır. Ancak, çatının şekli, eğimi, farklı amaçlar için kullanılması, alan olarak

yeterli büyüklükte olmaması, gölge alması vb. nedenlerle PV paneller cephelerde de kullanılmaktadır. Fakat bina cephe uygulamalarında ilave olarak kullanılacak iskele ve güvenlik ekipmanları sebebiyle çatı uygulamalarına göre ekonomik olarak pahalıdır (Karaca ve Uçar, 2018).

Yapıya entegre edilecek olan PV modüllerin temel amacı olan elektrik üretimi dışında mimari olarak binanın estetik görünümünü de koruması gerekir (Sayın ve Koç, 2011). Bu sebeple PV panel seçimi ve montajı ve bina ile entegrasyonunun iyi yapılması bina estetiği açısından önemlidir.

2.5.1. PV panellerin bina cephelerinde kullanımı

Bina cepheleri diğer binalar ve ağaçların gölgeleme yapması sebebiyle çatılara oranla güneşlenme bakımından daha olumsuz şartlara sahiptir. Fakat PV panele gelen güneş ışınlarını engelleyecek bina ve ağaçların olmaması ve panellere uygun eğim verilebildiği zaman verimleri yüksek olabilmektedir (Karaca ve Uçar, 2018). Yeterli çatı alanına sahip olmayan, güney yönüne bakan geniş bir cephe alanına sahip ve uygun bir konumda bulunan binalar için PV panel cephe uygulamaları avantajlı olabilmektedir.

PV panellerin bina cephelerinde kullanımı, modüler metal çerçeveler ile taşınarak ya da doğrudan binanın taşıyıcı sistemine yükleri aktararak uygulanır. Bu sistem ile PV paneller, giydirme cam cephe sistemi olarak binaya uygulanabildiği gibi binanın saydam yüzeyleri için de kullanılabilir. Bu tür uygulamalarda PV panelin dış mekan estetiğini etkilemesi, iç mekan konforu ile alakalı ısı ve ışık geçirgenliği ve mahremiyet gibi konular önem kazanmaktadır. Diğer yandan bina ile PV panel arasındaki boşluktan hem havalandırma, hem de kabloların geçişleri sağlanmaktadır. Giydirme cephelerde PV panel kullanımında en önemli sorun panellerin fazla ısınmasıdır. PV panellerde sıcaklık arttıkça verim de düşmektedir. Sıcaklık sorunu ile başa çıkmak için panellerin soğutulması gerekmektedir. Bu durum da sisteme ek bir enerji ve mali yük getirmektedir (Karaca ve Uçar, 2018).

PV paneller bina cephe uygulamalarında perde duvar, giydirme cephe, gölgeleme elemanı olarak ve cam olarak kullanılabilir.

2.5.1.1. PV panellerin bina cephelerinde perde duvar olarak kullanımı

PV paneller, bina cephelerinin birer parçası olan perde duvar şeklinde kullanılabilir (Resim 2.4). PV panellerin perde duvar olarak kullanımı; tüm cepheyi kapladığından genellikle soğuk iklim bölgeleri için daha uygundur. Bu uygulamada bina içinde termal konforu korumak ve ısı kaybını engellemek için panel altına yalıtım malzemesi konulmaktadır. Bu yalıtım malzemesi aynı zamanda bina duvarlarını ısı yalıtımını da sağlamaktadır (Yıldız, 2019).



Resim 2.4. PV panellerin perde duvar olarak kullanımı (İnvento enerji, 2022)

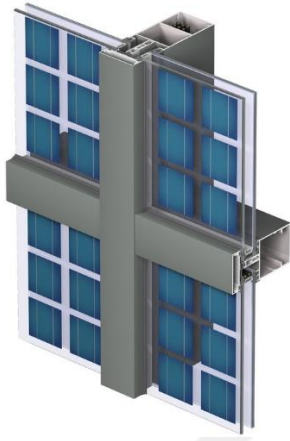
2.5.1.2. PV panellerin bina cephelerinde giydirme duvar olarak kullanımı

PV panellerin cephe giydirmesi olarak kullanımında bina cephesi üzerine PV panellerin montajı yapılır, montaj yapılırken hava akışının sağlanması ve kablolama için panel ile duvar arasında boşluk bırakılması önemlidir. Binalardaki ısıcam uygulamaları için kullanılan yöntemler PV paneller için de kullanılmaktadır.

PV paneller binalarda iki farklı giydirme yöntemi ile kullanılmaktadır. Klasik giydirme yönteminde PV paneller, yatay ve düşey alüminyum profiller kullanılarak yapılır (Şekil 2.17). Giydirme cephe sistemlerinde gölgeleme etkisini azaltarak fotovoltaiik sistemin verimliliğinin düşmesini önlemek için bu taşıyıcıların mümkün olduğunca az sayıda kullanılması gerekmektedir. Diğer bir uygulama yöntemi olan yapısal silikonlu giydirme cephe sisteminde camların tamamı veya bir bölümü taşıyıcı raylar üzerine yapıştırılmaktadır.

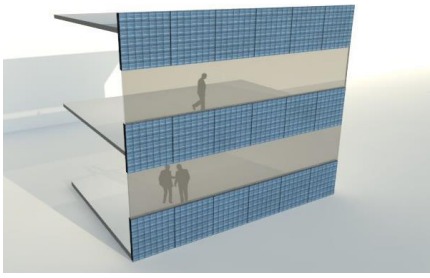
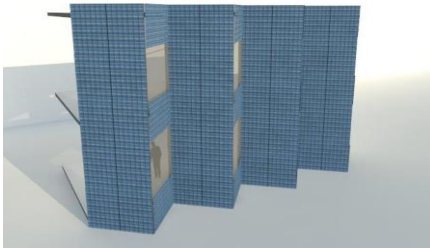
Bu sistemde gölgelenme durumu olmaz iken, yalıtım problemi ortaya çıkabilmektedir (Yıldız, 2019).

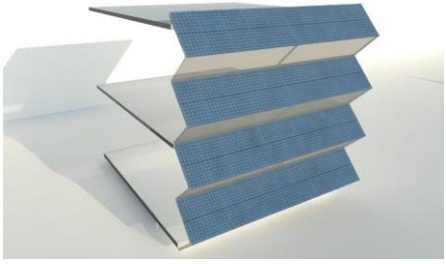
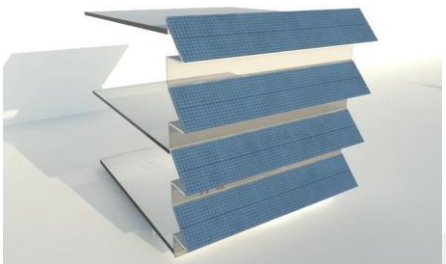
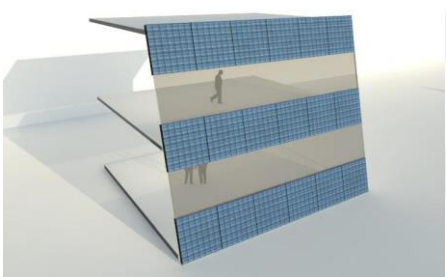
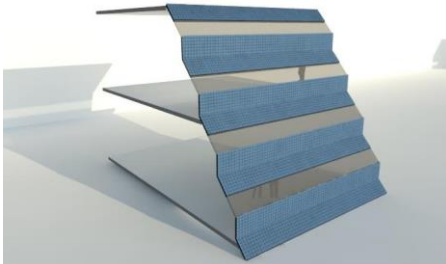
Montaj için kullanılan alüminyum profil sayısı ve kalınlığı panel üzerine düşen gölge miktarını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple montaj işlemi yapılırken iyi bir planlama yaparak gölgelemenin en aza indirilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.17. PV panellerin giydirme cephe sistemlerinde kullanımı (Tectonica, 2022)

Şekil 2.18’de görüldüğü gibi fotovoltaik panellerin bina cephelerine konumlandırılması 6 farklı şekilde yapılmaktadır (Uçar, 2018).

 Düzlemsel Giydirme Cephe	Düzlemsel Giydirme Cephe: Genelde standart olarak PV panel cephe giydirmesi bu şekilde yapılmaktadır. Güneş ışığı panellere tam olarak dik gelmediği için verimleri düşüktür. Ek olarak konstrüksiyon maliyeti gerektirmez. Çok katlı iş merkezleri genelde bu cephe şeklini kullanmaktadır (Uçar,2018).
	Düşeyde Kırıklı Giydirme Cephe : Ek olarak inşaat ve konstrüksiyon maliyeti ortaya çıkar. Şayet panellerin konumu güneşe göre konumlandırılabilirse düzlemsel giydirme cephelere göre verimi artar (Uçar,2018).

Düseyde Kırıklı Giydirme Cephe	
 Akordeon Giydirme Cephe	Akordiyon Giydirme Cephe: Kırıklı ve karmaşık bir bina şekli olması nedeniyle konstrüksiyon maliyetleri fazladır. PV panel açıları güneşe dik olarak ayarlanabildiği için performansı yüksektir (Uçar,2018). Panel temizliği düzlemsel cepheler göre zordur.
 Yatayda Kırıklı Giydirme Cephe	Yatayda Kırıklı Giydirme Cephe: Yatayda eğimin güneş ışığını daha dik olarak alabilmesinden dolayı düseyde kırıklı cephelere göre performansları yüksektir (Uçar,2018).
 Eğimli Düzlemsel Giydirme Cephe	Eğimli Düzlemsel Giydirme Cephe: Düzlemsel cephelere göre güneş ışığını daha dik açıyla alabilmesinden dolayı düzlemsel cephelere göre verimi yüksektir. Panel temizliği kolaydır (Uçar,2018). Bina sonradan yapılmayıp ilk yapım aşamasında FV paneller düşünülerek inşa edilip eğim buna göre ayarlanırsa performans oranı daha da artar.
 Eğimli Kırıklı Giydirme Cephe	Eğimli Kırıklı Giydirme Cephe: Kırıklı cephelerde ek konstrüksiyon maliyetleri ortaya çıkmaktadır (Uçar,2018). Kırık bölgelere güneş gelme acısına göre verimleri değişmektedir.

Şekil 2.18. PV panellerin giydirme cephe sistemlerinde kullanım çeşitleri (Uçar, 2018).

2.5.2. PV panellerin gölgeleme elemanı olarak kullanımı

2.5.2.1. PV panellerin bina cephelerinde gölgeleme elemanı olarak kullanımı

Fotovoltaik sistemler bina cephelerinde, güneş kırıcı veya tente olarak kullanılmaktadır. PV panellerin sabit veya hareketli gölgeleme elemanı olarak iki farklı şekilde uygulaması yapılmaktadır. PV paneller gölgeleme elemanı olarak kullanılarak, bir taraftan istenmeyen güneş ışığının bina içerisine girmesi önlenirken diğer taraftan elektrik üretimi yapılarak binanın elektrik enerjisi tüketimini azaltmak hedeflenmektedir (Resim 2.5). Böylelikle ısıtmanın istenmediği yaz mevsiminde güneş ışınlarının bina içerisine girmesi engellenirken, ısıtmanın istendiği kış mevsiminde güneş ışınlarının bina içerisine girmesi sağlanır (Yıldız, 2019).

PV paneller direk pencere camı olarak kullanılacaksa yarı saydam PV panellerin kullanılması daha uygun olacaktır. Fakat duvar olarak kullanılacaksa koyu renkli opak olarak kullanılması uygun olacaktır.



Resim 2.5. PV panellerin sabit gölgeleme elemanı olarak kullanımı Almanya,Vauban (Researchgate, 2022)

PV paneller sabit gölgeleme elemanı olarak kullanılacaksa yön ve eğimi daha sonra değiştirilemeyeceği için ilk montaj yapılırken güneş ışığını dik alacak şekilde konumlandırılmalıdır.



Resim 2.6. PV panellerin hareketli gölgeleme elemanı olarak kullanımı, St Nicholas College, Malta (Zammit, 2018).

PV panellerin hareketli gölgeleme elemanı olarak kullanılması dikey eksenle yapılabileceği gibi, yatay ve dikey eksen beraber de yapılabilir. Fakat çift eksen hareketli yapılması maliyeti arttıracaktır (Resim 2.6). Tek eksen (dikey) hareketli yapılması ile daha az maliyetle etkin verim elde edilebilir. Tek eksen hareketinde değişik metal konstrüksiyonlar da uygulayarak mevsimlik olarak açı değiştirilebilir.

PV panellerin gelişen teknoloji ile birlikte sürekli yeni kullanım alanları ortaya çıkmaktadır. Günümüzde PV paneller pencere panjuru olarak da kullanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir (Resim 2.7).

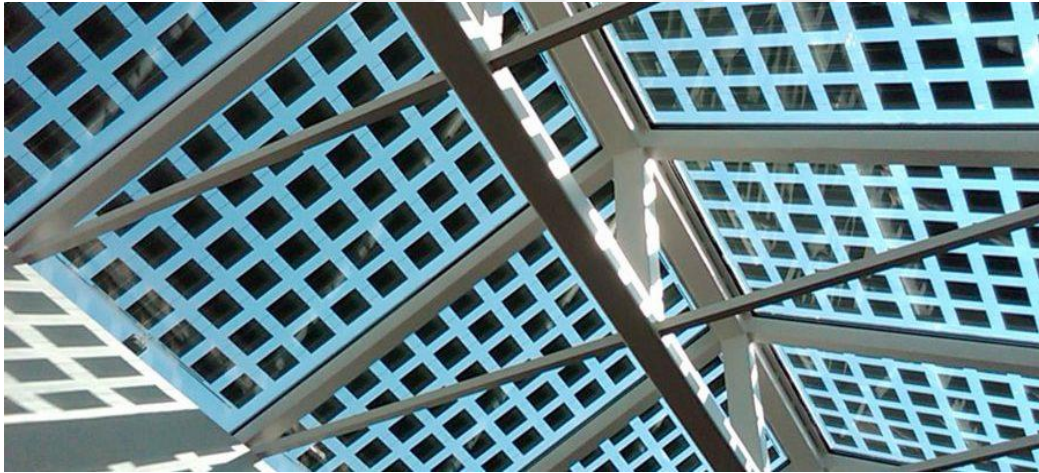


Resim 2.7. PV panellerin pencere panjuru olarak kullanımı, Wisconsin, ABD (SolarGaps, 2022)

2.5.2.2. PV panellerin bina çatılarında gölgeleme elemanı olarak kullanımı

PV paneller bina çatılarında çatı üzerine sonradan monte edilmeden, direk kendisi çatıyı oluşturacak şekilde kullanılabilir. Bu şekilde kullanımda PV paneller hem güneşi filtre eden bir gölgeleme elemanı olarak görev yaparken hem de enerji üreten bir santral haline gelecektir. İlk kurulum planlaması yapılırken çatı için optimum açı hesaplanarak yapılan çatılar yüksek performanslı bir santral haline gelirken görsel olarak da estetik bir görünüm ortaya çıkmasını sağlayabilir.

Yarı saydam şekilde üretilen PV paneller bina çatılarında gölgelendirme elemanı olarak kullanım için oldukça kullanışlıdır (Resim 2.8). Mimari olarak parabolik çatılar da esnek yapısından dolayı ince film güneş pilleri kullanımı daha uygun olacaktır.



Resim 2.8. PV panellerin bina çatılarında gölgeleme elemanı olarak kullanımı (İnvento enerji, 2022)

2.5.3. PV panellerin bina çatılarında kullanımı

PV modüller çatılarda direkt olarak çatıyı oluşturan yapı olarak kullanıldığı gibi daha sonra çatı üzerine montajı yapılarak da kullanılmaktadır (Çizelge 2.3). PV panellerin çatı üzerinde kullanımı cephe sistemlerine göre daha avantajlıdır. Çatılar binaların en yüksek yerleri olduğu için cephelere göre daha az gölgelenme unsuruna sahiptir. Cephe sistemlerinde PV panellerin montajı çatı montajına göre hem zor hem de masraflı olmaktadır. Bina cepheleri çatılara oranla daha fazla gölgeye maruz kalmaktadır. Çatı üzerine kurulu PV panelleri uygun açı ile yerleştirmek bina cephelerine kurulu PV panellere göre daha kolay ve ucuzdur.

Özellikle uygun eğimli çatılarda ek konstrüksiyon maliyeti olmadan PV paneller doğrudan çatı üzerine yerleştirilebilmektedir. Ayrıca cephe sistemlerinde bulunana panellerin temizliği çatı sistemlerinde bulunan panellerin temizliğine göre daha zor ve zahmetlidir (Uçar, 2018).

PV paneller çatı ile entegre (bütünleşik) olarak kurulabileceği gibi çatıdan bağımsız olarak ta kurulabilmektedir. PV paneller düz çatı, eğimli çatı, şet çatı, eğrisel çatı ve atrium çatılarda rahatlıkla kullanılabilir.

Çizelge 2.3. Fotovoltaik sistemlerin bina çatılarında kullanımı (Yıldız, 2019)

PV panellerin çatılarda kullanımı	Resim	Kullanım şekli
Düz çatılarda panel		Metal konstrüksiyon ile montaj
Eğimli çatılarda panel		Doğrudan çatı üzerine montaj
Eğimli çatılarda FV kiremit		Çatı malzemesi olarak
Eğimli çatılarda Şingıl kiremit		Doğrudan çatı üzerine montaj veya çatı malzemesi olarak
Eğimli çatılarda solar halı (solar roll)		Doğrudan çatı üzerine montaj

Çizelge 2.3. (Devamı)

Şet çatılarda panel		Doğrudan çatı üzerine montaj
Kavisli (eğrisel) çatılarda İnce film panel		Doğrudan çatı üzerine montaj
Atrium çatılarda panel		Çatı malzemesi olarak

2.5.3.1. PV panellerin düz çatılarda kullanımı

PV panellerin düz çatılarda uygulaması yapılırken panellerin verimli çalışabilmesi için güneş ışığını dik alacak şekilde eğimli yerleştirilmesi gerekir (Resim 2.9). Bu durumda ek metal konstrüksiyon ve profiller kullanılması gerekir, bu da ek masrafların artmasına ve çatıya ek ağırlık yükü binmesine sebep olmaktadır. Fakat düz çatılara panel montajı yapılırken panel yönü ve eğimi kolaylıkla ayarlanabilir ve böylece yüksek verim elde edilebilir. Panele ulaşım ve temizlemesi cephe uygulamalarına göre daha kolaydır. Düz çatı uygulamalarında PV panel ile çatı zemini arasında mesafe olması panel havalandırmasını sağlayarak panellerin aşırı ısınmasını önler ve panel sıcaklık kayıplarının az olmasını sağlar. Çatı zemini düz olduğu için montajlama ve kablolama işlemleri kolaylıkla yapılabilir. PV panellerin düz çatılara montajı yapılırken rüzgar etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.



Resim 2.9. PV panellerin düz çatılarda kullanımı (Enerji günlüğü, 2022)

2.5.3.2. PV panellerin eğimli çatılarda kullanımı

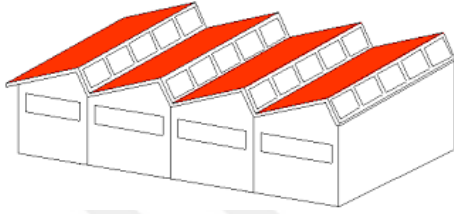
Çatı eğiminin uygun olması durumunda ek konstrüksiyon masrafı olmadan panellerin doğrudan çatı üzerine montajı yapılır. Çatı eğimi yeterli düzeyde değilse ek konstrüksiyon ile eğim verilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus doğrudan montajın yapıldığı eğimli çatılarda panel ile çatı arasında yeterli havalandırmayı sağlayacak şekilde boşluk bırakılmasıdır. Şayet yeterli havalandırma boşluğu bırakılmaz ise bu durum panellerin aşırı ısınmasına ve verim kaybına sebep olur. Havalandırması yeterli yapılmayan çatılarda özellikle yaz aylarında yangın riski ortaya çıkabilir (Yaman, 2018). Çatı yönün ve eğiminin uygun olmadığı durumlarda ek konstrüksiyonlar kullanılarak panel yönü ve eğimi ayarlanabilir (Şekil 2.19). Bu durumda verim artmasına rağmen ek montaj maliyetleri de artmaktadır. Bu tip çatılarda maliyet-fayda analizi yapılarak işlem yapılmalıdır.



Şekil 2.19. Eğimi uygun olmayan çatıya PV paneller için ek konstrüksiyon örneği (3dwarehouse, 2022)

2.5.3.3. .PV panellerin şet (testere dişli) çatılarda kullanımı

Şet çatılar; atölye, fabrika ve hangar gibi endüstriyel amaçlı kullanılan binalarda, yandan ışık ve havalandırmanın yeterli olmadığı durumlarda üstten ışık almak amacıyla oluşturulan yapılardır (Şekil 2.20). Testere dişli çatılarda yüzey eğimleri farklı olur (Megep, 2010). Bu tip çatıların eğimli kısımları PV panellerin montajı için oldukça uygun bir alan sağlamakta ek konstrüksiyonlara ihtiyaç duymadan panellerin montajı yapılabilir.



Şekil 2.20. Şet çatı şekli (Megep, 2010)

Şet çatılar doğrudan PV panellerin konulması amacı ile önceden tasarlanarak da yapılmaktadır. İnşaat yapılmadan önce optimum açılar hesaplanarak yapım süreci tamamlanmaktadır (Resim 2.10).



Resim 2.10. PV panellerin şet çatı üzerine uygulanması (Altenergy, 2022)

2.5.3.4. PV panellerin eğrisel (kavisli) çatılarda kullanımı

Kavisli çatılarda, esnek yapısından dolayı ince film güneş pilleri kullanıldığı gibi, verimlerinin yüksek olmasından dolayı, çatı üzerinde gerekli montaj dizaynı yapılarak kristal silikon PV panellerde kullanılabilir (Resim 2.11).



Resim 2.11. İnce film PV panellerin kavisli çatı üzerine uygulanması (Altenergy, 2022)

2.5.3.5. PV panellerin atrium çatılarda kullanımı

Roma mimarisinde atrium olarak bilinen, Türk mimarisindeki adı avlu olarak adlandırılan, genellikle bina giriş kapısının açıldığı bölgede, üstü açık geniş alanlı yerlere atrium denilmektedir (Ergüç, 2021). Alışveriş merkezleri, büyük oteller, tren istasyonları, otogarlar, sergi salonu, sağlık, kültür ve eğitim alanlarında aydınlık bir bölüm ve dış mekan etkisini sağlamak için üstü genellikle camla kaplanan atrium çatılar yapılmaktadır (Resim 2.12). Güneş ışığının geçmesine izin veren yarı saydam PV paneller atrium çatılarda kullanılarak hem dış mekan etkisinin uyandırılması hem de elektrik enerjisi üretme işlemleri beraber yapılabilir. Genelde metal konstrüksiyon üzerine PV paneller çatı camı gibi yerleştirilerek yapılır. Kavisli çatılarda ince film PV panellerin kullanılması esnek yapısından dolayı daha estetik bir görünüm sağlamaktadır (Uçar, 2018).



Resim 2.12. PV panellerin atrium çatı üzerine uygulanması, Porta Susa istasyonu, Torino, İtalya (Wikimedia, 2022)

2.5.3.6. Güneş pillerinin solar kiremit olarak kullanımı

Günümüzde hem görsel estetiği sağlamak hem de elektrik enerjisi üretmek amacıyla güneş pilleri farklı şekillerde tasarlanmaktadır. Ar-ge aşaması tamamlanan solar kiremitler çatılarda kullanılmaya başlandı (www.powerenerji.com). Bu şekilde kullanım görsel estetik sağlamakla birlikte çatı yalıtımı ve elektrik enerjisi üretim amacıyla kullanılmaktadır. Montajı kolay olup, metal çerçevesinin olmaması çatı üzerine ek bir panel yükü getirmeyip doğrudan çatı malzemesinin bir parçası olarak kullanılması büyük avantaj sağlamamasına rağmen yeni bir tasarım olması sebebiyle fiyatları yüksektir.



Resim 2.13. Solar kiremitlerin çatı üzerine uygulanması (Power enerji, 2022)

Farklı firmalar, çeşitli yapı malzemeleri kullanarak ince film güneş pillerini kiremit şeklinde üretmektedir (Resim 2.13). Solar kiremitler binayı dış etkenlerden korurken, aynı zamanda su ve ısı yalıtımı da sağlar (Resim 2.14) (www.bluesunpv.com).



Resim 2.14. Bluesun Solar Firmasının ürettiği güneş kiremidi (Bluesunpv, 2022)

2.5.3.7. Güneş pillerinin şingıl (shingle) çatılarda kullanımı

Şingıl, eğimli çatılarda iyi bir su izolasyonu sağlayan, esnek bir yapıya sahip olan, çeşitli yapı ve renklerde üretilen çatı kaplama malzemesidir. Şingıl PV paneller şingıl malzemesi ile ince film güneş pillerinin aynı yapı içerisinde birleşiminden oluşmaktadır. Çatıda şingıl yerine şingıl görünümlü PV paneller kullanılarak hem çatı için ısı ve su yalıtımı sağlanmış hem de çatıdan elektrik enerjisi üretilmiş olacaktır (Uyar, 2016). Çatı üzerine uygulanması kolaydır. Şingıl PV paneller çatı kiremitlerinin bir başka formudur (Resim 2.15). Şu an maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmamaktadır fakat üretim teknolojilerinin gelişmesi ve maliyetlerin azalmasıyla beraber kullanımı yaygınlaşacaktır.



Resim 2.15. Şingıl güneş pillerinin şingıl çatılarda kullanımı (Uyar, 2016)

2.5.3.8. Solar Halı (solar roll) güneş pillerinin çatılarda kullanımı

Solar halı teknolojisi çatılar için hafif ve esnek yapısı ile montajı oldukça kolay olan bir üründür. Makara şeklinde sarılı olan güneş pilleri çatı üzerine tıpkı bir halı gibi serilerek kolaylıkla uygulaması yapılmaktadır (Resim 2.16). Çatı üzerine ek bir ağırlık bindirmez. Düz ve eğik zeminlere rahatlıkla uygulanabilir.

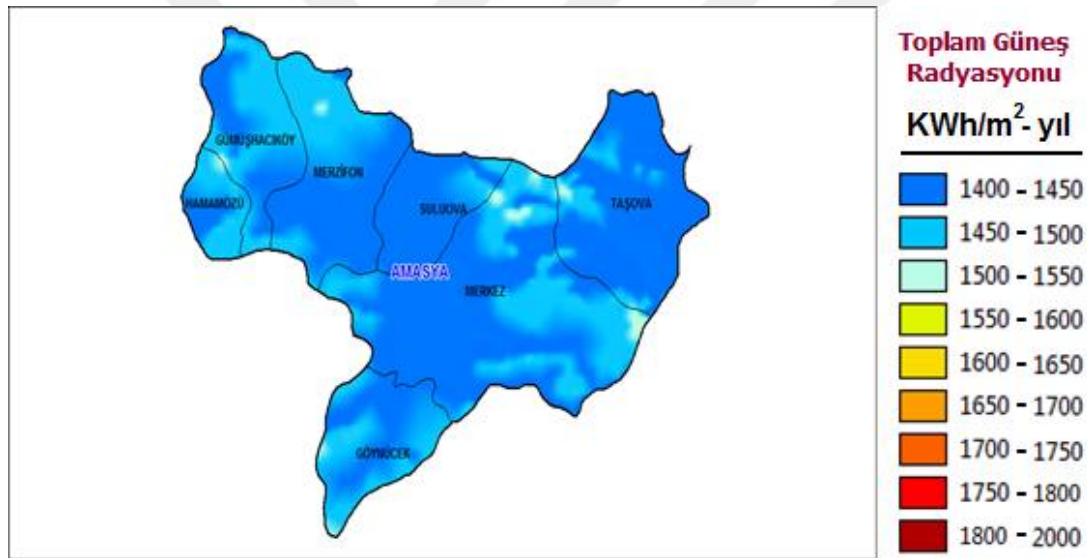


Resim 2.16. Çatılarda solar halı kullanımı (Uyar, 2016)

3. MATERYAL VE METOT

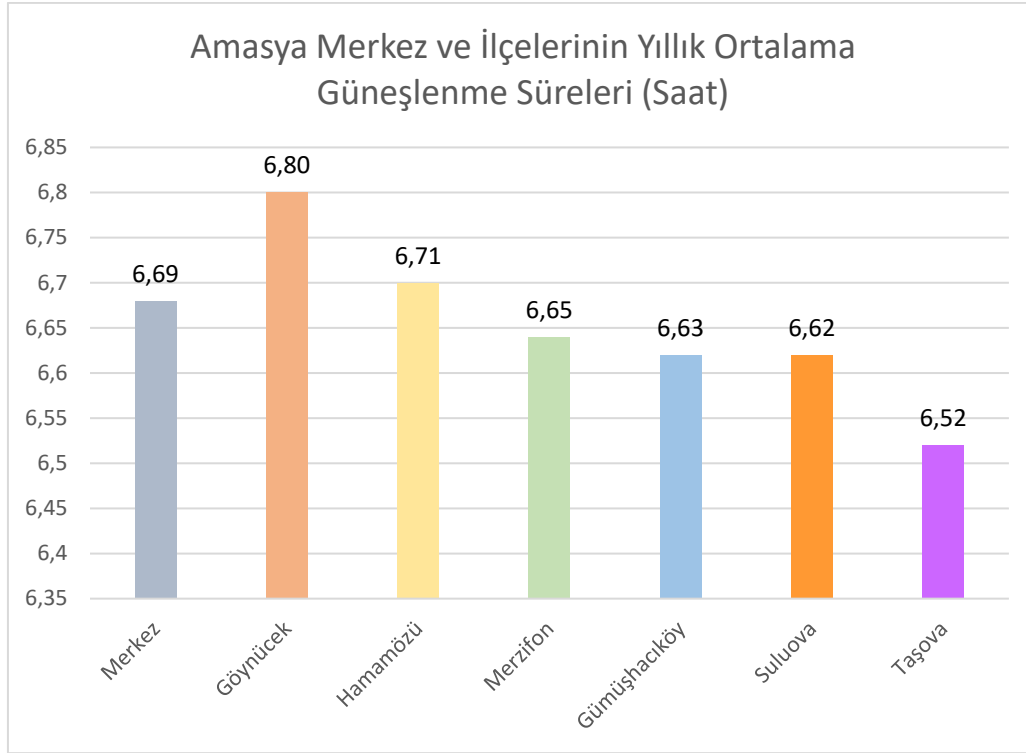
3.1. Amasya İli Güneş Enerji Potansiyeli

Amasya ili, Orta Karadeniz bölgesinin iç kısmında $34^{\circ} 57' 06''$ - $36^{\circ} 31' 53''$ Doğu Boylamları ile $41^{\circ} 04' 54''$ - $40^{\circ} 16' 16''$ Kuzey Enlemleri arasında yer almaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünün verilerine göre Amasya ili güneş enerji potansiyeli Harita 3.1’de verilmiştir. Diğer bölgelerimize oranla Karadeniz bölgesinin güneş enerji potansiyeli düşüktür. Amasya iline bağlı ilçelerin güneş ışıması ortalamasının yaklaşık 1400-1550 KWh/m²-yıl değerleri arasında olduğu ve bu değer (Harita 3.1), Türkiye ortalama yıllık toplam ışıma şiddeti olan 1527,46 kWh/m²-yıl’dan düşük olduğu görülmektedir.

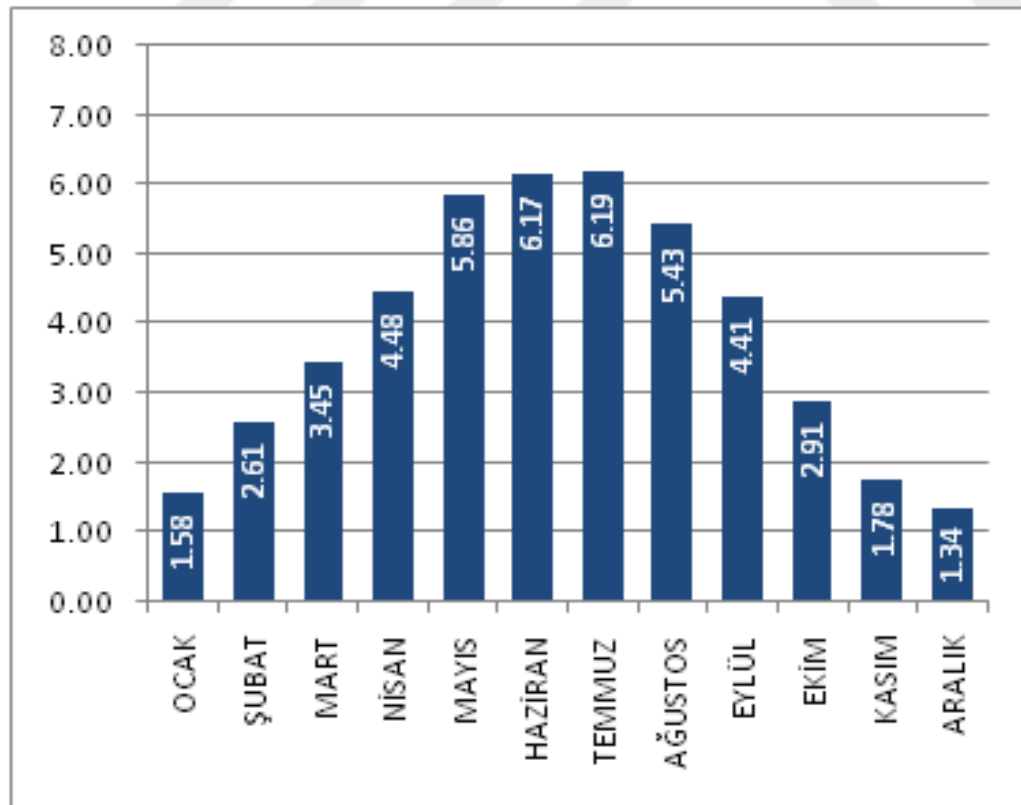


Harita 3.1. Amasya ili güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA, 2021)

Gümüşhacıköy ilçesi Amasya’nın kuzey batısında yer almaktadır. İlçenin ortalama günlük güneşlenme süresi 6,63 saattir (Şekil 3.1), yine güneşlenme süresinin de 7,5 saat olan Türkiye ortalama günlük güneşlenme süresinden düşük olduğu görülmektedir. Şekil 3.2’de verilen Gümüşhacıköy ilçesi global radyasyon değerlerine baktığımızda en fazla ışıma şiddetine 6,19 kWh/m²-gün ile temmuz ayında ulaşıldığı görülmektedir. En az ışıma şiddeti ise 1,34 kWh/m²-gün ile aralık ayında olduğu görülmektedir.

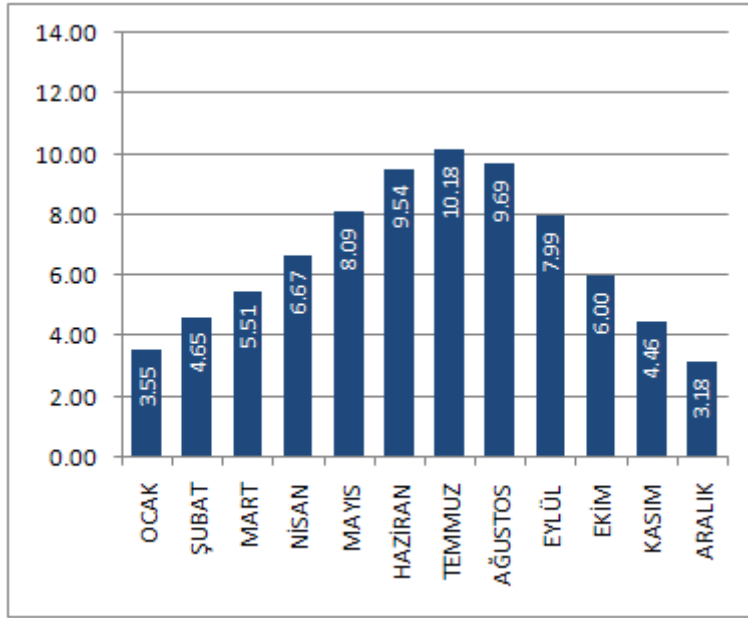


Şekil 3.1. Amasya merkez ve ilçelerinin yıllık ortalama güneşlenme süreleri (Saat) (GEPA, 2021)



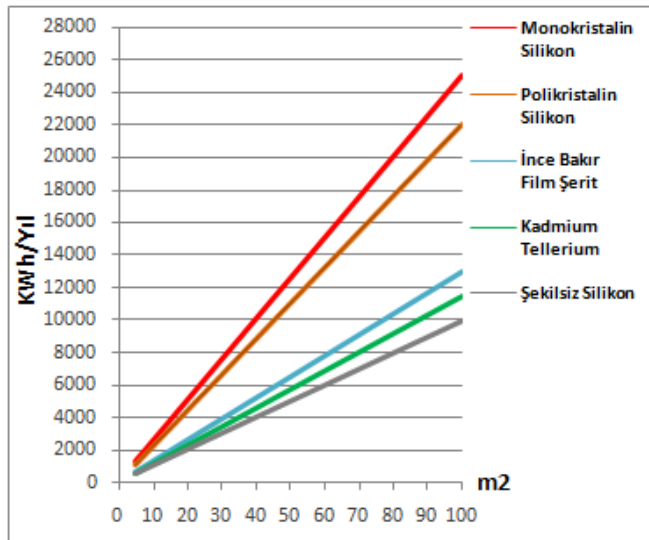
Şekil 3.2. Gümüşhacıköy global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) (GEPA, 2021)

Şekil 3.3’de verilen Gümüşhacıköy ilçesi güneşlenme sürelerine bakıldığında, en uzun güneşlenme süresinin 10,18 saat ile temmuz ayında görüleceği gibi en az güneşlenme süresinin ise 3,18 saat ile aralık ayında yaşandığı görülmektedir.



Şekil 3.3. Gümüşhacıköy güneşlenme süreleri (Saat) (GEPA, 2021)

Şekil 3.4’ de görüldüğü üzere metrekare başına en yüksek verim monokristal silikon PV panellerden alınmaktadır. Özellikle panel kurulacak alanın yetersiz olduğu yerlerde, az alanda daha yoğun enerji elde edilmesi amacıyla monokristal paneller tercih edilmektedir.



Şekil 3.4. Fotovoltaik panel çeşitlerinin enerji yoğunluklarının karşılaştırılması (kWh/Yıl) (GEPA, 2021)

3.2. PVsyst V7.1.0 Yazılımı

FV solar sistemlerin tasarımı için piyasada birçok farklı programlar yaygın olarak kullanılmaktadır. PV solar sistemlerin tasarlanmasında en çok tercih edilen programlardan birisi de PVsyst yazılımıdır. PVsyst programı, İsviçre Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilen, PV tarla sulama sistemleri, şebeke bağlantılı, şebeke bağlantısız FV sistemler gibi güneş enerji sistemlerinin 3 boyutlu olarak tasarımlarının yapılabilirdiği ve sonuçlarını rapor ve grafik olarak alabileceğimiz simülasyon programıdır. PVsyst programı sistem için ayrıntılı özellikler kullanılarak hesaplama yapma imkanı sağlamaktadır (www.pvsyst.com).

Program, uygulama yapacağımız bölgenin güneş radyasyon verilerini çeşitli yazılımlar aracılığı ile GES kurulacak bölgenin koordinatlarını girerek alabileceğimiz gibi manuel olarak da girebilmemize imkan vermektedir. PVsyst, seçilen konumun güneş ışınlam ve meteorolojik verilerine Meteonorm, NASA veya PVGIS veri tabanlarını kullanarak erişir. Kullanacağımız PV panel, inverter veya optimizör parametrelerini girilerek sisteminizin elektrik üretimini günlük, aylık ve yıllık olarak hesaplamamıza imkan verir. Kullanıcı arayüzü basit ve kolay öğrenilebilir şekildedir. Veri alt yapısında solar sistem için kullanılan bir çok PV panel ve inverterin katalog bilgisi yer almaktadır. Veri alt yapısında bulunmayan PV panel ve inverter bilgilerinin manuel olarak eklenmesine izin vermektedir.

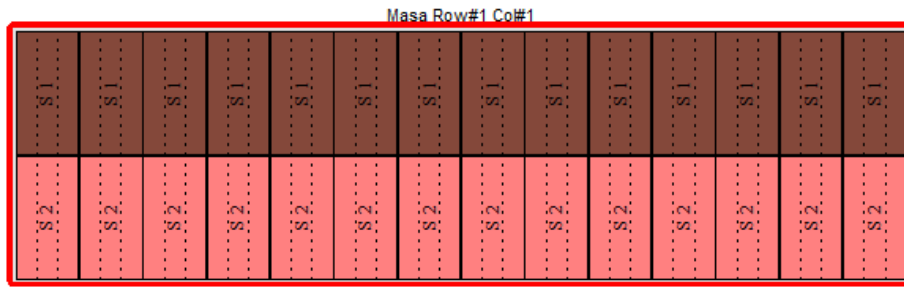
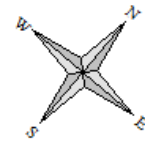
Yazılım ile detaylara girmeden yapılacak projenin bir ön tasarımı yapılabilir. Optimum verim sağlayabilecek panel açısı ve yönü program ile kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Arazi tipi fotovoltaik santral kurulumlarında paneller arasındaki mesafeye göre gölgeleme kayıplarını kolaylıkla hesaplayabilmektedir. Sabit, tek eksenli güneş takip sistemi ve iki eksenli güneş takip sistemlerinin performans ve fiyat karşılaştırılması program vasıtası ile kolaylıkla yapılabilir.

3.3. PVsyst Yazılımı ile Okul Çatısı Üzerine Kurulu 10 kWp'lik Güneş Enerji Sisteminin Tasarımı

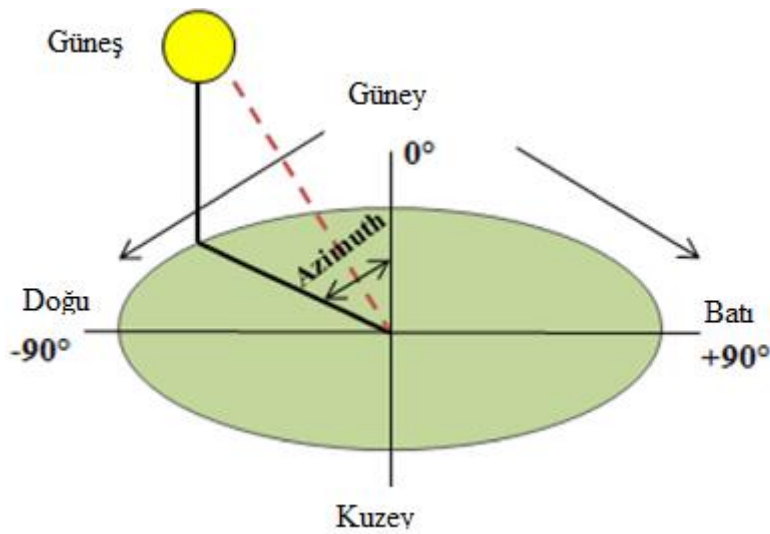
3.3.1. Çatı üzerine kurulmuş olan fotovoltaik sistemin özellikleri

Okul yemekhane çatısı üzerine kurulu fotovoltaik sistemde 28 adet ELINPLUS 6612M-395 marka 395 Wp monokristal PV paneller çatı eğimine göre yerleştirilmiştir. Toplam kurulu

güç $395 \text{ Wp} \times 28 = 11,06 \text{ kWp}$ 'tir. Santralde 3 fazlı 2 MPPT girişli 10 kW güçlü Growatt 10000-TL3-S marka inverter kullanılmıştır. PV paneller her dizide 14 adet olacak şekilde 2 dizi (zincir) halinde sıralanmıştır (Resim 3.1). Çatı eğimi dikey olarak (K-G) 11° 'dir. PV panellerin bulunduğu çatının azimut açısı ise tam güney yönünde olmayıp, güney-doğu yönünde 40° 'dir. Sistem şebeke bağlantılı (on grid) olup ürettiği elektriği tam olarak şebekeye vermektedir. Sistemin ürettiği elektrik dağıtıcı firma ile karşılıklı olarak mahsuplaşmaktadır.



Resim 3.1. PV Panellerin 2 zincir halinde çatı üzerine montajı



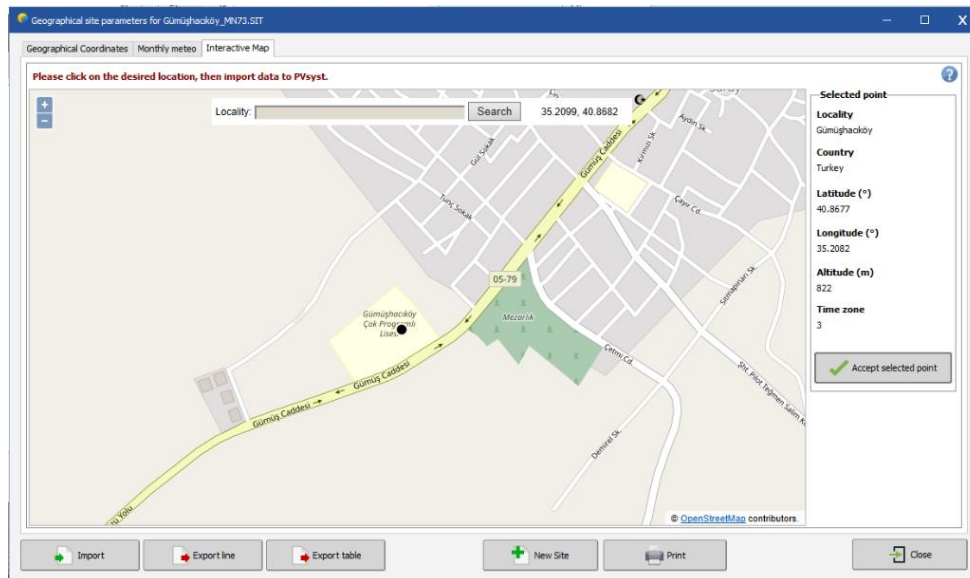
Şekil 3.5. Azimut açısı diyagramı (Maleki, 2017)

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi azimut açısı güneşin yeryüzüne iz düşümünün boylama göre sapmasını gösterir. Kuzey yarım kürede şayet panel tam güney yönüne bakıyorsa azimut açısı 0° alınır. Güney ile batı arasındaki sapmalar artı, güney ile doğu arasındaki sapmalar eksi kabul edilir. Bu projede, PV panellerin bulunduğu çatının yönü güneyden 40° kadar doğu yönünü sapmıştır, bu sebeple azimut açısı -40° ’dir. Azimut açısı çeşitli interaktif harita ve uydu görüntülerini kullanan internet siteleri ile de kolaylıkla bulunabilir.

3.3.2. Çatı üzerine kurulu fotovoltaik sisteminin PVsyst yazılımı ile tasarımı

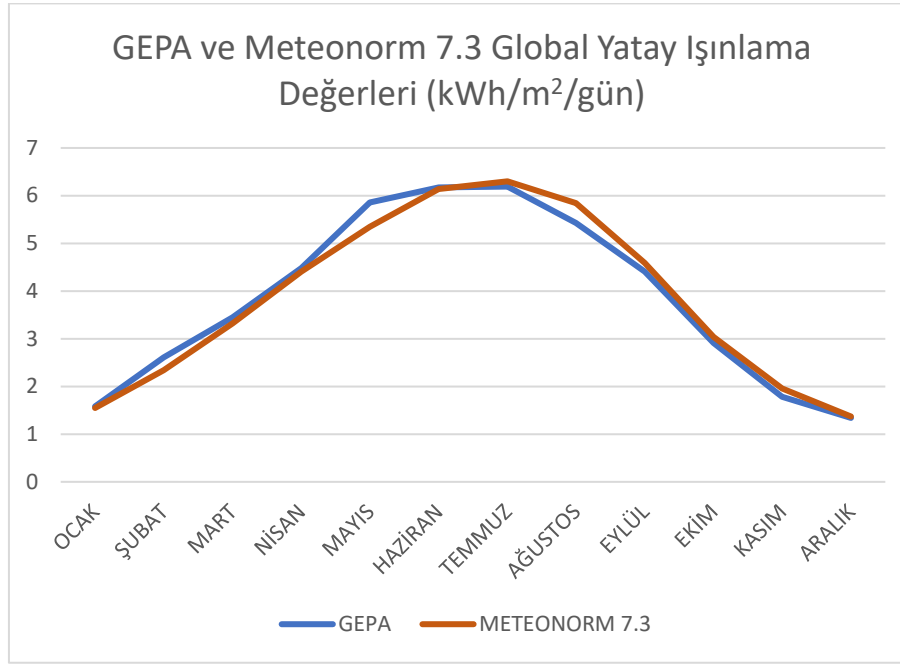
PVsyst yazılımında hava durumu verileri Meteonorm, NASA veya PVGIS veri altyapıları kullanılarak alınabileceği gibi manuel olarak ta veri girişi yapılabilir. Sistem için optimum panel eğimini ve azimut açısını coğrafi konum ve güneş ışınım verilerine göre otomatik olarak hesaplar. Panel eğimi ve azimut açı değerleri değiştirilerek kabaca sistemde ne kadarlık elektriksel kayıp yaşanacağını gösterir.

Fotovoltaik sistemin tasarımı yapılırken panel yönlendirmeleri, panel özellikleri, inverter özellikleri ve gölgeleme etkisi gibi etkenler sisteme tam olarak girilir. İstenirse ekonomik değerlendirme yapılır. Şekil 3.6’da görülen interaktif haritadan PV panellerimizin kurulu olduğu çatının coğrafi koordinatını işaretledikten sonra PVsyst veri tabanında bulunan Gümüşhacıköy ilçesine ait meteorolojik verileri Meteonorm 7.3 üzerinden alınır. İnteraktif harita üzerinde santralin bulunduğu bölgenin enlem, boylam, rakım ve saat dilimi değerleri görülmektedir.



Şekil 3.6. Fotovoltaik sistemin kurulu olduğu yerin interaktif harita üzerinden bulunması

Sonuç olarak, PV panellerin kurulduğu lokasyonun yatay düzleme düşen aylık küresel ışınlım, rüzgar hızı ve sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır. GEPA ve Meteonorm 7.3. verileri karşılaştırıldığında verilerin birbirine yakın olduğu görülmüş ve Meteonorm yıllık ortalaması $3,86 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ iken GEPA ya göre bu değer $3,865 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ dür (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. GEPA ve Meteonorm 7.3 global yatay ışınlama verilerinin karşılaştırılması

Yazılımdaki yönlendirme kısmından sistemin en verimli şekilde çalışacağı panel eğimi ve yönü kolaylıkla tespit edilebilmektedir. PV Panellere düşen güneş ışınlım değerini maksimum yapan açıya optimum eğim açısı denmektedir. Fotovoltaik sistemler tasarlanırken PV panellerin eğimi sistemin kurulacağı enleme göre ayarlanır. Fakat bu tez çalışmasında incelenen fotovoltaik sistemdeki güneş panelleri, çatı ile tam entegre olduğu için çatı eğimine göre yerleştirilmiştir. Ayrıca bir metal konstrüksiyon kullanılarak panel açıları, optimum açıya göre ayarlanmamıştır. Çatı üzerine kurulan fotovoltaik sistem tek yönlü ve sabit eğimli olduğu için alan tipinden sabit eğik düzlem seçilmiştir. Panel eğimi (tilt) ve azimut açısı çatı üzerine kurulu olan sisteme göre tanımlanmıştır. Optimum eğim ve azimut açısına göre sistem kaybı yaklaşık %7,9 civarındadır.

Çatı eğimi 11° 'dir. Panel eğimi ve yönü fotovoltaik sistemin verimini doğrudan etkilemektedir. PV panellerin kurulu olduğu çatı tam güney yönüne doğru bakmamakta ve güney yönünden 40° doğu tarafına doğru bakmaktadır. Bu durum azimut açısının güney yönünden 40° sapmasına sebep olmuş ve bu da verim azalmasına sebep olmuştur. Yine panellerin dikeyle yaptığı açı 11° olup binanın bulunduğu enleme göre optimum açı olan 33° 'den oldukça küçüktür. Bu durum optimum eğime göre verim azalmasına sebep olmaktadır. Sistemin kurulduğu eğim ve azimut açılarına göre toplam kayıp yaklaşık % 7,9 civarındadır. Azimut açısı matematiksel hesaplama yapılarak bulunabileceği gibi Google Earth Pro veya coğrafi koordinatları kullanan bir çok online site veya yazılım uygulamaları yardımı ile de bulunabilir.

Panel eğiminin 33° ve panel yönünün tam güneye baktığı yani azimut açısının 0° olduğu değerler bize optimum durumu verir. Bu durumda PVsyst kayıpları %0 gösterir. Yüzey ısıtım oranı da $FT=1,06$ dan $FT= 1,15$ ' e çıkmaktadır. Şayet çatı üzerine kurulu fotovoltaik sistemde panel eğimi 33° ve azimut açısı 0° olsaydı sistem en yüksek verimde çalışıyor olacaktı. Eğer panel eğimi 33° olup panel yönü yine çatı ile aynı yönde gerçek durumdaki gibi yani azimut açısı -40° olsaydı optimum duruma göre kayıp %3,8 olacaktı. Bu durum bize panel eğiminin bile tek başına sistemin performansında ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Eğer panel eğimi gerçek fotovoltaik sistemdeki gibi 11° ve panel yönünü değiştirtip 40° lik sapmayı yok sayıp azimut açısını 0° yaptığımızda optimum duruma göre kayıp % 6,2 olmaktadır.

Çatı uygulamalarında eğimli çatılarda genelde PV panellerin çatının eğimine göre montajı yapılarak ek konstrüksiyon masrafı yapmaktan kaçınılır. Montaj konstrüksiyonun eğimli çatılarda biraz daha zor ve masraflı olmasından dolayı bu yola başvurulmaktadır. Fakat eğimli olmayan düz çatılarda rahatlıkla metal konstrüksiyon yapılarak panel eğimleri ve yönlendirmesi en optimum düzeyde yapılarak maksimum verim sağlanabilir. Ayrıca düz çatılarda montaj konstrüksiyonun yapılması panel ile çatı arasında mesafe olmasını sağlayarak panel hava sirkülasyonunun daha sağlıklı olmasını sağlayacak ve panel veriminin düşmesini engelleyecektir. Ayrıca panel ile çatı arasında hava sirkülasyonu için yeterince mesafe bırakılmaması, şayet panel montajı yapılan çatı altında yanıcı yalıtım malzemesi bulunmakta ise bu durum yangın riskini de arttırmaktadır. Projeye başlamadan önce maksimum verimi elde edebilecek panel eğim ve azimut açısının tespit edilerek bu değerlere göre montajın yapılması, uzun yıllar boyunca sabit eğimle çalışacak olan fotovoltaik

sistemlerin üreteceği enerji miktarını önemli ölçüde artıracaktır. Çizelge 3.1’de değişik panel eğim ve azimut açısının optimum duruma göre kayıp oranları verilmektedir.

Çizelge 3.1. Değişik panel eğim ve azimut açısının optimum duruma göre kayıp oranları

Tilt ve azimut açısı değerleri	Optimum duruma göre kayıp
Gerçek durum (Panel eğimi = 11°, azimut açısı = -40°)	% 7,9
Panel eğimi = 33°, azimut açısı = -40°	% 3,8
Panel eğimi = 11°, azimut açısı = 0°	% 6,2

ELINPLUS ELNSM6612M -395

ELEKTRİKSEL SPEŞİFİKASYONLAR

STC Anma Gücü (Pmpp)*	395 Wp
STC Nominal Gerilim (Vmpp)	40.28 V
STC Anma Akımı (Impp)	9.81 A
STC Açık Devre Gerilimi (Voc)	49.12 V
STC Kısa Devre Akımı (Isc)	10,14 A
Modül Verimi	20,40 %
NOCT Anma Gücü (Pmpp)	291 Wp
NOCT Anma Gerilimi (Vmpp)	37.2 V
NOCT Nominal Akım (Impp)	7.82 A
NOCT Açık Devre Gerilimi (Voc)	45,52 V
NOCT Kısa Devre Akımı (Isc)	8,15 A
Sıcaklık Katsayısı (Pmpp)	- 0.376%/°C
Sıcaklık Katsayısı (Isc)	+0.043%/°C
Sıcaklık Katsayısı (Voc)	- 0.282%/°C
Normal işletme Hücre Sıcaklığı (NOCT)	46±2°C
Maksimum Sistem Gerilimi (IEC/UL)	1000 VDC or 1500 VDC
Diod Sayısı	3
Junction box IP Sınıfı	IP 67
Maksimum Sigorta Akımı	20 A

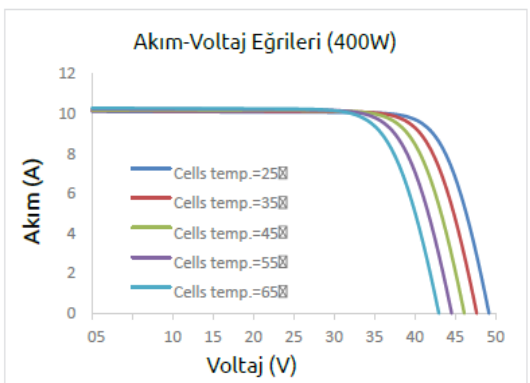
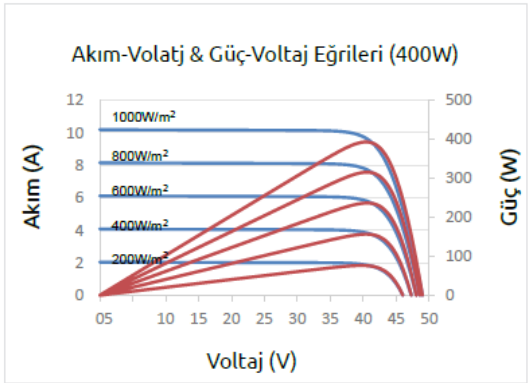
MEKANİK SPEŞİFİKASYONLAR

Dış Ebatlar (L x W x H)	1979 x 1002 x 40 mm 77.9 x 39.4 x 1.57 in
Çerçeve Teknolojisi	Alüminyum, Gümüş Eloksallı
Modül İçeriği	CAM / EVA / Backsheet (Beyaz)
Ön Cam Kalınlığı	3.2 mm / 0.13 in
1Kablo Uzunluğu (IEC/UL)	1150 mm / 45.28 in
Kablo Çapı (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
2Mekanik Dayanım	6000 Pa (Ön) / 3600 Pa (Arka)
Yangın Performansı (IEC/UL)	Sınıf C (IEC) or Tip 1 (UL)
Konnektor Tipi (IEC/UL)	MC4 uyumlu

PAKETLEME SPEKLERİ

Modül Ağırlığı	22,5 Kg / 49,6 lbs
1 Palettteki Modül Sayısı	27 Adet / Palet
Palet ağırlığı	652,2 kg / 1437,7 lbs
40' Konteyner Modül Adedi	648 Adet

EĞRİLER

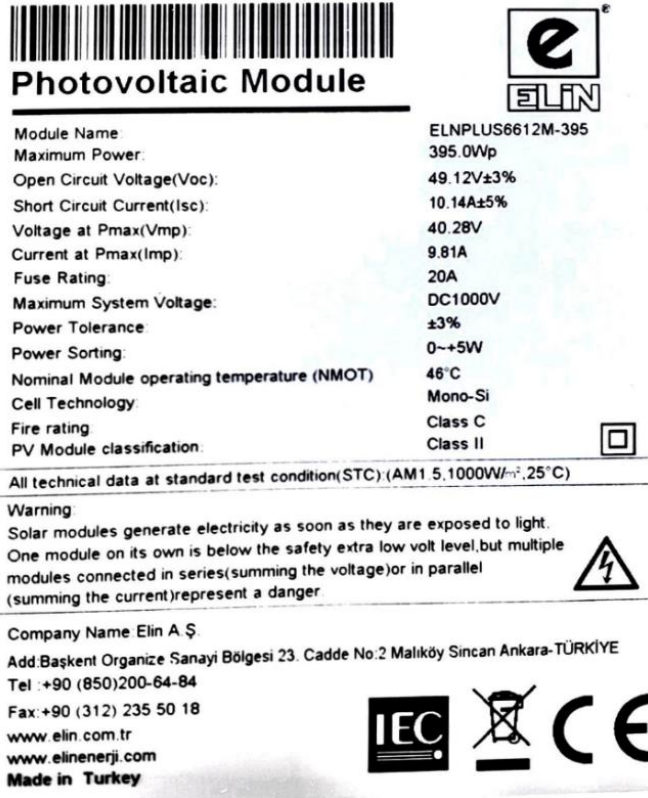


Şekil 3.8. Kullanılan PV panelin özellikleri

Gerçek fotovoltaiik sistemde toplam 28 adet 395 Wp’lık PV paneller 2 dizi halinde yerleştirilerek her MPPT ye 14 panel düşecek sayıda bağlantısı yapılmıştır. Sistemin gücü

11,06 kWp olarak yeterli çatı alanı bulunduğu için alandan bağımsız olarak seçilmiştir. Sistemde kullanılan 10 kW'lık Growatt 10000-TL3-S inverter Pvsyst programında hazır olarak bulunduğu için buradan inverter seçimi yapılır. Şekil 3.9' da ise PV panelin arkasında bulunan etiket değerleri verilmiştir. Etiket değeri incelendiğinde güç tolerans değerinin $\pm 3\%$ olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan ELNPLUS6612M-395 model PV panel Pvsyst yazılımının veri tabanında hazır olarak bulunmadığı için üretici firma kataloglarından PV panel özellikleri bulunarak Pvsyst programının komponent kütüphanesine eklenmiştir.



Şekil 3.9. Kullanılan PV panelin etiketi

Panel tanımlaması yaparken üreticinin 1000 W/m² ışınlam ve 25°C test koşullarında yaptığı elektriksel veriler, mekaniksel veriler ve sıcaklık verileri ilgili alanlara girildikten sonra yazılım kendisi iç model sonuçları oluşturur. Panellerin sıcaklık katsayıları ne kadar fazla ise verimi de sıcaklıkla o kadar düşer. Bu sebeple PV sistemlerde sıcaklık katsayısı düşük olan panellerin seçilmesi sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde ve yaz aylarında yaşanacak kayıpları azalabilir.

Panellerin sıcaklık katsayıları değerleri üretilecek elektrik enerjisi miktarını ve PVsyst simülasyon sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple PVsyst ile yapılan simülasyon sonucunu etkileyecek olan çatı üzerine kurulu fotovoltaik sistemde kullanılan ELNSM6612M Model PV panelin sıcaklık katsayısı (Pmpp) katalog bilgilerinden yola çıkarak $-0,376/^{\circ}\text{C}$ model parametreleri alt menüsünde bulunan sıcaklık katsayısı sekmesine girildi.

Fotovoltaik sistemde kullanılan Growatt 10000-TL3- S string inverter PVsyst yazılımının veri tabanında hazır olarak bulunduğu için ayrıca bir evirici tanımlamasına gerek kalmadan inverter seçimi yapılabilmektedir (Çizelge 3.2).

PVsyst yazılımı ile sistem için ayrıntılı kayıplar analiz edilebilir. Ayrıntılı kayıp (Detailed losses) menüsüne girerek bu kısımdan montaj tipine göre termal kayıplar, kablo uzunluğu ve kesitleri seçilerek omik kayıplar, modül kalitesi ve modül uyumsuzluğu kayıpları, kirlenme kayıpları, ısıma kayıpları, yardımcı elemanların kayıpları (fan, klima, aydınlatma cihazları vb.), sistemin yaşlanmasından dolayı oluşacak kayıplar ve sistemin kullanılamayacağı gün sayısı kayıpları gibi parametreler girilerek detaylı kayıp analizi yapılabilir veya varsayılan değerler seçilebilir.

Mevcut kurulu olan santral için detaylı kayıplar kısmında termal parametreler sekmesi altında montaj şekli “Hava sirkülasyonlu serbest modüller”, “Arka yalıtımlı entegre” ve “Arka yalıtımlı entegre” olarak üç farklı şekilde seçilmiştir.

Paneller üzerinde hiç kirlenme kaybı olmadığı düşünülerek yapılan simülasyon sonucu yıllık 13 029 kWh üretim olacağı tahmin edilirken yıllık kirlenme kayıp faktörü % 1 olarak girildiğinde simülasyon sonucu tahmin edilen üretim miktarının yıllık 12 912 kWh olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamızda kullanılan tipi fotovoltaik sistemi ürettiği enerjiyi tamamen dağıtım şebekesine verdiği için öz tüketimsiz ve depolamasız (aküsüz) olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.2. Sistemde kullanılan inverterin özellikleri

GROWATT 10000-TL3- S İNVERTER TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Evirici Tipi	String
Giriş Verileri	
Maksimum PV Gücü	12000W
Maksimum DC Giriş Gerilimi	1000V
Başlangıç voltajı	160V
MPPT Giriş Gerilim Aralığı	160V-1000V
Nominal Gerilim	600V
Maksimum Giriş akımı	13A/13A
Bağımsız MPPT sayısı / Dizi Giriş Sayısı	2/1
DC Giriş Bağlantı Tipi	PV Konnektör
Çıkış Verileri	
Nominal AC Çıkış Gücü	10kW
Max. AC görünür gücü	11kVA
Maksimum çıkış akımı	16.7A
AC Nominal Gerilim	230V/ 400V
AC Şebeke Frekansı	50 , 60Hz
Güç faktörü	0.8leading - 0.8lagging
THDi	<3%
Hat Bağlantıları	3W+N+PE
Verim	
Maksimum Verim	98.4%
Euro – eta Verimi	98%
MPPT Verimi	99.5%
Genel Özellikler	
Çalışma sıcaklığı	-25°C ... +60°C
Ses emisyonu	≤35 dB(A)
Rakım	3000m
İç tüketim gece	<0.5 W
Topoloji	Transformatörsüz
Soğutma konsepti	Natürel
Dış etkenlere karşı dayanıklılık standardı	IP65
Ekran	LCD
Bağlantı RS232/RS485/RF/Wi-Fi	Var/Var/Ops/Ops

3.3.2.1. Panel yerleşimi ve yakın gölge analizi

Uzak gölgeleme (Far Shading) etkisi; panellerin kurulduğu coğrafi koordinatlara ve konumuna göre (azimut açısı ve panel eğimine) göre güneşin izlediği yolun panellere gelen güneş ışığını etkileme derecesini gösterir. PVsyst yazılımının coğrafi koordinatlar, panel eğimi ve azimut açısına göre oluşturmuş olduğu ufuk çizgisi diyagramına bakıldığı zaman santralde kurulu panel yönleri güney doğu yönüne baktığı için sabahın erken saatlerinde bile uzak gölgeleme etkisi bulunmamaktadır. Fakat akşam saat 17:00'da güneş azimut açısı 50^0 yakınlarında ufuk gölgelemesi etkisi paneller üzerinde görülmeye başlanmaktadır. Bu etki mevsimsel olarak değişmektedir.

Yakın gölgeleme (Near Shading) ise panellerin kurulduğu yer yakınlarındaki bina, ağaç, baca vb. unsurlardan dolayı panel üzerine düşen gölge etkisini ifade eder. PV panellerin etrafında bulunup da panellere gölgeleme yapacak nesneler tasarım alanına gerçek ölçüleri dikkate alınarak çizilmiştir. Panellerin batı tarafında yer alan okul ana binasının ve doğu tarafında yer alan ağacın paneller üzerinde gölgeleme etkisi mevcut olup bu etki gölge animasyonu ile istenilen tarih seçilerek izlenebilmektedir.

Gölgeleme nesneleri kışın (21 Aralık tarihine göre) % 4,9 ve yazın % 6,8 (21 haziran tarihine göre) civarında bir elektriksel kayba sebep olmaktadır. Bu farklılığın sebebi panellerin kurulduğu çatının konumuna göre kış aylarında güneşin takip ettiği yörünge daha kısa iken yaz aylarında bu yörünge uzamakta ve paneller üzerindeki gölge etkisi artmaktadır. Yaz ve kış ayları için sitem gölgeleme simülasyonu izlenerek hangi panellere saat kaçta ne kadar gölge düşeceği tespit edilebilmektedir.

PVsyst yazılımı doğrusal gölgeleme ve modül dizine göre gölgeleme olmak üzere 2 farklı şekilde gölge diyagramı çıkarmamıza imkan tanımaktadır. Gölgeleme etkisi olmadan aynı parametreler, aynı panel ve inverter kullanılarak yapılan sistem için hesaplanan üretim değeri 13 650 kWh iken gölgeleme etkisi ile bu değer 12 912 kWh' a düşmektedir. Pvsyst yazılımı ile hesaplanan yakın gölgeleme kayıpları yıllık 738 kWh ve yaklaşık % 5,40 elektrik üretim kaybına sebep olduğu hesaplamıştır.

Santralde kullanılan modüller 2 dizi halinde ve her dizide 14 modül olacak şekilde 2 sıra halinde bağlanmıştır. Modül dizileri 2 dizi halinde seçilerek inverter MPPT noktalarına bağlanmıştır.

Enerji yönetimi menüsü altında sistemin güç faktörü, şebeke güç sınırlaması ve finansal kuruluşların sıklıkla kullandığı P50-P75-P90 olasılık analizli enerji üretim verileri yer almaktadır. P50-P75-P90 üretim verileri hesaplanırken iklim değişikliği ve yıllık değişkenlik değerleri girilebilir. PVsyst te varsayılan olarak kullanılan değerler girildiğinde çatı üzerine kurulu santralin P50-P75-P90 tahmini üretim sonuçları Çizelge 3.3’de verilmektedir.

Çizelge 3.3. PVsyst P50-P75-P90 tahmini üretim sonuçları

Olasılıklara göre üretim sonuçları	Tahmin edilen üretim (MWh)
P50	12,91
P75	12,49
P90	12,11

P50 olasılık değeri bazı finansal ve yatırımcı kuruluşlar için çok yüksek riski temsil ettiğinden dolayı genelde yatırımcı şirketler yeterli enerjinin üretilebileceğinden emin olmak için P75 veya P90 olasılık üretim değerlerini dikkate almaktadır. PVsyst yazılımı sistem için detaylı ekonomik analiz yapma imkanı da sunmaktadır.

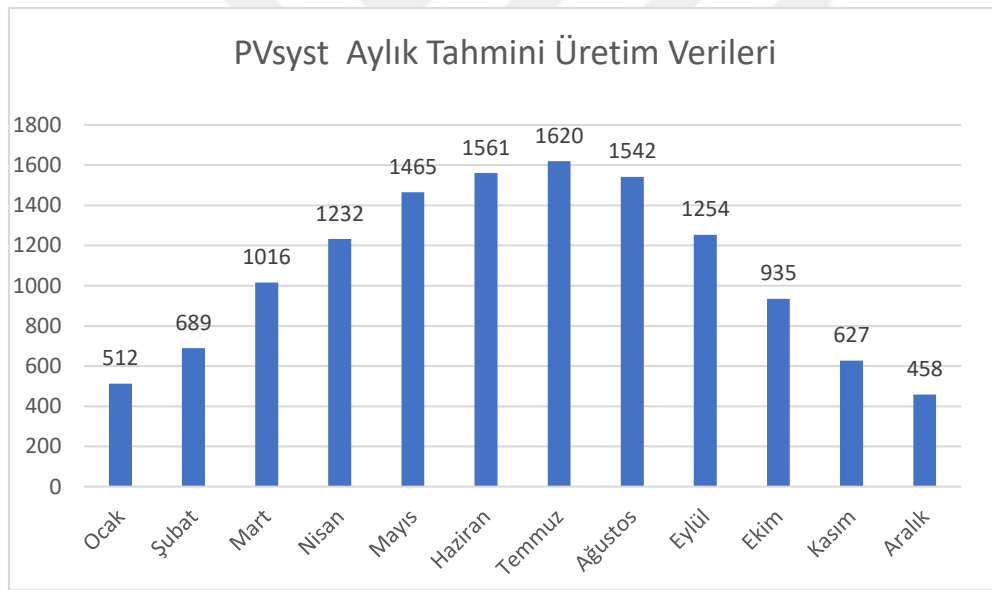
3.3.3. PVsyst yazılımı ile yapılan tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi

Okul çatısı üzerine kurulan sistemin gerçek panel, inverter, eğim, konum, açı ve gölgeleme etkisi ile beraber tasarımı PVsyst yazılımı ile yapılmış olup sistemin şebekeye vereceği elektrik enerjisinin toplam yıllık olarak 12,91 MWh olacağı hesaplanmıştır. Sistem performans oranı %78,74 bulunmuştur. Sistem için ekonomik veriler girildiğinde, burada arazinin kendi mülkiyetinde olması, kira giderleri ve vergilerin olmaması gibi etkilere dolayı sistemin yaklaşık 6,64 yıl sonra kurulum maliyetini karşıladığı görülmektedir.

Çizelge 3.4. Gölgelemenin üretilebilecek enerji miktarları üzerindeki etkisi

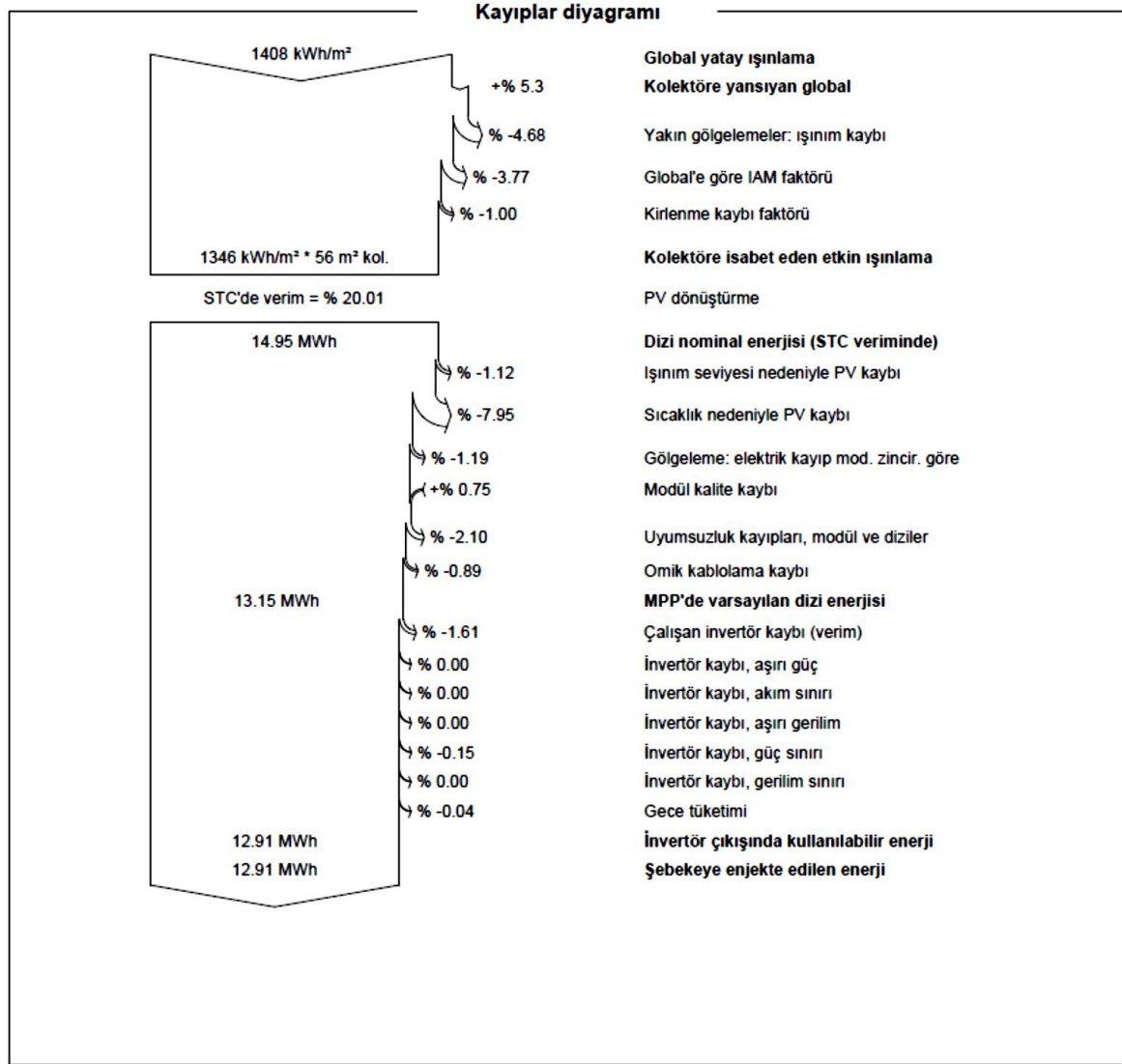
PVsyst Yazılımı ile Ulaşılan Tahmini Üretim Sonuçları	
Gölgeleme yokken tahmini üretim sonucu	13 650 kWh/Yıl
Gölgeleme nesneleri varken tahmini üretim sonucu	12 912 kWh/Yıl
Üretim miktarına göre gölgelenme kayıpları (%)	5,40

Çizelge 3.4'den görüleceği gibi PVsyst yazılımı ile gölgeleme nesneleri olmadan yapılan simülasyon sonucunda sistemin yıllık 13 650 kWh elektrik üreteceği ve gölgeleme nesneleri kullanılarak yapılan simülasyon sonucunda yıllık 12 912 kWh elektrik üretebileceği hesaplanmıştır. Bu sonuç bize gölgelemeden dolayı yıllık 738 kWh elektrik kaybı olduğunu ve sistemde % 5,40'lık bir kayba sebep olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.10. PVsyst ile yapılan tasarımın aylık tahmini üretim miktarlar

Aylık tahmini üretim sonuçlarına bakıldığında en yüksek üretime temmuz ayında ulaşıldığı, en düşük elektrik üretiminin ise aralık ayanında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.11. PVsyst ile yapılan tasarımın kayıp diyagramı

Yapılan simülasyon sonucu elde edilen kayıp diyagramı incelendiğinde panellerin kurulu olduğu alana yatay düzleme gelen yıllık global ışınlım miktarı 1408 kWh/m²'dir (Şekil 3.11). Azimut açısı, panel eğimi ve gölgelendirme nesneleri sonucu panellere isabet eden etkin ışınlım miktarı 1346 kWh/m²'ye düşmüştür. Yakın gölgeleme nesnelerinin ışınlım kaybı %4,68 ve yansımadan dolayı kaynaklanan kayıp %3,77 dir. Panellerin kirlenme kaybı % 1 olarak kabul edildiğinde, panellere gelen optik kayıplar çıkarıldığında panellere ulaşan etkin ışınlama miktarı 1346 kWh/m² olmuştur. Panellerin kapladığı alan 56 m² olduğu için toplam gelen 1346 kWh/m² ışınlım ile üretilebilecek enerji $1346 \text{ kWh/m}^2 * 56 \text{ m}^2 = 75,376 \text{ MWh}$ olacaktır. Güneş enerji santralinde kullanılan PV panellerin STC (Standart Test Koşullarında) verimi % 20,01 olduğu için dönüşüme uğrayan enerji miktarı 14,95 MWh olacaktır.

Panellere normalde gelmesi gerekenden az miktarda ışınlam geldiği için ışınlam seviyesi sebebiyle oluşan PV kayıp %1,12 olmuştur. Sıcaklık nedeniyle panellerde oluşacak kayıp %7,95'dir, bu durumun en büyük sebebi panellerin çatı üzerine yeteri kadar hava boşluğu bırakılmadan tam entegre olarak montajının yapılmasıdır. Mevcut kurulu olan santral için detaylı kayıplar kısmında termal parametreler sekmesi altında tüm sistem özellikleri aynı kalarak yapılan hesaplamalarda montaj şeklini “Hava sirkülasyonlu serbest modüller” olarak seçtiğimizde PVsyst yıllık tahmini üretim sonucunu 13 642 kWh olarak hesaplamıştır (Çizelge 3.5). “Arka hava kanallı yarı entegre” seçildiğinde üretim değerinin 13 296 kWh olarak hesaplamıştır. Fakat fotovoltaik sistemin montaj şeklini çatıya tam entegre olarak yerleştirildiği “Arka yalıtımlı entegre” olarak seçildiğinde tahmin edilen yıllık üretim miktarının 12 912 kWh olarak daha düşük hesaplandığı görülmüştür. Bu sonuç bize çatı montaj şeklinin termal kayıpları ne derecede etkilediğini göstermektedir.

Çizelge 3.5. Panel montaj şekline göre PVsyst üretim değerleri

Panel montaj şekline göre PVsyst üretim değerleri	
Montaj Şekli	PVsyst ile tahmin edilen üretim değeri (kWh/yıl)
Hava sirkülasyonlu serbest modüller	13 642
Arka hava kanallı yarı entegre	13 296
Arka yalıtımlı entegre (Tam entegre)	12 912

Modül zincirlerine göre gölgelenmeden kaynaklı elektriksel kayıp %1,19 dur. Modüllerin üretim sırasında belirlenen güç toleransı ve kalitesine göre kayıp görülmemiş % 0,75 kazanç görülmüştür. Panel ve dizilerin bağlantı şeklinden dolayı uyumsuzluk kayıpları %2,10 hesaplanmıştır. Panellerde meydana gelen gölgelenmelerden dolayı da uyumsuzluk kayıpları artmaktadır. Omik kablolama kaybı ise %0,89 olarak hesaplanmıştır. Dizi kayıpları sonucunda panel çıkışlarındaki toplam enerji 13,15 MWh olmuştur.

İnverterin veriminden dolayı oluşan kayıp %1,61'dir. İnverterde gerekli güç sınırları değerleri dışına çıktığında oluşan kayıp %0,15'tir. İnverterin gece elektrik tüketiminden dolayı oluşturduğu kayıp % 0,04 olarak hesaplanmıştır. Toplamda inverterde % 1,80 kayıp öngörülmüştür. İnverterdeki kayıplardan sonra fotovoltaik sistemin inverter çıkışındaki ürettiği ve şebekeye verdiği enerji 12,91 MWh olarak hesaplanmıştır.

3.4. PVSOL Premium 2022 Yazılımı

Almanya Berlin merkezli Valentin Software simulasyon yazılımları, PVSOL fotovoltaik Sistemler Tasarım Yazılımını 1998 yılında piyasaya sürmüştür. PVSOL yazılımı fotovoltaik sistemler için profesyonel tasarım yapılmasına olanak sağlayan dinamik bir yazılımdır. Şebeke bağlantılı, Şebeke bağlantısız, DC pompalama, çatı sistemleri, akülü depolama sistemleri ve saha uygulamaları gibi bir çok fotovoltaik sistemin 3 boyutlu tasarımına imkan vermektedir. Tek ve çift eksen güneş takip sistemleri tasarlanabilmektedir. PVSOL ile saha uygulamaları, çatıya paralel ve montaj açısı yükseltilmiş sistemlerin gölgelenme etkisini 3 boyutlu olarak tasarlayıp gölgelenme etkileri hesaplanabilmektedir. Yazılım uydu haritalarını 3 boyutlu tasarıma dahil edebilme imkanı sağlamaktadır ([www. valentin-software.com](http://www.valentin-software.com)).

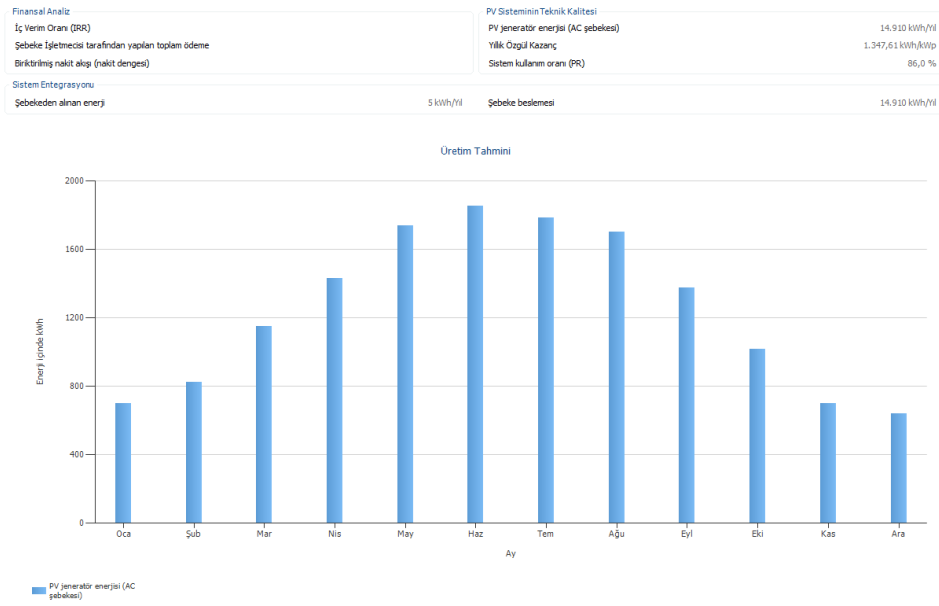
PVSOL yazılımı ile gölgelenme etkisini ve detaylarını her panel için ayrı ayrı görebilir ve her panel için ne kadarlık kayıp yaşandığı kolayca hesaplanabilir. Binalar ve nesnelerin uydu görüntülerini tasarım ekranına aktardıktan sonra binaların veya nesnelerin sadece üzerinden tekrar çizerek yüksekliğini ayarlayarak 3 boyutlu bina ve çatılar kolaylıkla oluşturulabilir. MeteoSyn ve Meteororm iklim veri tabanlarında 8 000'den fazla iklim verileri bulundurmaktadır. İklim verileri kolaylıkla harita üzerinden seçilebilmekte ve ayrıca kullanıcı yeni iklim verilerini veri tabanına ekleyebilmektedir. Simülasyon sonuçlarını dakikalık ve saatlik olarak da tablo ve diyagramlar şeklinde rapor olarak sunmaktadır ([www. valentin-software.com](http://www.valentin-software.com)).

3.4.1. PVSOL yazılımı ile fotovoltaik sistemin tasarımı

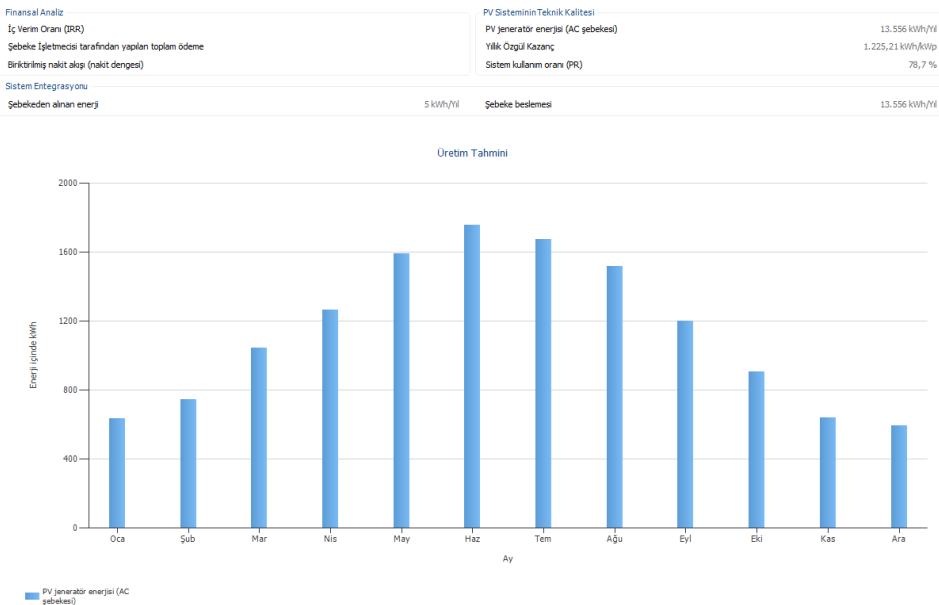
Çatı üzerine kurulu sistem özellikleri aynı şekilde yazılıma tanımlanmıştır. PVSOL programında hazır olarak bulunmayan ELNS6612M 395 Wp panel özellikleri elektriksel parametreleri, sıcaklık katsayı verileri ve boyutları sistemdeki panel verileri kısmına girilmiştir. Sistemde kullanılan Growatt 10000TL3-S inverter, yazılımda hazır olarak bulunduğu için aynen seçilmiştir. Sistemde toplam 28 adet panel 2 dizi halinde yerleştirilmiştir. Bina konumu haritadan seçilmiş azimut açısı otomatik olarak çıkmış ve çatı eğim değeri 11° olarak girilmiştir.

Ana bina ve santral yakınında bulunan ağaç aynen bulundukları konuma göre araziye yerleştirilmiştir. Ağacın yaprak döken ağaç olduğu göz önünde bulundurularak güneş geçirgenlik değerleri seçilmiştir. Bu seçimler gölgeleme kayıplarının bulunmasında önem arz etmektedir.

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de PVSOL programının vermiş olduğu gölgeleme etkisi dahil ve hariç üretim sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Gölgeleme etkisi olmadan PVSOL programı ile bulunan üretim sonuçları



Şekil 3.13. Gölgeleme etkisi dahil edilerek PVSOL programı ile bulunan sonuç

3.4.2. PVSOL programı ile yapılan tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 3.6'dan görüleceği gibi ana bina ve ağacın gölgeleme etkisi olmadan PVSOL yazılımı yıllık üretim miktarını 14,910 MWh bulurken, gölgeleme etkisi dahil edildiğinde 13,556 MWh'a düşmektedir. PVSOL programına göre yıllık olarak gölgeleme etkisi yaklaşık % 9,08'lik bir kayba sebep olmaktadır.

Çizelge 3.6. PVSOL programı ile ulaşılan tahmini üretim sonuçları

PVSOL Programı ile Ulaşılan Tahmini Üretim Sonuçları	
Gölgelendirme yokken tahmini üretim sonucu	14 910 kWh/Yıl
Gölgelendirme cisimleri varken tahmini üretim sonuçları	13 556 kWh/Yıl
Üretim miktarına göre gölgelenme kayıpları (%)	9,08

PVSOL yazılımı ile yapılan P50, P75 ve P90 olasılık tahminlerine göre yıllık üretim tahminleri P50 için 13 551 kWh, P75 için 13 134 kWh ve P90 için 12 776 kWh olarak bulunmuştur. PVSOL yazılımı ile sistemin yıllık 13 556 kWh elektrik enerjisi üretebileceği sonucuna varılmıştır. Sistemin performansı % 78,66 olarak hesaplanmıştır. PVSOL yazılımı ile en fazla elektrik üretiminin haziran ayında yaşanacağı, en az üretimin ise aralık ayında gerçekleşeceği tahmin edilmiştir (Şekil 3.14).

Çizelge 3.7. PVSOL Simülasyon Sonuçları

10kW Okul Çatı GES

Teklif no.: 01

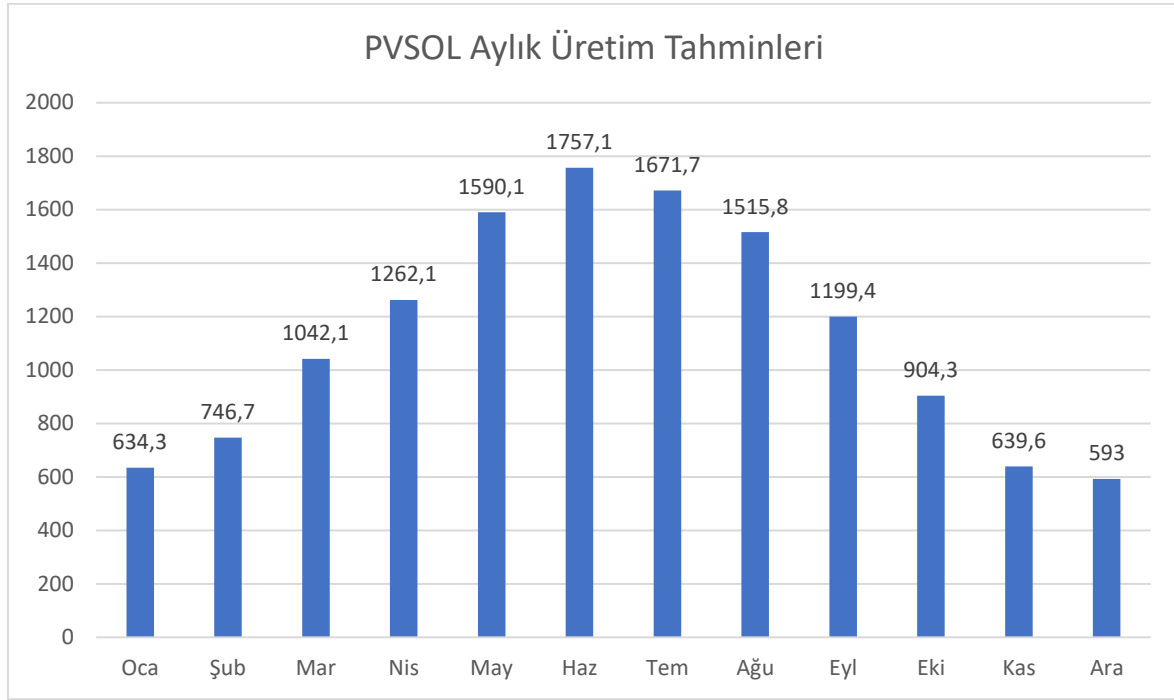
Simülasyon sonuçları

Sonuçlar Tüm Sistem

PV sistemi

PV jeneratör çıkışı	11,06 kWp
Yıllık Özgül Kazanç	1.225,21 kWh/kWp
Sistem kullanım oranı (PR)	78,66 %
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	9,4 %/Yıl
Şebeke beslemesi	13.556 kWh/Yıl
İlk yıl içindeki şebeke beslemesi (Modülün performans düşüşü dahil)	13.556 kWh/Yıl
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnvertörler)	5 kWh/Yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	6.369 kg/yıl

Çizelge 3.7’ den de görüleceği üzere modülün ilk yıl performans düşüşü dahil yıllık toplam da 13 556 kWh elektrik üretebileceği sonucuna varılmıştır. İnverterin ise yıllık bekleme konumunda 5 kWh elektrik tüketiceği görülmektedir.



Şekil 3.14. PVSOL tasarım sonucu bulunan aylık üretim miktarları (kWh)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Amasya ili Gümüşhacıköy ilçesinde bulunan okul yemekhane çatısı üzerine kurulu olan 10 kWp' lik Fotovoltaik Güneş Enerji Sisteminin gerçek elektrik üretim verileri ile PVsyst V.7.1.0 DEMO ve PVSOL Premium 2022 DEMO yazılımları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gerçek değerler ile yazılımların verdiği hesaplamalı sonuçların karşılaştırılması, doğruluk derecelerinin ölçülmesi ve gölgelenme kayıplarının fotovoltaik sistemi ne düzeyde etkilendiğinin analizi için önemli bir veri oluşturmaktadır. Aynı zamanda bu karşılaştırma sonuçları Gümüşhacıköy ilçesi için güneş enerji santrallerinin yatırım yapılabilir olup olmadığının anlaşılması ve daha sonra yapılacak olan fotovoltaik uygulamalar için fizibilite çalışması olarak da nitelendirilebilir.

Okul yemekhane çatısı üzerine kurulu fotovoltaik sistem 2020 Kasım ayında kurulmuş olup yaklaşık 85.000 TL (10.193\$- dolar kuru: 8,34 TL) kurulum maliyeti ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde toplam 28 adet panelin maliyeti 6.799,52 \$, inverter maliyeti 1.798,56 \$, proje masrafı, metal raylar, kablolar, montaj ve işçilik maliyeti olarak da toplam 1.595 \$ harcanmıştır. Sistem arazisi kamuya ait olduğu için ayrıca bir kira veya vergi ödenmemektedir. PVsyst yazılım ile sistemin 25 yıl çalışacağı ve yıllık 12,9 MWh elektrik enerjisi üreteceği, YEKDEM güneş enerjisi alım fiyatı 30.06.2021 tarihine kadar işletmeye girmiş olan YEK belgeli tesisler için 10 yıl alım garantili 13,3 cent/kWh olarak belirlendiği için 2020 Kasım ayında kurulmuş olan sistem için satış tarifi 13,3 cent/kWh olarak girildiğinde sistemin yaklaşık 6,0 yıl sonra kendisini amorti edeceği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat çatı üzerine kurulu fotovoltaik sistem okulun kendi öz tüketimini karşılayamadığı için mahsuplaşma para olarak değil kWh olarak gerçekleşmektedir. Dağıtıcı firmaya sistemin ürettiği elektrik miktarı çift yönlü sayaçtan okunup düşüldüğü zaman kalan kWh miktarı ödenmektedir.

2020 yılı kasım ayında okula gelen elektrik faturaları incelendiğinde dağıtıcı firma kurumsal tüketiciye tüketim bedeli, vergi ve fonlar dahil olarak 0,99154 TL/kWh tarife ile elektrik enerjisi satışı gerçekleştirmektedir. PVsyst yazılımının yıllık 12 912 kWh elektrik enerjisi üreteceği düşünüldüğünde okulun dağıtıcı firmaya ödeyeceği fatura miktarı yıllık $12\ 912 \times 0,99154\ \text{TL} = 12\ 802,76\ \text{TL}$ azalacaktır. Fotovoltaik sistemin okulun yıllık ödeyeceği

elektrik fatura miktarını 12 802,76 TL azaltacağı ve 2020 yılı kasım ayı toplam kurulum maliyeti olan 85 000 TL'yi 6,64 yıl içerisinde amorti edeceği görülmektedir.

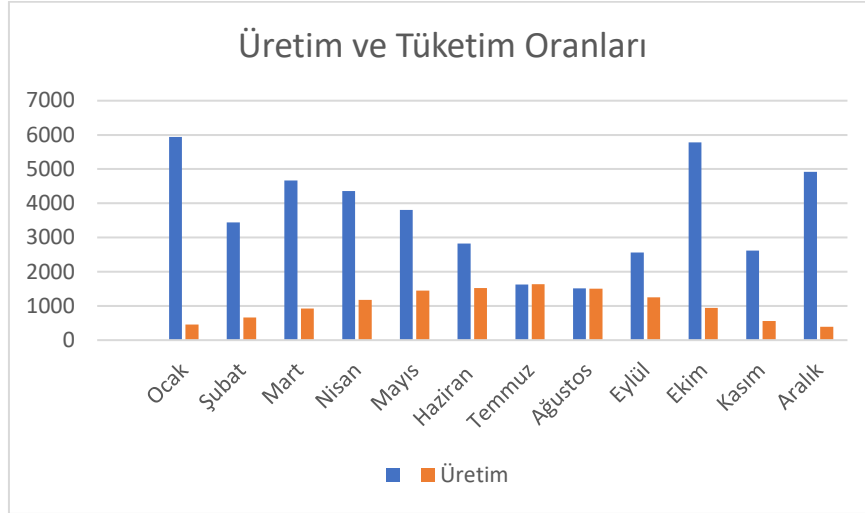
COVID-19 Pandemisi sebebi ile 2019-2020 ve 2020-2021 yılı eğitim-öğretim dönemlerinde bazı aylarda kısmen veya tamamen uzaktan eğitime geçilmiştir. Bu dönemlerde okulda öğrenciler bulunmadığı için tüketimin tam kapasitesinin anlaşılması amacıyla 2018 yılı elektrik tüketim verileri kullanılmıştır. Okulun 2018 yılı elektrik tüketimi yıllık 44 0772,73 kWh olup fotovoltaik sistem 2021 yılı boyunca toplam 12 473 kWh elektrik enerjisi üretmiştir. Bu durum fotovoltaik sistemin tek başına elektrik tüketimini karşılayamayacağını göstermektedir.

Çizelge 4.1 incelendiğinde sadece temmuz ayında üretimin tüketimi karşıladığı görülmektedir. Temmuz ve ağustos aylarında okulun yaz tatiline girmesi, bölüm atölyelerinin çalışmaması, kaloriferlerin yanmaması sebebiyle elektrik tüketimi azalması sonucu sistemin tüketimi karşılayabileceği görülmüştür.

Çizelge 4.1. Okulun aylara göre elektrik tüketimi

Aylar	Okulun 2018 yılı Elektrik Tüketimi (kWh)	2021 yılı Fotovoltaik Sistemin Üretim Değerleri (kWh)
Ocak	5941,59	460
Şubat	3443,31	664
Mart	4665,66	924
Nisan	4358,49	1181
Mayıs	3810,63	1451
Haziran	2825,01	1520
Temmuz	1627,02	1633
Ağustos	1515,72	1501
Eylül	2561,7	1252
Ekim	5783,22	939
Kasım	2616,93	559
Aralık	4923,45	389
TOPLAM	44 072,73	12 473

Özellikle kış aylarında elektrik tüketiminin artması ve buna karşı güneşlenme süresi ve güneş radyasyon değerlerinin azalması ile birlikte üretim miktarları ile tüketim miktarları arasındaki farkın arttığı görülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Gerçek üretim ve tüketim verilerinin karşılaştırılması

Çatı üzerine kurulu fotovoltaik sistem 2021 yılında 1 yıllık süre boyunca toplam 12 473 kWh elektrik enerjisi üretmiştir. Çizelge 4.2’de sistemin ürettiği elektrik miktarı yazılımların simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması verilmiştir. Çizelgede ayrıca 2022 yılı başından tezin yazıldığı tarihe kadar olan sistemin ürettiği elektrik verilerine de yer verilmiştir.

Üretim değerlerinin güneşlenme süresinin uzun olduğu ve güneş ışınlarının panellere daha dik açı ile geldiği yaz aylarında arttığını, fakat güneşlenme süresinin azaldığı, güneş ışınlarının daha eğik açı ile geldiği, bulutlu ve yağışlı gün sayısının arttığı, paneller üzerinde kar biriktiği kış aylarında ise düştüğü söylenebilir. Fotovoltaik sistemin en yüksek gerçek üretim değerine temmuz ayında ulaştığı, en düşük üretimin ise aralık ayında gerçekleştiği görülmektedir.

Çizelge 4.2. Fotovoltaik sistemin gerçek üretim verileri ile simülasyon sonuçlarının aylık olarak karşılaştırılması

Aylar	PVsyst Yazılımı (kWh)	PVSOL Yazılımı (kWh)	2021 Yılı Gerçek Üretim Değerleri (kWh)	2022 Yılı Gerçek Üretim Değerleri (kWh)
Ocak	512	634,3	460	523
Şubat	689	746,7	664	715
Mart	1016	1042,1	924	917
Nisan	1232	1262,1	1181	1373
Mayıs	1465	1590,1	1451	1583
Haziran	1561	1757,1	1520	1528
Temmuz	1620	1671,7	1633	1753
Ağustos	1542	1515,8	1501	
Eylül	1254	1199,4	1252	
Ekim	935	904,3	939	
Kasım	627	639,6	559	
Aralık	458	593	389	
Toplam (kWh/yıl)	12 912	13 556	12 473	

2021 yılı için PVSOL yazılımının üretim tahmin değerlerinin sistemin gerçek üretim değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. PVSOL yazılımının gerçek üretim değerine en yakın tahmininin 2021 ağustos ayında ve 2022 yılı mayıs ayında gerçekleştiği görülmektedir. 2021 yılı için PVSOL yazılımının tahmin değeri en çok haziran ve aralık aylarında gerçek üretim değerlerinden sapma göstermiştir.

PVsyst yazılımı ise 2021 yılı için en yakın tahminini eylül ve ekim aylarında yapmış gerçek üretim değerlerinden en çok sapmayı ise 2021 yılı için mart ve aralık aylarında göstermiştir. 2021 yılı için yazılımın genelde tahmini üretim değeri gerçek üretim değerlerinden fazladır. 2021 yılı gerçek üretim miktarı her iki yazılımının da tahmin ettiği üretim sonuçlarından düşük gerçekleşmiştir (Çizelge 4.3). 2022 yılı nisan ayında PV panellerin kurulu olduğu bölgede güneşli gün sayısını yüksek geçmesi, kapalı gün sayısı ve yağış miktarının az olması sebebiyle gerçek üretim verisi her iki yazılımın tahmin ettiği değerlerden yüksek çıkmıştır. 2022 yılı mayıs ayı gerçek üretim verisinin haziran ayından fazla olduğu görülmektedir.

Bunun sebebinin panellerin kurulu olduğu bölgede 2022 yılı haziran ayının mayıs ayına göre daha çok yağmurlu ve bulutlu gün sayısının fazla olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Yine 2022 yılı ocak ve şubat ayı üretim değerlerinin ise PVsyst yazılımının tahmin ettiği üretim değerleri ile çok yakın olduğu görülmektedir. 2022 Temmuz ayı gerçek üretim verisi her iki yazılımın tahmin ettiği üretim değerinden fazla gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.3. Fotovoltaik sistemin gerçek üretim verileri ile PVsyst ve PVSOL yazılım sonuçlarının karşılaştırılması

	PVsyst	PVSOL	2021 yılı Gerçek Üretim Miktarı
Yıllık üretim tahmini	12 912 kWh/yıl	13 556 kWh/yıl	12 473 kWh/yıl
Gerçek üretim miktarı ile tahmini üretim miktarı arasındaki fark	439 kWh/yıl	1083 kWh/yıl	
Gerçek üretim miktarı ile tahmini üretim miktarı arasındaki fark (%)	3,40	7,99	
Üretim miktarına göre yazılımların bulunduğu gölgelendirme kayıpları (%)	5,40	9,08	

2021 yılı boyunca çatı üzerine kurulu fotovoltaik sistem toplam 12 473 kWh elektrik enerjisi üretmiştir (Çizelge 4.3). PVsyst yazılımı toplam üretilebilecek enerji miktarını 2021 yılı için 12 912 kWh/yıl, PVSOL yazılımı ise 13 556 kWh/yıl olarak tahmin etmiştir. Simülasyon sonuçları ile gerçek üretim verileri arasında 2021 yıllık toplamda PVsyst yazılım ile 439 kWh, PVSOL yazılımı ile 1083 kWh fark oluşmuştur. PVsyst yazılımı ile gerçek üretim verileri arasında yıllık % 3,40, PVSOL yazılımı ile % 7,99'luk bir fark oluşmuştur. Gerçek üretim değerinin her iki yazılımında tahmin ettiği üretim değerinden farklı olmasının sebepleri;

- 2021 yılındaki karlı ve yağışlı gün sayısının fazla olması, gerçekte yaşanan iklim koşulları ile program yazılımlarındaki iklim verileri arasındaki farklılıklar,
- Gerçekte bulutlu, yağışlı veya karlı gün sayısının yazılımların tahmin ettiği meteorolojik olayların sayısından fazla veya az sayıda gerçekleşmesi,

- PV modüllerin ve inverterin gerçek ortam çalışma verimlilik oranları ile test koşullarındaki verimlilikleri arasındaki farklılıklar,
- PV panellerin güç tolerans değerlerinin gerçek çalışma koşullarında değişiklik göstermesi,
- PV panellerin zamanla tozlanması, paneller üzerinde bulunan kir, toz ve kar tabakasının yazılımlar tarafından tahmin edilenden çok veya az olması,
- Gölgeleme kayıplarının yazılımlar tarafından tam olarak tespit edilememesi,
- Gölgelemeye sebep olan ağaç yapraklarının bahar mevsiminde çok, kış mevsiminde az olması ve gölgeleme nesnelerinde sonradan meydana gelen değişiklikler,
- Yazılımların ara yüz tasarımlarının zorluk derecesi,
- Fotovoltaik sistemi tasarlayan kullanıcının yazılımlar üzerindeki deneyimi ve kullanım becerisi şeklinde sıralanabilir.

PVSOL yazılımı panellerin kurulu olduğu bölgenin küresel güneş radyasyon değerini yıllık ortalama 1504 kWh/m^2 göstermekte ve bu değere göre hesaplama yaparken, PVsyst yazılımı aynı bölgenin yıllık küresel güneş radyasyon değerini $1408,4 \text{ kWh/m}^2$ olarak göstermekte ve bu değere göre üretim hesaplamalarını yapmaktadır. GEPA haritasına göre ise Gümüşhacıköy ilçesinin büyük bir bölümünün küresel güneş radyasyon değeri $1400-1450 \text{ kWh/m}^2$ arasında görülmektedir.

PVsyst ve PVSOL yazılımlarının gölgelendirme kayıpları karşılaştırıldığında üretim miktarına göre PVSOL yazılımında tahmin edilen kayıpların sistemi % 9,08 etkilediği, PVsyst yazılımında tahmin edilen kayıpların sistemde % 5,40'lık bir kayba sebep olduğu görülmektedir. PVSOL yazılımının gölgelendirme kaybı olarak en büyük avantajı her bir panel üzerindeki gölgelendirme kayıplarını ayrı ayrı görülebilmesine imkan sağlamasıdır.

Çizelge 4.4'de PVsyst yazılımı P50-P75-P90-P95 olasılık yaklaşımı ile de üretim tahmin sonuçları vermektedir. Genelde finansal yatırımcı firmaların kullandığı P75 ve P90 olasılık

değerlerine göre üretim miktarı P50 olasılığına göre daha az sapma ile tahmin edilmiştir. Özellikle P75 olasılık değeri neredeyse 2021 yılı gerçek üretim sonuçları ile aynı sonucu yakalamıştır. P75 olasılık sonucu ile gerçek üretim sonucu arasında yıllık sadece 0,02 MWh'lık bir fark oluşmuştur.

Çizelge 4.4. PVsyst olasılık sonuçlarının gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması

Olasılıklara göre üretim sonuçları	Tahmin edilen üretim (MWh)	2021 yılı Toplam Gerçek Üretim Değeri
P50	12,91	12,47 MWh
P75	12,49	
P90	12,11	

PVsyst yazılımının olasılık sonuçları tahmin edilen meteorolojik verilerin gerçekleşme düzeyi ile ilgilidir. Belirsizlik değerinin arttıkça simülasyon sonuçlarının gerçek üretim veri sonuçlarına yaklaştığı görülmektedir. PVsyst yazılımı ile en yakın olasılık değeri P75 ile bulunmuştur.

Çizelge 4.5. PVSOL olasılık sonuçlarının gerçek üretim verileri ile karşılaştırılması

Olasılıklara göre üretim sonuçları	Tahmin edilen üretim (MWh)	2021 Yılı Toplam Gerçek Üretim Değeri
P50	13,55	12,47 MWh
P75	13,13	
P90	12,77	

Çizelge 4.5'den görüleceği gibi PVSOL yazılımı ile yapılan üretim tahminlerinde 2021 yılı gerçek üretim verilerine en yakın sonuç P90 olasılık değerinde gerçekleşmiştir.

İncelenen çatı üzerine kurulu fotovoltaik sistem gerek çatı eğiminin az olması gerekse tam olarak güney yönüne bakmayan çatı sebebiyle optimum verimle çalışmamaktadır. PVsyst yazılımı ile yapılan hesaplamalarda panellerin kurulu olduğu lokasyon için en uygun panel eğiminin 33° ve panel yönlerinin tam güneye bakacak konumda (azimut açısı=0°) yönlendirilmesi ile gerçekleşecektir. Fakat çatı üzerine tam entegre olarak (havalandırmaz) yerleştirilen panel eğimleri 11° ve panel yönleri güney yönünden 40° doğu

yönüne doğru saptmıştır. Bu durum sistemin ürettiği elektrik miktarını önemli ölçüde düşürmüştür. Pvsyst yazılımı ile yapılan hesaplama ile ana bina ve ağaç yerinde kalarak, sistemde kullanılan panel ve inverter değiştirilmeden tüm fotovoltaik özellikler aynı şekilde kullanılarak şayet azimut yönü yine aynı kalıp (azimut = -40°) sadece panel dikey eğimi 33° olarak yerleştirilmiş olsaydı Pvsyst yazılımı yıllık tahmini üretimi 13 317 kWh/yıl olacaktı (Çizelge 4.6). Bu da Pvsyst yazılımının panel eğimleri 11° iken hesapladığı 12 912 kWh/yıl değerinden 405 kWh/ yıl fazla olacaktı. Şayet panel yönleri de tam güneye bakacak şekilde ve panel eğimi 33° olarak en optimum durumda montaj yapılmış olsaydı Pvsyst yazılımı yıllık tahmini üretimi 13 943 kWh/yıl olacaktı.

Çizelge 4.6. Pvsyst ile yapılan değişik panel eğimi ve azimut açısı simülasyon sonuçları

Tüm tasarımda kullanılan ekipman ve gölgelendirme unsurları aynı kalarak yapılan hesaplama sonuçları	Değişik panel eğimi ve azimut açısı ile hesaplanan Pvsyst sonuçları
Tam Sistem Simülasyon Sonucu (Fotovoltaik sistemin gerçek durumu) Panel eğimi = 11°, Azimut açısı = -40°	12 912 kWh /yıl
Panel yönü aynı kalıp sadece Panel dikey eğimi değiştirilerek yapılan Simülasyon sonucu Panel eğimi = 33°, Azimut açısı = -40°	13 317 kWh /yıl
Panel yönü ve eğimi en optimumu şekilde ayarlandığında simülasyon sonucu Panel eğimi = 33°, Azimut açısı = 0°	13 943 kWh /yıl

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında, 10 kWp'lik Fotovoltaik güneş enerji sistemi üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda kullanılan yazılımların gerçek üretim verilerine yaklaşık sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Sistemin tüm parametreleri girilerek yapılan hesaplamalar sonucunda PVsyst yazılımı ile yıllık toplamda 12 912 kWh elektrik enerjisi üretilebileceği, PVSOL yazılımı ile yıllık 13 556 kWh enerji üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. 2021 yılı boyunca fotovoltaik sistemin toplam ürettiği gerçek enerji miktarı 12 473 kWh olarak belirlenmiştir. Gerçekte üretilen elektrik enerjisi miktarı 2021 yılı için her iki yazılım ile yapılan simülasyon sonuçlarından düşük bulunmaktadır. Gerçek üretim değerinden PVsyst yazılımı ile yıllık toplamda % 3,40, PVSOL yazılımı ile yıllık % 7,99 değerinde sapma olduğu görülmüştür.

PVsyst yazılımı ile gölgelendirme etkisi bulunmadan yıllık 13 650 kWh elektrik enerjisi üretilebileceği, yakın gölgelemeler dahil edildiğinde ise üretim değerinin yıllık 12 912 kWh olacağı hesaplanmıştır. Bu sonuca göre yıllık 738 kWh'lik bir yakın gölgelendirme kaybı olacağı ve üretim değerine göre %5,40'lık enerji kaybına sebep olacağı görülmektedir. PVSOL yazılımı ile gölgelendirme kaybı olmadan sistemin yıllık 14 910 kWh elektrik enerjisi üretebileceği, yakın gölgelendirmeler dahil edildiğinde ise yıllık 13 556 kWh elektrik üretebileceği hesaplanmıştır. Bu veriye dayanarak yıllık 1354 kWh bir yakın gölgelendirme kaybı yaşanacağı ve üretim değerine göre yıllık % 9,08 oranında elektrik enerjisi kaybına sebep olacağı düşünülebilir.

Yazılımlar arasındaki yıllık üretilen enerji miktarının farklı olmasında en büyük etken yazılımların veri tabanlarında kullandıkları farklı meteorolojik verilerden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan PVSOL yazılımı Meteonorm 8.1 iklim veri yazılımının ürettiği güneş radyasyon değerlerini kullanırken, PVsyst yazılımı ile Meteonorm 7.3 yazılımının sentetik olarak ürettiği iklim veri değerleri kullanılmıştır. Bundan dolayı panellerin kurulu olduğu bölgenin küresel güneş radyasyon değerini PVSOL yazılımı yıllık ortalama 1504 kWh/m² göstermekte ve bu değere göre hesaplama yaparken, PVsyst yazılımı aynı bölgenin yıllık küresel güneş radyasyon değerini 1408,4 kWh/m² olarak göstermekte ve bu değere göre üretim hesaplamalarını yapmaktadır. Yazılımlar tarafından kullanılan

meteorolojik verilerin farklı olması tahmin edilen üretim değerlerini doğrudan etkilemektedir. Diğer bir etken ise yakın gölgeleme nesnelerinin gölgelenme oranlarını yazılımların farklı hesaplamasından kaynaklanmaktadır. Yazılımlar ile çalışan kullanıcının programlar üzerindeki deneyim ve tecrübesi de simülasyon sonuçlarının farklı çıkmasında etkilidir. Aynı zamanda gerçekte yaşanan iklim koşulları ile program yazılımlarındaki iklim verileri arasındaki farklılıklar, PV modüllerin ve inverterin gerçek ortam çalışma verimlilik oranları ile test koşullarındaki verimlilikleri arasındaki farklılıklar, PV panellerin güç tolerans değerlerinin gerçek çalışma koşullarında değişiklik göstermesi, PV panellerin zamanla tozlanması, gölgeleme kayıplarının yazılımlar tarafından tam olarak tespit edilememesi gibi faktörler gerçek üretim verileri ile simülasyon sonuçlarının farklı çıkmasına sebep olmaktadır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırlamış olduğu Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formuna göre güneş veya rüzgar enerjisinden elde edilen her 1 MWh'lık elektrik enerjisi için 0,6482 ton CO₂ emisyonunu önlediği göz önüne alındığında, sistem 2021 yılı için $12,473 \text{ MWh} \times 0,6482 \text{ ton} = 8,085 \text{ ton CO}_2$ emisyonunu önlemiştir (ETBK, 2021). Sistemin 25 yıl çalışacağı düşüldüğünde toplam 202,125 ton CO₂ salınımını azaltacağı hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- Acar, A., Sarı C. ve Taranto Y.(2020). Binalarda çatı üstü güneş enerjisi potansiyeli – Türkiye’de çatı üstü güneş enerjisi sistemlerinin hayata geçmesi için finansman modelleri ve politikalar, *Shura Enerji Dönüşüm Merkezi*, (83), 19.
- Akcan, E., Kuncan, M. ve Minaz, M.R. (2020). Pvsyst Yazılımı ile 30 kW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.
- Aksangör, N. N. (2019). *Ankara Şartlarında Bir Fotovoltaik Sistemin Pvsyst Programı Yardımı İle Performans Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ankara Üniversitesi, GAMA MYO. *Güneş Enerjisi İle Elektrik Üretimi*, Elektrik ve Enerji Bölümü, Ders notları.
- Başay V., Eken R. ve Yılmaz G. (2019). Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralinde Fotovoltaik Modüllerin Yaşlanması Araştırılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 327-331.
- Biçen, T. (2018). *Güneş Panelleri İle Elektrik Üretiminin Teknik Ve Ekonomik Analizi: Bursa Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Boztepe, M. (2017). Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, *Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü*, Bornova, İzmir
- Bube, R.H. (1998). *Photovoltaic Materials* (First Edition). London: Imperial College Press, 1, 32, 112, 114.
- Çekirdek, M. (2017). *Fotovoltaik Güç Santrallerinin Tekno-Ekonomik Analizi: Türkiye Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çınaroğlu, M.S. (2021). *Kilis 7 Aralık Üniversitesinde Kurulacak Bir Ges Projesinin Pvsyst Aracılığı İle Tasarım Ve Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kilis.
- Deniz, E (2013). Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar. URL: emo.org.tr/ekler/38f0038bf09a40b_ek.pdf. Son Erişim Tarihi: 06.01.2022
- Demiryürek, H.K , Arifoğlu U. ve BOLAT M. (2020). Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı İle Analizi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (3), 1351-1363.
- Eyigün, S. (2010). *Türkiye’ nin Farklı Bölgelerinde Kurulacak Fotovoltaik Santrallerin Teknik ve Ekonomik Açısından İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

- Girgin, M.H. (2010). *Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralinin fizibilitesi, karaman bölgesinde 5 mw'lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Günkaya, E.(2001). *Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi*. Bitirme Ödevi, S.D.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- Haydaroğlu, C. (2017). *Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analiz.*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Homood, A.R. (2021). *Samsun'daki Şebeke Bağlantılı Fotoelektrik Sistem Performansının Farklı Simülasyon Programları Kullanılarak Değerlendirilmesi Ve Karşılaştırılması: Yeşilyurt Demir Çelik MYO Örnek Olay İncelenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Hui Wang, M. and Chen M.J. (2012). Two-Stage Fault Diagnosis Method Based on the Extension Theory for PV Power Systems, *International Journal of Photoenergy*, 1-10.
- İnan İ., Akbulut İ. ve Aslan E. (2018). Enerji Sorununun Çözümünde Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi, *Türk Dünyası Araştırmaları Vakfı*, 120 (237), 11-40.
- İnternet: Bluesun Solar. URL: https://www.bluesunpv.com/bluesun-popular-single-glass-roof-solar-tile-30w-photovoltaic-roof-tile_p283.html. Son Erişim Tarihi: 15.03.2022
- İnternet: 3D Warehouse. URL: <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/7f9ee3c8-5cc3-4452-9687-fde8b4c89032/Solar-panel-PV-Slide-and-tilt-Rack-for-Food-truck>. Son Erişim Tarihi: 09.03.2022
- İnternet: Pickerel, K.(2017). Is it possible to install solar on a sloped roof without drilling holes?. URL: <https://www.solarpowerworldonline.com/2017/01/possible-install-solar-sloped-roof-without-drilling-holes/>. Son Erişim Tarihi: 09.03.2022
- İnternet: ETBK. URL: <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-turkiye-ulusal-elektrik-sebekesi-emisyon-faktoru/>. Son Erişim Tarihi: 23.03.2022
- İnternet: Global Solar Atlas. URL: <https://globalsolaratlas.info/download/world>. Son Erişim Tarihi: 06.12.2021
- İnternet:EPDK.URL:<https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=vVRsddb5/5o=>. Son Erişim Tarihi: 16.04.2022
- İnternet: Power Enerji. URL: <https://www.powerenerji.com/kiremit-gunes-paneli-solar-tiles-ozellikleri-ve-fiyati.html> . Son Erişim Tarihi: 10.03.2022
- İnternet: Solar Avm. URL: <https://solaravm.com/solar-gunes-paneli/>. Son Erişim Tarihi: 12.03.2022

İnternet: Solar Gaps. URL: <https://solargaps.com/photo-gallery/>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2022

İnternet: Zammit, A.(2018).Near zero carbon buildings. URL: <https://timesofmalta.com/articles/view/near-zero-carbon-buildings.675689>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2022

İnternet: Akkaş, V.C. (2018). PV Sistemlerinde Gölge Kaybı ve Bunları Azaltmak için Teknikler. URL: <https://www.enerjiportali.com/pv-sistemlerinde-golge-kaybi-ve-bunlari-azaltmak-icin-teknikler/> Son Erişim Tarihi: 21.03.2022

İnternet: Altenergy. URL: <https://www.altenergy.org/renewables/solar/solartechnolgy.html> Son Erişim Tarihi: 09.03.2022

İnternet: Alternative Energy Tutorial. URL: <http://www.alternativeenergy-tutorials.com/solar-power/stand-alone-pv-system.html>. Son Erişim Tarihi:06.05.2021

İnternet: Alternative Energy Tutorials. URL: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html>. Son Erişim Tarihi:06.05.2021

İnternet: Electronics Tutorials. URL: <https://www.electronics-tutorials.ws/diode/bypass-diodes.html>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2022

İnternet: Enerji Günlüğü. URL: <https://www.enerjigunlugu.net/iste-cati-ustu-mikro-gesler-icin-tip-proje-28113h.htm>. Son Erişim Tarihi: 09.03.2022

İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. URL: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>. Son Erişim Tarihi: 27.04.2021

İnternet:KöhlerElektrikSayaçları.URL:http://www.kohlersayac.com.tr/images/content/811K.j_pg/. Son Erişim Tarihi: 17.04.2022

İnternet: İndia Mart. URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/micro-solar-inverter/>. Son Erişim Tarihi: 16.04.2022

İnternet: İnvento Architectural Energy and Company. URL: <https://inventoenerji.com/fotovoltaiik-perde-duvar/>. Son Erişim Tarihi : 08.03.2022

İnternet: Leblebicioğlu, E. (2019). Şarj Kontrol Cihazı Nedir? Nasıl Seçilir?. URL :<https://muhendistan.com/sarj-kontrol-cihazı-nedir-nasil-secilir/>. Son Erişim Tarihi: 21.03.2022

İnternet: Nicklas. (2016). URL: <https://sinovoltaics.com/solar-basics/measuring-the-temperature-coefficients-of-a-pv-module/>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2022

İnternet: Pickerel, K. (2018). What is thin-film solar. URL: <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/07/thin-film-solar-stuck-in-second-place-even-with-c-si-tariffs/>. Son Erişim Tarihi: 06.01.2022

İnternet: Researchgate. URL: https://www.researchgate.net/figure/Building-integrated-solar-panels-at-the-Intelligent-Solutions-in-Light-Offices-inVauban_fig1_335315825. Son Erişim Tarihi: 08.03.2022

İnternet: Solar Sena. URL: <https://solarsena.com/different-types-of-solar-panels/>. Son Erişim Tarihi: 15.01.2022

İnternet: Solar Avm. URL: <https://solaravm.com/solar-gunes-paneli>. Son Erişim Tarihi: 17.01.2022

İnternet: T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. URL: <https://www.epdk.gov.tr>. Son Erişim Tarihi: 17.05.2022

İnternet: Tectonica. URL: <https://tectonica.archi/materials/muro-cortina-fotovoltaiico/>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2022

İnternet: Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. URL: <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>. Son Erişim Tarihi: 21.04.2022

İnternet: Valentin Software. URL: <https://valentin-software.com/en/products/custom-software/>. Son Erişim Tarihi: 06.12.2021

İnternet: Wikimedia. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Interieur-torino-porta-susa2.jpg>. Son Erişim Tarihi: 10.03.2022

İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü GEPA haritaları. URL: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> Son Erişim Tarihi: 25.04.2021.

İnternet:MEGEP.URL:http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/%C3%87at%C4%B1%20Tanzim%20Ve%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BC%5%9Fleri.pdf . Son Erişim Tarihi: 09.03.2022

İnternet: İnvento Enerji. URL: <https://inventoenerji.com/fotovoltaiik-skylight/>. Son Erişim Tarihi: 08.03.2022

İşler, Y.S. (2020). *Şebeke Bağlantılı, Depolamalı Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Performans Analizi Ve Verim Artırılması*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Karaca, Ü. B. ve Uçar, S. (2018). Konut çatı ve cephelerinde farklı fotovoltaik sistem uygulamalarının değerlendirilmesi, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 65-76.

Keskin, A. (2019). *Niğde İli Güneş Enerji Santrali Modellemesi ve Performans Parametreleri Değerlendirmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

- Kılıç, U. (2018). *Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Üretim Sistemlerinin Tasarlanması ve Türkiye’de Farklı Coğrafik Bölgelerdeki Performans Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kınalı, M.Y. (2019). *Güneş Enerjisi Simülasyon Programlarının Gerçek Verilerle Doğruluk Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Kıyanççek, E. (2013). *Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması İçin P_{vs}^2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Koryürek, E. (2008). *Fotovoltaik Sistemlerin Binalarda Kullanımı*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Köçükgöze, O.M. (2016). *Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- Maleki, S.A.M., Hizam, H., Gomes, C., (2017). Estimation of hourly daily and monthly global solar radiation on inclined surface, *Energies*, 10 (1), 3.
- Master, E. (2011). *Güneş Panelleri İçin Güneş Takip Mekanizmasının Tasarımı*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Pakma, N. (2010). *Batman’da 1 Mw’lık Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarlanması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Sağlam, E. (2018). *Fotovoltaik Santrallerin Kurulum Aşamaları Ve İşletimdeki Santrallerin Gerçekleşen Üretim Değerlerinin Simulasyon Sonuçları İle Karşılaştırılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul.
- Sayın, S. ve Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik(PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik.-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (3), 89-106.
- Serim, M. (2021). *Gökçe Barajı Üzerine 2 MW Gücünde Yüzebilen Güneş Paneli Kurulumunun Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yalova.
- Şahin, M. E. ve Okumuş, H. İ. (2013). Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink ile Modellenmesi ve Simülasyonu, *EMO Bilimsel Dergi*, 3(5), 17–25.
- Tekkale, G. (2018). *Türkiye’nin Çeşitli İllerinde Yapılacak Arazi Tipi Lisanssız Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Teknik Ve Finansal Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

- Tozlu, C. (2004) *Muğla Üniversitesinde Kurulu Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Performans Analizi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Uçar, S. (2018). *Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Umut, İ. (2008). *Yenilebilir Enerji Kaynaklarını Elektrik Enerjisine Dönüştürmede Kullanılan Yöntemler ve Örnek Uygulamalar*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.
- Yalçın, L. (2010). *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Haymana Araştırma Ve Uygulama Çiftliği'nin Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi Ve Güneş Enerjisinden Yararlanabilme Olanakları*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yaman, M. (2018, 12-13 Nisan). *Cephelerde Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Yangın Güvenlik Önlemleri Bağlamında İncelenmesi*, 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı, İstanbul Kültür Üniversitesi , Bakırköy, İstanbul.
- Yıldız, M. (2019). *Yozgat İlinde Bulunan Bir Ges Sisteminin Sayısal Ve Deneysel Analizi*,. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- Yılmaz, Ş. ,Karatutlu A.,Kekec C. (2015). Designing a PLC-Based Real-Time Sun Tracking System, *International Journal of Scientific and Technological Research*, ISSN 2422-8702 (Online) 1 (5), 24-31.

EKLER

EK-1. İzin talep dilekçesi



EK-2. İzin talep oluru



EK-3. GES' te kullanılan PV panele ait katalog

ELINPLUS

ELNSM6612M ve ELNSM6612M/HV Serileri





5BB MONOKRİSTALİN FOTOVOLTAİK MODÜL

ELNSM6612M Serisi
maksimum sistem gerilimi standart **1.000 V**

ELNSM6612M/HV Serisi
maksimum sistem gerilimi standart **1.500 V**

Nominal Güçler
390 Wp - 395 Wp - 400 Wp



TS EN 61215, TS EN 61730
IEC 61215, IEC 61730, IEC 62804 (PID FREE)
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018, ISO 27001:2013, ISO 10002:2004

ÖZELLİKLER



+5W 0~+5W Pozitif Güç Toleransı



PERC Yenilikçi Perc Hücre Teknolojisi



Kum, tuz ve amonyak direnci gibi zorlu çevresel koşullarla etkili bir şekilde üstesinden gelir.



Geliştirilmiş sıcaklık katsayısı, yüksek sıcaklık uygulamalarında güç kaybını azaltır.



Dolu dayanıklılığı sertifikası: dolu ölçüsü (d=45mm) ave dolu hızı (v=30.7m/s).



96 saat (@85°C /%5%) testine mükemmel PID direnci, ayrıca zorlu çevresel koşullarda daha yüksek standartların karşılaması için geliştirilebilir.

GARANTİ

10 YIL ÜRÜN GARANTİSİ
25 YIL LİNEAR PERFORMANS GARANTİSİ



www.elin.com.tr www.elinenerji.com.tr

EK-3. (Devamı)

ELINPLUS

ELNSM6612M ve ELNSM6612M/HV Serileri



5BB MONOKRİSTALİN FOTOVOLTAİK MODÜL

ELNSM6612M Serisi
maksimum sistem gerilimi standart **1.000 V**

ELNSM6612M/HV Serisi
maksimum sistem gerilimi standart **1.500 V**

Nominal Güçler
390 Wp - 395 Wp - 400 Wp



TS EN 61215, TS EN 61730
IEC 61215, IEC 61730, IEC 62804 (PID FREE)
ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018, ISO 27001:2013, ISO 10002:2004

ÖZELLİKLER



0~+5W Pozitif Güç Toleransı



Geliştirilmiş sıcaklık katsayısı, yüksek sıcaklık uygulamalarında güç kaybını azaltır.



Yenilikçi Perc Hücre Teknolojisi



Dolu dayanıklılığı sertifikası: dolu ölçüsü (d=45mm) ave dolu hızı (v=30.7m/s).



Kum, tuz ve amonyak direnci gibi zorlu çevresel koşullarla etkili bir şekilde üstesinden gelir.



96 saat (@85°C /%5%) testine mükemmel PID direnci, ayrıca zorlu çevresel koşullarda daha yüksek standartların karşılaması için geliştirilebilir.

GARANTİ

10 YIL ÜRÜN GARANTİSİ
25 YIL LİNEAR PERFORMANS GARANTİSİ

www.elin.com.tr www.elinenerji.com.tr



EK-4. GES' te kullanılan İnvertere ait katalog



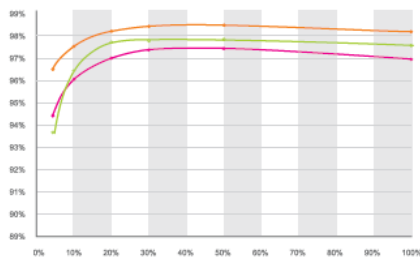
Growatt 7000TL3-S/8000TL3-S/9000TL3-S
10000TL3-S/11000TL3-S

Leading - edge Technology

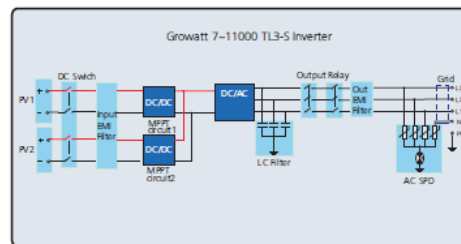
- ▶ Max. DC Voltage up to 1000V
- ▶ Max efficiency 98.4%
- ▶ Compact design
- ▶ Multi MPP controller
- ▶ Natural cooling, fanless design
- ▶ High power density, offer lighter and easy installation
- ▶ Flexible communication connection, support RF, WiFi, Ethernet
- ▶ Comprehensive Growatt warranty program



Growatt 11000TL3-S efficiency



Growatt 7-11kTL3-S topology



GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY

EK-4. (Devamı)

Datasheet	7000TL3-S	8000TL3-S	9000TL3-S	10000TL3-S	11000TL3-S
Input Data					
Max. recommended PV power (for module STC)	8400W	9600W	10800W	12000W	13200W
Max. DC voltage	1000V	1000V	1000V	1000V	1000V
Start Voltage	160V	160V	160V	160V	160V
MPPT voltage range	160V-1000V	160V-1000V	160V-1000V	160V-1000V	160V-1000V
Nominal voltage	600V	600V	600V	600V	600V
Max. input current	11.5A/11.5A	11.5A/11.5A	11.5A/11.5A	13A/13A	13A/13A
Number of independent MPP trackers/strings per MPP tracker	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1
Output (AC)					
Rated AC output power	7kW	8kW	9kW	10kW	11kW
Max. AC apparent power	7.7kVA	8.8kVA	9.9kVA	11kVA	12.1kVA
Max. output current	11.7A	13.3A	15A	16.7A	18.3A
AC nominal voltage	230V/400V ; 320-478V	230V/400V ; 320-478V	230V/400V ; 320-478V	230V/400V ; 320-478V	230V/400V ; 320-478V
AC grid frequency	50/60Hz, ±5Hz	50/60Hz, ±5Hz	50/60Hz, ±5Hz	50/60Hz, ±5Hz	50/60Hz, ±5Hz
Power factor	0.8leading - 0.8lagging	0.8leading - 0.8lagging	0.8leading - 0.8lagging	0.8leading - 0.8lagging	0.8leading - 0.8lagging
THDI	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
AC grid connection type	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE	3W+N+PE
Efficiency					
Max. efficiency	98.3%	98.3%	98.4%	98.4%	98.4%
Euro - eta	97.5%	97.8%	98%	98%	98%
MPPT efficiency	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%
Protection Devices					
DC reverse polarity protection	yes	yes	yes	yes	yes
DC switch	yes	yes	yes	yes	yes
Output over current protection	yes	yes	yes	yes	yes
Output AC overvoltage Protection - Varistor	yes	yes	yes	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes	yes	yes	yes
Grid monitoring	yes	yes	yes	yes	yes
Integrated all-pole sensitive leakage current monitoring unit	yes	yes	yes	yes	yes
General Data					
Dimensions (W / H / D) in mm	480/448/200	480/448/200	480/448/200	480/448/200	480/448/200
Weight	21.6kg	21.6kg	21.6kg	21.6kg	21.6kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Noise emission (typical)	≤35 dB(A)	≤35 dB(A)	≤35 dB(A)	≤35 dB(A)	≤35 dB(A)
Altitude	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m
Self-consumption night	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W	< 0.5W
Topology	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless	Transformerless
Cooling concept	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural
Environmental Protection Rating	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Relative humidity	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%	0~100%
Features					
DC connection	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)	H4/MC4(opt)
AC connection	Screw terminal	Screw terminal	Screw terminal	Screw terminal	Screw terminal
Display	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD
Interfaces:RS232/RS485/RF/Wi-Fi	yes/yes/opt/opt	yes/yes/opt/opt	yes/yes/opt/opt	yes/yes/opt/opt	yes/yes/opt/opt
Warranty:5 years/10 years	yes/opt	yes/opt	yes/opt	yes/opt	yes/opt
CE, IEC 62109-1/2, VDE 0126-1-1, Greece, VFR 2014, VDE-AR-N4105, G98, EN50438, CEI 0-21, AS4777, IEC 61727, IEC 62116, CQC					

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Barış ALAÇAM

Eğitim Derecesi

Okul/Program

Mezuniyet Yılı

Lisans

Gazi Üniversitesi

Yüksek Lisans

Amasya Üniversitesi

İş Deneyimi/Yıl

Çalıştığı Yer

Görevi

2010 - Devam

Milli Eğitim Bakanlığı

Elektrik Öğretmeni

Yabancı Dili

İngilizce

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1. Alaçam, B. and Vural, H. (2022, June 25-26). Çatı Üstü Fotovoltaik Bir Sistemin PVSYST Programı ile Analizi, Karadeniz 9th International Conference On Applied Sciences, Artvin, Turkey